

PELABUHAN

Perencanaan dan Perancangan
Konstruksi Bangunan Laut dan Pantai



Nyoman Budiarta Raka Mandi

PELABUHAN

**Perencanaan dan Perancangan
Konstruksi Bangunan Laut dan Pantai**

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta

Lingkup Hak Cipta

Pasal 1

1. Hak Cipta adalah hak eksklusif pencipta yang timbul secara otomatis berdasarkan prinsip deklaratif setelah suatu ciptaan diwujudkan dalam bentuk nyata tanpa mengurangi pembatasan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Ketentuan Pidana

Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf I untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan / atau pidana denda paling banyak Rp. 100.000.000,00 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan / atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan / atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan / atau pidana denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Hak Cipta pada Penulis. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang :

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit.

PELABUHAN

**Perencanaan dan Perancangan
Konstruksi Bangunan Laut dan Pantai**

Nyoman Budiarta Raka Mandi

Penerbit



PELABUHAN

**Perencanaan dan Perancangan
Konstruksi Bangunan Laut dan Pantai**

Penulis:

Nyoman Budiarta Raka Mandi

Editor:

Dr.Eng. Ni Nyoman Pujianiki, ST.MT.MEng

Foto & Ilustrasi:

Made Purnamaningsih, SE

Design & Layout:

Made Suartana, ST

Penerbit:

Buku Arti

Jl. Pulau Kawe No. 62 Denpasar 80222 Bali

Telp./Faks.: 0361-264089

E-mail: asbaliku@yahoo.co.id

Cetakan Pertama:

2015, x + 400 hlm, 17 x 24 cm

ISBN: 978-602-6896-04-9

Kata Pengantar

Pelabuhan dalam industry transportasi laut merupakan bentuk infrastruktur transportasi tertua yang masih digunakan sampai saat ini dan industri ini berubah dengan sangat pesat. Pesatnya perubahan ini ditandai dengan peningkatan volume perdagangan dunia yang menggunakan moda transportasi laut saat ini mencapai 80 % yang ditangani oleh pelabuhan-pelabuhan di seluruh dunia. Pesatnya pertumbuhan ini menyebabkan tidak saja terjadi saling ketergantungan antar negara di dunia tetapi juga menciptakan persaingan antar negara termasuk negara-negara yang terkurung oleh daratan berusaha untuk meningkatkan akses yang efektif serta menciptakan jaringan pelabuhan untuk jasa pengiriman internasional yang hemat biaya sebagai mesin pendorong pembangunan dan kesejahteraan masyarakatnya.

Tujuan dari buku ini adalah untuk memberikan suatu sajian yang universal tentang perencanaan dan perancangan konstruksi bangunan laut dan pantai yang dibutuhkan suatu Pelabuhan untuk dapat beradaptasi dan mengantisipasi implikasi dari perubahan pesat dalam industri transportasi laut ini dalam percepatan pembangunan ekonomi Indonesia berbasis maritim. Dengan demikian buku ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran yang lengkap serta memberikan wawasan agar mereka yang terlibat dalam perencanaan Pelabuhan dapat melihat bidang mereka sendiri dalam perspektif yang menarik dan memahami bahwa perencanaan Pelabuhan merupakan kegiatan multidisiplin yang melibatkan tidak hanya keahlian dalam bidang ekonomi transportasi, perkapalan, keselamatan dan logistik, tetapi juga pengetahuan tentang arus dan gelombang, sedimen transport dan morfologi pantai, pengerukan dan reklamasi lahan, pemecah gelombang dan dermaga.

Buku ini telah secara radikal diperbarui untuk mencerminkan kemajuan terbaru dalam ilmu pelabuhan dan dalam beberapa cara berbeda dengan yang lainnya terutama aspek desain sebagian besar berpusat di kapal: perilaku manuver dan pengaruh hidrodinamika kapal berdasarkan pengaruh angin, arus dan gelombang, gerakan gelombang vertikal, gerakan horisontal di daerah perairan pelabuhan. Aspek lain dalam penekanan terhadap interaksi antara transportasi dengan aktivitas perencanaan dan perancangan bangunan laut dan pantai untuk pelabuhan. Dengan demikian diharapkan buku ini tidak hanya dapat digunakan untuk membantu mengajar dalam berbagai variasi akademik dan professional, tetapi juga untuk berbagai macam kepentingan langsung dalam menetapkan regulasi fasilitas-fasilitas transportasi.

Pembahasan dalam buku ini dimulai dari sejarah singkat perkembangan pelabuhan agar dapat dipahami dari berbagai aspek, fungsi dan organisasi pelabuhan, kemudian faktor-faktor yang mempengaruhi perencanaan dan pelaksanaan termasuk proses pengumpulan data dan survei (angin, arus, pasang surut, gelombang), dan kondisi fisik di lapangan, selanjutnya metodologi perencanaan, kemudian perencanaan dan perancangan daerah perairan pelabuhan untuk memahami bagaimana efek lay-out pelabuhan akibat proses alam terhadap pantai dan bagaimana pendangkalan dapat terjadi di dalam pelabuhan dan pada pendekatan saluran (*approach channel*) diminimalkan dengan perencanaan lay-out. Akhirnya aspek lingkungan dan keselamatan mungkin memainkan peran dalam perencanaan lay-out. Aspek lain yang harus diperhitungkan adalah transportasi sedimen. Dan kemudian perencanaan dan perancangan rinci dari konstruksi bangunan pemecah gelombang, konstruksi bangunan pelabuhan dan konstruksi bangunan pelindung pantai termasuk dalam hal ini adalah rencana layout, potongan geometri, detail konstruksi (*toe, crest, dan lain-lain*) dan aspek biaya disertai ilustrasi, contoh dan studi kasus. Bab terakhir adalah Dermaga (*Wharves/Queys, Piers/Jetty, Bulkhead, Dolphin dan Mooring*) termasuk fasilitas-fasilitas Dermaga seperti Fender dan Bolder yang disertai contoh perhitungan dan studi kasus.

Buku ini diselesaikan bertepatan dengan 31 tahun pengabdian penulis di jurusan Teknik Sipil Universitas Udayana dalam mengampu mata kuliah Pelabuhan dari tahun 1984 sampai sekarang. Semoga buku ini ada manfaatnya. Kekurangan yang ada kiranya dapat diisi oleh pembaca ilmuwan yang budiman melalui karya yang sejenis.

Denpasar, 2015
Nyoman Budiarta Raka Mandi

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Sejarah Perkembangan Pelabuhan	1
1.2 Pengertian Pelabuhan	4
1.3 Peranan Transportasi Laut.....	7
1.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Perkembangan Pelabuhan	9
1.4.1 Perdagangan.....	9
1.4.2 Pertumbuhan Industri.....	10
1.4.3 Pertumbuhan Industri Minyak	11
1.4.4 Perkembangan Pelabuhan-pelabuhan Khusus	12
1.4.5 Modernisasi Pelabuhan.....	12
1.4.6 Perkembangan Armada Dunia.....	17
1.4.7 Kemajuan dalam Perancangan Konstruksi Pelabuhan.....	39
1.6 Pengusahaan Pelabuhan	41
1.7 Bentuk-bentuk Pengaturan.....	45
1.8 Pembiayaan.....	48
1.9 Cakupan Perencanaan, Perancangan dan Pelaksanaan Pelabuhan	50
Bab 2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Perencanaan dan Pelaksanaan Pembangunan Pelabuhan	53
2.1 Umum	53
2.2 Ekologi Pantai (Coastal Ecology)	54

2.3	Faktor Angin dan Pengaruhnya	55
2.3.1	Pengertian Angin	55
2.3.2	Pengaruh Angin Terhadap Perencanaan Pelabuhan	57
2.4	Faktor Kedalaman Air	61
2.4.1	Pengertian	61
2.4.2	Pengamatan Lapangan	62
2.5	Faktor Pasang Surut	66
2.5.1	Pengertian Pasang Surut	66
2.5.2	Tipe Pasang Surut	68
2.5.3	Pengaruh Pasang Surut terhadap Perencanaan Pelabuhan....	70
2.5.4	Pengamatan Pasang Surut	71
2.6	Faktor Arus	74
2.6.1	Pengertian Arus	74
2.6.2	Arus Pasang Surut.....	74
2.6.3	Endapan (Sedimentologi)	76
2.6.4	Pengamatan Arus, Endapan dan Material Tanah Dasar.....	82
2.7	Faktor Gelombang	87
2.7.1	Umum	87
2.7.2	Pembentukan dan Perambatan Gelombang.....	88
2.7.3	Klasifikasi Gelombang	91
2.7.4	Peramalan Panjang dan Tinggi Gelombang.....	93
2.8	Karakteristik Kapal yang Berkaitan dengan Perencanaan Pelabuhan.....	105
2.8.1	Kapasitas Angkut	105
2.8.2	Demensi Vertikal	108
2.8.3	Dimensi Horisontal.....	109
2.8.4	Ukuran standar kapal	110
2.8.5	Data lain yang relevan	113
Bab 3	Metodologi Perencanaan Pelabuhan.....	114
3.1	Perencanaan Persiapan	115
3.1.1	Maksud dan Tujuan dibangunnya pelabuhan dan pertimbangan ekonomi	116
3.1.2	Peramalan Permintaan Angkutan	118
3.1.3	Tersedianya Prasarana dan Sarana Pendukung	119
3.2	Perencanaan Pendahuluan	120
3.2.1	Penentuan Lokasi yang terbaik untuk Pembangunan Pelabuhan.....	122
3.2.2	Tersedianya Lahan Untuk Pengembangan Pelabuhan.	125
3.2.3	Bentuk dan Ukuran Pelabuhan.....	126

3.2.4. Tipe, Lokasi dan Ukuran Pemecah Gelombang.....	126
3.2.5. Lokasi dan Lebar Pintu Pelabuhan	127
3.2.6. Kedalaman Alur dan Kolam Pelabuhan.....	128
3.2.7. Jumlah, Lokasi dan Tipe Dermaga.....	128
3.2.8. Fasilitas-fasilitas Pelabuhan di Daratan	129
3.3 Penyelidikan Lapangan.....	131
3.4 Perencanaan Tata Letak (<i>Layout</i>)	137
3.4.1 Dasar-dasar Perencanaan Lay-out Pelabuhan	137
3.4.2 Tipikal Lay-out Pelabuhan	140
3.5 Proses perencanaan	152
3.6. Perencanaan.....	155
3.6.1 Perkiraan Kargo.....	155
3.6.2 Syarat Fungsional dan Elemen Perencanaan	156
3.6.3 Teknik Evaluasi	157
3.6.4 Optimasi Proyek.....	160
3.7. Pengamatan umum.....	168
Bab 4 Perencanaan dan Perancangan Daerah Perairan	
Pelabuhan	172
4.1 Aspek-aspek dalam Perencanaan dan Perancangan daerah Perairan Pelabuhan.....	172
4.2 Manuver Kapal dan Gaya Hidrodinamika	174
4.2.1 Manuver Kapal	174
4.2.2 Hidrodinamika Kapal	178
4.3 Alur Pendekatan	188
4.3.1 Alignment	189
4.3.2 Lebar Alur.....	196
4.3.3 Kedalaman Alur dan Kolam Pelabuhan	199
4.4 Daerah manuver didalam pelabuhan	209
4.5 Basin Pelabuhan dan Area Tambat.....	214
4.5.1 Aspek <i>Nautical</i>	214
4.5.2 Tinggi Gelombang pada Kolam Pelabuhan	222
4.6. Aspek Morfologi.....	228
4.6.1 Transportasi Littoral	228
4.6.2 Pendangkalan Alur Pendekatan	230
4.6.3 Sedimentasi di dalam pelabuhan.....	232
Bab 5 Pemecah Gelombang (Breakwater)	233
5.1 Pengertian Pemecah Gelombang	233
5.2. Tipe-tipe Pemecah Gelombang.....	234

5.2.1	Ditinjau dari bentuk konstruksinya yaitu:	235
5.2.2	Ditinjau dari letak konstruksinya	244
5.3	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pemilihan Tipe Pemecah Gelombang	246
5.4	Pemecah Gelombang Sisi Miring	248
5.4.1	Konfigurasi potongan melintang	252
5.4.3	Dimensi pemecah gelombang sisi miring.....	266
5.4.4	Contoh perhitungan kestabilan konstruksi pemecah gelombang sisi miring	267
5.4.5	Contoh Bangunan Pemecah Gelombang Sisi Miring	272
5.5	Pemecah Gelombang Sisi Miring Tumpukan Batu dan Cetakan Beton (<i>Concrete Block and Rock-Mound Breakwaters</i>).....	276
5.5.1.	Contoh Pemecah Gelombang Blok Beton di Atas Tumpukan Batu	278
5.5.2.	Pemecah Gelombang dengan Unit <i>Irregular Concrete</i>	280
5.5.3	Contoh Bangunan Pemecah Gelombang dengan tetrapod dan Tribar	287
5.6	Pemecah Gelombang Sisi Tegak	288
5.6.1	Reaksi Gelombang pada dinding Vertikal	289
5.6.2	Contoh Bangunan Pemecah Gelombang Sisi Tegak	307
5.7	Pemecah Gelombang Pancaran Udara dan Pancaran Air.....	313

Bab 6 Dermaga

	<i>(Wharves, Piers, Bulkhead, Dolphin dan Mooring)</i>	314
6.1	Pengertian Dermaga.....	314
6.2	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pemilihan tipe Dermaga	321
6.3	Bahan dan Tipe Konstruksi Dermaga	325
6.4	Faktor-Faktor yang Perlu Diperhatikan dalam Perencanaan Dermaga	329
6.4.1.	Penentuan Ukuran dan Layout Dermaga	329
6.4.2	Tipe disain	332
6.5	Fender Dermaga	339
6.5.1	Fungsi Fender Dermaga.....	339
6.5.2	Tipe Fender	340
6.5.3	Disain Umum Fender	380
6.6	Tiang Dermaga.....	385
6.7	Bolder.....	389
6.8	Desain Umum Dermaga	390

Daftar Pustaka	397
-----------------------------	------------

Bab 1

Pendahuluan

1.1 Sejarah Perkembangan Pelabuhan

Dari penemuan-penemuan *Archaeologists* (hasil survei, penggalian-penggalian dan berdasarkan pada dokumen-dokumen tua), dapat diketahui bahwa sejarah dari perkembangan pelabuhan pada hakekatnya sudah dimulai pada waktu Kekaisaran Romawi, sekitar tahun 3500 SM. Bangunan-bangunan pelabuhan tersebut banyak dijumpai di lautan Tengah, lautan Merah dan teluk Persia.

Dengan adanya pertualangan pelaut-pelaut yang gagah berani seperti Columbus, Drake, Raleigh, Cook, Mangellan dan lain-lain yang memelopori pelayaran dengan menggunakan kapal-kapal besar dengan crew yang besar mengarungi lautan yang luas dari benua ke benua. Keberanian yang dilakukan oleh mereka itu menghapuskan ketakutulan dan ketakutan akan lautan dan daratan diseborang. Selanjutnya yang tadinya pelayaran yang hanya dilakukan dalam jarak dekat yang biasanya hanya sepanjang sungai atau pantai serta dengan kapal-kapal kecil dengan muatan sedikit sudah mulai berganti dengan kapal-kapal yang besar dengan crew yang besar segera berlayar mengangkut penumpang dan barang dari benua ke benua menyebabkan munculnya pelabuhan-pelabuhan modern. Dari hasil-hasil ekspedisi tersebut melahirkan pertumbuhan lalu lintas, perkembangan pembangunan fasilitas-fasilitas pelabuhan seperti dermaga, dibuatkan terusan-terusan dan sebagainya.

Dari hasil penemuan-penemuan tersebut telah membuktikan kepada kita bahwa teknik pembuatan pelabuhan sudah cukup maju dan sudah direncanakan dengan baik sehingga sampai sekarangpun banyak dipakai

dalam perencanaan dan desain konstruksi pelabuhan seperti dalam menentukan letak bangunan penangkis gelombang yang efisien dan efektif. Tapi oleh karena banyak sebab seperti jatuhnya kekaisaran Romawi, bencana alam (gempa bumi, banjir dan sebagainya). Kurangnya perawatan maka, akibatnya banyak bangunan-bangunan pelabuhan yang hancur atau lenyap.

Mulai abad ke XVIII perhatian dalam pekerjaan-pekerjaan pelabuhan muncul kembali berkenaan dengan keinginan dari bangsa-bangsa didunia untuk menjelajah lautan serta pencarian jalur perdagangan dan pencarian tanah-tanah dan daerah baru dalam memperluas imperiumnya. Perluasan koloni oleh kerajaan inggris, Spanyol, Portugis, Belanda dan lainnya, semuanya ini mempunyai andil dalam perkembangan pelabuhan apalagi setelah ditemukannya mesin uap, kapal tidak lagi digerakkan oleh layar tetapi sudah digerakkan oleh mesin uap.

Dari mulai saat itu pekerjaan konstruksi pelabuhan berkembang pesat. Jumlah kapal-kapal bertambah pesat, kebutuhan akan fasilitas untuk kapal yang berlabuh menjadi jelas kelihatan sehingga fasilitas-fasilitas pelabuhan menjadi perlu.

Perkembangan pelabuhan lebih meningkat lagi setelah adanya pelabuhan bebas (*free port, banded ware houses*) yang merupakan indikasi bahwa pelabuhan merupakan suatu unit dalam sistem ekonomi secara keseluruhan dan tidak dapat dipisahkan dengan kondisi ekonomi daerah yang dilayani oleh pelabuhan tersebut. Peningkatan perkembangan perdagangan dunia yang cepat mengakibatkan banyak prasarana harus disesuaikan untuk memberikan pelayanan pelabuhan yang lebih baik yang berakibat pada biaya atau investasi yang besar.

Pelabuhan-pelabuhan di Indonesia pada tahun 1920 ada 500 pelabuhan, tapi sekarang justru berkurang dan sekarang terdapat 336 pelabuhan yang disinggahi oleh kapal-kapal secara regular yang terdiri atas :

- Pelabuhan laut 51 buah,
- Pelabuhan pantai yang terbuka untuk ekspor impor 38 buah.
- Pelabuhan pantai umum 164 buah,
- Pelabuhan Pantai khusus 67 buah,
- Pelabuhan khusus 16 buah

Pada waktu penjajahan Belanda, walaupun bangunan-bangunan pelabuhan berkembang sangat pesat namun hal ini tidak lebih untuk kepentingan penjajah sendiri sehingga bangsa dan rakyat Indonesia sendiri sangat ketinggalan dalam membangun pelabuhan. Baru setelah Indonesia merdeka bangsa dan rakyat Indonesia sudah mulai bisa membuat pelabuhan sendiri,

bahkan saat ini tenaga-tenaga ahli Indonesia banyak membangun pelabuhan tidak saja di negara sendiri. Dan saat ini diseluruh Indonesia terdapat 336 pelabuhan besar dan kecil dengan panjang dermaga (tahun 1993) adalah 55.155 meter. Dari pelabuhan-pelabuhan tersebut hanya 87 pelabuhan yang dikelola oleh PT. Pelabuhan Indonesia I sampai dengan IV.

Pelabuhan Indonesia dibedakan atas beberapa kelas pelabuhan yaitu Kelas I sebanyak 4 pelabuhan, kelas II sebanyak 15 pelabuhan, kelas III sebanyak 21 pelabuhan, kelas IV sebanyak 31 pelabuhan, dan kelas V sebanyak 16 pelabuhan.

PT. Pelabuhan I (Pelindo I) memiliki 19 pelabuhan, Pelindo II 19 pelabuhan, Pelindo III 28 pelabuhan dan Pelindo IV 21 pelabuhan. Pelabuhan-pelabuhan tersebut disinggahi oleh kapal-kapal pelayaran nusantara, pelayaran lokal, kapal samudara dan kapal luar Negeri, serta pelayaran perintis lainnya.

Jadi pada dasarnya Indonesia telah memiliki jaringan perhubungan yang cukup baik bila terurus dengan baik, akan tetapi karena pertumbuhan penduduk, keterbatasan anggaran untuk pengurusan serta mobilitas satuan-satuan ekonomi yang lebih cepat, tepat, selamat, maka sektor perhubungan dianggap sektor yang harus terus dibenahi karena memegang peranan strategis bagi pertumbuhan ekonomi untuk itu pemerintah diharapkan memberi prioritas penting pada sektor perhubungan khususnya perhubungan laut.

Pada saat ini terdapat 4 (empat) pelabuhan utama nasional yaitu Tanjung Priok, Tanjung Perak, Belawan dan Makassar, yang semuanya mengendalikan angkutan barang melalui kontainer untuk ekspor dan impor. Pelabuhan terbesar adalah Tanjung Priok, yang mempunyai total 78 (tujuh puluh delapan) tempat sandar kapal dan 14 (empat belas) untuk kontainer. Jumlah lalu lintas barang di Tanjung Priok adalah 36 (tiga puluh enam) MT, dimana setengah diantaranya merupakan untuk keperluan domestik, dan kapasitas untuk operasi kontainer sebesar 3,6 (tiga koma enam) juta TEUs.

Angkutan barang melalui pelayaran antar pulau jauh melebihi volume angkutan barang internasional. Sementara perkembangan angkutan kargo dunia saat ini sekitar 80% (delapan puluh persen) diangkut menggunakan kontainer, dengan kapasitas kapal terus meningkat dari ukuran 1.500 (seribu lima ratus) TEUs hingga 9.000 (Sembilan ribu) TEUs. Kapal dengan ukuran 9.000 (sembilan ribu) TEUs membutuhkan kedalaman sandar minimal 13 (tiga belas) meter.

Bahkan pada tahun 2013 kapal pengangkut kontainer ukuran 12.000 (dua belas ribu) TEUs diperkirakan akan beroperasi, yang membutuhkan kedalaman sandar minimal 18 (delapan belas) meter.

Agar dapat menampung kebutuhan lalu lintas kargo dan kapal seperti tersebut di atas, Indonesia harus meningkatkan kapasitas pelabuhan nasionalnya, termasuk membangun pelabuhan **hub** internasional.

Gambaran pelabuhan nasional yang ada saat ini berdasarkan Pengaturan Sistem Kepelabuhan Nasional dalam Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional (RTRWN), terdapat 25 (dua puluh lima) Pelabuhan strategis utama, yang mencakup :

- 1) 8 pelabuhan di Sumatera;
- 2) 6 pelabuhan di Jawa/Bali;
- 3) 4 pelabuhan di Kalimantan;
- 4) 3 pelabuhan di Sulawesi;
- 5) 1 pelabuhan di Nusa Tenggara;
- 6) 1 pelabuhan di Maluku;

1.2 Pengertian Pelabuhan

Pelabuhan mula-mula mempunyai arti yang sempit, yaitu suatu perairan yang terlindung sebagai tempat berlabuhnya kapal-kapal dengan aman dengan cara membuang sauh. Disamping itu ada beberapa istilah atau sebutan-sebutan lain seperti:

Harbour, adalah perairan yang terlindung, tempat kapal-kapal berlindung dengan aman (dari gangguan alam) dengan membuang sauh atau mengikat dengan pelampung.

Port, adalah pintu gerbang atau tempat yang mempunyai harbour lengkap dengan petugas bea cukai.

Dock, adalah suatu kolam dengan pintu air tempat dimana kapal membongkar muat atau keperluan perbaikan

Berarti pelabuhan adalah suatu daerah perairan yang tertutup dan juga terlindung dari alam (angin topan, badai) sehingga kapal-kapal dapat berlabuh dengan aman, nyaman dan lancar untuk bongkar muat barang, penumpang, pengisian bahan bakar, perbaikan kapal dan sebagainya.

Pelabuhan dalam arti yang luas adalah merupakan gerbang tempat berpindahnya angkutan darat ke laut, angkutan laut ke darat, arus terminal dari angkutan laut ke laut. Sebagai terminal: harus menyediakan tempat berlabuh, menyediakan tempat menyimpan barang, menyediakan peralatan pengangkatan/pengangkutan.

Selanjutnya menurut peraturan pemerintah nomor 11 tahun 1983, pelabuhan adalah tempat berlabuh dan/atau tempat bertambatnya kapal laut serta kendaraan lainnya, menaikan dan menurunkan penumpang, bongkar muat barang dan hewan serta merupakan daerah lingkungan kerja kegiatan ekonomi.

Dalam perkembangan selanjutnya, pengertian pelabuhan mencakup pengertian sebagai prasarana dan sistem, yaitu pelabuhan adalah suatu lingkungan kerja terdiri dari area daratan dan perairan yang dilengkapi dengan fasilitas tempat berlabuh dan bertambatnya kapal, untuk terselenggaranya bongkar muat serta turun naiknya penumpang, dari suatu moda transportasi laut (kapal) ke moda transportasi lainnya atau sebaliknya.

Klasifikasi Pelabuhan

Selain itu pelabuhan dapat pula diklasifikasikan/dilihat dari berbagai bidang, misalnya dari segi konstruksinya, segi perdagangan, dari jenis muatan yang dibongkar dan dimuat atau dari macam pungutan jasanya. Untuk jelasnya disini kita berikan klasifikasi pelabuhan sebagai berikut:

Klasifikasi menurut Konstruksinya

1. *Pelabuhan alam*; Adalah pelabuhan yang terlindung dari alam (angin topan, badai dan gelombang) tanpa harus dibangun fasilitas bangunan penangkis gelombang. Bentuk pelabuhan termasuk pintu pelabuhan dan lokasi fasilitas navigasi menjamin keamanan dan kenyamanan kapal untuk manuver dan bongkar muat barang, penumpang serta keperluan akomodasi kapal. Pelabuhan alam biasanya berlokasi diteluk, muara pasang surut dan muara sungai. Contoh pelabuhan alam adalah New York, San Fransisco dan Rio de Janeiro. Di Indonesia, pelabuhan-pelabuhan seperti ini misalnya ada di sabang, pelabuhan Benoa.
2. *Pelabuhan Semi Alam*; Adalah pelabuhan yang berada di teluk kecil atau muara sungai yang terlindung pada dua sisi oleh tanjung dan dibutuhkan hanya bangunan pelindung pada pintu masuknya. Hampir sama dengan pelabuhan alam, hanya pada pelabuhan semi alam bentuk *site* pelabuhannya lebih diutamakan. Contohnya pelabuhan Plymounth adalah lokasi pelabuhan alam namun pelabuhan menjadi lebih aman setelah dibangun pemecah gelombang pada pintu masuknya sehingga pelabuhan tersebut menjadi pelabuhan semi alam demikian juga dengan pelabuhan Tanjung Perak di Surabaya, Indonesia.

3. *Pelabuhan buatan*; Adalah pelabuhan yang mempunyai fasilitas bangunan pemecah gelombang untuk melindungi pelabuhan atau kolam pelabuhan dari pengaruh gelombang. Sebagian pelabuhan-pelabuhan di dunia adalah pelabuhan buatan dan di Indonesia contohnya adalah pelabuhan Tanjung Priok Jakarta.

Klasifikasi menurut fungsi/jenis pelayanannya:

1. *Pelabuhan Umum*, diselenggarakan untuk kepentingan masyarakat yang secara teknis dikelola oleh Badan Usaha Pelabuhan (BUP).
2. *Pelabuhan Khusus*, dikelola untuk kepentingan sendiri guna menunjang kegiatan tertentu, baik instansi pemerintah, seperti TNI AL dan Pemda Dati I/Dati II, maupun badan usaha swasta seperti, pelabuhan khusus PT BOGASARI yang digunakan untuk bongkar muat tepung terigu.

Contoh pelabuhan menurut pelayanannya:

- Pelabuhan dagang, hampir semua pelabuhan di Indonesia
- Pelabuhan militer, Ujung Surabaya.
- Pelabuhan ikan, Perigi, Bagan Siapi-api
- Pelabuhan minyak, Dumai, Pangkalan Brandan.
- Pelabuhan Industri, Petrokimia Gresik.
- Pelabuhan turis, Bena Bali
- Pelabuhan untuk menghindari gangguan alam (topan, gelombang) yang biasanya terjadi di Jepang

Kegiatan Pelayarannya

1. *Pelabuhan Samudra*, contoh: Pelabuhan Tanjung Priok
2. *Pelabuhan Nusantara*, contoh: Pelabuhan Banjarmasin.
3. *Pelabuhan Pelayaran Rakyat*, contoh: Pelabuhan Sunda Kelapa, Jakarta.

Perdagangan Luar Negeri

1. *Pelabuhan Ekspor*
2. *Pelabuhan Impor*

Klasifikasi menurut jenis pungutan jasa

1. Pelabuhan yang diusahakan
2. Pelabuhan yang tidak diusahakan

3. Pelabuhan Otonom
4. Pelabuhan bebas

Wilayah Pengawasan Bea Cukai:

1. *Custom port*, adalah wilayah dalam pengawasan bea cukai
2. *Free port*. adalah wilayah pelabuhan yang bebas diluar pengawasan bea cukai.

Peranannya

1. *Transito*, pelabuhan yang mengerjakan kegiatan *transhipment cargo*, seperti Pelabuhan Singapura.
2. *Ferry*, pelabuhan yang mengerjakan kegiatan penyebrangan, seperti Pelabuhan Gilimanuk, pelabuhan Padangbai

1.3 Peranan Transportasi Laut

Peranan transportasi laut bagi Indonesia yang merupakan negara kepulauan yang memiliki 17.508 pulau, sejak dahulu kala sangat penting artinya. Sejarah mencatat kerajaan besar seperti Sriwijaya dan Majapahit tumbuh dan jaya karena didukung oleh armadanya yang kuat. Negara kepulauan yang terdiri dari ribuan pulau dengan tingkat kepadatan penduduk yang cukup tinggi dimana potensi sumber daya alam dan sumber daya manusianya tersebar disegala wilayahnya, dimana perwujudan wawasan nusantara merupakan komitmen nasional, sehingga angkutan laut mempunyai peran yang penting bagi kegiatan sosial ekonomi. Persatuan Indonesia dan kesatuan ekonomi Negara kepulauan ini hanya dapat dipertahankan dan dilestarikan oleh transportasi yang terintegrasi, regular, handal, efisien dan terjangkau. Tanpa itu kita membiarkan Indonesia hanya sebagai kumpulan pulau-pulau yang dipisahkan secara geografis oleh beragam etnik dan suku bangsa.

Kelancaran arus perhubungan akan mempercepat pencapaian sasaran-sasaran pembangunan serta memperkuat persatuan dan kesatuan Bangsa dalam meningkatkan ketahanan nasional dan perwujudan Wawasan Nusantara. Maka untuk itu pemerintah melalui pembangunan Lima Tahun I sampai sekarang telah, sedang dan akan melakukan rehabilitasi dan membangun sarana dan prasarana perhubungan yaitu antara lain mengadakan modernisasi dibidang pengangkutan laut seperti dioperasikannya kapal-kapal kontainer dengan fasilitas-fasilitas lainnya yang serba modern. Dengan demikian dapat diharapkan biaya jasa perhubungan dapat diperkecil karena

peningkatan efisiensi serta keselamatan dapat lebih terjamin. Disamping itu untuk lebih menyeragamkan sistem fungsi pelayanan di pelabuhan, maka pemerintah pada tahun 1984 memperkenalkan sistem empat pintu gerbang (Four Gateway Ports System) yaitu:

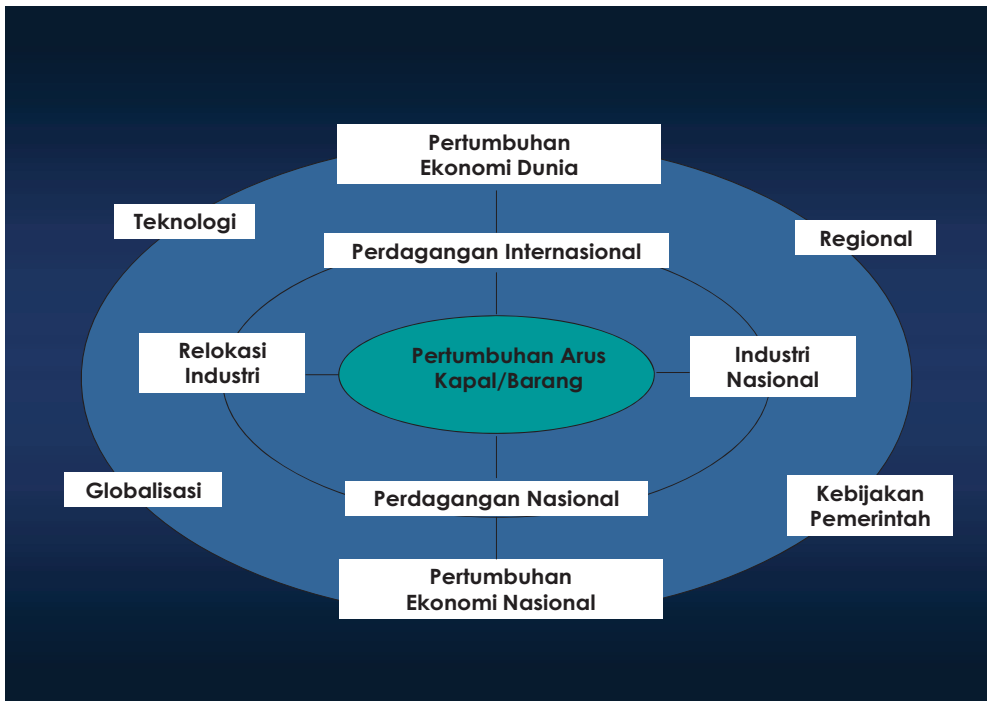
1. Tanjung Priok (Jakarta)
2. Tanjung Perak (Surabaya)
3. Belawan (Medan)
4. Makasar (Ujung Pandang)

Dengan Sistem ini dimaksudkan disamping untuk mengefisienkan bongkar muat di pelabuhan juga dapat digunakan sebagai standar perencanaan dalam mendesain pelabuhan sehingga dapat dihindarkan adanya suatu investasi yang terlalu besar atau terlalu kecil atau fasilitas-fasilitas yang dibangun sesuai dengan fungsi pelabuhan tersebut. Disamping itu untuk menghapuskan mekanisme cara pemeriksaan barang dan pelayanan yang birokratis dan berbelit-belit yang selama ini berlangsung di pelabuhan baik oleh bea cukai maupun instansi lainnya yang mengakibatkan harga barang-barang menjadi tinggi. Pemerintah melalui Inpres No. IV Tahun 1985 dengan segala macam peraturan pelaksanaannya mengatur kembali kebijaksanaan tata laksana operasional pelabuhan untuk kelancaran arus lalu lintas barang antar pulau, ekspor dan impor guna menunjang peningkatan kegiatan ekonomi pada umumnya dan peningkatan ekspor komoditi non migas pada khususnya. Apalagi sekarang ini dalam kondisi krisis ekonomi serta dalam era reformasi, maka mau tidak mau segala bentuk kegiatan yang menghambat, yang membuat biaya tinggi harus dihapuskan atau direformasi.

Sejalan dengan peningkatan kegiatan-kegiatan ekonomi menyebabkan pembangunan fasilitas pelabuhan juga meningkat dengan sangat cepat. Dengan pesatnya pembangunan fasilitas pelabuhan seperti dermaga, pemecah gelombang dan perancangan bangunan pantai untuk pelabuhan, dan fasilitas-fasilitas lainnya dengan menggunakan teknologi yang serba modern, maka hal ini menjadi tantangan bagi para perencana pelabuhan.

1.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Perkembangan Pelabuhan

Perkembangan atau pertumbuhan Pelabuhan disebabkan oleh pertumbuhan arus kapal/barang di dalam suatu Pelabuhan. Banyak faktor yang mempengaruhi pertumbuhan arus kapal/barang di suatu Pelabuhan, seperti peningkatan jumlah penduduk dunia dan pertumbuhan sumber bahan mentah seberang laut dan lain-lain. Faktor-faktor ini dan yang lebih umum lainnya akan dibahas dalam paragraph berikut seperti ditunjukkan dalam Gambar: 1.1.



Gambar 1.1 Faktor-faktor yang mempengaruhi perkembangan pelabuhan

1.4.1 Perdagangan

Peduduk Dunia Membutuhkan sandang, pangan dan tempat tinggal yang layak. Akan tetapi tidak semua Negara didunia diberkati oleh tingkat kesuburan yang sama. Oleh karena akibat kebutuhan yang sama, penyebaran penduduk dunia yang tidak merata mengakibatkan banyak Negara-negara di dunia untuk memenuhi kebutuhan penduduknya mendatangkan barang-barang yang dibutuhkan itu dari Negara-negara lain (import)

Disamping itu banyak juga negara-negara yang kelebihan barang-barang misalnya bahan mentah yang sebagian besar Negara berkembang belum mampu untuk mengolah barang mentah menjadi barang jadi sehingga bagaimanapun harus mengeksport barang-barang mentah tersebut dan mengimport barang-barang yang sudah jadi dan sangat dibutuhkan oleh penduduknya.

Untuk membangun pelabuhan dan fasilitas-fasilitas pelabuhan baik itu membangun pelabuhan-pelabuhan yang baru atau pengembangan pelabuhan-pelabuhan dan fasilitas-fasilitas pelabuhan yang sudah ada. Jumlah penduduk harus benar-benar dipertimbangkan, penambahan penduduk merupakan penambahan untuk permintaan barang-barang dan itu berarti akan menghasilkan penambahan jumlah pelayaran. Sehingga diperlukan penambahan jumlah akomodasi yang harus disediakan seperti luas pelabuhan dan fasilitas-fasilitas pelabuhan supaya kapal-kapal dapat berlabuh dengan aman dan lancar.

1.4.2 Pertumbuhan Industri

Dengan adanya sumber daya yang sangat besar khususnya sumber daya manusianya, serta didukung oleh fasilitas-fasilitas penelitian yang serba modern dan canggih, menyebabkan kelompok industri saat ini menjadi sangat maju dengan pesat.

Dengan sumber daya seperti yang disebutkan diatas menyebabkan kelompok industri dapat menghasilkan barang-barang dengan biaya yang rendah dan dalam jumlah yang besar agar dicapai *economic of scale*. Itu berarti jumlah pelayaran akan meningkat dan juga ukuran kapal-kapal akan lebih besar serta penanganan barang-barang akan meningkat sehingga dibutuhkan fasilitas-fasilitas untuk mengantisipasi perkembangan industri tersebut. Disamping itu persaingan diantara produk yang sama akan terjadi untuk sama-sama merebut pasar.

Hanya dengan biaya transport yang relatif murah akan mendorong produksi bersekala besar pada suatu daerah tertentu, agar barang yang dipasarkan dapat dihasilkan secara ekonomis. Apabila biaya transportasi lebih murah akan mengakibatkan biaya produksi lebih rendah dan harga produk lebih rendah, sehingga menambah daya saing produk dan memperluas lokasi daerah pemasaran. Hal-hal tersebut mendorong pemerintah suatu Negara untuk berlomba-lomba menyediakan angkutan yang murah dan terjangkau agar produksi didalam negerinya sendiri dapat bersaing dipasaran internasional. Tidak terkecuali Negara-negara yang hanya mempunyai bahan mentah termasuk Indonesia berlomba-lomba membangun fasilitas-

fasilitas pelabuhannya agar dapat menjual hasil buminya dipasaran internasional.

Hubungan antara biaya produksi di dalam negeri dengan harga penawaran diluar negeri yang meliputi harga produk ditambah biaya transportasi, akan menentukan apakah suatu barang akan diekspor, diimport atau dipasarkan didalam negeri sendiri. Indonesia saat ini yang sedang gencar-gencarnya melaksanakan ekspor khususnya non migas, apalagi dalam era globalisasi dan perdagangan bebas yang sebentar lagi akan diberlakukan, maka mau tidak mau Indonesia harus meningkatkan fasilitas-fasilitas pelabuhannya karena dalam fenomena tersebut akan mempengaruhi dermaga untuk kapal-kapal dan selanjutnya fasilitas-fasilitas pelabuhan dalam bentuk bangunan-bangunan fisik seperti dermaga, gudang, alur pelayaran, kolam pelabuhan dan sebagainya.

1.4.3 Pertumbuhan Industri Minyak

Mungkin tak ada satupun komoditi yang berpengaruh begitu luar biasa terhadap perkembangan pelayaran di dunia dan fasilitas-fasilitas pelabuhan selain industri minyak. Perluasan dalam industri ini telah menyebabkan perubahan besar dalam ukuran kapal dan terutama sekali dalam pekerjaan-pekerjaan bangunan teknik sipil menyangkut desain konstruksi pelabuhan yang telah menghasilkan perkembangan yang luar biasa tidak saja dalam pembangunan konstruksi lepas pantai tapi juga pembangunan fasilitas-fasilitas dipantai (di darat)

Indonesia merupakan salah satu Negara di dunia sebagai pengeksport sekaligus pengimpor minyak dunia. Eksportir minyak dunia yang kira-kira 85% dari semua produksi dunia datangny dari dua tempat yaitu Timur Tengah dan Amerika Latin. Sedangkan Amerika Serikat sebagai importer terbesar dunia, walaupun cadangan minyaknya justru yang terbesar saat ini. Bangunan-bangunan fasilitas pelabuhan untuk mendukung industri minyak akan banyak kita jumpai di Negara-negara tersebut termasuk Indonesia sebagai salah satu Negara pengeksport minyak serta banyak bangunan-bangunan di daerah-daerah yang tumbuh pesat untuk melayani dan memperlancar distribusi bahan bakar minyak yang sangat dibutuhkan oleh penduduknya yang tersebar di 1.708 buah pulau-pulaunya.

1.4.4 Perkembangan Pelabuhan-pelabuhan Khusus

Pelabuhan khusus adalah salah satu pelabuhan yang dibangun dengan fasilitas-fasilitas khusus untuk menangani bongkar muat barang yang khusus diperuntukkan untuk itu agar bongkar muat barang lebih efisien. Seperti misalnya untuk barang-barang cair yang diangkut dengan kapal-kapal tangker dan curah, seperti gula, pupuk, semen, batu bara. Semua barang-barang tersebut harus menggunakan peralatan-peralatan khusus untuk bongkar muatnya, sehingga membutuhkan fasilitas-fasilitas yang khusus juga, termasuk fasilitas-fasilitas gudangnya. Disamping itu juga harus menyediakan area yang luas untuk menampung barang-barang tersebut. Pelabuhan-pelabuhan khusus di Indonesia seperti Pelabuhan Petrokimia Gresik, Pelabuhan Ikan, Pelabuhan Batubara Paiton, Suralaya dan banyak lagi pelabuhan-pelabuhan khusus lainnya.

1.4.5 Modernisasi Pelabuhan

Modernisasi dan rehabilitasi pelabuhan sangat berpengaruh terhadap perkembangan pembangunan pelabuhan. Seperti misalnya modernisasi penanganan muatan peti kemas menyebabkan rehabilitasi serta modernisasi fasilitas-fasilitas pelabuhan yang telah ada dengan pembangunan yang baru maupun peluasan terminal-terminal peti kemas serta peralatan-peralatan modern yang juga mau tidak mau dalam pembangunan bangunan-bangunan fisiknya harus mengikuti persyaratan yang dibutuhkan seperti beban-beban yang diperhitungkan.

Modernisasi dan Rehabilitasi Sebelum Perang Dunia II sangat sedikit sekali pembangunan yang dilakukan dalam bidang konstruksi bangunan. Baru setelah berakhirnya perang dunia II banyak pekerjaan pembangunan konstruksi pelabuhan yang dilakukan, hal ini disebabkan karena banyak fasilitas-fasilitas pelabuhan yang rusak atau hancur akibat perang. Program utama yang perlu dilakukan adalah membangun pelabuhan-pelabuhan dalam bentuk yang baru, modernisasi pelabuhan-pelabuhan akibat meningkatnya muatan serta permintaan akan pelayanan yang cepat dan sudah barang tentu termasuk rehabilitasi pelabuhan-pelabuhan yang rusak akibat perang.

Disini perkembangan pembangunan pelabuhan dibagi menjadi dua kategori yaitu untuk fasilitas *general cargo* dan untuk fasilitas barang-barang khusus, masing-masing dibagi lagi menjadi dua kelompok yaitu pembangunan konstruksi yang baru yang kedua modernisasi dan rehabilitasi. Fasilitas

untuk *general cargo* meliputi dermaga dan termasuk juga peralatan bongkar muat. Fasilitas-fasilitas untuk pelabuhan khusus meliputi terminal curah, elevator dan kontruksi-kontruksi khusus guna menangani barang-barang tersebut seperti fasilitas-fasilitas untuk barang-barang kontainer atau terminal-terminal untuk sistem bongkar muat. Metode penanganan barang diperlihatkan pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Perkembangan barang melintasi Samudra Atlantik

Katagori barang curah (break-bulk)	Bentuk atau kemasan	Methodhe penanganan barang
1. <i>Bagged goods</i>	Tidak berbentuk (<i>undefined shape</i>)	Ikatan, pallet
2. <i>Normal break-bulk</i>	Peti, boxe, drum	Ikatan, mengaitkan, pallet
3. <i>Neo-bulk</i>	Baja plat, kawat dan batangan, kayu dan kayu gelondongan, kertas	Ikatan dan mengaitkan, <i>cassettes</i>

Sumber: (H.Ligteringen and H.Velsink 2012)

Metode penanganan barang Banyak terjadi perubahan-perubahan dalam bongkar muat barang dipelabuhan sehingga menjadi lebih lancar dan ekonomis. Dengan menggunakan sistem kesatuan (*unit load system atau unitization*) yaitu sejumlah muatan berukuran kecil digabung menjadi satu kesatuan dan dapat dikerjakan bongkar muatnya dengan satu kesatuan dengan ukuran tertentu sehingga dapat menyederhanakan proses bongkar muat dengan menghilangkan pekerjaan bongkar muat koli-koli kecil sehingga dapat mengurangi biaya transportasi secara menyeluruh. Metode-metode yang biasa digunakan seperti:

- Pengikatan muatan (*pre-slinging*)
- Penggunaan *pallet*
- Kontainerisasi
- Penggunaan kapal-kapal Ro-Ro (*roll-on /roll-off*)

Unitisasi muatan meliputi berbagai cara agar sejumlah muatan berukuran kecil digabung jadi satu kesatuan dan dapat dikerjakan (bongkar/muat) sebagai satu kesatuan pallet dan/atau peti kemas dengan demikian merupakan kapal guna ganda (*multi purpose vessels*). Muatan yang diikat menjadi kesatuan (*Preslung Cargo*) tidak memerlukan kapal-kapal khusus dan dapat diangkut dalam kapal-kapal *Break bulk*.

Untuk muatan diatas pallet yang diangkut dengan kapal-kapal Break-bulk usaha untuk mempertinggi kecepatan bongkar/muat dicapai dengan cara

bongkar/muat melalui pintu lambung (*side-port loading*) dengan penggunaan forklift di dalam palka. Dibandingkan dengan angkutan break-bulk bisa dihasilkan penghematan dalam biaya angkutan apabila muatan dijadikan kesatuan. Walaupun unitisasi dapat memberikan penghematan dalam tiap mata rantai angkutan *intermodal*, namun untuk mengetahui sepenuhnya tentang biaya dan keuntungan, hal ini hanya bisa didapatkan apabila biaya keseluruhan dari pintu ke pintu (*door to door*) dengan menggunakan berbagai cara unitisasi.

Dalam mata rantai kegiatan-kegiatan dari pintu dermaga pelabuhan, penghematan disebabkan karena muatan kesatuan dapat dimuat/dibongkar dengan cepat dan murah dibandingkan dengan muatan *break-bulk*. Apabila volume muatan dapat dijadikan kesatuan-kesatuan besar, maka penghematan dalam biaya bongkar/muat serta kapasitas ruang angkut menjadi efektif (*revenue-earning cubic capacity*), akibatnya biaya transport secara keseluruhan dapat menurun.

Walaupun unitisasi dapat meredusir biaya bongkar/muat barang, perlu ditekankan bahwa penghematan yang diciptakan oleh sistem unitisasi sangat peka terhadap sifat dan volume pada muatan dari suatu trayek. Tingkatan sampai batas mana *enomic vasility* dari pelbagai metode: apabila metode yang dipakai sangat khusus dengan demikian kurang “*versatility*”nya, maka lebih banyak biaya akan mempengaruhi struktur perdagangan.

Modernisasi alat bongkar muat kapal merupakan suatu komponen penunjang dalam proses dan waktu bongkar muat dari kapal ke darat atau sebaliknya. Dengan pemakaian alat bantu bongkar muat yang sesuai dengan jenis barang yang akan dibongkar atau dimuat akan lebih efektif dan efisien. Alat bantu bongkar muat dibagi dalam 2 (dua) kelompok, yaitu:

- A. Alat bantu bongkar muat pada kapal
- B. Alat bantu bongkar muat di pelabuhan (darat)

Alat bantu bongkar muat pada kapal. Dalam proses bongkar muat, kapal dilengkapi dengan beberapa alat yang berfungsi untuk membantu dalam pekerjaannya. Alat-alat ini berfungsi untuk mempermudah kegiatan bongkar bongkar muat, dan juga untuk menjamin keselamatan dari barang yang diangkut seperti ditunjukkan pada Gambar 1.2 dan Gambar 1.3.



Gambar 1.2 Alat bantu bongkar muat pada kapal (Eastern Bridge) di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya, Indonesia



Gambar 1.3 Penanganan bongkar muat Peti Kemas dengan menggunakan alat bantu bongkar muat pada kapal di pelabuhan Tanjung Perak Surabaya, Indonesia. (Kuih lapangan, 13-14 Maret 2009)

Alat bantu bongkar muat di darat, yang biasa digunakan adalah portainer seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.4



Gambar 1.4 Penanganan bongkar muat dengan alat bantu bongkar di darat pada pelabuhan Tanjung Perak Surabaya, Indonesia. jenis Transtainer.

Modernisasi prosedur kepabeanan Pertumbuhan transportasi laut baik antar benua maupun dalam benua terus meningkat dari sebelumnya karena transportasi laut kian hari kian menarik seperti diperlihatkan pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Pertumbuhan angkutan kargo melalui transportasi laut (juta ton)

<i>Tahun</i>	<i>Minyak dan Gas</i>	<i>Curah</i>	<i>Kargo kering lainnya</i>	<i>Total (semua kargo)</i>
1970	1.440	448	717	2.605
1980	1.871	608	1.225	3.704
1990	1.755	988	1.265	4.008
2000	2.163	1.295	2.526	5.984
2005	2.422	1.709	2.978	7.109
2006	2.698	1.814	3.188	7.700
2007	2.747	1.953	3.334	8.034
2008	2.742	2.065	3.422	8.229
2009	2.642	2.085	3.131	7.858
2010	2.772	2.335	3.302	8.409
2011	2.794	2.486	3.505	8.784
2012	2.836	2.665	3.664	9.165

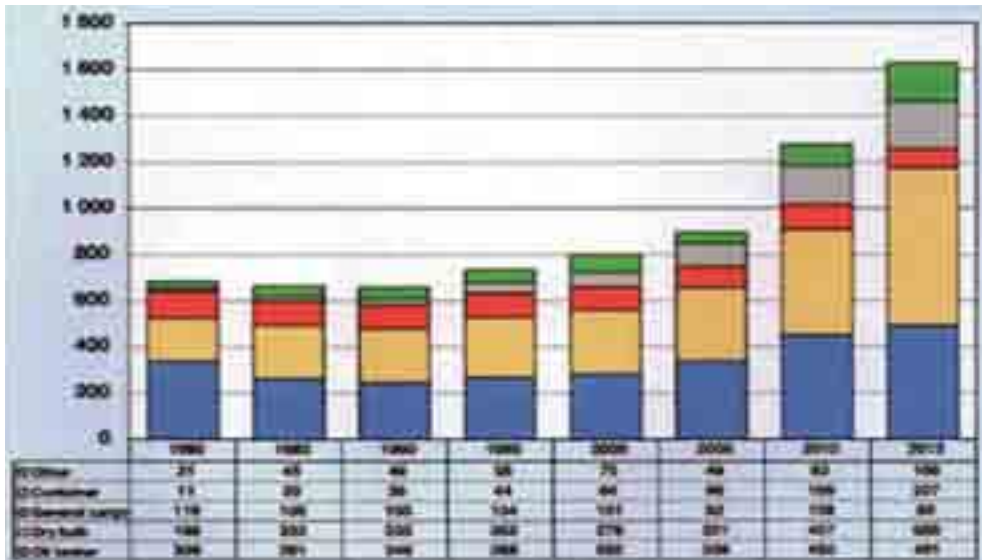
Sumber: (UNCTAD 2013)

Akhir-akhir ini, ketika semakin banyak penekanan diletakkan pada pengurangan waktu penyelesaian bongkar muat di pelabuhan atau populer disebut *dwelling time*, pelabuhan terus menerus melakukan modernisasi seperti prosedur kepabeanan dapat dipersingkat dengan diterapkannya teknologi modern *Electronic Data Interchange (EDI)* dan *Smart Card* menyebabkan prosedur pemeriksaan menjadi lebih pendek. Keandalan hubungan antara laut dan transportasi darat menjadi lebih baik dengan rute dan jadwal tetap dan sebagian besar pelabuhan Negara-negara di dunia lebih 'berorientasi bisnis' yang menyediakan layanan yang lebih cepat dan lebih dapat diandalkan

1.4.6 Perkembangan Armada Dunia

Tahun 2012 merupakan siklus pergantian atau peremajaan kapal dalam Gross Tonnage terbesar yang tercatat dalam sejarah. Setiap tahun antara tahun 2001 sampai dengan tahun 2011, tahun demi tahun, pengiriman kapal-kapal baru mencapai tertinggi. Bahkan setelah krisis ekonomi tahun 2008, pengiriman setiap tahun dalam DWT (*dead-weight tonnage*) tiga tahun sejak krisis terus meningkat karena sebagian besar pemesanan dilakukan sebelum krisis. Hanya pada tahun 2012, untuk pertama kalinya sejak tahun 2001, armada yang masuk ke dalam layanan kurang dari tahun sebelumnya seperti ditunjukkan pada Gambar 1.5.

Seperti telah diterangkan di depan, kapal-kapal niaga dibuat semakin besar dengan kecepatan juga ditingkatkan agar dicapai skala ekonomi (*economics of scale*). Hal ini menyebabkan biaya investasi kapal-kapal bertambah besar sehingga dibutuhkan peningkatan efisiensi dalam operasionalnya agar keuntungan yang diharapkan dapat dicapai.



Gambar 1.5 Jenis Armada Kapal, 1980 – 2013 (juta DWT)

Sumber: (UNCTAD 2013)

Kapal konvensional (*Break-bulk* atau *Conventional General Cargo*)

Break bulk didefinisikan sebagai semua jenis dari box, peti kayu, kantong, karung, drum, spare-part mesin, pendingin seperti untuk buah-buahan, daging dan sebagainya. Biasanya *break bulk cargo* diangkut oleh salah satu dari tiga tipe kapal *break bulk* yaitu: kapal barang umum konvensional, kapal serba guna, dan kapal-kapal pendingin.

Kapal barang umum

Kapal barang umum dapat mengangkut semua jenis dari *break-bulk cargo*. Berat dari masing-masing muatan (daya angkat) adalah terbatas sesuai dengan maksimum kapasitas angkat *shore based crane* atau Derek kapal. Setiap muatan di tangani terpisah atau kadang-kadang dirakit dari item-item kecil. Sistem *cassette* relatif baru, dan dirancang untuk mengefisienkan penanganan barang yang digulung seperti kertas.

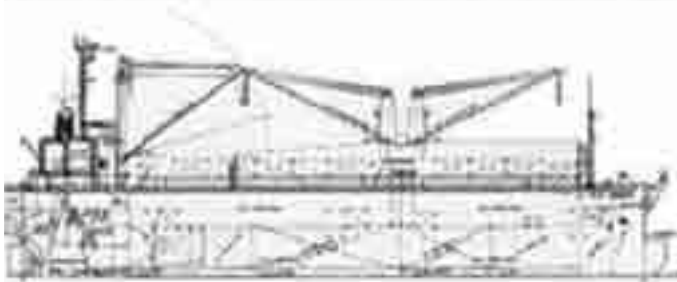
Kapal barang umum adalah pola dasar dari kapal barang. Semua kapal barang yang baru, kapal-kapal khusus berasal dari kapal barang umum.

Kapasitas kapal general cargo konvensional biasanya antara 5000 sampai dengan 25000 t. Mempunyai empat sampai lima ruang penyimpanan (ruangan untuk penyimpanan muatan dibawah dek) dan biasanya satu atau dua yang sejajar sepanjang kapal. Hal ini dibuat untuk memungkinkan pengaturan muatan sedemikian rupa agar dapat didistribusikan rata diatas

kapal dan/atau untuk membongkar sejumlah tertentu muatan dalam suatu pelabuhan tertentu tanpa mengganggu muatan lainnya.

Kapal-kapal *general cargo* yang lama dapat dengan mudah dikenali dengan melihat banyaknya Derek (*ship's crane*) yang ditempatkan pada deck. Draft kapal biasanya kecil antara 7,5 sampai kira-kira 10 meter yang memungkinkan kapal, bahkan yang lebih kecil untuk singgah di pelabuhan belahan Dunia. Contoh kapal kargo umum ditunjukkan pada Gambar 1.6.

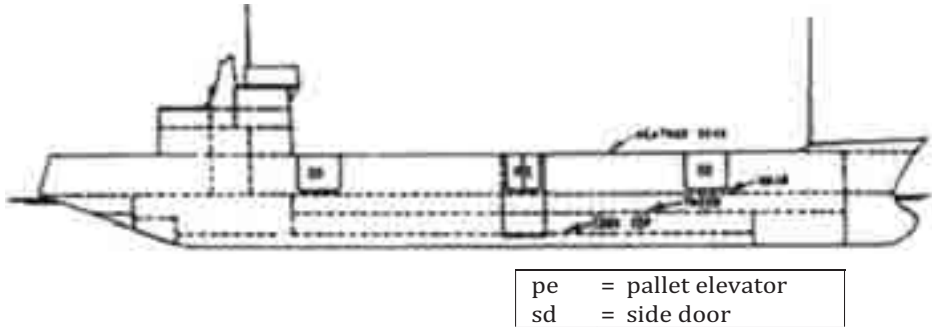
Akhir-akhir ini, ketika semakin banyak penekanan diletakkan pada pengurangan waktu penyelesaian (*tambat*) kapal atau populer disebut *dwelling time*, beberapa perkembangan baru terjadi dalam rancangan kapal, seperti dalam metode penanganan muatan dari kapal-kapal *general cargo*: Membuka lubang-lubang (lubang palka/*hatches*) menjadi lebih lebar dan ditempatkan dalam satu garis vertikal untuk memudahkan perpindahan muatan secara vertikal. Bahkan mungkin untuk alat bongkar muat yang kecil, seperti forklift trucks dapat masuk kedalam lubang palka. Tujuannya



Panjang Kapal (L_{OA})	: 113.22 m
Panjang Kapal Muat/Saat Penuh (L_{BP})	: 105.40 m
Lebar (B_s)	: 19.60 m
Draft	: 7.29 m
Kapasitas/Daya Muat (DWT)	: 8,739 t
Kecepatan Maximum	: 13.30 knots

Gambar 1.6 Kapal *general cargo*. Sumber:(H.Ligteringen and H.Velsink 2012)

- a. untuk mencapai gerakan dari penghalang muatan yang juga menjadi alasan mengapa dewasa ini sebagian besar ruang kemudi kapal-kapal general cargo ditempatkan dibagian belakang kapal (buritan) bukannya ditengah kapal.
- b. Penanganan pemuatan horizontal sepanjang sisi pelabuhan (lihat Gambar 1.7)
- c. Pengembangan *Unit Load Concept* (ULC), dari pallet menuju ke bentuk unitisasi seperti *cassettes for paper*.



Gambar 1.7 Penanganan barang horisontal melalui sisi pintu bongkar muat
Sumber:(H.Ligteringen and H.Velsink 2012)

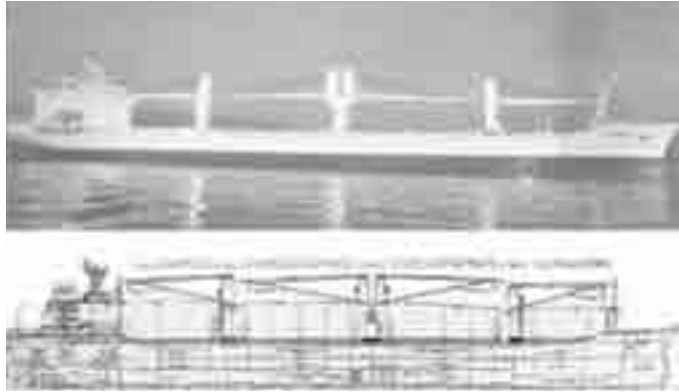
Kapal serbaguna (*multipurpose ship*)

Kapal serbaguna, sebenarnya sebuah kapal kargo umum, mampu mengangkut hampir setiap bagian kargo, mulai dari kotak kecil untuk kontainer atau bahkan sebuah truk. Desain yang dibuat dalam beberapa tahun terakhir juga menunjukkan kapasitas yang terbatas untuk membawa kargo curah, baik cair (minyak, produk kimia), atau curah kering (biji-bijian, biji, dll) dan didinginkan dalam kargo. Contoh dari kapal serbaguna ditunjukkan pada Gambar 1.8.

Kapal serbaguna terutama diarahkan untuk pelabuhan yang kurang berkembang, kapal memiliki peralatan angkat berat di dek. Kapal serbaguna dapat dengan mudah dikenali berdasarkan

- a. Bentuk yang kuat dengan peralatan angkat berat di dek kapal
- b. Tutup lobang di geladak kapal dibangun sedemikian rupa agar dapat menahan beban dari kargo yang berat atau kuat menahan kontainer yang ditempatkan di atasnya.
- c. Pendorong haluan kapal dan haluan kapal yang bulat

Pemuatan dari sisi pelabuhan untuk penanganan kargo horisontal.



Panjang Kapal (L_{OA})	: 169.69 m
Panjang Kapal Muat/Saat Penuh (L_{BP})	: 162.50 m
Lebar (B_s)	: 27.50 m
Draf	: 9.32 m
Kapasitas/Daya Muat (DWT)	: 22,271 t
Kecepatan Maximum	: 16.20 knots

Gambar 1.8 Kapal Serbaguna, Sumber:(H.Ligteringen and H.Velsink 2012)

Kapal Refrigerated general cargo (reefer)

Kapal kargo umum ini hanya digunakan untuk transportasi buah, daging, atau komoditas lainnya yang mudah, yang disimpan pada suhu antara 30° C dan 12° C.

Reefer berbeda dengan kapal konvensional kargo umum dengan fitur berikut:

- kapal biasanya dicat putih
- kecepatannya lebih tinggi biasanya antara 18-25 knots
- terlihat cukup elegan dan cepat; penampilan yang efisien

Dalam beberapa tahun terakhir, kapal kontainer menyediakan slot untuk *peti kemas berpendingin*. Kapal ini tidak dimaksudkan untuk menggantikan kapal khusus seperti *reefer*. contoh diberikan dalam Gambar 1.9.



Gambar 1.9 Peti kemas (container) ukuran 40 feet frozen freeze di Pelabuhan Benoa, Bali.

Kapal Kontainer/Kapal Peti Kemas (*Container Vessels*)

Setelah perang Dunia kedua, perdagangan dunia dengan menggunakan transportasi laut meningkat tajam hingga terjadi kongesti dan waktu tunggu yang panjang di daerah pelabuhan, meskipun sudah dilakukan pengenalan ULC dalam penanganan *break-bulk cargo*. Kemudian diperkenalkan kontainer dalam ukuran standar untuk muatan dari truk dan kereta api. Tahap peralihan transportasi laut menuju container kelihatannya sederhana, padahal awalnya menghadapi penolakan yang keras, terutama oleh kekuatan serikat buruh pelabuhan walaupun hal ini justru mengurangi waktu perputaran dan waktu tunggu di pelabuhan secara substansial tapi justru dianggap merugikan buruh. Setelah 45 tahun pelayaran kontainer, sekarang telah menyebar ke seluruh dunia, mengambil alih sebagian besar muatan untuk perdagangan dunia.

Dimensi peti kemas/kontainer pertama adalah 80 ft x 8 ft x 20 ft (2,44 x 2,44 x 6,10 m). Oleh karena itu kapasitas dari dimensi atau terminal peti kemas masih diekspresikan dalam *Twenty Feet Equivalent Units (TEU)*. Dewasa ini disamping twenty feet juga digunakan peti kemas dengan dimensi forty feet dan ukuran panjang, lebar dan tinggi lainnya juga sudah digunakan.

Peningkatan produktivitas ini sebagian disebabkan oleh kenyataan bahwa beberapa bagian barang dikemas dalam satu wadah, yang dapat ditangani dalam satu lift, dan sebagian karena penggunaan *twist* yang saling mengunci selama bongkar muat dan saat diatas trailer atau transportasi (Gambar 1.10). Kunci twist dipasang pada pembentang, dimasukkan ke dalam empat sudut atas wadah dan diikat secara otomatis dalam hitungan detik. Pada truk atau kereta api keempat sudut tersebut juga diikat oleh kunci twist.

Kapal kontainer “generasi pertama” merupakan kapal kargo umum, kemudian dikonversi untuk membawa kontainer. Sejak itu beberapa kelas kapal kontainer telah dibangun dengan peningkatan dimensi dan kapasitas. (lihat Tabel 1.3)

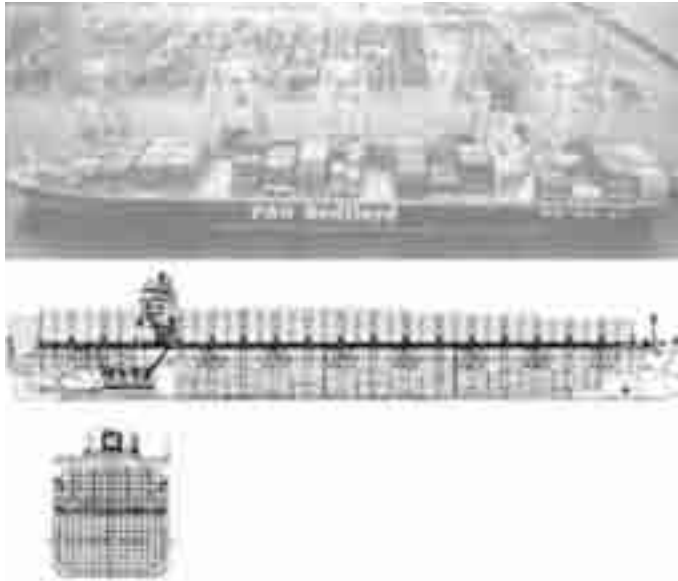
Tabel 1.3 Karakteristik kapal kontainer

Class	TEU capacity	DWT (average)	L (m)	D (m)	B (m)
Generasi pertama	750 – 1100	14,000	180-200	9	27
Generasi kedua	1500 – 1800	30,000	225-240	11.5	30
Generasi ketiga	2400 – 3000	45,000	275-300	12.5	32
Generasi keempat	4000 – 4500	57,000	290-310	12.5	32.3
Pasca Panamax	4300 – 5000	54,000	270-300	12	38-40
Super Pasca Panamax atau Jumbo	6000 – 9000	90,000	310-350	14	43
Kapal Super besar (<i>Ultra Large Container Ship / ULCS</i>)	14000	157,000	400	15.5	56

Sumber (*H.Ligteringen and H.Velsink 2012*):

Poin-poin yang menjadi perhatian dalam Tabel 1.4 adalah sebagai berikut:

- (i) generasi kedua dan selanjutnya kapal dirancang untuk hanya membawa kontainer, yang disebut kapal kontainer. Box-box itu ditempatkan di bawah dek, dibagi ke dalam petak dengan menggunakan rel vertikal, kontainer diturunkan ke dalam dan diangkat keluar dari dek. Di dek kontainer yang diatur dalam baris sejajar dengan sumbu kapal dan diamankan dengan sistem ikatan.
- (ii) hingga generasi ke-4 lebar kapal masih terbatas sampai 32,3 m, yang memungkinkan kapal-kapal tersebut melewati terusan Panama. Lalu lintas ekonomi antara pantai Timur-Barat Amerika Serikat masih tinggi (dan strategi militer) penting. Pada tahun delapan puluhan perdagangan Asia-arah barat dan Pasifik menjadi lebih dominan, dan jalur pelayaran membuat Panama memahami kalau kapal ini tidak bisa melewati terusan Panama.
- (iii) pada tahun 1996 ukuran kapal terjadi lompatan ke Super Pasca Panamax atau Jumbo (lihat Gambar 1.16). Hal ini menunjukkan pertumbuhan tidak hanya membutuhkan kedalaman yang lebih, tetapi juga mengarah pada crane yang lebih tinggi, dengan lengan yang panjang.
- (iv) Pada tahun 2006 lompatan lain dibuat oleh Emma Maesk untuk armada perusahaan pelayaran ini. Kapal ini secara resmi terdaftar memiliki kapasitas 12.500 TEU, tapi dari dimensi (dari perkiraan draf) dapat ditarik kesimpulan menjadi di atas 14.000 TEU.
- (v) Awal 2011 Maersk Lines telah memesan 50 kapal baru dengan kapasitas 18.000 TEU, $L_{OA} = 400$ m, $B_S = 58$ m dan $D = 15,0$ m. Kecenderungan lain dalam desain kapal kontainer adalah diperkenalkan oleh Nedlloyd (sekarang Maersk), dari lubang palka tanpa penutup dengan panduan sel penuh dan tinggi (termasuk 4 tingkat di atas dek kapal).



Panjang Kapal (L_{OA})	: 299.00 m
Panjang Kapal Muat/Saat Penuh (L_{BP})	: 283.80 m
Lebar (B_s)	: 42.80 m
Draf	: 13.50 m
Kapasitas/Daya Muat (DWT)	: 83,826 t
Kecepatan Maximum	: 24.50 knots

Gambar 1.10 Kapal kontainer Jumbo 'P&O Nedlloyd Southampton'

Pada periode awal kontinerisasi beberapa kapal membawa peralatan mereka sendiri untuk menangani bongkar muat. Ini adalah *shiptainer*, gantry crane di dalam kapal, mampu bergerak diatas rel sepanjang buritan kapal. Dalam kapal baru-konstruksi bangunan ini sudah tidak dipraktekan lagi, hal ini disebabkan karena sebagian besar pelabuhan memiliki peralatan bongkar muat (*portainers*)

Kapal Ro / Ro

Tipe lain dari unitisasi kargo, seperti dikembangkan di transportasi jalan, adalah *trailer*. Mereka juga dikenal sebagai kontainer benua, tetapi memiliki dua perbedaan penting dengan kontainer laut: mereka tidak cocok membawa muatan selain kontainer dan mereka tidak dapat diangkat (tidak ada pegangan sudut). Sementara kontainer laut kadang-kadang disebut sebagai *Lo / Lo cargo* (*lift on / lift off*), pengangkutan trailer dan truk dikenal sebagai *Ro / Ro* (*roll on / roll off*). Dalam kebanyakan kasus sasis saja yang diangkut dari luar negeri tanpa truk. Gerakan ke dan dari kapal dilakukan dengan menggunakan halaman khusus. Di beberapa terminal

kombinasi pemasukan truk-trailer seluruhnya dilakukan di atas kapal.

Kapal Ro / Ro oleh karena hampir sama dengan feri: mereka harus memiliki fasilitas untuk mendorong kargo dan menghentikan kapal. Berlawanan dengan feri, yang biasanya berlayar pada rute pendek saja, jenis kapal ini melayani rute yang longgar.

Jenis kapal Ro / Ro pertama umumnya memiliki jalan di buritan kapal. Ketika di dalam kapal kemudian ditarik ke posisi vertikal dan di pelabuhan kemudian diturunkan ke dermaga. Kerugian dari jenis *ramp* ini adalah, dibutuhkan tempat khusus di pelabuhan atau bahkan diperlukan konstruksi dermaga khusus (lihat Gambar 1.11 dan 1.12). Manuver dengan trailer panjang mungkin akan sulit, karena banyak ruang yang diperlukan dan tidak selalu tersedia. Sedangkan masalah dengan perbedaan pasang/surut dapat diselesaikan dengan menggunakan ponton antara kapal dan dermaga.

Untuk mencapai fleksibilitas lebih tinggi dalam alokasi dermaga di pelabuhan, kapal Ro / Ro kemudian dilengkapi dengan *quarter ramp*, yang membuat sudut dengan sumbu kapal dan memungkinkan kapal untuk berlabuh di setiap bagian dari dermaga lurus (lihat Gambar 1.13).

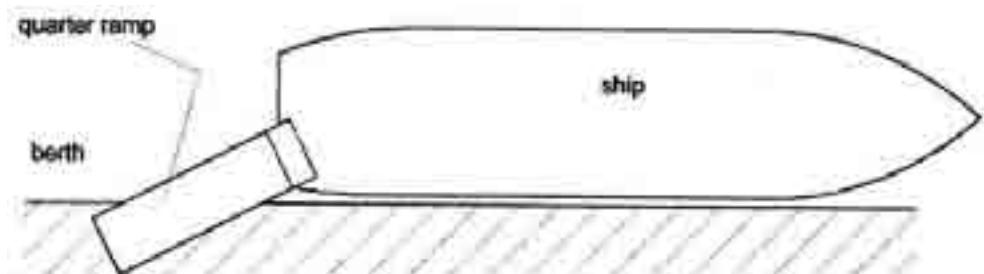
Daya dukung kapal Ro / Ro biasanya dinyatakan dalam panjang jalur, total panjang jalur di mana kargo Ro / Ro ditempatkan di atas geladak yang berbeda dari kapal (lebar standar 2,50 m).



Gambar 1.11 Kapal Ro/Ro

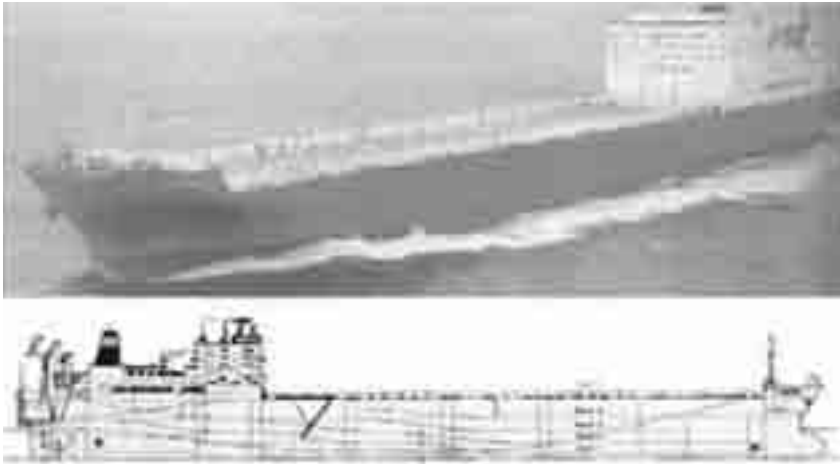


Gambar 1.12 Konstruksi Dermaga khusus



Gambar 1.13 Quarter ramp

Berbagai desain kapal ada yang menggabungkan fasilitas Ro / Ro dengan tempat untuk kontainer laut, yang terakhir biasanya di dek. Contoh dari kapal Ro/Ro kontainer ditunjukkan pada Gambar 1.14.



Panjang Kapal (L_{OA})	: 153.62 m
Panjang Kapal Muat/Saat Penuh (L_{BP})	: 142.80 m
Lebar (B_s)	: 21.40 m
Draf	: 6.975 m
Kapasitas/Daya Muat (DWT)	: 5,445 t
Kecepatan Maximum	: 24.971 knots

Gambar 1.14 Kapal Ro/Ro container 'Taronga'

Kapal angkutan tongkang

Kapal-kapal besar untuk mengangkut tongkang atau container kembang telah mulai beroperasi sejak tahun 1969. Dari sistem angkutan tongkang (Barge Carrying System) yang telah dikembangkan terdapat beberapa system yaitu

- Sistem LASH (*Lighter Aboard Ship*) yang dikembangkan oleh LASH Inc. dari New Orleans USA adalah contoh dari integrasi laut dan angkutan tongkang.
- Sistem Seabee dirancang oleh JJ Henry co.Inc. dari New York, USA
- Sistem BACAT (Barge Aboard Catamaran) dirancang oleh Frederikshan Shipyard dan G.Drocse, Denmark

Sistem terakhir ini dirancang khusus untuk kapal-kapal kecil guna memenuhi kebutuhan angkutan tongkang pada trayek-trayek pendek dengan kapal-kapal yang harganya relative murah.

Pemesanan kapal-kapal sejak tahun 1967 dan tipe LASH pertama adalah kapal Arcadia Forest yang telah dioperasikan pada tahun 1969 oleh Central Gulf SS. Corp. New Orleans USA untuk trayek US –Inggris dan Eropa barat, berikut salah satu kapal LASH seperti ditunjukkan pada Gambar 1.15.



Gambar 1.15 Kapal Lash 'Arcadia Forest'

Kapal pertama telah disusul oleh kapal-kapal tipe LASH lainnya. Kapal-kapal ini dapat mengangkut 83 tongkang yaitu 49 di ruang palka dan 34 di atas dek. Tiap tongkang memiliki ukuran 18,8 x 9,5 x 4,4 m dengan bobot 93 ton. Tongkang-tongkang diangkat dan diturunkan melalui bagian belakang kapal menggunakan *gantry crane* yang dapat berpindah-pindah dengan kapasitas angkat 500 ton.

Pada dasarnya tipe Seabee adalah sama dengan tipe "LASH". Kapal yang dioperasikan pertama kali pada bulan Agustus 1972. Tongkang-tongkang dimuat/diturunkan pada bagian belakang dengan menggunakan alat angkat elevator yang menggantikan "LASH Gantry Crane".

Platform dari elevator berukuran 31,8 x 32 m dalam arah memanjang. Tongkang-tongkang ditempatkan dibawah geladak berukuran 29,8 x 10,7 dengan kapasitas tongkang 40.000 cft, jadi lebih besar dari tongkang-tongkang LASH. Dalam keadaan penuh kapal Seabee ini dapat mengangkut 38 tongkang.

Sistem BACAT (Barge Aboard Catamaran) meliputi kapal catamaran yang hanya dapat mengangkut 18 tongkang berukuran 17 x 4,7 m dengan kapasitas muat 140 ton tiap tongkang. Kapal ini lebih kecil dibandingkan dengan kapal-kapal tipe LASH dan Seabee.

Prinsip dari sistem tongkang ini adalah sebagai berikut:

1. Kargo tersebut dimuat ke dalam tongkang apung di tempat produser.
2. Tongkang didorong atau ditarik ke tempat di mana kapal *Lash* akan tiba, ditempatkan ke dalam area parkir tongkang
3. Setelah kapal *Lash* tiba, tongkang tersebut diturunkan di pelabuhan bersangkutan dan tongkang yang sudah diparkir dinaikkan kedalam kapal *Lash*.
4. Tongkang yang diturunkan disatukan dalam formasi sedemikian rupa kemudian didorong atau diderek ke pelanggan.

Penerapan sistem transportasi door-to-door canggih ini, disediakan untuk konsumen dan produsen keduanya dapat dicapai melalui laut. Dalam sistem tongkang menjadikannya alat transportasi itu sendiri.

Kapal Lash masih digunakan, misalnya dalam Waalhaven di Pelabuhan Rotterdam, disediakan daerah untuk tambat kapal tersebut dan parkir untuk tongkang. Namun tidak ada bangunan baru dilaporkan dalam beberapa tahun terakhir untuk layanan kapal *Lash* ke Rotterdam.

Feri

Kapal feri juga menunjukkan banyak perkembangan, baik dari segi ukuran dan kecepatan. Seperti disebutkan sebelumnya, feri digunakan pada rute tetap dan jarak yang terbatas. Mereka membawa penumpang, motor mobil dan truk dalam persentase yang berbeda, tergantung pada permintaan untuk setiap saat. Dalam feri terakhir digunakan untuk mengangkut seluruh panjang kereta api, misalnya dalam menghubungkan jalur rel di pulau-pulau Denmark dengan sistem Jerman dan Swedia. Meskipun feri rel ini masih ada, mereka tidak umum digunakan bagian lain dunia kecuali untuk penyebrangan. Gambar 1.16 menunjukkan salah satu kapal feri di Indonesia.



*Gambar 1.16 Ferry untuk penyebrangan Gilimanuk (Bali) – Ketapang (Jawa)
Sumber Dok.Pribadi*

Kapal Barang Curah

Kapal curah biasanya membawa jumlah besar barang yang homogen, barang yang dibongkar, misalnya barang cair (minyak, gas cair), produk kimia (fosfat, pupuk), semen, bijih besi, batu bara, produk agro (biji-bijian, beras dan lain lain). Karena sifatnya homogen, kargo ini dapat ditangani dengan cara berkesinambungan. Penanganan kargo curah dapat dilaksanakan dengan berbagai cara, seperti memompa (cairan), mengisap (sereal), bubur (campuran kargo curah kering dan cair, yang dapat diangkut oleh pipa), atau dengan kombinasi dengan sistem ban berjalan (batubara dan bijih). Kapal curah juga dapat dibagi dalam beberapa jenis, yang akan disinggung di bagian berikut. Pada prinsipnya ada dua jenis, yaitu.

1. Kapal curah cair
2. kapal curah kering

Gambaran tentang jenis angkutan curah yang berbeda seperti ditunjukkan pada Tabel 1.4:

Tabel 1.4 Jenis-jenis angkutan curah

Jenis	Kargo	DWT (1000 t)
1. Curah cair		
- <i>Crude carrier</i>	<i>Crude oil</i>	20-40
- <i>Product tanker</i>	<i>Refined products</i>	0.5-100
- <i>Parcel tanker</i>	<i>Refined products, chemicals</i>	0.5-40
- <i>LNG tanker</i>	<i>Liquefied natural gas</i>	60-90
- <i>LPG tanker</i>	<i>Liquefied pressurized gas</i>	0.5-70
2. Curah kering	<i>Ore, coal</i>	100-365
	<i>Chemical</i>	5-70
	<i>Agro products</i>	0.5-10

Sumber: (H.Ligteringen and H. Velsink 2012)

Selain itu, kapal curah diklasifikasikan menurut ukuran seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.5.

Tabel 1.5 Kelas Ukuran kapal curah

Kelas	DWT (1000 t)
Handysize	20-30
Handymax	45
Panamax	79
Aframax	79-120
Suezmax	120-180
VLCC	200-300
ULCC	> 300

Sumber: (H.Ligteringen and H. Velsink 2012)

Kapal curah cair

Sebelum Perang Dunia kedua berakhir konsumsi minyak mentah terbatas, karena pada saat itu batubara adalah sumber utama energi, dan karena itu minyak mentah masih diangkut oleh kapal tanker kecil. Setelah Perang Dunia II konsumsi mulai naik (dan segera booming), kapal tanker minyak mentah modern muncul dan segera tumbuh lebih besar dan lebih besar untuk mengimbangi tuntutan konsumen dan juga berusaha untuk mengurangi biaya transportasi sebanyak mungkin (biaya per ton berkurang dengan meningkatnya ukuran kapal). Gambar 1.17 tipikal kapal curah cair.



Panjang Kapal (L_{OA})	: 332.94 m
Panjang Kapal Muat/Saat Penuh (L_{BP})	: 320.00 m
Lebar (B_s)	: 60.00 m
Draf	: 21.10 m
Kapasitas/Daya Muat (DWT)	: 300,058 t
Kecepatan Maximum	: 16.80 knots

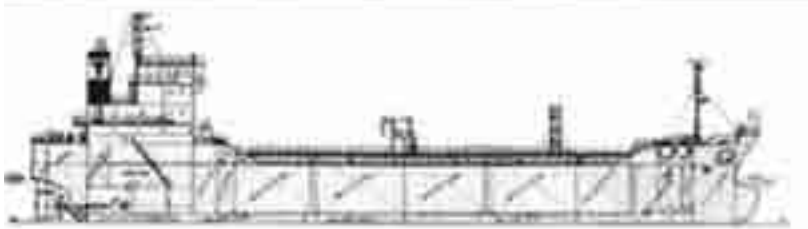
Gambar 1.17 Ultra large Crude Carrier 'New Vanguard'

Produsen yang paling penting (dan eksportir) minyak mentah adalah negara-negara Timur Tengah di sekitar Teluk Persia, seperti Arab Saudi, Kuwait, Uni Emirat Arab, Irak dan Iran, dan negara-negara seperti Nigeria, Venezuela dan Indonesia. Konsumen yang paling penting (dan importir) minyak adalah negara-negara di Eropa Barat, Jepang dan Amerika Serikat. Negara-negara ini sangat tergantung pada minyak dari negara-negara penghasil minyak, terutama yang dari Timur Tengah. Gambar 1.18 tipikal kapal tanker.

Saat ini ukuran kapal tanker antara (50.000 - 200.000 dwt) menjadi lebih penting lagi karena:

1. *Levelling off* atau bahkan beberapa pengurangan dalam perdagangan minyak mentah dunia.
2. Peningkatan penggunaan Terusan Suez.
3. Fakta bahwa, meskipun *VLCC (Very Large Crude Carriers)* dan *ULCC (Ultra Large Crude Carriers)* ini dapat mengangkut minyak mentah dalam jumlah yang sangat besar pada satu perjalanan, mereka hanya dapat singgah di beberapa pelabuhan di dunia, karena rancangan kapal besar. Pada tahun 1992 kurang dari 10 *ULCC* ini masih beroperasi di seluruh dunia.

Kapal tanker minyak mentah dapat dengan mudah diidentifikasi berdasarkan dek datar tanpa derek dan penutup lubang palka. Hanya beberapa pengaturan deck seperti kunci untuk berhenti, pompa, pipa dan selang derek kecil dengan bagian tengah kapal sejenis dapat diamati. Sebuah fitur yang luar biasa adalah *catwalk*, sebuah gang horisontal, yang membentang di sepanjang dek seperti busur untuk memungkinkan kru bergerak diatas kapal.



Panjang Kapal (L_{OA})	: 91.00 m
Panjang Kapal Muat/Saat Penuh (L_{BP})	: 86.00 m
Lebar (B_s)	: 15.80 m
Draf	: 5.455 m
Kapasitas/Daya Muat (DWT)	: 3.898 t
Kecepatan Maximum	: 13.13 knots

Gambar 1.18 Tipikal Kapal Tanker

Kapal paket tanker adalah tanker khusus untuk transportasi produk minyak sulingan, seperti parafin, minyak diesel dan / atau cairan kimia. Tanker paket telah menerima namanya dari fakta bahwa banyak kompartemen yang relatif kecil di dalam palka dapat digunakan secara terpisah, dimana berbagai produk dapat diangkut pada waktu yang sama. Tanker paket dapat dibedakan dari kapal tanker minyak mentah oleh berbagai karakteristik tambahan, seperti banyak meteran, tangki kecil, banyak pipa didepan dan dibelakang jalan di bagian tengah kapal, manifold dengan pengaturan kompleks dari pipa dan katup, terhubung ke sistem tangki kapal. Manifold adalah titik fokus dari pemuatan dan operasi pemakaian dengan cara pompa kapal itu sendiri. Dekat dengan manifold adalah dua selang-derek.

Untuk mengurangi bahaya kebakaran, bagian depan dan belakang dilengkapi dengan sekat kedap ganda (*cofferdams*). Salah satu masalah besar kapal tanker paket adalah pembersihan tangki. Ketika jenis tertentu

kargo telah dibawa ke tujuan, dan jenis lain dari kargo yang akan dimuat, tangki pertama tama harus dibersihkan. Setiap pelabuhan menyediakan pelayanan untuk melaksanakan ini secara profesional. Jika hal ini tidak terjadi, dumpings ilegal di laut dapat terjadi, yang dapat secara serius membahayakan lingkungan laut. Sebuah lay-out umum dari tanker paket diberikan pada Gambar 1.19.

Tanker gas cair (lihat Gambar 1.25) Gas diangkut pada tekanan tinggi atau pada suhu rendah atau kombinasi keduanya.

Produk yang terlibat adalah:

- LPG (Liquefied Petroleum Gas), campuran propana dan butana,
- LNG (Liquefied Natural Gas), yang sebagian besar terdiri ofmetbane, dan
- Jenis-jenis gas kimia, seperti amonia, etilena, dan lain-lain



Panjang Kapal (L_{OA})	: 176.75 m
Panjang Kapal Muat/Saat Penuh (L_{BP})	: 168.50 m
Lebar (B_s)	: 31.00 m
Draf	: 10.80 m
Kapasitas/Daya Muat (DWT)	: 37.015 t
Kecepatan Maximum	: 16.503 knots

Gambar 1.19 Tanker paket



Gambar 1.20 Kapal Tanker LNG

Gas tersebut sebagian besar diangkut pada tekanan atmosfer dan suhu rendah (LPG: -46°C dan LNG: -162°C) dalam bentuk cair dalam tangki terpisah di memegang kapal, yaitu yang disebut transportasi cryogenic. Dalam bentuk cair gas alam tetap hanya 1/634 dari volume awalnya. Gambar 1.20 memberikan pengembangan operator gas cair. Untuk jumlah yang lebih kecil misalnya Jenis coaster dan kapal ukuran LPG juga diangkut dalam bentuk bertekanan pada suhu normal. LNG bahkan tidak bisa dicairkan dengan tekanan udara pada suhu di atas -80°C . Kapasitas kapal tanker gas biasanya dinyatakan dalam m³. Pada prinsipnya LNG-operator mampu untuk mengangkut LPG juga; tapi tanker LPG tidak dapat membawa LNG.

Kapal curah kering

Kapal curah kering dirancang untuk mengangkut barang yang seragam dalam jumlah besar, membongkar komoditas seperti gandum, batubara, bijih dan lain lain. Pemuatan selalu dilakukan dengan menggunakan peralatan di darat/pelabuhan, tapi saat membongkar muatan kadang-kadang dengan peralatan darat, kadang-kadang dengan peralatan berbasis di kapal. Sebagian besar kapal curah kering yang tidak memiliki kemampuan atau tidak dilengkapi peralatan bongkar. Sampai saat ini sebagian besar membawa digunakan (VLOC ini = Very Large Ore) ukuran sekitar 350.000 t, (lihat Gambar 1.21). Pada tahun 2011 6 dari 19 ULOC ini yang pertama oleh perusahaan pertambangan Brasil Vale telah mulai beroperasi. Mereka juga disebut sebagai *Valemax* atau *Cinamax operator* seperti yang ditujukan untuk ekspor besi dari Brasil ke China dan memiliki karakteristik sebagai berikut: 400.000 dwt, Loa = 362 m, D = 23 m.

Perdagangan jarak pendek

Perdagangan laut pendek adalah kapal dengan kapasitas antara 300 dan 3000 dwt. Di beberapa negara perdagangan laut jarak pendek dengan kapasitas mulai 300-1500 GRT disebut sebagai *coaster*. Biasanya, pedagang laut pendek menjalankan rute yang lebih pendek, yang menghubungkan pelabuhan di sekitar Laut Utara, Laut Baltik, Laut Mediterania dan kawasan serupa di dunia. Sebagaimana dibahas dalam bab-bab sebelumnya, ukuran dan juga draft kapal telah meningkat tajam selama dekade terakhir. Ini telah meningkatkan pentingnya pedagang laut pendek, terutama karena dua alasan berikut:



Gambar 1.21 Kapal Very Large Ore Carrier

- Kapal-kapal besar cenderung untuk sedikit mungkin singgah pada beberapa beberapa pelabuhan, untuk mengurangi biaya, dan
- Kapal-kapal besar tidak lagi dapat singgah di setiap pelabuhan karena pembatasan yang disebabkan oleh dimensi kapal

Untuk menjaga konektivitas antara pelabuhan dengan kapal besar dan pelabuhan lain perdagangan laut pendek adalah alat yang paling berguna. Jika pedagang laut pendek yang digunakan dengan cara ini, ia juga disebut sebagai pengumpan. Karena dimensi yang terbatas kapal dapat menyinggahi beberapa pelabuhan. Selain itu dapat diamati, bahwa kapal-kapal ini dapat

digunakan secara ekonomis, karena kesederhanaan kapal dan kru kecil. Pedagang laut pendek dapat mengangkut segala jenis kargo, seperti barang umum, palletised, peti kemas atau kargo curah.

Tergantung pada jenis, pedagang laut pendek sering dilengkapi dengan penanganan kargo gigi, yang juga memungkinkan dia untuk memuat atau membongkar kargo di pelabuhan kecil dengan fasilitas terbatas.

Tramp dan Liner Trade

Pengiriman internasional dapat dibagi menjadi dua kategori utama:

- *liner trade*
- *tramp trade*

Liner trade adalah perdagangan yg berlayar di laut dari satu perusahaan (atau konsorsium perusahaan), yang mempertahankan layanan reguler antara sejumlah pelabuhan. Dalam perdagangan ini satu lagi dapat membedakan rute utama: timur-barat dan sebaliknya, utara-selatan dan sebaliknya dan jarak pendek. Yang terakhir memberikan layanan reguler antara sejumlah pelabuhan di benua yang sama, misalnya Rotterdam-Bilbao-Southampton-Rotterdam. Inti dari semua lini ini adalah:

- Waktu kedatangan dan keberangkatan di setiap pelabuhan rute dijadwalkan (dan diterbitkan) selama jangka waktu tertentu di muka; keandalan yang tinggi
- Tarif tetap selama jangka waktu tertentu
- Lokasi bertambat adalah tetap di sebagian besar pelabuhan

Dalam wadah pengiriman fenomena aneh dikembangkan, yaitu jalur utama, yang disinggahi hanya beberapa pelabuhan di rute mereka, dengan kapal pengumpulan (*feeder ship*) mengumpulkan dan mendistribusikan kontainer di kawasan sekitar pelabuhan utama (*main port*). Nama lain untuk sistem ini adalah *hub-and-spoke*. Alasan untuk pengembangan ini adalah jelas: jalur utama kapal-kapal ini terlalu padat dan terlalu mahal untuk singgah pada pelabuhan yang lebih kecil. Transfer dari kapal jalur utama ke pengumpulan dan sebaliknya disebut *transshipment*. Seluruh kontainer yang melewati pelabuhan utama kargonya datang dari pedalaman dan *transshipment*, yang terakhir dihitung ganda (memasuki dan meninggalkan pelabuhan). Pelabuhan Singapura kebanyakan kargo *transshipment*, sedangkan di Rotterdam kontainer lewat *transshipment* sekitar 15%.

Selama beberapa tahun terakhir kompetisi antara perusahaan pelayaran jalur utama, mega operator, telah menyebabkan konsentrasi dan rasionalisasi. Konsentrasi berarti penggabungan dan mengambil alih, hanya menyisakan sekitar 20 perusahaan untuk menyediakan layanan antar. Contohnya adalah Maersk yang mengkonsolidasikan posisinya no.1 dengan mengambil alih P & O Nedlloyd, menyebabkan sejumlah total 500 kapal kontainer dengan kapasitas total 15 juta TEU. Rasionalisasi juga telah diterapkan untuk memaksimalkan penggunaan Slot, dengan kata lain, untuk memastikan bahwa kapal dimuat hingga kapasitas TEU. Hal ini dicapai dengan membentuk konsorsium atau aliansi (lihat Tabel 1.6).

Cara lain untuk mencapai penggunaan optimal dari kapasitas kapal yang dijadwalkan berbagi Slot. Ini menyiratkan penyewaan ruang kontainer (slot) pada kapal pesaing sebagai kebutuhan dasar. Meskipun semua langkah-langkah ini untuk meningkatkan efisiensi pengiriman, saat ini ternyata kelebihan kapasitas relatif mengarah ke tarif rendah dan kinerja yang buruk dari sebagian besar perusahaan pelayaran.

Tramp trade adalah bentuk kebalikan dari perdagangan online lewat laut. Hal ini diterapkan setiap kali atau di mana pun dibutuhkan. *Tramp trade* sebagian besar ditemukan dalam perdagangan pengiriman barang curah, di mana pasar lebih stabil dalam pengiriman dagang. Kadang-kadang kapal *tramp* dikontrak oleh perusahaan pelayaran dalam jangka pendek atau panjang, dalam hal armada mereka sendiri tidak memadai atau tidak tersedia untuk layanan yang dibutuhkan. Charter kapal terjadi melalui pasar terbuka terutama di London dan New York. Penyewaan melalui pasar terbuka adalah alasan untuk berbagai tarif tramp yang kuat karena fleksibilitas kapasitas transportasi terbatas. Oleh karena itu industri pengolahan bahan baku yang menyimpulkan kontrak jangka panjang. Ini keamanan kontrak jangka panjang menawarkan kemungkinan untuk menggunakan lebih besar dan lebih khusus kapal curah.

Untuk menggambarkan pentingnya pengiriman tramp, distribusi transportasi minyak mentah dunia pada tahun 1992 sebagai berikut:

Kira-kira. 15% diangkut oleh kapal yang dimiliki oleh perusahaan minyak besar
Kira-kira. 84% oleh perusahaan tramp independen, yang telah disewakan kapal mereka pada kontrak jangka pendek dan jangka panjang kepada perusahaan minyak dan pedagang minyak kira-kira 1% dilakukan oleh kapal-kapal yang dimiliki oleh pemerintah

Tabel 1.6 Aliansi jenis bulk carrier

Name	Members	Number of ships	Fleet capacity (TEU)
Gran Alliance	Hapag-Lloyd OOCL NYK	250	740,000
The New World Alliance	APL Hyundai MOL	220	670,000
CYKHS	Cosco K Line Yangming Hanjin Senator	330	993,000

Sumber: (H.Ligteringen and H. Velsink 2012)

Kapal Pesiar (cruise ship)

Kapal pesiar modern semakin besar, sedemikian rupa sehingga terminal yang ada menjadi tidak memadai, dalam hal kedalaman air atau fasilitas penumpang atau keduanya. Oleh karena itu banyak terminal kapal pesiar baru dibangun, terutama di daerah populer seperti Karibia, termasuk di pulau Bali Indonesia.

1.4.7 Kemajuan dalam Perancangan Konstruksi Pelabuhan

Kemajuan dalam perancangan dan pelaksanaan pembangunan konstruksi pelabuhan sangat mendorong dalam perkembangan pembangunan pelabuhan di dunia termasuk Indonesia.

Dalam tahun-tahun terakhir ini, banyak kita jumpai kemajuan yang menakjubkan dalam perancangan pelabuhan. Hal ini disebabkan oleh penelitian yang terus menerus di laboratorium dengan menggunakan model-model konstruksi pelabuhan yang berskala besar dan konstruksi disimulasikan menerima beban sesuai dengan kondisi sesungguhnya.

Beberapa kemajuan yang paling penting dalam perancangan konstruksi pelabuhan dapat kita lihat seperti berikut ini

Mekanika Tanah

Perkembangan dalam ilmu mekanika tanah terutama sekali dapat dilihat pada ketentuan-ketentuan dalam perancangan pondasi dan struktur-struktur yang umumnya berhubungan dengan tanah telah berkembang

dengan sangat pesatnya tidak saja membuat perencanaan menjadi lebih ekonomis namun juga menghilangkan banyak asumsi dalam menganalisis pondasi di laboratorium dan di lapangan.

Angin, Arus dan Gelombang

Banyak yang dihasilkan dan dikerjakan dalam penelitian pada bidang ini. Dengan telah diketemukannya alat-alat yang serba canggih untuk mengukur kecepatan angin, arus dan gelombang, menghasilkan pengertian yang lebih baik tentang kelakuan dari pengaruh angin, arus dan gelombang pada struktur bangunan pelabuhan yang sangat banyak mendorong dalam perkembangan perencanaan konstruksi bangunan pelabuhan.

Pemecah Gelombang

Tipe-tipe baru yang telah diciptakan untuk melindungi bangunan serta kolam pelabuhan terhadap gaya-gaya gelombang seperti yang diciptakan oleh Tetrapod, Quadripod, Hexapod, Tribar, modifikasi kubus beton dan banyak lagi bentuk-bentuk baru yang diciptakan untuk melindungi pelabuhan dari gaya-gaya gelombang yang dapat disesuaikan dengan keadaan.

Beton Pratekan

Beton pratekan telah digunakan untuk tiang pancang, kolom serta balok untuk dermaga dan ternyata lebih aman dan cepat dalam pelaksanaannya pada konstruksi-konstruksi di atas air. Hal ini juga merangsang dalam perencanaan dan pembangunan pelabuhan.

Sistem Fender

Banyak sistem fender dan jenis-jenis baru yang dikembangkan untuk melindungi dermaga dan kapal-kapal sewaktu merapat. Dan sekarang telah diciptakan berbagai fender karet dari berbagai bentuk, seperti Rankin, steel spring dan gravity fender dan masih banyak lagi jenis-jenis yang kita jumpai di lapangan yang tentunya juga mendorong dalam perencanaan dan pelaksanaan pembangunan pelabuhan.

Perlindungan terhadap Korosi

Penemuan-penemuan dalam perlindungan terhadap konstruksi pelabuhan seperti baja maupun beton memungkinkan konstruksi pelabuhan menjadi lebih ekonomis.

Kemajuan dalam bidang industri konstruksi

Industri konstruksi menghasilkan banyak pilihan dalam perancangan. Dengan kemajuan peralatan kerja di lapangan maupun dalam kemampuan

pekerjaan beton di lapangan, perencanaan dan pengawasan campuran beton memberikan nilai tambah dalam *workability*, *durability*, *density* dan *strength*. Pencampuran bahan khusus yang sekarang banyak dilakukan memungkinkan untuk memperkecil penyusutan. *Aggregate* dapat diseleksi secara hati-hati dan diuji sebelum digunakan serta kontrol perbandingan air semen secara cermat. Penggunaan vibrator sudah digunakan pada hampir untuk semua pekerjaan beton. Peralatan-peralatan yang lebih efisien sudah digunakan hampir pada semua pekerjaan konstruksi pelabuhan.

1.6 Pengusahaan Pelabuhan

Perencanaan, perancangan, pelaksanaan dan pengoperasian pelabuhan pada dasarnya adalah sangat kompleks, tidak saja menyangkut panjang dermaga, lebar dermaga tapi menyangkut banyak hal khususnya untuk pelabuhan-pelabuhan besar. Untuk pengawasan semua faktor-faktor yang perlu untuk membuat pelabuhan berfungsi dengan lancar adalah suatu tanggung jawab yang besar. Kompleknya masalah akan menjadi bertambah berkenaan dengan kepemilikan atau pengelola pelabuhan, karena kadang-kadang meliputi banyak institusi yang berbeda seperti:

- Dikelola oleh pemerintah pusat
- Dikelola oleh pemerintah daerah
- Dikelola oleh Jawatan Kereta Api (seperti pelabuhan penyebrangan Gilimanuk – Ketapang tempo dulu)
- Dikelola oleh badan swasta
- Dikelola Badan Usaha Milik Negara (BUMN)

Dan dalam pengelolaan tersebut banyak instansi yang terlibat antara lain

- Instansi administrator pelabuhan
- Instansi Bea & Cukai
- Instansi PT, Pelabuhan
- Instansi Karantina
- Instansi Keamanan
- Instansi Kesehatan
- Perusahaan pelayaran
- Perusahaan bongkar muat

Seperti telah diuraikan diatas bahwa organisasi pelabuhan ada yang langsung di bawah pemerintah pusat, di bawah pemerintah daerah dan sebagainya. Untuk organisasi di lapangan di tiap pelabuhan terdapat satu badan yang lazim disebut Port Authority dengan wewenang dan tanggung

jawab agar tercipta kesatuan komando atau perintah (*unity of command*). Kriteria yang lazim dipakai di Negara-negara maju untuk memberikan dan melimpahkan wewenang kepada *port authority* yaitu:

1. Wewenang yang berkaitan dengan kelancaran operasional pelabuhan, termasuk lalu lintas kapal di pelabuhan, bongkar muat barang dan lalu lintas darat di alam daerah pelabuhan.
2. Wewenang yang berkaitan dengan perencanaan dan pengembangan pelabuhan termasuk penguasaan tanah pelabuhan serta menetapkan tata guna lahan (*land use*) areal tanah pelabuhan
3. Tugas-tugas pemerintah yang dilakukan oleh instansi vertical yang tidak dapat dilimpahkan kepada *port authority*, dalam pelaksanaannya dikoordinasikan oleh *port authority*

Di Indonesia penguasaan pelabuhan dilaksanakan oleh PT (Persero) Pelabuhan yang disingkat Pelindo berdasarkan peraturan pemerintah no. 56, 57, 58 dan 59 tahun 1991 yang mulai berlaku bulan Nopember 1991 dan system manajemen pelabuhan Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1.22.



Gambar 1.22 Sistem Manajemen Pelabuhan Indonesia
 Sumber: (Perpres.No.26 5 Maret 2012)

Namun sebelum dikelola secara desentralisasi terbatas seperti sekarang ini, penguasaan pelabuhan diusahakan oleh berbagai pihak seperti tahun 1956-1960, pelabuhan-pelabuhan kecil yang berada di provinsi dikoordinasikan oleh pemerintah daerah setempat dengan menunjuk seorang coordinator. Selanjutnya masa tahun 1960-1969, berdasarkan undang-undang No.19 tahun 1960 dibentuk perusahaan Negara (PN) yang terdiri dari beberapa PN di seluruh Indonesia.

Kemudian masa tahun 1983-1990, berdasarkan peraturan pemerintah No.11 tahun 1983 dan peraturan pemerintah No.3 tahun 1983 dibentuk 4 (empat) perusahaan umum (Perum) Pelabuhan

1. Perum Pelabuhan I berkedudukan di Medan yang meliputi provinsi Aceh, Sumatra Utara dan Riau.
2. Perum Pelabuhan II berkedudukan di Jakarta meliputi provinsi Sumatra Barat, DKI Jakarta dan Jawa Barat
3. Perum Pelabuhan III berkedudukan di Surabaya meliputi provinsi Jawa Tengah, Jawa Timur, Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah, Bali, NTB, NTT dan Timor Timur.
4. Perum Pelabuhan IV berkedudukan di Ujung Pandang, meliputi provinsi Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Utara, Maluku dan Irian Jaya.

Kemudian Tataan Kepelabuhan Nasional diatur berdasarkan Keputusan Menteri Perhubungan Nomor KM 53 Tahun 2002 seperti ditunjukkan pada Gambar 1.23.



Gambar 1.23 Tataan Kepelabuhan Nasional berdasarkan Keputusan Menteri Perhubungan Nomor KM 53 Tahun 2002

Selanjutnya kriteria hirarki pelabuhan berdasarkan keputusan Menteri Perhubungan Nomor KM 53 Tahun 2002 diuraikan seperti berikut (lihat Tabel 1.8):

1. *Pelabuhan Internasional Hub*, utama primer yang melayani nasional dan internasional dalam jumlah besar. dan merupakan simpul dalam jaringan laut internasional.
2. *Pelabuhan International*, utama sekunder yang melayani nasional maupun internasional dalam jumlah besar yang juga menjadi simpul jaringan transportasi laut internasional.
3. *Pelabuhan Nasional*, utama tersier yang melayani nasional dan internasional dalam jumlah menengah.
4. *Pelabuhan Regional*, pelabuhan pengumpan primer ke pelabuhan utama yang melayani secara nasional.
5. *Pelabuhan Lokal*, pelabuhan pengumpan sekunder yang melayani lokal dalam jumlah kecil.

Pengelolaan pelabuhan berdasarkan Desentralisasi terbatas di mana kantor pusat (Direksi) melaksanakan perencanaan, pengendalian dan pengawasan. Sedangkan cabang-cabang PT Pelabuhan sebagai pelaksana kegiatan operasional (Manajemen Operasional) yang berarti tugas-tugas pengelolaannya sama seperti sebelumnya (semasih Perum) hanya pengelolaan keuangan dan pengelolaan kepegawaian wewenangnya jelas. Pengelolaan yang dilakukan meliputi:

1. Penyediaan dan pengusahaan kolam-kolam dan perairan untuk lalu lintas pelayaran dan tempat kapal berlabuh.
2. Pengusahaan jasa-jasa yang berhubungan dengan pemanduan kapal-kapal (pilotage) dan pemberian jasa pemanduan kapal.
3. Penyediaan dan pengusahaan dermaga untuk bertambat, bongkar muat barang dan hewan serta penyediaan fasilitas naik turun penumpang.
4. Penyediaan dan pengusahaan gudang-gudang dan tempat penimbunan barang-barang, angkutan Bandar, alat bongkar muat serta peralatan pelabuhan lainnya.
5. Penyediaan dan pengusahaan tanah untuk berbagai bangunan dan lapangan sehubungan dengan kepentingan kelancaran angkutan laut dan industri.
6. Penyediaan jaringan jalan dan jembatan, saluran pembuangan air, saluran listrik, saluran air minum, pemadam kebakaran dan lain-lain.

7. Pengusahaan jasa terminal (operasi terminal).
8. Usaha-usaha lainnya yang dapat menunjang pengusahaan kepelabuhanan yang ditetapkan oleh menteri Perhubungan.

Dengan berlandaskan peraturan tentang kepelabuhan, setiap kapal yang memasuki atau meninggalkan pelabuhan harus memenuhi ketentuan yang berlaku, yang dikoordinasikan oleh Adpel (Administrasi Pelabuhan). Tugas Administrasi Pelabuhan adalah mengkoordinasikan kegiatan teknis dalam bidang:

1. Kesyahbandaran untuk mengawasi keselamatan pelayaran.
2. Kesehatan pelabuhan/Dinas karantina (bertanggung jawab tentang kesehatan pelabuhan dikaitkan dengan muatan keluar dan masuk serta orang-orang yang diangkut oleh kapal)
3. PT. Pelabuhan yang mengelola fasilitas pelabuhan.
4. Direktorat Imigrasi yang bertanggung jawab tentang keluar masuk penumpang melalui pelabuhan.
5. Pelabuhan yang mengawasi keluar masuk barang melalui pelabuhan.

1.7 Bentuk-bentuk Pengaturan

Sebelum masuk ke dalam perencanaan dan perancangan pelabuhan perlu dipahami terlebih dahulu fungsi dan organisasi pelabuhan. Kedua faktor tersebut sangat relevan sebagai bagian yang paling penting dari proses perencanaan khususnya ditinjau dalam pengambilan keputusan ekonomi dan keuangan. Kecendrungan akhir-akhir ini telah dilakukan privatisasi pelabuhan (publik) maupun pengembangan pelabuhan swasta, tetapi keberhasilan kebijakan ini sangat tergantung pada fungsi, legalitas (kondisi hukum) dan kelembagaan pelabuhan yang bersangkutan. Kriteria Hierarki Pelabuhan berdasarkan keputusan Menteri Perhubungan Nomor KM.53 Tahun 2002 ditunjukkan pada Tabel 1.7.

Fungsi utama dari pelabuhan adalah:

- Fungsi Lalu Lintas: pelabuhan adalah titik node didalam lalu lintas, yang menghubungkan moda air dan berbagai mode darat.
- Fungsi Transportasi: pelabuhan adalah tempat untuk bongkar muat atau *transfer* berbagai arus barang.

Tabel 1.7 Kriteria Hierarki Pelabuhan berdasarkan keputusan Menteri Perhubungan Nomor KM.53 Tahun 2002

Kriteria	Pelabuhan Internasional HUB	Pelabuhan Internasional	Pelabuhan Nasional	Pelabuhan Regional	Pelabuhan Lokal
PERAN	Melayani angkutan alih muat (trasshipment) peti kemas nasional dan internasional dengan skala pelayanan transportasi laut dunia	Sebagai pusat distribusi peti kemas nasional dan pelayanan angkutan peti kemas internasional	Sebagai pengumpulan angkutan peti kemas nasional	Sebagai pengumpulan pelabuhan-pelabuhan hub internasional, pelabuhan internasional dan pelabuhan nasional	Sebagai pengumpulan pelabuhan-pelabuhan hub internasional, pelabuhan nasional dan pelabuhan regional
	Sebagai pelabuhan induk yang melayani angkutan peti kemas nasional dan internasional sebesar 2.500.000 TEU's/Tahun atau angkutan lain yang setara	Sebagai tempat alih muat penumpang dan pelayanan angkutan peti kemas internasional	Sebagai tempat alih muat dan barang penumpang dan barang nasional	Sebagai tempat alih muat penumpang dan barang dari/ke pelabuhan utama dan pelabuhan pengumpulan	Sebagai tempat pelayanan penumpang di daerah terpencil, terisolasi, perbatasan, daerah terbatas yang hanya didukung oleh moda transportasi laut
SKALA PELAYANAN	Sebagai pelabuhan alih muat angkutan peti kemas nasional dan internasional dengan pelayanan berkisar dari 3.000.000 – 3.500.000 TEU's/Tahun atau angkutan lain yang setara	Melayani angkutan peti kemas sebesar 1.500.000 TEU's/Tahun atau angkutan lain yang setara	Melayani angkutan peti kemas nasional di seluruh Indonesia	Melayani angkutan laut antar kabupaten/kota dalam provinsi	Sebagai tempat pelayanan moda transportasi laut untuk mendukung kehidupan masyarakat dan berfungsi sebagai tempat multifungsi selain sebagai terminal untuk penumpang juga untuk melayani bongkar muat kebutuhan hidup masyarakat disekitarnya
LOKASI PELABUHAN	Berada dekat dengan jalur pelayanan Internasional \pm 500 mil	Berada dekat dengan jalur pelayanan Internasional \pm 500 mil dan jalur pelayanan nasional \pm 50 mil	Berada dekat dengan jalur pelayanan nasional \pm 50 mil	Berada dekat dengan jalur pelayanan antar pulau \pm 25 mil	Berada pada lokasi yang tidak dilalui jalur transportasi laut reguler kecuali keperluan
KEDALAMAN	Minimal – 12 m lws	Minimal - 9 M lws	Minimal 7 m lws	Minimal - 4 m lws	Minimal -1,5 m lws
FASILITAS	a. Dermaga peti kemas min 350 m b. 4 buah crane c. Lapangan penumpukan seluas 15 Ha	a. Dermaga peti kemas min 250 m b.. 2 buah crane c. Lapangan penumpukan seluas 10 Ha	a. Dermaga multipurpose min 150 m b. Mobile crane atau skipgear kapasitas 50 ton	Dermaga minimal 70 m	Memiliki fasilitas tambat
JARAK DENGAN PELABUHAN LAINNYA	500 - 1000 MIL	200 - 500 MIL	50-100 MIL	20 - 50 MIL	5 - 20 MIL

Selain ini, pelabuhan dapat memiliki beberapa fungsi sekunder, seperti:

- Kegiatan industri, biasanya dikaitkan dengan arus barang, perbaikan dan pembuatan kapal. Akan tetapi dengan adanya pelabuhan daerah sekitarnya menjadi alasan untuk tumbuh dan berkembangnya suatu industri.
- jasa komersial dan finansial, termasuk bank
- Fungsi lalu lintas membutuhkan tiga kondisi yang harus dipenuhi dengan baik, yaitu “pintu depan”, “pintu belakang” maupun kapasitas

dan pelayanan yang cukup di pelabuhan itu sendiri: yaitu

- pintu depan (*front door*)
Jalan masuk dari laut dapat diakses dengan mudah dan aman, ruang yang memadai untuk manuver dan berlabuh kapal, dermaga, dan lain-lain.
- pintu belakang (*backdoor*)
Koneksi Hinterland, jalan, kereta api, perairan darat/sungai, pipa, dan lain-lain, tergantung pada fungsi transportasi
- Pelayanan dan kapasitas yang mencukupi di dalam pelabuhan
Di dalam pelabuhan sendiri harus mempunyai pelayanan dan kapasitas yang mencukupi seperti kapasitas penanganan dan penyimpanan barang dan lain-lain.

Keselamatan kapal dan awak adalah yang paling penting dan paling banyak mendapat perhatian. Hal ini dapat dipahami, ketika kita menyadari bahwa kapal yang dirancang untuk manuver di perairan terbuka dan pada kecepatan jelajah. Memasuki pelabuhan berarti pengurangan kecepatan, mengharuskan manuver yang lemah, berhenti di perairan terbatas dan sering terdapat kapal lain di sekitar. Untuk alasan ini layanan navigasi penting: mulai dengan alat bantu laut (*buoyage*, lampu), mendapatkan bantuan kapal tunda, dan pindah ke alat bantu navigasi teknologi tinggi: *Vessel Traffic Service (VTS)*, yang memantau semua gerakan kapal di dalam pelabuhan oleh radar pusat.

Namun, sebuah pelabuhan dengan pintu masuk yang sangat baik, tapi tidak cukup ruang dan/atau koneksi ke pedalaman akan menjadi cepat tersumbat dan tidak berfungsi. Oleh karena itu tiga kondisi di atas harus seimbang.

Fungsi transportasi tergantung pada kondisi dan situasi tertentu dari pelabuhan:

- (i) Jika pelabuhan sudah memiliki pedalaman 'alami', yang berfungsi untuk impor dan ekspor tanpa banyak kompetisi, maka demi kepentingan masyarakat layanan ini disediakan efisien, tanpa gangguan dan dengan biaya minimum. Di masa lalu mereka menjadi salah satu pendapatan (*money earners*) hal ini menyebabkan di masa lalu dengan 'pelabuhan umum', yang sering gagal untuk mencapai tujuan tersebut. Mereka memiliki lebih banyak kapal di luar pelabuhan daripada berlabuh di pelabuhan, atau keduanya.
- (ii) Jika beberapa pelabuhan bersaing untuk kargo dari dan ke pedalaman yang sama, atau untuk perdagangan transshipment,

efisiensi dalam penanganan kargo dan biaya pemanduan, iuran pelabuhan, dan lain-lain menjadi penting. Pelabuhan menjadi bisnis sendiri dan privatisasi fungsi pelabuhan adalah langkah logis untuk mencapai efisiensi yang diperlukan.

1.8 Pembiayaan

Otonomi pelabuhan menghasilkan dana untuk membangun konstruksi pelabuhan yang baru atau untuk modernisasi konstruksi pelabuhan yang ada dan tidak memenuhi syarat.

Apabila konstruksi suatu pelabuhan tidak mungkin dapat dibiayai pemerintah dalam kasus dimana biaya tidak tersedia, dan proyek adalah sangat esensial, pembiayaan dimungkinkan dari sponsor atau swasta dengan sistem sewa. Kontrak penyewaan konstruksi pelabuhan biasanya dengan jangka waktu minimal 20 tahun.

Dengan perubahan status menjadi persero (PT) akan membawa pengaruh terhadap keuangan perusahaan yaitu anggaran perusahaan disusun menurut anggaran persero. Oleh karena itu PT pelabuhan Indonesia bertugas selain mengelola keuangan dan yang terpenting sekali adalah bertugas untuk penyediaan dan pemeliharaan sarana dan prasarana pelabuhan.

Jadi intinya terdapat tiga bentuk organisasi pelabuhan publik:

- Layanan Pelabuhan: semua layanan termasuk penanganan kargo dan penyimpanan yang disediakan oleh otoritas pelabuhan. Bentuk ini di masa lalu dilakukan Pemerintah dan masih dapat ditemukan di beberapa negara berkembang. Hal ini sering ditandai oleh birokrasi dan biasanya hanya bisa bertahan jika hinterlandnya alami tanpa adanya kompetisi dengan pelabuhan lainnya.
- Pelabuhan Sistem Sewa: otoritas pelabuhan memiliki tanah dan memberikan konsesi kepada perusahaan swasta untuk penyediaan penanganan kargo dan jasa penyimpanan. Otoritas pelabuhan bertanggung jawab untuk infrastruktur, keamanan laut dan akses, termasuk pemeliharaan alur pelabuhan.
- Peralatan Pelabuhan: otoritas pelabuhan tetap bertanggung jawab untuk menyediakan peralatan penanganan utama kapal - ke-pantai (biasanya peralatan ringan seperti crane serbaguna), sedangkan penanganan kargo dilakukan oleh perusahaan swasta di bawah lisensi yang diberikan oleh otoritas pelabuhan.

Selain yang disebutkan diatas pelabuhan yang sepenuhnya swasta menjadi lebih umum. Pelabuhan ini dibangun dan dioperasikan oleh perusahaan swasta, termasuk tanggung jawab untuk pemeliharaan. Fungsi wajib seperti keselamatan navigasi, perlindungan lingkungan dan kebiasaan tetap tanggung jawab pemerintah (Juhel, 1999)

Yang terakhir ada juga yang disebut *Built- Operate -Transfer* (BOT) proyek dilihat oleh banyak politisi di seluruh dunia sebagai cara yang menarik untuk menciptakan infrastruktur dan dengan demikian mengatasi kemacetan di pelabuhan yang ada tanpa keuangan publik. Hal ini bisanya disebabkan oleh karena laba atas investasi dari sebagian besar proyek tidak mencukupi (berdasarkan periode pembayaran kembali 30 tahun). Akibatnya satu-satunya cara untuk mewujudkannya adalah dengan pendekatan gabungan, yaitu keuangan publik infrastruktur jumlah tertentu dan sisanya pembiayaan swasta. Hal ini baik dicapai dengan mengikuti pendekatan, atau investasi komerial oleh mitra publik dan swasta bersama-sama, *Public Private Partnership* (PPP). Pendekatan ini telah diikuti oleh Otoritas Pelabuhan Amsterdam dalam realisasi beberapa terminal baru.

Berikut pertanyaan ini diajukan apakah fungsi transportasi layak untuk diperluas dalam situasi kompetitif. Biaya investasi yang tinggi, apakah menguntungkan? Pertanyaan ini telah menjadi lebih relevan, karena lapangan kerja langsung di pelabuhan telah berkurang drastis selama dekade terakhir sebagai akibat dari metode penanganan yang ditingkatkan dan otomatisasi. Tidak ada jawaban sederhana untuk pertanyaan itu, tapi beberapa pertimbangan yang berlaku:

- Persaingan antara pelabuhan baik untuk merangsang efisiensi, dan untuk membuat biaya murah. Terlalu banyak kompetisi menyebabkan kelebihan kapasitas dan kerugian, yang dalam banyak kasus dibayar oleh masyarakat.
- Persaingan yang tidak sehat (misalnya dengan subsidi) harus dihindari, karena menyebabkan harga distorsi (Komisi Eropa, 1995) dan kelebihan kapasitas.
- Dalam analisis biaya manfaat (B/C) dari proyek-proyek pembangunan pelabuhan, dalam jangka panjang, tidak langsung, manfaat sosial harus disertakan (Brucker, 1998).
- Pelabuhan harus berusaha untuk memasukkan kegiatan yang menghasilkan lapangan kerja dalam strategi pembangunannya, untuk mempertahankan profit yang positif dan dukungan publik dari masyarakat setempat.
- Efek lingkungan harus diperhitungkan secara rasional, misalnya dengan metode evaluasi kuantitatif dan taat terhadap peraturan.

Aspek di atas semua yang berkaitan dengan keputusan investasi, dalam tahap perencanaan ekspansi pelabuhan. Dalam kompetisi langsung diantara pelabuhan untuk menarik perdagangan tertentu dan volume kargo, faktor kompetitif berikut adalah penting:

- Ketersediaan lahan untuk terminal dan biaya terkait per m²
- tarif Pelabuhan dan iuran
- Kualitas pelabuhan dan/atau ada stevedores (efisiensi, keandalan, fleksibilitas, penanganan biaya)
- Kualitas koneksi pedalaman
- Persyaratan lingkungan
- Bea Cukai
- keselamatan Nautical

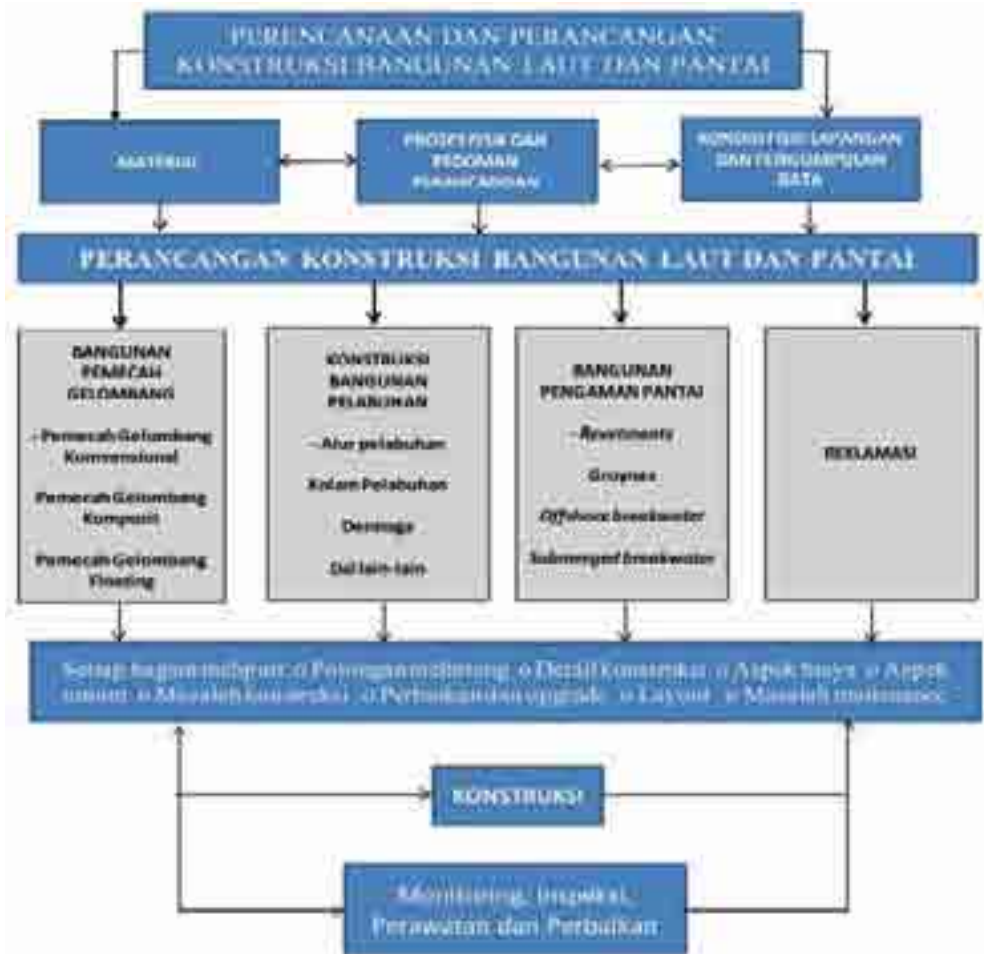
Hal ini terlihat bahwa untuk dapat menarik bisnis baru, pelabuhan harus memiliki beberapa kelebihan.

1.9 Cakupan Perencanaan, Perancangan dan Pelaksanaan Pelabuhan

Perencanaan pelabuhan merupakan kegiatan multi-disiplin. Melibatkan keahlian di bidang ekonomi transportasi, ekspedisi, maritim, keselamatan dan logistik. Selain itu juga pengetahuan tentang gelombang dan arus, sedimen transport dan morfologi pantai, pengerukan dan reklamasi, desain pemecah gelombang dan dermaga seperti dapat dilihat pada Gambar 1.24. Pembangunan pelabuhan tergantung pada pengembangan transportasi laut, baik dari segi volume per komoditas maupun dalam kaitannya dengan jenis dan ukuran kapal. Untuk perencana pelabuhan adalah wajib untuk memahami perkembangan ini. Bagian berikut menyajikan data dan beberapa kecenderungan pada desain kapal dan penanganan kargo *sejauh relevan untuk perencanaan pelabuhan*

Oleh karena itu perencanaan pelabuhan adalah kerja sama tim. Tapi dalam tim ini perencana pelabuhan memainkan peran sentral dalam mengembangkan konsep dan merekrut personel yang dibutuhkan dalam keahliannya masing-masing pada waktu yang dibutuhkan. Kebanyakan perencana pelabuhan adalah sarjana teknik sipil ada juga yang lainnya dengan pelatihan teknik hidrolik dan pengalaman. Tapi siapapun mereka, harus memiliki dua kualitas penting selain memiliki keahlian seperti yang disebutkan diatas:

- (i) pemahaman dasar dari disiplin lain yang terlibat
- (ii) kreatifitas



Gambar 1.24 Cakupan perencanaan dan perancangan bangunan laut dan pantai

Kualitas pertama diperlukan untuk mengarahkan pekerjaan yang dilakukan oleh para ahli dan mengintegrasikan hasilnya ke dalam desain lay-out pelabuhan. Proses integrasi itu sendiri adalah bagian dari kreatifitas pekerjaan: bagaimana cara yang tepat untuk mengatur mereka yang terlibat secara fisik dalam hal menentukan dimensi alur masuk pelabuhan (*approach channel*) dan kolam pelabuhan (*turning basins*), dermaga dan terminal, koridor untuk koneksi pedalaman (*hinterland*) dan sebagainya.

Perencanaan disain dan struktur bangunan pelabuhan sangat kompleks. Tujuan akhir dari hasil disain dan struktur bangunan yang tepat adalah bagaimana membuat areal pelabuhan laut berfungsi optimal, aman bagi kapal dan konstruksi bangunan kuat terhadap kondisi perairan yang dinamis. Berfungsi optimal berarti bahwa hasil disain yang dibuat memiliki *layout* yang efektif dan efisien untuk keluar masuk kapal, bongkar muat

kapal di dermaga, area lego jangkar yang terlindung dan lain sebagainya dimana optimasi yang dilakukan telah mempertimbangkan pengaruh dari gangguan gelombang dan sirkulasi arus laut. Aman bagi kapal memiliki arti bahwa gelombang yang ditimbulkan oleh keluar masuknya kapal tidak menimbulkan gangguan keamanan dari efek refleksi, refraksi dan resonansi gelombang. Selain itu, aman pula terhadap gangguan fenomena gelombang, sedimentasi (pendangkalan) dan sirkulasi arus yang terbentuk dari struktur pelabuhan. Struktur bangunan yang kuat memiliki arti bahwa kerusakan akibat dari dinamika perairan meliputi gelombang, arus, suhu dan lalu lintas laut dapat ditekan sedemikian rupa sehingga struktur bangunannya dapat bertahan lama.

Bab 2

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Perencanaan dan Pelaksanaan Pembangunan Pelabuhan

2.1 Umum

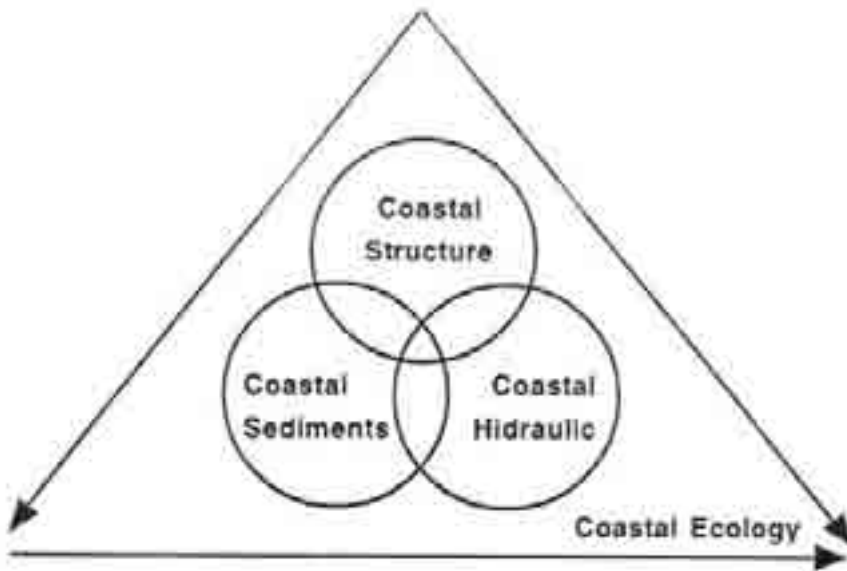
Dalam perencanaan dan pelaksanaan pelabuhan banyak faktor yang harus diperhitungkan agar perencanaan yang dibuat efektif dan efisien. Faktor-faktor yang akan menghasil gaya-gaya antara lain angin yang dalam perhitungannya nanti ditentukan sesuai dengan peraturan muatan Indonesia, ombak yang ditentukan berdasarkan; karakter (sifat) ombak yang terutama pada daerah basin pelabuhan dan juga pada waterway, ombak yang ekstrem seperti gelombang, arus-arus ekstrim (sangat kuat) dan terutama sekali harus diberikan perhatian pada persimpangan arus-arus dijalur pelayaran dan pada jalur masuk, gempa bumi, dalam mendisain pelabuhan dan fasilitas-fasilitasnya pengaruh gempa harus diperhitungkan sedemikian rupa sehingga fasilitas-fasilitas tersebut akan dapat menahan/mencegah gempa dengan sempurna sesuai dengan peraturan Muatan Gempa Indonesia, kemudiaan pasang surut terutama sekali gaya-gaya hasil guncangan (naik turunnya) permukaan air laut yang besar harus diperhitungkan serta gaya-gaya lain yang mempengaruhi perencanaan dan keamanan dari konstruksi harus diperhatikan. Demikian juga halnya pada *Meteorology, Thopography, Oceanografhy, Geology, Geomorphology* dan Hidraulik dan yang paling penting adalah gaya-gaya kapal, dimensi kapal yang sangat berpengaruh dalam desain pelabuhan.

Air laut mengandung beberapa macam garam, dengan diketahuinya variasi kadar garam dibeberapa tempat di laut, maka diketahui pula arah pergerakan arus. Berat jenis air laut 1,03 sedang berat jenis air 1,00, maka dapat ditentukan draft (sarat) kapal yaitu garis muatan maksimum kapal.

Misal draft untuk di laut 7,50 meter maka draft untuk di air tawar 7,70 meter. Air laut juga mengandung benda-benda kecil dari zat padat seperti lumpur atau pasir yang menyebabkan endapan/sedimen. Banyaknya sidemen/endapan menentukan harga pelabuhan, makin banyak dikeruk makin mahal.

2.2 Ekologi Pantai (Coastal Ecology)

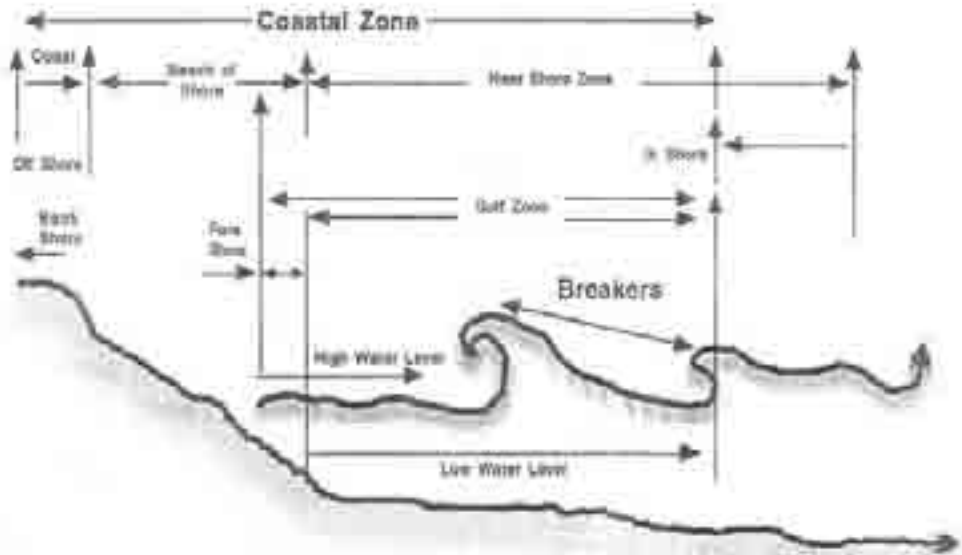
Coastal engineering adalah suatu ilmu teknologi mengenai penerapan pengaruh angin, arus, gelombang terhadap kondisi fisik, perencanaan selanjutnya berusaha mengendalikan gaya-gaya tersebut untuk tujuan pelaksanaan pembangunan pelabuhan. Dalam kaitannya dengan *coastal engineering*, pemecahan dapat dibedakan menjadi *coastal structures*, *coastal sediments* dan *coastal hydraulics*. Diagram memperlihatkan hubungan ketiga unsur tersebut dalam masalah coastal ekologi yang diperlihatkan dalam gambar 2.1



Gambar 2.1 Ekologi Pantai (Coastal ecology)

Coastal area meliputi daerah pantai (*shore*) dan daerah dimana gelombang pecah atau *surf zona*. Daerah di luar *coastal area* kearah laut disebut *off shore* atau lepas pantai (lihat Gambar 2.2). *Off shore* menjadi semakin penting dengan ditemukannya sumber-sumber kekayaan alam, salah satunya sumber minyak lepas pantai. Yang sudah barang tentu harus dibangun fasilitas-fasilitas untuk menunjang bongkar-muat minyak tersebut seperti misalnya dermaga dan fasilitas-fasilitas pelabuhan yang lainnya.

Bagian daratan pada daerah air tinggi dan air rendah disebut pantai atau *shore*. Dasar laut yang merupakan lanjutan dari daratan dengan kedalaman kurang dari 200 meter, diukur dari kedudukan air rendah disebut landasan kontinental atau *continental shelf*.



Gambar 2.2 Bentuk pantai pada umumnya

2.3 Faktor Angin dan Pengaruhnya

2.3.1 Pengertian Angin

Angin adalah perpindahan arus udara dari tempat dengan tekanan udara tinggi ke tempat-tempat dengan tekanan udara yang lebih rendah. Sirkulasi udara yang kira-kira sejajar dengan permukaan bumi kita ketahui sebagai angin. Pada umumnya perbedaan tekanan udara disebabkan karena tidak meratanya temperatur atau suhu. Gerakan udara ini disebabkan oleh perubahan temperatur atmosfer yaitu bila udara panas, kepadatannya (density) menjadi berkurang, udara bergerak naik dan kemudian digantikan oleh udara yang lebih dingin demikian seterusnya.

Perubahan temperatur atmosfer disebabkan oleh perbedaan penyerapan panas sehingga akibat dari hal tersebut diketahui berbagai jenis angin yang antara lain adalah :

Angin darat dan angin laut

Angin darat dan angin laut dihasilkan oleh perbedaan penyerapan panas oleh permukaan tanah (daratan) dibandingkan dengan air (laut). Secara populer diketahui bahwa daratan atau tanah cepat menjadi panas dan cepat menjadi dingin sebaliknya air lebih lambat menjadi panas dan lebih lambat menjadi dingin. Inilah yang dapat menerangkan bahwa pada siang hari angin menghebus dari laut ke daratan yang disebut angin laut. Pada waktu malam hari laut lebih panas dari daratan dan dengan demikian timbul angin dari darat ke laut yang disebut angin darat. Angin-angin ini adalah angin lokal dan akan timbul setiap hari.

Angin Gunung, Angin Lembah, Angin Lereng, Angin Kompensasi

Angin gunung dan angin lembah sama seperti di atas yaitu dihasilkan oleh perbedaan penyerapan panas antara gunung-gunung dibandingkan dengan lembah-lembah. Seperti diketahui bahwa gunung lebih cepat menjadi panas dan lebih cepat menjadi dingin. Sebaliknya lembah lebih lambat menjadi panas dan lebih lambat menjadi dingin. Hal ini disebabkan oleh karena aliran udara yang terjadi pada daerah pegunungan disebabkan oleh karena pada siang puncak gunung lebih dahulu mendapatkan penyinaran lebih banyak dari pada lembah-lembahnya maka terjadilah angin lembah. Sebaliknya pada malam hari tempertur puncak lebih dingin dari pada dilembah, maka terjadilah angin gunung.

Akibat adanya penyinaran lereng-lereng gunung menjadi lebih panas dan tekanan atmosfer menjadi berbeda pada tinggi yang sama sehingga menjadi angin lereng.

Angin Kompensasi (jatuh) terjadi pada pegunungan yang tinggi sekali yang disebabkan oleh udara akibat sengatan matahari. Pada siang hari udara bergerak melalui lereng ke puncak. Karena pada malam hari udara dibagian atas dapat cepat menjadi dingin menyebabkan tekanannya cepat pula menaik. Aliran udara yang mendarat beredar ke lembah disebut dengan angin kompensasi.

Angin Musim (Monsoon)

Angin musim ini disebabkan oleh karena adanya angin musim dingin dan angin musim panas. Pada saat benua Australia musim panas maka pada bagian daratan di Asia terjadi musim dingin. Jadi tekanan udara di atas Asia lebih di bandingkan Australia sedang lapisan udara di daratan Australia seolah-olah menghisap semua udara disekelilingnya, bahkan sampai

melewati equator di mana angin Pasat Timur Laut bertiup. disebabkan sifat menghisap yang sangat keras ini, maka Pasat Timur Laut disebut dibelokkan hamper 90° sedemikian sehingga mengarah menjadi Angin Barat Laut dan sebelah pada lintang 20° menjadi angin barat sehingga angin mengarah menjadi angin barat laut dan sebaliknya menjadi angin barat daya. Pengaruh angin musim ini menyebabkan musim hujan dan musim kemarau di Indonesia dan populer disebut dengan angin musim atau angin Muson..

2.3.2 Pengaruh Angin Terhadap Perencanaan Pelabuhan

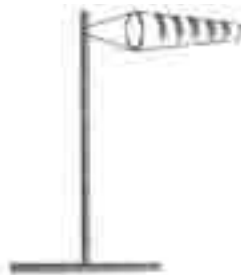
Pengetahuan tentang angin sangat penting sekali untuk perencanaan pelabuhan. Karena arah angin menentukan arah dan letak penangkis gelombang dan juga arah dan letak pintu pelabuhan. Hal ini dikarenakan angin berpengaruh pada gerakan atau manuver kapal dalam pelayaran khususnya disekitar pelabuhan terutama pendekatan kapal pada mulut pelabuhan. Disamping itu angin adalah salah satu penyebab adanya gelombang, dimana gelombang ini juga akan mengganggu baik pada konstruksi bangunan maupun kapalnya.

Penyelidikan angin memerlukan waktu yang lama minimal 3-5 tahun berturut-turut untuk mendapatkan hasil yang baik. Dalam penyelidikannya mengenai angin ini, hal-hal yang perlu kita selidiki atau sifat-sifat angin yang perlu diketahui untuk perencanaan dan pelaksanaan pembangunan pelabuhan adalah :

- a. Arah angin (wind direction)
- b. Kecepatan Angin (wind speed)
- c. Kekuatan Angin,
- d. Lamanya angin bertiup (duration).

Arah Angin

Arah angin dapat dilihat dengan menggunakan kantong angin atau panah.



Gambar 2.3 Kantong Angin

Kecepatan Angin

Kecepatan diukur dengan anemometer, yang terdiri dari 4 mangkok, yang dipasang pada 4 batang. Lamanya angin meniup, dengan menggunakan alat yang mencatat sendiri atau *self registering apparatus* maka dapat dicatat kecepatan angin selama satu periode (minggu, hari, jam).

Pada suatu daerah, besaran angin diukur berdasarkan kecepatan (intensitas) dan jumlah banyaknya pada suatu periode tertentu (frekuensi). Intensitas/kecepatan angin diukur dengan dimensi meter per detik atau Km per jam ataupun mil per jam.



Gambar 2.4 Anemometer untuk menghitung kecepatan angin

Berdasarkan observasi, arah, frekuensi dan intensitas dari angin pada suatu lokasi dan periode waktu tertentu digambarkan seperti wind rose yang diilustrasikan dalam gambar 2.5, 2.6, dan Gambar 2.7.

Kekutan angin diklasifikasikan sesuai dengan skala yang ditetapkan oleh Admiral Beaufort. Seperti diketahui intensitas range berjumlah 13, yaitu 0 sampai 12. Setiap nomor mewakili perkiraan kecepatan angin yang berhembus dan diskripsi umum dari intensitas. Berdasarkan pengamatan Beaufort, maka disusun skala intensitas dari 1 sampai dengan 12 yang umumnya menyebut sebagai “skala Beaufort” seperti terlihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Skala BEAUFORT (Beaufort Wind Scale)

Beaufor Number	Sifat Angin (Description)	Kecepatan (mil/jam)
0	Sunyi, Rendah (calm)	0 - 1
1	Angin sepoi (light air)	1 - 3
2	Angin sangat lemah (light breeze)	4 - 7
3	Angin lemah (gentle breeze)	8 - 12
4	Angin sedang (moderate breeze)	13 - 18
5	Angin agak kuat (fresh breeze)	19 - 24
6	Angin kuat (strong breeze)	25 - 31
7	Angin kencang (moderate gale)	32 - 38
8	Angin sangat kuat (fresh gale)	39 - 46
9	Badai (strong gale)	47 - 54
10	Badai kuat (whole gale)	55 - 63
11	Angin ribut (storm)	64 - 75
12	Angin topan (hurricane)	>75

Tekanan angin tergantung luas angin yang bertiup yang sesuai dengan rumus :

$$p = c \cdot V^2 \quad (2.1)$$

di mana c = konstanta yang biasanya diambil 0,00256

V = Kecepatan angin berhembus (mil/jam)

p = Gaya (tekanan) angin (lb/ft)

Total tekanan angin tergantung pada keamanan konstruksi, oleh karena itu tekanan angin biasanya dikalikan faktor angka keamanan antara 1,3 sampai 1,6. Dalam buku Peraturan Muatan Indonesia 1970 atau NI-18 besarnya tekanan muatan ini dinyatakan:

$$p = \frac{v^2}{16} \quad (2.2)$$

di mana p = tekanan tiup (kg/m²)

V = kecepatan angin (m/det)

Untuk suatu lokasi, maka kecepatan ini di observasi, kemudian berdasarkan observasi-observasi digambarkan sebagai frekuensi-frekuensi angin (Gambar 2.5, 2.6, 2.7).

Pengamatan sifat-sifat angin dalam suatu periode tertentu harus diolah dan disimpulkan dalam suatu diagram yang dapat menunjukkan keadaan angin sepanjang tahun. Biasanya data dibuat selama lima tahun berturut-turut tiap tahun dibuatkan tabel untuk mengetahui besar dan arah angin tersebut yang dinyatakan dalam %.

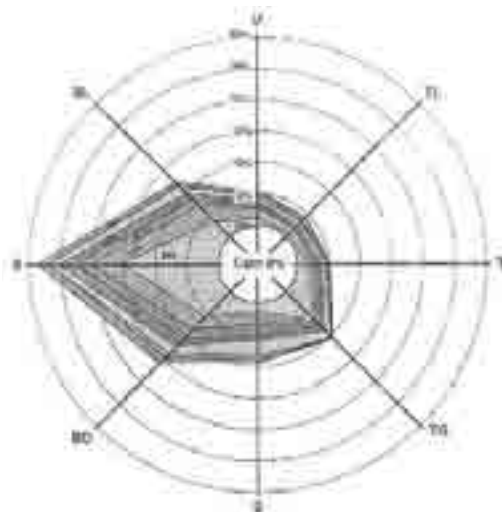
Contoh data angin yang dibuat dalam tabel :

Tabel 2.2 Prosentase arah angin yang bertiup menurut arah mata angin dalam 1 (satu) tahun

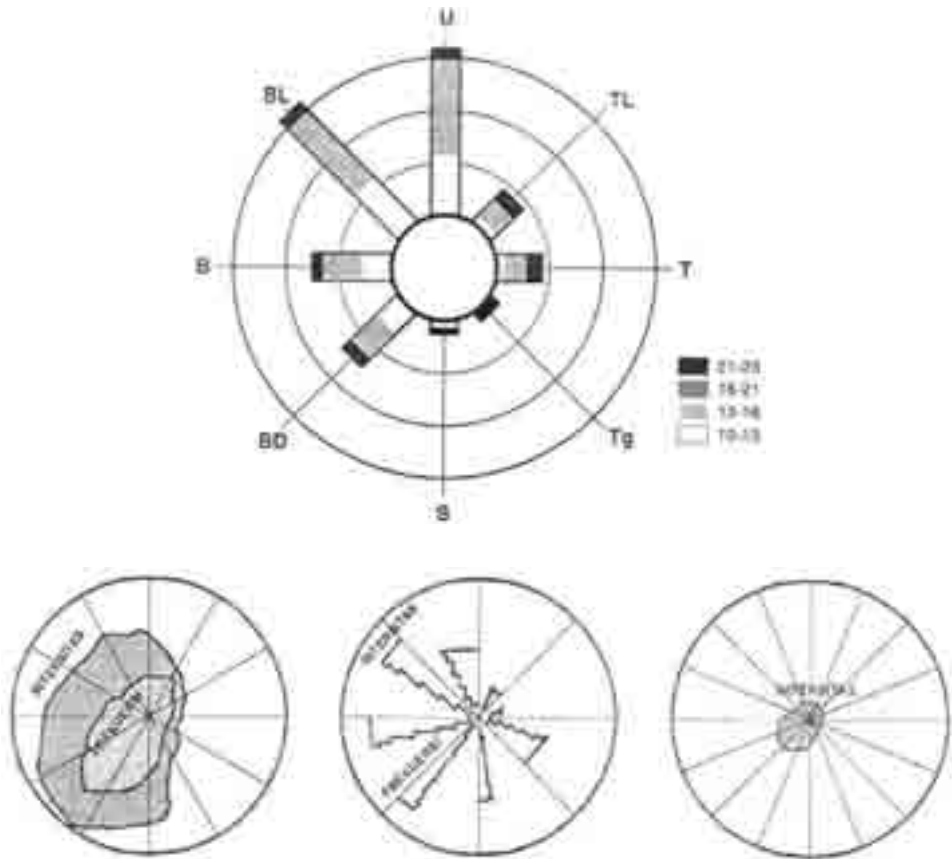
Arah Angin Kec.Angin (m/det)	Timur	Tenggara	Selatan	Barat daya	Barat	Barat laut	Utara	Timur laut	Prosentase kecepatan
0 - 1				6		3			9%
1 - 3	2	7	2	6	15	4	2	1	39%
4 - 7	1	1	2	3	5	3	2	1	18%
8 - 12	0,5	0,5	1	2	3	2	1	0,5	10,50%
13-18	0,5	0,5	0,5	1	2	1	0,5	0,5	6,50%
19-24	0,5	0,5	2	3	3	2	0,5	0,5	12%
>24	0,5	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5	5%
...% arah	5%	10%	8%	22%	29%	15,5%	6,5%	4	100%

Dan kemudian disimpulkan dalam suatu diagram yang dapat menunjukkan keadaan angin sepanjang tahun seperti Gambar 2.5.

Contoh-contoh Gambar Wind Rose yang digambar dengan cara yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.5 Wind Rose dari Tabel 2.2



Gambar 2.6 Tipikal Wind Rose

2.4 Faktor Kedalaman Air

2.4.1 Pengertian

Kedalaman air laut di daerah pelabuhan diketahui dari kondisi konturnya. Sedangkan kedalaman yang dibutuhkan pada suatu pelabuhan tergantung dari ukuran kapal terbesar yang direncanakan akan bertambat dan melakukan bongkar muat.

Jadi kedalaman air laut yang dibutuhkan harus mampu menerima kapal terbesar yang menggunakan fasilitas pelabuhan. Sedangkan luas wilayah dengan kedalaman yang dibutuhkan tersebut harus mampu pula melayani manuver kapal yang akan membelok ataupun sebagai penampungan/parkir sementara, menunggu giliran untuk melakukan kegiatan bongkar muat. Kedalaman tersebut diukur dari permukaan air pada waktu surut terendah.

Untuk mengetahui kedalaman air laut ini diperlukan observasi atau penyelidikan lapangan kedalaman laut dengan menggunakan peralatan, kemudian menghitung atau mengevaluasi data yang diperoleh.

2.4.2 Pengamatan Lapangan

Tujuan

Tujuan dari survey kedalaman laut ini adalah untuk mendapatkan gambaran peta kedalaman laut (kontur) di lokasi pengamatan

Scope Pengamatan

Pemetaan

- Menyangkut penentuan titik-titik yang dibutuhkan di lokasi pemetaan, agar situasi dari pelabuhan dapat digambarkan dalam peta.
- Pengamatan fluktuasi muka air laut untuk menentukan tinggi muka air laut di lokasi pemetaan pada saat tertentu.
- Pendugaan kedalaman laut, untuk menentukan kedalaman laut di lokasi pemetaan, agar dapat digambarkan kondisi kontur pada daerah yang dipetakan.

Alat yang digunakan

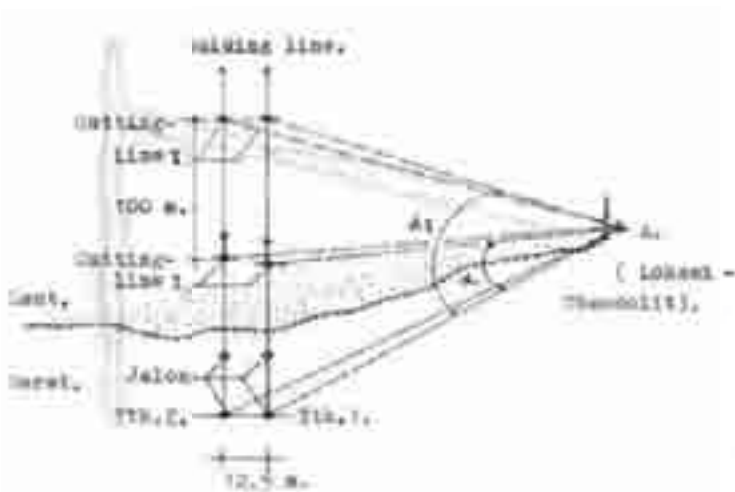
- Satu unit Echosounder Atlas Dezo 10
- Satu unit Theodolite Wild T2
- Topcon
- Palem
- Prisma
- Motor boat 25 PK
- Dan peralatan bantu lainnya

Cara Kerja

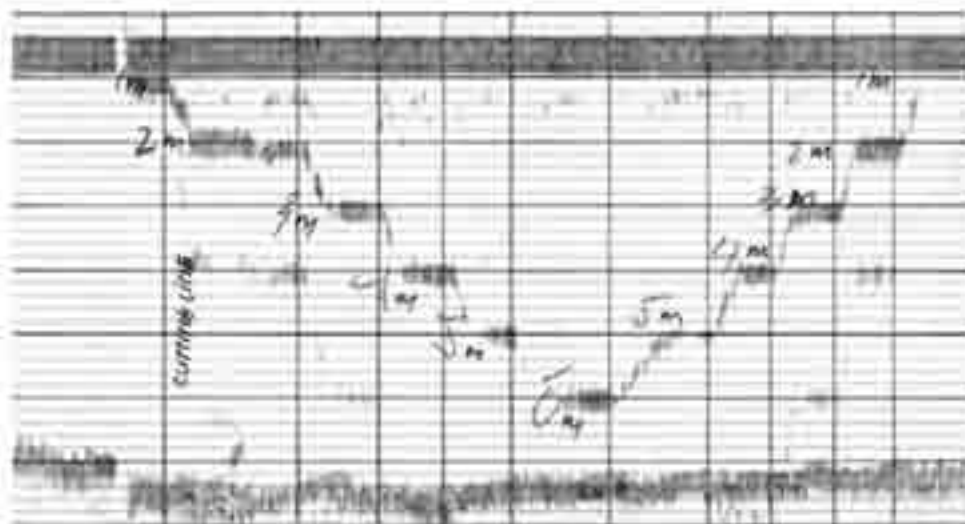
- Sebagai guiding line untuk menuntun arah dari gerakan meter boat dipakai system Ray-ray dengan penuntun dua jalon.
- Jarak antara dua guiding line dalam hal ini dipakai 12,5 meter
- Untuk membatasi panjang jarak yang ditempuh motor boat dipakai cutting line dengan jarak antara dua cutting line diambil

100 meter. Lokasi dari cutting line ditentukan dengan Theodolite wild T2 tetap di darat.

- Sounding dimulai dari cutting line I sampai cutting line II dengan arah sesuai dengan arah guiding line.
- Posisi cutting line I ditentukan oleh sudut α_1 , sedangkan posisi cutting line II ditentukan oleh sudut α_2 (lihat Gambar 2.7)
- Sebelum dan sesudahnya sounding, diadakan check bar sebagai kalibrasi alat dengan cara memasang plat baja pada kedalaman 1, 2, 3, 4 meter dibawah Trandouser (snsor echosounder). Kemudian hasil dari sounding tersebut di cek.



Gambar 2.7 Posisi Guiding line dalam pendugaan kedalaman laut



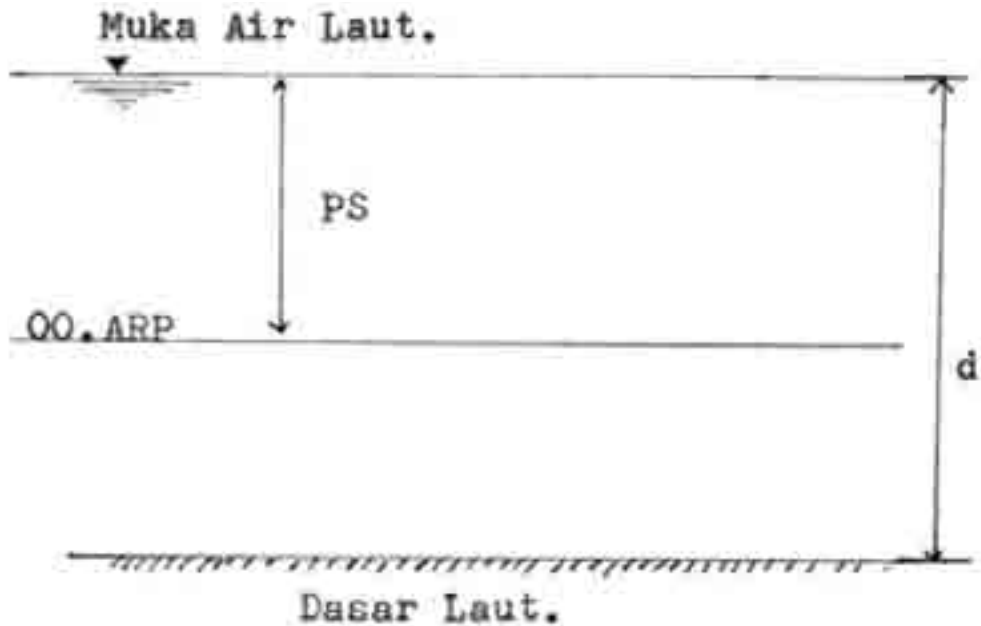
Gambar 2.8 Contoh hasil check bar

2.4.3 Hasil Pengamatan

Hasil rekaman sounding (pendugaan kedalaman laut) yang didapatkan berupa grafik kedalaman laut dilokasi pemetaan pada saat tertentu. Dari grafik pembacaan kedalaman dan hasil pembacaan muka surutan pada saat yang sama, maka dapat dihitung duga dari tiap-tiap titik sebagai berikut (lihat Gambar 2.9):

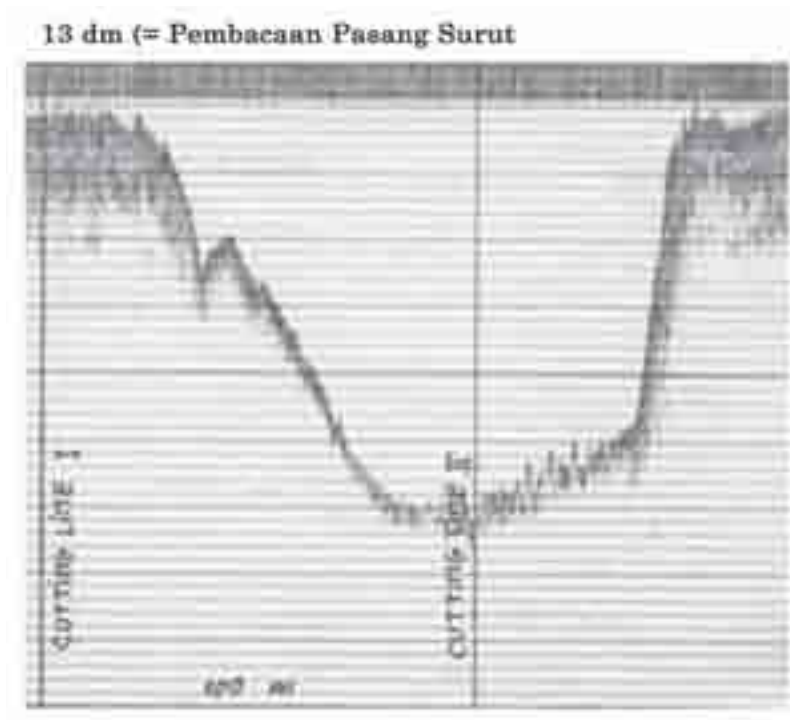
$$DG = d - PS$$

dimana: DG = Duga titik dibawah ARP
 d = Pembacaan kedalaman laut pada grafik sounding
 PS = Pembacaan muka surutan pada saat yang sama



Gambar 2.9 Duga tiap-tiap titik

Contoh Grafik hasil sounding dapat dilihat pada Gambar 2.10

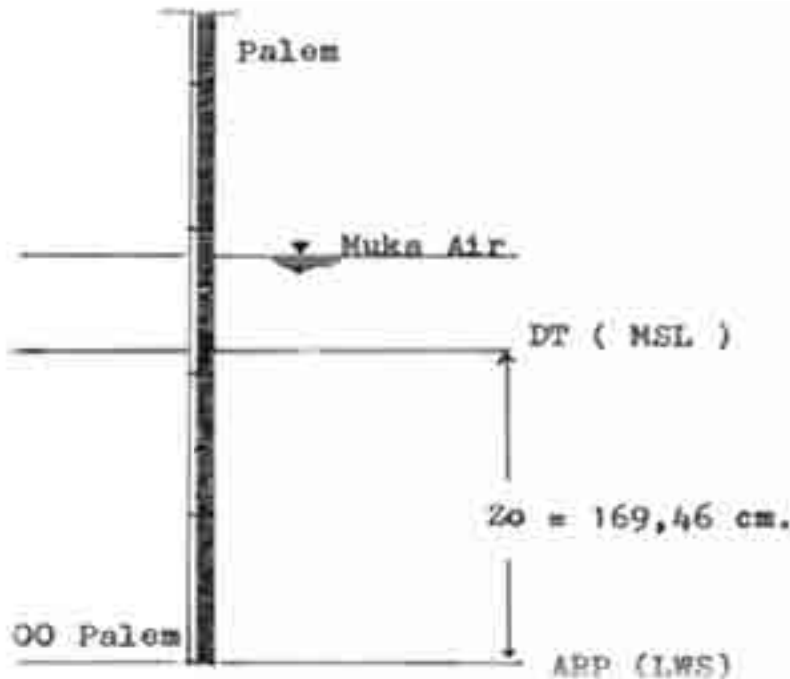


Gambar 2.10 Grafik hasil sounding

Dari Gambar 2.10 diatas dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Bila diinginkan interval jarak 10 m, maka jarak antara cutting line I dengan II dibagi 10.
- Kedalaman laut diukur dari garis paling atas kebawah sampai memotong grafik (skala 1 : 100)
- Duga titik pada dasar laut sama dengan kedalaman laut dikurangi pembacaan muka surutan pada saat yang sama.

Pembacaan palem dipermukaan air pada saat pemasangannya disesuaikan dengan pembacaan muka air pada grafik yang didapatkan dari rekaman alat *Automatic Water Level Recorder* di lokasi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Contoh posisi pemasangan Peil scahaal

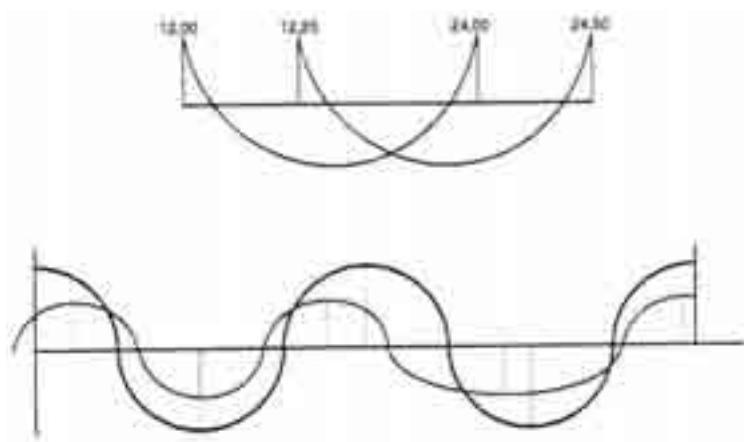
2.5 Faktor Pasang Surut

2.5.1 Pengertian Pasang Surut

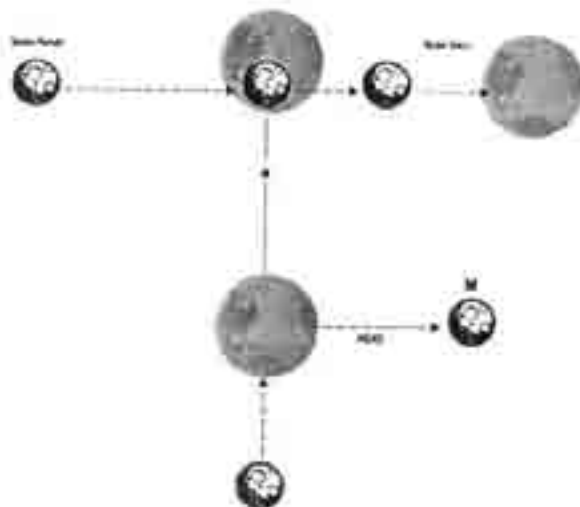
Pasang surut adalah periode naik dan turunnya permukaan air laut secara teratur satu atau dua kali dalam satu hari. Pergerakan ini terutama kelihatan dengan jelas di pinggir laut atau pantai yang terjadi secara berangsur-angsur dan dapat memperlihatkan antara muka air tertinggi dan muka air terendah atau paling surut. Umumnya interval rata-rata antara pasang dan surut berturut-turut 12 jam 25 menit, yaitu setengah waktu berturut-turut antara jalan lintasan bulan pada garis lintang seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12.

Gerakan pasang surut ini disebabkan karena adanya gaya tarik benda-benda angkasa terutama bulan dan matahari terhadap massa air laut di bumi. Meskipun massa bulan jauh lebih kecil dari massa matahari tetapi karena jaraknya terhadap bumi jauh lebih dekat, maka pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar dari pada pengaruh gaya tarik matahari. Karena bulan mempunyai pengaruh yang besar pada pasang surut dibandingkan matahari, maka pasang surut yang tertinggi yang terjadi pada interval

setengah bulan yang disebut spring tides (Gambar 2.13). pasang surut ini terjadi pada atau mendekati waktu bulan baru atau bulan purnama yaitu ketika matahari, bulan dan bumi terletak pada satu garis.



Gambar 2.12 Pasang surut



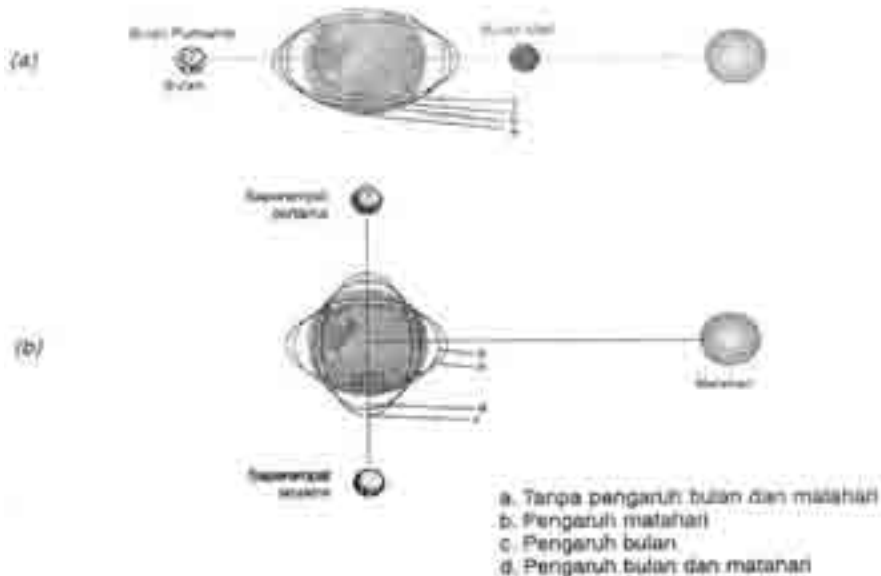
Gambar 2.13 Spring tides

Seperti diketahui bumi mengelilingi matahari dalam waktu 24 jam dan bulan dalam 24 jam 50 menit 28 detik. Dengan adanya selisih dalam kedua rotasi tersebut maka, saat air tinggi yang disebabkan oleh gaya tarik bulan digeser terlambat selama 50 menit 28 detik sehari dari air tinggi yang disebabkan oleh gaya tarik matahari. Apabila kita berada di tepi laut, maka, kita akan melihat bahwa permukaan air selama 24 jam akan naik satu kali tau dua kali dan turun satu atau dua kali.

Sebaliknya apabila bulan dan matahari membentuk sudut siku-siku terhadap bumi (Gambar 2.14) maka gaya tarik bulan terhadap bumi saling mengurangi. Dalam keadaan ini terjadi pasang surut perbani (pasang kecil, *neap tide*) dimana tinggi pasang surut kecil dibanding dengan hari-hari yang lain.

2.5.2. Tipe Pasang Surut

Pasang surut pada lokasi berbeda mempunyai tipe pasang surut yang tidak sama. Di suatu lokasi dalam satu hari dapat terjadi satu kali atau dua kali pasang surut. Secara umum pasang surut di berbagai lokasi dapat dibedakan dalam empat tipe, yaitu pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), harian ganda (*semidiurnal tide*) dan dua jenis campuran.



Gambar 2.14 Kedudukan Bumi – Bulan saat pasang Purnama (a) dan pasang perbani (b)

- a. Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*)
Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut terjadi secara berurutan secara teratur. Periode pasang surut rata-rata adalah 12 jam 24 menit.
- b. Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*)
Dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut. Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit.

- c. Pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*)
 Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda.
- d. Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*)

Pada tipe ini dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda.

Data pasang surut yang terjadi di beberapa pelabuhan utama dunia seperti ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Pasang surut tertinggi dan rata-rata yang terjadi pada beberapa pelabuhan utama Dunia

	Rerata (mean Range)	Tertinggi (Spring Range)
Anchorage, Alaska	26,7	29,6
Antwerp, Belgium	15,7	17,8
Bilbao, Spain	9	11,8
Bombay, India	8,7	11,8
Boston, Mass	9,5	11
Buenos Aires, Argentina	2,2	2,4
Callao, Peru	1,8	2,4
Canal Zone, Atlantic side	0,7	1,1
Canal Zone, Pasific side	12,6	16,4
Capetown, Union of south Africa	3,8	5,2
Cherbourg, France	13	18
Dakar, Africa	3,3	4,4
Galveston, Tex	1	1,4
Genoa, Italy	0,6	0,8
Hamburg, Germany	7,6	8,1
Havana, Cuba	1	1,2
Hongkong, China	3,1	5,3*
Honolulu, Hawai	1,2	1,9*
La Guaira, Venezuela	-	1,0*
Lisabon, Portugal	8,4	10,8
Liverpool, England	21,2	27,1
Manila, Philippines	-	3,3
Murmansk, U.S.S.R	7,9	9,9
New York, N.Y	4,4	5,3
Oslo, Norway	1	1,1
Quebec, Canada	13,7	15,5
Rio de Janeiro, Brazil	2,5	3,5
Rotterdam, Netherlands	5	5,4
San Francisco, California	4	5,7*
San Juan, Puerto Rico	1,1	1,3
Seattle, Wash	7,6	11,3
Southampton, England	10	13,6
Sydney, Australia	3,6	4,5
Valparaiso, Chile	3	3,9
Vladivostok, U.S.S.R	0,6	0,7
Yokohama, Japan	3,5	4,7

Sumber: (Quinn 1972)

2.5.3. Pengaruh Pasang Surut terhadap Perencanaan Pelabuhan

Secara praktis seorang perencana dan pelaksana pembangunan pelabuhan haruslah mengetahui keadaan pasang surut suatu daerah lokasi perencanaan dan pelaksanaan pembangunan pelabuhan yang akan dibangun. Pengetahuan tentang pasang surut adalah penting di dalam perencanaan pelabuhan. Elevasi muka air tertinggi (pasang) dan terendah (surut) serta perbedaan pasang surut sangat penting untuk merencanakan bangunan-bangunan pelabuhan. Seperti misalnya, peil dari pada dermaga harus cukup aman terhadap keadaan pasang tertinggi, elevasi puncak bangunan pemecah gelombang dan sebagainya ditentukan oleh elevasi muka air pasang, sementara keadaan alur pelayaran/pelabuhan ditentukan oleh muka air surut. Demikian juga halnya dalam pelaksanaan pembangunan pelabuhan data-data pasang surut sangat penting sekali seperti misalnya kapan sebaiknya melaksanakan pengecoran selimut beton untuk melindungi tiang-tiang baja yang sering digunakan dalam mendukung dermaga-dermaga pier, demikian juga misalnya apabila diperlukan pengurangan-pengurangan dan pemancangan-pemancangan. Data-data pasang surut sangat penting untuk menentukan dimensi bangunan-bangunan dilaut dan juga untuk memudahkan serta memperlancar pelaksanaan pembangunan di laut.

Suatu kapal laut dinyatakan dapat melakukan kegiatan bongkar muat barang di dermaga tempat bertambatnya oleh petugas-petugas pelabuhan, apabila perbedaan pasang surut tidak lebih besar dari 17 ft (5 meter). Apabila beda pasang surut lebih besar daripada angka tersebut, maka diperlukan adanya suatu sistem pengawasan dock tertutup.

Kasus lain yang cukup penting akibat adanya perbedaan pasang surut ini adalah menyangkut masalah keamanan kapal dalam melakukan pelayaran. Sebab dengan adanya beda pasang surut yang besar mempengaruhi kedalaman yang besar pula.

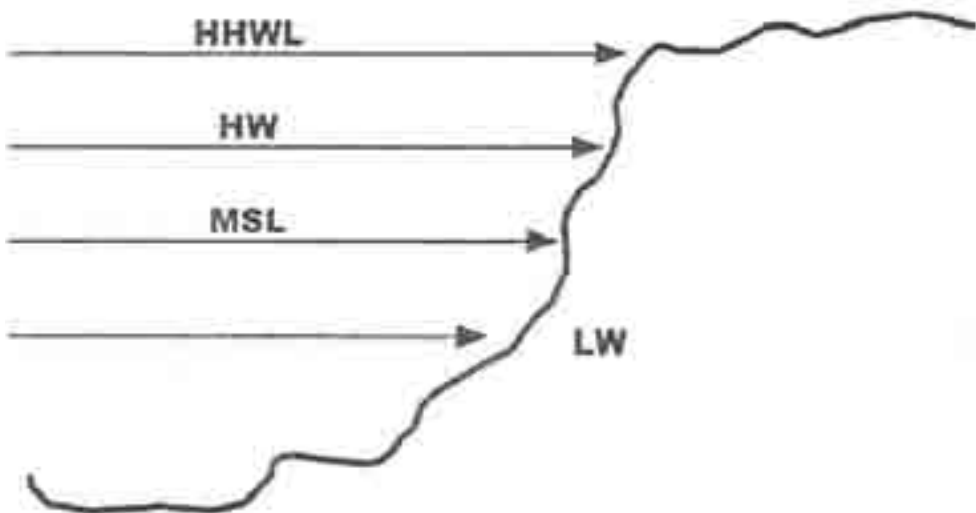
Mengingat elevasi muka air laut selalu berubah setiap saat, maka diperlukan suatu elevasi yang ditetapkan berdasar data pasang surut, yang dapat digunakan sebagai pedoman di dalam perencanaan dan pelaksanaan pembangunan pelabuhan. Beberapa elevasi tersebut adalah (lihat Gambar 2.15):

- a. Muka air tinggi (*high water level, HWL*), muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut.
- b. Muka air rendah (*low water level, LWL*), kedudukan air terendah yang dicapai pada saat air surut dalam satu siklus pasang surut.

- c. Muka air tinggi rerata (*mean high water level, MHWL*), adalah rerata dari muka air tinggi selama periode 19 tahun.
- d. Muka air rendah rerata (*mean low water level, MLWL*), adalah rerata dari muka air rendah selama periode 19 tahun.
- e. Muka air laut rerata (*mean sea level, MSL*), adalah muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata. Elevasi ini digunakan sebagai referensi untuk elevansi di daratan.
- f. Muka air tinggi tertinggi (*highest high water level, HHWL*), adalah air tinggi pada saat pasang surut purnama atau pada bulan mati.
- g. Air rendah terendah (*lowest low water level, LLWL*), adalah air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati
- h. *Higher high water level*, adalah air tertinggi dari dua air tinggi dalam satu hari, seperti dalam pasang surut tipe campuran.
- i. *Lower low water level*, adalah air rendah dari dua air rendah dalam satu hari.

2.5.4. Pengamatan Pasang Surut

Pengamatan pasang surut permukaan laut di pelabuhan dimaksudkan untuk mendapatkan data elevansi muka air tertinggi dan terendah di lokasi pengamatan. Pengamatannya biasanya dilakukan terus menerus selama 24 jam selama 2 (dua) minggu. Pengamatan dilakukan dengan memasang *automatic water level recorder* yang mencatat elevansi muka air setiap saat.



Gambar 2.15 Kedudukan muka air

Scope pengamatan

Pasang tertinggi :

Menentukan pasang tertinggi yang terjadi dilokasi pengamatan setiap hari, selama waktu pengamatan.

Surut terendah :

Menentukan surut terendah yang terjadi dilokasi pengamatan setiap hari, selama waktu pengamatan.

Beda pasang surut :

Menentukan beda pasang surut terbesar yang terjadi di lokasi pengamatan setiap hari, selama waktu pengamatan.

Alat yang digunakan :

- *Automatic Water Level Recorder*
- Kertas grafis
- Alat-alat bantu lainnya

Cara kerja

Alat pengamat pasang surut (*Automatic Water Level Recorder*) yang digunakan disini setelah dipasang pada sisi dermaga pelabuhan bagian dalam. Prinsip dari penempatan ini adalah di pilih suatu lokasi, dimana bila terjadi air surut terendah maka pelampung dari alat masih menyentuh air. Untuk menghindarkan pengaruh naik turunnya elevasi muka air laut akibat adanya gangguan dilaut, maka pelampung dari alat dilindungi dengan pipa sampai kebawah permukaan air.

Setelah alat pengamat tersebut dihidupkan, maka elevasi muka air akan direkam secara otomatis oleh alat pada kertas grafis yang dipasang pada alat.

Sebelum dan sesudah pengamatan, selalu dicatat waktunya.

Hasil pengamatan:

Hasil pengamatan pasang surut yang dilakukan di pelabuhan dengan menggunakan peralatan *Automatic Water Level Recorder* merupakan suatu suatu grafik pasang surut, dimana garis vertikal sampai memotong grafik tersebut adalah pembacaan elevasi muka air dengan skala 1:10 (pembacaan dilakukan dari atas). Sedangkan garis horisontal menunjukkan waktu

pengamatan dengan skala: 1 mm = 1 jam, pembacaan dilakukan dari kanan ke kiri.

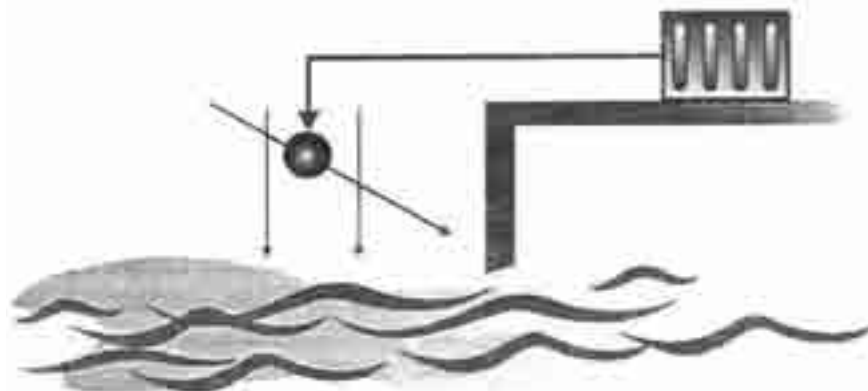
Setelah diadakan perhitungan duduk dengan sistim Doodsoon Rooster (Admiralty Method) terhadap hasil pembacaan grafik pasang surut Automatic Water Level Recorder, didapatkan pembacaan duduk tengah atau *Mean Sea Level* (MSL). Pada setiap pelabuhan data-data pasang surut biasanya dicatat setiap hari dengan menggunakan tabel 2.4.

Pencatatan tinggi pasang surut dengan alat sederhana yaitu sebuah bola yang dihubungkan dengan sebuah lengan kayu/besi ke alat pencatat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16. Kedudukan permukaan air harus dicatat minimal selama 15 hari.

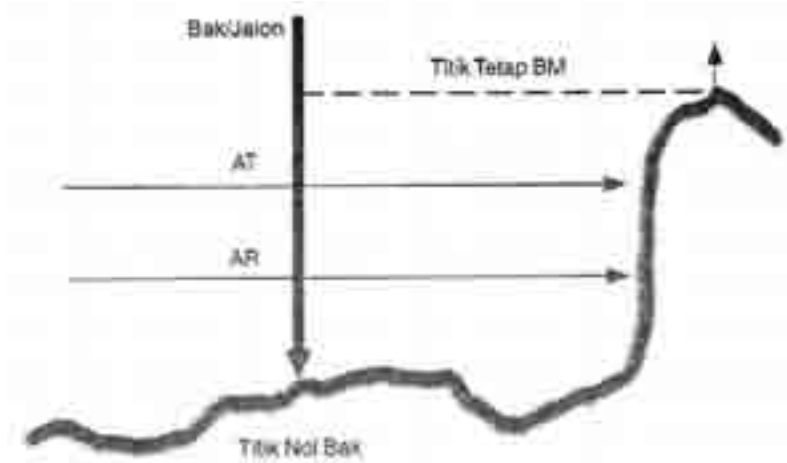
Disamping itu pencatatan dapat juga dilakukan dengan bak/jalon seperti ditunjukkan pada Gambar 2.17.

Tabel 2.4 Pencatatan data-data pasang surut

Bulan :		Tahun :			
Tgl.	Jam	1	2	23	24
1					
2					
3					
4					
.....					
.....					
.....					
.....					
30					
31					



Gambar 2.16 Pengamatan pasang surut dengan alat sederhana



Gambar 2.17 Pengamatan pasang surut dengan Bak/jalon

2.6 Faktor Arus

2.6.1. Pengertian Arus

Arus adalah perpindahan air secara mendatar. Arus terjadi disebabkan oleh karena pasang surut, karena tekanan udara, karena perbedaan berat jenis, kadar garam dan karena suhu.

Arus biasanya membawa butir-butir tanah (lumpur), untuk butir yang berat bisa menyebabkan pengendapan. Berhubung adanya endapan-endapan menyebabkan laut menjadi dangkal. Untuk itu dalam perencanaan pelabuhan masalah pengendapan ini harus dilakukan penyelidikan yang teliti karena biaya pengerukan sama dengan pembuatan pelabuhan yang baru atau kadang-kadang malah lebih besar. Penyelidikan ini gunanya untuk mengetahui sifat dan banyaknya endapan yang terjadi sehingga dapat ditentukan periode pergerakannya.

2.6.2. Arus Pasang Surut

Perubahan taraf permukaan air laut akibat pasang surut di beberapa lokasi bumi yang berbeda, mengakibatkan pergerakan air secara horizontal, perpindahan air di bawah permukaan ini umumnya disebut arus pasang surut (tidal current/stream). Arah arus pasang umumnya berlawanan dengan arus surut. Sebagaimana gerakan pasang surut yang harmonis.

Pengaruh pasang surut sangat besar pada muara-muara sungai (*estuary*). Jadi bila suatu pelabuhan dibangun pada muara-muara sungai, maka dua hal yang perlu diperhatikan:

- a. Navigasi melalui muara harus cukup aman.
- b. Pengendapan (sidementasi) harus cukup kecil.

Kedua hal ini sangat bertentangan. Di satu pihak keamanan navigasi membutuhkan mulut pelabuhan harus besar, tetapi hal ini menyebabkan kecepatan arus rendah, jadi mempermudah terjadinya sidementasi. Sebaliknya mulut pelabuhan yang kecil mengurangi keamanan navigasi, tetapi menghindarkan terjadinya pengendapan. Jadi harus dicari besaran antara kedua pokok soal di atas. Gerakan air akibat pasang surut ini menjadi arus berputar (*rotating movement*) yang disebut “vortex” (Walze). Tergantung dari besarnya arus, biasanya terdapat “*primary vortex*” dan “*secondary vortex*” (Lihat Gambar 2.18).



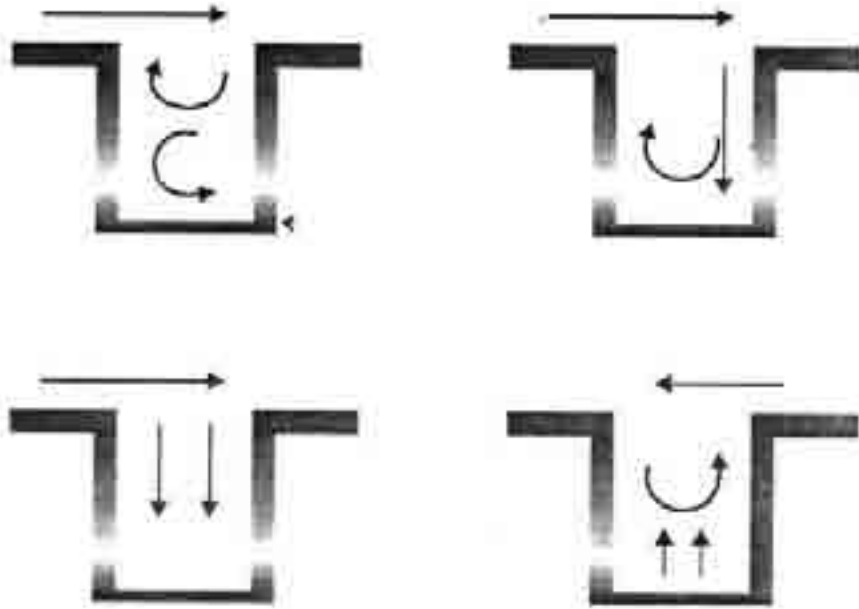
Gambar 2.18 Primary Vortex dan Secondary Vortex

Pengendapan dalam arah lateral tergantung pada karakteristik vortex-vortex tersebut, sebab pergantian cairan berlumpur (*liquid material*) adalah berhubungan dengan pergantian angkutannya. Biasanya pengendapan bagian kasar pada pola lokasi (a) dan bagian halus pada lokasi (b).

Secara umum dapat dijelaskan bahwa sebab-sebab sedimentasi adalah sebagai berikut

- a. Akibat arus (*current effect, vortex* pada mulut pelabuhan karena terjadinya perubahan energi).
- b. Akibat pasang surut (pada saat pasang, maka air pasang masuk ke dalam kolam).
- c. Akibat berat jenis (*density effect*, pada mulut pelabuhan terdapat perbedaan berat jenis air laut dan air tawar yang mengandung lumpur).

Yang paling menentukan dalam proses pengendapan adalah akibat arus. Pada Gambar 2.19. kita coba melukiskan ketiga efek-efek tersebut.



Gambar 2.19 Efek-efek Arus

2.6.3 Endapan (Sedimentologi)

Sedimentologi adalah ilmu yang mempelajari sedimen atau endapan (Wadell, 1932). Sedangkan sedimen atau endapan pada umumnya diartikan sebagai hasil dari proses pelapukan terhadap suatu tubuh batuan, yang kemudian mengalami erosi, tertansportasi oleh air, angin, dll, dan pada akhirnya terendapkan atau tersedimentasikan.

Sedimentasi adalah suatu proses pengendapan material yang ditransport oleh media air, angin, es, atau gletser di suatu cekungan. Sedangkan batuan sedimen adalah suatu batuan yang terbentuk dari hasil proses sedimentasi, baik secara mekanik maupun secara kimia dan organik.

a. Secara mekanik

Terbentuk dari akumulasi mineral-mineral dan fragmen-fragmen batuan. Faktor-faktor yang penting antara lain :

Sumber material batuan sedimen:

Sifat dan komposisi batuan sedimen sangat dipengaruhi oleh material-material asalnya. Komposisi mineral-mineral batuan sedimen dapat menentukan waktu dan jarak transportasi, tergantung dari prosentasi mineral-mineral stabil dan nonstabil.

Lingkungan pengendapan:

Secara umum lingkungan pengendapan dibedakan dalam tiga bagian yaitu: Lingkungan Pengendapan Darat, Transisi dan Laut. Ketiga lingkungan pengendapan ini, dimana batuan yang dibedakannya masing-masing mempunyai sifat dan ciri-ciri tertentu.

Pengangkutan (transportasi):

Media transportasi dapat berupa air, angin maupun es, namun yang memiliki peranan yang paling besar dalam sedimentasi adalah media air. Selama transportasi berlangsung, terjadi perubahan terutama sifat fisik material-material sedimen seperti ukuran bentuk dan roundness. Dengan adanya pemilahan dan pengikisan terhadap butir-butir sedimen akan memberi berbagai macam bentuk dan sifat terhadap batuan sedimen.

Pengendapan:

Pengendapan terjadi bilamana arus/gaya mulai menurun hingga berada di bawah titik daya angkutnya. Ini biasa terjadi pada cekungan-cekungan, laut, muara sungai, dan lain-lain.

Kompaksi:

Kompaksi terjadi karena adanya gaya berat/gravitasi dari material-material sedimen sendiri, sehingga volume menjadi berkurang dan cairan yang mengisi pori-pori akan bermigrasi ke atas.

Lithifikasi dan Sementasi:

Bila kompaksi meningkat terus menerus akan terjadi pengerasan terhadap material-material sedimen. Sehingga meningkat ke proses pembatuan (lithifikasi), yang disertai dengan sementasi dimana material-material semen terikat oleh unsur-unsur/mineral yang mengisi pori-pori antara butir sedimen.

Replacement dan Rekrystalisasi:

Proses replacement adalah proses penggantian mineral oleh pelarutan-pelarutan kimia hingga terjadi mineral baru. Rekrystalisasi adalah perubahan atau pengkristalan kembali mineral-mineral dalam batuan sedimen, akibat pengaruh temperatur dan tekanan yang relatif rendah.

Diagenesis:

Diagenesis adalah perubahan yang terjadi setelah pengendapan berlangsung, baik tekstur maupun komposisi mineral sedimen yang disebabkan oleh kimia dan fisika.

b. Secara Kimia dan Organik

Terbentuk oleh proses-proses kimia dan kegiatan organisme atau akumulasi dari sisa skeleton organisme. Sedimen kimia dan organik dapat terjadi pada kondisi darat, transisi, dan lautan, seperti halnya dengan sedimen mekanik.

Masing-masing lingkungan sedimen dicirikan oleh paket tertentu fisik, kimia, dan biologis parameter yang beroperasi untuk menghasilkan tubuh tertentu sedimen dicirikan oleh tekstur, struktur, dan komposisi properti. Kita mengacu kepada badan-badan khusus seperti endapan dari batuan sedimen sebagai bentuk. Istilah bentuk mengacu pada unit stratigrafik dibedakan oleh lithologic, struktural, dan karakteristik organik terdeteksi di lapangan. Sebuah bentuk sedimen dengan demikian unit batu itu, karena deposisi dalam lingkungan tertentu, memiliki pengaturan karakteristik properti. Lithofacies dibedakan oleh ciri-ciri fisik seperti warna, lithology, tekstur, dan struktur sedimen. Biofacies didefinisikan pada karakteristik paleontologic dasar. Inti penekanan adalah bahwa lingkungan depositional menghasilkan bentuk sedimen. Karakteristik properti dari bentuk sedimen yang pada gilirannya merupakan refleksi dari kondisi lingkungan deposional.

Stratigrafi adalah studi batuan untuk menentukan urutan dan waktu kejadian dalam sejarah bumi. Dua subjek yang dapat dibahas untuk membentuk rangkaian kesatuan skala pengamatan dan interpretasi. Studi proses dan produk sedimen memperkenalkan kita menginterpretasi dinamika lingkungan pengendapan. Rekaman-rekaman proses ini di dalam batuan sedimen memperkenalkan kita menginterpretasikan batuan ke dalam lingkungan tertentu. Untuk menentukan perubahan lateral dan temporer di dalam lingkungan masa lampau ini, diperlukan kerangka kerja kronologi.

Ilmu bumi secara tradisional telah dibagi kedalam sub-disiplin ilmu yang terfokus pada aspek-aspek geologi seperti paleontologi, geofisika, mineralogi, petrologi, geokimia, dan sebagainya. Di dalam tiap sub-disiplin ilmu ini, ilmu pengetahuan telah dikembangkan sebagai teknik analitik baru yang telah diaplikasikan dan dikembangkannya teori-teori inovatif. Diwaktu yang sama karena kemajuan-kemajuan di lapangan, maka diperkenalkannya

integrasi kombinasi ide-ide dan keahlian dari berbagai disiplin ilmu yang berbeda-beda. Geologi adalah ilmu multidisiplin yang sangat baik dipahami jika aspek-aspek berbeda terlihat berhubungan antara satu dengan lainnya. Sedimentologi perhatiannya tertuju pada pembentukan batuan sedimen. Kemudian batuan sedimen dibahas hubungan waktu dan ruangnya dalam rangkaian stratigrafi di dalam cekungan-cekungan sedimen. Tektonik lempeng, petrologi dan paleontologi adalah topik tambahan.

Metode-metode yang digunakan oleh sedimentologis untuk mengumpulkan data dan bukti pada sifat dan kondisi deposisional batuan sedimen meliputi;

- Mengukur dan menggambarkan singkapan dan distribusi unit batu;
 - o Menggambarkan formasi batuan, proses formal mendokumentasikan ketebalan, lithology, singkapan, distribusi, hubungan kontak formasi lain
 - o Pemetaan distribusi unit batu, atau unit
- Deskripsi batuan inti (dibor dan diambil dari sumur eksplorasi selama hidrokarbon)
- Sequence stratigraphy
 - o Menjelaskan perkembangan unit batu dalam baskom
- Menggambarkan lithology dari batu;
 - o Petrologi dan petrography; khususnya pengukuran tekstur, ukuran butir, bentuk butiran (kebulatan, pembulatan, dll), pemilahan dan komposisi sedimen
- Menganalisis geokimia dari batu

Geokimia isotop, termasuk penggunaan penanggalan radiometrik, untuk menentukan usia batu, dan kemiripan dengan daerah sumber.

Sedimen yang di jumpai di dasar lautan dapat berasal dari beberapa sumber yang menurut Reinick (Dalam Kennet, 1992) dibedakan menjadi empat yaitu :

1. *Lithogenous sedimen* yaitu sedimen yang berasal dari erosi pantai dan material hasil erosi daerah up land. Material ini dapat sampai ke dasar laut melalui proses mekanik, yaitu tertransport oleh arus sungai dan atau arus laut dan akan terendapkan jika energi tertransforkan telah melemah.
2. *Biogeneuos sedimen* yaitu sedimen yang bersumber dari sisa-sisa organisme yang hidup seperti cangkang dan rangka biota laut serta bahan-bahan organik yang mengalami dekomposisi.
3. *Hidreogenous sedimen* yaitu sedimen yang terbentuk karena adanya reaksi kimia di dalam air laut dan membentuk partikel yang tidak larut

dalam air laut sehingga akan tenggelam ke dasar laut, sebagai contoh dan sedimen jenis ini adalah magnetit, phosphorit dan glaukonit.

4. *Cosmogerous sedimen* yaitu sedimen yang berasal dari berbagai sumber dan masuk ke laut melalui jalur media udara/angin. Sedimen jenis ini dapat bersumber dari luar angkasa, aktifitas gunung api atau berbagai partikel darat yang terbawa angin. Material yang berasal dari luar angkasa merupakan sisa-sisa meteorik yang meledak di atmosfer dan jatuh di laut. Sedimen yang berasal dari letusan gunung berapi dapat berukuran halus berupa debu vulkanik, atau berupa fragmen-fragmen aglomerat. Sedangkan sedimen yang berasal dari partikel di darat dan terbawa angin banyak terjadi pada daerah kering dimana proses eolian dominan namun demikian dapat juga terjadi pada daerah subtropis saat musim kering dan angin bertiup kuat. Dalam hal ini umumnya sedimen tidak dalam jumlah yang dominan dibandingkan sumber-sumber yang lain. (Sugeng Widada)

Dalam suatu proses sedimentasi, zat-zat yang masuk ke laut berakhir menjadi sedimen. Dalam hal ini zat yang ada terlibat proses biologi dan kimia yang terjadi sepanjang kedalaman laut. Sebelum mencapai dasar laut dan menjadi sedimen, zat tersebut melayang-layang di dalam laut. Setelah mencapai dasar lautpun, sedimen tidak diam tetapi sedimen akan terganggu ketika hewan laut dalam mencari makan. Sebagian sedimen mengalami erosi dan tersuspensi kembali oleh arus bawah sebelum kemudian jatuh kembali dan tertimbun. Terjadi reaksi kimia antara butir-butir mineral dan air laut sepanjang perjalannya ke dasar laut dan reaksi tetap berlangsung penimbunan, yaitu ketika air laut terperangkap di antara butiran mineral. Era oseanografi secara sistematis telah dimulai ketika HMS Challenger kembali ke Inggris pada tanggal 24 Mei 1876 membawa sampel, laporan, dan hasil pengukuran selama ekspedisi laut yang memakan waktu tiga tahun sembilan bulan. Anggota ilmuwan yang selalu menyakinkan dunia tentang kemajuan ilmiah Challenger adalah John Murray, warga Kanada kelahiran Skotlandia. Sampel-sampel yang dikumpulkan oleh Murray merupakan penyelidikan awal tentang sedimen laut dalam.

Distribusi Sedimen Laut:

Sedimen yang masuk ke dalam laut dapat terdistribusi pada :

1. *Daerah perairan dangkal*, seperti endapan yang terjadi pada paparan benua (Continental Shelf) dan lereng benua (Continental Slope). Dijelaskan oleh Hutabarat (1985) dan Bhatt (1978) bahwa 'Continental Shelf' adalah suatu daerah yang mempunyai lereng landai kurang

lebih 0,4% dan berbatasan langsung dengan daerah daratan, lebar dari pantai 50 – 70 km, kedalaman maksimum dari lautan yang ada di atasnya di antara 100 – 200 meter.

'Continental Slope' adalah daerah yang mempunyai lereng lebih terjal dari continental shelf, kemiringannya anantara 3 – 6 %.

2. *Daerah perairan dalam*, seperti endapan yang terjadi pada laut dalam.

Endapan Sedimen pada Perairan Dangkal:

Pada umumnya '*Glacial Continental Shelf*' dicirikan dengan susunan utamanya campuran antara pasir, kerikil, dan batu kerikil. Sedangkan '*Non Glacial Continental Shelf*' endapannya biasanya mengandung lumpur yang berasal dari sungai. Di tempat lain (continental shelf) dimana pada dasar laut gelombang dan arus cukup kuat, sehingga material batuan kasar dan kerikil biasanya akan diendapkan.

Sebagian besar pada 'Continental slope' kemiringannya lebih terjal sehingga sedimen tidak akan terendapkan dengan ketebalan yang cukup tebal. Daerah yang miring pada permukaannya dicirikan berupa batuan dasar (bedrock) dan dilapisi dengan lapisan lanau halus dan lumpur. Kadang permukaan batuan dasarnya tertutupi juga oleh kerikil dan pasir.

Endapan Sedimen pada Perairan Laut Dalam

Sedimen laut dalam dapat dibagi menjadi 2 yaitu Sedimen Terigen Pelagis dan Sedimen Biogenik Pelagis.

1. Sedimen Biogenik Pelagis

Dengan menggunakan mikroskop terlihat bahwa sedimen biogenik terdiri atas berbagai struktur halus dan kompleks. Kebanyakan sedimen itu berupa sisa-sisa fitoplankton dan zooplankton laut. Karena umur organisme plankton hanya satu atau dua minggu, terjadi suatu bentuk 'hujan' sisa-sisa organisme plankton yang perlahan, tetapi kontinue di dalam kolam air untuk membentuk lapisan sedimen. Pembentukan sedimen ini tergantung pada beberapa faktor lokal seperti kimia air dan kedalaman serta jumlah produksi primer di permukaan air laut. Jadi, keberadaan mikrofil dalam sedimen laut digunakan untuk menentukan kedalaman air dan produktifitas permukaan laut pada zaman dulu.

2. Sedimen Terigen Pelagis

Hampir semua sedimen Terigen di lingkungan pelagis terdiri atas materi-materi yang berukuran sangat kecil. Ada dua cara materi tersebut sampai ke lingkungan pelagis. Pertama dengan bantuan arus turbiditas dan aliran grafitasi. Kedua melalui gerakan es yaitu materi glasial yang dibawa oleh bongkahan es ke laut lepas dan mencair. Bongkahan es besar yang mengapung, bongkahan es kecil dan pasir dapat ditemukan pada sedimen pelagis yang berjarak beberapa ratus kilometer dari daerah gletser atau tempat asalnya.

Angin merupakan alat transportasi penting untuk memindahkan materi langsung ke laut. Lempung pelagis yang ada di laut dibawa terutama oleh tiupan angin (aeolian). Ukuran lempung ini

Komponen utama debu yang terbawa angin adalah kuarsa dan mineral lempung. Pada skala global, jumlah masuknya materi Vulkanologi ke sedimen laut dalam adalah kecil. Letusan besar dapat mengeluarkan abu dan debu dalam jumlah yang banyak dengan ketinggian 15-50 km, dan partikel terkecil berukuran $1- <1\mu\text{m}>$

Selain pengertian sedimen di atas ada pengertian lain tentang sedimen yaitu batuan sedimen adalah batuan yang terbentuk oleh proses sedimentasi. Sedangkan sedimentasi adalah proses pengendapan sedimen oleh media air, angin, atau es pada suatu cekungan pengendapan pada kondisi P dan T tertentu.

Dalam batuan sedimen dikenal dengan istilah tekstur dan struktur. Tekstur adalah suatu kenampakan yang berhubungan erat dengan ukuran, bentuk butir, dan susunan kompone mineral-mineral penyusunnya. Studi tekstur paling bagus dilakukan pada contoh batuan yang kecil atau asahan tipis.

Struktur merupakan suatu kenampakan yang diakibatkan oleh proses pengendapan dan keadaan energi pembentuknya. Pembentukannya dapat pada waktu atau sesaat setelah pengendapan. Struktur berhubungan dengan kenampakan batuan yang lebih besar, paling bagus diamati di lapangan misal pada perlapisan batuan. (Sugeng Widada : 2002)

2.6.4 Pengamatan Arus, Endapan dan Material Tanah Dasar

Pengamatan ini dilakukan selama satu minggu setiap jam selama 24 jam terus menerus. Pengukuran arus dan pengambilan contoh air dilakukan pada kedalaman 0,3 ; 0,7 dan 0,9 dari kedalaman laut di lokasi pengamatan.

Tujuan

Tujuan dari pada survey arus, endapan dan material tanah dasar adalah untuk mengetahui kondisi arus, endapan dan material tanah dasar dilokasi pengamatan.

Scope pengamatan

- Pengukuran Arus:
Menyangkut penentuan kecepatan arus dan arah arus dilokasi pengamatan.
- Pengamatan contoh air :
Mengambil contoh air dilokasi pengamatan sesuai dengan kedalaman yang dibutuhkan, untuk kemudian ditentukan endapannya.
- Pengamatan contoh tanah dasar :
Mengambil contoh tanah dasar dilokasi pengamatan, untuk kemudian ditentukan *grain size distribution* nya.

Alat yang digunakan:

- Satu unit Current Flown Meter B.F.M. 008 MK3
- Alat DereK tangan (Hand Winch with metric indicator)
- Sextant
- Satu unit XRB Van Dorn Water Sampler
- Satu unit Steel Grab Sampler.
- Alat-alat bantu lain.

Cara kerja

A. Pengukuran arus:

- Menentukan lokasi pengamatan menggunakan sextan dari stasiun pengamatan dengan bantuan tiga titik tetap di darat
- Mengukur kedalaman laut setiap jam pengamatan, untuk menentukan posisi kedalaman alat ukur pada setiap pengamatan sesuai dengan kebutuhan. Yaitu dalam pengamatan diambil 0, 3d, 0, 7d, dan 0, 9d.
- Pengukuran arus dilakukan tiga kali untuk setiap kedalaman dengan mencatat jam pengamatan, jumlah putaran alat ukur dan arah arus yang terbaca pada alat ukur setiap interval waktu 50 detik untuk satu kali pengamatan.

- Kecepatan arus di lokasi pengamatan dapat dilihat pada tabel kecepatan arus (m/dt) dengan terlebih dahulu menghitung jumlah putaran alat ukur perdetik.

$$n = \frac{N'}{5C} \text{ putaran/detik}$$

- Untuk menurunkan alat ukur kedalam air laut digunakan alat derek tangan yang dilengkapi dengan menunjuk kedalaman (Hand Winch With Metric Indicator), sehingga posisi alat ukur dapat disesuaikan dengan kedalamanyang diinginkan.
- Koordinat dari pada stasiun pengamatan dihitung dengan perhitungan Snellius mengikat dari belakang secara Cassini.



Gambar 2.20 Unit Alat pengukuran Arus Current Flow Meter BFM 008 MK3

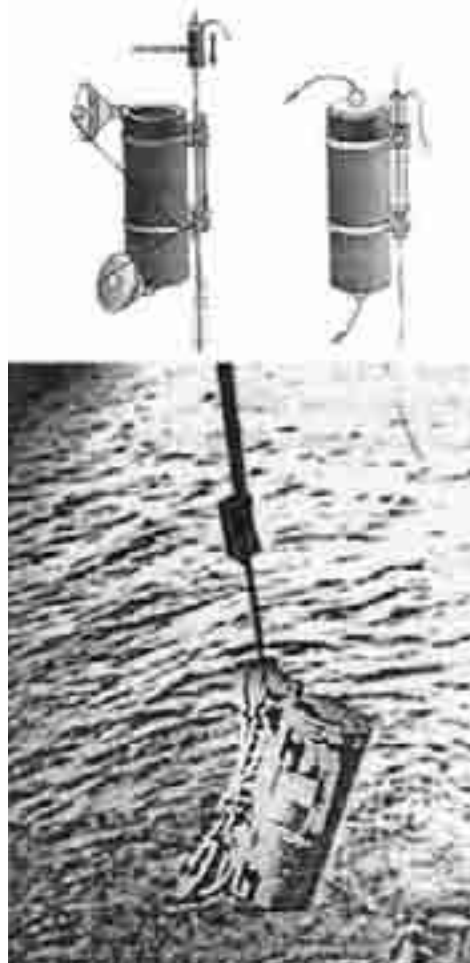
B. Pengambilan contoh air:

- Lokasi pengambilan contoh air dilakukan pada stasiun pengamatan arus.
- Contoh air diambil dengan alat XRB Van Dorn Water Sampler pada setiap kedalaman yang sesuai dengan pengukuran arus, yaitu pada kedalaman 0, 3d, 0, 7d, dan 0, 9d.

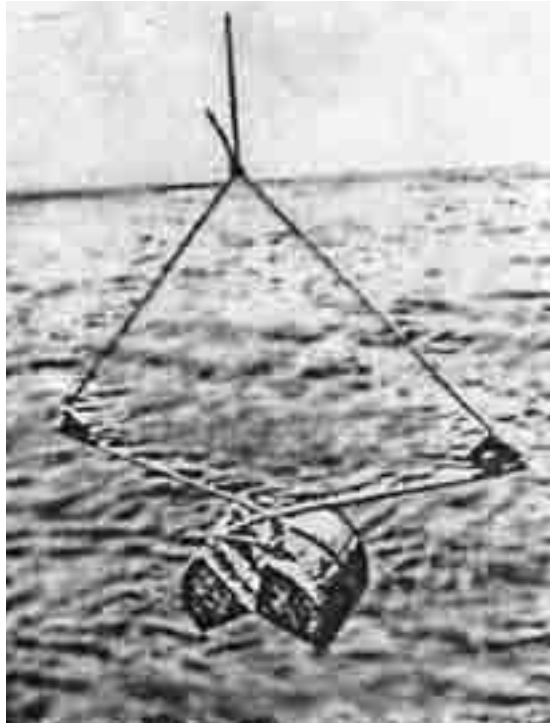
- Untuk mengetahui kadar endapan dari contoh air, maka dilakukan penelitian melalui laboratorium teknik kimia. Yaitu meliputi penelitian kadar suspended solid, derajat keasaman dan kadar garam.

C. Pengambilan contoh tanah dasar:

- Pengambilan contoh tanah dasar dilakukan dengan alat Steel Grab Sampler dilokasi stasiun pengamatan arus (lihat Gambar 2.22)
- Untuk mengetahui Grain Size Distribution material tanah dasar, maka dilakukan penyelidikan analisa saringan melalui Laboratorium Mekanika Tanah.



Gambar 2.21 Alat untuk pengambilan contoh air



Gambar 2.22 Steel Grab Sampler

Hasil Pengamatan

A. Arus

Hasil pengamatan arus laut di stasiun pengamatan di lokasi pelabuhan dapat dibuat dalam tabel kecepatan arus (dalam m/dt) dengan arah yang ditunjukkan dalam derajat, dimana arah utara magnetis adalah 0. Kemudian hasil dari pada pengamatan arus laut ini menggambarkan dalam peta pengamatan arus.

B. Contoh Air

Dari hasil penelitian contoh air laut yang diambil dari lokasi pengamatan dipelabuhan, maka telah didapatkan data-data mengenai kondisi air laut ditempat tersebut meliputi kadar endapan (suspensid solid dalam mg/l), kadar garam (Clorida dalam mg/l), dan derajat keasaman (PH)

C. Contoh Tanah

Dari hasil analisa saringan yang dilakukan terhadap contoh material tanah dasar dari lokasi pengamatan dipelabuhan dapat dibuat tabel Grain Size Distribution beserta grafik dari contoh tanah dasar tersebut.

2.7. Faktor Gelombang

2.7.1. Umum

Kelakuan gelombang laut adalah merupakan sebagian kecil fenomena alam yang tak kita mengerti. Gelombang di lautan dapat terjadi oleh karena angin disamping oleh gangguan-gangguan lain yang terjadi dilaut, seperti gempa, benda-benda bergerak seperti kapal, tarikan benda-benda angkasa seperti bulan dan matahari, letusan gunung berapi dibawah permukaan laut dan lain-lain.

Disini kita hanya membahas gelombang yang disebabkan oleh angin karena jenis gelombang inilah yang sering kita temui di permukaan laut. Proses pembentukan ini sebenarnya adalah merupakan proses pemindahan energi dari energi yang dikandung oleh angin kedalam laut melalui permukaannya. Karena sifat air yang tidak dapat menyerap energi ini dirubah kedalam bentuk gelombang yang kemudian dibawa kepantai. Di pantai energi ini dilepaskan dengan pecahnya gelombang.

Umumnya gelombang yang terjadi akibat bergeraknya kapal dan pasang surut tidak diperhitungkan karena disamping lemahnya gelombang yang diakibatkan juga karena pada kapal-kapal mendekati atau bergerak disekitar bangunan-bangunan kecepatannya sudah sangat kecil kecuali diluar bangunan pelabuhan demikian juga gelombang-gelombang yang diakibatkan oleh pasang surut sangat kecil kecuali dibeberapa tempat yang terjadi gelombang yang cukup besar yang disebabkan antara muara sungai dengan lautan yang biasa disebut dengan *tidal bores*. Sedangkan gelombang yang diakibatkan oleh adanya gempa bumi walaupun kadang-kadang menyebabkan kerusakan yang dahsyat namun sampai saat ini tidak ada perhitungan untuk penyebab terjadinya gelombang. Pada konstruksi hanya diperhitungkan gempa yang menyebabkan goyangan pada konstruksi bangunan. Sedangkan gelombang yang diakibatkan oleh gempa bumi sampai saat ini belum ada perhitungannya.

“Sea” atau kadang-kadang disebut juga “Sea Waves” adalah gelombang yang masih dalam proses pembentukan. Sifat dari gelombang ini adalah sangat acak karena belum menemukan bentuknya. Gelombang ini terdapat di daerah tempat angin bertiup atau daerah pembentukan gelombang (*Fetcs*).

Karena sifat alamnya yang dispersip (berpisah sesuai dengan kecepatannya) setelah gelombang ini menemukan bentuknya gelombang-gelombang ini akan memisahkan diri. Gelombang yang panjang akan merambat lebih cepat dari gelombang yang pendek. Gelombang yang teratur ini disebut “*scolth*”. *Scolth* dibentuk oleh gelombang-gelombang yang mempunyai frekuensi atau panjang gelombang yang hampir sama. Untuk mengetahui tinggi/panjang/waktu gelombang pada saat ini digunakan perekam gelombang (*wave recorder*) dan untuk tekanan gelombang laut yang sangat besar digunakan perekam sonic ultra gelombang (*ultra sonic wave recorder*).

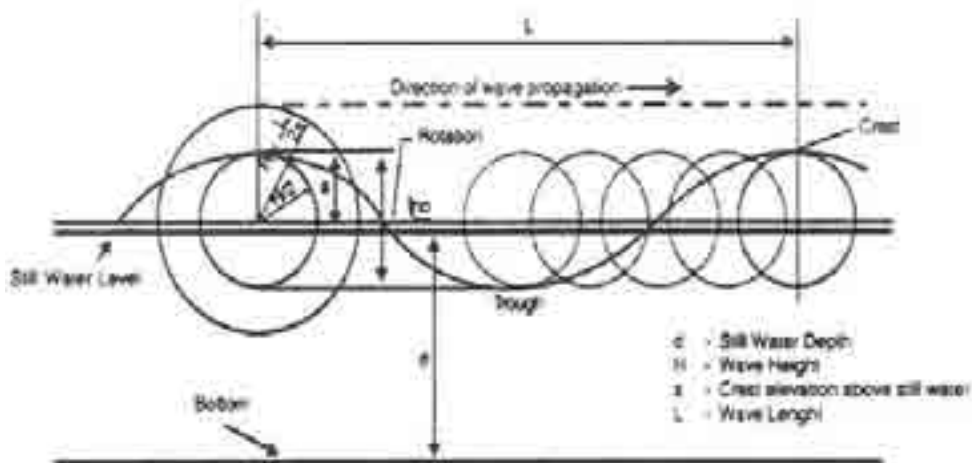
Kelakuan gelombang yang terjadi dilautan sangat menarik perhatian bagi perencana bangunan-bangunan dilepas pantai/di pinggir pantai. Namun, dari sudut matematika gelombang adalah masalah yang paling sulit. Guna dapat memecahkan persoalan diatas, maka dibuat model dan pendekatan matematika yang menggunakan perkiraan-perkiraan atau asumsi-asumsi untuk mempermudahnya, sehingga kadang-kadang mengaburkan ketepatan terhadap realita. Karena gelombang laut sangat rumit dan tidak beraturan seperti yang dijelaskan diatas maka, untuk dapat menemukan hubungan antara parameter-parameternya, kita harus menyederhanakannya terlebih dahulu.

2.7.2 Pembentukan dan Perambatan Gelombang

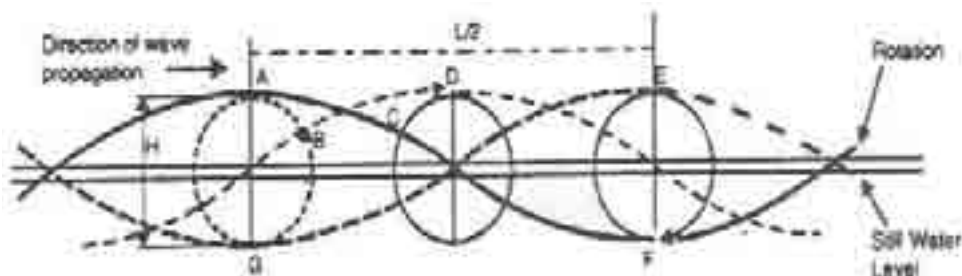
Gelombang merupakan perwujudan dari permukaan yang bergelembung dari air laut yang terjadi pada suatu interval tertentu. Gangguan gelombang amat terasa pada kedalaman tertentu dan oleh karena itu kedalaman dari air sangat berpengaruh pada karakteristik gelombang.

Gelombang yang terjadi pada kedalaman air $d > L/2$ pada dasar laut tidak begitu berpengaruh pada partikel-partikel air yang bergerak lambat. Sedangkan gelombang yang terjadi pada air yang dangkal $d < L/2$ berpengaruh terhadap perubahan bentuk, bergerak dan berputar dari bentuk bundar menjadi ellip atau mendekati ellip seperti terlihat pada Gambar 2.23 sampai dengan 2.27.

Selama penjalaran gelombang dari laut dalam ke laut dangkal, orbit partikel mengalami perubahan bentuk. Orbit perpindahan partikel berbentuk lingkaran pada seluruh kedalaman di laut dalam. Di laut transisi dan dangkal lintasan partikel berbentuk ellips. Semakin besar kedalaman bentuk ellips semakin pipih, dan di dasar gerak partikel adalah horizontal.

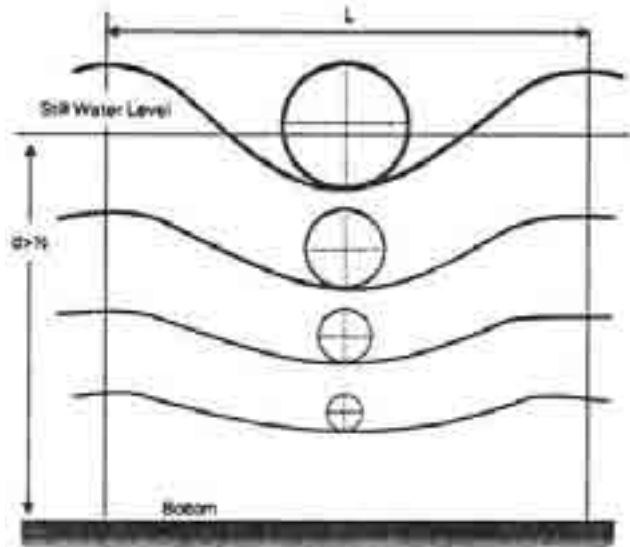


Gambar 2.23 Karakteristik dan bentuk gelombang pada laut dalam



Gambar 2.24 Perambatan gelombang

Gelombang pecah ketika puncak gelombang melampaui kecepatan perambatannya. Pada air yang dalam biasanya ini terjadi ketika tinggi gelombang melebihi $1/7 L$. Ketika gelombang mencapai air yang dangkal di mana kedalaman kira-kira 1,25 dari ketinggiannya biasanya akan pecah. Walaupun begitu pecahnya gelombang tidak hanya tergantung pada kedalamannya saja tapi juga tergantung pada kekuatan angin dan kondisi tanah dasarnya. Sehingga bisa saja terjadi gelombang sudah pecah pada kedalaman yang agak dalam.



Gambar 2.25 Penurunan amplitude gelombang dan radius dengan peningkatan kedalaman air

Gelombang Osilasi/goyangan (*wave of oscilation*) adalah gelombang yang terjadi terus menerus atau tidak terputus-putus dan tetap ada walaupun sudah pecah pada air yang dalam karena gelombang tersebut akan dibentuk kembali. Gambar 2.21 memperlihatkan bentuk gelombang osilasi dan karakteristiknya. Pada air yang dalam setiap partikel air pada permukaan gelombang membentuk sebuah lingkaran yang radiusnya 1,5 kali tinggi gelombang dari garis normal, tengah-tengah antara puncak dan lembah. Garis normal/garis pusat rotasi terletak diatas muka air rata-rata dan ketinggian ini diukur setinggi h_0 .

Garis tebal dengan tanda panah adalah bentuk gelombang pada permukaan air, panjang antara dua puncak gelombang yang berurutan adalah panjang gelombang (L), dan tinggi antara lembah dan puncak adalah disebut tinggi gelombang atau amplitude (H). Bentuk gelombang yang bergerak diatas permukaan air, dan waktu untuk mencapai puncak yang berurutan adalah disebut periode gelombang (T). kecepatan pembentukan gelombang disebut kecepatan gelombang atau kecepatan perambatan gelombang. Karakteristik ini diberikan pada persamaan berikut.

$$v = \frac{L}{T} = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}} = \frac{gT}{2\pi} \quad L = \frac{2\pi v^2}{g} = \frac{gT^2}{2\pi} \quad T = \sqrt{\frac{2\pi L}{g}} = \frac{2\pi v}{g}$$

dimana: v = kecepatan perambatan gelombang
 L = panjang gelombang (ft)
 T = periode gelombang (det)

Jika salah satu karakteristik diketahui, yang lainnya dapat dihitung dan dengan nilai konstan untuk π dan g maka :

$$v = 2,236\sqrt{L} = 5,12T$$

$$L = 0,195 v^2 = 5,12 T^2$$

$$T = 0,442 \sqrt{L} = 0,195 v$$

2.7.3 Klasifikasi Gelombang

Klasifikasi gelombang biasanya didasarkan atas nilai perbandingan antara kedalaman (d) dengan panjang gelombang (L) yaitu $\left(\frac{d}{L}\right)$. Nilai perbandingannya $\left(\frac{d}{L}\right)$ ini biasa disebut pula kedalaman relatif pembagian klasifikasi adalah sebagai berikut :

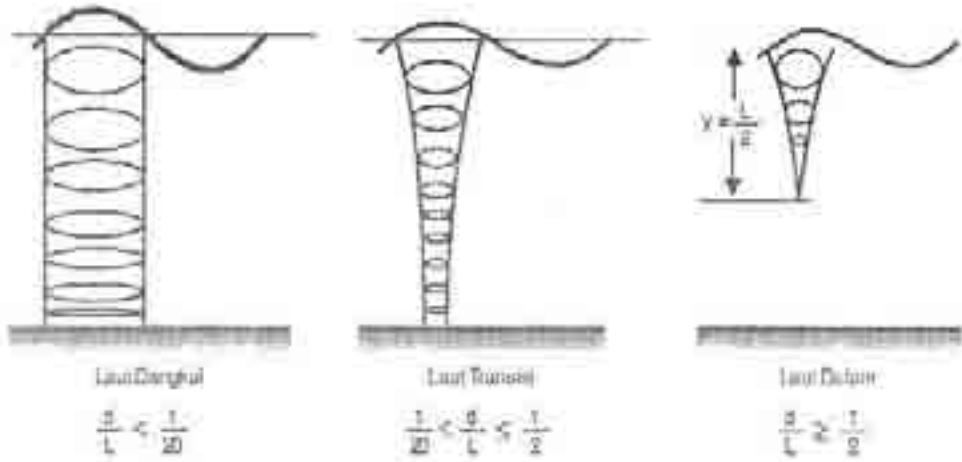
$$\frac{d}{L} > \frac{1}{20} = \text{gelombang pada perairan dalam (gelombang pendek)}$$

$$\frac{1}{20} > \frac{d}{L} > \frac{1}{2} = \text{gelombang pada perairan antara}$$

$$\frac{d}{L} < \frac{1}{20} \text{ gelombang pada perairan dangkal (gelombang panjang)}$$

Selama penjalaran gelombang dari laut dalam ke laut dangkal, orbit partikel mengalami perubahan bentuk seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.22. Orbit perpindahan partikel berbentuk lingkaran pada seluruh kedalaman di laut dalam. Di laut transisi dan dangkal lintasan partikel berbentuk ellips. Semakin besar kedalaman bentuk ellips semakin pipih, dan di dasar gerak partikel adalah horizontal.

Fenomena ini, bentuk dan bangkitan gelombang pada waktu yang lalu telah ditulis dalam bahasa yang cukup sederhana sehingga dapat dimengerti oleh pembaca pada waktu itu. Disini akan diterangkan beberapa teori gelombang dan teori matematis yang dapat diterapkan pada gelombang dilaut antaranya adalah: F.V. Gerstner (1802), G.B. Airy (1845), G.G. Stokes (1880), Saint Venant dan Flamant (1888).



Gambar 2.26 Gerak orbit partikel di air laut dangkal, transisi dan dalam

F.V. Gerstner (1802)

Merupakan pencetus pertama persamaan gerakan gelombang yang telah meletakkan dasar-dasar teori gelombang modern. Teorinya didasarkan pada hubungan geometri dan merupakan pencetus pertama persamaan gerakan gelombang. Ia mengasumsikan bahwa gelombang berputar membentuk lingkaran di mana diameternya akan berkurang seiring dengan penambahan kedalaman. Semua partikel mempunyai kecepatan permukaan air serta mempunyai tekanan yang konstan pula.

G.B. Airy (1845)

Pendekatannya hampir sama. Ia menggunakan perputaran bentuk ellip dimana perlu, tetapi mengasumsikan bahwa pecahnya gelombang diatas ketinggian muka air rata-rata.

G.G. Stokes (1880)

Menjelaskan ketidak cocokan pada beberapa bagian dari teori gerster serta mengabaikannya. Ia sendiri mengembangkan rumus yang memperhitungkan perlakuan gelombang yang sesungguhnya yaitu pecahnya gelombang pada posisi tertinggi diatas permukaan air rata-rata kemudian bergerak sampai gelombang jatuh di lembah. Menurutnya teori Stokes hanya khusus untuk gelombang yang sangat kecil.

Saint Venant dan Flamant (1888)

Mengadopsi teori Gerster untuk gelombang pada laut dangkal dengan mengasumsikan gerakan orbit menjadi elip.

2.7.4. Peramalan Panjang dan Tinggi Gelombang

Ukuran (panjang dan tinggi) gelombang pada suatu tempat tergantung pada kecepatan angin, lamanya angin bertiup, arah angin, fetch dan kedalaman air laut.

Untuk mendapatkan data-data kelakuan gelombang yang akan digunakan dalam perencanaan bangunan-bangunan di laut, perencana biasanya membutuhkan waktu yang cukup lama. Untuk itu, biasanya dalam menentukan ukuran gelombang yang akan digunakan dalam perencanaan konstruksi bangunan pada suatu tempat, Thomas Stevenson dalam tahun 1864 untuk pertama kalinya memperkenalkan rumus untuk menghitung tinggi gelombang (H , ft) yang diakibatkan oleh *fetch* (F , *nautical miles*)

$H = 1,5\sqrt{F}$ untuk fetch yang panjang ($F > 30$ nautical miles)

dan

$H = 1,5\sqrt{F} + 2,5 - \sqrt[3]{F}$ untuk fetch yang pendek ($F < 30$ nautical miles),

Thomas Stevenson mengembangkan persamaan tersebut didasarkan pada pengamatan yang dilakukan disuatu danau, kemudian dicek kembali disuatu tempat di Laut Utara. Dalam pengecekan tersebut menunjukkan bahwa tinggi gelombang di tempat tersebut ternyata sangat ditentukan oleh kecepatan angin padahal mereka tidak memasukan kecepatan angin sebagai variable.

Kapten D.D. Gaillard dari corps Engineers Angkatan Bersenjata Amerika Serikat dalam tahun 1904 melaporkan pengumpulan data-data secara ekstensif atau secara terus menerus pada tinggi gelombang di lautan.

D.A. Molitor dalam sebuah papernya memaparkan tekanan gelombang pada dinding atau pemecah gelombang, yang diterbitkan dalam *Proceeding Amerika Society Of Civil Engeneers* (Mei 1934), yang mengembangkan teori-teori yang sudah ada khususnya pada perumusan Thomas Stevenson dengan memperkenalkan atau memasukan kecepatan angin sebagai variable dan menggunakan statutes Miles di samping juga menggunakan Nautical Miles dimana :

$$H = 0,17 \sqrt{UF} \quad \text{untuk nilai } F > 20 \text{ mil}$$

$$H = 0,17 \sqrt{UF} + 2,5 - \sqrt{F} \quad \text{untuk nilai } F < 20 \text{ mil}$$

Dimana :

U = kecepatan angin (mil/jam)

F = fetch (mil), jarak horizontal antara timbulnya gelombang angin yang menimbulkan gelombang sampai lokasi gelombang (NM, 1 nautical miles = 5280 ft = 1,6093 km)

H = tinggi gelombang (ft)

Perbandingan (ratio) panjang gelombang dengan tinggi gelombang pada kecepatan angin, lamanya semburan, kedalaman air dan karakteristik tanah dasar. Menurut observasi yang dibuat oleh Kapten Gillard, ratio L/H untuk daerah danau yang relatif agak dalam atau untuk lautan dangkal yaitu antara 9 sampai 15 dan untuk gelombang dilautan atau untuk laut dalam L/H adalah antara 17 sampai 33.

Ratio ini lebih kurang berbanding terbalik dengan intensitas angin yang kecepatannya ratio kecil untuk intensitas angin yang lebih kencang.

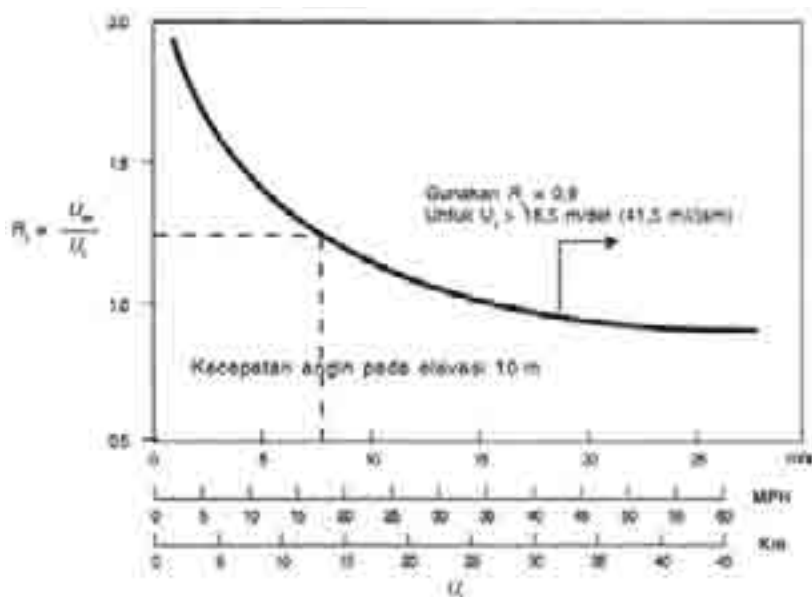
Arah dan kecepatan angin

Biasanya pengukuran angin dilakukan didaratan, padahal di dalam rumus-rumus pembangkitan gelombang data angin yang digunakan adalah yang ada di atas permukaan laut. Oleh karena itu diperlukan transformasi dari data angin di atas daratan yang terdekat dengan lokasi studi ke data angin di atas permukaan laut. Hubungan antara angin di atas laut dan angin di atas daratan terdekat diberikan oleh $RL = UW/UL$ seperti terlihat di dalam Gambar 2.27

Gambar tersebut merupakan hasil penelitian yang dilakukan di Great Lake, Amerika Serikat. Grafik tersebut dapat digunakan untuk daerah lain kecuali apabila karakteristik daerah sangat berlainan. Lama hembus (durasi) angin dapat diperoleh dari data angin jam-jam seperti yang dijelaskan di depan. Rumus-rumus dan grafik-grafik pembangkitan gelombang mengandung variable UA, yaitu factor tegangan angin yang dapat dihitung dari kecepatan angin. Setelah dilakukan berbagai konversi kecepatan angin yang dijelaskan diatas, kecepatan angin dikonversikan pada faktor tegangan angin dengan menggunakan rumus berikut:

$$U_A = 0,71 U^{1.23}$$

Di mana U adalah kecepatan angin dalam m/det



Gambar 2.27 Hubungan antara kecepatan angin di laut dan di darat

Fetch

Di dalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, fetch dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. Gambar 2.28 menunjukkan cara untuk mendapatkan fetch efektif. Fetch rerata efektif diberikan oleh persamaan berikut.

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i}$$

Dimana :

F_{eff} : fetch rerata efektif

X_i : panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir fetch

α : deviasi pada kedua sisi dari arah angin dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin



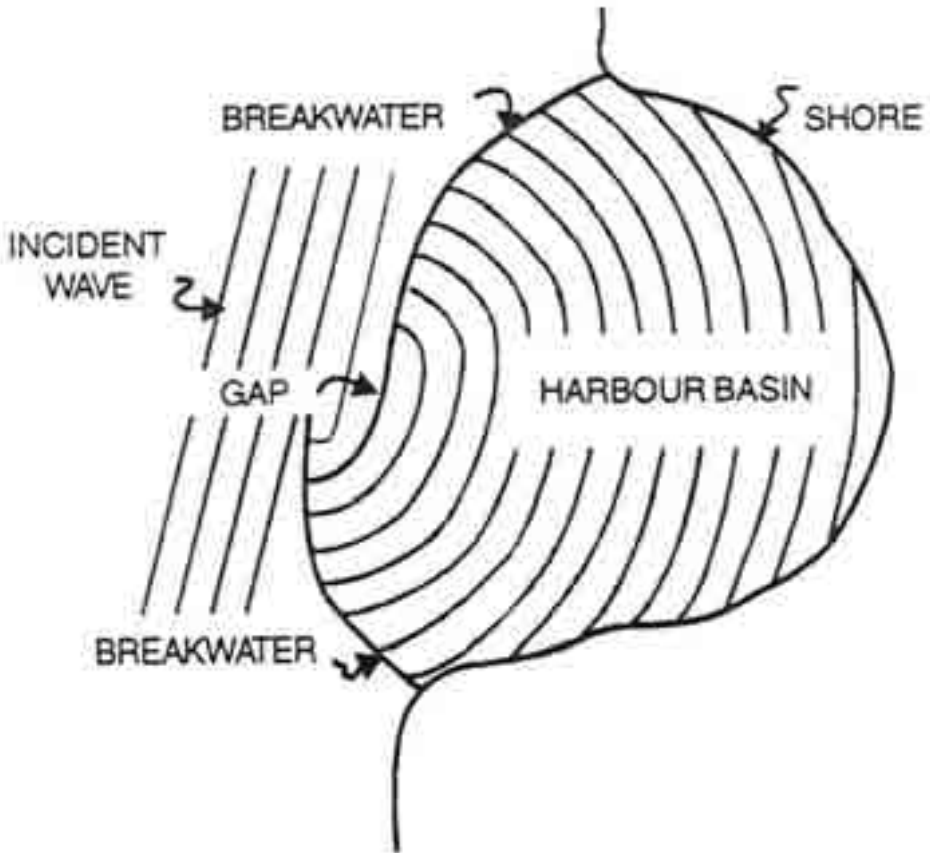
Gambar 2.28 Fetch

Difraksi (diffraction)

Apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindung dibelakangnya. Gejala semacam ini biasa disebut difraksi gelombang.

Tipikal difraksi gelombang yang terjadi pada suatu pelabuhan yang dilengkapi dengan perlindungan pelabuhan dari gelombang atau pemecah gelombang seperti ditunjukkan pada Gambar 2.29. Dalam difraksi gelombang ini terjadi transfer energi dalam arah tegak lurus perambatan gelombang menuju daerah terlindung. Seperti terlihat pada Gambar 2.29, apabila tidak terjadi difraksi gelombang, daerah dibelakang rintangan akan tenang. Tetapi karena adanya proses difraksi maka daerah tersebut terpengaruh

oleh gelombang datang. Transfer energi ke daerah terlindung menyebabkan terbentuknya gelombang di daerah tersebut, meskipun tidak sebesar gelombang di luar daerah terlindung. Garis puncak gelombang di belakang rintangan mempunyai bentuk busur lingkaran. Dianggap bahwa kedalaman air adalah konstan. Biasanya tinggi gelombang berkurang di sepanjang puncak gelombang menuju daerah terlindung.



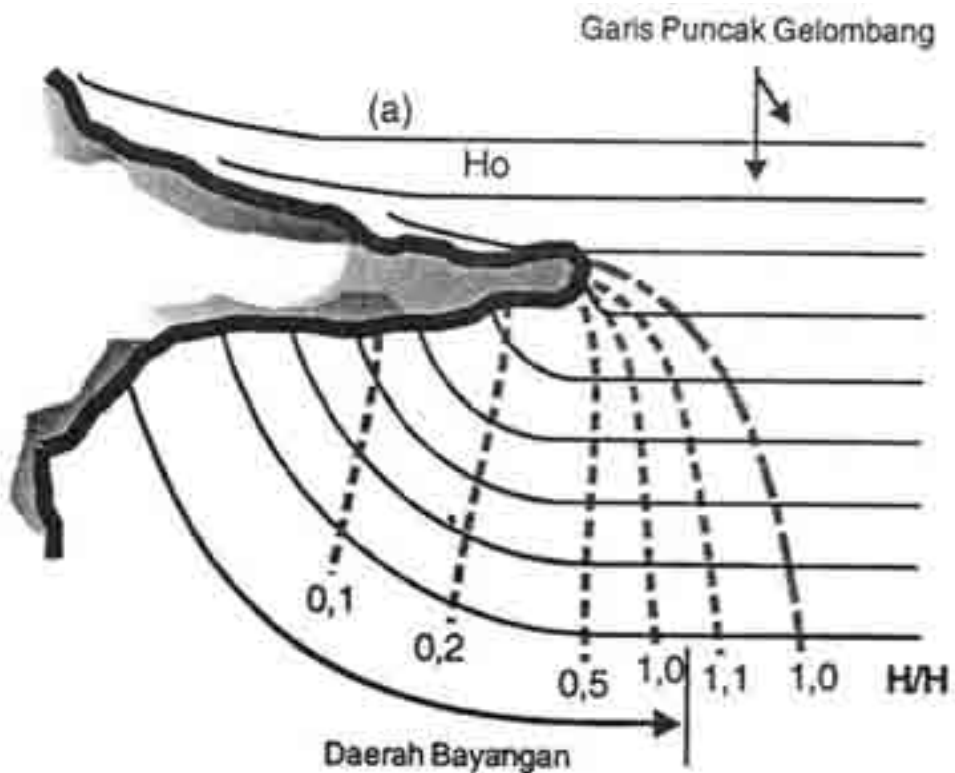
Gambar 2.29 Skema pola difraksi gelombang

Garis lengkung pada kolam pelabuhan menunjukkan tinggi gelombang baru sedangkan garis lurus diluar kolam pelabuhan menunjukkan tinggi gelombang asal.

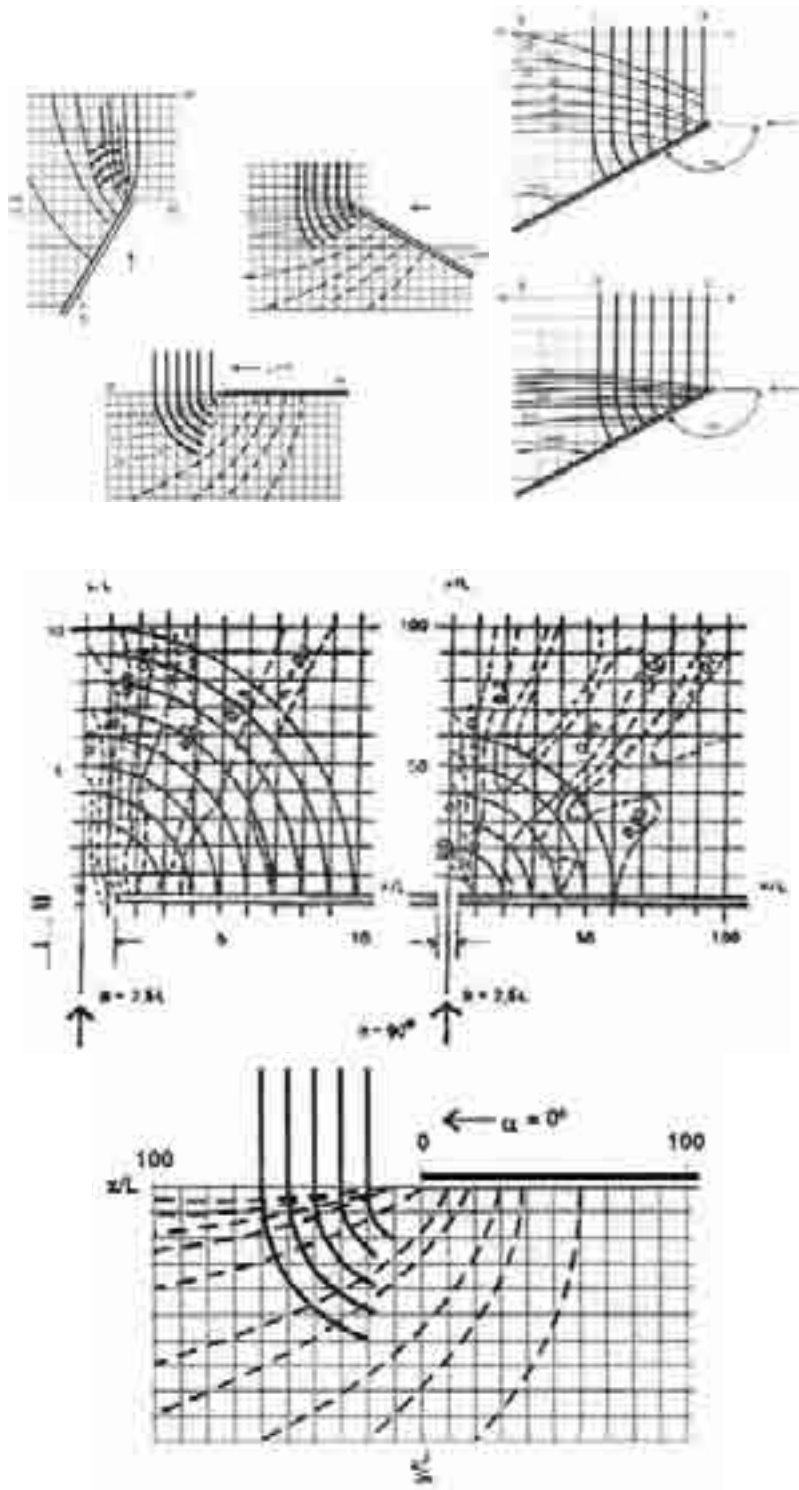
Pengetahuan tentang difraksi gelombang ini penting di dalam perencanaan pelabuhan dan pemecah gelombang sebagai pelindung pantai. Selanjutnya bentuk dan ukuran pintu pelabuhan serta tinggi gelombang di dalam kolam pelabuhan dapat dilihat pada Bab 3 Metode Perencanaan Pelabuhan.

Pada keadaan alamiah dapat pula terjadi di mana terdapat jorokan suatu jazirah sehingga gelombang laut asal berubah arah dan karakteristiknya seperti pada gambar 2.30

Di laboratorium sering dibuat percobaan-percobaan dengan membuat suatu model pemecah gelombang dengan berbagai arah gelombang datang dan diukur besaran difraksi gelombang. Jenis pengukuran-pengukuran dengan satu sisi pemecah gelombang (lihat gambar 2.31) atau dua sisi pemecah gelombang (break water gap) yang berbeda-beda (lihat gambar 2.32) masing-masing dengan berbagai besaran sudut (α) antara letak pemecah gelombang tersebut terhadap arah gelombang asal. Pada gambar-gambar tersebut digambarkan faktor-faktor difraksi (...) dan perambatan puncak-puncak gelombang (—)

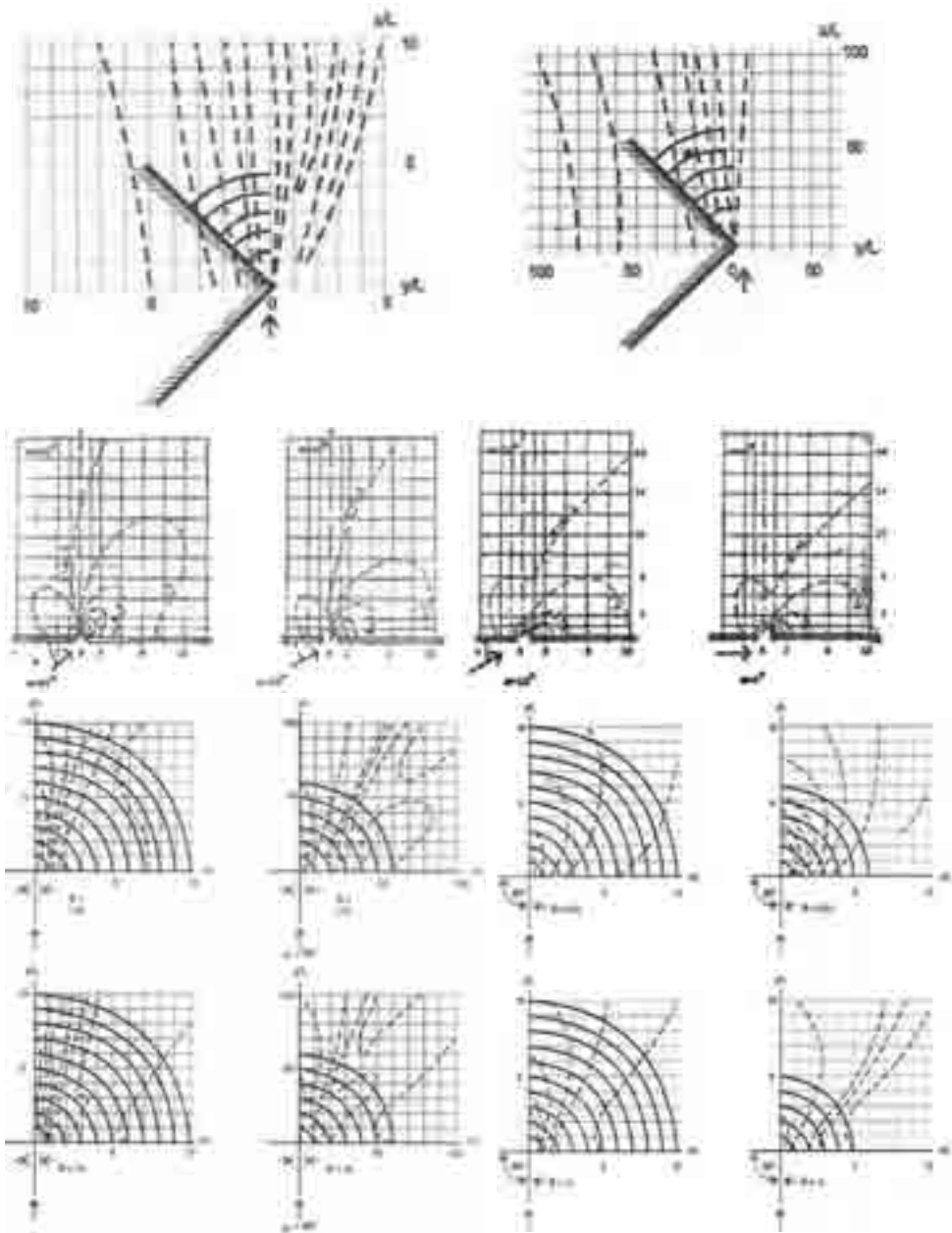


Gambar 2.30 Daerah bayangan gelombang



Gambar 2.31 Tipikal model pemecah gelombang di laboratorium

Percobaan ini dilakukan oleh Weigel (1962), yang menghasilkan suatu tabel berdasarkan koordinat seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.5



Gambar 2.32 Tipikal model pemecah gelombang di laboratorium

Tabel 2.5 Koefisien Difraksi K sebagai fungsi α dan posisi titik r/L dan θ

Nilai r/L	Nilai θ (dalam derajat)												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
$\alpha = 15^\circ$													
1/2	0,28	0,28	0,29	0,32	0,35	0,41	0,49	0,59	0,72	0,85	0,97	1,01	1,00
1	0,20	0,20	0,24	0,23	0,27	0,33	0,42	0,56	0,75	0,95	1,06	1,04	1,00
2	0,14	0,14	0,13	0,17	0,20	0,25	0,35	0,54	0,83	1,08	1,03	0,97	1,00
5	0,09	0,09	0,10	0,11	0,13	0,17	0,27	0,52	1,02	1,04	1,04	1,02	1,00
10	0,07	0,06	0,08	0,08	0,09	0,12	0,20	0,52	1,14	1,07	0,97	0,99	1,00
$\alpha = 30^\circ$													
1/2	0,61	0,63	0,68	0,76	0,87	0,97	1,03	1,05	1,03	1,01	0,99	0,95	1,00
1	0,50	0,53	0,63	0,78	0,95	1,06	1,05	0,98	0,98	1,01	1,01	0,97	1,00
2	0,40	0,44	0,59	1,84	1,07	1,03	0,96	1,02	0,98	1,01	0,99	0,95	1,00
5	0,27	0,32	0,55	1,00	1,04	1,04	1,02	0,99	0,99	1,00	1,01	0,97	1,00
10	0,30	0,24	1,54	1,12	1,06	0,97	0,99	1,01	1,00	1,00	1,00	0,98	1,00
$\alpha = 45^\circ$													
1/2	0,49	0,50	0,55	0,63	0,73	0,85	0,96	1,04	1,06	1,04	1,04	0,99	1,00
1	0,38	0,40	0,47	0,59	0,76	0,95	1,07	1,06	0,98	0,97	1,01	1,01	1,00
2	0,29	0,31	0,39	0,56	0,83	1,08	1,04	0,96	1,03	0,98	1,01	1,00	1,00
5	0,18	0,20	0,29	0,54	1,01	1,04	1,051	1,03	1,00	0,99	1,01	1,00	1,00
10	0,13	0,15	0,22	0,53	1,13	1,07	0,96	0,98	1,02	0,99	1,00	1,00	1,00
$\alpha = 60^\circ$													
1/2	0,40	0,41	0,45	0,52	0,60	0,72	0,85	1,13	1,04	1,06	1,03	1,01	1,00
1	0,31	0,32	0,36	0,44	0,57	0,75	0,96	1,08	1,06	0,98	0,98	1,01	1,00
2	0,22	0,23	0,28	0,37	0,55	0,83	1,08	1,04	0,96	1,03	0,98	1,01	1,00
5	0,14	0,15	0,18	0,28	0,53	1,01	1,04	1,05	1,03	0,99	0,99	1,00	1,00
10	0,10	0,11	0,13	0,21	0,52	1,14	1,07	0,96	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00
$\alpha = 75^\circ$													
1/2	0,34	0,35	0,38	0,42	0,50	0,59	0,71	0,85	0,97	1,04	1,05	1,02	1,00
1	0,25	0,26	0,29	0,34	0,43	0,56	0,75	0,95	1,02	1,06	0,98	0,98	1,00
2	0,18	0,19	0,22	0,26	0,36	0,54	0,83	1,09	1,04	0,96	1,03	0,99	1,00
5	0,12	0,12	0,13	0,17	0,27	0,52	1,011	1,04	1,05	1,03	0,99	0,99	1,00
10	0,08	0,08	0,10	0,13	0,20	0,52	1,14	1,07	0,96	0,98	1,01	1,00	1,00
$\alpha = 90^\circ$													
1/2	0,31	0,31	0,33	0,36	0,41	0,49	0,59	0,71	0,85	0,96	1,03	1,03	1,00
1	0,22	0,23	0,24	0,28	0,33	0,42	0,56	0,75	0,96	1,07	1,05	0,99	1,00
2	0,16	0,16	0,18	0,20	0,26	0,35	0,54	0,69	1,08	1,04	0,96	1,02	1,00
5	0,10	0,10	0,11	0,13	0,16	0,27	0,53	1,01	1,04	1,05	1,02	0,99	1,00
10	0,07	0,07	0,08	0,09	0,13	0,20	0,52	1,14	1,07	0,96	0,99	1,01	1,00

Sumber: Weigel, 1962 dalam (Kramadibrata 1985)

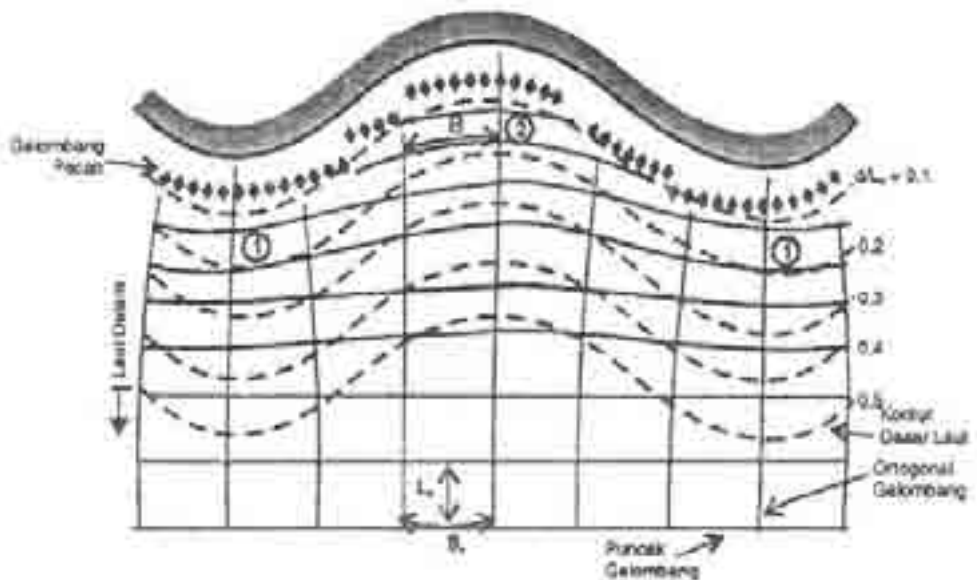
Tabel 2.5 Koefisien Difraksi K sebagai fungsi α dan posisi titik r/L dan θ (lanj...)

Nilai r/L	Nilai θ (dalam derajat)												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
$\alpha = 105^\circ$													
1/2	0,28	0,28	0,29	0,32	0,35	0,41	0,49	0,59	0,72	0,85	0,97	1,01	1,00
1	0,20	0,20	0,24	0,23	0,27	0,33	0,42	0,56	0,75	0,95	1,06	1,04	1,00
2	0,14	0,14	0,13	0,17	0,20	0,25	0,35	0,54	0,83	1,08	1,03	0,97	1,00
5	0,09	0,09	0,10	0,11	0,13	0,17	0,27	0,52	1,02	1,04	1,04	1,02	1,00
10	0,07	0,06	0,08	0,08	0,09	0,12	0,20	0,52	1,14	1,07	0,97	0,99	1,00
$\alpha = 120^\circ$													
1/2	0,25	0,26	0,27	0,28	0,31	0,35	0,41	0,50	0,60	0,73	0,87	0,97	1,00
1	0,18	0,19	0,19	0,21	0,23	0,27	0,33	0,43	0,57	0,76	0,95	1,04	1,00
2	0,13	0,13	0,14	0,14	0,17	0,20	0,26	0,36	0,55	0,83	1,07	1,03	1,00
5	0,08	0,08	0,08	0,09	0,11	0,13	0,161	0,27	0,53	1,01	1,04	1,03	1,00
10	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,09	0,13	0,20	0,52	1,13	1,06	0,98	1,00
$\alpha = 135^\circ$													
1/2	0,24	0,24	0,25	0,28	0,27	0,32	0,36	0,42	0,52	0,63	0,76	0,90	1,00
1	0,18	0,17	0,18	0,19	0,21	0,23	0,28	0,34	0,44	0,59	0,78	0,95	1,00
2	0,12	0,12	0,13	0,14	0,14	0,17	0,20	0,26	0,37	0,56	0,84	1,05	1,00
5	0,08	0,07	0,08	0,08	0,09	0,11	0,131	0,17	0,28	0,54	1,00	1,04	1,00
10	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09	0,13	0,21	0,53	1,12	1,05	1,00
$\alpha = 150^\circ$													
1/2	0,23	0,23	0,24	0,25	0,27	0,29	0,33	0,38	0,45	0,55	0,68	0,83	1,00
1	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19	0,22	0,24	0,29	0,36	0,47	0,63	0,83	1,00
2	0,12	0,12	0,12	0,13	0,14	0,15	0,18	0,22	0,28	0,39	0,59	0,86	1,00
5	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,10	0,111	0,13	0,18	0,29	0,55	0,99	1,00
10	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,10	0,13	0,22	0,54	1,10	1,00
$\alpha = 165^\circ$													
1/2	0,23	0,23	0,23	0,24	0,26	0,28	0,31	0,35	0,41	0,50	0,63	0,79	1,00
1	0,16	0,16	0,17	0,17	0,19	0,20	0,23	0,26	0,32	0,40	0,53	0,73	1,00
2	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,16	0,19	0,23	0,31	0,44	0,68	1,00
5	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,15	0,20	0,32	0,63	1,00
10	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,11	0,11	0,21	0,58	1,00
$\alpha = 180^\circ$													
1/2	0,20	0,25	0,23	0,24	0,25	0,28	0,31	0,34	0,40	0,49	0,61	0,78	1,00
1	0,10	0,17	0,16	0,18	0,18	0,23	0,22	0,25	0,31	0,38	0,50	0,70	1,00
2	0,02	0,09	0,12	0,12	0,13	0,18	0,16	0,18	0,22	0,29	0,40	0,60	1,00
5	0,02	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14	0,18	0,27	0,46	1,00
10	0,01	0,05	0,05	0,04	0,06	0,07	0,07	0,08	0,10	0,13	0,20	0,36	1,00

Sumber: Weigel, 1962 dalam (Kramadibrata 1985)

Refraksi

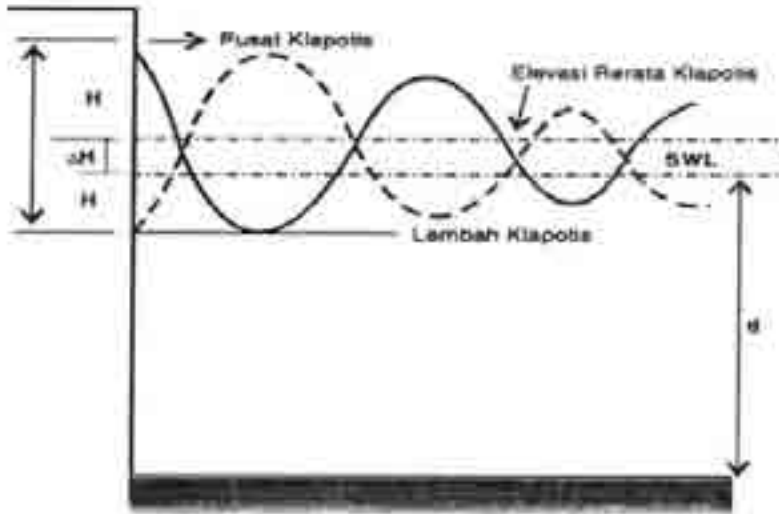
Adalah dimana garis puncak gelombang akan membelok dan berusaha sejajar dengan garis kedalaman laut. Dan garis orthogonal gelombang, yaitu garis yang tegak lurus dengan garis puncak gelombang dan menunjukkan arah penyaluran gelombang, juga akan membelok, dan berusaha untuk menuju tegak lurus dengan garis kontur dasar laut. Garis puncak gelombang berubah bentuk dan berusaha untuk sejajar garis kontur dan garis pantai. Garis orthogonal gelombang membelok dalam arah menuju tegak lurus garis kontur seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.33.



Gambar 2.34 Proses Refraksi

Refleksi

Gelombang yang membentur dinding vertikal, karang yang terjal atau pantai yang terjal tidak akan kehilangan energinya tetapi dipantulkan (refleksi). Gelombang tersebut berbentuk *standing wave* atau *clapotis* yaitu dimana pertikel-pertikel air menyentuh dinding naik turun setempat tidak kurang daripada dua kali tinggi gelombang asal (H) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.35.



Gambar 2.35 Proses refleksi

Refleksi gelombang di dalam pelabuhan akan menyebabkan ketidak tenangan di dalam perairan pelabuhan. Fluktuasi muka air ini akan menyebabkan gerakan kapal-kapal yang di tambat.

Ada banyak metode untuk memperkecil pantulan gelombang di dalam perairan pelabuhan yang bisa menyerap/menghancurkan gelombang. Suatu bangunan yang mempunyai sisi miring dan terbuat dari tumpukan batu akan bisa menyerap energi gelombang lebih banyak dibandingkan dengan bangunan tegak dan masif seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.36.



Gambar 2.36 Bangunan sisi miring pada pantai pelabuhan penyeberangan Ketapang, Banyuwangi

2.8 Karakteristik Kapal yang Berkaitan dengan Perencanaan Pelabuhan

Panjang, lebar, dan draft kapal yang akan menggunakan pelabuhan akan berpengaruh langsung pada desain saluran pendekatan, pelabuhan, dan fasilitas terminal, dan yang terakhir jenis kapal dan kapasitasnya atau tonase akan berpengaruh juga terhadap perencanaan pelabuhan.

2.8.1 Kapasitas Angkut

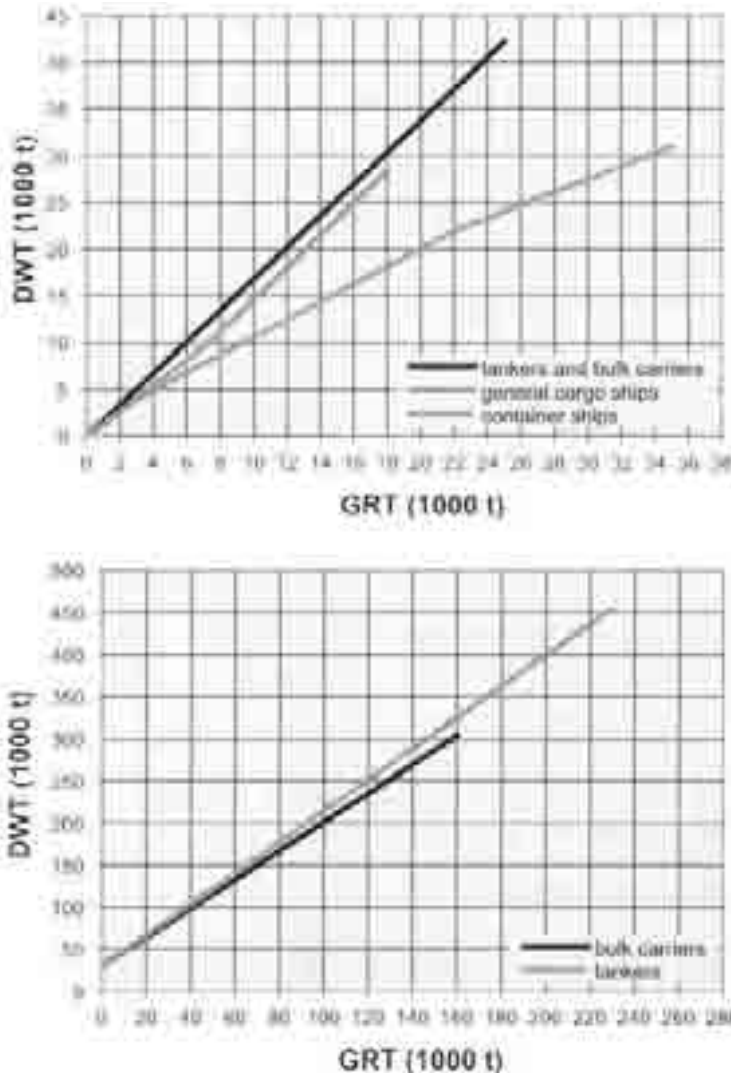
Tonase kapal mengindikasikan kapasitas angkut kapal dalam jumlah dari barang yang dapat diangkut oleh kapal. Namun, tergantung pada tipe kapal, negara asal, atau maksud dari pemakaian tonase (seperti misalnya untuk sewa pelabuhan), terdapat beberapa tonage yang digunakan. Yang paling penting diantaranya adalah:

GRT	Gross Register Tonnage,
NRT	Net Register Tonnage,
DWT	Dead Weight Tonnage

Hubungan diantara ketiga parameter ternyata tidak jelas: ketiganya tergantung terutama pada tipe kapal: Walaupun begitu, dalam batas tertentu, hubungan berikut dapat menjadi pendekatan:

Kapal general cargo: $DWT = 1.5 \cdot GRT = 2.5 \cdot NRT$,

Kapal tanker: $DWT = 2.0 \cdot GRT = 2.6 \cdot NRT$ (lihat Gambar 2.37)



Gambar 2.37 BRT dibandingkan dengan DWT

Sumber: (H.Ligteringen and H. Velsink 2012)

Definisi tonase adalah sebagai berikut:

GRT *Gross Register Ton* adalah total volume dari semua ruang tertutup di atas dan dibawah deck, dengan pengecualian tertentu, seperti ruang kemudi, ruang diagram, ruang radio dan ruang-ruang khusus lainnya diatas dek, dinyatakan dalam ton, dimana 1 ton adalah sama dengan $100 \text{ ft}^3 = 2.83 \text{ m}^3$ GRT biasanya digunakan sebagai dasar perhitungan biaya berlabuh di pelabuhan

NRT *Netto Register Ton* adalah total dari semua ruang yang diperuntukkan untuk muatan barang, dinyatakan dalam satuan 2.83 m^3 . NRT = GRT dikurangi akomodasi crew, workshop, ruang mesin dan sebagainya. NRT = ruang yang dapat dijual/disewakan.

DWT *Dead Weight Tonnage* adalah selisih antara *loaded displacement* dengan *light displacement* merupakan kapasitas muat yang biasa dinyatakan dalam long tons = 1.016 ton. Sedangkan displacement adalah berat air yang dipindahkan oleh kapal atau dapat juga disebut volume dari kapal yang terletak dibawah air dikalikan dengan BD nya.

- *Loaded displacement* adalah kapal saat muatan penuh, jadi termasuk lambung kapal, mesin-mesin kapal, barang, crew dan lain sebagainya. Terisi penuh artinya bahwa kapal turun kedalam air sampai pada garis yang diijinkan (lihat Plimsoll Mark)
- *Light displacement* adalah lambung kapal, mesin-mesin kapal, suku cadang dan semua keperluan barang lainnya untuk kinerja kerja normal.

Dalam arti kata yang lain, DWT memberikan ruang untuk barang, bahan bakar, crew, penumpang, air minum, persediaan makanan dan sebagainya yang dinyatakan dalam *metric tones*. Unit-unit berikut digunakan:

Ton atau metric ton (t = 1000 kg)

Inggris atau long ton (1016 kg)

Short ton (907 kg)

Untuk kapal-kapal tertentu, kapasitas angkut tidak hanya dinyatakan dalam GRT, NRT atau DWT, tetapi juga dalam satuan lain hanya untuk tipe kapal yang bersangkutan saja. Seperti contoh:

TEU adalah satuan yang biasanya digunakan untuk menunjukkan kapasitas untuk penyimpanan container diatas kapal. TEU singkatan dari *Twenty Foot Equivalent Unit* yang merupakan ruang dari dimensi container standar yaitu:

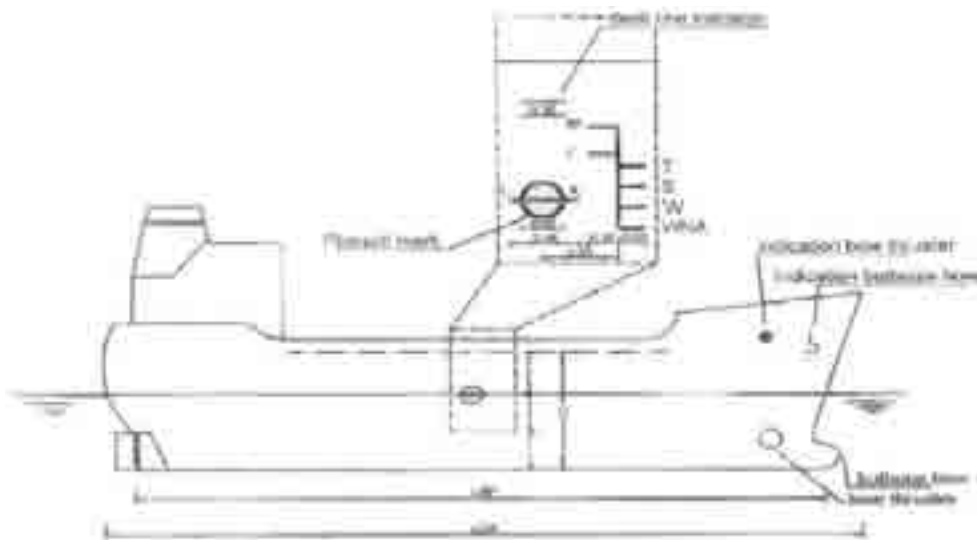
Panjang	= 20 feet	= 6.03 m
Tinggi	= 8 feet	= 2.44 m dan
Lebar	= 8 feet	= 2.44 m jadi
Volume	= 6.03 . 2.44 . 2.44	= 35.9 m^3

2.8.2 Dimensi Vertikal

Draf (Draught)

Draf kapal (*draught*) D adalah jarak maksimum dalam meter antara garis air dan *keel* (struktur memanjang sepanjang garis tengah di bagian bawah lambung kapal, dalam beberapa kapal diperpanjang ke bawah sebagai pisau atau *ridge* untuk meningkatkan stabilitas) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.38. Perpindahan tonase dihitung berdasarkan draf D dan *stationary freeboard* hf (ketinggian sisi kapal antara garis air dan dek), yang ditunjukkan pada sisi kapal.

Garis draf kapal maksimum disebut dengan *Plimsoll Mark* atau garis beban/muatan Tanda (*mark*) ini terdiri dari sebuah lingkaran dan garis horizontal yang memotong ditengah lingkaran dengan tulisan disisi kanan dan kirinya lingkaran. Surat keterangan klasifikasi diterbitkan oleh perhimpunan dari *Plimsoll Mark*, yang menjelaskan kondisi dari ukuran dan kualitas material yang digunakan, kapan waktu pengujian yang akan dilakukan, dan sebagainya. Tanpa klasifikasi sebuah kapal pada hakekatnya tidak ada jaminan.



Gambar 2.38 Dimensi Kapal

Sumber: (H.Ligteringen and H. Velsink 2012)

Umumnya sebagian besar surat keterangan adalah:

- LR *Lloyds Register* (Inggris)
- BV *Bureau Veritas* (Prancis) dan
- AB *American Bureau of Shipping* (USA)

Draf kapal berkaitan dengan berat volume air dimana kapal itu berlayar (daya angkat). Oleh karena berat volume air tidak sama sepanjang tahun, dan disamping itu juga terdapat perbedaan *longitude* dan *latitude* (kedalaman kapal yang tenggelam kedalam air saat *summer* dibandingkan *winter* di Atlantik utara), indikator yang lain ditunjukkan pada sisi kanan dari *Plimsoll Mark*. Tanda yang menunjukkan draf maksimum yang diijinkan kondisinya berbeda-beda seperti berikut:

TF = *Tropical Fresh Water*
F = *Fresh Water*
T = *Tropical Salt Water*
S = *Summer Salt Water*
W = *Winter Salt Water* dan
WNA = *Winter Salt Water on North Atlantic*

Batas keamanan tertentu juga dimasukkan dalam tanda dari draf maksimum yang diijinkan. Draf kapal digambar pada kedua sisi lambung kapal biasanya pada haluan kapal, tengah kapal (amidship) dan pada buritan kapal. Biasanya gambar ini menunjukkan draf dalam feet (1 feet = 0.308 meter)

2.8.3 Dimensi Horisontal

Panjang

Panjang kapal dapat dinyatakan dalam dua macam yang berbeda:

Panjang yang diukur tegak lurus, L_{DF} : *Length Between Perpendiculars*, dan

Panjang yang diukur seluruhnya, L_{OA} : *Length Over All*

Kedua ukuran panjang ini dapat dilihat dalam Gambar 2.38

Definisi masing-masing ukuran panjang tersebut adalah sebagai berikut:

L_{DF} : adalah jarak horizontal dalam meter antara dua titik perpotongan dari haluan kapal dan garis air laut saat kapal penuh dan garis vertical melalui sumbu kemudi kapal.

L_{OA} : adalah jarak horizontal antara dua garis vertical: tangen haluan kapal dan buritan kapal. Untuk dimensi basin pelabuhan dan berlabuh biasanya menggunakan L_{OA} dalam buku ini dimensi panjang kapal adalah L_{OA} .

Lebar

Lebar kapal atau biasa disebut *beam* atau *breadth* B , adalah jarak maksimum dalam meter antara dua sisi dari kapal.



Gambar 2.39 Kamewa bow thruster

2.8.4 Ukuran standar kapal

Apabila ukuran-ukuran kapal tidak diketahui dengan jelas, maka karakteristik dari tipe-tipe kapal yang umum dapat dipakai dalam perhitungan atau penentuan fasilitas pelabuhan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.6

Tabel 2.6 Ukuran standar kapal jenis kapal penumpang

Tonnage	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Draft (m) Beban Penuh
500	51	10.2	4.0	2.0
1,000	63	11.0	5.0	3.6
2,000	92	13.0	6.2	4.5
3,000	100	15.3	7.1	5.1
4,000	123	16.3	7.5	5.6
5,000	125	17.2	8.4	6.0
6,000	135	17.5	10.6	7.4
7,000	144	18.6	11.1	7.7
8,000	150	19.3	11.6	7.8
9,000	165	20.0	12.0	8.0
10,000	160	20.0	12.3	8.2
15,000	181	23.1	13.0	8.5
20,000	197	25.1	15.1	9.2
50,000	223	28.2	17.0	10.0

Sumber: (Quinn 1972)

Tabel 2.7 Ukuran standar kapal jenis kapal barang curah

Tonnage	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Drahtf (m) Beban Penuh
10,000	140	18.7	10.5	8.1
15,000	157	21.5	11.9	9.0
20,000	170	23.7	12.0	9.6
30,000	192	27.3	14.5	10.6
40,000	208	30.2	15.8	11.4
50,000	222	32.6	16.8	11.9
70,000	244	37.8	18.7	13.3
90,000	250	38.5	19.7	14.5
100,000	275	42.0	23.0	16.1
150,000	313	44.5	24.7	18.0

Tabel 2.8 Ukuran standar kapal jenis kapal Ferry

Tonnage	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Drahtf (m) Beban Penuh
1,000	140	18.7	10.5	8.1
2,000	157	21.5	11.9	9.0
3,000	170	23.7	12.0	9.6
5,000	192	27.3	14.5	10.6
6,000	208	30.2	15.8	11.4
8,000	222	32.6	16.8	11.9
10,000	244	37.8	18.7	13.3
13,000	250	38.5	19.7	14.5

Tabel 2.9 Ukuran standar kapal jenis kapal barang umum

Tonnage	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Draft (m) Beban Penuh
500	51	8.5	4.6	3.8
1,000	53	9.5	5.1	4.2
2,000	71	11.7	6.3	5.1
3,000	85	13.2	7.2	5.9
4,000	95	14.4	7.8	6.4
5,000	103	15.4	8.4	6.8
6,000	124	16.9	9.6	7.2
7,000	129	17.6	10.0	7.5
8,000	135	18.3	10.4	7.8
9,000	139	18.9	10.8	8.0
10,000	141	19.4	11.2	8.2
15,000	162	21.7	12.7	9.1
20,000	177	23.4	13.8	10.0
30,000	199	26.1	16.7	11.0
40,000	217	28.3	17.2	11.9
50,000	232	30.0	18.4	12.7

Sumber: (Quinn 1972)

Tabel 2.10 Ukuran standar kapal jenis kapal tanker minyak

Tonnage	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Draft (m) Beban Penuh
500	50	8.5	4.0	3.7
1,000	57	9.4	4.5	4.2
2,000	73	11.4	5.6	5.1
3,000	85	12.3	6.4	5.9
5,000	102	14.7	7.6	6.9
10,000	139	19.0	9.9	8.1
15,000	157	21.7	11.3	9.0
20,000	171	23.8	12.4	9.8
30,000	191	27.2	14.1	10.9
40,000	211	29.9	15.4	11.7
50,000	226	32.1	16.5	12.5
70,000	230	35.9	18.4	13.6
100,000	270	39.0	19.2	14.6
150,000	291	44.2	23.0	17.9
200,000	325	47.2	24.5	19.0
250,000	343	51.8	25.6	20.0

Sumber: (Quinn 1972)

2.8.5 Data lain yang relevan

Tanpa masuk kedalam rincian desain kapal beberapa informasi yang relevan sangat diperlukan dalam perancangan alur dan kolam pelabuhan seperti manuver kapal. Tenaga mesin dan jumlah / jenis pendorong sangat menentukan dalam hal ini. Disatu sisi ada armada kapal dengan ukuran besar dan di sisi lain ada feri dengan kecepatan tinggi. Meskipun ukuran kapal besar seperti kapal pengangkut batubara dan kapal tanker biasanya hanya dilengkapi dengan satu baling-baling saja dan memiliki tenaga mesin yang relatif rendah. Kapal-kapal besar dirancang untuk jarak jauh, kecepatan rendah dan akan memerlukan bantuan 3 atau 4 kapal tunda untuk berlabuh di pelabuhan.

Kecepatan kapal dinyatakan dalam *knots*, satu knot adalah sama dengan satu nautical mile (atau 1852 meter) per jam, equivalen dengan 0.514 m/s. Kecepatan maksimum kapal pengangkut barang curah dan VLCC's adalah 18 knots. Fery dirancang untuk kecepatan maksimum kira-kira 24 knot dan kecepatan kira-kira 40 knot dalam keadaan kosong, sementara kecepatan 35 knot apabila muatan penuh.

Bab 3

Metodologi Perencanaan Pelabuhan

Dalam perencanaan pelabuhan prinsipnya tidak berbeda dengan perencanaan infrastruktur lainnya yaitu menentukan persyaratan pada suatu waktu titik di masa depan, mengembangkan lay-out sesuai dengan program (bertahap) pembangunan menuju target ini. Apa yang membuatnya istimewa dibandingkan dengan kebanyakan perencanaan infrastruktur lainnya adalah kompleksitas proses. Selain itu dalam perencanaan tata ruang, aspek teknis, lingkungan dan hukum. Dalam perencanaan infrastruktur, perencanaan pelabuhan harus berurusan dengan kompleksitas aspek hidrolis, maritim dan operasional.

Untuk pemilik pelabuhan atau operator perencana pelabuhan harus mengantisipasi perkembangan masa depan dan memastikan bahwa infrastruktur yang dibangun berfungsi dengan baik sesuai dengan pengembangan yang sudah diperkirakan. Hal ini merupakan elemen penting dalam memperoleh pembiayaan dan semua izin legal yang diperlukan untuk melaksanakan proyek tersebut.

Metodologi perencanaan yang dituangkan dalam bab ini mengikuti pendekatan umum metodologi desain, seperti yang diterapkan pada bidang teknik sipil lainnya. Dalam proses “desain siklus dasar”, diterapkan di tingkat “sistem”, seperti yang dijelaskan dalam Bagian 3.3.

Jenis perencanaan tergantung pada horizon waktu dapat dibedakan seperti berikut:

Jenis	Horizon waktu (tahun)	Contoh
Jangka panjang	20-30	Masterplan
Jangka menengah	5-10	Tahap pertama dari masterplan
Jangka pendek	1-2	Perubahan lay-out minor

Selanjutnya jenis perencanaan dapat bervariasi tergantung pada ruang lingkup dan batas geografis:

- perencanaan pelabuhan nasional atau regional
- perencanaan pelabuhan swasta

3.1 Perencanaan Persiapan

Pelabuhan adalah suatu daerah perairan yang tertutup dan terlindung dari gangguan alam (angin, arus, gelombang) agar kapal-kapal dapat melakukan bongkar muat, pengisian bahan bakar dan perbaikan dengan aman, nyaman dan lancar.

Untuk maksud tersebut diatas, maka dibutuhkan bangunan-bangunan atau fasilitas-fasilitas pelabuhan untuk melayani kapal-kapal dilaut maupun di darat. Untuk melayani kapal-kapal di laut diperlukan fasilitas-fasilitas bangunan-bangunan sebagai berikut :

- a. Mercusuar
- b. Alur pelabuhan
- c. Pintu pelabuhan
- d. Kolam pelabuhan
- e. Dermaga
- f. Dan lain-lain

Untuk melayani kapal-kapal di darat/saat merapat di dermaga, diperlukan fasilitas-fasilitas bangunan sebagai berikut.

- a. Apron dermaga
- b. Fasilitas jalan dan jalan kereta api
- c. Gudang (terbuka dan tertutup)
- d. Bangunan-bangunan kantor

- Kesehatan.
 - Karantina
 - Administrasi pelabuhan
 - Bea cukai
 - Dan lain-lain
- e. Untuk menunjang peralatan bongkar muat
- Konstruksi-konstruksi untuk gentrauck
 - Dan lain-lain

Setelah mengetahui tentang fasilitas yang perlu dibangun pada suatu pelabuhan, sekarang timbul persoalan baru , seberapa besar fasilitas yang harus dibangun agar mampu menampung dan melayani setiap aktifitas pelabuhan dalam jangka waktu yang cukup lama (sampai tahun rencana). Untuk membuat perencanaan dan perancangan fasilitas-fasilitas pelabuhan tersebut terlebih dahulu dilakukan perencanaan persiapan untuk menentukan berbagai faktor antara lain :

- (1) Maksud dan tujuan dibangunnya pelabuhan dan pertimbangan ekonominya.
- (2) Peramalan permintaan angkutan
- (3) Tersedianya sarana-sarana pendukung seperti jalan, jalan kereta api dan sebagainya.

Pertimbangan ini harus mendahului studi teknis dan perencanaan pelabuhan dan secara singkat diuraikan sebagai berikut:

3.1.1 Maksud dan Tujuan dibangunnya pelabuhan dan pertimbangan ekonomi

Pertama-tama harus diketahui maksud dan tujuan dibangunnya pelabuhan dan pertimbangan ekonominya. Kebutuhan untuk pembangunan pelabuhan mungkin timbul dalam beberapa cara:

- a. Sebuah pangkalan angkatan laut atau terminal militer mungkin diperlukan untuk memasok tentara ke pedalaman atau pangkalan udara, seperti pelabuhan Ujung Surabaya sebagai pangkalan angkatan laut.
- b. Sebuah pelabuhan mungkin diperlukan untuk melayani daerah pedalaman di dekatnya yang telah berkembang ke tingkat yang membutuhkan *outlet* untuk perdagangan luar negeri. Pengembangan pelabuhan biasanya, tapi tidak selalu,

berhubungan dengan pelabuhan utama. Pembangunan suatu pelabuhan diperlukan untuk melayani/meningkatkan kegiatan ekonomi daerah dibelakangnya (*hinterland*) dan untuk menunjang kelancaran perdagangan antar pulau maupun negara (eksport, import). Demikian juga pelabuhan perintis mungkin dibangun untuk membuka hubungan ekonomi dan sosial daerah terpencil.

- c. Kebutuhan untuk pelabuhan komersial swasta akan muncul bila diperlukan sebagai terminal untuk pengiriman komoditas atau produk yang sedang dikembangkan dan fasilitas pengiriman yang baik tidak tersedia atau tidak ekonomis untuk digunakan. Dalam beberapa tahun terakhir pengembangan sumber bahan baku seperti bijih besi, bauksit, minyak, dan tembaga, di tempat-tempat seperti Kanada, Amerika Selatan, Afrika, dan Timur Jauh, telah menghasilkan pembangunan pelabuhan komersial baru di banyak bagian di dunia. Untuk pelabuhan industri, untuk mendukung kelancaran produksi suatu perusahaan/pabrik, sering diperlukan untuk pelabuhan khusus. Pelabuhan ini akan melayani pemasaran/pengiriman hasil produksi ataupun untuk mendatangkan bahan baku pabrik-pabrik tersebut. Sebagai contoh adalah pelabuhan Petro Kimia Gresik, Jawa Timur, Pelabuhan Kuala Tanjung milik PT Inalum (Indonesia Asahan Aluminium), di Sumatera Utara. Sebagai prasarana untuk mengimpor biji bauksit dan pemasaran/pengiriman aluminium hasil produksi perusahaan tersebut. Selain itu masih banyak lagi pelabuhan khusus seperti pelabuhan LNG Arun di Lhokseumawe, Pelabuhan Pupuk Iskandar Muda dan Asean juga di Lhokseumawe Aceh dan sebagainya. Mengingat sifatnya sebagai pendukung dari proyek utama, maka pertimbangan ekonomi tidak seketat seperti dalam pembangunan pelabuhan umum.
- d. Untuk pelabuhan ikan, sebagai contoh bagan siapi-api, untuk pelabuhan minyak, pelabuhan pariwisata, pelabuhan untuk menghindari gangguan alam ataukah pelabuhan umum dan sebagainya.
- e. Umumnya, pembangunan pelabuhan membutuhkan pengeluaran sejumlah besar uang yang dalam banyak kasus harus dibiayai dengan obligasi atau dengan meminjam dari bank, kecuali subsidi pemerintah. Oleh karena itu, proyek yang layak secara ekonomi harus menunjukkan penghasilan di atas biaya operasional, cukup untuk menutup biaya tetap. Sebuah

pelabuhan komersial milik pribadi tidak memerlukan justifikasi ekonomi yang sama karena biasanya sekunder untuk proyek utama. Misalnya, setelah memutuskan untuk mengembangkan bijih besi di lokasi tertentu di mana transportasi dengan muatan bijih diperlukan, terminal pengiriman adalah kebutuhan, dan satu-satunya pertanyaan yang muncul akan menjadi lokasi yang paling diinginkan dan ekonomis dalam wilayah yang relatif terbatas.

3.1.2 Peramalan Permintaan Angkutan

Sejarah perkembangan transportasi lewat laut itu sendiri mulai setelah ditemukannya alat angkutan dengan menggunakan peralatan sederhana sampai pada akhirnya sekarang telah berkembang dengan menggunakan peralatan serba modern sesuai perkembangan teknologi. Semua itu dilatarbelakangi oleh kebutuhan akan perpindahan dalam suatu masyarakat, baik orang maupun barang dari satu daerah ke daerah lain didalam memenuhi kebutuhan hidupnya. Sehingga pada akhirnya menimbulkan adanya system pengangkutan.

Perkembangan sosial ekonomi penduduk harus dipertimbangkan misalnya perkembangan ekonomi yang besar perlu dibuatkan pelabuhan untuk membawa keluar hasil ekonomi tersebut. Jumlah arus barang perlu ditinjau apakah sebanding dengan dimensi kota, jadi skala pelabuhan ditentukan oleh penduduk dalam suatu kota dimana pelabuhan itu diletakkan. Sebelum memulai pembangunan pelabuhan umum harus dilakukan survei dan studi untuk mengetahui volume perkembangan baik pada saat pembangunan maupun dimasa mendatang yang dapat diantisipasi dari daerah sekitar.

Peramalan permintaan untuk angkutan laut tidak hanya berguna untuk perencanaan dan perancangan dermaga, gudang, bangunan terminal dan fasilitas-fasilitas pelabuhan yang lain, tetapi juga menyangkut ekonomi dan financial yang berkenaan dengan kebutuhan dalam berinvestasi perencanaan pelabuhan karena pembangunan pelabuhan memakan biaya yang sangat besar. Oleh karena itu dalam perencanaan penilai pokok akan ditentukan oleh peramalan permintaan yang akan digunakan untuk mengevaluasi dan membatasi operasi-operasi pelabuhan dan terutama sekali dalam analisis untuk kelayakan suatu proyek.

Berdasarkan permintaan angkutan tersebut, bila direncanakan kapal-kapal apa yang akan berlabuh, apakah kapal penumpang, kapal barang, kapal curah, kapal peti kemas, kapal tangki/minyak, kapal ikan dan sebagainya. Data-data kapal yang akan berlabuh atau yang akan direncanakan menyangkut panjang, lebar dan draaft dari kapal-kapal sangat menentukan

dalam perencanaan pelabuhan. Untuk itu sebelum merencanakan pelabuhan terlebih dahulu diadakan penyelidikan tentang data-data teknis dari kapal, data-data ini nantinya digunakan untuk merencanakan :

- Lebar alur pelabuhan
- Dalamnya alur dan kolam pelabuhan
- Luas kolam pelabuhan
- Pintu pelabuhan
- Panjang dermaga
- Clearance jembatan kabel dan konstruksi-konstruksi lain yang melintas alaur.
- Bangunan dibawah alur seperti pipa dan tunnel.
- Fasilitas terminal
- Dan sebagainya.

Apabila ukuran-ukuran atau dimensi kapal tidak diketahui dengan jelas maka karakteristik dari tipe-tipe kapal yang umum dapat ditentukan berdasarkan Tabel 2.6 sampai dengan Tabel 2.10 pada Bab 2

3.1.3 Tersedianya Prasarana dan Sarana Pendukung

Yang tak kalah pentingnya dalam perencanaan pelabuhan adalah menentukan lokasi dari pelabuhan secara tepat, untuk itu perlu diperhatikan antara lain: perencanaan pelabuhan jangan sampai mengganggu perkembangan kota atau sebaliknya. Perlu juga ditinjau daerah selkitarnya apakah sudah bisa dihubungkan dengan jalan atau kereta api. Karena membuat jalan baru sangat mahal. Jadi diusahakan jangan sampai terlalu jauh dari jalan-jalan utama yang ada. Ketersediaan hubungan dengan daerah pedalaman merupakan pendukung utama dalam menentukan lokasi pelabuhan. Kemajuan pelabuhan tersebut akan didukung oleh adanya jalan raya yang baik, jalan kereta api maupun jalan air yang menuju kota pedalaman. Tanpa prasarana tersebut keberadaan pelabuhan tidak akan banyak berarti bagi perkembangan daerah.

Demikian juga dengan fasilitas-fasilitas yang lain seperti tersedianya fasilitas-fasilitas komunikasi. Prasarana komunikasi dengan pengembangan pembangunan disegala bidang. Dengan adanya prasarana komunikasi yang baik dan memadai, akan tercipta hubungan timbal baiknya yang lebih lancar dan efisien. Prasarana komunikasi tidak hanya sebagai lalu lintas berita saja, melainkan juga dapat membantu kelancaran dan keselamatan kerja pihak-pihak yang mememanfaatkannya. Adanya prasarana perhubungan tersebut diatas benar-benar menunjang kelancaran arus bongkar muat barang maupun penumpang, serta memperlancar distribusi barang muatan dari pelabuhan ke daerah lain demikian juga sebaliknya.

3.2 Perencanaan Pendahuluan

Setelah perencanaan persiapan, perencanaan pendahuluan ini diperlukan dalam persiapan untuk membuat dan memudahkan dalam melakukan penyelidikan lapangan yang lebih lengkap guna pengumpulan informasi atau data yang akan diperlukan dalam pembuatan perencanaan akhir.

Informasi yang disajikan dalam perencanaan pendahuluan ini biasanya didapat dari berbagai sumber salah satunya dari data-data pelabuhan yang terdekat, angkutan laut, dari badan meteorology dan antariksa dan sebagainya. Apabila data-data yang dibutuhkan sulit diperoleh atau informasi yang didapatkan masih kurang, maka perlu melakukan survei pendahuluan dilapangan (*preliminary site reconnaissance*) untuk mengetahui gambaran secara garis besar keadaan dilapangan, situasi dan kondisi perairan pelabuhan untuk mengetahui apakah lokasi pelabuhan terdapat pada perairan yang cukup dalam bagi kapal-kapal yang direncanakan akan berlabuh dan apakah perairannya cukup tenang atau tinggi gelombang tidak terlalu tinggi agar kapal-kapal yang direncanakan dapat berlabuh dengan aman, nyaman dan lancar. Dengan pengetahuan yang cukup pada masalah lapangan dan pengaruhnya, kita dapat menentukan alternatif untuk melakukan langkah berikutnya. Baik itu langkah yang menyangkut cara penanggulangannya atau langkah lainnya yang merupakan penyelesaiannya.

Tujuan dari rencana induk adalah memiliki cetak biru untuk pengembangan ke depan, sisakan ruang di mana dimungkinkan untuk pengembangan di masa depan, mempertimbangkan persyaratan peraturan dan lingkungan, dan menciptakan operasi pelabuhan yang efisien dan ekonomis. Rencana induk nasional dan regional untuk pengembangan pelabuhan yang bertujuan untuk menciptakan alokasi optimum dari fungsi dalam suatu negara atau wilayah. Dalam hal ini harus memperhitungkan kapasitas yang ada di pelabuhan, koneksi pedalaman, pengembangan industri dan biaya infrastruktur. Rencana tersebut dilakukan selama dekade terakhir untuk negara-negara seperti Indonesia dan Malaysia, yang sering mendapat bantuan Bank Dunia. Penekanan di sini terletak pada ekonomi: penilaian aliran kargo untuk semua komoditas dan analisis biaya/manfaat untuk proyek pelabuhan swasta mengarah ke rencana optimal. Perencana pelabuhan berperan dalam evaluasi pelabuhan yang sudah ada (bisa efisiensi dan kapasitas bongkar muat ditingkatkan, bahkan sering tanpa infrastruktur baru), dan dalam mempersiapkan layout untuk fasilitas pelabuhan baru atau pengembangan seperti apa yang sesuai. Desain awal infrastruktur atau perencanaan pendahuluan diperlukan untuk menentukan biaya, tapi hal ini tidak dilakukan dengan perhitungan teknis yang sangat rinci.

Adapun obyek yang penting yang perlu diketahui didalam melaksanakan suatu tinjauan pendahuluan untuk perencanaan pelabuhan adalah survei topografi, peta kontur dan dalam survei pendahuluan ini bisa segera didapatkan dari peta topografi daerah tersebut. Data ini akan digunakan untuk mengetahui kemiringan pantai serta menentukan lokasi yang tepat untuk bangunan-bangunan dan fasilitas-fasilitas pelabuhan untuk melayani kapal-kapal di darat.

Dengan menggunakan alat sounding seperti yang telah diuraikan didepan, dapat diketahui kedalaman perairan pelabuhan. Sedangkan kedalaman yang dibutuhkan pada suatu pelabuhan tergantung dari pada ukuran kapal terbesar yang direncanakan akan bertambat dan melakukan bongkar muat. Jadi kedalaman laut yang dibutuhkan harus mampu menerima kapal terbesar yang menggunakan fasilitas pelabuhan. Sedangkan luas wilayah dengan kedalaman yang dibutuhkan tersebut harus mampu pula melayani manuver kapal yang akan membelok atau sebagai penampungan/parkir sementara, menunggu giliran untuk melakukan kegiatan bongkar muat. Kedalaman tersebut diukur dari permukaan laut pada waktu surut terendah.

Kondisi gelombang dan efeknya, gelombang laut yang sangat besar membahayakan kapal yang bongkar muat barang maupun penumpang akibat hempasan yang ditimbulkan pada badan kapal. Tinggi gelombang yang diijinkan pada suatu pelabuhan tergantung daripada besar kecilnya bobot kapal yang akan menggunakan fasilitas pelabuhan tersebut. Sedangkan proses littoral yang merupakan suatu gejala yang hampir selalu terjadi didaerah pantai harus benar-benar diperhatikan. Gejala ini berupa proses perubahan garis pantai dan pengikisan di daerah pelabuhan. Adanya littoral ini mengancam stabilitas dari bangunan yang ada dipinggir pantai. Disamping itu juga adanya transportasi sedimen dapat mengakibatkan terjadinya efek pendangkalan, sehingga membahayakan alur pelayaran kapal.

Pasang surut; efek yang dapat ditimbulkan dari gerakan pasang surut dipelabuhan cukup besar. Suatu kapal laut yang dinyatakan dapat melakukan kegiatan bongkar muat barang di dermaga tempat tertambatnya, apabila besar beda pasang surut tidak lebih dari 15 ft (5 meter) masih dapat ditoleransi, apabila beda pasang surut lebih besar dari pada angka tersebut, maka diperlukan adanya sitem pengaman dengan *dock* tertutup. Kecuali oleh karena alasan biaya dan kesulitan lainnya, dapat digunakan peralatan pengangkat (Derek) atau crane untuk membantu pelaksanaan bongkar muat . Kasus lain yang cukup penting akibat adanya perbedaan pasang surut ini adalah menyangkut masalah keamanan kapal dalam melakukan pelayaran di wilayah pelabuhan. Sebab dengan adanya beda pasang surut

yang besar mempengaruhi keadaan laut yang besar pula. Disatu pihak piel dari pada lantai dermaga harus cukup aman dari pasang tertinggi, hal ini menunjukkan fungsi dari pada data pasang surut dalam tinjauan ini.

Arus dan efeknya ; arus terjadi dilautan apabila permukaan air di satu tempat lebih tinggi dari permukaan air laut di tempat lain. Air pada daerah yang lebih tinggi mengalir menuju daerah yang lebih rendah, maka terjadilah arus. Disamping itu, arus juga dapat terjadi karena adanya perbedaan tinggi muka air akibat gerakan pasang surut, angin, perbedaan temperatur, dan perbedaan kadar garam yang terkandung dalam air laut. Seperti halnya gelombang, maka arus juga dapat mengakibatkan terjadinya perubahan garis pantai. Arus laut dapat memindahkan material yang larut dalam air laut dari satu tempat ke tempat lain sesuai dengan arah arus . Hal ini terutama menyangkut masalah pemeliharaan kedalaman alur pelayaran dan kedalaman laut di lokasi pelabuhan. Karena efek pendangkalan ini sangat mempengaruhi segi keamanan pelayaran kapal laut. Data mengenai arus juga cukup penting artinya bagi pihak pelabuhan, karena dapat membantu lalulintas pelayaran . Sedangkan untuk mengetahui jenis lapisan tanah atau untuk mengetahui daya dukung tanah dapat dilakukan penyelidikan tanah dengan menggunakan bor atau sordir.

Berdasarkan gambaran umum yang diperoleh, dibuat perencanaan pendahuluan dan layout pelabuhan, yang biasanya akan dilengkapi dengan perkiraan biaya dan perkiraan berdasarkan asumsi tertentu yang harus diverifikasi ketika melakukan investigasi lapangan.

Perencanaan pendahuluan ini meliputi:

- (1). Penentuan lokasi yang terbaik untuk pembangunan pelabuhan.
- (2). Tersedianya lahan untuk pengembangan pelabuhan dikemudian hari
- (3). Bentuk dan ukuran pelabuhan serta tempat berputarnya kapal.
- (4). Tipe, lokasi dan ketinggian dari pemecah gelombang.
- (5). Lokasi dan lebar pintu pelabuhan.
- (6). Kedalaman kolam dan alur pelabuhan.
- (7). Jumlah, lokasi, dan tipe dermaga.
- (8). Fasilitas-fasilitas pelabuhan di darat.

3.2.1. Penentuan Lokasi yang terbaik untuk Pembangunan Pelabuhan

Tindakan pertama dari perencanaan pendahuluan adalah menentukan lokasi dari pelabuhan secara tepat. Apabila tidak ada persyaratan-persyaratan khusus berkenaan dengan pemilihan lokasi, biasanya diadakan studi pada beberapa lokasi untuk rencana pelabuhan agar didapatkan lokasi yang

paling baik seperti kedalaman yang cukup, luas daerah perairan, kondisi tanah dan geologi, perlindungan pelabuhan terhadap gelombang, arus dan sadimentasi atau tidak diperlukan pengerukan-pengerukan yang berarti sehingga biaya pembangunan, perawatan serta biaya operasi pelabuhan dapat dipilih yang paling menguntungkan serta kondisi dasar laut yang paling menguntungkan dan juga dipilih daerah daratan yang memenuhi syarat untuk menampung barang yang dibongkar muat, jalan-jalan untuk transportasi dan daerah industri dibelakangnya serta pengembangan fasilitas-fasilitas pelabuhan dimasa yang akan datang.

Pemilihan lokasi untuk membangun pelabuhan meliputi daerah pantai dan daratan untuk itu perlu diperhatikan antara lain perencanaan pelabuhan jangan sampai mengganggu perkembangan kota atau sebaiknya keadaan daratan tergantung pada fungsi pelabuhan dan fasilitas yang berhubungan dengan tempat pengangkutan, penyimpanan dan industri. Pembangunan suatu pelabuhan biasanya diikuti dengan perkembangan daerah sekitarnya. Untuk itu daerah daratan harus cukup luas untuk mengantisipasi perkembangan industry didaerah tersebut. Jadi harus sudah direncanakan hubungan antara pelabuhan dan perkembangan kota atau daerah. Perlu juga kita tinjau daerah sekitarnya apakah sudah bisa dihubungkan dengan jalan atau jalan kereta api. Karena membuat jalan baru sangat mahal jadi diusahakan jangan terlalu jauh dari jalan-jalan utama yang ada.

Tidaklah mungkin untuk memenuhi semua kondisi diatas, sehingga diperlukan suatu kompromi untuk mendapatkan hasil yang optimal, salah satunya atau lebih terpaksa diabaikan. Atau pada suatu lokasi kemungkinan terdapat keuntungan yang sangat menonjol atau sebaliknya seperti misalnya terdapat lokasi yang mempunyai muara yang sangat besar, mungkin lokasi tersebut yang paling menguntungkan walaupun ada bagian-bagian lain yang tidak memenuhi syarat tapi dapat menjadi penghubung antara lokasi pelabuhan dengan lokasi-lokasi khusus . Atau lokasi pelabuhan didaerah terlindung seperti dibelakang pulau, diteluk, dimuara sungai/estauri, daerah ini terlindung dari gelombang tetapi tidak terhadap arus dan sadimentasi.

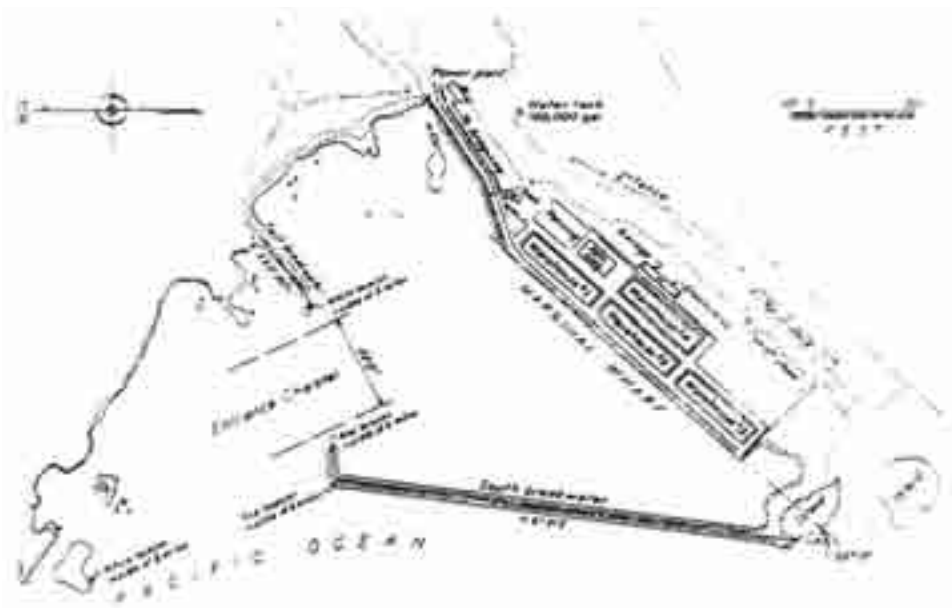
Untuk itu untuk menunjukkan lokasi perlu diadakan diskusi atas dasar pertimbangan teknis dan lingkungan sosial ekonomi seperti berikut.

1. Biaya pembangunan dan perawatan bangunan-bangunan pelabuhan termasuk pengerukan pertama yang harus dilakukan. Misalnya harus dipertimbangkan letak pelabuhan sedemikian rupa sehingga dapat mengambil material pokok. melalui jaringan-jaringan yang ada. Mengangkut material perlu sekali dipertimbangkan misalnya: penangkis gelombang memerlukan material yang sangat besar sekali, oleh karena itu faktor material yang ada disekitar lokasi sangat perlu . Seperti misalnya pada

pembangunan pelabuhan matarani, Peru, sepanjang garis pantai adalah merupakan batu cadas yang terpaksa harus digali atau diledakkan untuk bisa dibangun fasilitas-fasilitas pelabuhan. Namun hasil galian tersebut justru dapat dibuat pemecah gelombang dan daerah tersebut kemudian bisa dibangun fasilitas-fasilitas yang dibutuhkan oleh pelabuhan seperti yang dilakukan dalam perencanaan pelabuhan Matarani, Peru yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 dilihat dari udara.



Gambar 3.1 Daerah matarani sebelum dibangun pelabuhan



Gambar 3.2 Perencanaan lay-out pelabuhan Matarani (Peru)

2. Biaya operasi dan pemeliharaan, terutama pengerukan endapan dialur dan kolam pelabuhan. Diperhatikan juga apabila lokasi untuk pembangunan pelabuhan atau alur pelabuhan memerlukan pengerukan karena adanya sadimentasi apalagi material yang mengendap adalah pasir, bisa mengganggu daerah pelabuhan dan memerlukan tambahan biaya . Disamping itu daerah berdekatan dapat menjadi daerah yang terjal dan tinggi dari permukaan air rata-rata akibat hasil kerukan dasar laut sehingga sangat sulit menemukan daerah yang tepat untuk membangun fasilitas-fasilitas pelabuhan, kecuali untuk terminal barang curah, yang menggunakan sabuk berjalan dan pipa-pipa untuk bongkar muat barang-barangnya dari kapal, dimana terminal barang dan fasilitas-fasilitas yang lainnya dapat ditempatkan pada lokasi diluar yang tidak jauh dari dermaga.

3.2.2 Tersedianya Lahan Untuk Pengembangan Pelabuhan.

Penelitian terhadap lahan yang tersedia untuk membangun suatu pelabuhan dan kemungkinan untuk pengembangan dimasa mendatang harus benar-benar diperhatikan baik untuk pembangunan fasilitas-fasilitas pelabuhan diperairan pelabuhan maupun didaratn . Pembangunan suatu pelabuhan biasanya diikuti dengan perkembangan daerah sekitarnya. Untuk itu daerah daratan harus cukup luas untuk mengantisipasi perkembangan industri di daerah tersebut.

Didaerah perairan pelabuhan perlu daerah untuk alur pelabuhan, daerah untuk berputarnya kapal, daerah untuk tempat jangkar, dermaga atau tempat untuk merapatnya kapal atau daerah untuk pembuangan hasil pengerukan yang pasti akan dilakukan untuk memelihara agar bisa beroperasi dengan lancar dan untuk fasilitas-fasilitas didaratn diperlukan daerah untuk penanganan muatan dan gudang dan fasilitas-fasilitas pendukung untuk kelancaran operasional pelabuhan.

Lahan yang diperlukan untuk pembangunan maupun pengembangan pelabuhan daerah daratan biasanya meliputi kebutuhan untuk penanganan muatan umum dan lalu lintas penumpang tetapi termasuk juga daerah khusus barang kontainer, barang curah yang cair maupun yang kering atau komoditi khusus, ruangan parkir dan hubungan industri dengan pelabuhan juga harus diperhatikan.

Ruangan untuk bongkar muat juga perlu dibuatkan apron dengan lebar yang memadai seperti peralatan mesin, baja dan kayu diperlukan gudang terbuka. Lebar apron ukurannya bervariasi antara 30 ft sampai 70 ft tergantung

pada fasilitas-fasilitas bongkar muatnya apakah dengan menggunakan jalan kereta atau jalan truk.

Barang cair/bubuk termasuk biji-bijian seperti. minyak, semen dan gandum yang dapat diangkut dengan menggunakan pipa-pipa dari dermaga menuju tangki-tangki atau silo. Tangki minyak dipisahkan terhadap daerah umum minimum sejauh 100 m dan dengan pengamanan khusus terhadap api, seperti dilarang merokok dalam area tersebut.

3.2.3. Bentuk dan Ukuran Pelabuhan

Jumlah dan ukuran kapal yang akan menggunakan pelabuhan akan menentukan seberapa besar ukuran pelabuhan serta seberapa besar pengembangan pelabuhan yang akan dilakukan sesuai perkembangan jumlah kapal yang akan menggunakan pelabuhan tersebut sudah tentu kondisi yang ada saat ini sangat berpengaruh apakah pelabuhan tersebut dapat dikembangkan atau tidak. Idealnya ukuran pelabuhan harus sekecil mungkin tetapi pengoperasiannya masih tetap nyaman, aman dan lancar. Untuk membantu kapal dalam melakukan manuver saat merapat di dermaga biasanya dibantu dengan kapal tunda, hal ini juga berpengaruh pada ukuran dari pelabuhan. Pada uraian di depan mengenai tersedianya lahan untuk pengembangan pelabuhan telah diuraikan mengenai ukuran minimum pelabuhan menyangkut ruangan untuk dermaga, tempat perputarann kapal, dan beberapa layout. Misalnya, pelabuhan dengan *single pier* dan turning basin dan panjang saluran pendekatan dari laut terbuka seperti diperlihatkan pada Gambar 3.3, dibutuhkan ruang minimum dan dapat menampung dua kapal 500 ftSelanjutnya kriteria satandar perencanaan pelabuhan untuk menentukan fasilitas-fasilitas yang dibutuhkan oleh suatu pelabuhan termasuk bagaimana bentuk, ukuran serta ukuran fasilitas-fasilitas yang dibutuhkan untuk melayani kapal-kapal sewaktu bongkar muat didarat.

3.2.4. Tipe, Lokasi dan Ukuran Pemecah Gelombang

Pemecah gelombang dibutuhkan unruk mrlindung pelabuhan buatan atau pelabuhan semi alam . Tipe, lokasi serta ukuran dari pemecah gelombang tergantung dari arah gelombang yang maksimum, bentuk pantai dan ukuran minimum dari pelabuhan yang dibutuhkan untukmengantisipasi lalu lintas yang melintas didalam pelabuhan. Pemecah gelombang tersebut dapat berdiri dari dua “lengan” dari pantai ditambah satu pemecah gelombang seperti diperlihatkanpada gambar 3.11. atau dihubungkan dengan satu lengan terbuka yang biasanya menghasilkan ukuran yang menyudut

seperti ditunjukkan pada gambar 3.10. Pelabuhan dapat dilindungi dengan lengan satu atau dilengkapai dengan dua lengan, disatu ujung dan diujung berikutnya dan merupakan bentuk yang tumpang tindih guna melindungi kapal-kapal yang masuk kedalam pelabuhan seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.12 pemilihan lokasi pemecah gelombang yang paling baik, pada prinsipnya tergantung pada arah gelombang maksimum dan paling efektif dengan melakukan tes yang menggunakan model jarang ditemukan lokasi dimana gelombang yang dapat hanya dari satu arah untuk itu biasanya akan baik apabila pelabuhan mempunyai dua pintu untuk kapal-kapal yang masuk dan pintu yang satu lagi untuk kapal-kapal yang keluar. Arah angin dan gelombang dengan kekuatan yang maksimum. Karena untuk kapal-kapal yang keluar harus berputar pada pelabuhan. Sedangkan untuk tempat masuknya kapal-kapal yang menuju dermaga dengan kecepatan kurang. Pemecah gelombang dengan satu lengan dapat digunakan bilamana gelombang dominan dari satu arah . Atau bilamana bentuk dari garis pantai dapat mengurangi feeth dalam arah yang berlawanan. Perencanaan pemecah gelombang termasuk pemilihan tipe akan dibahas pada bab 4.

3.2.5. Lokasi dan Lebar Pintu Pelabuhan

Untuk mengurangi ketinggian gelombang yang masuk kedalam pelabuhan lokasi dan lebar pintu pelabuhan harus dibuat secukupnya agar pelayanan aman serta untuk mencegah arus bahaya yang ditimbulkan oleh pasang-surut. Perubahan elevasi muka air karena adanya pasang surut menyebabkan terjadinya arus keluar / masuk pelabuhan melalui pintunya. Karena pintu pelabuhan relative sempit maka arus tersebut mempunyai kecepatan tinggi yang dapat mengganggu gerak kapal.

Lebar pintu pelabuhan harus sesuai dengan ukuran pelabuhan dan kapal-kapal yang akan menggunakan pelabuhan tersebut. Biasanya lebar pintu pelabuhan akan baik apabila :

Untuk pelabuhan kecil	300 ft
Untuk pelabuhan sedang	400-500 ft
Untuk pelabuhan besar	500-800 ft

Apabila pintu pelabuhan diantara pemecah gelombang disisi miring maka lebarnya diukur pada air rendah yaitu sama dengan lebar yang diperlukan ditambah dengan lebar karena kemiringan sisi bangunan pada kedalaman tersebut. Misalnya , jika lebar mulut adalah 150 m dan mulut tersebut berada diantara pemecah gelombang dengan kemiringan 1 : 3 maka untuk pelabuhan dengan kedalaman 10 m lebar pada muka air rendah 210 m.

3.2.6. Kedalaman Alur dan Kolam Pelabuhan

Untuk mendapatkan kondisi operasi ideal kedalaman air dikolam pelabuhan dan dialur pelabuhan harus cukup besar untuk memungkinkan pelayaran pada muka air terendah dengan kapal bermuatan penuh.

Pasang surut mempunyai pengaruh yang sangat penting pada kedalaman pelabuhan. Tabel 2.3 dalam bab 2 mmungkinkan range pasang surut dalam feet pada pelabuhan-pelabuhan terpenting didunia.

Kedalaman alur ini ditentukan berdasarkan draft pada kapal muatan penuh dari suatu kapal yang direncanakan untuk menggunakan pelabuhan, khususnya pada permukaan air laut yang rendah dimusim semi, yang mana ditambah dengan ketinggian dasar kapal dan dasar laut. Desain kapal harus berdasarkan pada pertimbangan-pertimbangan ekonomi. Maksudnya kedalaman air untuk pelabuhan didasarkan pada frekwensi kapal-kapal dengan ukuran tertentu yang masuk ke pelabuhan. Jika kapal-kapal yang terbesar masuk ke pelabuhn hanya satu kali dalam beberapa hari, maka kapal tersebut hanya boleh masuk pada waktu air pasang. Sedang kapal-kapal kecil harus dapat masuk ke pelabuhan setiap saat. Untuk mengetahui ketinggian ini keadaan tanah (jenis tanah) harus diketahui didalam alur dan basin.

3.2.7. Jumlah, Lokasi dan Tipe Dermaga

Fasilitas-fasilitas dermaga sangat luas antara pelabuhan satu dengan pelabuhan lainnya. Pelabuhan dapat terdiri dari satu atau beberapa dermaga pier seperti pelabuhan new York, tergantung pada antisipasi jumlah kapal-kapal yang akan menggunakan pelabuhan dan waktu yang dibutuhkan untuk bongkar muat barang atau penumpang.

Perencanaan dermaga pier wharves dan Bulkhead akan dibahas pada bab 5. Pemilihan tipe dermaga dan bahan yang digunakan untuk konstruksinya tergantung pada faktor-faktor :

- Persyran khusus dan kebiasaan local.
- Kondisi lapangan
- Ketersediaan bahan
- Konstruksi permanen atau sementara
- Keekonomisan
- Ukuran dan berat kapal yang menggunakan pelabuhan
- Methode pelaksanaan pembangunan.

3.2.8. Fasilitas-fasilitas Pelabuhan di Daratan

Dalam mendukung penanganan muatan di pelabuhan selain fasilitas pelabuhan yang berada di perairan seperti alur pelayaran, pemecah gelombang, dermaga, alat penambat, dan sebagainya diperlukan fasilitas yang ada di darat seperti gudang laut, gudang, bangunan pendingin, gedung administrasi, pabean, kantor polisi, kantor keamanan, ruang untuk buruh dan /pekerja pelabuhan, bengkel reparasi, garasi, rumah pemadam kebakaran dan rumah tenaga.

Beberapa fasilitas diatas dapat berada dalam satu bangunan. Selain itu pada pelabuhan-pelabuhan besar diperlukan kantor-kantor pusat dari berbagai fasilitas tersebut yang berada dalam satu bangunan. Kantor/bangunan pusat ini merupakan tempat kedudukan, kepala pelabuhan, kepala pemeriksa pabean, kepala polisi, kepala pergudangan, departemen akuntansi dan sebagainya. Semua kegiatan yang ada dipelabuhan dikendalikan dari kantor pusat ini.

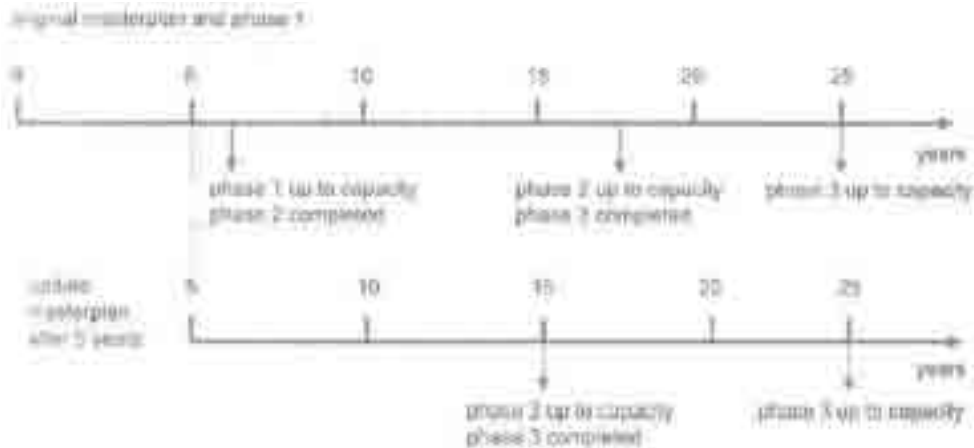
Penanganan muatan di pelabuhan dilakukan diterminal pengapalan yang disesuaikan dengan jenis muatan yang diangkut. Muatan yang diangkut kapal dapat dibedakan menjadi barang potongan, barang curah dan peti kemas. Barang potongan terdiri dari barang satuan seperti mobil, mesin-mesin, material yang ditempatkan dalam bungkus, koper, karung atau peti. Barang-barang ini memerlukan perlakuan khusus dalam pengangkutannya untuk menghindari kerusakan. Barang curah terdiri dari lepas dan tidak dibungkus/dikemas yang dapat dituangkan atau dipompa ke dalam kapal. Barang ini dapat berupa biji-bijian (beras, jagung, gandum dsb), butiran atau batu bara atau bisa juga bentuk cairan seperti minyak. Karena angkutan barang curah dapat dilakukan lebih cepat dengan biaya lebih murah dari pada dalam bentuk kemasan maka beberapa barang yang dulunya dalam bentuk kemasan sekarang diangkut dalam bentuk lepas selanjutnya baru kalau dibutuhkan pengemasan biasanya dilakukan ditempat atau didaerah yang dituju. Sebagai contoh adalah pengangkutan pupuk Sriwijaya yang dibongkar khusus di pelabuhan Ketapang Banyuwangi, Jawa Timur, pengangkutan semen untuk daerah Bali yang dibongkar dipelabuhan Telukan Bawang Singaraja, Bali. Peti kemas adalah peti besar yang didalamnya berisi barang. Biasanya peti kemas diangkut dengan kapal khusus yang disebut kapal peti kemas sedang didarat diangkut dengan truk triler atau kereta api. Penanganan muatan di pelabuhan dilakukan diterminal pengapalan yang disesuaikan dengan jenis muatan yang diangkut. Terminal merupakan tempat untuk pemindahan muatan diantara system pengangkutan yang berbeda dari angkutan darat ke angkutan laut dan sebaliknya. Fasilitas-fasilitas terminal pelabuhan

dapat terdiri dari satu atau lebih tergantung dari ukuran pelabuhan dan pelayanan yang diberikan. Masing-masing terminal mempunyai bentuk dan fasilitas yang berbeda. Terminal barang umum (*general cargo Terminal*). Meskipun jelas bahwa jenis perencanaan berguna untuk memastikan bahwa investasi yang tepat dibuat di lokasi terbaik, harus menyadari bahwa sangat sulit dan sering membatasi penerapan yang membutuhkan waktu yang cukup lama. Ini memiliki alasan-alasan berikut:

- (i) Sejauh perencanaan mempengaruhi masa depan pelabuhan yang ada dengan cara yang negatif (pembatasan jenis tertentu kargo dan karenanya pertumbuhan keseluruhan) otoritas pelabuhan dan masyarakat setempat akan menolaknya. Lobi politik mulai menyesuaikan rencana dan sebaliknya orang akan mengabaikannya.
- (ii) Beberapa tahun setelah rencana telah dirumuskan, arus kargo yang sebenarnya mungkin menyimpang jauh dari perkiraan, kondisi mungkin telah berubah dan rencananya menjadi tidak efektif.

Negara-negara Barat tidak memberlakukan jenis perencanaan pelabuhan nasional lagi. Apa yang terjadi adalah bahwa dalam mempersiapkan masterplan untuk pelabuhan swasta (ekspansi), kemungkinan dianggap kelebihan kapasitas dari pelabuhan tetangga di wilayah tersebut. Contoh dari ini adalah tahap awal dari proses perencanaan untuk Maasvlakte 2 di Belanda, lihat Gambar 4.2.

Kembali ke jenis perencanaan sesuai dengan horizon waktu: dalam situasi yang ideal jangka panjang, rencana jangka menengah dan jangka pendek saling terkait. Masterplan menyediakan kerangka untuk rencana jangka menengah, sementara ini pada gilirannya membentuk dasar untuk proyek jangka pendek. Masterplan kebutuhan update pada interval sekitar 5-10 tahun, di mana throughput yang sebenarnya dibandingkan dengan yang diperkirakan, yang terakhir disesuaikan, dan sesuai pentahapan asli dan diperbaharui. Dengan cara ini orang bisa memperpanjang cakrawala masterplan dan mencapai proses perencanaan yang berkesinambungan, seperti divisualisasikan pada Gambar 4.1. Dalam contoh ini bahwa masalah waktu pembangunan Tahap 3 infrastruktur harus selesai 2,5 tahun ke depan oleh karena perkiraan (diperbaharui) *throughput* menunjukkan pertumbuhan yang lebih besar.



Gambar 3.3 Phase master plan

Dalam prakteknya tidak ada banyak pelabuhan di dunia, yang memberlakukan proses ini secara sistematis. Memperbarui master plan (jika ada) sering lebih ad-hoc, ketika diperlukan. Dan rencana jangka pendek yang lebih sering tidak berhubungan dengan masterplan.

Ini tidak berarti bahwa masterplan tidak harus dibuat. Ini hanya menunjukkan bahwa masterplan harus cukup fleksibel untuk mengikuti fluktuasi dalam pembangunan ekonomi dan perubahan dalam pola transportasi.

Biasanya Tahap 1 pelaksanaan berikut langsung atas persetujuan dari masterplan. Layout untuk Tahap 1 disempurnakan oleh studi rinci dari gangguan gelombang, efek morfologi dan kondisi manuver. Desain struktural dermaga dan pemecah gelombang selesai pada tingkat yang sesuai detail untuk tender konstruksi.

3.3 Penyelidikan Lapangan

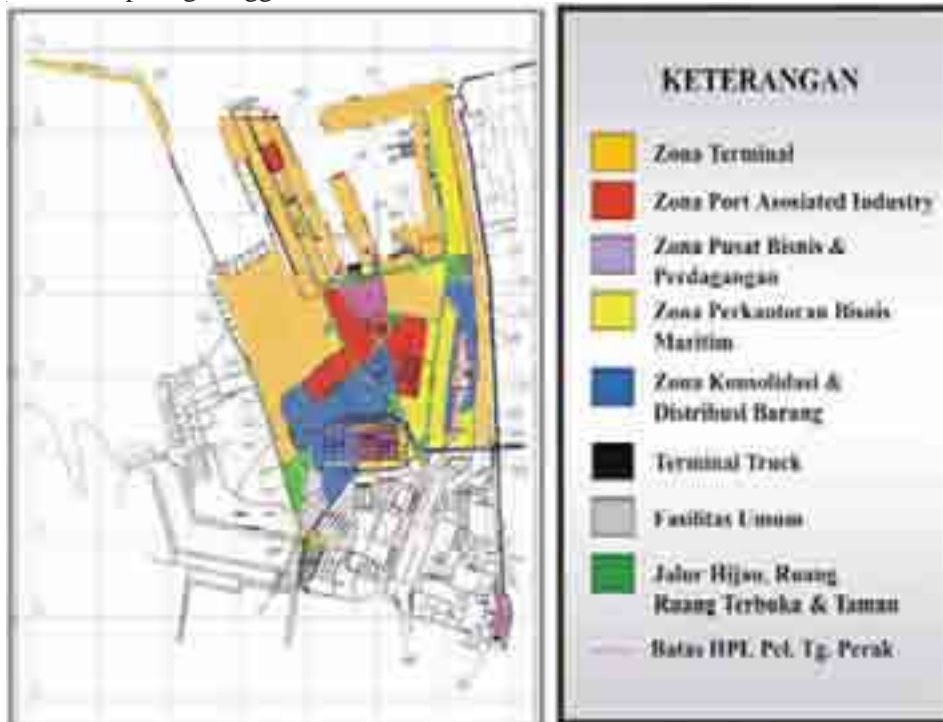
Pengetahuan tentang kondisi lokasi merupakan bagian tak terpisahkan dari perencanaan pelabuhan. Untuk perpanjangan ke port yang ada tugas ini memiliki kandungan yang berbeda daripada untuk pembangunan pelabuhan green-field. Dalam kasus terakhir desainer pelabuhan harus dimulai tanpa data yang tersedia. Karena ini adalah kasus yang paling menantang akan dirawat di sini. Harus diakui bahwa bagaimanapun ada beberapa perkembangan pelabuhan Greenfield. Dalam kebanyakan kasus perencanaan berkaitan dengan perluasan pelabuhan yang ada dan data situs yang cukup tersedia.

Perencana Pelabuhan membutuhkan data tentang:

- Batimetri
- kondisi Gelombang
- Arus dan pasang horisontal

Contoh Pengembangan Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya

Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya sudah mencapai kejenuhan. Pelindo III membangun terminal teluk lamong untuk meningkatkan daya saing pelabuhan. Terminal ini dibangun sebagai perluasan dari Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya sekaligus sebagai antisipasi *over capacity* di pelabuhan terbesar kedua di Indonesia itu. Terminal Teluk Lamong, disebut-sebut sebagai pelabuhan paling canggih di Indonesia.



Pembangunan tahap pertama dari Terminal Teluk Lamong memiliki luas sekitar 40 hektar. Pembangunan ini dimulai sejak tahun 2010 lalu dan dinyatakan selesai pada tahun 2014. Terminal ini akan digunakan untuk melayani petikemas domestik, petikemas internasional, dan curah kering dengan standar pangan. Kapasitas terminal tahap pertama ini mencapai 500.000 TEUs petikemas domestik dan 1 juta TEUs petikemas internasional.

Sementara itu, untuk curah kering akan siap tahun 2016 dengan kapasitas 5 juta ton. Terminal ini terbilang paling canggih di Indonesia dan pertama menggunakan sistem operasi otomatis dan ramah lingkungan.

Hampir sebagian besar alat-alatnya digerakkan dengan tenaga listrik dan tenaga gas. Hanya beberapa alat yang masih menggunakan bahan bakar minyak, itupun bahan bakar dengan standar EURO 4.

Bahkan, terdapat alat yang di atasnya tidak ada operatornya. Alat tersebut dioperasikan dari ruang kontrol oleh operator-operator perempuan.

Terminal Teluk Lamong mampu mengefisienkan waktu *dwelling time* pada *post clearance* dengan pengurangan satu hari prosesnya.

- tingkat Air dan pasang vertikal
- laju aliran Sungai (dalam kasus pelabuhan sungai)
- Kondisi Meteorologi (angin, hujan, kabut, suhu)
- Salinitas
- karakteristik Sedimen dan transportasi
- Karakteristik tanah dan kondisi geoteknik
- kondisi Seismic

Beberapa data memiliki sifat stochastic yang berbeda dan membutuhkan waktu yang ekstensif pengukuran untuk menentukan parameter desain dengan akurasi yang cukup. Contoh yang paling umum adalah tinggi gelombang desain untuk desain breakwater dan struktur lainnya. Untuk mendapatkan estimasi yang dapat diandalkan misalnya kondisi gelombang periode ulang 50 tahun dari in-situ pengukuran salah satu kebutuhan setidaknya beberapa tahun rekaman gelombang. Dalam jangka waktu studi perencanaan ini tidak dapat direalisasikan. Oleh karena itu pertanyaannya adalah bagaimana mengumpulkan data dengan akurasi yang dapat diterima dalam waktu singkat (sementara memulai survei dan kampanye pengumpulan data untuk melayani tahap berikutnya dari pembangunan pelabuhan). Ini akan dibahas di bawah untuk berbagai jenis data, termasuk sumber tradisional informasi dan metode canggih yang tersedia.

Batimetri Yang pertama dan paling mudah diakses sumber data batimetri adalah peta laut. Sebagian besar negara pelaut memberikan grafik dari perairan pesisir dan daerah laut yang berdekatan yang diperbarui secara teratur, menunjukkan kedalaman air, jenis dasar laut (mengirim, rock, dll) dan kecepatan kadang-kadang saat. Apalagi grafik menunjukkan informasi mengenai ketinggian pasang surut dalam hal MSL dan nilai rata-rata air

tinggi dan air rendah selama perbani dan pasang purnama. Angkatan Laut Inggris mengumpulkan semua informasi ini dan menerbitkan apa yang disebut Charts Admiralty, yang dapat dibeli di internet. Harus diakui bahwa skala dan jumlah detail kenaikan grafik ini sekitar pelabuhan yang ada dan rute lalu lintas kepadatan tinggi. Untuk situs pelabuhan hijau-lapangan di mis Amerika Selatan, skala mungkin kecil, tapi ada sesuatu untuk memulai dengan. Dalam kasus studi rencana induk penuh biasanya ada cukup waktu untuk melaksanakan survei batimetri yang tepat. Hal ini sangat penting ketika topografi dasar laut tepi pantai tidak teratur dan mempengaruhi propagasi gelombang.

Iklim Inggris Admiralty juga menerbitkan “Pilot”, memberikan informasi untuk pelaut di wilayah pesisir dan pelabuhan pendekatan seluruh dunia (Pilot, berbagai tahun). Pilot ini berguna untuk perencana pelabuhan, memberikan umum data oseanografi dan iklim di laut atau pesisir yang bersangkutan. Ini termasuk:

- Data Angin, termasuk variasi musiman seperti selama musim hujan di Asia Selatan
- Kondisi gelombang, baik itu tidak dalam format statis: indikasi terjadinya topan / badai dan jalan khas mereka.
- Pola arus dan kecepatan, yang berkaitan dengan sistem yang besar sirkulasi dan / atau pasang dan angin
- Suhu
- Curah hujan
- Kabut

Data Percontohan tentu tidak cukup untuk perencanaan pelabuhan, tetapi mereka memberikan gambaran kualitatif lapangan, dengan dilengkapi dengan grafik.

Kondisi gelombang Sampai tahun 1980 yang disebut pengamatan kapal adalah satu-satunya sumber data gelombang statistik yang tersedia. Mariners pengamatan tinggi gelombang, dan-periode - arah, diambil pada interval waktu yang teratur pada papan semua kapal di laut, membentuk dasar dari matriks diterbitkan dalam misalnya Ocean Wave Statistik (Hogben, N. et. Al. 1967). Karena metode ini pengumpulan data telah dimulai setelah Perang Dunia II, jumlah data dan panjang periode rekaman yang cukup untuk memungkinkan ekstrapolasi nilai-nilai ekstrim. Namun keakuratan pengamatan yang dilakukan adalah rendah, diperkirakan tidak lebih baik dari sekitar 20%.

Selama tahun 1970 pengembangan model numerik yang menjelaskan hubungan antara tekanan udara, kecepatan angin dan -direction dan pertumbuhan gelombang dan -propagation membawa perbaikan besar. Ketersediaan peta cuaca sejarah untuk seluruh dunia di pusat-pusat meteorologi seperti KNMI memungkinkan untuk hindcast badai di atas ambang tertentu untuk daerah tertentu dari lautan atau laut. Puncak-nilai dari badai ini dapat diekstrapolasikan menggunakan distribusi teoritis seperti Gumbel atau Weibull untuk mendapatkan kondisi gelombang ekstrim diperlukan untuk desain.

Sedangkan model ini awalnya diterapkan untuk daerah tertentu dan untuk acara badai saja, saat ini mereka digunakan secara teratur. Hal ini dimungkinkan untuk mendapatkan angin dan gelombang statistik dari basis data yang internet (ao NOAA), untuk setiap wilayah laut-laut atau di dunia, berdasarkan perhitungan hindcast. Ini termasuk kedua kondisi operasional dan badai tinggi gelombang desain. Keakuratan perhitungan ini diperkirakan sekitar 10%, yaitu mirip dengan yang di-situ pengukuran.

Sebuah pengembangan lebih lanjut adalah penggunaan pengukuran satelit dari tinggi gelombang. Sejak sekitar 1985 beberapa satelit telah dilakukan radar altimeter (Eggers - $\frac{1}{2}$), yang masing-masing menghasilkan catatan tinggi gelombang di sepanjang jalur mereka. Perbandingan pengukuran ini dengan rekaman buoy telah menunjukkan akurasi diperkirakan 10-15% untuk kondisi gelombang moderat. Ketinggian gelombang ekstrim (lebih dari kondisi gelombang tahunan) diukur dengan altimeter yang sistematis lebih rendah sekitar 15%. Kedua faktor menyiratkan keterbatasan parah sumber ini untuk perencanaan pelabuhan: untuk kondisi operasional informasi pada periode gelombang dan arah yang hilang dan untuk kondisi desain kesalahan sistematis terlalu besar. Diharapkan namun yang luas dan kualitas pengukuran satelit akan meningkatkan.

Kondisi gelombang yang dijelaskan di atas diperoleh untuk air yang dalam, sedangkan lokasi pelabuhan sering dekat pantai. Terjemahan dari kondisi gelombang dari perairan dalam ke lokasi pelabuhan dilakukan dengan cara model numerik, yang mewakili efek gesekan bawah, refraksi gelombang shoaling dan breaking. Model SWAN, dikembangkan oleh Delf University of Technology, digunakan di seluruh dunia dan menghasilkan output yang handal. Untuk perkiraan awal, diagram shoaling dari Goda (1985) memberikan metode mudah untuk menentukan kondisi gelombang di perairan dangkal, tetapi dengan akurasi yang jauh lebih rendah.

Arus dan Pasang Surut untuk pasang vertikal informasi yang disajikan pada Charts Admiralty umumnya cukup untuk tahap perencanaan. Dan bahkan ketika kondisi tertentu di situs diharapkan untuk mempengaruhi

situasi pasang surut keseluruhan (misalnya di muara atau laguna) satu bulan dari rekaman ketinggian air cukup untuk menentukan karakteristik pasang surut. Hal ini dapat diwujudkan dalam lingkup studi perencanaan. Untuk tingkat air set-up karena angin dan gelombang ini tidak berlaku. Metode sederhana yang disajikan dalam mis Teknik Pesisir Manual (USACE, 2002), yang cukup untuk perkiraan. Mengenai aliran kecepatan pendekatan yang sama biasanya diikuti: pengukuran in-situ selama periode pantai yang relatif waktu, setidaknya termasuk mata air pasang penuh dan siklus pasang perbani penuh. Kecepatan ekstrim karena debit sungai sering tidak diukur dalam kampanye tersebut.

Sedimen dan Karakteristik Tanah Kondisi dasar laut dan bawah permukaan dangkal yang penting untuk penilaian kemampuan mengeruk dan penggunaan untuk bahan mengisi, serta untuk desain struktur. Indikasi pada Bagan Admiralty tidak cukup dan perlu diverifikasi dan dilengkapi dengan in-situ pengukuran. Pendekatan yang efektif adalah dengan menggabungkan survei batimetri dengan profil seismik, yang memberikan indikasi yang dapat diandalkan topografi lapisan tanah, asalkan dilengkapi dengan jumlah yang memadai tanah membosankan untuk “mengkalibrasi” hasil seismik. Pengambilan contoh tanah di pengeboran dan uji laboratorium selanjutnya akan memberikan informasi yang diperlukan pada karakteristik lapisan tanah.

Kondisi Gempa Sebagian istimewa dari daerah pesisir dunia tidak memiliki catatan sejarah gempa bahkan dan akibatnya di daerah-daerah -rightly atau salah sehingga -earthquakes tidak dianggap sebagai ancaman potensial terhadap integritas port dan instalasi pelabuhan. Di daerah lain gempa bumi adalah fenomena kurang lebih sering berulang, yang tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pemilihan lokasi pelabuhan dan desain berikutnya. Banyak gempa negara -prone memiliki arahan berkaitan dengan ketentuan gempa di kode bangunan mereka, yang paling sederhana dan tidak memadai dari sebagai percepatan horisontal maksimum untuk diperhitungkan di berbagai daerah negara itu. Untuk investasi infrastruktur besar seperti pelabuhan, itu sangat diinginkan untuk berkonsultasi sosiolog pada kekuatan dan kemungkinan terjadinya gempa bumi yang spesifik situs, karena ini mungkin menyimpang jauh dari rata-rata regional, tergantung pada gambar geologi lokal.

Aspek khusus kegempaan adalah potensi terjadinya tsunami, bahkan di sepanjang pantai yang jauh dari zona sesar sendiri. Tsunami adalah gelombang laut yang sangat panjang yang dihasilkan oleh gerakan dasar laut, dan mungkin perjalanan jarak besar tanpa kehilangan banyak energi

mereka. Kerentanan pantai untuk tsunami tidak hanya tergantung pada potensi terjadinya gempa bumi di lautan dan lautan dalam area yang sangat luas, tetapi juga sangat banyak sehingga pada topografi bawah laut di area subyek. Studi meja bisa sangat baik mengukur ancaman. Jika ada ancaman seperti itu, tidak ada solusi perencanaan pelabuhan yang dapat menghilangkan masalah, tapi kerusakan desain-bijaksana banyak karena peristiwa seismik dapat dihindari (PIANC, 2001).

3.4 Perencanaan Tata Letak (*Layout*)

3.4.1 Dasar-dasar Perencanaan Lay-out Pelabuhan

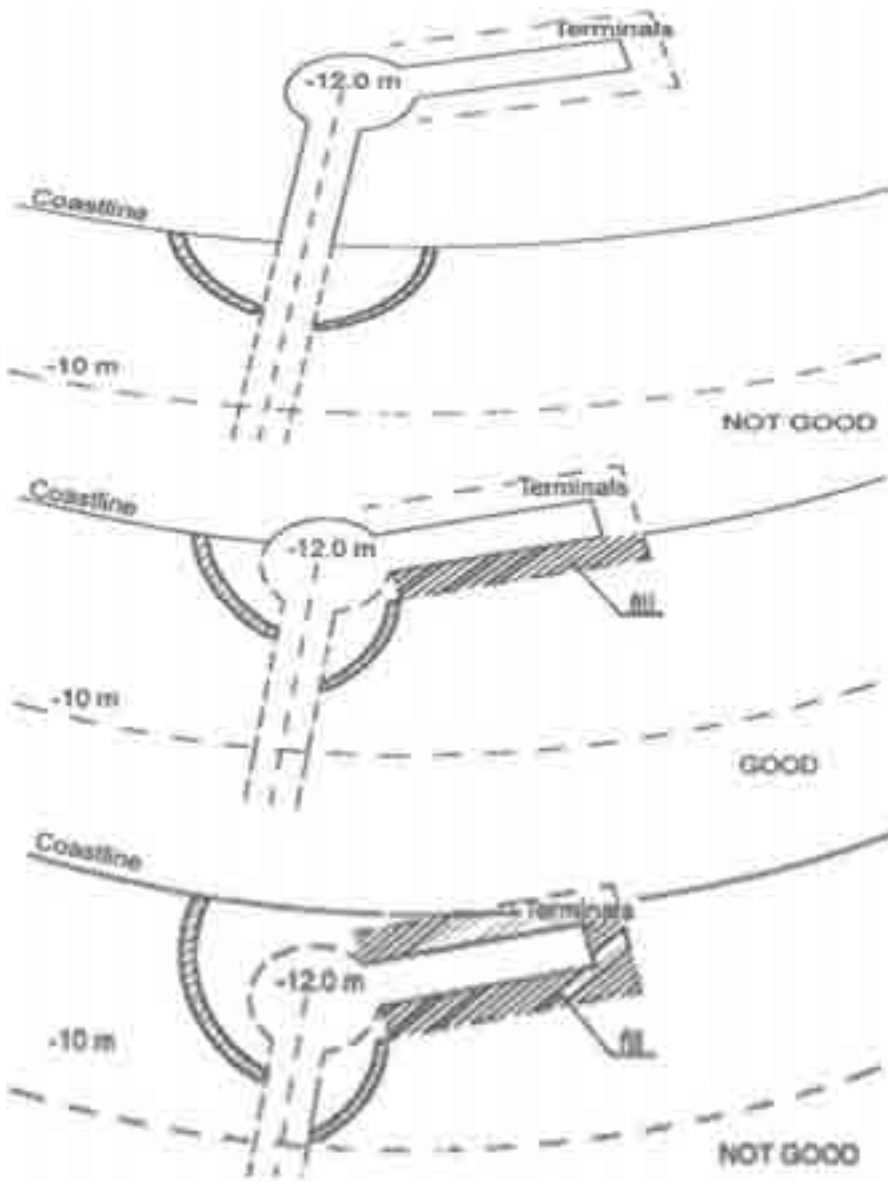
Pekerjaan ini telah disebutkan sebelumnya sebagai bagian kreatif dari perencanaan pelabuhan. Unsur-unsur perencanaan telah disusun dan kini harus disatukan ke dalam lay-out. Beberapa out awam pada kenyataannya, karena banyak solusi yang berbeda mungkin. Sementara unsur-unsur perencanaan telah ditentukan atas dasar aturan desain formal atau pedoman, yang diperlakukan dalam bab berikut, membuat lay-out tidak mengikuti aturan formal. Kondisi lokal yang spesifik memainkan peran yang dominan dan karena itu tidak ada port lay out adalah mirip satu sama lain. Ada Ada beberapa lakukan dan tidak boleh dilakukan, yang harus diingat Namun, seperti:

- (i) *Biaya Konstruksi* merupakan faktor penting dalam kelayakan pelabuhan dan dapat paling kuat dipengaruhi dalam tahap konseptual ini lay-out pembangunan (setelah lay-out adalah tetap, kemungkinan optimalisasi biaya sangat terbatas). Apabila pelabuhan terletak di pantai, maka keseimbangan cut and fill sering merupakan solusi terbaik, kecuali tanah sangat sulit (biaya pengerukan tinggi) atau sangat lembut (bahan dikeruk tidak cocok untuk reklamasi), lihat Gambar 3.4. Juga panjang pemecah gelombang harus diminimalkan karena ini merupakan faktor biaya yang penting.
- (ii) Dalam hal kondisi gelombang lepas pantai yang kuat orientasi saluran pendekatan sebaiknya sejalan dengan arah gelombang dominan (dalam rangka untuk meminimalkan gelombang yang datang “belakang” dari kapal bukan “quartering” atau “beam”) . Pada saat yang sama konfigurasi pintu masuk yang tepat harus membatasi penetrasi gelombang. Dalam prakteknya dua persyaratan ini digabungkan dan menyebabkan sudut kecil antara arah gelombang dan sumbu saluran pendekatan (lihat Gambar 3.5).

- (iii) Ketika cekungan pelabuhan dan saluran masuk dilindungi oleh pemecah gelombang tersebut seharusnya tidak membentuk sempit “lengan”, tetapi memberikan ruang segera di belakang kepala (lihat Gambar 3.6 b), untuk tiga alasan: 1). kapal manuver dalam alur tidak diijinkan ada struktur keras dekat dengan batas-batas saluran/alur karena apabila terjadi benturan tidak menyebabkan kerusakan yang fatal. 2). ketika ada arus melintas di sepanjang pintu masuk, kapal membutuhkan ruang samping untuk lewat menuju air tenang, dan 3). ruang terbuka di belakang kepala breakwater membantu efek difraksi dan dengan demikian mengurangi penetrasi gelombang. Hal ini dilihat dari Gambar 3.5 bahwa panjang breakwater bersih b). tidak meningkat dibandingkan dengan a), sedangkan layout terbuka juga menyediakan lebih banyak ruang di dalam pelabuhan untuk pembangunan masa depan.
- (iv) Bends dalam saluran pendekatan dekat dengan pintu masuk pelabuhan atau segera balik itu harus dihindari, kapal kebutuhan arah lurus tanpa komplikasi kemudi melalui tikungan.
- (v) Disamping itu efek morfologi harus diperhitungkan. Tanpa masuk ke detail di bagian ini, dua prinsip-prinsip dasar yang disebutkan:
 - a. Sepanjang garis pantai aluvial transportasi pesisir dalam zona breaker. Oleh karena itu pemecah gelombang harus mencapai luar untuk kedalaman air yang sesuai untuk menghindari transportasi sedimen ini untuk deposit dalam saluran pendekatan.
 - b. Ketika transportasi litoral terjadi di kedua arah sepanjang pantai, pemecah gelombang juga diperlukan di kedua sisi. Hanya ketika iklim gelombang sehingga transportasi pesisir adalah searah, satu breakwater mungkin cukup.
 - c. Panjang breakwater tidak hanya tergantung pada sejauh mana zona breakwater tetapi juga pada besarnya transportasi littoral dan tingkat penambahan yang sesuai pada breakwater
- (vi) Mengenai lokasi tempat berlabuh dan terminal beberapa aspek keselamatan secara umum dapat dirumuskan:
 - a. Seharusnya tidak ada tempat berlabuh atau struktur keras di garis berhenti dari kapal, juga tidak di luar lingkaran

balik. Dalam hal manuver kapal gagal sehingga harus berhenti, maka kapal harus kandas di sebuah tanah dasar yang lembut.

- b. Terminal curah cair harus terletak melawan arah angin dari kegiatan pelabuhan dan tentunya dari pusat-pusat kota atau pemukiman. Dalam kasus kecelakaan efek negatif (asap, gas beracun atau awan uap) sehingga dampaknya akan kurang.



Gambar 3.4 Keseimbangan antara galian dan timbunan

3.4.2 Tipikal Lay-out Pelabuhan

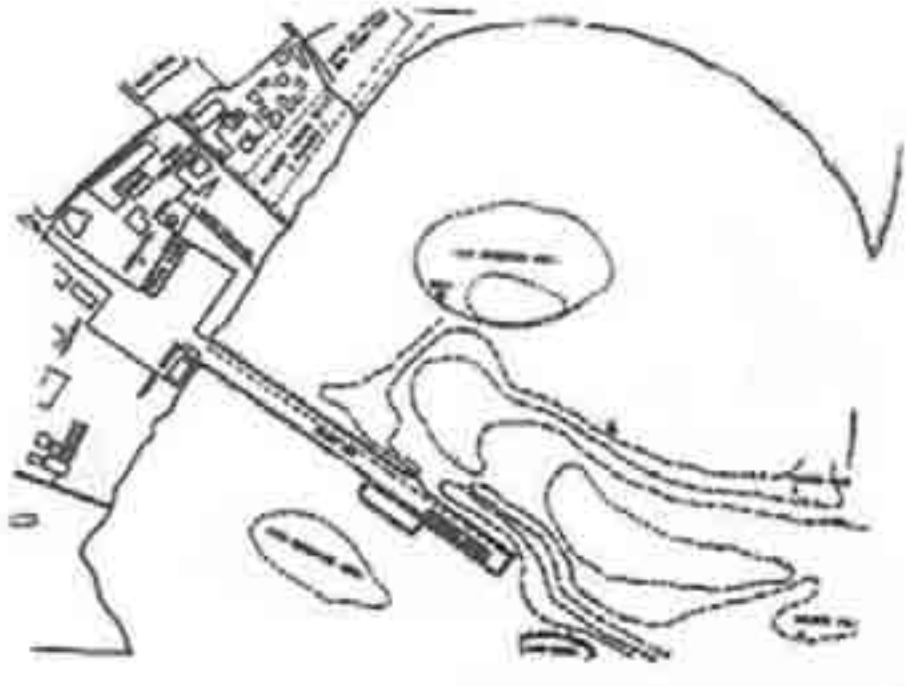
Pelabuhan-pelabuhan di Bali

Bali yang merupakan salah satu propinsi dari 26 propinsi di Indonesia merupakan daerah penghasil devisa yang cukup besar, tidak saja dari sector pariwisata, namun juga sector-sektorlainnya seperti pertanian dan peternakan dan terutama sektor industri kecil oleh karena itu Bali yang sudah dikenal dan banyak dikunjungi oleh wisatawan-wisatawan nusantara maupun mancanegara bertambah terkenal lagi berkat kemajuan-kemajuan yang telah dicapai terutama dibidang transportasi khususnya transportasi laut.

Bali yang mempunyai luas wilayah hanya km^2 mempunyai 4 buah pelabuhan yaitu dua buah pelabuhan umum. Pelabuhan penyebrangan Gilimanuk merupakan pintu gerbang sebelah barat yang menghubungkan Bali dengan Jawa dan pintu gerbang sebelah timur yaitu pelabuhan Padangbai yang mengubungkan Bali dengan pulau-pulau sebelah timurnya khususnya pulau Lombok. Tata letak pelabuhan penyebrangan Gilimanuk dan pelabuhan penyebrangan Padangbai dapat diperlihatkan pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8

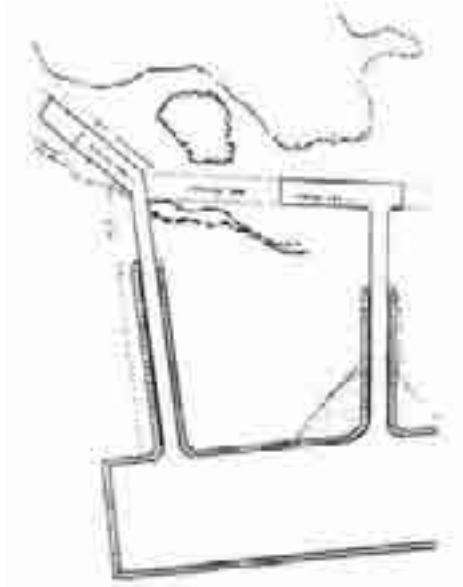


Gambar 3.7 Tata letak pelabuhan penyebrangan Gilimanuk



Gambar 3.8 Tata letak pelabuhan penyebrangan Padangbai

Di utara pulau Bali tepatnya di daerah Teluk Bawang kecamatan Gerokgak, kabupaten Buleleng terdapat pelabuhan umum yang disebut dengan pelabuhan Telukan Bawang. Pelabuhan ini merupakan pelabuhan alam karena dibangun didaerah pantai suatu teluk yang terlindung terhadap arus dan gelombang. Pelabuhan ini digunakan untuk menerima pengiriman barang-barang dari pulau-pulau di Indonesia khususnya dari pulau Jawa seperti : semen, kayu dan sebagainya dan digunakan untuk mengirim barang-barang berupa hasil pertanian dan peternakan. Tata letak pelabuhan Telukan Bawang dapat diperlihatkan seperti Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Tata Letak Pelabuhan Telukan Bawang Bali

Pelabuhan Benoa merupakan peninggalan Belanda yang dulunya dikembangkan sebagai pelabuhan bongkar muat barang-barang baik untuk tujuan-tujuan dalam negeri maupun untuk pelabuhan eksport-impor, namun sekarang pelabuhan benoa hanya sebagai pelabuhan pengumpulan atau feeder port. Tata letak pelabuhan Benoa dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Tata Letak Pelabuhan Benoa Bali

Sedangkan pelabuhan Benoa yang terletak di ujung selatan pulau Bali tepatnya di kabupaten Badung, juga merupakan pelabuhan alam karena lokasi pelabuhan cukup terlindung oleh adanya pulau-pulau kecil disekitarnya.

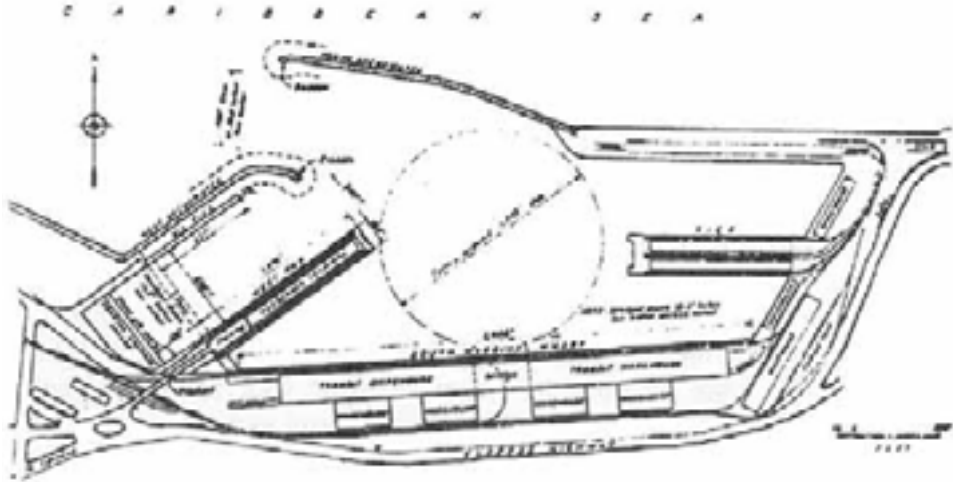
Pelabuhan di Dunia

Pelabuhan La Guaria, Venezuela

Pelabuhan ini dibangun untuk melayani daerah Caracas dan sekitarnya dan terutama sekali melayani ibukota Venezuela. Pelabuhan ini merupakan pelabuhan buatan karena dilengkapi dengan fasilitas pemecah gelombang dan untuk melayani kapal-kapal sewaktu merapat untuk bongkar muat barang, pelabuhan ini dilengkapi dengan fasilitas-fasilitas dermaga tipe pier. Pelabuhan ini telah ada sebelum perang dunia ke dua dan telah dilakukan perluasan pada tahun 1948 dan bersamaan dengan itu dilakukan perluasan secara menyeluruh dan dilakukan program pembangunan secara menyeluruh dan dilakukan pembangunan mulai tahun 1951 sehingga pelabuhan tersebut sekarang seperti diperlihatkan pada Gambar 3.11 dan Gambar 3.12 telah menjadi pelabuhan utama dengan fasilitas-fasilitas yang sangat memadai dengan kedalaman alur dan kolam pelabuhan minimum 34.5 ft dibawah permukaan air rata-rata.



Gambar 3.11. Pandangan dari atas keseluruhan pelabuhan La Guaria Venezuela



Gambar 3.12. Tataletak pelabuhan La Guaria Venezuela

Pelabuhan Teconite

Pelabuhan ini terletak dipantai utara yang berjarak 80 mil dari Duluth dan selesai dibangun pada tahun 1956. Pelabuhan ini adalah merupakan pelabuhan khusus karena dimaksudkan sebagai terminal bijih besi untuk melayani pertambangan bijih besi di danau Hoyt, Minnesota, kira-kira 75 mile dari pelabuhan. Pelabuhan ini dikelola oleh perusahaan-perusahaan besi yang memproduksi bijih besi tersebut. Pemandangan waktu pembangunan pelabuhan tersebut dapat diperlihatkan pada Gambar 3.13 dan Gambar 3.14



Gambar 3.13 Pemandangan sewaktu pelaksanaan pembangunan pelabuhan Tokonite



Gambar 3.14 Pelabuhan Taconita setelah selesai dibangun

Tampak dalam gambar tersebut belum dilengkapi dengan penangkis gelombang . Terlihat dua buah pulau kecil di dekat pantai yang akan sangat berguna untuk pembangunan penangkis gelombang selanjutnya.

Seperti terlihat pada Gambar 3.15 dan Gambar 3.16 terlihat pelabuhan yang telah selesai dibangun dengan dilengkapi fasilitas-fasilitas dibuatkan penangkis gelombang yang menghubungkan dua buah pulau yang berada didekat pelabuhan dengan panjang penangkis gelombang kira-kira 1100 ft . Lengan penangkis gelombang ini diukur dari pantai mempunyai panjang 1700 ft dan lebar dasar penangkis gelombang tersebut adalah 400 ft. Deramag yang dibangun adalah tipe bulhead yang dilengkapi dengan fasilitas-fasilitas gudang dan fasilitas-fasilitas peralatan untuk bongkar muat barang sepanjang pelabuhan didekat dermaga.



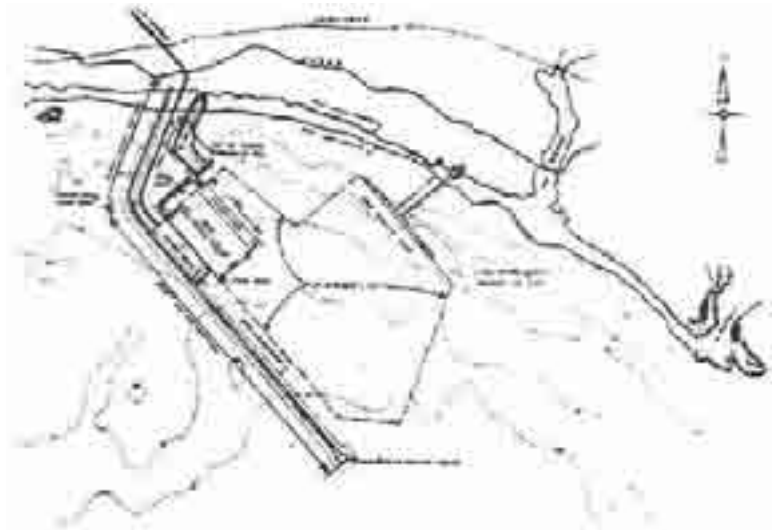
Gambar 3.15 Tataletak pelabuhan Taconita

Pelabuhan Rota

Pelabuhan yang berlokasi di Spanyol ini pada prinsipnya juga merupakan pintu gerbang untuk Amerika. Pelabuhan ini selesai dibangun pada tahun 1958. Kecuali untuk fasilitas-fasilitas dermaga finger pier yang mulai dibangun pada tahun 1959 dan diselesaikan tahun 1960.

Pelabuhan ini dibangun untuk melayani kapal-kapal besar serta kapal-kapal tanker disamping juga sebagai pangkalan untuk kapal-kapal perang. Tata letak Rota seperti diperlihatkan pada gambar 3.26.

Pelabuhan ini adalah merupakan pelabuhan alam seperti terlihat dalam gambar dibarat daya pelabuhan tersebut dilengkapi penangkis gelombang. Pelabuhan ini juga dilengkapi dengan fasilitas-fasilitas pelabuhan seperti turning basin dengan ukuran radius 2500 ft serta kedalaman alur dan kolam pelabuhan 35 ft serta dilengkapi dengan dermaga tipe finger pier. Dengan fasilitas-fasilitas seperti yang disebutkan diatas menunjukkan pelabuhan tersebut adalah sebuah pelabuhan yang cukup besar.



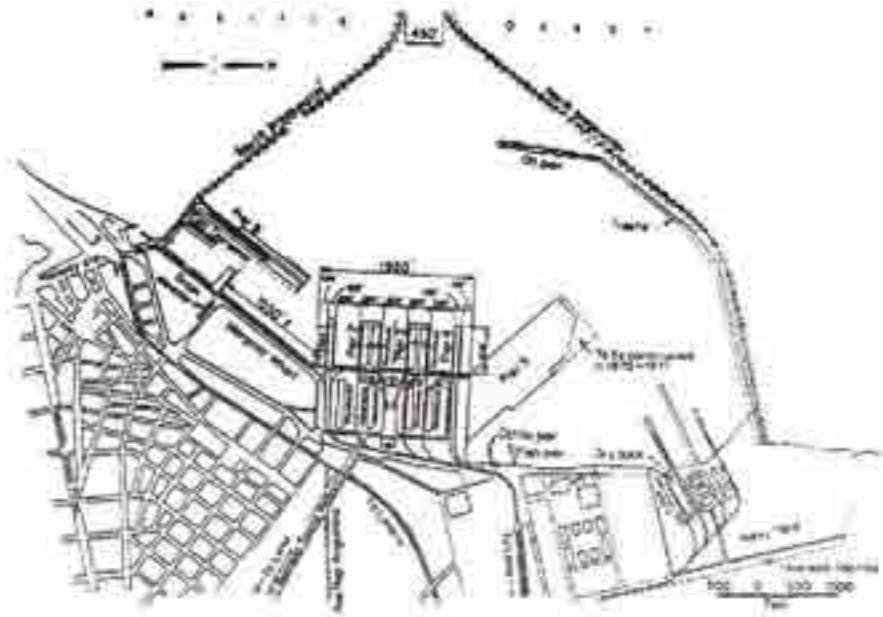
Gambar 3.16 Pelabuhan Rota Spanyol.

Pelabuhan Callao Peru

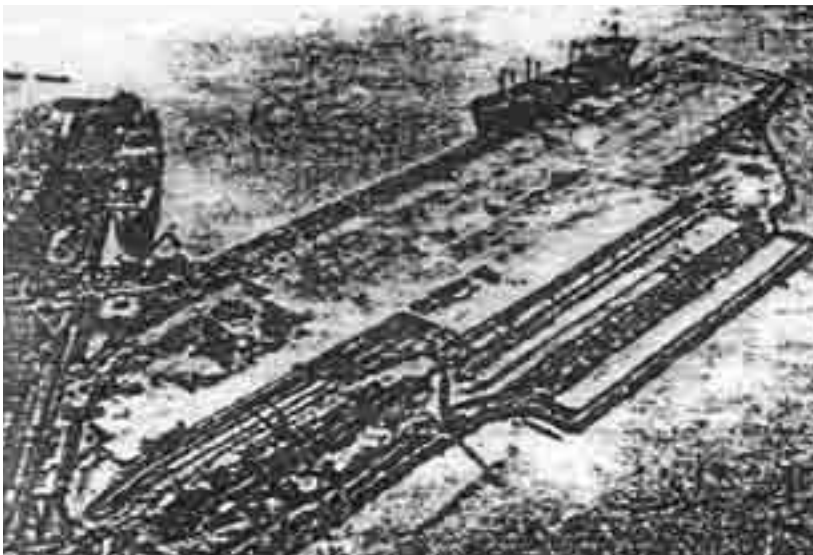
Pelabuhan ini sudah sudah dilengkapi pada tahun pada tahun 1870 dan mulai 1939 pelabuhan ini dilengkapi fasilitas-fasilitas untuk melayani kapal-kapal yang tertambat dengan membangun dermaga tipe bulhead warf sepanjang 3600 ft dan juga dibangun dermaga tipe finger pier. Disebelah utara dan selatan dibangun dermaga tipe pier sepanjang 600 ft dengan lebar

100 ft dan konstruksi yang dibunakan adalah konstruksi terbuka dengan menggunakan tiang pancang.

Tata letak pelabuhan Callao diperlihatkan pada Gambar 3.17 dan dermaga tipe pier diperlihatkan pada Gambar 3.18



Gambar 3.17 Tataletak pelabuhan Callao Peru



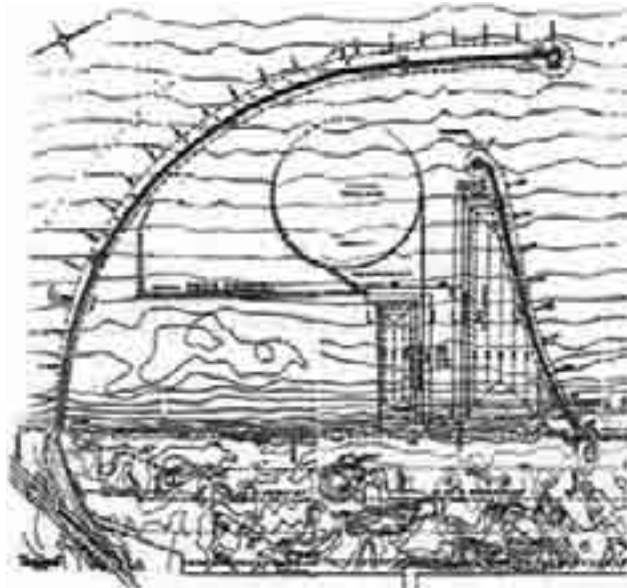
Gambar 3.18 Dermaga tipe pier pada pelabuhan Callao Peru

Pelabuhan Ashdod

Pelabuhan ini berlokasi di laut mediteranean di pantai Israel, kira-kira 20 mil di selatan Tel Aviv. Pembangunan pelabuhan ini dimulai pada tahun 1961 dan diselesaikan pada tahun 1966. Gambar 3.19 memperlihatkan pelabuhan yang baru selesai dibangun beserta fasilitas-fasilitasnya seperti dermaga dan gudang. Perencanaan awal pelabuhan tersebut diperlihatkan pada Gambar 3.20, yang meliputi pembangunan dermaga tipe warf untuk melayani bongkar muat barang-barang potongan (general cargo) sepanjang 2100 ft.



Gambar 3.19 Pelabuhan Ashdodo Israel

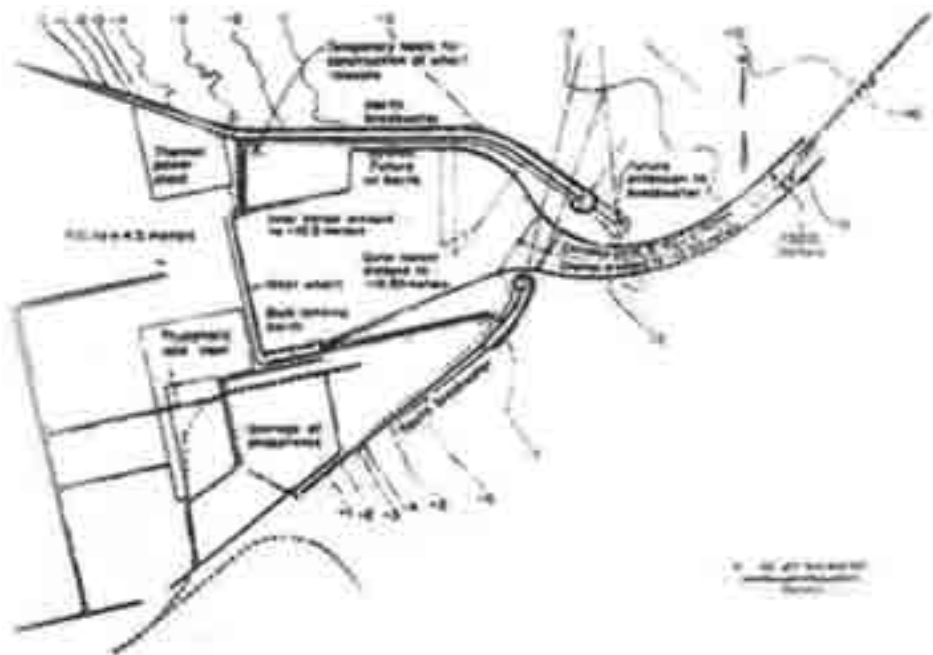


Gambar 3.20 Tata letak Pelabuhan Ashdodo Israel

Pelabuhan Ashdod adalah merupakan pelabuhan buatan karena dilengkapi fasilitas penangkis gelombang untuk melindungi pelabuhan dari gelombang yang cukup besar dari laut medditerranean.. Penangkis gelombang panjangnya lebih dari 7000 ft yang melengkung menutup pelabuhan tersebut dan merupakan penangkis gelombang yang terpanjang didunia. Konstruksi penangkis gelombang tersebut adalah tipe miring yang merupakan timbunan batu dan dilapisi oleh beton tetrapod adalah 10 meter kubik atau berat kira-kira 27 ton.

Pelabuhan Gabes, Tunisia

Pelabuhan ini mulai dibangun pada tahun 1967 dan selesai dibangun pada tahun 1972. Pelabuhan ini juga terletak dilaut Medditeranean, berdekatan dengan kota Gabes yang merupakan bagian selatan daerah Tunisia. Gambar 3.21 memperlihatkan tata letak pelabuhan Gabes, Tunisia.



Gambar 3.21 Tata Letak pelabuhan Gabe, Tunisia.

Pelabuhan Hamburg, Jerman Barat

Pelabuhan ini berlokasi pada pertemuan sungai Elbe, kira-kira 76 mil dari laut utara . Tata letak pelabuhan ini diperlihatkan pada gambar 3.32. Seperti diperlihatkan pada gambar, karakteristik pelabuhan ini tidak

menggunakan dermaga tipe fier. Basin pelabuhan digunakan alur sungai utama yang sudah ada sedangkan untuk kapal-kapal yang besar demi untuk keamanannya biasanya menggunakan basin terbuka dengan dibantu oleh dolphin agar bongkar muat barang-barang dapat berjalan dengan aman dan lancar anatar satu kapal dengan kapal yang lainnya.

Pelabuhan ini dilengkapi dengan fasilitas-fasilitas peralatan yang digunakan untuk bongkar muat semua komoditi yang dipasarkan didunia dan juga untuk semua tipe barang

Pelabuhan Sydney

Lokasi pelabuhan ini pada pantai selatan Australia, Pelabuhan ini melayani New South Wales dan daerah sekitarnya dan hinter land meliputi hamper 309.000 meter persegi . Pelabuhan Sydney dapat dilihat pada gambar 3.23. Pelabuhan ini merupakan pangkalan utama bagi kapal-kapal angkatan laut Inggris dan Amerika semasa perang dunia ke 2 dan masih berlanjut sampai saat ini

Disamping itu pelabuhan ini selalu dikunjungi kapal-kapal besar yang salah satunya yang terkenal adalah kapal pesiar queen Mary dan Queen Elizabeth

Pelabuhan ini dilengkapi pula dengan fasilitas-fasilitas seperti dermaga dan fasilitas-fasilitas lainnya.



Gambar 3.22 Pelabuhan Hamburg, Jerman Barat.



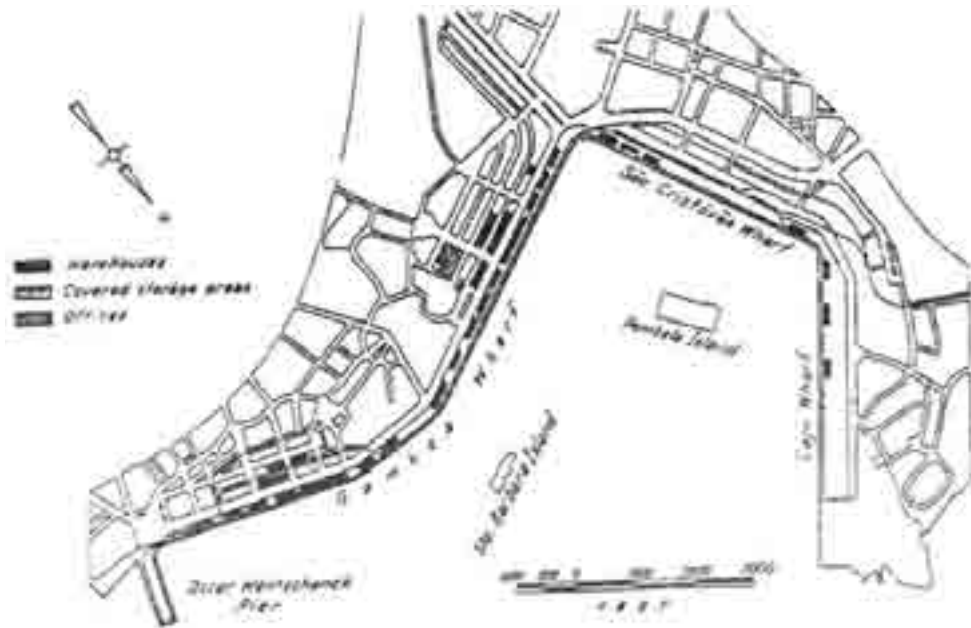
Gambar 3.23 Pelabuhan Sydney Australia.

Pelabuhan Rio DE Janaero, Brasil

Pelabuhan ini adalah merupakan pelabuhan alam yang berlokasi di teluk Guanabara, Brasil yang mempunyai panjang kira-kira 15 nautical mil dan lebar 10 mil . Terdapat sederetan semenanjung dan pulau-pulau dengan elevasi yang cukup tinggi menyebabkan terlindungnya pelabuhan dari alam seperti gelombang dan arus.

Pelabuhan ini melayani tidak saja koata Rio De Janeiro, tetapi melayani seluruh daerah Brasil . Lalu lintas kapal-kapal yang keluar masuk pelabuhan ini sangat padat terhitung 100 kapal-kapal bisa tertambat setiap waktu.

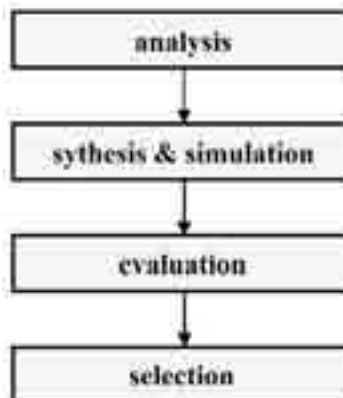
Fasilitas dermaga tipe wharf dengan panjang hamper 11.000 ft dandengan kedalaman kolam 26 sampai 33 ft menyebabkan pelabuhan ini termasuk salah satu pelabuhan besar dunia . Konstruksi dermaga dibuat dengan konstruksi tertutup dengan menggunakan kaiston baja dan cofferdam . Dalam tahun 1949 satu-satunya dermaga tipe pier dibangun untuk melayani penumpang-penumpang internasional. Tata letak pelabuhan Rio De Janiero dapat dilihat pada Gambar 3.34 berikut :



Gambar 3.34 Tataletak Pelabuhan Rio DE Janeiro, Brasil.

3.5 Proses perencanaan

Masing-masing jenis yang dijelaskan di atas bahwa perencanaan memiliki karakter tertentu sendiri, tetapi langkah-langkah utama dari “siklus perancangan” dapat dikenali seperti ditunjukkan pada Gambar 3.35:



Gambar 3.35 Langkah-langkah rancangan awal

Kadang-kadang siklus ini sebagian diulang, baik itu dengan meningkatkan tingkat akurasi. Ini adalah kasus dalam perencanaan induk, ketika seseorang mulai dengan generasi kasar lay-out konsep (sering didasarkan pada data situs perkiraan) dan memilih 2 sampai 3 alternatif yang menjanjikan. Ini kemudian bekerja di lebih detail, dengan menggunakan data ditingkatkan, setelah evaluasi dan seleksi mengikuti lagi. Ini ditunjukkan pada Gambar 3.36, ketika dijelaskan langkah-langkah berturut-turut diambil dalam proses masterplan. Skema ini merupakan pedoman yang sangat berguna untuk setiap proyek perencanaan pelabuhan.

Hal ini penting untuk menjaga keseimbangan antara keakuratan data input dan tingkat detail desain. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.36, generasi pertama dari alternatif dilakukan atas dasar data yang tersedia pada gelombang, arus, batimetri, tanah, dll Sering kali ini tidak secara langsung dikumpulkan di lokasi tertentu, tetapi alam yang lebih umum. Survei dapat dimulai, tetapi hasilnya belum tersedia. Oleh karena itu alternatif lay-out pada tahap ini tidak lebih dari gambar konseptual, sketsa, berdasarkan aturan desain sederhana. Tidak perlu untuk bekerja keluar rincian, asalkan dimensi pokok saluran pendekatan, memutar lingkaran, dermaga dan terminal benar tercermin dalam berbagai alternatif. Biaya penilaian (karena biaya merupakan kriteria seleksi penting dalam semua tahapan) masih sangat kasar, membandingkan elemen biaya utama (breakwater, pengerukan, dermaga). Setelah seleksi pertama input data yang lebih baik datang tersedia dan alternatif yang menjanjikan diuraikan. Desain awal memerlukan penggunaan standar desain yang berlaku, baik nasional maupun internasional. Perkiraan biaya akurasi biasanya harus sekitar 30%.

Ketika alternatif yang dipilih telah dioptimalkan berdasarkan investigasi situs rinci dan hidrolis, bahari dan logistik analisis (Model, simulasi), perkiraan biaya rinci dapat dibuat mengarah ke akurasi keseluruhan $\pm 20\%$. Pada tingkat akurasi analisis ekonomi dapat dibuat. Catatan: ketika proyek bergerak ke dalam desain dan konstruksi persiapan yang sebenarnya elemen struktur dirancang dan perkiraan biaya akan dibawa ke akurasi $\pm 10\%$. Ini akan menjadi jelas bahwa proses perencanaan melibatkan berbagai disiplin ilmu yang berbeda, dan kerja sama tim yang sangat penting. Port perencana harus memiliki pengetahuan yang cukup dari berbagai bidang spesialis untuk dapat mengarahkan tim, untuk mengintegrasikan hasil dan mempertahankan balanee disebutkan sebelumnya. Beberapa disiplin dan specialisms adalah:

Teknis

- Oseanografi (iklim gelombang dll)
- Teknik pantai (morfologi, pemecah gelombang)
- Hidrolik (pasang surut dan arus)
- Hydro-nautics (alur masuk pelabuhan/saluran pendekatan, desain nautik)
- struktur Kelautan (dermaga)
- Pengerukan (penggalan dan reklamasi lahan)
- Geologi, Geoteknologi dan rekayasa seismik (pondasi, stabilitas struktur)
- teknologi Transportasi (peralatan)
- operasi Terminal (logistik)
- rekayasa Lalu Lintas (koneksi jalan dan rel)
- rekayasa Keselamatan (konsekuensi dari kargo berbahaya bagi rencana tata ruang)

ekonomi

- Makro-ekonomi dan ekonomi transportasi (perkiraan kargo)
- ekonometrik (analisis ekonomi dan keuangan)
- Commerce (pembiayaan, pemasaran)

Sosial / Lingkungan

- Penataan ruang
- Dampak lingkungan (udara, air-, kebisingan-, analisis polusi tanah)
- Saran Hukum (persyaratan perencanaan nasional dan daerah, izin)

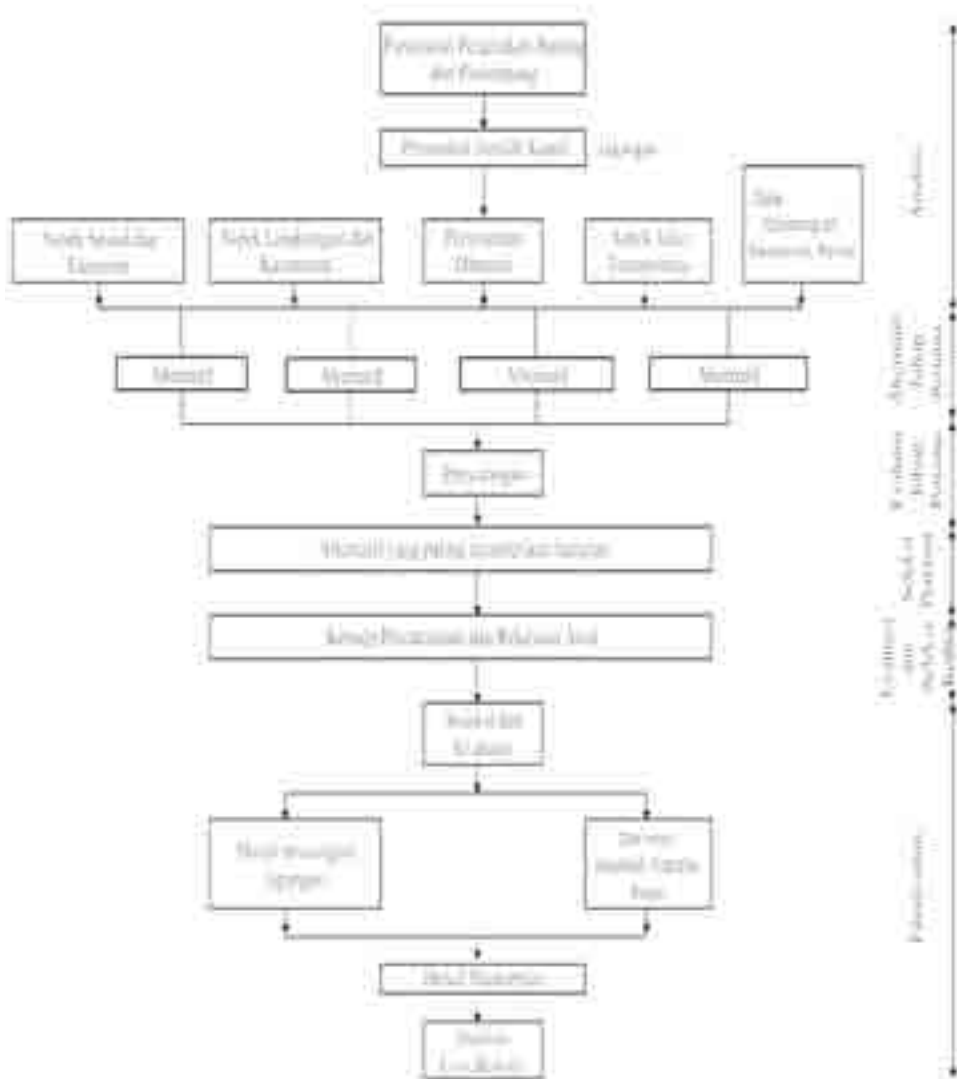
Dampak lingkungan (AMDAL) merupakan bagian integral dari setiap rencana induk pelabuhan. Hal ini dilakukan secara paralel dengan proses teknis / ekonomi yang ditunjukkan pada Gambar 3.36. Di sebagian besar negara di dunia hukum mengharuskan laporan EIA, disetujui oleh otoritas pemerintah, sebelum proyek itu sendiri dapat disetujui. Karena aspek lingkungan telah menjadi begitu penting, mereka dirawat di catatan kuliah yang terpisah (Vellinga, 2004).

Pada bagian berikut beberapa langkah dalam proses perencanaan akan dijabarkan lebih lanjut, khususnya non-teknis, karena ini tidak diperlakukan dalam bab-bab selanjutnya.

3.6. Perencanaan

3.6.1 Perkiraan Kargo

Proses peramalan dimulai dengan definisi pedalaman port dan pengelompokan arus kargo sesuai dengan karakterisasi ekonomi dan transportasi menjadi kelompok-kelompok komoditas. Semakin rinci pengelompokan ini, yang lebih akurat perkiraan akan. Kemudian langkah-langkah berikut akan diambil:



Gambar 3.36 Proses masterplan
 Sumber: diolah dari (H.Ligteringen and H. Velsink 2012)

- (i) Penilaian pembangunan ekonomi dan industri dari pedalaman, sering untuk skenario yang berbeda: tinggi, sedang dan pertumbuhan yang rendah.
- (ii) Terjemahan dari hasil (i) menjadi arus perdagangan, baik kargo masuk dan keluar. Hal ini dilakukan untuk jenis homogen kargo seperti curah cair dan kering, dan untuk kargo umum. Mantan kategori berasal dari perbedaan produksi dan konsumsi dalam pedalaman, yang terakhir ini diekstrapolasi atas dasar parameter ekonomi, seperti pertumbuhan Produk Domestik Bruto, (PDB).
- (iii) pergeseran Potensi arus kargo diselidiki, disebabkan oleh pengaruh sering geopolitik eksternal. Hal ini dapat memberikan penyesuaian perdagangan mengalir bertekad sub (ii).
- (iv) Selanjutnya volume kargo yang diperkirakan yang akan diangkut melalui laut dan penilaian terbuat dari jenis pengiriman dan ukuran kapal.
- (v) Langkah berikutnya adalah untuk menganalisis pilihan routing yang berbeda yang ada untuk semua komoditas dan semua kombinasi asal dan tujuan. Berikut isu beberapa pelabuhan yang melayani daerah pedalaman yang sama, sehingga kompetisi, memainkan peran penting.

Ini akan menjadi jelas bahwa analisis ini membutuhkan keahlian dan komputer model spesialis, Untuk perluasan port yang ada ekstrapolasi arus kargo yang sebenarnya sering dibuat sebagai penilaian pertama. Harus disadari bahwa ini adalah sangat kasar, terutama ketika periode 20-25 tahun dianggap. Dalam transportasi wadah untuk pengembangan pelabuhan misalnya sangat cepat dan jalur pelayaran cenderung bergeser volume besar dari satu port ke yang lain. Di pasar seperti analisis yang komprehensif sangat diperlukan. Sisanya tidak dapat diandalkan masih neceitates fleksibilitas dalam masterplan tersebut, seperti yang disebutkan dalam Bagian 3.36.

3.6.2 Syarat Fungsional dan Elemen Perencanaan

Sebuah dokumen yang berguna, terutama untuk pelabuhan di negara-negara berkembang, adalah 'Handbook untuk perencana' (UNCTAD, 1985). Berdasarkan prakiraan kargo dan asal / tujuan matriks jumlah dan ukuran kapal dapat ditentukan, sering dengan mempertimbangkan armada yang ada. Dalam beberapa kasus perkembangan masa depan dari ukuran kapal harus diasumsikan (seperti tren sekarang menuju kapal kontainer besar)

dan kadang-kadang fasilitas pelabuhan dibangun untuk kapal tertentu, misalnya dedicated layanan transportasi LNG antara Brunei dan Jepang. Setelah komposisi armada diharapkan diketahui persyaratan fungsional untuk port dapat dirumuskan, dalam hal ukuran kapal per jenis kargo, kapal desain, jumlah per tahun, volume transportasi ke dan dari pedalaman, jasa pelabuhan, dll Dimensi utama port area basah dan kering ditentukan dengan menggunakan formula desain, yang akan dirawat di bab-bab berikutnya. Dengan cara ini persyaratan fungsional dijabarkan ke dalam unsur perencanaan:

- Dimensi saluran pendekatan, memutar lingkaran dan daerah air lainnya di pelabuhan
- Dimensi dermaga untuk berbagai jenis kargo
- Dimensi daerah terminal
- koneksi Hinterland
- Jumlah kapal tunda, dll dan dimensi kerajinan pelabuhan kecil
- daerah layanan, bangunan
- Tanah yang diperlukan untuk industri
- Keselamatan dan lingkungan persyaratan, termasuk jarak aman untuk penanganan kargo berbahaya

3.6.3 Teknik Evaluasi

Seperti disebutkan sebelumnya evaluasi lay-out alternatif berlangsung pada berbagai tahap proses perencanaan: screening pertama sketsa kasar lay-out, diikuti oleh evaluasi alternatif yang paling menjanjikan, dan akhirnya analisis kelayakan ekonomi dan keuangan yang dipilih rencana induk lay-out. Teknik-teknik evaluasi menjadi lebih rumit dalam tahap berikutnya. Masalah mendasar adalah bahwa kriteria untuk evaluasi sangat berbeda di alam dan pentingnya, bervariasi dari keamanan laut untuk gangguan kebisingan. Ada kriteria kuantitatif dan kualitatif yang harus dikurangi untuk common denominator untuk tujuan evaluasi.

Screening pertama tetap sering kualitatif, tapi pilihan tata letak rencana induk memerlukan prosedur formal yang harus transparan dan (sejauh mungkin) tujuan.

Dua teknik yang disebutkan di sini:

- evaluasi numerik
- evaluasi Moneter

(i) Evaluasi numerik

Jenis yang paling umum dari evaluasi numerik adalah analisis multi kriteria (MCA). Prinsipnya adalah bahwa obyek dievaluasi sehubungan dengan sejumlah kriteria, yang mungkin berbeda dalam pentingnya. Perbedaan tersebut dinyatakan dengan memberikan “bobot” dengan kriteria, dimana tanda evaluasi dikalikan.

Kerangka dapat dibuat dari primer, sekunder dan tersier kriteria, yang masing-masing diberi bobot tersendiri. Kriteria utama dapat diatur oleh panel, yang mewakili semua disiplin ilmu yang terlibat, menggunakan proses berulang. Kriteria sekunder dan tersier yang sub-divisi dari yang utama, dapat diatur oleh perwakilan dari berbagai disiplin ilmu yang bersangkutan. Dalam MCA semua solusi alternatif diberikan skor untuk semua kriteria. Perbanyakkan skor dengan berat dan penambahan akhirnya menghasilkan nilai kuantitatif akhir. Di satu sisi, metode MCA memiliki kelemahan dari subjektivitas masih agak besar dalam menetapkan bobot. Di sisi lain, seluruh perhitungan dapat dengan mudah diulang dengan bobot yang berbeda, dan sensitivitas hasil untuk ini ditentukan.

Dalam de “biaya” masa lalu adalah salah satu kriteria, yang diperlakukan seperti semua lainnya. Saat ini pendekatan yang berbeda diikuti, dimana semua kriteria non-biaya terkait diperlakukan sebagai “nilai” (lihat juga Tabel 3.1) dan biaya modal dan pemeliharaan disimpulkan sebagai biaya. Perbandingan dan pemilihan alternatif ini kemudian dibuat atas dasar nilai tertinggi selama rasio biaya. Keuntungan jika metode ini adalah jelas: biaya sedikit lebih tinggi dapat dibenarkan, jika nilai alternatif yang lebih baik. Dalam contoh di atas berat kriteria utama adalah jumlah bobot dari kriteria sekunder yang sesuai, yang pada gilirannya menyimpulkan dari yang tersier. Ini tidak perlu namun.

(ii) Evaluasi Moneter

Dalam jenis evaluasi semua kriteria dari berbagai proyek alternatif disajikan dalam bentuk uang. Keuntungannya adalah bahwa penandaan kurang subjektif daripada dengan sistem numerik, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Table 3.1 Contoh Skore Analisis Multi Kriteria

Primary criteria	weight	Secondary criteria	weight	Tertiary criteria	Weight
Port technology	22	Nautical and hydr	10	Approach route	1
				Stopping length	3
		Flexibility	5	Manoeuvring space	1
				Nautical safety	2
Spatial planning	5	Construction aspects	7	Wave penetration	3
				Extension poss	2
		Flexibility	5	Re-allocation berths	3
Env. aspects	8	Flexibility	2	Building time	4
				Phasing poss.	
		Aquatic env C o a s t a l morphology Noise dust	2	etc	

Memberikan bobot untuk faktor “biaya” tidak lagi dalam pembahasan. Kelemahannya adalah bahwa, secara umum, jauh lebih memakan waktu dan jauh lebih sulit, sebagian karena kebutuhan untuk mengekspresikan perbedaan kuantitatif dalam uang melalui analisis risiko (misalnya, perbedaan keselamatan saluran pendekatan).

Sebuah reformulasi kriteria evaluasi diperlukan, misalnya:

- keselamatan Nautical: risiko tabrakan / berlarian konsekuensi bagi kapal dan, mungkin, untuk lingkungan lokal / dihasilkan biaya (itu perlu, misalnya, untuk mengetahui atau untuk memperkirakan berapa persen dari tabrakan / terdampar akan menghasilkan menusuk dari satu atau lebih kargo memegang).
- Keamanan penanganan kargo & penyimpanan dan industri sehubungan dengan risiko untuk instalasi itu sendiri dan lingkungan setempat.
- Biaya operasional: bagian dari biaya akan menjadi sekitar sama bagi semua alternatif (misalnya, manajemen pelabuhan). Perbedaan muncul dari mis keterbatasan aksesibilitas pelabuhan sebagai akibat dari pasang surut, angin, gelombang, visibilitas, serta waktu yang hilang di tempat berlabuh karena gerakan kapal karena gelombang dan angin.

- Perencanaan tata ruang: biaya tambahan yang harus dilakukan di wilayah tersebut sebagai akibat langsung dari pengembangan pelabuhan untuk memasukkannya ke dalam perencanaan fisik, mungkin biaya pengganti hipotetis untuk fasilitas khusus yang akan hilang ('shadow harga').
- Ruang dan fleksibilitas: kemungkinan bahwa hal itu tidak akan mungkin untuk mewujudkan perkembangan yang diperlukan tertentu pelabuhan dalam jangka waktu tertentu. Biaya yang dihasilkan dari memiliki mereka menyadari tempat lain.
- Bangunan dan biaya pemeliharaan pelabuhan.
- Dll

Biaya proyek alternatif harus dibandingkan secara tahunan:

- Biaya modal dan pemeliharaan tahunan
- biaya operasional tahunan
- probabilitas, secara tahunan, dari bencana tertentu dan konsekuensi keuangan mereka
- dll

Biaya harus didiskontokan, yaitu nilai masa kini ditentukan:

$$C_c = \sum_{t=1}^{T-1} \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (3.1)$$

dimana:

- i adalah tingkat diskonto (bunga biasanya benar, itu adalah bunga aktual dikurangi komponen inflasi)
- C_t adalah biaya tahunan dalam tahun t
- C_c adalah nilai hari ini

3.6.4 Optimasi Proyek

Setelah evaluasi alternatif lokasi dan lay-out dan pemilihan yang paling cocok, optimasi proyek dapat berlangsung. Ini berarti, antara lain, penentuan dan keputusan akhir tentang bentuk-bentuk pokok dan dimensi pelabuhan: akses, pintu masuk, ruang manuver primer, jumlah titik layanan (tempat berlabuh atau panjang dermaga), daerah terminal, dll alat dan latihan digunakan meliputi perhitungan, studi model hidrolis, studi navigasi simulator, model simulasi operasi, dengan sebagai target akhir minimalisasi biaya. Alat-alat yang dijelaskan secara singkat di sini, tapi diperlakukan secara rinci dalam Bab 5 dan di catatan kuliah di Layanan Sistem (Groeneveld, 2005).

(i) *Studi model hidrolis, fisik atau matematika*

Breakwater keselarasan dan penetrasi gelombang, pola arus, transpor sedimen, endapan dan erosi, stabilitas breakwater dan, mungkin, analisis gerak kapal.

(ii) *Studi simulasi Navigasi*

Adaptasi lay-out dari pelabuhan dan pendekatan untuk mengoptimalkan keamanan laut. Berbagai sistem yang ada, dari model komputer cepat-waktu yang lengkap, termasuk navigator diprogram (cepat, murah, tetapi dengan kemungkinan terbatas) untuk skala penuh simulator jembatan real time (dengan navigator manusia, jembatan kapal, gambar luar, tampilan radar, dll)

Secara umum, studi navigasi simulator lebih cocok untuk studi tentang aspek laut dari tes model hidrolis karena mereka memberikan reproduksi yang lebih baik dari efek kemudi. Ini biasanya memainkan peran yang lebih besar daripada efek dari lingkungan fisik lokal, sebagai dasar laut dan perubahan channel (yang pada gilirannya mereka dapat lebih setia direproduksi dalam model fisik). Dalam kebanyakan kasus, baik kedatangan dan keberangkatan manuver harus diselidiki. Manuver keberangkatan terutama untuk memverifikasi jika ada kontrol kemudi cukup meninggalkan tempat penampungan pelabuhan dalam kondisi saat ini, angin dan gelombang yang lebih parah.

Dalam semua kasus, simulator cukup berjalan harus dilakukan untuk memperoleh gambaran statistik terpercaya penyimpangan dari sumbu saluran dan menghentikan sikap di benar-benar digunakan.

Objek utama adalah verifikasi dan optimalisasi bentuk dan dimensi pelabuhan sehubungan dengan saluran pendekatan, pintu masuk dan area manuver dengan cara analisis risiko. Juga untuk belajar misalnya kemungkinan pengurangan lebar saluran sebagai akibat dari pengenalan alat bantu canggih untuk navigasi dan / atau sistem VTS.

(iii) *Perhitungan*

Misalnya berkenaan dengan kedalaman optimum pendekatan pelabuhan, dengan mempertimbangkan 'jendela pasang' untuk kapal ukuran maksimum, iklim gelombang dan respon kapal, dan kemungkinan diterima tertentu menyentuh saluran bawah.

(iv) *Model simulasi Logistik*

Studi efek di kapal menunggu waktu perubahan untuk, antara lain:

- jumlah tempat berlabuh atau panjang dermaga di pelabuhan

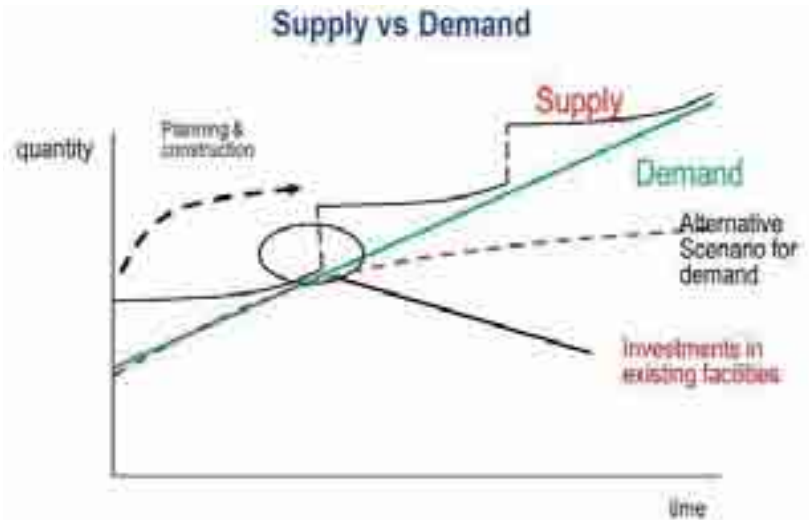
- jendela pasang vertical
 - jendela pasang horisontal
 - lalu lintas satu / dua arah
 - berbagai layanan: kapal tunda, pemanduan, dan lain lain
 - aturan prioritas, prosedur keselamatan
- (v) Pengembangan Infrastruktur Pelabuhan (Kuliah lapangan Teknik Sipil UNUD di Pelabuhan Tanjung Periuk (10-5-2011).
Demand/besaran permintaan akan pelayanan jasa pelabuhan, secara garis besar ada 2 (dua) yaitu:
- a. Barang (kargo
 - b. Kapal

Supply jenis/besaran akan kebutuhan/kapasitas infrastruktur/fasilitas pelabuhan untuk mengantisipasi permintaan/deman. Fasilitas-fasilitas pelabuhan meliputi:

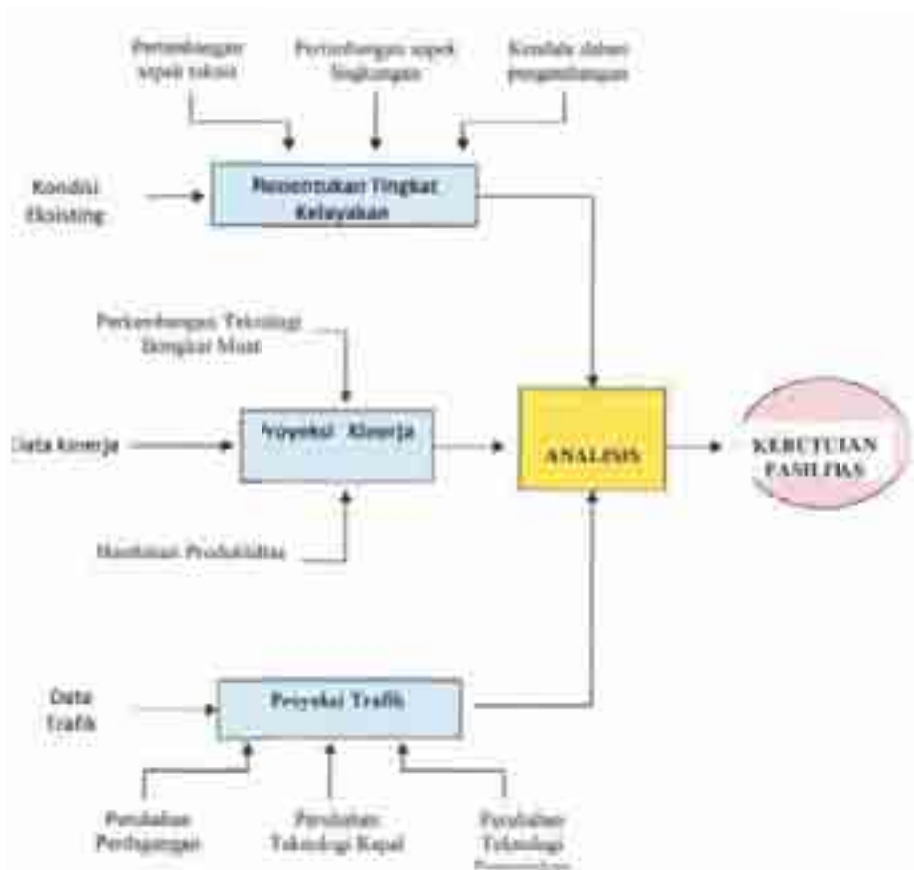
- a. Alur & kolam
- b. Dermaga
- c. Gudang
- d. Lapangan penumpukan
- e. Jalan lingkungan
- f. Gate
- g. Peralatan bongkar/muat
- h. Tug boat
- i. Dan sebagainya

Supply vs Demand dapat digambarkan seperti Gambar 3.37 selanjutnya dilakukan analisis kebutuhan fasilitas pelabuhan seperti Gambar 3.38

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan data yang diperlukan untuk sampai pada minimalisasi biaya pelabuhan keseluruhan per ton kargo.



Gambar 3.37 Supply vs Demand



Gambar 3.38 Analisis Kebutuhan fasilitas pelabuhan

Analisis ekonomi dan keuangan

Analisis Ekonomi dan analisis kelayakan finansial dari proyek (pelabuhan) merupakan elemen penting dalam proses pengambilan keputusan, baik dalam lingkup masterplan, atau bagi seorang individu (jangka menengah) proyek. Dalam penyusunan proyek, yang pembiayaan eksternal dicari (dari Pembiayaan Internasional Institutes seperti Bank Dunia, Bank Pembangunan Asia dll dan / atau dari bank-bank komersial) analisis ini adalah prasyarat. Tetapi juga untuk proyek-proyek yang didanai oleh pemerintah atau otoritas pelabuhan harus cek diperlukan untuk menghindari investasi publik yang buruk.

Analisis ekonomi bertujuan untuk menentukan Benefit / rasio Biaya atau Internal Rate of Return Ekonomi (IRR) proyek, baik yang indikator laba atas investasi dalam hal ekonomi. Analisis keuangan dilakukan untuk menyelidiki pendapatan dan arus kas dari proyek sepanjang periode yang telah ditentukan (sering 25-30 tahun), dengan mempertimbangkan pentahapan direncanakan pembangunan. Kadang-kadang analisis ekonomi dibuat untuk beberapa alternatif dalam tahap evaluasi, selain atau sebagai pengganti MCA atau metode evaluasi moneter. Dalam kebanyakan kasus namun analisis ekonomi dan keuangan yang dibuat untuk alternatif yang dipilih saja dan menyebabkan optimasi tersebut. Hal ini terjadi bahwa proyek, setelah melewati berbagai tahap perbaikan teknis dan laut, yang ditemukan memiliki tingkat memadai atau bahkan negatif pengembalian investasi, dalam hal biaya yang drastis (dan lingkup) pengurangan harus ditemukan. Hal ini sering sulit dan itu jauh lebih baik untuk membuat analisis ekonomi awal pada tahap awal dari proyek untuk menghindari kejutan tersebut.

Analisis ekonomi dan keuangan yang bekerja spesialis yang harus dilakukan oleh ekonometrik. Prinsip-prinsip dasar namun diuraikan di bawah.

(i) Analisis Ekonomi

Banyak model yang bisa digunakan untuk menghitung dampak ekonomi terhadap perekonomian daerah akibat dibangunnya pelabuhan yang sementara ini terdapat empat metode yang biasanya digunakan untuk mengevaluasi dampak ekonomi yaitu: *metode inventory/budget; model pengganda (multiplier model); analisis economic base; dan analisis benefit-cost*. Dalam literatur yang ada pada evaluasi dampak ekonomi, model *multiflier* cenderung paling dominan untuk evaluasi. Ada tiga versi yang paling umum digunakan dari model multiplier yaitu: komputasi keseimbangan umum, input-output, dan model Keynesian

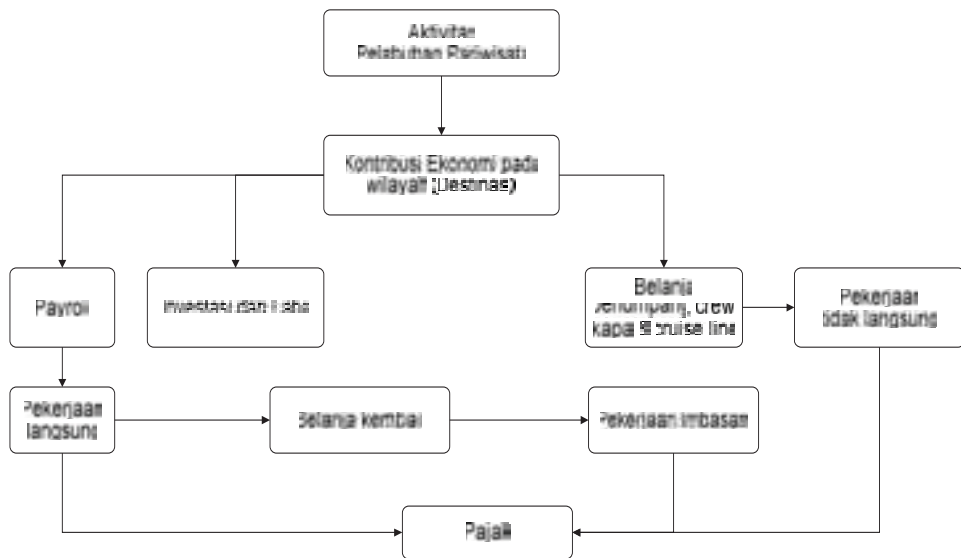
(WTO, 1999; Archer, 1976; Baaijens, Injkamp & Van Monfort, 1997). Dalam penelitian ini menggunakan analisis input-output. Analisis input-output menggunakan matrik untuk menentukan seberapa banyak konsumsi (*demand*) dan seberapa banyak *output* yang akan digunakan dalam aktivitas produksi untuk mendapatkan sebuah *output final* (Baumol 1977). Model input-output dapat digunakan untuk *mengestimate* jumlah pendapatan, tenaga kerja, dan produksi yang dikehendaki oleh permintaan pariwisata. Disamping itu model input-output dapat *mengestimate* pengganda (*multifliers*).

Contoh Mengukur Dampak Lokasi Pelabuhan Pariwisata terhadap Wilayah Ekonomi (Nyoman Budiarta R.M. 2011) Kontribusi kunjungan kapal pesiar terhadap pendapatan wilayah atau *regional* Bali dianalisis menggunakan metode kuantitatif Deskriptif. Untuk itu terlebih dahulu dihitung secara kuantitatif kontribusi industri kapal pesiar (*cruise*) pada setiap sektor yang mendukung langsung kepariwisataan, setelah itu baru pendapatan sektor-sektor tersebut dalam bentuk nilai tambah *bruto* dijumlahkan menjadi pendapatan pada sektor pariwisata. Sektor-sektor pariwisata di dalam aktivitasnya menghasilkan pendapatan yang diperoleh dari penjualan barang dan jasa yang diproduksi untuk industri kapal pesiar. Sedangkan dalam aktivitas produksinya, sektor-sektor ini memperoleh input yang berasal dari output sektor-sektor ekonomi lainnya.

Tujuan utama dari studi ini adalah untuk menentukan lokasi pelabuhan yang dapat membangkitkan pertumbuhan dan menghasilkan dampak ekonomi yang optimal pada destinasi atau pada daerah tujuan wisata (DTW/Destinas). Salah satu model yang paling sesuai untuk studi ini adalah model input-output yang merupakan model pendekatan multisektor yang dikembangkan oleh Leontief di tahun 1950-an. Karena model ini dapat digunakan untuk memprediksi hubungan diantara berbagai sektor, seperti sektor pariwisata *cruise* terhadap sektor-sektor lainnya yang berpengaruh. serta dapat mengukur dampak langsung, tidak langsung dan terimbas setiap sektor dan juga mampu menelusuri saling keterkaitan antarsektor.

Istilah dampak ekonomi dalam studi ini mengacu pada perubahan aktivitas ekonomi di wilayah yang terkait dengan kegiatan *cruise* di daerah Bali. Analisis dilakukan dengan mengukur dampak ekonomi dalam hal 'nilai tambah', upah yang dibayar, menciptakan lapangan kerja, dan pendapatan pajak yang dikumpulkan dalam kabupaten dan daerah sekitarnya. Ukuran dampak adalah yang terkait dengan

keberadaan dan kegiatan industri cruise di Pelabuhan Bali. Berikut bagan alir kontribusi ekonomi wisatawan *cruise* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.39



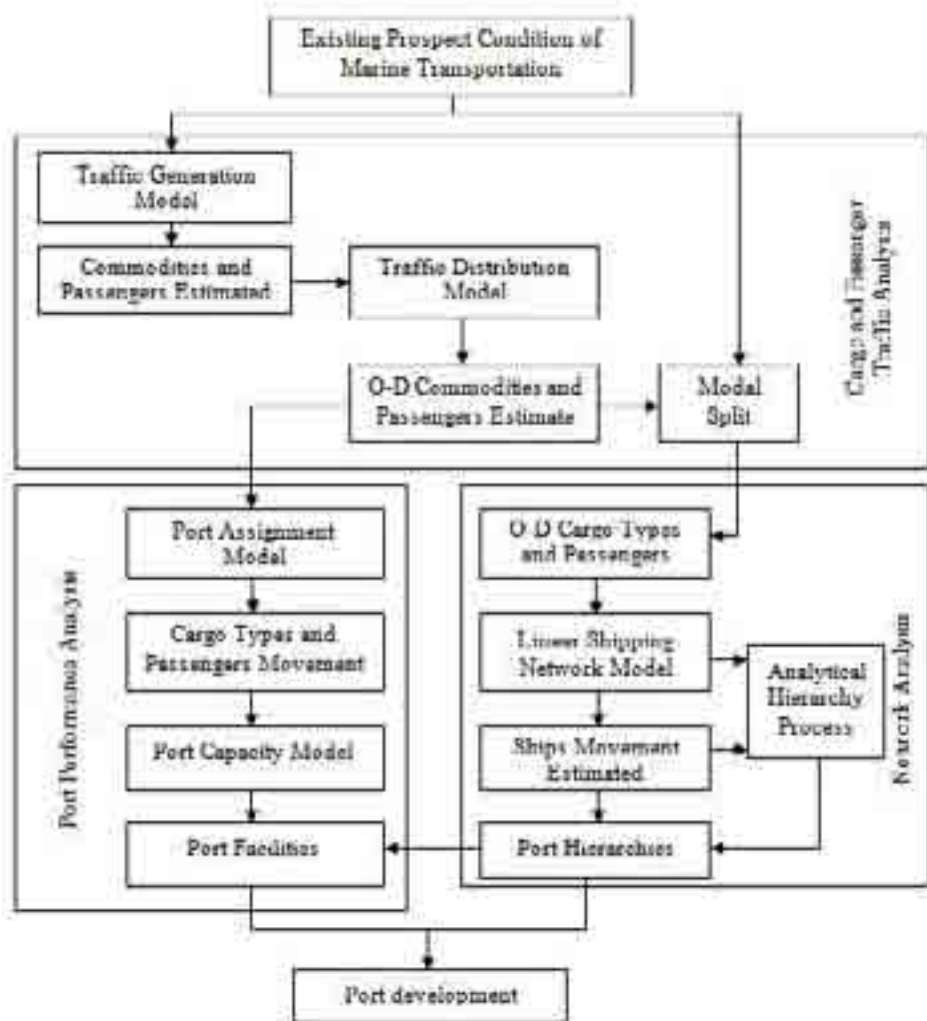
Gambar 3.39 Bagan alir Kontribusi Ekonomi Wisatawan Cruise

Sumber: (Nyoman Budiarta R.M. 2011)

Conceptual Modeling of Port Development in Eastern Indonesia (M.Yamin Jinca 2013) Tujuan dari model konseptual ini adalah untuk menciptakan model pembangunan pelabuhan dan perencanaan yang terdiri (i) traffic generation; (ii) traffic distribution; (iii) port assignment; (iv) shipping network model; (v) port hierarchy, dan (vi) port capacity requirement. Tujuan lainnya adalah untuk merumuskan pengembangan dan Konsep desain pelabuhan di Indonesia timur agar dapat mendorong pertumbuhan ekonomi Indonesia, terutama di Indonesia timur. Konsep ini diharapkan memberikan manfaat terutama untuk perencana pelabuhan dan pengambil keputusan di bidang pembangunan dan kebijakan pelabuhan.

Konsep pengembangan dan desain pelabuhan terdiri dari kargo dan lalu lintas, kinerja pelabuhan dan jaringan pengiriman. Konsep desain dapat dibangun dan program dari beberapa model matematika lalu lintas generasi dan distribusi, split modal, tugas pelabuhan, kapal jaringan pengiriman, proses hirarki analitis dan model simulasi seperti yang ditunjukkan sebagai sosok 3 model dasar untuk pengembangan pelabuhan. Hirarki pelabuhan termasuk jenis terminal, dermaga, penyimpanan, dan peralatan untuk penanganan

dapat ditugaskan oleh model hirarki pelabuhan. Selanjutnya, tahapan perencanaan pembangunan pelabuhan berdasarkan output dari Model kapasitas pelabuhan. Aktivitas sebelumnya dari konsep ini adalah mengumpulkan prospek yang ada dan masa depan. Tahap pertama adalah mengembangkan model generasi lalu lintas yang akan menghasilkan komoditas dan perkiraan penumpang. Kedua Tahap mengembangkan model distribusi lalu lintas untuk mendapatkan tujuan asal komoditas dan penumpang diperkirakan. Kemudian tahap ketiga adalah menggunakan modal split untuk memisahkan jenis kargo.



Gambar 3.40 Konsep model pengembangan pelabuhan

Sumber: (M.Yamin Jinca 2013)

Semua manfaat ekonomi dan biaya proyek ditentukan, yang berarti bahwa ini dinyatakan dalam nilai moneter, dikonversi ke satu tahun referensi (sering tahun di mana analisis dibuat). Asumsi terbuat dari tingkat inflasi di tahun-tahun kemudian dan manfaat dan biaya dibuat setelah tahun referensi dikonversi untuk inflasi ini.

Manfaat proyek pelabuhan dapat terdiri sewa tanah, biaya sewa untuk terminal, pendapatan dari pilot-, tug- dan pemotongan biaya. Sebuah manfaat yang sangat penting adalah spin-off bagi perekonomian nasional, yang seringkali sulit untuk memastikan namun. Biaya terdiri biaya investasi modal dan biaya operasi / pemeliharaan. Risiko dan keselamatan dapat dipertanggungjawabkan seperti yang dijelaskan dalam Bagian 4.4.5 (ii).

Kembali ekonomi investasi adalah perbedaan manfaat dan biaya. Ketika perbedaan ini didiskon (lihat lagi Bagian 4.4.5 (ii)) dan menyimpulkan selama periode proyek Net Present Value diperoleh (NPV). EIRR sekarang adalah tingkat diskonto, dimana NPV menjadi nol. Sebagai pedoman untuk proyek-proyek di negara-negara berkembang Lembaga Pembiayaan menuntut EIRR yang melebihi tingkat bunga komersial. Proyek-proyek komersial di negara maju sering membutuhkan EIRR 15-20%. Di sisi lain ada (terlalu) banyak proyek pelabuhan umum untuk yang EIRR (jika dihitung sama sekali) gagal memenuhi kriteria IFI.

(ii) *Analisis Finansial*

Akhirnya beberapa kata tentang analisis keuangan. Ini sebenarnya tabulasi pengeluaran (biaya modal, biaya operasi dan pemeliharaan) dan pendapatan per tahun, selama periode di mana proyek dievaluasi. Biaya modal ditunjukkan dalam tahun-tahun mereka dijadwalkan akan dibuat, biaya operasi dan pemeliharaan, dan pendapatan datang ke dalam gambar secepat terminal siap menerima kargo. Hasilnya dapat dinyatakan dalam hal pendapatan atau arus kas. Dalam kasus terakhir biaya modal yang digunakan (seperti dalam analisis ekonomi), dalam kasus mantan ini telah diubah menjadi biaya depresiasi setiap tahun.

3.7. Pengamatan umum

- a. Pentingnya fleksibilitas dan ruang dalam perencanaan pelabuhan sering diremehkan. Perkiraan mengenai jumlah dan jenis lalu lintas barang dan prognosis terkait mengenai

perkembangan pengiriman sering hanya sebagian tercermin dalam perkembangan nyata. Hal ini disebabkan oleh kejadian tak terduga dalam perekonomian dunia, perubahan di bidang produksi atau konsumsi, pergeseran jenis barang - misalnya, dari bahan baku untuk artikel semi-diproduksi -, dll dan, kadang-kadang, adaptasi radikal Reguler dari pelabuhan utama rencana keharusan, karena itu, menjadi mungkin. Karena itu, rencana induk bukanlah dokumen statis, seperti yang disebutkan sebelumnya. Penelitian terbaru di TU Delft-telah menyebabkan metode perencanaan baru, yang disebut Adaptive Pelabuhan Perencanaan (APP), yang mengambil ketidakpastian ini ke rekening (Taneja, 2009).

- b. Perencanaan strategis: banyak port dunia pada apa yang dilakukan pesaing, atau mungkin memiliki beroperasi lebih atau kurang secara komersial dan seharusnya menunjukkan keuntungan pada akhir tahun ini, tetapi mereka juga harus menjaga posisi mereka di lingkungan yang kompetitif, misalnya port di kisaran Hamburg-le Havre.

Untuk port ini perencanaan induk tradisional dan perencanaan strategis berjalan beriringan dengan hanya satu hasil.

Dalam mengantisipasi apa persaingan lakukan, atau mungkin melakukan port dapat memutuskan investasi yang tidak atau belum diperlukan untuk pertimbangan ekonomi yang ketat, tapi mungkin diperlukan untuk mengamankan posisi pelabuhan di masa depan, yang merupakan sisi defensif perencanaan strategis.

Pelabuhan juga dapat merumuskan perspektif untuk peran masa depan mereka dalam transportasi regional yang melampaui pola pertumbuhan berdasarkan prediksi. Agar keinginan ini terwujud, pertama-tama mereka harus diterjemahkan dalam proses perencanaan induk.

- c. Hambatan yang sering dalam perencanaan pelabuhan adalah:
- Data dasar tidak memuaskan: usang, tidak cukup atau tidak dapat diandalkan
 - Terlalu banyak kekakuan dalam ekstrapolasi perkembangan sejarah
 - Kekurangan dalam pendekatan sistem dan metodologi perencanaan
 - Kurangnya wawasan dan pengalaman dari otoritas pelabuhan lokal; kurang memahami waktu dan biaya yang terlibat dalam studi mendalam

- Tidak ada penyesuaian dengan perkembangan pelabuhan regional atau nasional
- Terlalu banyak perhatian ketentuan infrastruktur dan meremehkan pentingnya aspek operasional dan organisasi
- Relatif terlalu banyak aksen pada kegiatan port pada sisi laut dan terlalu sedikit pada sisi darat (lebih bagian yang 'sakit' pada sisi darat dari pada sisi laut, baik di pelabuhan itu sendiri atau di pedalaman yang koneksi)
- Unfamiliarity dengan atau meremehkan tuntutan bahwa penerimaan besar, sulit-untuk-manuver kapal membuat pada infrastruktur pelabuhan, yaitu meremehkan persyaratan bahari
- Unfamiliarity dengan safetyaspects terkait dengan penanganan kargo berbahaya

Di seluruh dunia, kesalahan besar telah dan masih sedang dibuat untuk banyak alasan di atas. Dalam 10 sampai 15 tahun terakhir saja, ratusan juta dolar telah diinvestasikan di pelabuhan baru itu, setelah selesai, tamed menjadi baik sebagian atau seluruhnya non-fungsional.

Masalah spesifik di banyak negara di dunia berkembang adalah:

- Manajemen
Pengelolaan pelabuhan sering tidak efisien, terlalu banyak proses pengambilan keputusan terletak di tangan pemerintah pusat dan terlalu sedikit dengan administrator lokal.
- Operasi
 - Penanganan Cargo dan penyimpanan barang sering tersisa di tangan otoritas pelabuhan dan ini biasanya menghasilkan produktivitas yang rendah
 - Kali panjang transit barang di pelabuhan
 - Organisasi yang tidak efisien dari fasilitas penyimpanan, yang mengarah ke perlunya lebih dimensi dari yard penyimpanan
 - Bea Cukai
Sering menjadi kendala dalam penanganan barang secara administratif. Ini memberikan kontribusi untuk waktu yang lama bahwa barang tetap berada di pelabuhan.
 - Kemacetan Pelabuhan
Lebih sering disebabkan oleh kekurangan organisasi dan operasional daripada kekurangan dalam infrastruktur. Hal ini juga harus diingat bahwa perbaikan organisasi yang jauh

lebih murah daripada ekstensi infrastruktur.

- Pemeliharaan yang buruk dan kurangnya suku cadang memerlukan struktur pelabuhan dan peralatan yang memerlukan minimal pemeliharaan dan, kadang-kadang, pembelian kelebihan peralatan penanganan kargo.
- Spesialisasi dalam penanganan barang
Sering mencoba untuk mengejar ketinggalan dengan perkembangan di Barat dan sesuai dengan kebutuhan imajiner. Spesialisasi tidak harus menjadi proses memaksa perubahan drastis permintaan adaptasi dalam jangka panjang. Peralatan tidak harus perlu canggih dan sesuai dengan kemampuan operasional dan pemeliharaan lokal.

Ini berarti bahwa banyak perbaikan dapat dicapai di pelabuhan yang ada, sebelum mulai membangun fasilitas baru. Ini harus diperhitungkan dalam tahap awal masterplan: bagaimana bisa operasi ditingkatkan, dalam hal manajemen yang lebih baik, prosedur disederhanakan, pengenalan program pemeliharaan rutin dan lain lain.

Bab 4

Perencanaan dan Perancangan Daerah Perairan Pelabuhan

4.1 Aspek-aspek dalam Perencanaan dan Perancangan daerah Perairan Pelabuhan

Sebagaimana dijelaskan dalam bab sebelumnya lay-out dari pelabuhan adalah sebagian besar ditentukan oleh permukaan basahnya atau perairannya. Ini termasuk orientasi dan keselarasan dari saluran pendekatan, daerah manuver atau basin pelabuhan, pemecah gelombang (jika ini diperlukan), daerah berputarnya kapal (*turning basin*), dan tempat berlabuh atau kolam labuh. Dimensi-dimensi ini sangat penting, pertama karena merupakan bagian dari keseluruhan investasi, kedua karena sulit untuk memodifikasi sekali pelabuhan telah dibangun.

Aspek desain sebagian besar berpusat di kapal: Jumlah dan ukuran kapal yang akan menggunakan pelabuhan akan menentukan seberapa besar ukuran pelabuhan serta seberapa besar pengembangan pelabuhan yang akan dilakukan sesuai perkembangan jumlah kapal yang akan menggunakan pelabuhan tersebut sudah tentu kondisi yang ada saat ini sangat berpengaruh apakah pelabuhan tersebut dapat dikembangkan atau tidak. Untuk membantu kapal dalam melakukan manuver saat merapat di dermaga biasanya dibantu dengan kapal tunda. Hal ini juga berpengaruh pada ukuran pelabuhan. Pada uraian di depan mengenai tersedianya lahan untuk pengembangan pelabuhan telah diuraikan mengenai ukuran minimum pelabuhan menyangkut ruangan untuk dermaga, tempat perputarannya kapal, dan layout fasilitas-fasilitas yang lain. Selanjutnya kriteria standar perencanaan pelabuhan untuk menentukan fasilitas-fasilitas yang dibutuhkan oleh suatu pelabuhan termasuk bagaimana bentuk dan dimensi

fasilitas-fasilitas yang dibutuhkan untuk melayani kapal-kapal sewaktu bongkar muat.

Aspek perilaku manuver dan hidrodinamika kapal berdasarkan pengaruh angin, arus dan gelombang, gerakan gelombang vertikal, dan pemahaman gerakan horisontal di daerah perairan.

Aspek lain yang harus diperhitungkan adalah transportasi sedimen. Bagaimana pengaruh lay-out pelabuhan akibat proses alam terhadap daerah perairan pelabuhan. Dan bagaimana perencanaan lay-out dapat meminimalkan terjadi pendangkalan pada alur pendekatan, alur pelabuhan dan di dalam kolam pelabuhan.

Akhirnya aspek lingkungan dan keselamatan mungkin memainkan peran dalam perencanaan lay-out. Masalah utama dalam perluasan atau pengerukan untuk meningkatkan kedalaman perairan pelabuhan dan saluran yang ada menghasilkan material hasil pengerukan atau galian. Hasil galian ini biasanya sudah tercemar untuk beberapa derajat dan aturan (internasional) mencegah hasil pengerukan ini dibuang di laut (PIANC, 1996) Di banyak negara peraturan lingkungan memerlukan langkah-langkah mitigasi dan kompensasi yang harus diambil, saat pengembangan pelabuhan (atau lainnya) mempengaruhi sistem ekologi yang ada. Misalnya dalam desain lahan baru untuk terminal Pelabuhan Los Angeles harus menyediakan lahan yang dialokasikan untuk habitat bawah air untuk menggantikan daerah yang ada. Sedangkan dalam perencanaan untuk Maasvlakte 2 luas permukaan yang cukup perlu dibuat untuk pengembangan alam dan rekreasi. Pertimbangan keamanan dalam beberapa kasus sangat diperlukan untuk persyaratan tambahan, seperti untuk impor LNG di dermaga Zeebrugge, yang memiliki cekungan sendiri, terisolasi dari daerah pelabuhan lainnya (lihat Gambar 4.1).



Gambar 4.1 Pelabuhan Zeebrugge

4.2 Manuver Kapal dan Gaya Hidrodinamika

4.2.1 Manuver Kapal

Dalam perencanaan dan perancangan daerah perairan pelabuhan, faktor-faktor yang mempengaruhi perilaku manuver kapal harus benar-benar dipertimbangkan berdasarkan sifat dasar kapal itu sendiri yang biasa disebut karakteristik manuver kapal. Karakteristik ini ditentukan oleh bentuk lambung kapal, massa, sistem kemudi dan dimensi, sistem propulsi dan kekuatan mesin (*power*). Karakteristik manuver adalah:

- (i) Efisiensi kemudi, cara kapal bereaksi terhadap kemudi dan perubahan putaran baling-baling
- (ii) manuver putar atau kemampuan berbelok
- (iii) kemampuan berhenti

(i) Efisiensi kemudi

Putaran kemudi menciptakan momen di kapal, saat berlayar. Pengaruh putaran baling-baling meningkat pada saat ini. Tanker besar dan kapal curah biasanya memiliki rasio Ls/Bs (panjang / lebar) relatif kecil, di kisaran 6 sampai 7, dan koefisien block di kisaran 0,75-0,85. Bersamaan dengan rasio Bs / D (lebar / draft), rasio massa Δ / P (kekuatan mesin / daerah kemudi), faktor-faktor ini terutama menentukan karakteristik manuver. Rasio $A B D$ kecil dan hasil koefisien blok besar dalam waktu yang relatif lama diterapkan untuk bereaksi terhadap sudut kemudi; tapi, sekali kapal berputar, ia memiliki kemampuan balik yang baik.

Jelas bahwa karakteristik ini penting untuk kemampuan manuver kapal dalam alur pelabuhan. Namun, tidak kalah pentingnya adalah cara operator (manusia) dalam mengendalikan karakteristik manuver kemudi kapal.

Dalam air terbatas, waktu reaksi dari kapal ke sudut kemudi dapat dikurangi dengan kemudi dan baling-baling diterapkan dengan tindakan simultan, hanya dalam waktu yang singkat (*burst*) untuk menghindari peningkatan dalam kecepatan kapal. Pengaruh dari manuver ini meningkat saat penurunan kecepatan.

Secara umum, stabilitas tentu saja menunjukkan sejauh mana kapal bereaksi pada gangguan eksternal. Sebuah kapal dinyatakan dinamis stabil apabila momen yang diakibatkan oleh kemudi, melawan pergerakan kapal yang disebabkan oleh gangguan alam. Setelah beberapa saat dan gaya menjadi nol lagi, kapal akan mengikuti saja. Ini tidak terjadi dengan kapal dinamis stabil. Saat rotasi awal sangat

kuat. Kapal terus berputar, bahkan setelah gaya mencapai keadaan keseimbangan baru. Di perairan dangkal, stabilitas saja cenderung lebih baik dibandingkan di air yang dalam.

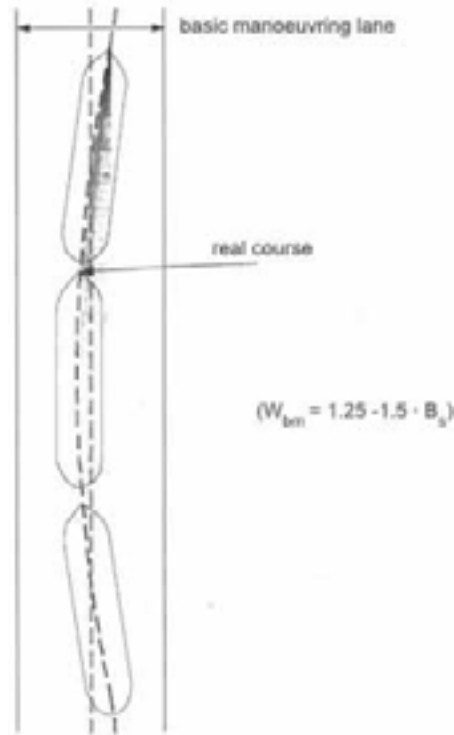
Perlu dicatat bahwa bahkan tanpa gangguan eksternal manuver kapal menunjukkan gerakan *sinusoidal* (bukan lurus-lurus saja). Hal ini disebabkan kecepatan respon dari nahkoda dan reaksi kapal terhadap kemudi. Oleh karena itu total lebar jalur manuver melebihi lebar kapal (lihat Gambar 4.2). Disamping itu juga tergantung pada manuver kapal, kemampuan juru mudi, informasi visual yang tersedia dan visibilitas keseluruhan. Hal ini akan dijelaskan kembali pada Bagian 4.3.2.

(ii) *Manuver Putar*

Diameter berputar di dalam air dengan kecepatan layanan dan sudut kemudi dari 35° , bervariasi antara jenis kapal dan bahkan antara kapal dalam kategori yang sama. Namun demikian, ada kecenderungan yang jelas. Banyak kapal kontainer memiliki kemampuan manuver yang buruk, terutama kapal kontainer dibuat, atau awalnya dibuat, untuk beroperasi pada layanan kecepatan tinggi 26 atau 27 kn. Untuk kapal-kapal ini, diameter putar berada diantara 6 sampai 8 Ls. Diameter putar untuk kapal-kapal minyak besar dan kapal curah kering pada kecepatan layanan 15 sampai 17 kn berada diantara 3 sampai 4 Ls, beberapa bahkan kurang dari 3.Ls. Operator LNG sebagian besar di kisaran 2 - 2,5 Ls, yang juga akan berlaku untuk sejumlah besar kargo umum dan kapal konvensional multi-tujuan.

Kemampuan berputar pada kecepatan rendah biasanya ditingkatkan dengan menggunakan pengaturan baling-baling kembar atau busur pendorong, atau kombinasi dari keduanya.

Busur pendorong (*bow thrusters*) biasanya digunakan untuk merapat atau berlabuh dan saat kapal tidak beroperasi, tapi dengan kecepatan 4 sampai 5 atau di atas, tidak banyak berpengaruh.



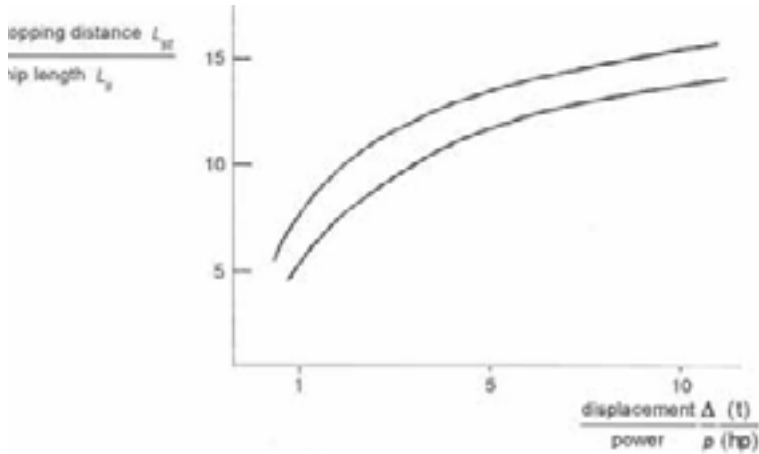
Gambar 4.2 Lebar lajur kapal

(iii) *Kemampuan berhenti*

Panjang alur pada suatu pintu pelabuhan dan area basin untuk panjang tambahan harus ditentukan dengan menghitung jarak berhenti dari kapal. Jarak henti dipengaruhi oleh:

- Ukuran kapal dan massa (hubungan kekuatan pendorong – perpindahan)
- Kecepatan pada saat kapal memasuki pelabuhan
- Prosedur berhenti

Mengenai ukuran, rasio kekuatan pendorong - massa kapal berbanding terbalik dengan ukuran kapal. Karena itu, daya yang tersedia untuk melambat (atau mempercepat) menurun dalam arti relatif dengan meningkatkan ukuran kapal (lihat Gambar 4.3). Juga kekuatan dibelakang sebagian kecil dari daya terpasang bervariasi dari satu sistem ke sistem lain, dan mungkin serendah 50% untuk kapal dengan turbin uap sedangkan baling-baling pisau bias sampai 100% untuk kapal dengan mesin diesel dan di lapangan baling-baling dikontrol.



Gambar 4.3 Jarak henti kapal

Sumber: (H.Ligteringen and H. Velsink 2012)

Ini berarti bahwa jarak L_{st} , diperlukan untuk menghentikan kapal dalam kecepatan tertentu, dinyatakan sebagai fungsi dari panjang kapal sendiri (L_s), bervariasi dan meningkat dengan meningkatnya ukuran kapal. Sebagai contoh, kapal *general cargo* 10.000 t dengan kecepatan jelajah 16 knot mampu berhenti dalam jarak minimal sekitar 5 sampai $7L_s$, atau 900 m (*crash stop*), sementara kapal bulk carrier atau kapal tanker 200.000 t memerlukan jarak minimal 14-18 ls, atau 4800 m (mulai dari kecepatan rendah, misalnya 5 kn, jarak berhenti yang jelas lebih kecil, karena kapal tanker besar $\leq 3 \cdot L_s$, untuk kapal kargo $\leq L_s$ umum).

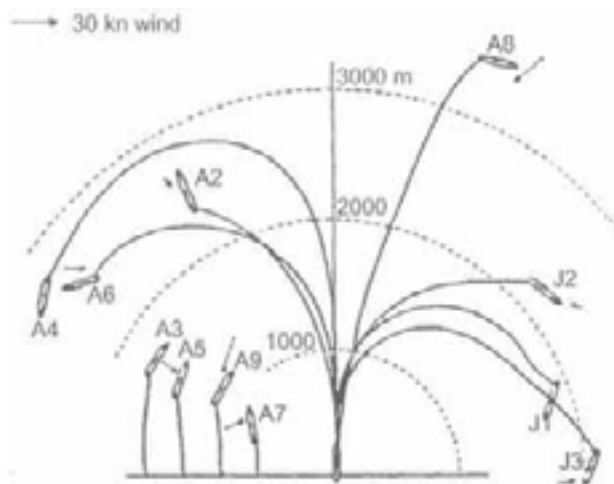
Pada tahun 1970 yang disebut ‘bahan bakar ekonomis’ adalah kapal curah dan kapal tanker yang telah beroperasi dengan daya pendorong yang sangat rendah (untuk bulk carrier 150.000 t, Δ/P mungkin sekitar 13 dan kecepatan jelajah sekitar 12 kn, terhadap Δ/P normal sekitar 8 dan kecepatan jelajah 15 kn untuk ukuran kapal ini). Selain itu, mesin mereka tidak dapat berjalan pada RPM rendah; ‘mati didepan akan melambat’ mungkin antara 6 kn. Karena itu, untuk berlayar pada kecepatan rendah mereka harus secara teratur menghentikan atau menyentak kembali mesin mereka, yang membuat mereka cukup sulit untuk bermanuver di ruang pelabuhan terbatas.

Berkenaan dengan *kecepatan merapat*, itu akan menjadi jelas bahwa semakin tinggi kecepatan, semakin besar jarak berhenti diperlukan. Kecepatan minimum di mana kapal masih memiliki kontrol kemudi yang cukup hanya untuk membuat koreksi haluan saja, sekitar 4 kn. Namun, gelombang, angin dan, khususnya, arus melintas di depan pintu masuk pelabuhan mungkin

memaksa kapal untuk mempertahankan kecepatan yang jauh lebih tinggi sampai tiba dalam daerah terlindung dibalik pemecah gelombang. Ini akan dibahas lebih lanjut dalam Bagian 4.4.

Derajat kontrol haluan dapat dipertahankan dengan propeller depan secara berkala dengan menyetel kemudi untuk memberikan koreksi yang diinginkan. Ini, bagaimanapun, mau tidak mau mengarah ke jarak berhenti lebih besar.

Akhirnya, menyangkut cara berhenti, prosedur mungkin bisa jadi berbeda. Dua ekstrem yaitu *crash stop* di satu sisi, dan *fully controlled stop* di sisi lain. Di *crash stop*, mesin distel penuh di bagian belakang. Ini memberikan jarak berhenti minimum, tetapi, karena aliran turbulen di sekitar kemudi, kapal tidak memiliki kontrol sumber apapun. Ternyata baik ke kanan atau ke kiri manuver kapal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Manuver berhenti kapal tanker MAGDALA
Sumber: IAHP, 1981 dalam (H.Ligteringen and H. Velsink 2012)

4.2.2 Hidrodinamika Kapal

Sebuah pemahaman dasar dari kekuatan yang diberikan oleh gelombang, arus dan angin dan tanggapan dari kapal diperlukan dalam perencanaan pelabuhan dan desain untuk alasan berikut. *Pertama* dalam perancangan harus memperhitungkan secara mendalam gerakan vertikal kapal akibat gelombang, radius putar dan daerah manuver lainnya, termasuk pada daerah saluran pendekat.

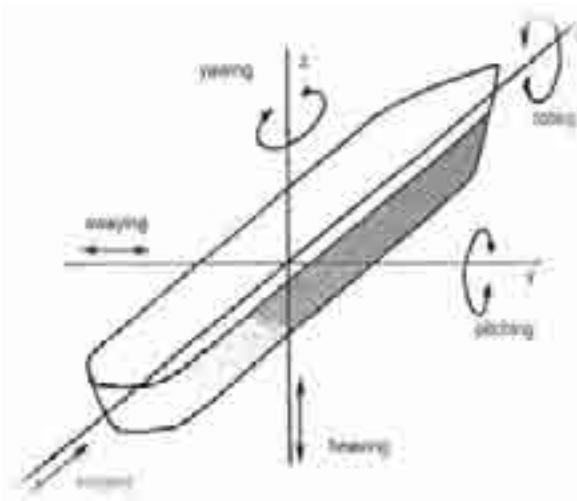
Kedua perancangan sistem tambatan kapal di dermaga terbuka bertujuan untuk menahan dalam gerakan alamiah kapal dan oleh karena itu gerakan kapal dan tempat tambatan atau bolder dan fender harus ditentukan.

(i) *Kapal saat berlayar*

Sebuah kapal terapung bebas memiliki enam model kebebasan gerak: tiga kesamping dan tiga putaran. Karena itu, sebuah kapal terkena gelombang dapat merespon dalam enam modus yang berbeda, atau dalam kombinasi daripadanya (Gambar 4.5).

Dalam model vertikal, kapal memiliki frekuensi alami sendiri atau osilasi. Jika penerapan frekuensi energi mesin (*excitation*) terjadi dalam modus tertentu mendekati frekuensi alami kapal dalam mode itu, akan menghasilkan resonansi. Apakah resonansi ini penting, tergantung pada tingkat redaman. Dari tiga mode - bergulir, melempar dan naik-turun, dua terakhir adalah gerakan teredam, tapi tidak begitu dengan gerak menggulung yang resonansinya cukup sensitif. Sebuah kapal berlayar di laut luas dengan periode gelombang yang kuat dekat periode gulungan dekat dengan kapal, dapat mengembangkan sudut gulungan yang sangat besar di mana kapal dapat kehilangan kontrol kemudi dan bahkan mungkin terbalik.

Di air yang dalam, periode gulungan alami biasanya antara 10 detik dan 17 detik untuk jenis kapal merchant. Dalam gelombang, angin yang dihasilkan dengan periode (umum) gelombang antara 6 detik dan 10 detik, gerakan gulungan tidak perlu menjadi perhatian besar. Namun, periode gelombang insiden T_a akan meningkat ketika gelombang mendekat dari arah belakang (dan menurun saat kapal berlayar melawan gelombang) dan kapal memiliki kecepatan melaju, dan karenanya dapat menjadi kritis.



Gambar 4.5 Gerakan kapal dalam air.

Sumber: (H. Ligteringen and H. Velsink 2012)

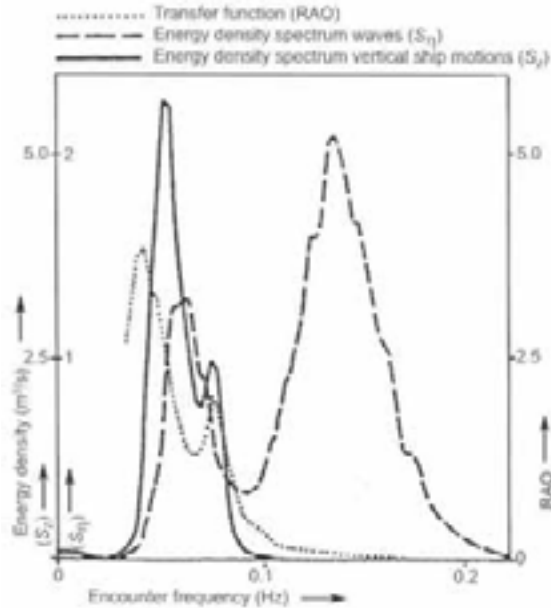
Dalam rangka untuk menentukan gerakan oscilasi vertikal pada sembarang titik di lambung kapal, pengaruh kumulatif mengalun, melempar and menggulung harus dipertimbangkan. Sistem ini dapat digambarkan secara matematis sebagai sistem massa-pegas dengan 6 tingkat kebebasan (*degrees of freedom*). Kapal mengambang bebas gaya hidrostatis bertindak sebagai pegas: jika hidung kapal tenggelam ke dalam air selanjutnya kelebihan daya apung akan mendorong kembali. Dalam kasus kapal ditambatkan pegas tambahan akan terjadi pada bolder dan fender.

Analisis gerakan kapal itu untuk jangka waktu yang panjang dilakukan dengan pemodelan. Setelah tahun 1990 model numerik menjadi cukup handal untuk mengambil alih peran model fisik. Model komputer pertama adalah linear. Tanggapan kapal dihitung untuk sejumlah periode gelombang tertentu (atau frekuensi). Rasio gerak amplitudo dan gelombang amplitudo untuk frekuensi tertentu adalah faktor Respons Amplitudo. Segenap rentang gelombang (spektrum gelombang) diatas fackor respon amplitude adalah merupakan fungsi transfer. Apabila kita mempunyai fungsi *Response Amplitude factor (RAO)* untuk arah gelombang berbeda, kita dapat menghitung semua gerakan individual untuk spektrum gelombang tertentu. Gambar 4.6 adalah contoh dari fungsi RAO untuk pengaruh gulungan, mengalun dan gabungan lapangan. Dengan mengalikan nilai dari spektrum gelombang dengan (RAO) 2 diperoleh spektrum gerak. Meskipun spektrum gelombang memiliki puncak pada sekitar 0,14 Hz atau T = 7 detik, hampir tidak ada respon kapal karena frekuensi yang jauh lebih tinggi daripada frekuensi alami dari gerakan kapal. Puncak frekuensi rendah dari spektrum gelombang, pada 0,06 Hz atau 16-17 detik tidak memberikan resonansi, meskipun RAO tidak pada nilai tertinggi. Hal ini jelas bahwa amplitudo gerak kapal yang dihasilkan akan meningkat dengan cepat untuk waktu gelombang di atas 17 detik.

Akhirnya, perhatian ditarik ke absis dari Gambar 4.6 memberikan frekuensi pertemuan. Ini adalah frekuensi gelombang yang jelas untuk kapal berlayar dengan kecepatan V_s . Hubungan dengan frekuensi gelombang yang sebenarnya diperoleh melalui kecepatan gelombang sebagai berikut:

$$L = c \cdot T = c_a \cdot T_a = (c \pm V_s) \cdot T_a \quad (4.1)$$

$$T_a = \frac{c}{c \pm V_s} \cdot T$$



Gambar 4.6 Karakteristik gerakan kapal dalam gelombang

Sumber: (H.Ligteringen and H. Velsink 2012)

Untuk gelombang pada buritan V_s dikurangi dalam persamaan 4.6 ($T_a > T$) dan untuk gelombang puncak V_s ditambahkan. Ketika gelombang datang satu sudut dengan arah kapal komponen V_s harus digunakan dalam Persamaan (4.1).

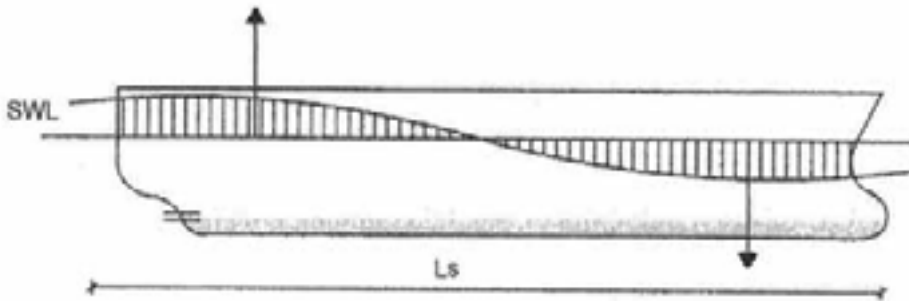
Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa kekuatan gelombang pada kapal dan respon dari sebuah kapal berlayar pada gelombang tidak dapat dengan mudah ditentukan oleh formula analitis. Hanya penilaian pertama mungkin dapat diperoleh resonansi dari penalaran berikut:

a. *Pitching*

Ketika kapal berlayar dalam arah gelombang atau melawan arah gelombang, momen lemparan yang diakibatkan oleh gelombang maksimum untuk panjang gelombang $L = 2 \cdot L_s$. Periode gelombang yang sesuai memberikan faktor respon tertinggi. Untuk panjang kapal 250 m, ini berarti $L = 500$ m dan (dengan asumsi air relatif dangkal) periode gelombang $T = 30$ detik. Gelombang panjang seperti itu jarang dan jika mereka terjadi memiliki amplitudo yang sangat kecil. Untuk gelombang arah yang dekat dengan 90° (lebar gelombang) panjang gelombang kritis menjadi $L = 2 \cdot L_s \cos \alpha$, dan periode gelombang karenanya jauh lebih pendek menyebabkan pelemparan resonansi (selalu dalam kombinasi dengan gulungan, yang mengarah ke gerakan memilin).

b. *Menggulung (rolling)*

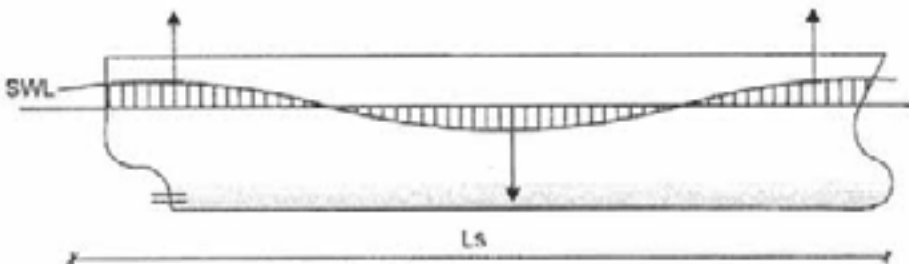
Eigen period atau periode alami dari kapal menggulung tergantung pada ukuran, tinggi *metacentric* dan distribusi massa. Tipikal periode gulungan senilai 12-16 detik untuk tanker 250.000 dwt sedangkan 7-8 detik untuk kapal kargo 10.000 dwt. Untuk lebar gelombang dengan periode mendekati maka akan terjadi periode resonansi alami. Inilah sebabnya mengapa kapal mencoba untuk menghindari arah di sudut kanan dengan arah gelombang dan mengapa harus dihindari saluran pendekatan tegak lurus terhadap arah gelombang dominan.



Gambar 4.7 Karakteristik gerakan kapal dalam gelombang: *Pitching*

c. *Heaving*

Untuk $L = L_s$, gaya vertikal resultan dari kapal adalah nol, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8. Untuk periode gelombang yang sesuai respon lempar/angkat adalah nol. Dengan meningkatnya periode gelombang, dan dengan demikian panjang gelombang, gaya asal dan respon angkat/melempar akan meningkat. Dengan penurunan periode gelombang awalnya ada kemungkinan sedikit respon peningkatan, tapi kemudian berkurang menuju ke nol.



Gambar 4.8 Karakteristik gerakan kapal dalam gelombang: *Heaving*

(ii) *Kapal saat Bertambat*

Asumsi linearitas yang disebutkan di atas berlaku cukup baik untuk kapal berlayar didalam gelombang urutan pertama (yaitu gelombang yang diamati). Dalam kasus sebuah kapal tertambat menjadi kurang akurat karena gaya reaksi tali tambat dan fender umumnya tidak linear. Selain itu kapal ditambatkan, khususnya yang besar, menjadi sensitif terhadap gelombang dengan sebutan urutan kedua atau kekuatan gelombang sub harmonik (*sub harmonic wave forces*), karena periode resonansi tinggi untuk sentakan dan mengoleng dari sistem. Gaya gelombang ini meliputi kekuatan gelombang berhanyut-hanyut yang melekat pada setiap bidang gelombang acak, atau mungkin tambahan disebabkan oleh gelombang amplitudo rendah selama pembentukan gelombang yang lebih besar membentang dari laut atau gelombang tepi sepanjang landas kontinen. Membedakan antara gelombang terikat dan gelombang panjang sulit untuk dilakukan. Indikasi diberikan oleh analisis data rekaman gelombang sudah lama untuk pelabuhan Sines (Vis et al, 1985). Dalam kasus ini analisis gerak kapal harus dibuat dengan cara model komputer nonlinier, termasuk keenam tingkatan kebebasan dan pengaruh dari kekuatan gelombang urutan kedua.

Untuk perkiraan pertama dari gaya gelombang, arus dan angin pada tambatan kapal didasarkan dari perumusan empiris berdasarkan model tes dan perhitungan komputer yang disederhanakan.

a. *Gaya gelombang*

Kekuatan gelombang longitudinal (X) dan lateral (Y) arah gelombang berasal dari perhitungan komputer kekuatan pada silinder elips vertikal dengan dimensi L_s , B dan D , yang dilakukan cepat (tidak diizinkan untuk bergerak dalam tambatannya). Hal ini menekankan bahwa schematisation realitas kuat, bahkan sistem tambatan yang paling ketat tidak memungkinkan beberapa gerakan, terutama dengan tujuan untuk mengurangi kekuatan lini. Akibatnya gaya yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kenyataan.

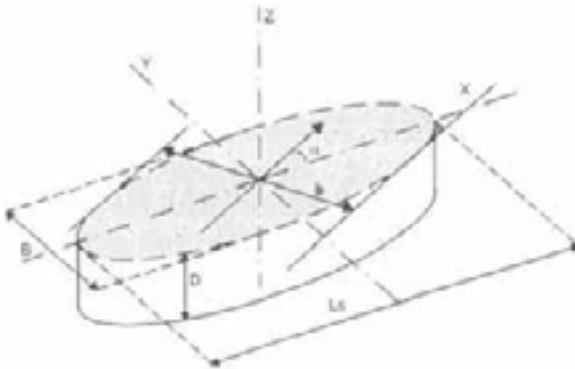
Arah gelombang datang (incedent), dengan panjang gelombang L dan tinggi H , adalah α . Ungkapan bagi gaya gelombang:

$$F_{x.max} = C_{mx} \frac{\sinh\left(2\pi\frac{h_{berth}}{L}\right) - \sinh\left(2\pi\frac{h_{berth}-D}{L}\right) \pi \cos\alpha}{\cosh\left(2\pi\frac{h_{berth}}{L}\right)} \frac{\pi \cos\alpha}{8} W_{shelter}^2 WH \quad (4.2)$$

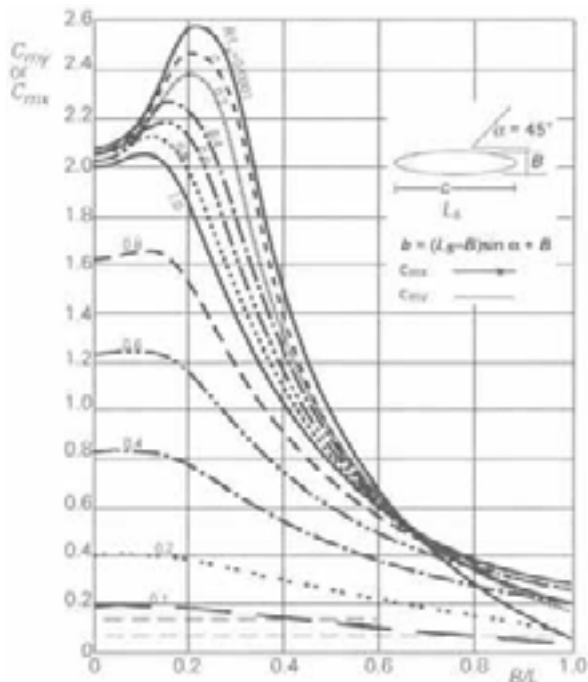
$$F_{y.max} = C_{my} \frac{\sinh\left(2\pi\frac{h_{berth}}{L}\right) - \sinh\left(2\pi\frac{h_{berth}-D}{L}\right) \pi \sin\alpha}{\cosh\left(2\pi\frac{h_{berth}}{L}\right)} \frac{\pi \sin\alpha}{8} W_{shelter}^2 WH \quad (4.3)$$

dengan tambahan:

- $C_{mx} \cdot C_{my}$ = koefisien massa
 h_{berth} = kedalaman kolam pelabuhan di lokasi nersandar (m)
 W_{shelter} = lebar berlindung dari arah gelombang (m)
 $\quad = B_s + (L_s - B_s) \cdot \sin \alpha$
 w = berat jenis air laut ($= 10.25 \text{ kN/m}^3$)



Gambar 4.9 Gaya gelombang arah longitudinal(x) dan lateral (Y)



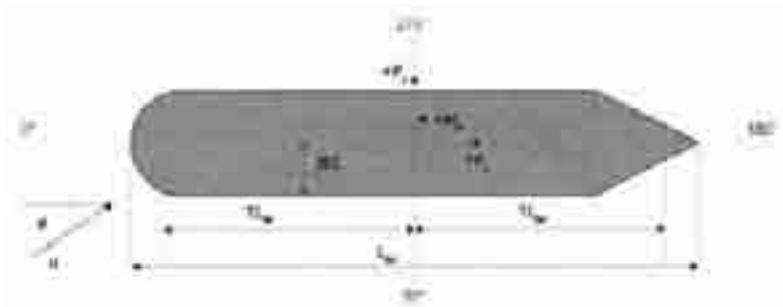
Gambar 4.10 Koefisien massa untuk $\alpha = 45^\circ$. Sumber: (H.Ligteringen and H. Velsink 2012)

b. *Gaya arus*

Gaya arus pada kapal adalah proposional di daerah penampang melintang bawah air dan kecepatan arus rata-rata kuadrat. Seperti gaya pada piring dengan luas A di dalam air yang mengalir:

$$F = C \cdot A \cdot v^2 \tag{4.4}$$

Nilai C tergantung pada sudut dari arah arus dengan sumbu kapal, pada jarak ruangan rangka kapal bawah (rasio rancangan kapal dan kedalaman air) dan pada bentuk dari busur kapal: konvensional atau busur bulat. Karena asimetri bagian membujur garis kerja dari gaya lateral mungkin memiliki (kecil) mengimbangi dari titik bagian tengah kapal, yang diambil sebagai pusat dari sistem koordinat (lihat Gambar 4.11)



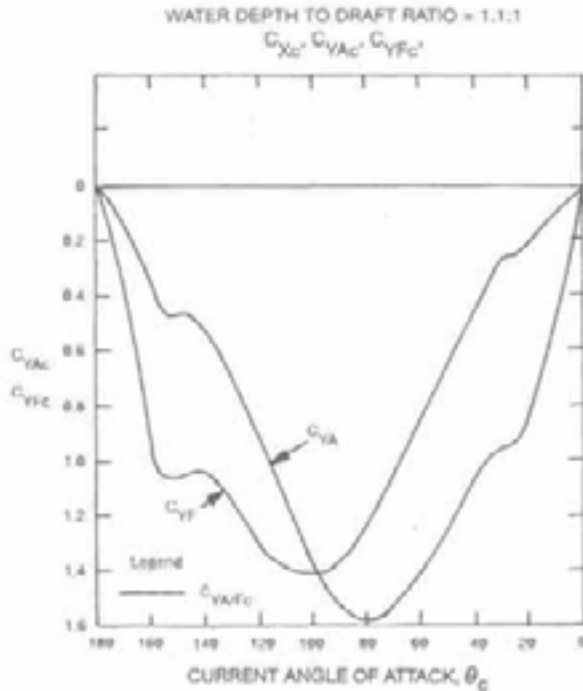
Gambar 4.11 Tanda konvensi dan system koordinat

Hal ini dapat ditunjukkan sebagai momen M_{xy} selain gaya lateral F_y . Tapi ada cara lain yaitu dengan menentukan dua gaya lateral tegak lurus kedepan dan tegak lurus di belakang. Hal ini umumnya lebih mudah untuk perhitungan manual, karena tali tambatan didepan dan dibelakang memiliki resultan di titik-titik sepanjang kapal. Dalam kasus terakhir formula untuk F_x , F_{yF} dan F_{yA} menjadi:

$$F_{xc} = \frac{1}{2} C_{xc} \rho_w \cdot V_c^2 \cdot D \cdot L_{BP} \tag{4.5}$$

$$F_{yFc} = \frac{1}{2} C_{yFc} \rho_w \cdot V_c^2 \cdot D \cdot L_{BP} \tag{4.6}$$

$$F_{yAc} = \frac{1}{2} C_{yAc} \cdot \rho_w \cdot V_c^2 \cdot D \cdot L_{BP} \tag{4.7}$$

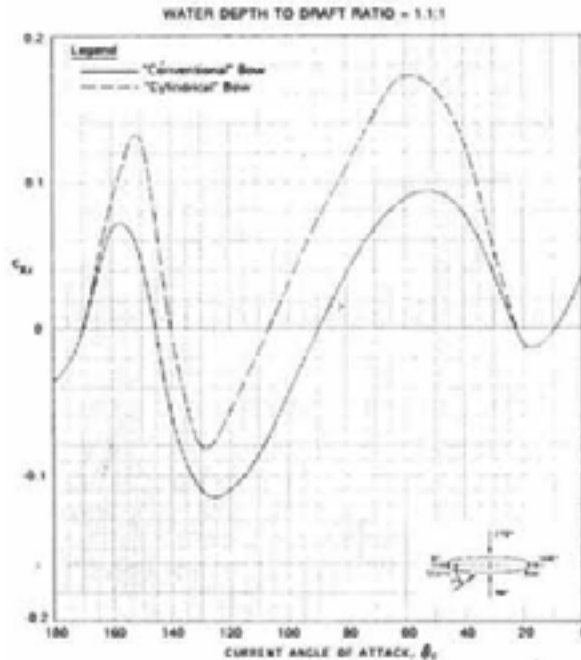


Gambar 4.12 Koefisien gaya samping tegak lurus pada buritan dan depan kapal tanker
Sumber: (H.Ligteringen and H. Velsink 2012)

(Perlu dicatat bahwa dalam ketiga persamaan D. L_{BP} yang digunakan, sementara satu diperkirakan D. Yang pertama B_s . Hal ini dilakukan untuk memudahkan perhitungan). Gaya dalam kN. Parameter lainnya adalah:

C_{xc}	= koefisien gaya arus longitudinal	[-]
C_{yfc}	= koefisien gaya arus melintang bagian depan	[-]
C_{yac}	= koefisien gaya arus melintang buritan kapal	[-]
ρ_w	= berat jenis air laut (= 1025)	[kg/m ³]
V_c	= kecepatan rata-rata arus diatas bagian air dibawah lunas kapal	[m/s]
D	= draf kapal (sesuai dengan kondisi)	[m]

Nilai untuk koefisien gaya saat ini diperoleh dari grafik berdasarkan percobaan (model) data. Contoh grafik tersebut untuk kedalaman air untuk menyusun rasio 1.1 diberikan pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13. Grafik lengkap untuk kondisi pembebanan yang berbeda dan kedalaman air untuk menyusun rasio ditemukan dalam publikasi OCIMF “*Mooring Equipment Guidelines*” (OCIMF, 2008).



Gambar 4.13 Koefisien gaya arus longitudinal, kapal tanker

Sumber: (H.Ligteringen and H. Velsink 2012)

c. *Gaya Angin*

Gaya angin dihitung dengan cara yang sama, menerapkan konvensi tanda yang sama seperti untuk gaya arus, dengan menggunakan persamaan berikut:

$$F_{xw} = \frac{1}{2} C_{xw} \cdot \rho_{air} \cdot V_w^2 \cdot A_T \tag{4.8}$$

$$F_{yFW} = \frac{1}{2} C_{yFW} \cdot \rho_{air} \cdot V_w^2 \cdot A_L \tag{4.9}$$

$$F_{yAW} = \frac{1}{2} C_{yAW} \cdot \rho_{air} \cdot V_w^2 \cdot A_L \tag{4.10}$$

dimana:

- F_{xw} = gaya angin longitudinal [kN]
- F_{yFW} = gaya angin sisi depan [kN]
- F_{yAW} = gaya angin sisi buritan [kN]
- C_{xw} = koefisien gaya angin longitudinal [-]
- C_{yFW} = koefisien gaya angin samping depan [-]
- C_{yAW} = koefisien gaya angin sisi buritan [-]
- ρ_{air} = berat jenis udara (1.0223) [kg/m³]
- V_w = kecepatan angin diatas air [m/s]
- A_T = kecepatan angin pada elevasi 10 m [m²]
- A_L = daerah longitudinal diatas permukaan air [m²]

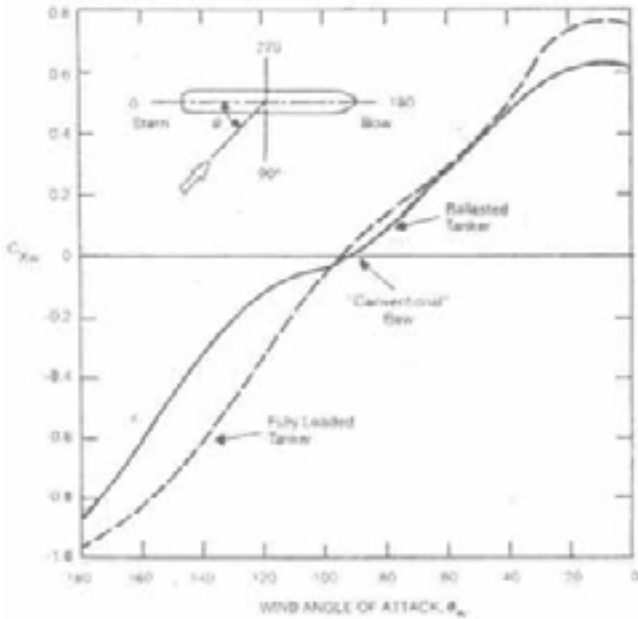


Figure 4.14 Koefisien gaya angin longitudinal
Sumber: (H.Ligteringen and H. Velsink 2012)

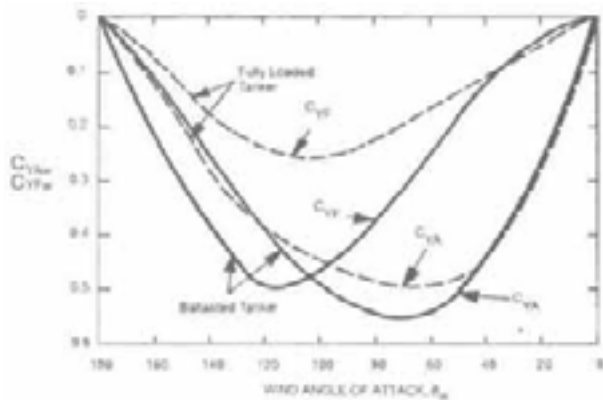


Figure 4.15 Koefisien gaya angin samping tegak lurus pada buritan dan depan kapal
Sumber: (H.Ligteringen and H. Velsink 2012)

4.3 Alur Pendekatan

Alur pendekatan didefinisikan sebagai jalur air yang digunakan untuk mengarahkan kapal yang akan masuk ke kolam pelabuhan (atau tempat berlabuh terbuka pada jetty dilepas pantai). Alur pelabuhan dan kolam pelabuhan ditentukan oleh kapal terbesar yang akan masuk ke pelabuhan dan kondisi meteorologi dan oseanografi. Prinsip perencanaan, navigasi

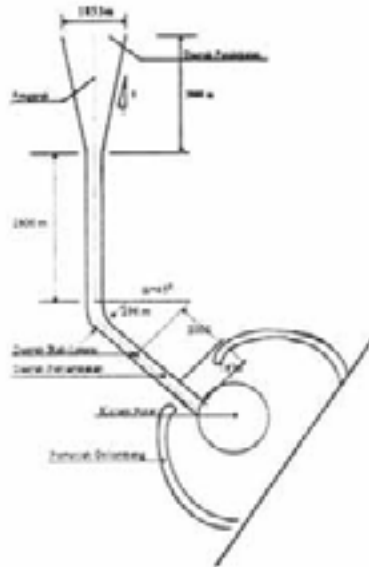
yang aman, operasi kapal yang gampang, topografi, cuaca dan wujud dari laut, koordinasi dengan fasilitas-fasilitas lain harus diperhatikan untuk perencanaan (merencanakan) alur pelabuhan. Tiga parameter dalam perancangan yaitu: alignment, lebar dan kedalaman. Walaupun masing-masing parameter tersebut dalam batas tertentu saling bergantung, di bawah ini masing-masing parameter ini diperlakukan secara terpisah. Panjang bagian antara pintu masuk pelabuhan dan turning basin dibahas pada Bagian 4.4 karena sangat menentukan daerah basin.

The International Navigation Association for Waterborne Transport (PIANC) telah menerbitkan Panduan untuk desain alur pendekatan, yang menyediakan referensi berharga (PIANC, 1997). Beberapa materi disini diambil dari laporan ini, tanpa referensi lebih lanjut.

Secara bertahap meningkatkan detail dari studi yang digunakan dalam perancangan, seperti yang disebutkan dalam Bagian 3.5, tercermin dalam metode yang diusulkan oleh laporan PIANC ini. Disini dibedakan menjadi dua tahap, Konsep perancangan dan Perancangan secara rinci. Dalam prosesnya dimulai dari perencanaan induk dan / atau implementasi studi kelayakan, bahkan tahap selanjutnya dan iterasi dapat terjadi. Pesan utama dari Bagian 4.3 harus diingat: menjaga tingkat proporsional yang rinci untuk akurasi input dan output data.

4.3.1 Alignment

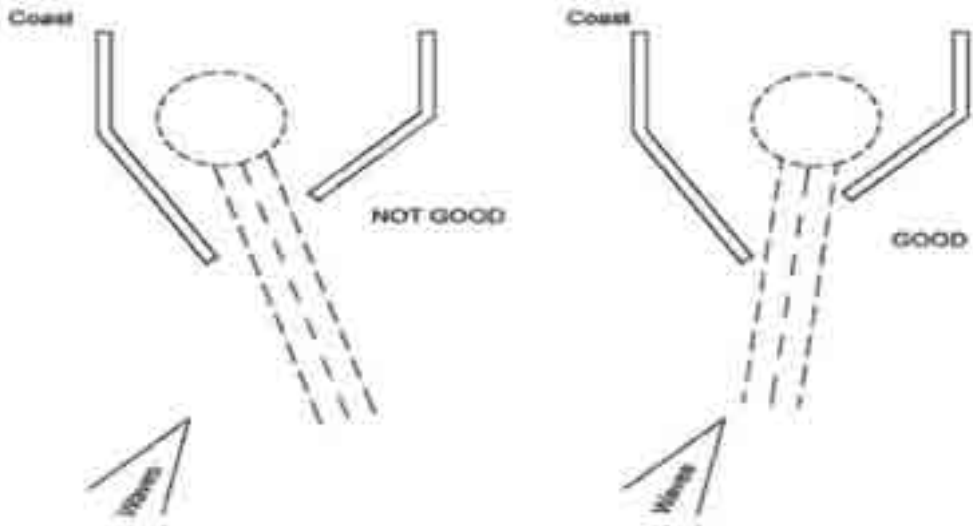
Alur pelabuhan ini ditandai dengan alat bantu pelayaran (*navigation aids*) yang berupa pelampung dan lampu-lampu pada umumnya daerah-daerah tersebut mempunyai kedalaman yang dangkal, sehingga sering kali diperlukan pengerukan-pengerukan untuk mendapatkan kedalaman yang diperlukan. Gambar 4.16. menunjukkan contoh layout dari alur masuk ke pelabuhan. Pada waktu kapal akan masuk ke pelabuhan kapal tersebut melalui alur pendekatan. Disini kapal diarahkan untuk bergerak menuju alur masuk dengan menggunakan pelampung pengarah (rambu pelayaran). Sedapat mungkin alur masuk ini lurus. Tetapi apabila alur terpaksa membelok misalnya untuk menghindari dasar karang maka setelah belokan akan dibuat alur stabilisasi yang berguna untuk menstabilkan gerak kapal setelah membelok. Alur pendekatan biasanya terbuka terhadap gelombang besar dibanding dengan alur masuk atau alur pelabuhan. Akibatnya gerak vertikal kapal karena pengaruh gelombang di alur pendekatan lebih besar dari pada di alur masuk atau alur pelabuhan.



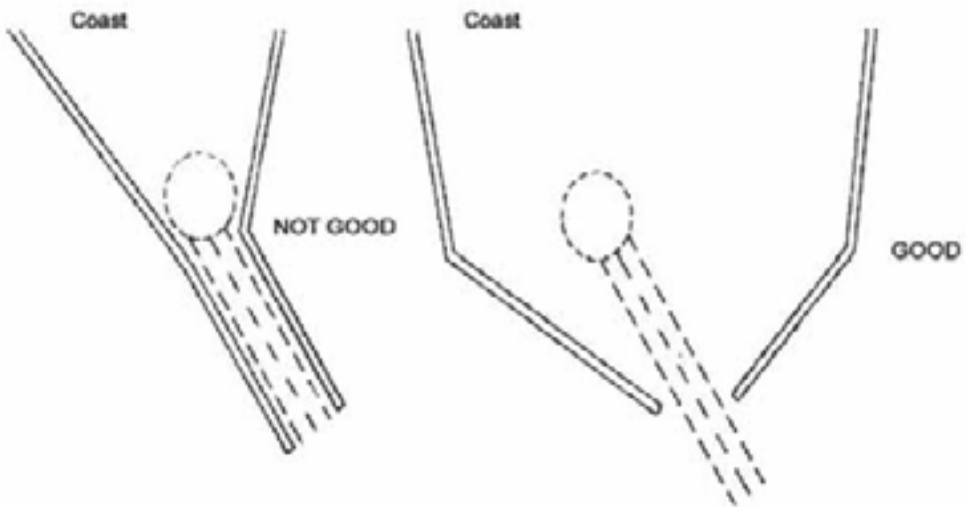
Gambar 4.16 Tipikal lay-out alur pelabuhan

Persyaratan sebagai berikut (kadang-kadang bertentangan) berlaku untuk alignment alur pendekatan (lihat Gambar 4.17 & 4.18):

- (i) Dalam kasus pengerukan alur: memperhitungkan kondisi gelombang, angin dan arus. Panjang alur yang dikeruk diusahakan sependek mungkin.
- (ii) Sedapat mungkin menghindari memotong arah arus dan angin
- (iii) Sudut kecil dengan arah gelombang dominan
- (iv) Meminimalkan jumlah tikungan dan menghindari tikungan dekat dengan pintu masuk pelabuhan. Panjang saluran lurus diperlukan sebelum pintu masuk. Panjang alur tergantung pada arus, angin dan kondisi gelombang. Di pelabuhan Rotterdam diambil panjang 6000 m, tetapi di pelabuhan lain panjang ini lebih kecil.



Gambar 4.17 Orientasi alur pendekatan dengan memperhatikan arah gelombang



Gambar 4.18 Perbedaan alignment pemecah gelombang (a) dan (b)

Dalam kasus yang sebenarnya geometri dan kondisi tanah dasar memainkan peran penting. Kekerasan tanah dan batu akan membuat biaya pengerukan tinggi dan sedapat mungkin dihindari.

Apabila kapal-kapal sudah tidak menggunakan kapal tunda atau *tug* (dimana kasus ini biasanya untuk bagian dari alur pendekatan diluar pemecah gelombang) radius tikungan tergantung pada desain manuver kapal. Di kedalaman air pada alur pendekatan biasanya kedalaman air adalah 1,1

sampai 1,3 kali draft kapal dan bentang radius yang diperlukan berkisar dari minimal $4 \cdot L_{pp}$ pada sudut kemudi maksimal 30° sampai maksimal $16 \cdot L_{pp}$ pada sudut kemudi 10° (lihat Gambar 4.19). Sudut kemudi dari sekitar 20° adalah dasar yang baik untuk desain awal, memberikan beberapa keuntungan dari keamanan.

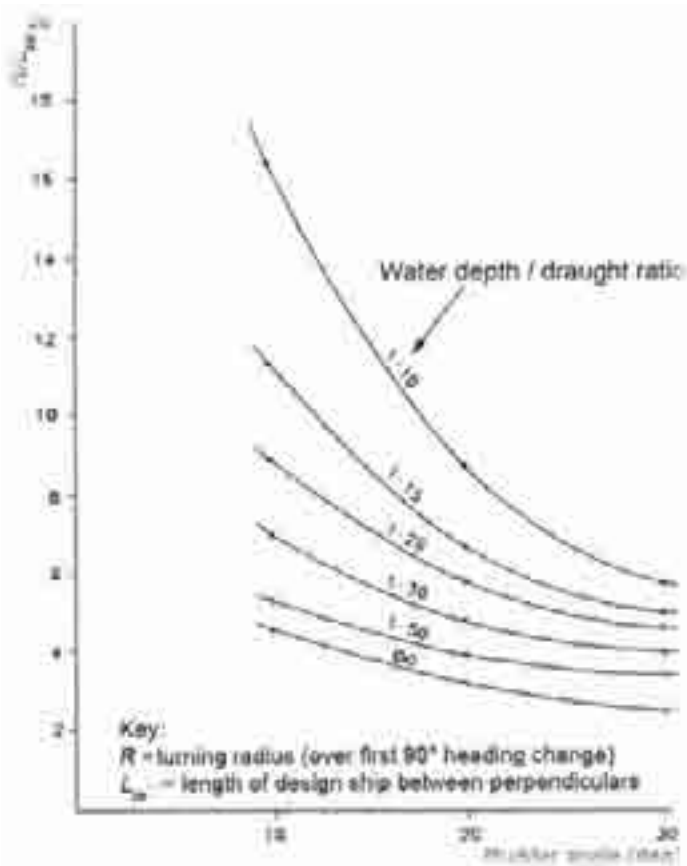
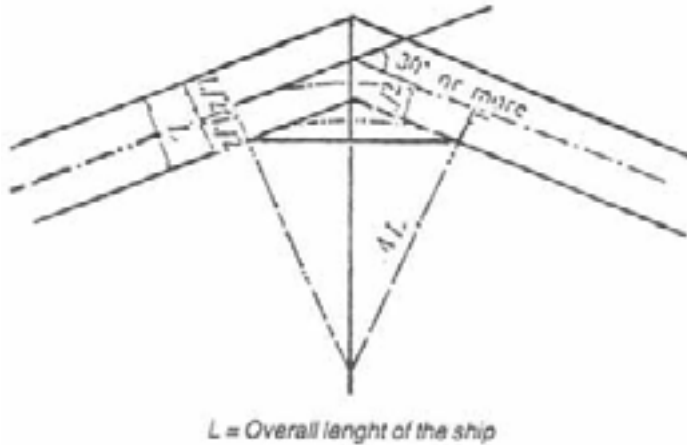


Figure 4.19 Radius putar sebagai fungsi sudut kemudi dan kedalaman air
Sumber: (H.Ligteringen and H. Velsink 2012)

Lebar alur pada tikungan, seperti yang ditentukan untuk kaki lurus yang berdekatan, mungkin harus diperlebar karena jalur menyempit meningkat (lihat Bagian 4.3.2).

Sudut perpotongan garis pusat dari suatu alur pelabuhan pada suatu lengkungan tidak boleh lebih besar dari 300 radius lengkungan tidak boleh lebih kecil dari 1500 m, atau kelengkungan harus 4 X atau lebih dari panjang kapal, dan kelebaran alur harus cukup lebar untuk berlayarnya kapal (lihat Gambar 4.20)



Gambar 4.20 Alur pelabuhan pada tikungan

Di pelabuhan yang sangat sibuk alur pendekatan berkembang menjadi sistem alur untuk kapal terbesar (alur terikat lalu lintas) dan alur pelabuhan ditandai dengan pelampung. Keduanya tersedia untuk lalu lintas *inbound* dan *outbound*, dan di laut terbuka semua dipisahkan oleh lalu lintas zona pemisahan. Gambar 4.21 menunjukkan sistem yang ada untuk Pelabuhan Rotterdam.

Kapasitas alur dan alur pelayaran (fairways) perlu ditentukan dengan cara model simulasi. Model seperti itu juga memungkinkan untuk menyelidiki jumlah kapal dalam sistem selama jangka waktu tertentu. Untuk model simulasi lalu lintas laut pelabuhan sibuk diterapkan untuk menyelidiki risiko tabrakan dan langkah-langkah untuk mengurangi risiko, baik dengan memperkenalkan peraturan lalu lintas yang lebih ketat atau dengan memodifikasi sistem lay-out.

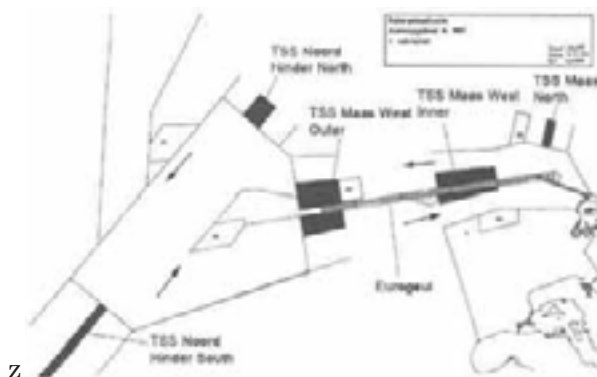


Figure 4.21 Alur pendekatan pada Pelabuhan Rotterdam

Sementara pedoman di atas diterapkan untuk desain awal, kontrol lebih lanjut dan perbaikan dengan cara teknik simulasi manuver diperlukan, untuk berbagai alat yang tersedia. Terlepas dari alat apa atau alat-alat yang digunakan, tujuannya adalah selalu untuk menilai kelayakan dan risiko navigasi dengan jenis tertentu dan ukuran kapal dalam infrastruktur kelautan yang sudah ada atau yang direncanakan, pada kondisi angin, gelombang dan arus tertentu. Kadang-kadang penilaian risiko harus diukur dalam hal kerusakan dan / atau korban untuk mematuhi undang-undang lokal, untuk mencapai biaya minimal keseluruhan atau mengkonfirmasi tingkat keamanan yang konsisten dengan pelabuhan di seluruh dunia dan praktek pengiriman langsung dan konsekuensial. Dalam kasus apapun, simulasi manuver merupakan langkah berharga dan sangat diperlukan dalam perencanaan pelabuhan sampai hari ini.

Simulasi manuver dalam bentuk dasar yang dilakukan dengan *Fast Time Simulator (FTS)*, yang terdiri dari model komputer didasarkan kapal berlayar di bawah pengaruh arus, angin dan gelombang, terlihat di monitor operasi dan membuat lintasan plotter untuk mendapatkan rekor. Kapal diprogram untuk mengikuti jalur yang telah ditetapkan dan respon korektif untuk setiap penyimpangan dari lintasan, yang disebabkan oleh cuaca, arus atau tikungan yang otomatis dan segera, tentu saja dalam kemampuan manuver kapal. Hasilnya mencerminkan perilaku kapal pada saat yang sama dikendalikan oleh auto-pilot dan ini merupakan keterbatasan dari metode ini.

Di satu sisi, auto-pilot akan berlayar lebih dekat ke jalur yang telah ditetapkan oleh navigator manusia yang dapat memahami, di sisi lain, auto-pilot tidak bisa mengantisipasi, tapi navigator manusia bisa, Misalnya, navigator manusia, menurut dugaan akrab dengan kondisi lokal, dapat mengantisipasi saat perubahan arus lokal yang kuat dan dapat melakukan koreksi awal dan dengan demikian menghindari situasi berbahaya, sedangkan auto-pilot tidak bisa. Tapi ketika digunakan dan diinterpretasikan oleh ahli pelayaran yang berpengalaman ternyata FTS cukup berguna, karena memungkinkan perbandingan yang adil dari sejumlah besar alternatif dalam hal tata letak dan kondisi batas dalam waktu singkat dan dengan biaya rendah. Seperti FTS ada misalnya model dasar SHIPMA, digunakan secara luas oleh berbagai perencana pelabuhan. Karena keterbatasan yang melekat pada FTS, pemeriksaan terakhir pada keselarasan dan lebar alur dan ruang manuver yang harus dilakukan dalam Real Time Simulator (RTS).

Simulasi manuver dalam bentuk utamanya dilakukan dengan *Full Mission Real Time Simulators (MARIN)*. Yang terbaru (*state-of-the-art*) adalah RTS, salah satu contoh yang dikembangkan dan dioperasikan oleh MARIN, meliputi ukuran dan tes model (*mock up*), dipasang pada silinder hidrolik

untuk mensimulasikan kapal berlayar pada gelombang, navigator manusia dan juru mudi, yang sangat realistis menghasilkan 360 derajat dapat menyesuaikan diri dengan pergerakan kapal, satelit-simulator berawak untuk mensimulasikan bantuan kapal tunda dan bahkan pengaruh audio untuk membuat persepsi agar lebih realistis. Misi RTS ini telah dikembangkan, dalam contoh pertama, untuk pelatihan navigator dan pilot, bagaimana menangani dan bertindak dalam situasi sulit dan ekstrim, tetapi contoh ini juga sangat berguna untuk perencana pelabuhan untuk memverifikasi rancangan akhir lay-out untuk aspek keselamatan. Namun, harus diingat bahwa karakternya manusia yang terlibat sebagian besar adalah stochastic, pengolahan statistik yang diperlukan dalam rangka untuk menghasilkan kesimpulan. Ini berarti bahwa untuk setiap lay-out dan setiap kondisi di mana saja batas antara 6 dan 10 harus dibuat, masing-masing melakukan untuk beberapa jam dari peralatan yang sangat mahal. Jadi dengan misi RTS penuh adalah urusan mahal.

Keuntungannya adalah paling tidak simulator manuver telah terwujud. Untuk simulator RTS ini memungkinkan untuk melibatkan navigator manusia untuk mengelola masuknya kapal ke dalam pelabuhan atau manuver keberangkatan dengan bantuan panel kontrol dan jalur pelayaran yang ditampilkan pada monitor standar. Hal ini juga meliputi persiapan dengan tampilan pada layar monitor manuver kapal di daerah alur pelabuhan kemudian menyesuaikan diri dengan gerakan kapal sesuai dengan lingkungan yang ada dan kemungkinan memperkenalkan efek sekunder yang berbeda seperti variabel gaya yang diberikan oleh kapal tunda. Dengan dioperasikan alat tersebut pada waktu yang tepat oleh navigator manusia juga memungkinkan untuk menilai lay-out pelabuhan tertentu yang berpotensi terhadap kecelakaan navigasi seperti hilangnya kontrol kemudi, kegagalan propulsi atau penghentian total yang sebagian besar terjadi selama manuver keberangkatan atau masuk pelabuhan karena perubahan terus-menerus dalam mesin. Sebuah contoh yang baik dari sebuah RTS antara fasilitas manuver adalah KAPAL NAVIGATOR (dikembangkan oleh Alkyon di Belanda), yang sangat fleksibel sehubungan dengan kompleksitas persiapan dan input / output.

Berkenaan dengan model FTS, peningkatan yang cukup tampaknya telah dibuat dengan menggantikan deterministik auto-pilot sederhana dengan satu probabilistik, sehingga dengan mempertimbangkan kinerja yang tidak menentu dari navigator manusia (Jilan, 2010), perbaikan lebih lanjut yang dibayangkan jika, dengan teknik kecerdasan buatan, kemampuan belajar mandiri dapat dimasukkan ke dalam model auto-pilot yang memungkinkan untuk mengantisipasi pada situasi tertentu, kurang lebih sebagai navigator manusia.

4.3.2 Lebar Alur

Lebar alur biasanya diukur pada kaki sisi-sisi miring saluran atau pada kedalaman yang direncanakan yang direncanakan. Lebar alur tergantung pada beberapa factor yaitu :

1. Lebar, kecepatan dan gerakan kapal.
2. Lalu lintas kapal, apakah alur direncanakan untuk satu atau dua jalur
3. Kedalaman alur
4. Apakah alur sempit atau lebar
5. Stabilitas tebing alur
6. Angin, gelombang dan arus melintang dalam alur

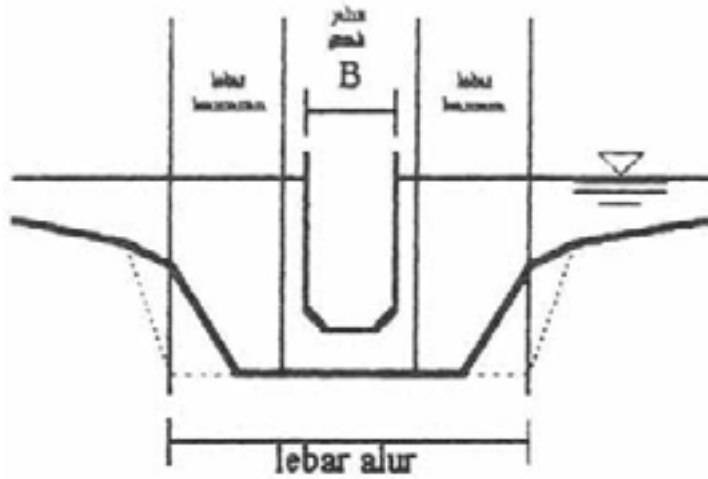
Tidak ada rumus yang memuat faktor-faktor tersebut secara eksplisit, tetapi beberapa kriteria telah ditetapkan berdasarkan pada lebar kapal dan faktor-faktor tersebut secara implisit . Pada alur pada satu jalur (tidak ada simpangan)) lebar alur adalah tiga sampai empat kali lebar kapal. Jika kapal boleh bersimpangan lebar alur adalah 6-7 kali lebar kapal (lihat Gambar 4.22 dan 4.23). Lebar yang memungkinkan untuk alur harus dihitung atau ditentukan sebagai berikut :

1. Standar alur yang terdiri 2 jalur harus ditentukan dengan Tabel 4.1 tergantung pada panjangnya alur dan kondisi navigasi (pelayaran)
2. Alur untuk kapal-kapal penangkap ikan kurang dari 500 ton kotor, lebar alur harus dibuat sesuai dengan situasi yang sebenarnya.

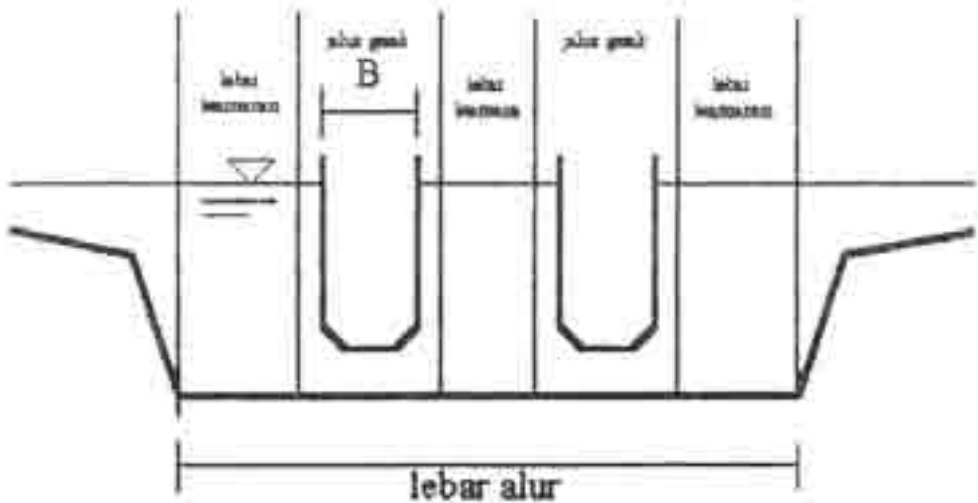
Cara lain untuk menentukan lebar alur diberikan oleh OCDI (1991) Lebar alur untuk dua jalur diberikan oleh Tabel 4.2 . Untuk alur diluar pemecah gelombang, lebar alur harus lebih besar dari pada yang diberikan dalam table tersebut, supaya kapal bisa melakukan gerakan (maneuver) dengan aman dibawah pengaruh gelombang, arus dan sebagainya.

Tabel 4.1 Lebar alur pelabuhan

Panjang Alur Pelabuhan	Kondisi Navigasi	Width (lebar)
2 jalur relative panjang dan lurus	Kapal-kapal yang lewat dengan sering	$7 B + 30 \text{ m}$
	Tidak sering	$4 B + 30 \text{ m}$
2 jalur yang lengkung	Kapal-kapal yang lewat dengan sering	$9 B + 30 \text{ m}$
	Tidak sering	$6 B + 30 \text{ m}$



Gambar 4.22 Lebar alur satu jalur



Gambar 4.23 Lebar alur dua jalur

Tabel 4.2 Lebar Alur Menurut OCDI

Panjang Alur	Kondisi Pelayaran	Lebar
Relatif Panjang	Kapal Sering Bersimpanagn	2 Loa
	Kapal Tidak Sering Bersimpanagn	1,5 Loa
Selain dari alur diatas	Kapal Sering Bersimpangan	1,5 Loa
	Kapal Tidak Sering Bersimpangan	Loa

Sebagaimana dijelaskan dalam Bagian 4.2.2 kapal berlayar membuat lintasan *sinusoidal* dan dengan demikian mencakup 'lebar dasar', yaitu sekitar 1,5 kali lebar kapal. Pengaruh angin, arus dan gelombang memerlukan lebar tambahan, tetapi begitu juga kurangnya visibilitas. Selain itu dibutuhkan keuntungan tertentu, yang bergantung pada jenis alur dan jenis kargo. PIANC, sebelumnya, menyajikan metode untuk konsep desain, yang menjelaskan semua aspek. Untuk bagian lurus lebar alur digambarkan oleh persamaan berikut:

$$W = W_{bm} + 2W_b + \sum W_a \quad (4.11)$$

Untuk alur pelabuhan dua arah jarak pemisahan antara dua jalur (W_p) ditambahkan dan pernyataan ini menjadi:

$$W = 2 \cdot (W_{bm} + W_B + \sum W_a) + W_p \quad (4.12)$$

Nilai-nilai numerik dari masing-masing parameter ditunjukkan pada Tabel 4.3, yang merupakan penyingkatan dari informasi dalam laporan PIANC, tapi hanya untuk manuver moderat dan kecepatan kapal yang lambat.

Hanya dalam kasus berbagai pasang surut besar (lebih dari 4 m) metode perhitungan di atas digantikan oleh pertimbangan lain, yang mengarah ke lebar L_s . Alasannya adalah bahwa jika sebuah kapal berjalan kandas pada satu timbunan alur pelabuhan, hal itu mungkin air surut dan di alur pelabuhan sempit mungkin kandas dengan buritan di tepi berlawanan. Lama kandas di alur pelabuhan biasanya akan berlangsung sampai HW, kapal bisa membobol saat air pasang dan memblokir alur pelabuhan untuk periode yang panjang.

Mengenai lebar tambahan di tikungan, telah disebutkan bahwa ini tergantung pada rasio sudut kemudi dan kedalaman air / draft. Mengambil sudut kemudi dari 20° jalan memanjang kapal di tikungan sebesar $0,35 B$ untuk kedalaman air $1,25 D$. Untuk yang lebih kecil di bawah rangka kapal tambahan ini lebih lanjut menurun menjadi $0,2 B$ di $h = 1,1 D$. Dalam prakteknya untuk menerapkan lebar tambahan hanya dalam kasus kaki lurus sebelah memiliki lebar minimal W_{bm} . Ketika penambahan lebar untuk arus angin, dan termasuk lain lain, disini menyediakan ruang yang diperlukan di tikungan.

Table 4.3 Lebar saluran dalam pada bagian lurus

Width component	Condition	Width (m)
Basic width (W_{bm})	$1.25 \cdot D < h < 1.5 \cdot D$ $H < 1.25 \cdot D$	$1.6 \cdot B_s$ $1.7 \cdot B_s$
Additional width (W_a)		
• prevailing cross-winds	15 – 33 kn 33 – 48 kn	$0.4 \cdot B_s$ $0.8 \cdot B_s$
• prevailing cross-current	0.2 – 0.5 kn 0.5 – 1.5 kn 1.5 – 2.0 kn	$0.2 \cdot B_s$ $0.7 \cdot B_s$ $1.0 \cdot B_s$
• prevailing long current	1.5 – 3 kn > 3 kn	$0.1 \cdot B_s$ $0.2 \cdot B_s$
• prevailing wave height	1 – 3 m > 3 m	$1.0 \cdot B_s$ $2.2 \cdot B_s$
• aids to navigation	VTS	0
• seabed characteristics	Good Soft Hard	$0.1 \cdot B_s$ $0.1 \cdot B_s$ $0.2 \cdot B_s$
• cargo hazard	Medium High	$0.5 \cdot B_s$ $1.0 \cdot B_s$
Separation distance (W_p)	8 – 12 kn	$1.6 \cdot B_s$
Bank clearance (W_b)	5 – 8 kn Sloping edge kn Steep, hard embankment	$1.2 \cdot B_s$ $0.5 \cdot B_s$ $1.0 \cdot B_s$

Sumber: (H.Ligteringen and H. Velsink 2012)

4.3.3 Kedalaman Alur dan Kolam Pelabuhan

Untuk mendapatkan kondisi operasi ideal kedalaman air dikolam pelabuhan dan dialur pelabuhan harus cukup untuk memungkinkan manuver kapal pada muka air terendah dengan kapal bermuatan penuh.

Pasang surut mempunyai pengaruh yang sangat penting pada kedalaman pelabuhan. Tabel 2.3 dalam Bab 2 Pasang surut tertinggi dan rata-rata yang terjadi pada beberapa pelabuhan utama Dunia yang memungkinkan kapal-kapal untuk berlabuh.

Kedalaman kolam dan alur ini ditentukan berdasarkan draft kapal pada saat muatan penuh yang direncanakan untuk menggunakan pelabuhan, khususnya pada permukaan air laut yang rendah dimusim semi. Desain kapal harus berdasarkan pada pertimbangan-pertimbangan ekonomi. Maksudnya kedalaman air untuk pelabuhan didasarkan pada frekwensi kapal-kapal

dengan ukuran tertentu yang masuk ke pelabuhan. Jika kapal-kapal yang terbesar masuk ke pelabuhan hanya satu kali dalam beberapa hari, maka kapal tersebut hanya boleh masuk pada waktu air pasang. Sedangkan kapal-kapal kecil harus dapat masuk ke pelabuhan setiap saat. Untuk mengetahui ketinggian ini keadaan karakteristik tanah (jenis tanah) di dalam alur dan basin harus diketahui.

Kedalaman basin seharusnya 1,05 kali dari draft berbobot penuh dari desain kapal. Mengingat goyangan kapal, keadaan alam seperti gelombang, angin dan arus.

Dimana :

- Kedalaman ini berhubungan dengan bagian atas dari laut yang berombak
- 0,05 = jarak clearance dibagian dalam basin
- 0,15 = jarak clearance dibagian luar basin

Meskipun begitu ketentuan ini tidak seharusnya diterapkan pada semua basin. Ketentuan ini hanya untuk melengkapi kapal-kapal dan basin yang digunakan untuk tempat membuang jangkar atau tambatan kapal khusus. Kedalaman basin untuk kapal-kapal ferry, perbedaan draft antara buritan dan dasar kapal selama muatan harus diperhitungkan. Lebih lanjut, permukaan laut dari suatu basin boleh dibawah level datum, karena perubahan rata-rata musiman permukaan laut lebih besar dari pada perubahan waktu pasang atau dimana basin itu mungkin mengakibatkan gelombang-gelombang yang tinggi, maka pengaruh-pengaruh ini perlu diperhatikan.

Kedalamaman laut minimum yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan yang lain seperti berikut:

$$d = D + \sum_1^n \Delta T_i \quad (4.13)$$

dimana:

- D = draft kapal
- ΔT_i = Kebebasan minimum dari beberapa faktor yaitu:
 $\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3, \Delta T_4, \Delta T_5$
- ΔT_1 = tergantung dari kondisi tanah dasar dan jenis kapal
- ΔT_2 = tergantung tinggi gelombang yang terjadi dan jenis tanah
- ΔT_3 = tergantung kecepatan kapal
- ΔT_4 = tergantung volume endapan/sedimentasi per tahunnya
- ΔT_5 = tergantung teknik pengerukannya

Tabel 4.4 Kebebasan minimum ΔT_1 (m)

Jenis Tanah Dasar	Panjang Kapal (m)		
	>125	125-85	<85
Lumpur	0.20	0.20	0.20
Pasir	0.30	0.25	0.20
Pasir Pasang	0.45	0.30	0.20
Tanah Keras	0.600	0.45	0.30

$\Delta T_2 =$ tergantung tinggi gelombang yang terjadi dan jenis tanah

$$\Delta T_2 = 0,3 H - DT_1 \quad ; \text{untuk } 0,3 H - DT_1 > 0$$

$$\Delta T_2 = 0,3 H \quad ; \text{untuk } 0,3 H - DT_1 > 0$$

ΔT_3 , tergantung kecepatan kapal

$$\Delta T_3 = k.v$$

Dimana :

v = kecepatan kapal merapat

K = koefisien yang tergantung dari dimensi kapal :

$k = 0,033$ untuk panjang kapal > 185 m,

$k = 0,027$ untuk panjang kapal $125 - 185$ m,

$k = 0,022$ untuk panjang kapal $85 - 125$ m,

$k = 0,017$ untuk panjang kapal < 85 m,

ΔT_4 tergantung dari jumlah endapan /sedimentasi per tahunnya = 0,30 m

ΔT_5 tergantung dari teknik pengerukannya = 0,02 m

Contoh 4.1

Untuk menghitung kedalaman laut yang dibutuhkan maka perlu diketahui dimensi kapal tersebut yang direncanakan akan menggunakan fasilitas pelabuhan yaitu :

- Bobot kapal = 10.00 DWT
- Dimensi kapal :
 - Panjang = 145 m
 - Lebar = 19,2 m
 - Tinggi = 12,5 m
 - Draft = 8,5 m

Jawab :

untuk panjang kapal 145 dan material tanah dasar terdiri dari pasir didapatkan:

$$\Delta T_2 = 0,30 \text{ m}$$

Bila tinggi gelombang (H) = 0,80 m

$$\Delta T_2 = 0,3 \cdot 0,8 - 0,3 = 0,24 \text{ m}$$

$$\Delta T_3 = k \cdot v$$

$$= 0,027 \cdot 0,75$$

$$= 0,02 \text{ m}$$

Jadi kebebasan minimum yang harus dipenuhi :

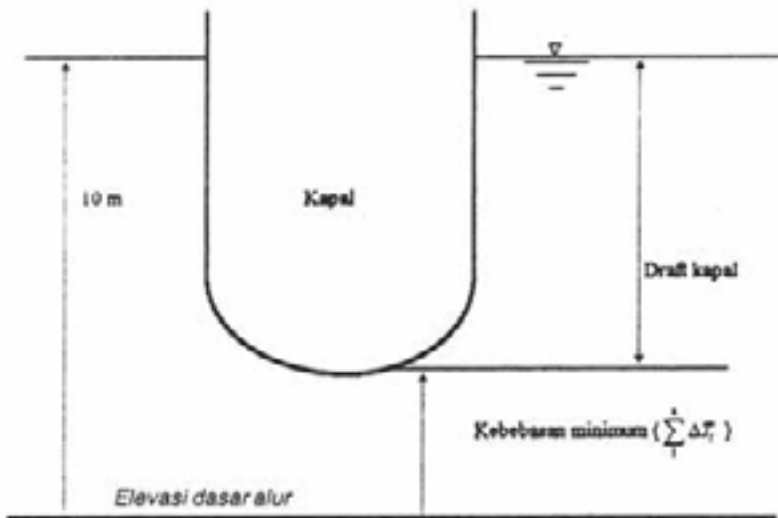
$$d = D + \sum_1^n \Delta T_1$$

$$\Delta T = 0,03 + 0,24 + 0,02 + 0,30 + 0,20$$

$$= 1,06 \text{ m}$$

Jadi kedalaman minimum yang dibutuhkan dihitung dari air surut terendah, agar dapat melayani lalu lintas kapal:

$$d = 8,50 + 1,6 = 9,56 \text{ m} = 10 \text{ meter (lihat Gambar 4.24)}$$



Gambar 4.24 Kedalaman air dan kolam pelabuhan minimum

Kedalaman alur pendekatan tergantung pada sejumlah faktor (lihat Gambar 4.25):

- Draft dari “desain” kapal, yaitu kapal dengan draft terbesar, yang dapat masuk pelabuhan terisi penuh (kapal yang lebih besar harus diringankan sebelum mereka bisa masuk)

- Faktor-kapal terkait lainnya seperti *squat* (penyusutan karena kecepatan kapal) dan *trim* (ketidakrataan rangka bawah kapal karena kondisi beban) dan respon vertikal gelombang (lihat Bagian 4.2.2)
- ketinggian air, terutama yang berkaitan dengan tingkat pasang surut. Tapi gelombang sangat panjang dan gelombang tsunami harus diperhitungkan apabila sering terjadi.
- faktor alur bawah, termasuk variasi dalam tingkat pengerukan dan pengaruh pendangkalan kembali setelah pemeliharaan pengerukan.

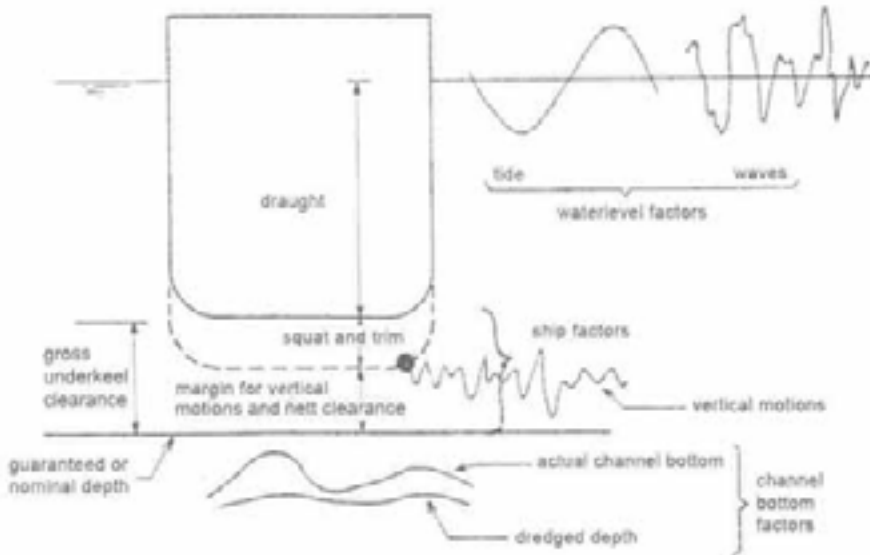


Figure 4.25 Faktor jarak ruangan dibawah lunas kapal

Dalam penilaian awal kedalaman alur pelabuhan (dengan tidak adanya informasi yang dapat dipercaya tentang gelombang dan respon kapal) semua faktor ini dapat disatukan menjadi satu kedalaman lebih dari rancangan rasio diambil 1,1 dalam air terlindung, 1,3 di gelombang hingga ketinggian 1 meter dan 1,5 dalam gelombang tinggi. Sementara nilai-nilai yang tinggi tersebut dapat dibenarkan untuk kapal-kapal besar di gelombang panjang (respon yang lebih tinggi), dalam kondisi Laut Utara itu akan menyebabkan cukup *overdesign*. Metode yang lebih baik adalah untuk menentukan berbagai faktor secara terpisah dan untuk meningkatkan perhitungan maka data lebih handal tersedia. Dalam rumus:

$$h_{gd} = D - h_T + s_{max} + a + h_{net} \quad (4.14)$$

dimana:

- h_{gd} = kedalaman yang diijinkan (dengan memperhatikan utk referensi tetentu)
- D = design draft kapal
- h_2 = elevasi pasang surut diatas tingkat referensi, dibawahnya tidak diijinkan
- S_{max} = maximum tenggelam (depan atau buritan) karena utk yang besar dan langsing
- α = gerakan vertikal untuk merespon gelombang
- h_{no} = faktor keamanan atau jarak ruangan bersih dibawah lunas kapal yang diijinkan

Di banyak negara tingkat referensi untuk grafik laut, termasuk daerah pelabuhan, adalah Bagan Datum (*Chart Datum/CD*), sering didefinisikan sebagai tingkat rendah air yang terendah (LLWS) selama musim semi pasang. Ini paling mudah untuk pelaut seperti dalam 99% dari waktu tingkat air yang sebenarnya adalah di atas CD, memberikan keamanan ekstra untuk kapal mereka. Di Belanda kedalaman air di daerah pesisir dan pelabuhan yang diberikan sehubungan dengan NAP dan karena itu amplitudo pasang surut perlu diperhitungkan. Kedalaman alur pelabuhan di bawah CD seperti yang ditunjukkan pada peta laut dijamin oleh otoritas pemerintah atau pelabuhan yang bertanggung jawab untuk pemeliharaan. Ini berarti bahwa dasar laut yang sebenarnya mungkin dibawah tingkat jaminan atau nominal ini, tergantung pada program pemeliharaan pengerukan.

Nilai h_2 diperkenalkan apabila pelabuhan diputuskan untuk diterapkan pada pasang surut: Kapal-kapal hanya boleh masuk saat periode air pasang. Tak pelak lagi akan mengurangi aksesibilitas ke pelabuhan.

Nilai-nilai S_{max} , α dan h_{no} bersama juga membentuk di bawah lunas izin bruto atau UKC. Nilai ini dapat diperkirakan berdasarkan pengalaman: $S_{max} = 0.5$ m; $\alpha = H_s/2$ (atau amplitudo terkait sehingga tinggi gelombang signifikan dengan asumsi RAO = 1) and h_{no} memiliki nilai tergantung pada jenis tanah di sepanjang saluran, 0,3 m untuk lumpur lunak, 0,5 m untuk dasar berpasir dan 1,0 m untuk tanah keras atau batuan.

Atau S_{max} dan α dihitung lebih tepat. Untuk respon kapal nilai RAO aktual diterapkan untuk iklim gelombang. Untuk yang mempunyai luas dan lebar yang profesional (*squat*) ada sejumlah formula yang berbeda, beberapa yang berlaku dalam kondisi tertentu. Sebuah rumus umum untuk air dangkal diberikan di bawah ini (Barrass, 2004):

$$s = 3.98 \cdot \frac{C_B}{30} \cdot k^{0.81} \cdot v_s^{2.08} \tag{4.15}$$

dimana:

- s = squat [m]
- v_s = kecepatan kapal [m/s]
- C_B = koefisien block [-]
- k = koefisien rintangan (= A_s/A_{ch}) [-]

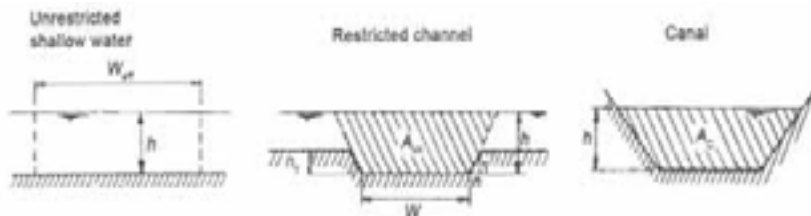
Persamaan (4.15) berlaku untuk kanal, alur pelabuhan terbatas dan air lateral bebas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.26. Dalam kasus terakhir lebar efektif Selat Malaka diperkenalkan untuk menghitung A_{ch} :

$$\frac{W_{eff}}{B_s} = 7.7 + 45(1 - C_w)^2 \tag{4.16}$$

dengan

- C_w = Waterplane area coefficient ($A_w/(D_x \cdot L_x)$) [-]
- A_w = Vessel cross-sectional area in the plane of the water surface [m²]
- L_x = Vessel length [m]

Jelas, tidak ada transisi yang tajam antara air lateral terbatas dan saluran terbatas. Sebuah alur pelabuhan dengan tinggi timbunan bawah air kurang dari 40% dari kedalaman air atau lebar lebih besar dari W_{eff} dianggap lateral terbatas.



Gambar 4.26 Konfigurasi alur pelayaran

Persamaan 4.14 pada dasarnya adalah perhitungan deterministik dengan nilai-nilai sembarang untuk parameter stokastik dan untuk margin keamanan h_{ns} . Oleh karena itu risiko nyata dari sebuah kapal menyentuh bagian bawah saluran tidak diketahui. Untuk menghindari kemungkinan demensi yang berlebihan diperkenalkan metode probabilistik, dimana kedalaman dihitung untuk probabilitas sentuhan bawah. Dalam pendekatan ini profil dasar laut yang sebenarnya juga dapat dimasukkan sebagai parameter stokastik. Rumus desain berbunyi kemudian sebagai berikut:

$$Z = h + h_t - (D + s + a) \quad (4.17)$$

di mana h (= saluran kedalaman referensi tingkat toleransi termasuk pengerukan dan efek pendangkalan), Dan h_t dan D adalah deterministik. Untuk parameter dan fungsi kepadatan probabilitas perlu ditentukan. Selanjutnya analisis probabilistik dibuat di Level II atau Tingkat III untuk probabilitas sentuhan bawah:

$$\Pr(Z < 0) = \alpha$$

Pendekatan ini telah berhasil diterapkan untuk optimasi kedalaman di Euro dan Maasgeul ke Pelabuhan Rotterdam. Kapal desain adalah Berge Stahl (dan kapal curah beberapa dengan rancangan serupa), jumlah panggilan per tahun tidak terlalu tinggi. Berdasarkan studi ekstensif pada risiko kerusakan kapal nilai α telah didefinisikan pada 1/100 transit saluran.

Untuk menyimpulkan, (H.Ligteringen and H. Velsink 2012) menyebutkan tiga aspek yang berkaitan dengan desain kedalaman alur, yaitu (vertikal) pasang surut, konsep kedalaman laut dan efek khusus.

(i) *Jendela Pasang surut*

Hal ini menekankan bahwa untuk alur pelabuhan subyek gerak pasang surut, tidak semua kapal harus mampu untuk memasuki atau meninggalkan pelabuhan pada semua tahap air pasang. Sebaliknya, sering akan lebih ekonomis untuk membatasi alur pelabuhan dilayari, setidaknya untuk kapal terbesar, untuk jangka waktu terbatas saat pasang, yang disebut jendela pasang surut. Ini sebagian besar mengacu pada pasang vertikal, tetapi juga berlaku untuk membatasi arus pasang surut, yaitu untuk pasang horizontal (di samping itu, banyak pelabuhan memiliki jendela gelombang: kondisi gelombang di luar yang masuk pelabuhan tidak diijinkan, baik untuk keselamatan kapal itu sendiri, maupun karena ketidakmungkinan pilot untuk mengendalikan kapal.

Jenis dan jumlah kapal yang terlibat dan sejauh yang berlaku pembatasan - yaitu lebar jendela pasang - harus dipelajari dari kasus ke kasus. Ini biasanya akan ditentukan atas dasar minimalisasi jumlah pembangunan alur pelabuhan dan biaya pemeliharaan disamping itu juga biaya kapal menunggu. Dalam praktek yang sebenarnya sering ada biaya tunggu yang cukup tersembunyi, karena kapal cenderung mengurangi kecepatan dengan baik sebelum masuk pelabuhan, daripada harus menunggu untuk bertambat.

Ketika merancang alur pendekatan dengan jendela pasang surut panjang saluran dan kecepatan kapal harus diperhitungkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.27. Bahkan, jendela perlu didefinisikan pada awal alur pelabuhan sedemikian rupa bahwa kapal-kapal yang masuk dalam jendela dapat melintasi panjang alur pelabuhan yang aman pada kecepatan normal. Dalam keadaan darurat (kegagalan mesin atau tabrakan) harus ada jangkar sepanjang alur pelabuhan, sampai dekat dengan pintu masuk pelabuhan.

(ii) *Kedalaman alur pelabuhan*

Kedalaman dan lebar alur harus dipelihara secara baik untuk penggunaan yang efisien dan efektif dari suatu pelabuhan dan navigasi yang aman dari kapal. Bila suatu alur direncanakan untuk sungai atau pantai, pemeliharaan dengan menggunakan mesin penggali harus diramalkan dengan memperkirakan kecepatan sedimentasi dengan aliran sungai atau hanyutan yang disebabkan oleh ombak/gelombang atau arus.

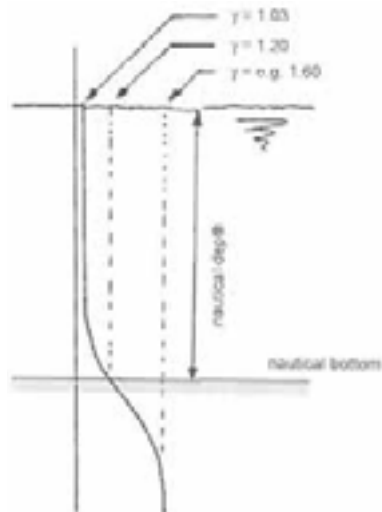
Jika bagian bawah saluran air ditutupi dengan lapisan non-konsolidasi, lumpur cair, definisi yang jelas tentang kedalaman alur pelabuhan tidak ada. apalagi arti perubahan dibawah lunas (keel clearance changes), karena tidak ada bahaya kerusakan kapal ketika berlayar melalui bagian atas lapisan lumpur. Solusinya terletak dalam mendefinisikan “bawah laut” pada tingkat, di mana karakteristik fisik mencapai batas luar yang kontak dengan lunas kapal menyebabkan baik kerusakan atau efek yang tidak dapat diterima pada pengendalian dan manuver. Oleh karena kedalaman laut didefinisikan sebagai jarak vertikal antara bagian bawah laut dan permukaan air bebas.



Gambar 4.27 Pasang surut vertikal

Sumber: (H.Ligteringen and H. Velsink 2012)

Konsep di atas adalah subjek penelitian yang luas baik di laboratorium maupun di laut di Belanda dan Belgia, untuk tujuan mengoptimalkan volume pemeliharaan pengerukan di alur pelabuhan Europort dan Zeebrugge (PIANC, 1983). Tanpa masuk ke hasil detailnya, menentukan dasar laut dengan kepadatan tertentu dari lapisan lumpur cair, lihat Gambar 4.28. Kepadatan $1200\text{kg} / \text{m}^3$ ditentukan untuk Pelabuhan Rotterdam, tapi di lokasi lain nilai yang sedikit berbeda dapat ditentukan. Informasi latar belakang cukup luas pada teknik survei dan efek pada manuver diberikan dalam PIANC 1997.



Gambar 4.28 Definisi kedalaman alur pelabuhan
Sumber: (H.Ligteringen and H. Velsink 2012)

(iii) *Efek khusus*

Draft kapal sementara akan meningkat di tikungan alur pelabuhan karena tumit. Terutama kapal kontainer sensitif terhadap pengaruh ini sudut 3° telah diamati. Untuk B_s dari 50 m ini berarti disiapkan peningkatan draft sekitar 1,3 m yang akan lebih jika kapal ini sebagian atau seluruh pemberat dari (kapal) dihilangkan dalam rangka meningkatkan daya apung (de-swabalast). *Squat* juga akan meningkat sementara jika kapal melewati satu sama lain, terutama di alur pelabuhan dengan air terbatas. Misalnya, nilai *squat* khusus untuk kontainer besar di Terusan Panama adalah 4 ft yang akan berlipat ganda menjadi 8 ft ketika dua kapal tersebut melewati satu sama lain dalam perjalanan. Ini memiliki konsekuensi langsung untuk kedalaman desain alur pelabuhan dan kanal yang mempunyai relevansi.

4.4 Daerah manuver didalam pelabuhan

Ketenangan suatu alur pelabuhan harus ditentukan dengan memperhatikan keadaan-keadaan seperti keamanan kapal, pilot untuk ngurus hal naik kapal dan penggunaan kapal penarik, khususnya didaerah pintu basin dari pelabuhan, ukuran-ukuran perlu diambil untuk mencegah ketenangan yang berhubungan dengan ukuran dan jenis kapal dan ukuran kapal penarik dimana mereka digunakan. Selanjutnya, ombak-ombak yang terjadi dari pengaruh gelombang pantai yang panjang dan gelombang yang dipantulkan pecahan air atau dinding penahan harus diperhatikan/ diperhitungkan.

Tinggi gelombang kritis untuk bongkar muat barang di kolam didepan fasilitas tambatan ditentukan berdasarkan jenis kapal. Ukuran dan kondisi bongkar muat, yang diberikan dalam Tabel 4.5

Tabel 4.5 Tinggi Gelombang Kritis di Pelabuhan.

Ukuran Kapal	Tinggi Gelombang Kritis Untuk bongkar muat
Kapal Kecil	0,3 m
Kapal Sedang dan Besar	0,5 m
Kapal Sangat Besar	0,7 – 1,5 m

Catatan :

- Kapal kecil kapal kurang dari 500 GRT yang selalu menggunakan kolam untuk kapal kecil
- Kapal Sedang dan Besar : Kapal selain kapal keci dan kapal besar
- Kapal Sangat Besar Kapal lebih dari 500.000GRT yang menggunakan dolphin besar dan tambatan dilaut.

Manuver untuk kapal ukuran kecil umumnya tidak menimbulkan masalah khusus, dalam arti bahwa tidak diperlukan langkah-langkah tertentu yang harus diambil dalam dimensi infrastruktur pelabuhan. Diperlukan jarak henti terbatas (lihat Bagian 4.2.1) dan biasanya dapat ditampung di basin pelabuhan konvensional dan ruang manuver. Kemampuan manuver kapal ini umumnya baik, dan setelah memasuki pelabuhan mereka akan sering bermanuver dan berhenti di bawah kekuasaan mereka sendiri.

Untuk kapal-kapal besar situasinya berbeda. Karena jarak berhenti mereka lebih panjang dan kontrol selama manuver berhenti, sebagian besar dari mereka yang berukuran besar tidak akan diizinkan untuk berhenti di bawah kekuasaan mereka sendiri. Ini mungkin sudah berlaku untuk kapal sekitar 50.000 t atau lebih. Ini berarti bahwa selama tidak ada kontrol kapal tunda

yang efektif tersedia, kapal tersebut harus menjaga kecepatan minimum tertentu relatif terhadap air, di mana masih ada kontrol kemudi yang cukup tersedia. Kecepatan ini adalah sekitar 4 kn, kadang-kadang sedikit kurang. Jumlah dan kapasitas kapal tunda tergantung pada ukuran kapal. Untuk kapal dari sekitar 50.000 t 2 (dua) kapal tunda akan cukup, satu operasi di depan dan satu di belakang. Tapi untuk kapal kontainer besar, VLCCs dan kapal curah besar diperlukan 3-4 kapal tunda. Kapasitas dinyatakan dalam tonggak penarik maksimum (*bollard pull*) yang disediakan oleh tarikan. Total tonggak menarik T_B berasal dari ukuran kapal dengan pernyataan berikut:

$$T_B = \frac{\Delta}{100,000} \cdot 60 + 40 \quad (4.18)$$

dimana:

Δ = ship displacement (t)

Misalnya kapal tanker 200.000 t, dengan perpindahan dari 240.000 t akan membutuhkan tonggak total tarik dari sekitar 180 t. Hal ini dapat disediakan oleh 3 kapal tunda dengan kapasitas 60 ton atau 4 kapal tunda dengan 50 ton.

Panjang henti (*stopping length*) menjadi aspek penting untuk lay-out pelabuhan, jika kapal yang dirancang membutuhkan kecepatan masuk di atas nilai minimum dan / atau situasi gelombang luar pelabuhan seperti pilot tidak dapat masuk atau kapal tunda bisa tidak membuat cepat untuk perioda waktu yang cukup. Situasi terakhir terjadi untuk $H_s > 1,5$ m (mungkin meningkat menjadi $H_s > 2$ m dengan menggunakan kapal tunda yang lebih besar). Memperlambat dan panjang henti kemudian diperlukan dalam perlindungan pemecah gelombang, yaitu di dalam air yang relatif terlindung dengan sedikit atau tidak ada arus, dan ditentukan oleh faktor-faktor:

- a) Kecepatan kapal masuk pelabuhan
- b) Waktu yang dibutuhkan untuk mengikat kapal tunda dan manuver mereka di posisi
- c) Final panjang henti

sub (a) Kecepatan masuk (*entrance speed*) pada dasarnya ditentukan oleh persyaratan bahwa kapal harus memiliki kecepatan yang cukup sehubungan dengan air di sekitarnya untuk kontrol kemudi yang tepat, kata 4 kn, dan / atau, sudut melintas tidak boleh melebihi tangen sekitar 1: 4. Syarat pertama menyiratkan bahwa jika ada arus berikut dekat pintu masuk misalnya 2 kn,

kecepatan masuk minimum akan 6 kn. Kondisi kedua menyiratkan bahwa jika ada arus lintas dari 2 kn, kecepatan masuk minimum akan 8 kn. Lihat juga Gambar 4.27. Panjang yang dibutuhkan untuk memperlambat diambil sebagai

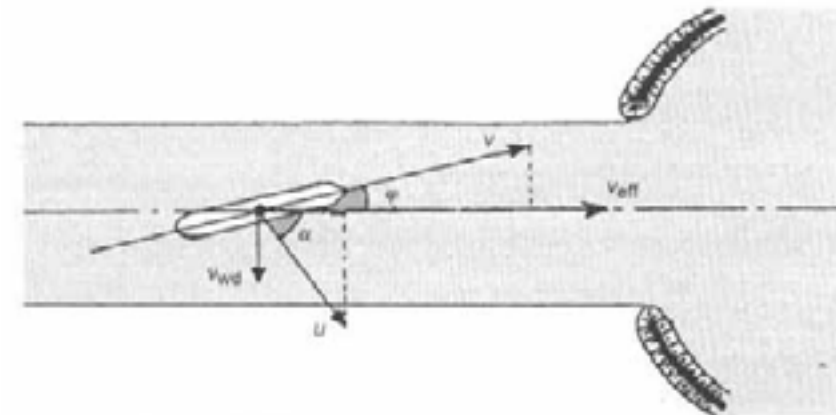
$$L_1 = (v_s - 2) \frac{3}{4} L_s$$

sub (b) Waktu yang diperlukan untuk mengikat kapal tunda sangat tergantung pada keahlian dari kru dan kondisi lingkungan. Dalam keadaan rata-rata saat ini akan berada di kisaran 10 menit. Panjang yang sesuai untuk $L_2 = 10 \cdot 60 \cdot 2 = 1200$ m, dengan asumsi bahwa kapal mempertahankan kecepatan minimum dari 2 m / dt.

sub (c) Final panjang henti adalah relatif singkat. Kapal-kapal besar memberikan kewenangan kepada kapal tunda yang tentu saja mengontrol manuver dan, kemudian, berhenti di sekitar $1,5 \cdot L_s$ dari kecepatan 4 kn (L_3).

Total panjang dalam perlindungan pemecah gelombang sehingga menjadi:

$$L_{tot} = L_1 + L_2 + L_3 \quad (5.19)$$



- v = ship speed with respect to water
- v_{min} = minimum ship speed for rudder control (4 kn)
- v_{eff} = ship speed with respect to channel bottom (design entrance speed)
- u = current velocity
- v_{wd} = transverse speed of ship as a result of wind drift
- ϕ = drift angle
- α_{axis} = angle between current and channel axis

Gambar 4.29 Kapal melintas dibawah pengaruh arus dan angin

- v = kecepatan kapal dengan memperhatikan air
 v_{min} = kecepatan kapal minimum untuk komudi kapal (4 kn)
 v_{eff} = kecepatan kapal dengan memperhatikan dasar alur (desain kecepatan merapat)
 u = kecepatan arus
 v_{wd} = kecepatan kapal melintas sebagai hasil tiupan angin
 φ = sudut merapat
 α_{axis} = sudut antara sumbu saat ini dan alur

Pada Gambar 4.29 kapal harus mempertahankan sudut dengan alur pelabuhan agar supaya menetralkan gaya arus dan angin. Sudut *drift* ini terbatas pada sekitar 14° karena untuk sudut yang lebih besar kontrol kemudi berkurang terlalu banyak.

Kapal berlayar sepanjang sumbu alur pelabuhan dengan suatu kecepatan sehubungan dengan dasar alur pelabuhan v_{eff} , yang dihitung oleh salah satu dari dua persamaan:

- (i) kecepatan minimum dapat dipertahankan, tanpa terlalu banyak sudut drift,

$$v_{eff} = v_{min} \cos \varphi + u \cos \alpha$$

$$\text{asalkan } \tan \alpha \leq \frac{1}{4}$$

$$\text{atau } v_{min} \cos \varphi + u \cos \alpha \geq 4(u \sin \alpha + v_{wd})$$

- (ii) sudut pergeseran maksimum yang diizinkan menentukan kecepatan kapal

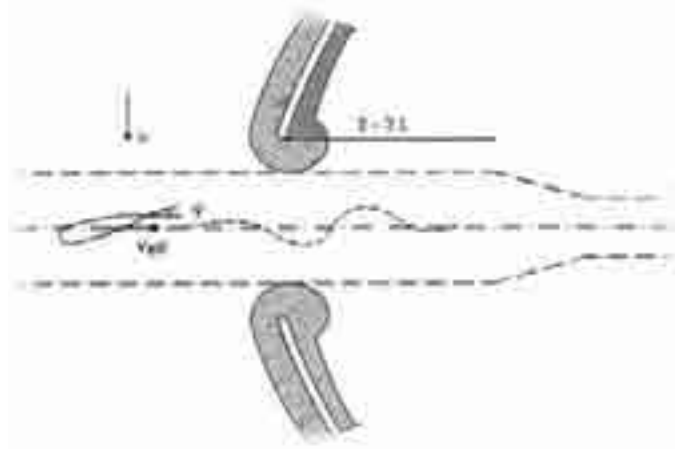
$$v_{eff} = 4(u \sin \alpha + v_{wd})$$

Konsekuensi dari persyaratan di atas adalah bahwa panjang alur pelabuhan didalam kolam pelabuhan dengan mudah ukurannya 2,5 km atau lebih, jika pelabuhan akan dapat menerima kapal besar di bawah standar keselamatan laut yang dapat diterima. Namun, tidak ada aturan internasional tentang dimensi alur pelabuhan dan ruang manuver harus mematuhi dan pedoman PIANC tidak menangani aspek panjang.

Dalam kasus fasilitas pelabuhan untuk curah kering atau cair solusinya adalah selalu menerapkan jendela pasang horisontal, yaitu kapal hanya dapat masuk ketika arus pasang surut di bawah nilai tertentu. Untuk pelabuhan komersial yang sibuk solusi ini tidak dapat diterima, karena keterbatasan akses dan mengakibatkan waktu tunggu.

Catatan: di Euro / Maas Geul (Port of Rotterdam) dan IJ-Geul (Port of Amsterdam) jendela pasang surut horisontal telah diperkenalkan untuk kapal terbesar, bukan karena alasan mengurangi panjang berhenti, tetapi untuk mencapai keselamatan yang lebih umum.

Lebar saluran didalam pelabuhan ditentukan dengan menggunakan pedoman yang sama diberikan dalam Bagian 4.3.2. Jelas lebar tambahan untuk arus dan gelombang tidak berlaku, karena ini dieliminasi oleh pemecah gelombang. Di mana kapal-kapal masuk di bawah pengaruh arus yang melintas, untuk itu segera diperlukan ruang tambahan di belakang pemecah gelombang. Setelah memasuki sudut drift memiliki kecenderungan meningkat karena haluan kapal bergerak keluar mulai saat ini pada peningkatan kapal. Seorang kapten berpengalaman atau pilot akan mengantisipasi gerakan ini dengan memberikan beberapa kemudi di arah yang berlawanan. Dalam prakteknya penyisihan dibuat untuk aspek ini dengan memperluas lebar saluran luar sebesar $2-3 L_s$, di sebelah dalam breakwater sebelum menyempit ke lebar bagian dalam (lihat Gambar 4.30).



Gambar 4.30 Manuver kapal masuk pelabuhan

Didalam kolam pelabuhan (*inner channel*) kapal-kapal harus berakhir dalam *turning basin* atau lingkaran, baik kecil atau besar, yang ditarik oleh kapal tunda menuju tempat merapat (basin) masing-masing. Diameter turning basin ini harus $\geq 2 \cdot L_s$. Dalam kasus luar biasa, untuk pelabuhan-pelabuhan kecil di mana tidak ada kapal tunda yang tersedia, diameternya harus $\geq 3 \cdot L_s$. Dalam kasus arus, misalnya pelabuhan sungai, turning basin harus diperpanjang untuk mengimbangi pergeseran kapal selama manuver. Panjang, lebar dan lay-out dari alur didalam kolam pelabuhan dapat dioptimalkan dengan cara sama sebagai lebar alur pendekatan, yaitu. oleh

simulator pada kecepatan awal saat manuver awalnya, dan dengan misi real-time simulator penuh (lihat Bagian 4.3.1). Juga di sini, sifat stokastik kinerja navigator manusia memainkan peran penting.

Dengan bantuan pengolahan statistik dari hasil simulator, batas-batas alur didalam kolam pelabuhan harus ditentukan sedemikian rupa, dimana probabilitas batas-batas tidak melebihi frekuensi yang dapat diterima. Frekuensi yang diterima ini, pada gilirannya, pada prinsipnya harus menentukan pertimbangan rminimisasi dari biaya keseluruhan, termasuk biaya langsung dan tidak langsung berarti kerusakan jika batas terlampaui.

4.5 Basin Pelabuhan dan Area Tambat

4.5.1 Aspek *Nautical*

Suatu basin seharusnya suatu daerah yang cukup tenang, cukup lebar dan cukup dalam untuk pelabuhan (tempat buang jangkar/tambat) tambatan antara pelampung dan mengemudi kapal dengan lancer yang mungkin diperoleh dengan memperhatikan susunan pemecah gelombang, dermaga dan alur pelabuhan.

Daerah Basin Untuk tempat Buang Jangkar atau Tambatan

- Suatu basin yang digunakan untuk pelabuhan atau tambatan, selain itu didepan suatu dermaga, tonggak tambatan, seharusnya mempunyai area air yang melebihi area lingkaran yang beradius seperti diperlihatkan pada Tabel 4.6 dan sesuai dengan keadaan alam seperti topografi, cuaca.

Tabel 4.6 Daerah Basin untuk buang jangkar atau tambatan

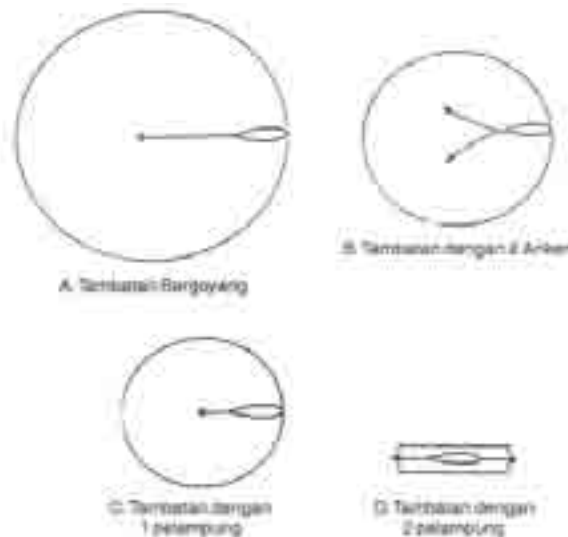
Penggunaan Objektif	Jenis Tambatan	Kondisi Navigasi	Width (lebar)
Melayani di lepas pantai atau penanganan barang tambatan	Tambatan Ayunan	Kapal-kapal yang lewat dengan sering	$L + 6D$
		Tidak Sering	$L + 6D + 30m$
	Tambatan dengan 2 Anker	Kapal-kapal yang lewat dengan sering	$L + 4.5 D$
		Tidak Sering	$L+4.5D+25m$

- Keadaan basin untuk pelampung tambatan, radius lingkarannya dapat diperkecil dimana nilai ini ada dalam Tabel 4.7. Sekiranya perubahan horizontal dari pelampung diperkirakan besar karena air pasang, maka radius harus dirubah agar sesuai. (Lihat Gambar 4.31)

Tabel 4.7 Luas Basin untuk pelampung tambatan

Jenis Tambatan	Area
1. Pelampung Tambatan	Lingkaran dengan radius $(L + 25)m$
2. Pelampung Tambatan	Segi Empat, panjang $(L+50)m$ dan lebar $(L/2)$

- Suatu basin untuk tambatan didepan suatu dermaga, tiang dermaga terapung harus mempunyai area/luar air yang sempurna. Panjang minimum harus didapatkan dengan menambahkan kelebaran dan panjang total kapal, untuk memperoleh keamanan dan gampang untuk kapal-kapal berlabuh dan berangkat.
- $L =$ Panjang kapal
- Lebar basin antara dermaga yang berhadapan harus ditentukan dengan memperhatikan kondisi seperti ukuran kapal, banyaknya kapal berlabuh dan penggunaan kapal penarik. Suatu basin antara dermaga yang paralel harus mempunyai kelebaran minimum $8B$ dimana B adalah lebar dari kapal terbesar.



Gambar 4.31 Daerah untuk pelampung dan anker penambat

- Untuk menentukan lokasi, perhatian harus diberikan sebagai berikut:
 - a. Deviasi berlabuh dengan normal atau posisi pengangkaran.
 - b. Jarak keselamatan untuk kapal-kapal yang berlabuh dengan muatan yang membahayakan.

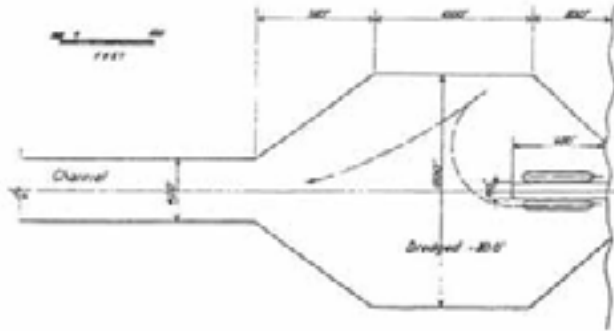
Area Basin untuk Manuver Kapal

Turning Basin

Radius minimum perputaran kapal yang diisyaratkan adalah sama dengan dua kali panjang kapal terbesar yang menggunakan pelabuhan tersebut tapi radius minimum yang dibutuhkan sesungguhnya adalah sama dengan satu kali panjang kapal terbesar yang menggunakan pelabuhan tersebut, karena diperlukan kehati-hatian/keamanan dalam pergerakan kapal. Area basin untuk belokan kapal harus melebihi area lingkaran dengan radius 1,5 kali panjang kapal total. Supaya bisa membelokkan kapal dengan menggunakan sebuah anker atau kapal penarik, area harus melebihi area lingkaran yang beradius dengan panjang kapal yang terbesar. Meskipun begitu untuk basin yang sangat tenang dan untuk kapal-kapal dengan kemampuan belok yang tinggi akan dapat diperkecil dengan tidak menghalangi haluan belokan. Karena ukuran basin putar tergantung pada ukuran kapal dan kemudahan gerak berputar kapal, selanjutnya ukuran tersebut dapat dibedakan dalam empat macam.

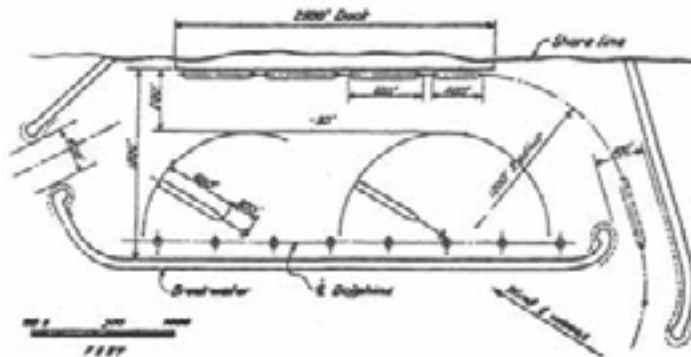
1. Ukuran ruang optimum untuk dapat berputar dengan mudah memerlukan diameter empat kali panjang .
2. Ukuran menengah ruang putar dengan sedikit kesulitan dalam berputar mempunyai diameter dua kali panjang kapal terbesar yang menggunakannya. Gerak putaran akan lebih lama dan dapat dilakukan oleh kapal dan bantuan kapal tunda.
3. Ruang putaran kecil yang mempunyai diameter kurang dari dua kali panjang kapal. Gerakan berputar dapat dilakukan jangkar dan kapal tunda
4. Ukuran minimum ruang putaran harus mempunyai diameter 20% lebih panjang dari panjang kapal terbesar yang menggunakannya, dalam hal ini untuk membantu perputaran, kapal harus ditambat pada suatu titik tetap misalnya dengan pelampung, dermaga atau jangkar.

Seperti misalnya pelabuhan dengan dermaga pier dengan jumlah tamabatan satu dan tempat berputarnya kapal (turning basin) dan alur pelabuhan dari laut terbuka yang diperlihatkan seperti pada Gambar 4.32. Pelabuhan ini membutuhkan lahan yang minimum dan dapat disinggahi hanya oleh dua kapal yang berukuran 500 ft. Pelabuhan buatan ini dibangun dengan mengeruk alur pada daerah yang dangkal terlindung oleh pantai dan pulau-pulau.



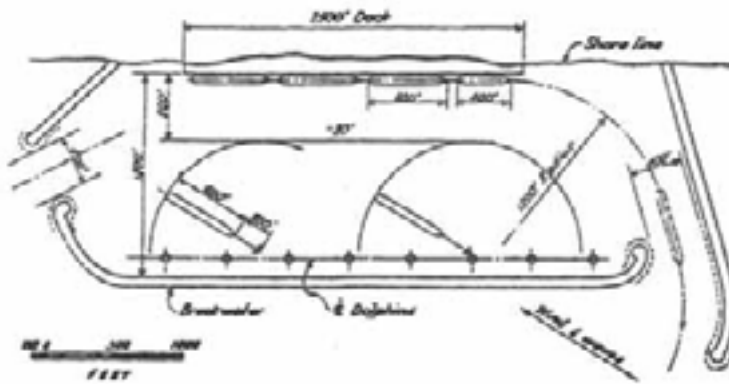
Gambar 4.32 Tipikal lay-out pelabuhan buatan untuk basin pelabuhan yang sangat kecil

Sedangkan Gambar 4.33 diperlihatkan tipe kedua dari pelabuhan mempunyai keterbatasan karena kedalaman kolam pelabuhan. Disini angin dan gelombang datangnya dari satu arah dan gelombang ditahan oleh pemecah gelombang yang sejajar dan menyambung pantai. Disini diperlukan membatasi lebar pelabuhan dan penggunaan pemecah gelombang sebagai dermaga atau quay yang dibangun untuk melayani dua kapal yang berukuran 600 ft dan dibuat dermaga dolphin untuk membantu kapal sewaktu maneuver atau berputar.



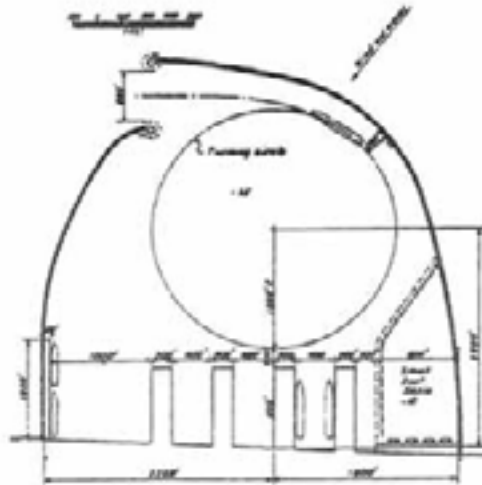
Gambar 4.33 Pelabuhan Buatan yang Mempunyai Keterbatasan Kedalaman Kolam Pelabuhan.

Salah satu tipe pelabuhan memanjang dan sempit yang mempunyai pintu pelabuhan masuk disalah satu ujung dan pintu keluar diujung yang lainnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.34. Pelabuhan buatan tersebut mempunyai ukuran sedang dengan pintu masuk dan pintu keluar, yang mempunyai dermaga tipe warf dengan panjang 2500 ft untuk bertambat tiga kapal dengan ukuran 400 ft dan satu kapal dengan ukuran 600 ft. Lebar pelabuhan adalah 1500 ft dan didekat pemecah gelombang yang sejajar pantai dilengkapi dengan *mooring dolphin* untuk tempat tahanan dua kapal sebagai tempat tunggu selama dermaga masih digunakan.



Gambar 4.34 Pelabuhan buatan ukuran sedang dengan pintu masuk dan pintu keluar

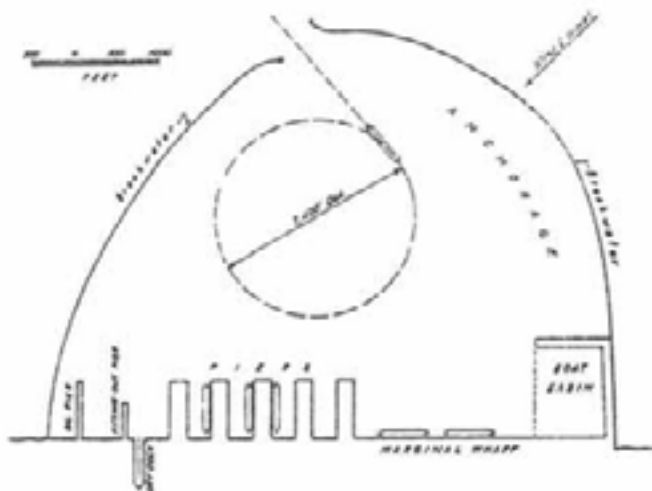
Contoh pelabuhan lain yang juga merupakan pelabuhan buatan dengan dua pemecah gelombang dan satu pintu pelabuhan dengan beberapa buah dermaga serta dilengkapi tempat berputarnya kapal yang yang terbesar yang menggunakan pelabuhan tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 4.35. Walaupun mempunyai tempat perputaran kapal yang cukup luas, namun pelabuhan tersebut hanya mempunyai tempat untuk penjangkaran kapal yang sempit sehingga kapal-kapal yang akan keluar masuk pelabuhan untuk merapat didermaga harus sangat hati-hati dan kapal-kapal yang menunggu giliran untuk bertambat agar penempatannya diatur dengan hati-hati agar tidak mengganggu kapal-kapal yang menuju dan keluar dermaga.



Gambar 4.35 Pelabuhan buatan dengan ukuran sedang

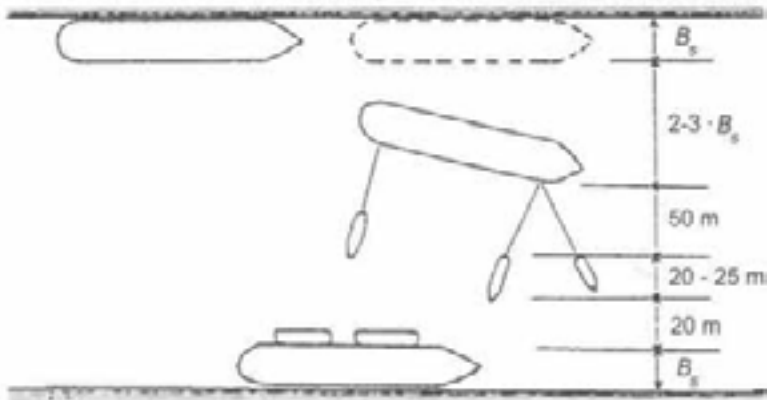
Gambar 4.36 memperlihatkan pelabuhan buatan yang cukup besar dilengkapi dermaga tipe warf dan pier untuk melayani 14 (empat belas) kapal dan sejumlah kapal-kapal kecil, serta tempat berputarnya kapal dan daerah dengan draft yang dangkal untuk penjangkaran kapal dengan maksud melindungi kapal dari gelombang atau menunggu giliran untuk bertambat di dermaga.

Untuk melindungi pelabuhan dari gelombang dan arus dibuat pemecah gelombang yang dibangun pada daerah atau lokasi yang mempunyai kedalaman yang relatif dangkal.



Gambar 4.36 Pelabuhan buatan yang besar yang dilengkapi dengan tempat penjangkaran

Basin pelabuhan harus diberikan lebar cukup aman untuk gaya penarik dan penarik diluar kapal, termasuk daerah merapat lainnya. Untuk kapal kargo dan kontainer konvensional, lebarnya adalah 4 sampai 5. $B_s + 100$ (Gambar 4.35). Jika $B_s = 25$ m (kapal kargo umum konvensional), ini berarti lebar basin diantara 200 - 225 m; jika $B_s = 32$ m (kapal kontainer), lebar basin harus sekitar 230 sampai 260 m. (lihat Gambar 4.37)



Gambar 5.37 Lebar Basin

Dalam kasus basin yang sangat panjang, katakanlah 1.000 m atau lebih, diharapkan bahwa kapal dapat berputar dalam basin. Lebar yang diperlukan adalah sekitar $L_s + B_s + 50$.

Untuk tanker besar atau curah, lebar basin yang diperlukan sekali dapat juga untuk digunakan dua sisi dari basin adalah 4 sampai 6. $B_s + 100$ m. Penerapan nilai yang lebih rendah berlaku untuk kondisi angin yang menguntungkan, ketinggian frekwensi dan kekuatan angin melintang. Untuk $B_s = 45$ m, $5 \cdot B_s + 100$ m menghasilkan lebar basin 325 m.

Tidak dapat diabaikan dalam perencanaan basin pelabuhan merupakan daerah yang terpisah untuk kapal kecil, seperti kapal tunda, kapal datar dan peluncuran kapal dari perbaikan/produksi. Karena ukuran kapal ini lebih sensitif terhadap gangguan gelombang dan karenanya lokasi pembuatan pelabuhan kecil di satu sisi harus dilindungi dengan baik dan di sisi lain tidak terlalu jauh dari pintu masuk pelabuhan, di mana mereka harus mengambil kapal yang masuk dan melepaskan jangkar atau pengikat untuk berangkat. Kadang-kadang ini dicapai dengan menciptakan basin terpisah (dengan kedalaman yang sesuai) dilindungi oleh breakwater sendiri. Panjang dermaga dan permukaan daerah basin diperlukan tergantung pada jumlah kapal tunda (lihat juga Bagian 4.4)

Berkenaan dengan orientasi merapat/berlabuh ke dermaga, gelombang angin dan (dalam kasus berlabuh di lepas pantai atau tempat berlabuh di sungai) kondisi arus sangat menentukan. Idealnya untuk berlabuh yang aman, saat merapat sudutnya diusahakan sekitar 30° dari arah angin yang bertiup. Arus samping saat merapat harus dibatasi sampai 3 kn dan tegak lurus terhadap kecepatan kapal merapat yang tidak lebih dari 0,75 kn (OCIMF, 1997).

Radius minimum perputaran kapal yang diisyaratkan adalah sama dengan dua kali panjang kapal terbesar yang menggunakan pelabuhan tersebut tapi radius minimum yang dibutuhkan sesungguhnya terbesar yang menggunakan pelabuhan tersebut tapi radius minimum yang dibutuhkan sesungguhnya adalah sama dengan satu kali panjang kapal terbesar yang menggunakan pelabuhan tersebut, tetapi dipertimbangkan kehati-hatian dalam pergerakan kapal. Area basin untuk belokan suatu kapal harus melebihi area suatu lingkaran dengan radius 1,5 kali panjang kapal total. Supaya bisa membelokkan kapal dengan menggunakan sebuah anker atau kapal penarik, area harus melebihi area lingkaran yang beradius dengan panjang kapal yang terbesar. Meskipun begitu untuk basin yang sangat tenang dan untuk kapal-kapal dengan kemampuan belok yang tinggi akan dapat diperkecil dengan tidak menghalangi haluan belokan. Karena ukuran basin putar tergantung pada ukuran kapal dan kemudahan gerak berputar kapal, selanjutnya ukuran tersebut dapat dibedakan dalam empat macam.

5. Ukuran ruang optimum untuk dapat berputar dengan mudah memerlukan diameter empat kali panjang.
6. Ukuran menengah ruang putar dengan sedikit kesulitan dalam berputar mempunyai diameter dua kali panjang kapal terbesar yang menggunakannya. Gerak putaran akan lebih lama dan dapat dilakukan oleh kapal dan bantuan kapal tunda.
7. Ruang putaran kecil yang mempunyai diameter kurang dari dua kali panjang kapal. Gerakan berputar dapat dilakukan jangkar dan kapal tunda
8. Ukuran minimum ruang putaran harus mempunyai diameter 20% lebih panjang dari panjang kapal terbesar yang menggunakannya, dalam hal ini untuk membantu perputaran, kapal harus ditambat pada suatu titik tetap misalnya dengan pelampung, dermaga atau jangkar.

Dimensi dari suatu basin tambat harus ditentukan secara hati-hati dengan memperhitungkan penggunaan kapal penarik, pendorong haluan dan buritan pengaruh angin dan arus.

4.5.2 Tinggi Gelombang pada Kolam Pelabuhan

Gelombang dalam kolam pelabuhan mungkin telah dihasilkan secara lokal, atau gelombang yang telah menembus dari luar. Karena keterbatasan data *fetch* lokal yang membentuk gelombang untuk itu kita mengambil data gelombang secara umum yang dihasilkan secara lokal akan lebih kecil dan memiliki jangka waktu yang singkat. Tapi, beberapa pelabuhan yang memiliki data arah angin yang lengkap tentunya tidak dapat diabaikan begitu saja, misalnya Rotterdam, New York, pelabuhan Mersey di Inggris, Bombay dan bagian pelabuhan Singapura. Jika mengambil, misalnya, dalam kisaran 5 sampai 10 km, tinggi gelombang (H_s) kira-kira akan lebih dari 1 m untuk angin Beaufort 7, dan 1,7 m untuk Beaufort 9, dengan periode T_p , dari 3 sampai 3,5 detik. Apalagi, gelombang ini bisa sangat curam, mereka akan menghambat kapal tunda dan kapal-kapal kecil, tetapi kapal besar tidak akan terpengaruh sama sekali.

Penetrasi gelombang ke pelabuhan yang sebagian besar terjadi melalui pintu masuk pelabuhan. Namun, juga limpasan dari pemecah gelombang rendah menyebabkan transmisi gelombang melalui celah pemecah gelombang. Yang terakhir terutama untuk gelombang periode yang sebelumnya atau yang sudah ada dapat berkontribusi untuk pergolakan gelombang didalam kolam pelabuhan. Sebagai contoh, di pelabuhan luar pelabuhan Visakhapatnam di pantai timur India, transmisi gelombang melalui lapisan baja primer cukup porous dan gelombang sekunder dari breakwater selatan merupakan penyebab penting untuk masalah gelombang lokal.

Fenomena ini sangat diperlukan untuk mengakses besarnya gelombang ini pada tahap desain breakwater, karena sulit untuk merancang cara yang tepat untuk mengurangi penetrasi gelombang setelah pemecah gelombang dibangun.

Secara umum, masalah yang dihadapi untuk membatasi penetrasi gelombang di pelabuhan meningkat sejalan dengan meningkatnya periode gelombang. Dalam hal ini, sebuah gelombang laut dengan periode urutan 12 sampai 16 detik lebih sulit untuk berlindung dari gelombang angin periode 6 sampai 8 detik. Untuk periode gelombang yang masih panjang, sebagai gelombang naik turun (*oscillation*) dengan jangka waktu 2 sampai 3 menit atau lebih, satu-satunya solusi yang sering untuk meminimalkan resonansi dalam desain wilayah perairan pelabuhan (lihat Bagian 4.5.3).

Lay-out pelabuhan harus memenuhi dua kebutuhan yang berbeda sejauh penetrasi gelombang yang menjadi perhatian: (i) kondisi operasional harus memungkinkan bongkar muat kapal yang efisien di dermaga, dan (ii) untuk kondisi terbatas, kapal harus mampu tetap di tempat bersandar dengan aman.

(i) *Kondisi Operasional*

Ketenangan air di Basin harus dijaga agar kapal dapat beroperasi dengan lancar. Untuk menjaga ketenangan diatas, suatu perencanaan yang baik harus dibuat sesuai kondisi laut seperti gelombang-gelombang yang bercabang, gelombang-gelombang yang berlapis, dan yang dipantulkan. Tinggi gelombang kritis untuk penanganan barang disuatu basin yang langsung berhadapan dengan fasilitas-fasilitas pelabuhan dan harus disesuaikan sesuai spesifikasi seperti ditunjukkan pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Tinggi gelombang kritis untuk penanganan barang

Fasilitas-fasilitas	Tinggi Gelombang Kritis Untuk Penanganan Barang
Basin untuk kapal-kapal Kecil (small crafts)	30 m
Lain-lain	50-70 cm

Pada tahap desain awal (master plan atau studi kelayakan) penetrasi gelombang untuk kondisi operasional sering diperkirakan atas dasar perhitungan manual (Cornu atau diagram penetrasi gelombang dalam *Coastal Engineering Manual*) atau model komputer sederhana. Kriteria di berbagai lokasi dermaga yang diijinkan untuk bongkar / muat untuk jenis kapal yang relevan dalam berbagai tinggi gelombang (lihat Tabel 4.9).

Table 4.9 Batas ketinggian gelombang H_s

Type of vessel	Batas ketinggian gelombang H_s dalam m 0° (kepala atau buritan)	45° – 90° (beam)
General cargo	1.0	0.8
Container, Ro/Ro ship	0.5	
Dry bulk (30,000-100,000 t); loading	1.5	1.0
Dry bulk (30,000-100,000 t); unloading	1.0	0.8 – 1.0
Tankers 30,000 t	1.5	
Tankers 30,000 – 200,000 t	1.5 – 2.5	1.0 – 1.2
Tankers > 200,000 t	2.5 – 3.0	1.0 – 1.5

Hal ini jelas bahwa kriteria ketinggian air yang cukup kasar, karena periode gelombang dan efek dari sistem penambatan pada gerakan kapal tidak diperhitungkan. Untuk desain rinci dari lay-out pelabuhan tidak hanya model penetrasi gelombang lebih akurat diterapkan, namun gelombang tinggi yang diterjemahkan ke dalam gerakan kapal. Oleh karena itu desain harus memenuhi kriteria operasional dalam hal gerakan kapal dalam model yang relevan (OCIMF, 1997 dan PIANC, 1995). Tabel 4.10 memberikan ringkasan untuk jenis kapal yang berbeda.

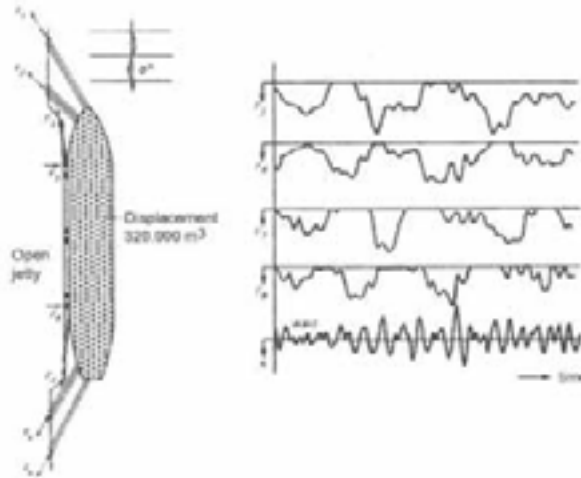
Table 4.10 Gerakan kapal yang diijinkan

Type of ship	Bergelombang (m)	Amplitudu gerakan kapal Sway (m)	mengoleng (°)	Mengalun (m)
Tankers	2 – 3	2 – 3	1	1.5
Bulkers	0.5 – 1.5	0.5 – 1.0	-	0.3 – 0.5
Container ship	0.5	0.3	1	0.3
Ro/Ro ship	0.3	0.2	0	0.1

Beberapa klarifikasi berlaku untuk nilai-nilai Tabel 4.10

- Gelombang yang diijinkan dan gerak kapal tanker mengoleng jauh lebih tinggi karena kapal yang (memuat) dimuati di tengah pusat kapal. desain rinci jenis kapal yang bertambat di dermaga dan jenis pemuatan lengan menentukan gerak yang diijinkan sebelumnya.
- Gerakan dari kapal kontainer lebih penting karena presisi tinggi diperlukan untuk (memuat) kontainer dan terjadi penundaan bongkar apabila container terjebak dalam panduan sel.
- Kapal Ro / Ro yang khusus sensitif terhadap gerakan kapal karena koneksi jalan dengan dermaga.

Analisis gerak kapal dilakukan dengan model komputer canggih, seperti diuraikan dalam Bagian 4.2.2. Sebuah contoh khas dari hasil perhitungan tersebut diberikan pada Gambar 4.38.



Gambar 4.38 Gaya pada fender dan mooring untuk tanker dalam puncak gelombang (sumber: Deltares)

(ii) *Kondisi terbatas*

Untuk tinggi gelombang di atas batas operasional bongkar muat kapal akan terganggu, namun kapal tetap berlabuh sampai kondisi keadaan batas tercapai. Di pelabuhan, di mana gangguan gelombang tidak memainkan peran (pelabuhan terkunci di belakang atau hulu) kondisi ini tidak terjadi dan kapal dapat tinggal di dalam bahkan dalam cuaca ekstrim. Banyak dari pelabuhan yang lebih lama adalah contoh dari jenis ini. Kebanyakan pelabuhan baru dikembangkan tidak mampu menjadi seperti itu dan kondisi yang menentukan sebagai kompromi; keseimbangan dicapai antara dua fitur yang diinginkan tapi tidak kompatibel (*trade-off*) antara biaya untuk pemecah gelombang dan biaya pengiriman yang berkaitan dengan hilangnya waktu karena kapal harus meninggalkan tempat bersandarnya. Dalam kasus berlabuh di lepas pantai dapat dipilih batas negara pada kondisi gelombang satu tahun, sedangkan dalam kasus basin pelabuhan tertutup 1/10 tahun mungkin lebih tepat. Dalam semua kasus gaya pada tambatan dan fender harus dalam batas-batas yang diijinkan. Aspek yang menarik di sini adalah bahwa fender dapat dirancang cukup kuat, tetapi bahwa jumlah dan kekuatan yang diperbolehkan dari tali tambat sering faktor penentu. Untuk menentukan tali tambat dan gaya fender membutuhkan dibutuhkan lagi perhitungan komputer (lihat Bagian 4.2.2) atau model bahkan model fisik dalam kasus geometri pelabuhan / atau dasar laut yang kompleks. Rincian lebih lanjut tentang jenis tali tambat dan fender dan karakteristiknya akan diuraikan dalam Bab 7.

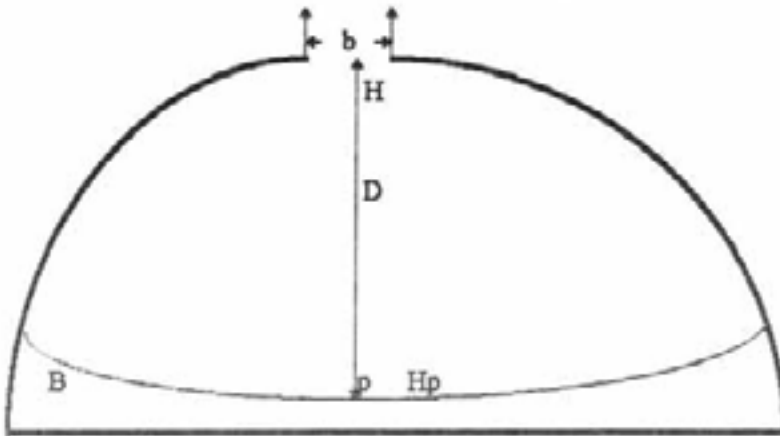
Gelombang dari laut dalam akan masuk ke pelabuhan melalui pintu pelabuhan. Dalam perjalanannya masuk kepelabuhan, tinggi gelombang berkurang secara berangsur-angsur karena adanya proses difraksi yaitu menyebarnya energy gelombang keseluruh lebar daerah perairan pelabuhan. Tinggi gelombang dikolam pelabuhan dapat dihitung dengan rumus Stevenson, rumus tersebut hanya memberikan hasil perkiraan untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas dari kondisi gelombang dikolam diperlukan tes model hidraulis.

Rumus Stevenson mempunyai bentuk: (lihat Gambar 4.39)

$$h_p = H \left[\sqrt{\frac{b}{B}} - 0.02^4 \sqrt{D} \left(1 + \sqrt{\frac{b}{B}} \right) \right] \quad (4.20)$$

dimana:

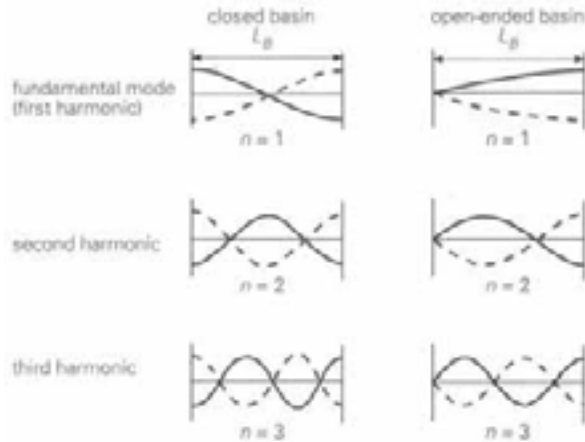
- h_p : ketinggian gelombang pada setiap titik p di dalam kolam pelabuhan (ft)
- H : ketinggian gelombang di luar kolam pelabuhan (ft)
- b : lebar pintu pelabuhan (ft)
- B : Lebar pantai pelabuhan (ft)
- D : jarak dari pintu pelabuhan ke titik (p) pengamatan (ft)



Gambar 4.39 Penjelasan Rumus 4.20

4.5.3 Resonansi Basin Pelabuhan

Dalam hal periode gelombang datang sama atau mendekati periode alami osilasi dari basin pelabuhan, fenomena resonansi akan terjadi. Hal ini dapat menyebabkan gelombang lokal jauh lebih tinggi dan, akibatnya, untuk masalah yang lebih parah untuk kapal di dermaga. Jika kolam pelabuhan memiliki kedalaman kurang lebih seragam dan bentuk persegi panjang, periode alami osilasi T_n adalah sebagai berikut (lihat Gambar 4.40):



Gambar 4.40 Oscilason di Basin Pelabuhan

kolam pelabuhan tertutup

$$T_n = \frac{2 \cdot L_B}{n} \cdot \frac{dy}{\sqrt{gD}}, \text{ with } n = 1, 2, \dots \tag{4.21}$$

kolam pelabuhan terbuka

$$T_n = 4 \cdot L_B (2n - 1) \cdot \frac{1}{\sqrt{gD}}, \text{ with } n = 1, 2, \dots \tag{4.22}$$

Kondisi basin tertutup akan berlaku untuk basin dengan pintu masuk sangat sempit dan melintasi osilasi.

Dalam kasus geometri basin yang lebih kompleks dan variabel kedalaman, model matematika harus digunakan untuk menentukan T_n , di basin yang berbeda.

Fenomena ini harus dihindari atau diminimalkan saat tahap perencanaan pada saat pemilihan lay-out dan jika perlu dengan memodifikasinya. Mengubah ukuran basin pelabuhan sering tidak efektif, karena resonansi kemudian terjadi untuk jangka waktu gelombang sedikit lebih tinggi atau lebih rendah. Pendekatan terbaik adalah untuk menghindari bentuk biasa dan pembatasan sedapat mungkin.

Masalah resonansi pelabuhan sangat nyata di sepanjang batas lautan, karena panjang periode gelombang ($T_p = 10-16$ detik) dan terjadinya gelombang panjang dengan jangka waktu antara 30-300 detik. Meskipun gelombang kedua memiliki amplitudo kecil, saat membuat resonansi mereka bisa menjadi gangguan. Faktor tambahan adalah bahwa gelombang panjang tersebut dengan mudah melewati pemecah gelombang jenis miring (*rubble*

mound), jika inti pemecah gelombang sedikit berpori. Oleh karena lapisan ketiga adalah untuk menghindari resonansi maka adalah mungkin untuk membuat inti dari pemecah gelombang yang kedap air.

Dalam hal pelabuhan resonansi terjadi setelah pelabuhan dibangun lebih sulit untuk mengurangi masalah. Menempatkan tambahan (kedap) pemecah gelombang dekat dengan pintu masuk ke kolam pelabuhan adalah salah satu metode. Perawatan harus dilakukan agar navigasi tidak terhalang oleh struktur baru. Langkah lainnya adalah untuk membuat redaman tambahan pada akhir basin tertutup, tapi ini sering bertentangan dengan fungsi terminal. Selain itu efek peredam dari pantai mengeluarkan gelombang yang sudah masuk sangat terbatas. Dalam kasus seperti itu adalah lebih mudah untuk memberikan tambahan, tambatan kaku dari sisi dermaga untuk mengurangi efek dari resonansi pada gerakan kapal. Sebuah perkembangan baru dalam kapal tambat, yang sangat menarik dalam hal ini yang disebut *vakum pad* yang meminimalkan gerakan kapal horisontal.

4.6. Aspek Morfologi

Dalam tiga cara yang berbeda proses morfologi mempengaruhi lay-out pelabuhan:

- (i) Pengaruh pelabuhan pesisir dengan pemecah gelombang pada transportasi littoral, sering mengakibatkan endapan dan erosi pada garis pantai yang berdekatan.
- (ii) Pendangkalan pada alur pendekatan dan di daerah dekat dengan pintu masuk pelabuhan, yang mengarah ke pemeliharaan pelabuhan dengan pengerukan.
- (iii) Transportasi sedimen pada daerah pelabuhan mengarah ke deposisi dan pemeliharaan dengan melakukan pengerukan.

4.6.1 Transportasi Littoral

Di Bagian 3.4.4 fungsi pemecah gelombang adalah untuk mencegah transportasi littoral tersebut. Dalam menentukan panjang pemecah gelombang berlaku dua kriteria:

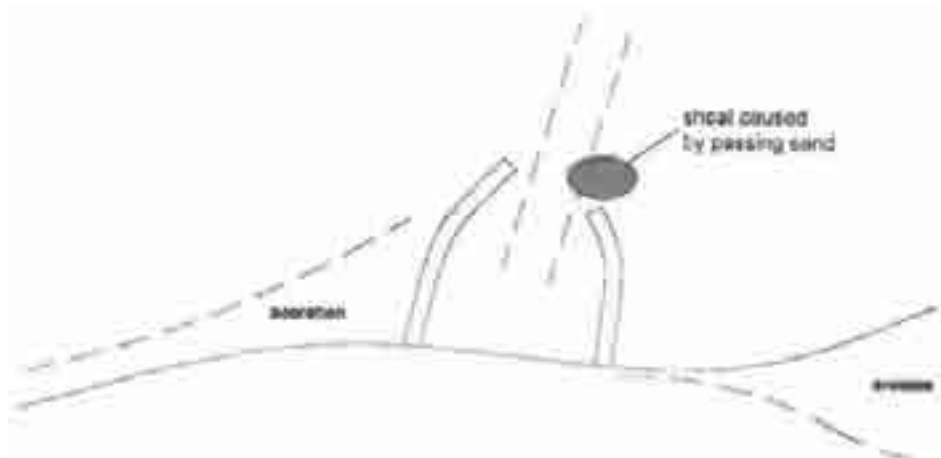
- (i) Lebar zona gelombang pecah. Ini bervariasi, namun, dengan tinggi gelombang dalam air (dalam pendekatan pertama kedalaman saat gelombang pecah $d_{\frac{1}{2}} = 1.6 \cdot H_s$) dan pertanyaan harus dijawab untuk bagaimana frekuensi badai yang terjadi sampai pada sepanjang pemecah gelombang diambil sebagai

kriteria dalam hal ini. Kompromi dicari antara frekuensi sangat rendah dari kejadian yang mengarah ke pemecah gelombang panjang tapi endapan minimum, dan frekuensi tinggi dengan pemecah gelombang pendek dan pemeliharaan pengerukan yang besar. Sebagai pendekatan pertama kondisi gelombang tahunan sering digunakan, tetapi dalam optimasi desain minimum biaya modal konstruksi + biaya pemeliharaan / pengerukan harus ditentukan.

- (ii) Kapasitas penyimpanan di sisi pemecah gelombang dari transportasi littoral datang. Sekali lagi itu adalah pertanyaan ekonomi di mana biaya pemecah gelombang dan pemeliharaan dengan pengerukan harus diminimalkan. Tetapi juga soal jaminan kedalaman alur pendekatan. Proses penambahan akibat endapan di satu sisi kemungkinan dalam kasus pemecah gelombang relatif singkat, mengisi segitiga antara garis pantai asli dan pemecah gelombang, setelah terjadi transportasi littoral. Ini akan menyebabkan percepatan pendangkalan di alur pendekatan seperti yang ditunjukkan dalam banyak pelabuhan yang ada (lihat Gambar 4.41). Jika pendangkalan ini mencapai di atas yang direncanakan (lihat Gambar 4.42), akses kapal terbesar akan diblokir, tentunya tidak dapat diterima.

Untuk perencana pelabuhan ini berarti seperti berikut:

- Jika ada transportasi yang substansial di kedua arah pelabuhan membutuhkan dua pemecah gelombang, sampai ke kedalaman yang cukup untuk menghindari transportasi seketika yang menyebabkan pengendapan pada alur pendekatan dan kolam pelabuhan.



Gambar 4.41 Pengaruh pelabuhan pada transport littoral

- Jika transportasi pesisir dominan dalam satu arah, satu pemecah gelombang mungkin cukup (tapi pusaran arus disebelah dalam dari pemecah gelombang ini masih dapat menyimpan sedimen, yang tidak diinginkan).
- Dalam kedua kasus di atas pemecah gelombang pada sisi mana transportasi datang tahunan harus cukup lama untuk memperkecil membawa pasir yang dapat menyebabkan pendangkalan yang cepat pada alur pelabuhan (daripada membuat pemecah gelombang lagi, sebaiknya merancang by-pass pasir). Kepala pemecah gelombang kedua harus diposisikan sedemikian rupa sehingga material tidak ditarik ke pelabuhan (lihat Gambar 4.42).

Metode untuk menghitung transportasi pesisir, tingkat erosi dan timbunan akibat pengendapan, dan tingkat pengendapan di dalam dan di sekitar alur pendekatan tidak dibicarakan dalam buku ini.

4.6.2 Pendangkalan Alur Pendekatan

Pendangkalan disebelah luar alur pelabuhan dapat disebabkan oleh penurunan sedimen karena meningkatnya kedalaman atau berkurangnya kecepatan arus saat itu. Mekanisme ini menjadi faktor penting untuk alur yang terletak di wilayah pesisir dengan bahan halus di dasar laut, di muara sungai atau ketika sungai telah diperdalam untuk memungkinkan kapal yang lebih besar untuk mencapai hulu pelabuhan. Contohnya adalah *Nieuwe Waterweg* di Rotterdam, yang diperdalam dari kedalaman alami sekitar NAP -6,0 m sampai -15,0 m saat ini, alur ke pelabuhan Shanghai (dari CD -7,0 m ke -12,5 m) dan alur pengiriman yang berlumpur La Plata delta di Argentina, dari CD -5,5 m ke CD -9,0 m.

Program komputer yang tersedia untuk menganalisis proses kompleks pemukiman dan kondensasi sedimen kohesif. Sekali lagi referensi dibuat untuk *Van der Velden* (1995). Berikut metode empiris disebutkan, yang sangat berguna untuk memperluas alur jauh kedalam lumpur atau daerah berlumpur atau dalam kasus, di mana sungai alami diperdalam untuk memungkinkan pengiriman. Dalam kasus seperti volume pendangkalan tahunan dapat diperkirakan sebagai persentase dari kedalaman lebih (perbedaan antara kedalaman desain baru dan kedalaman alam).

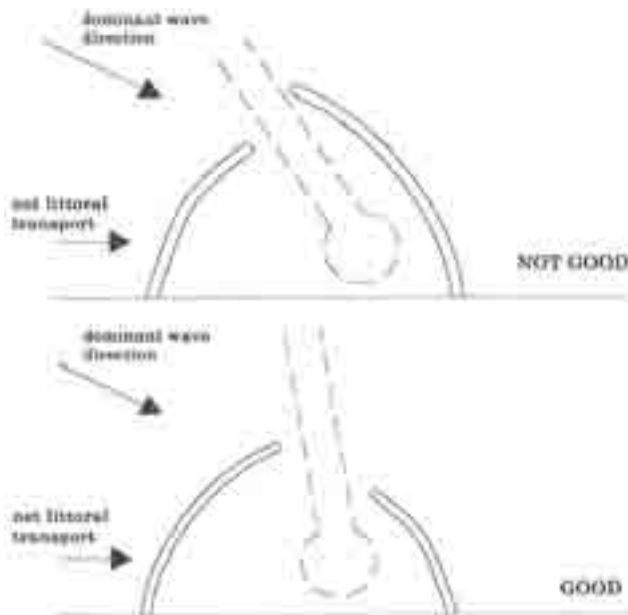
$$V_d = C_r \cdot W \cdot h_{over} \quad (4.23)$$

dimana:

	= volume rata-rata resilaton	[m ³ /yr]
V_d	= faktor resilaton	[m/yr]
C_r	= lebar saluran	[m]
W	= kedalaman berlebihan	[m]
h_{over}		

Faktor pendangkalan mungkin berasal dari alur pendekatan yang ada di sepanjang pantai yang sama atau dengan membandingkan kondisi morfologi dengan situasi yang sama di tempat lain di dunia. Analisis volume pemeliharaan pengerukan di alur pendekatan utama telah menunjukkan bahwa nilai-nilai C_r antara 0,5 dan 0,7 m / tahun cukup umum dan bahkan ditemukan di La Plata delta $C_r = 1,0$ m / tahun.

Metode ini sangat berguna untuk penilaian awal karena memungkinkan untuk mengambil konsekuensi (tinggi) biaya pemeliharaan pengerukan ke rekening dalam tahap awal konsep pengembangan. Masalahnya adalah bahwa, bertentangan dengan efek transportasi pesisir, sangat sedikit yang bisa dilakukan dalam hal desain untuk mengurangi efek sedimentasi ini. Untuk yang baru dalam membangun pelabuhan itu dapat dilakukan peninjauan kembali lokasi untuk pengembangan pelabuhan. Dan untuk pendalaman alur yang ada, mungkin lebih ekonomis untuk melakukan perluasan yang perlu lebih dekat pantai atau bahkan ke laut, di mana air yang lebih dalam tersedia.



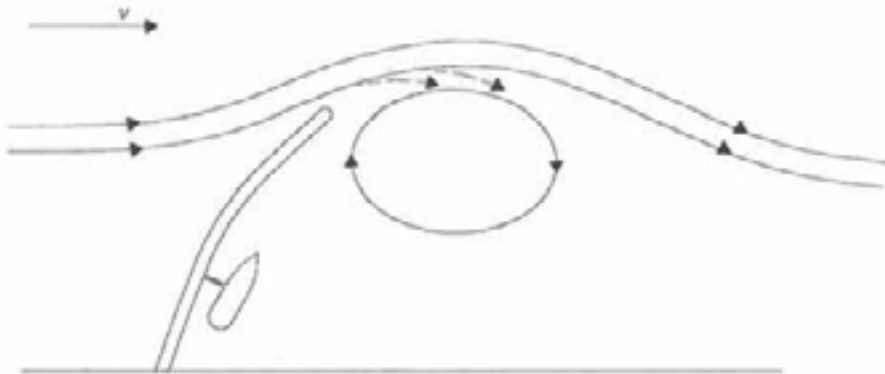
Gambar 4.42 Lay-out kepala pemecah gelombang dalam hubungannya dengan transport litoral

4.6.3 Sedimentasi di dalam pelabuhan

Seperti pengaruh sebelumnya, sedimentasi di dalam area pelabuhan juga sering disebabkan oleh sedimen halus masuk melalui pintu masuk dan/atau dari hulu dan mengendap di kolam pelabuhan dan di daerah manuver. Tiga mekanisme berperan dalam intrusi sedimen melalui pintu masuk:

- (i) Pasang surut yang membawa sedimen ke pelabuhan.
- (ii) Kepadatan arus di pintu masuk, di mana garam (dan/atau dingin) air mengalir di bagian bawah, sementara lebih segar (dan/atau hangat) air mengalir keluar di permukaan.
- (iii) Pertukaran sedimen diisi air dalam pusaran di belakang pemecah gelombang pada pintu masuk pelabuhan (lihat Gambar 4.43).

Tingkat *endapan sedimen* tahunan karena proses ini cukup mudah untuk diperkirakan, berdasarkan data awal pada beban sedimen dan skematik dari hidrolika. Sangat sering berbagai proses terjadi pada saat bersamaan, dalam persetujuan dengan aliran sedimen dari hulu. Dalam kasus tersebut model numerik diterapkan untuk penentuan yang lebih akurat dari pemeliharaan dengan pengerukan yang dihasilkan.



Gambar .4.43 Perubahan arus antara arus utama dan pusaran arus di dalam kolam pelabuhan

Bab 5

Pemecah Gelombang (Breakwater)

5.1 Pengertian Pemecah Gelombang

Pemecah gelombang atau dikenal juga sebagai pemecah ombak atau bahasa Inggris *breakwater* adalah prasarana yang dibangun untuk memecahkan ombak/gelombang dengan menyerap sebagian energi gelombang. Pemecah gelombang harus didesain sedemikian sehingga arus laut tidak menyebabkan pendangkalan karena pasir yang ikut dalam arus mengendap di kolam pelabuhan.

Tinggi gelombang (H) mempunyai pengaruh yang besar terhadap kapal-kapal yang sedang bongkar muat. Karena gelombang tersebut akan mengganggu kapal-kapal untuk melakukan bongkar muat, maka adalah tugas perencana untuk memperkecil tinggi gelombang di perairan pelabuhan dengan membuat pemecah gelombang (*Breakwater*). Pelabuhan yang dilengkapi dengan bangunan pemecah gelombang disebut dengan pelabuhan buatan.

Jadi, pemecah gelombang dibangun dengan maksud untuk melindungi wilayah perairan pelabuhan agar kapal dapat berlabuh dan melakukan bongkar muat barang dan penumpang dengan aman dan nyaman. Disamping itu juga digunakan untuk mengendalikan abrasi yang menggerus pantai. Disamping fungsi utama tersebut kadang-kadang digunakan untuk maksud ganda yaitu disamping sebagai pemecah gelombang untuk melindungi perairan pelabuhan juga dijadikan sebagai dermaga tempat kapal bertambat.

Dengan dibangunnya pemecah gelombang, maka arah gelombang laut asal (*inciden wave*) akan terganggu oleh adanya struktur baru tersebut, akan terjadi pembelokan arah maupun perubahan karakteristik gelombang yaitu

tinggi, panjang dan waktu gelombang. Perlindungan oleh pemecah gelombang terjadi karena berkurangnya energi gelombang yang sampai di sisi dalam perairan pelabuhan yang dilindungi di belakang bangunan yang biasa disebut *Leeward side*. Gelombang yang menjalar mengenai suatu bangunan peredam/lapisan pelindung yang biasa disebut *armour layer*, sebagian energinya akan dipantulkan (*refleksi*), sebagian diteruskan (*transmisi*) dan sebagian dihancurkan (*dissipasi*) melalui pecahnya gelombang, yang tergantung pada kekentalan fluida, gesekan dasar dan lain-lain. Pembagian besarnya energi gelombang yang dipantulkan, dihancurkan dan diteruskan tergantung karakteristik gelombang datang (periode, tinggi, kedalaman air), tipe bangunan peredam gelombang (permukaan halus atau kasar, lurus air atau tidak lurus air) dan geometrik bangunan peredam (kemiringan, elevasi, dan puncak bangunan).

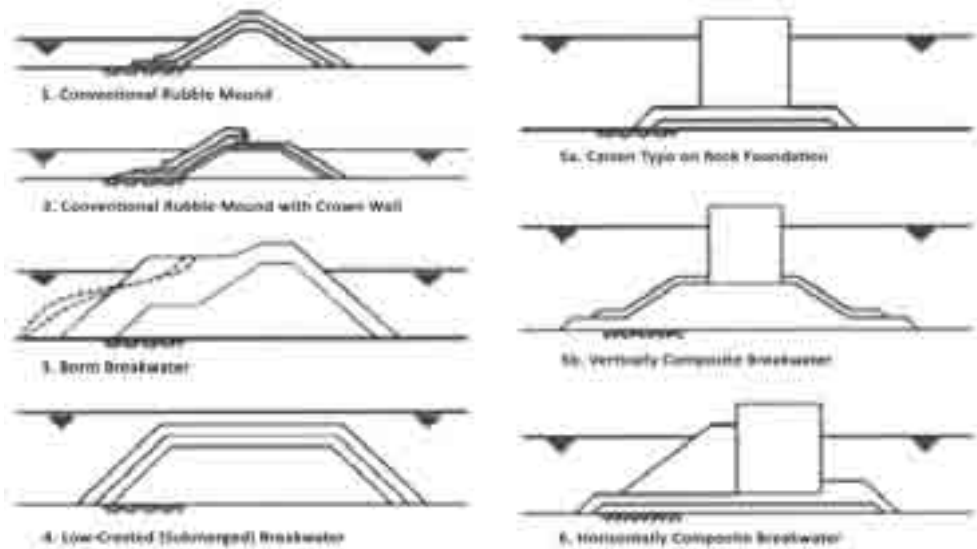
Berkurangnya energi gelombang di daerah terlindung (*lee side*) akan mengurangi pengiriman sedimen di daerah tersebut. Pengiriman sedimen sepanjang pantai yang berasal dari daerah di sekitarnya akan diendapkan dibelakang bangunan. Pantai dibelakang struktur akan stabil dengan terbentuknya endapan sedimen tersebut.

Pemecah gelombang harus didesain sedemikian agar arus laut tidak menyebabkan pedangkalan karena pasir yang ikut dalam arus mengendap di kolam pelabuhan. Bila hal ini terjadi maka pelabuhan perlu dikeruk secara reguler dan biaya pengerukan sangat menentukan layak atau tidaknya pelabuhan dibangun.

Bab ini menjelaskan secara umum desain konstruksi pemecah gelombang meliputi perhitungan desain untuk menentukan lay-out, bentuk, dimensi dan detail konstruksi pemecah gelombang. Aspek biaya pelaksanaan, perbaikan, *upgrading* dan perawatan konstruksi sebagai bagian dari parameter desain.

5.2. Tipe-tipe Pemecah Gelombang

Terdapat banyak tipe pemecah gelombang yang sudah dibangun diseluruh dunia. Batu alam atau buatan dengan bahan beton atau kombinasi antara keduanya, baja, kayu dan pemecah gelombang dengan menggunakan tekanan air untuk memecah kekuatan gelombang dari laut lepas. Berikut ditunjukkan beberapa tipikal pemecah gelombang (lihat Gambar 5.1) dan selanjutnya dijelaskan tinjauan secara singkat tapi lengkap sebagai berikut:

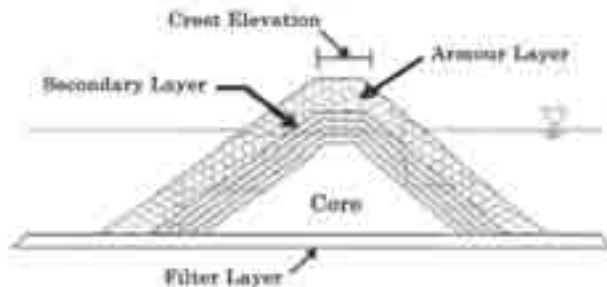


Gambar 5.1 Tipe-tipe pemecah gelombang

5.2.1 Ditinjau dari bentuk konstruksinya yaitu:

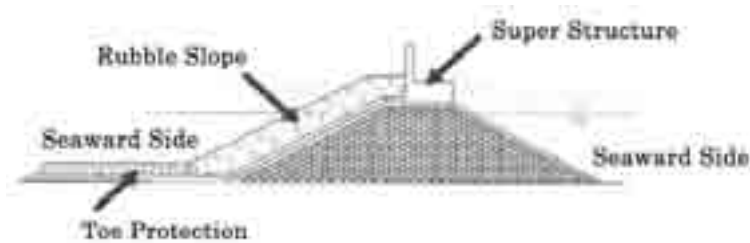
1. Pemecah gelombang sisi miring (*sloping type/mound type S*)

- a. *Multi-layered rubble mound breakwater*, dikembangkan untuk meningkatkan stabilitas dan untuk mengurangi transmisi gelombang serta mengurangi biaya bahan (lihat Gambar 5.2)



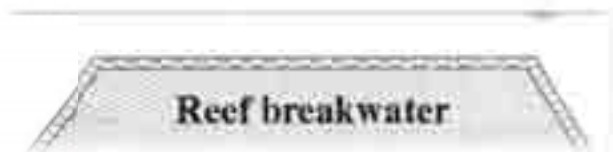
Gambar 5.2 Multi-layered rubble mound breakwater

- b. *Armour layer*. untuk meningkatkan stabilitas dengan menggunakan blok beton, sementara limpasan gelombang dapat dikurangi dengan menggunakan super-struktur (dengan Superstructure Type S) seperti ditunjukkan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Armour layer stability

- c. *Reef breakwater (or) Submerged*, digunakan untuk merubah karakteristik gelombang yang baru terbentuk. Material yang digunakan biasanya hanya yang tersedia di sekitar lokasi. Contohnya yang digunakan untuk melindungi pantai Sanur - Bali dari gempuran gelombang yang dibuat tahun 1960 (lihat Gambar 5.4)



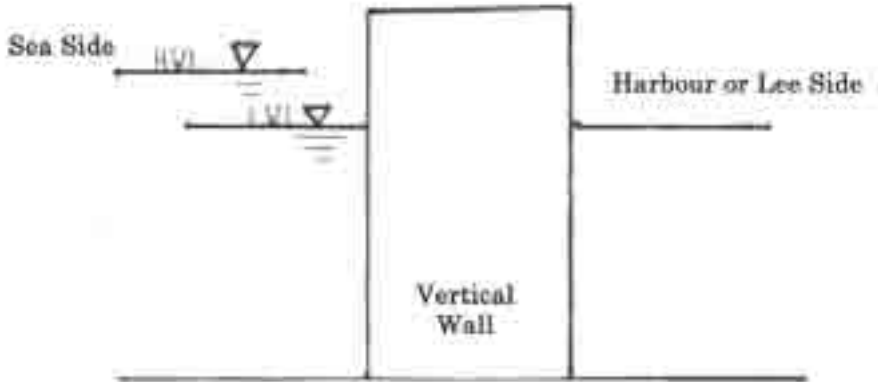
Gambar 5.4 Submerged breakwater

- d. *Reshaping breakwaters*, konsepnya dasarnya memanfaatkan keseimbangan antara kemiringan *rubble stone* dan aksi gelombang (lihat Gambar 5.5)



Gambar 5.5 Reshaping breakwater

2. **Pemecah Gelombang tegak (*Vertical type / upright Type V*)**, pemecah vertical mempunyai dinding vertikal dengan tinggi yang berbeda-beda. Tujuannya adalah untuk refleksi gelombang. Disisi dalam dari pemecah gelombang dapat digunakan untuk bersandarnya kapal-kapal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Basic vertical breakwater

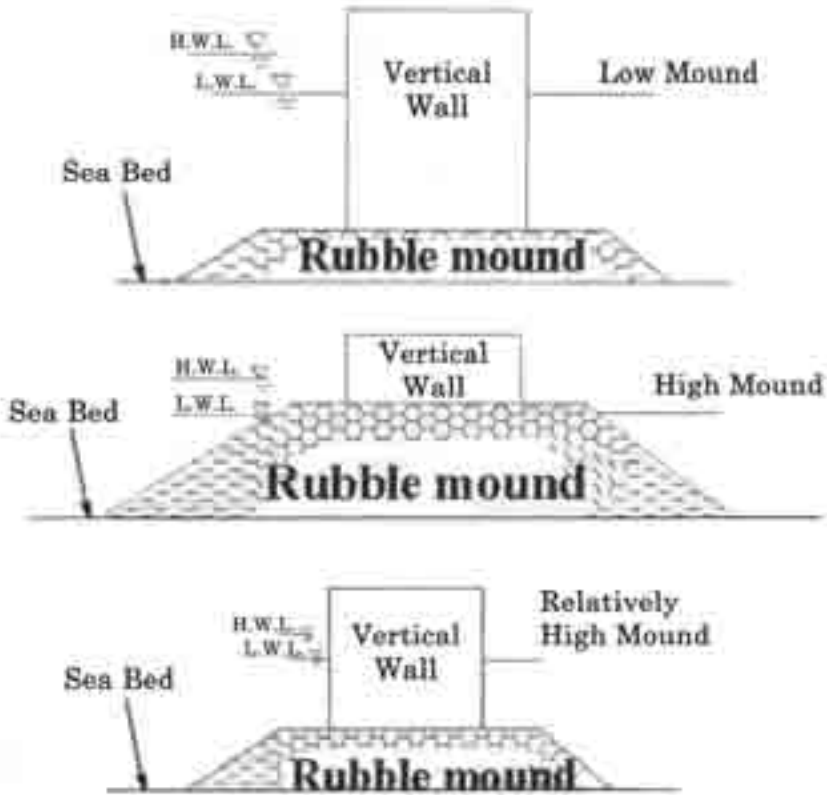
Diantara beberapa pemecah gelombang tipe tegak ini adalah:

1. Dinding blok beton massa yang disusun secara vertical (Concrete-block gravity wall)
2. Kaison beton (Concrete-caisson)
3. Turap baja yang didalamnya diisi batu (Rock-filled sheet-pile cell)
4. Krib-krib kayu (Rock-filled timber cribs)
5. Dinding turap baja atau beton (Concrete or steel sheet-pile walls)

Biasanya dalam pelaksanaan dilapangan dibatasi oleh ketinggian tipe pemecah gelombang sisi tegak. Ketinggiannya maksimum 60 ft apabila ketinggian lebih dari itu biasanya digunakan pondasi dasar dari batu dibawah level ini dan apabila menggunakan tipe miring sangat tidak ekonomis sehingga pemecah gelombang ini merupakan campuran antara tipe tegak dan miring.

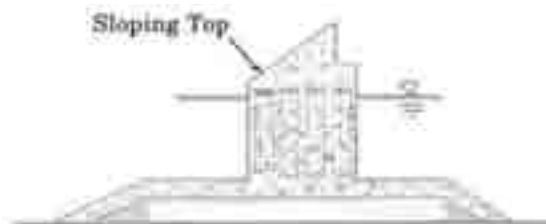
3. Campuran (*Mixed type/Composite breakwaters*)

- a. *Vertical composite breakwaters* yaitu pondasinya dari rubble mound dan diatasnya Caison dengan tinggi yang berbeda-beda. Biasanya digunakan pada lokasi dimana perbedaan pasang surutnya sangat tinggi seperti ditunjukkan pada Gambar 5.7



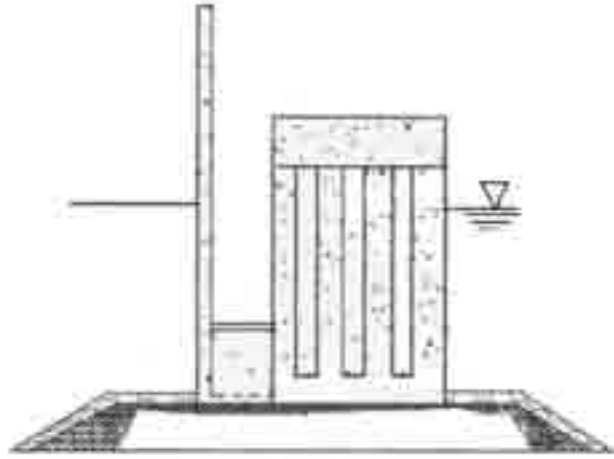
Gambar 5.7 Tipikal Vertical Composite Breakwaters

Caisson breakwaters with sloping top caissons (lihat Gambar 5.8). Keuntungan dengan slope superstructure dapat mengurangi gaya gelombang yaitu menghilangkan tekanan keatas dengan demikian meningkatkan stabilitas dari caisson



Gambar 5.8 Caisson breakwaters with sloping top caissons

Caisson breakwaters with perforated walls (lihat Gambar 5.9). Keuntungannya adalah kestabilan dan kemampuan penyerapan gelombang tinggi.



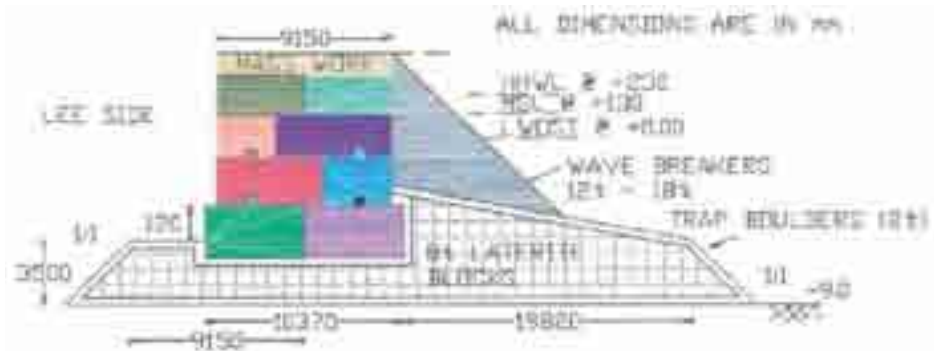
Gambar 5.9 Caisson breakwaters with perforated walls

Keuntungan pemecah gelombang campuran (composite/Caisson breakwater):

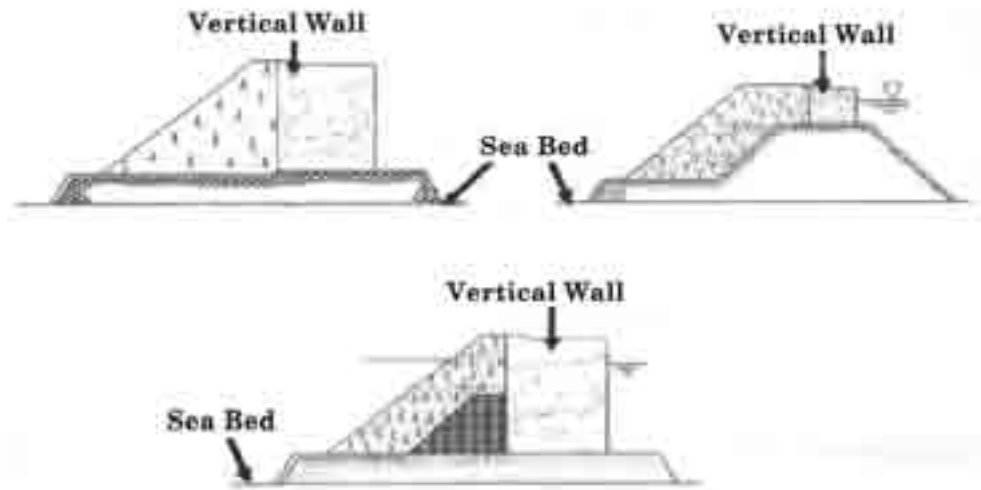
- Lebar bodi/jumlah material kecil. Salah satu keuntungan yang paling besar apabila menggunakan *composite breakwater*. Konstruksi lebih ekonomis, khususnya apabila dibangun pada perairan dalam. Keuntungan lainnya dengan lebar yang kecil dampaknya pada lingkungan di dasar laut dan disisi dalam dapat digunakan untuk bersandar kapal-kapal
- Pemeliharaan berkurang
- Pelaksanaan cepat, mengurangi kegagalan selama pelaksanaan

b. *Horizontal composite breakwaters*

Dinding dari *vertical composite breakwater* sering mengalami kerusakan untuk menghindari hal tersebut biasanya diperkuat dengan menempatkan batu-batu besar atau blok-blok beton didepannya sehingga juga dapat menghancurkan energy gelombang dan mengurangi gaya gelombang pada dinding. Konstruksi ini disebut *horizontal composite breakwaters* seperti diperlihatkan pada Gambar 5.10 dan Gambar 5.11.



Gambar 5.10 horizontal composite breakwaters (Potongan melintang pemecah gelombang pelabuhan Mormugao)

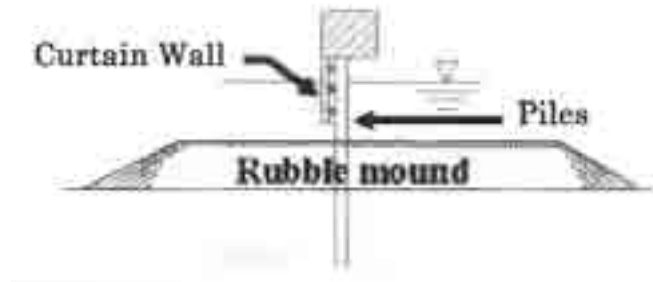


Gambar 5.11 Tipikal potongan melintang Horizontal composite breakwaters

4. Pemecah gelombang khusus

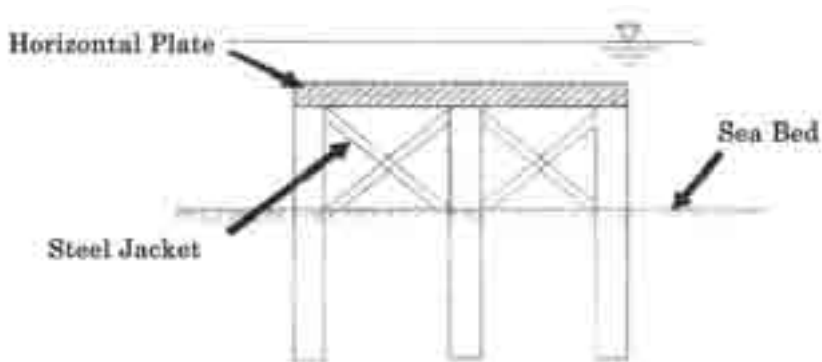
Beberapa dari jenis pemecah gelombang khusus akhirnya akan menjadi pemecah gelombang standar. Seperti misalnya pemecah gelombang caisson berlobang sudah populer sehingga sekarang sudah dianggap standar. Umumnya jenis pemecah gelombang khusus adalah jenis bukan gaya berat (non-gravity) seperti antara lain:

- a. *Curtain wall breakwater*, biasanya digunakan bukan sebagai pemecah gelombang utama tetapi sebagai secondary untuk proteksi pelabuhan yang diperuntukkan kapal-kapal kecil seperti diperlihatkan pada Gambar 5.12.



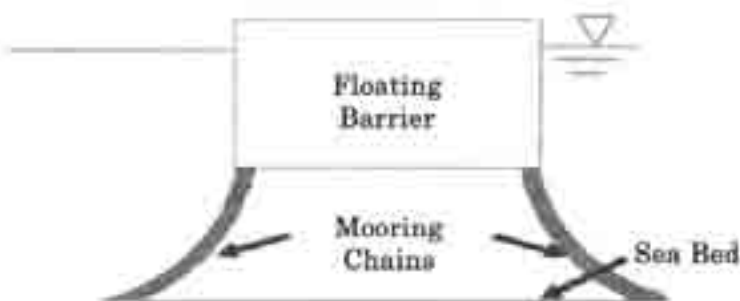
Gambar 5.12 Curtain wall breakwater

- a. *Horizontal plate breakwater*, jenis pemecah gelombang ini dapat juga merefleksikan gelombang dan kadang-kadang diperkuat dengan pelindung besi (steel jacket) seperti ditunjukkan pada Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Horizontal Plate Breakwater

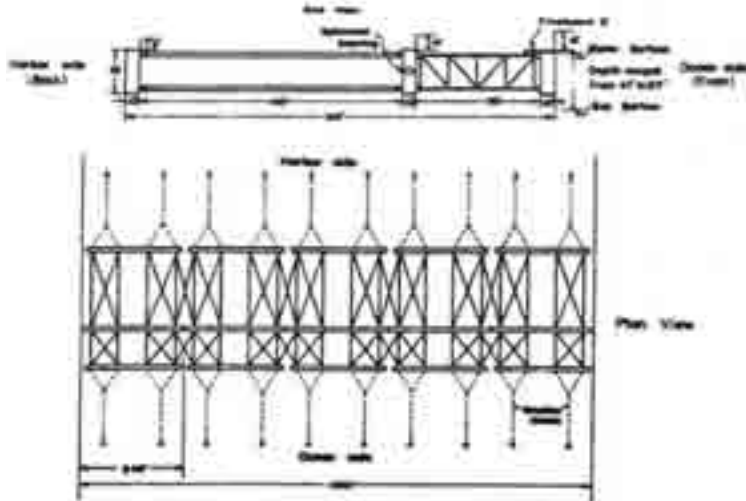
- b. *Pemecah Gelombang Apung*, jenis ini sangat berguna untuk perairan dalam, tetapi pengaruhnya sangat kecil hanya digunakan untuk gelombang relatif kecil untuk saat-saat tertentu dengan durasi yang singkat (lihat Gambar 5.14)



Gambar 5.14 Floating Breakwater

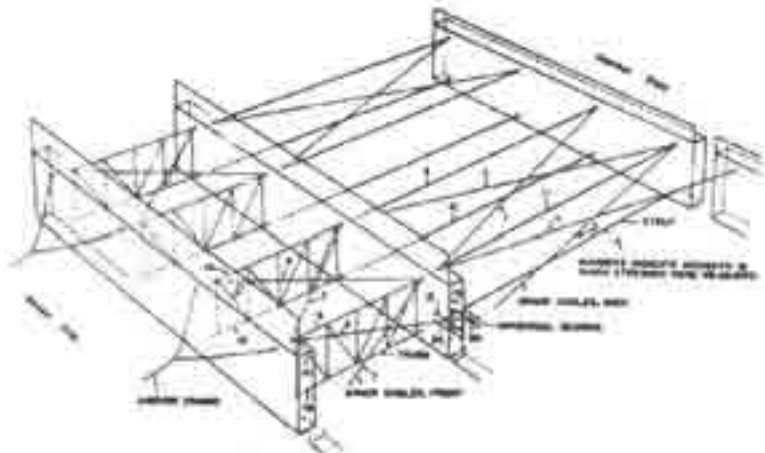
Pemecah gelombang apung ini biasanya digunakan untuk melindungi daerah untuk mendaratkan kapal-kapal dipantai atau mendaratkan barang-barang dipantai. Atau untuk melindungi pelabuhan-pelabuhan kecil dimana tinggi gelombang adalah sedang ($H = 0,5$ meter - 1,60 meter).

Konstruksi terdiri dari benda apung yang mengikat suatu dinding penahan ombak atau arus. Gambar 5.15 ditunjukkan rancangan pemecah gelombang apung.

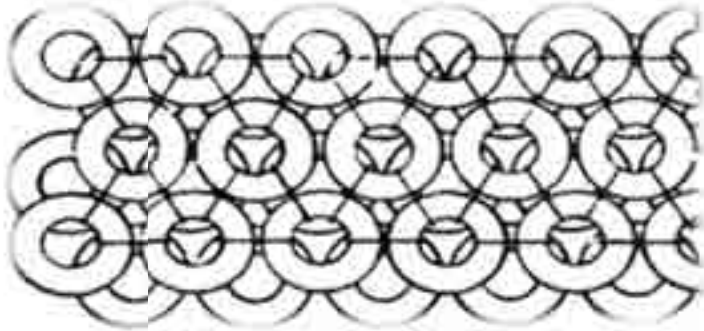


Gambar 5.15. Rencana Pemecah Gelombang Apung.

Prototype pemecah gelombang apung untuk model tersebut dirancang terdiri dari lima bagian dengan panjang masing-masing 240 feet. Gambar 5.16 tampak salah satu bagian dari lima bagian tersebut yang menggunakan struktur baja.



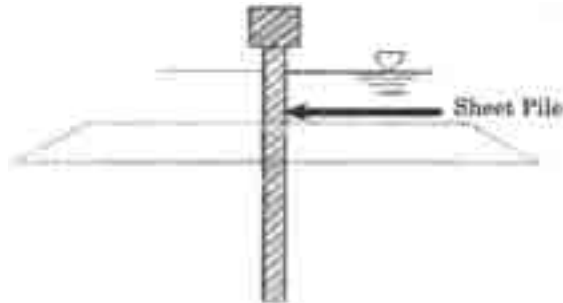
Gambar 5.16 Bagian dari pemecah gelombang apung



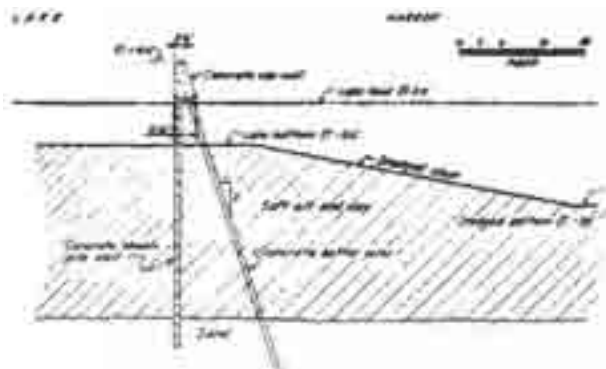
Gambar 5.17 Pemecah Gelombang apung dengan menggunakan ban

c. *Pemecah Gelombang Turap dari Beton dan Baja.*

Ada beberapa lokasi dimana dasar tanah lunaknya sangat tebal sehingga kemungkinan untuk mengganti tanah lunak tersebut dengan tanah yang lebih baik sudah tidak mungkin karena tidak ekonomis. Oleh karena itu dibuat turap dari baja yang dikombinasikan dengan beton seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.18 dan 5.19.

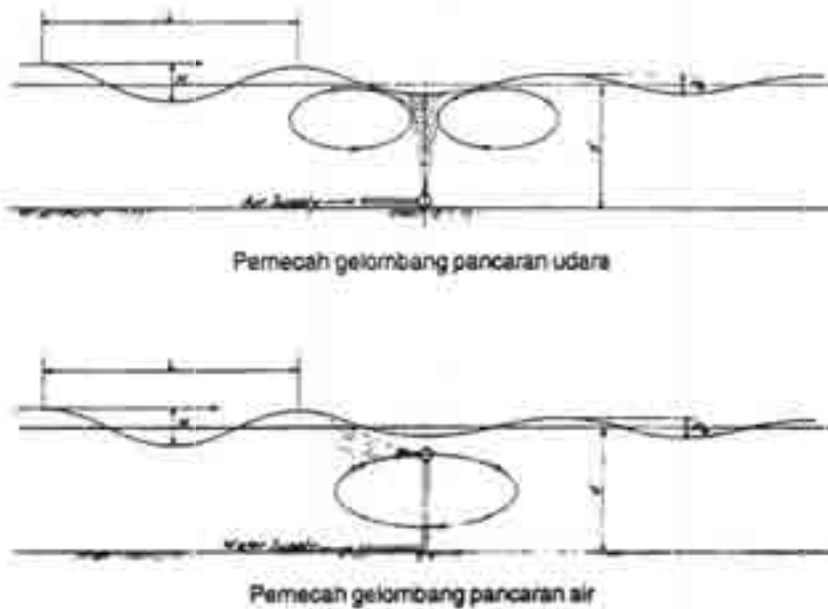


Gambar 5.18 Pemecah Gelombang dengan turap



Gambar 5.19. Potongan melintang bangunan pemecah gelombang dinding turap

d. *Pemecah Gelombang Pancaran Air dan Udara*

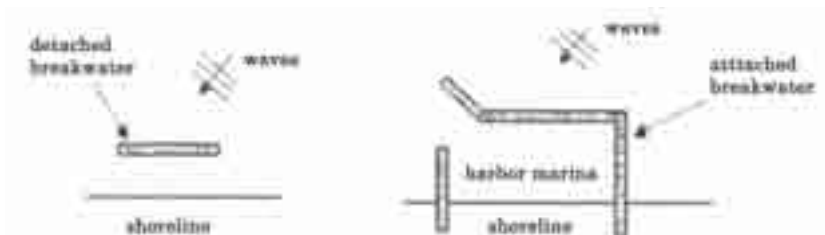


Gambar 5.20 Perbedaan pemecah gelombang pancaran udara dan pancaran air.

5.2.2 Ditinjau dari letak konstruksinya

Ditinjau dari letak konstruksinya breakwater atau pemecah gelombang dapat dibagi menjadi dua yaitu (lihat Gambar 5.21):

1. Pemecah gelombang sambung pantai biasa disebut *attached breakwater* atau disebut juga *shore-connected breakwater*. Banyak digunakan pada perlindungan perairan pelabuhan. Bagian selanjutnya dalam tinjauan lebih difokuskan pada pemecah gelombang ini
2. Pemecah gelombang lepas pantai biasa disebut *detached breakwaters* atau disebut juga *offshore breakwater*. Biasanya digunakan untuk perlindungan pantai terhadap erosi.

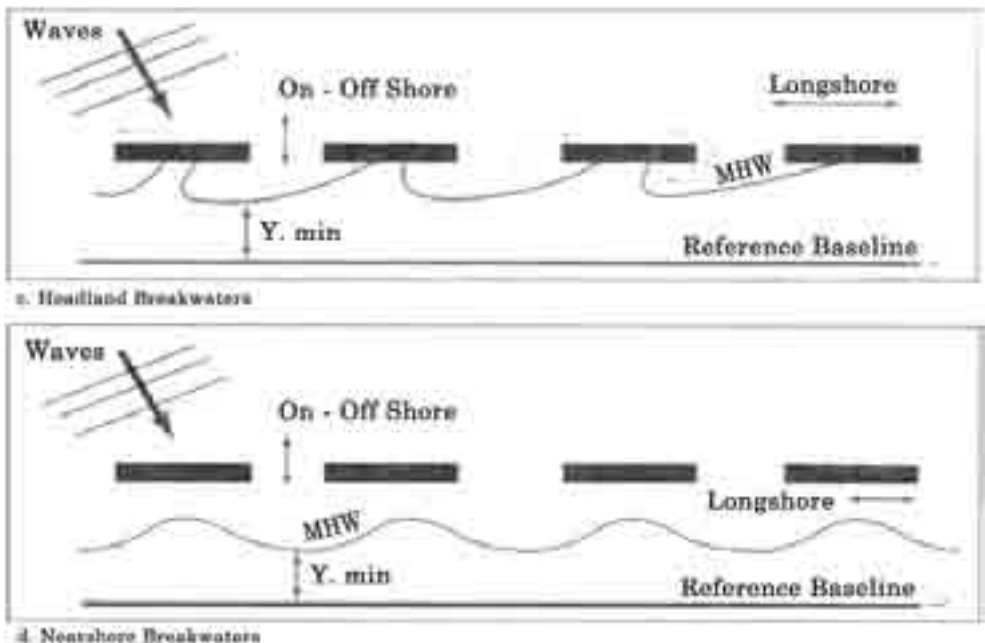


Gambar 5.21 Pemecah gelombang sambung pantai dan lepas pantai

Secara umum kondisi perencanaan kedua tipe adalah sama, hanya pada tipe pertama perlu ditinjau karakteristik gelombang di beberapa lokasi di sepanjang pemecah gelombang seperti halnya pada perencanaan groin dan jetty.

Pemecah gelombang lepas pantai adalah bangunan yang dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai. Pemecah gelombang ini dibangun sebagai salah satu bentuk perlindungan pantai terhadap erosi dengan menghancurkan energi gelombang sebelum sampai ke pantai, sehingga terjadi endapan dibelakang bangunan. Endapan ini dapat menghalangi transport sedimen sepanjang pantai. Pemecah gelombang lepas pantai dapat dibuat dari satu pemecah gelombang atau seri bangunan yang terdiri dari beberapa ruas pemecah gelombang yang dipisahkan oleh celah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.22.

Bangunan ini berfungsi untuk melindungi pantai yang terletak dibelakangnya dari serangan gelombang yang dapat mengakibatkan erosi pada pantai. Perlindungan oleh pemecah gelombang lepas pantai terjadi karena berkurangnya energy gelombang yang sampai di perairan di belakang bangunan. Karena pemecah gelombang ini dibuat terpisah ke arah lepas pantai, tetapi masih di dalam zona gelombang pecah (*breaking zone*). Maka bagian sisi luar pemecah gelombang memberikan perlindungan dengan meredam energy gelombang sehingga gelombang dan arus di belakangnya dapat dikurangi.



Gambar 5.22 detached breakwaters yang dipisahkan oleh celah

5.2.3 Ditinjau dari bahan bangunan yang digunakan, maka tipe-tipe pemecah gelombang tersebut diatas dapat dibagi lagi menjadi:

1. Tumpukan batu alam (Natural rock)
2. Blok beton (Concrete block)
3. Gabungan antara batu alam dengan blok beton
4. Batu buatan dari beton dengan bentuk khusus seperti :
 - Tetrapod
 - Quadrapod
 - Hexapod
 - Tribar
 - Dan sebagainya.

5.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pemilihan Tipe Pemecah Gelombang

Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan tipe pemecah gelombang antara lain adalah: Biaya, konstruksi, material yang tersedia dan yang bisa digunakan di daerah proyek, pilihan Owner, kedalaman air, kondisi tanah dasar. fungsi pelabuhan, peralatan yang tersedia untuk pembangunan. Dalam kondisi tertentu salah satu faktor mungkin lebih berpengaruh dibandingkan yang lainnya.

Konstruksi, Parameter perancangan meliputi: konstruksi, aspek biaya, perbaikan, *upgrade* dan pemeliharaan. Kunci perancangan pemecah gelombang meliputi:

- Layout pelabuhan
- Waktu pelaksanaan
- Umur rencana pelabuhan dan juga breakwater
- Design yang diijinkan selama umur rencana
- Tingkat toleransi perawatan dan operasi
- Dampak pada lingkungan

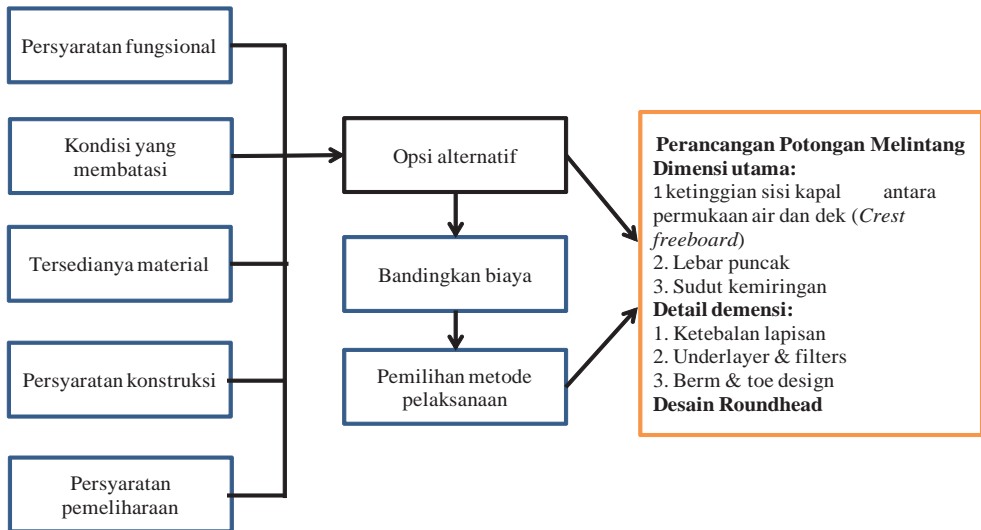
Selanjutnya gaya-gaya gelombang harus sudah dimengerti. Karena merupakan salah satu elemen penting dalam perancangan pemecah gelombang. Untuk ini ada baiknya dibaca kembali pada Bab 2. *Rubble mound breakwaters* solusi yang lebih sering dipilih dalam perancangan karena kemiringannya mampu memecah gelombang untuk dissipasi energinya, sehingga hanya sebagian di refleksikan.

Kedalaman air, dalam hal ini, karena sebagian besar konstruksi pemecah gelombang didasarkan pada gaya berat (gravity structures) yang tergantung pada berat konstruksi untuk stabilitasnya. Oleh karena itu, kedalaman air dan sifat-sifat tanah dasar adalah faktor yang sangat penting dalam pemilihan tipe pemecah gelombang. Selain itu kedalaman air juga penting terutama didalam analisis stabilitas bangunan. Di daerah pantai yang dalam dimensi pemecah gelombang sisi miring (trapezium) menjadi besar yang berarti dibutuhkan bahan bangunan yang sangat banyak sehingga harga bangunan menjadi mahal. Dengan demikian apabila kedalaman air besar pemakaian pemecah gelombang sisi miring tidak ekonomis. Dalam kondisi seperti ini dipakai pemecah gelombang sisi tegak dan apabila ketinggian dari dasar laut sampai muka air rata-rata melampau 60 ft dalam hal ini dipakai campuran (*composite breakwater*).

Kondisi tanah dasar, Elemen lain yang juga tak kalah pentingnya adalah karakteristik dari dasar laut yang akan menerima reaksi final dari kekuatan gelombang yang membetur konstruksi dan memecah energi gelombang. Karakteristik tanah dasar juga merupakan salah satu faktor yang menentukan dalam pemilihan tipe pemecah gelombang. Tanah dasar (Pondasi bangunan) harus mempunyai daya dukung yang cukup agar stabilitas bangunan dapat terjamin. Apabila daya dukung tanah jelek maka konstruksi harus dibuat ringan (memperkecil dimensi) atau memperlebar dasar sehingga bangunan berbentuk trapesium (sisi miring) yang terbuat dari tumpukan batu atau balok beton. Bangunan berbentuk trapesium mempunyai luas alas yang besar sehingga tekanan yang ditimbulkan oleh berat bangunan kecil. Apabila daya dukung tanah besar maka dapat digunakan pemecah gelombang sisi tegak.

Fungsi Pelabuhan, apakah untuk melindungi pelabuhan seperti dermaga, alur pelabuhan dan daerah perairan pelabuhan yang lain atau untuk melindungi pantai serta kemungkinan perluasan perlindungan yang dibutuhkan.

Proses pemilihan ini diilustrasikan seperti Gambar 5.23

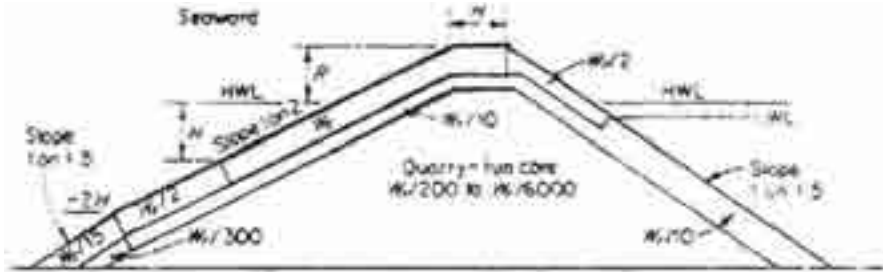


Gambar 5.23 Proses dalam pemilihan tipe pemecah gelombang

5.4 Pemecah Gelombang Sisi Miring (*Rubble mound breakwater*)

Dari Gambar dan uraian pada Bagian 5.2 diatas terlihat banyak variasi dalam pengisian material untuk pemecah gelombang ini, pengisian material-material tersebut biasanya dilakukan secara proporsional serta sangat ditentukan oleh lokasi dimana pemecah gelombang tersebut ditempatkan. Walaupun begitu kelihatannya ada dua jenis dari konstruksi di atas yang menonjol dari yang lainnya dan layak untuk dibahas lebih lanjut:

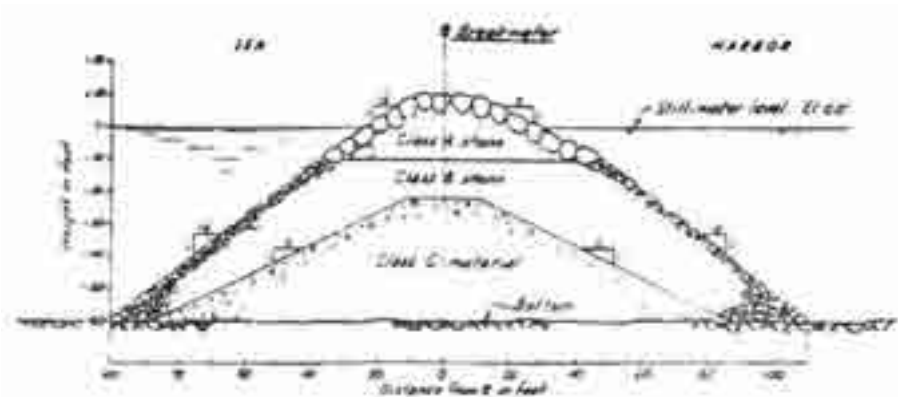
- (1). **Type 1** . Konstruksinya menggunakan inti sampai diatas muka rata-rata dengan bahan batu. Kemudian pada sisi-sisinya dilapisi oleh lapisan pelindung yang kadang-kadang terpisah dari bahan inti oleh satu atau lebih lapisan seperti ditunjukkan pada Gambar 5.24 Lapis luar (lapis pelindung) ini harus mampu menahan serangan gelombang.



Gambar 5.24 Pemecah gelombang type 1

Keterangan Gambar: LWL (Low-water-level) = muka air rendah
 HWL (High-water level) = muka air tinggi
 R (Wave run-up) = tinggi limpasan gelombang

- (2). **Type 2.** Sama seperti type diatas menggunakan bahan inti tapi bahan intinya hanya sampai dibawah muka air rata-rata. Kemudian bahan intinya dilapisi lagi oleh batu dengan berat yang medium yang dibentuk sedemikian rupa sehingga lapisannya sangat kuat (lihat Gambar 5.25)



Gambar 5.25 Pemecah gelombang type 2

Class A, batu dipilih dari quarry, beratnya tidak boleh kurang dari 1 ton dan paling sedikit 95% beratnya 10 ton atau lebih.

Class B. batu dari quarry yang beratnya 20 lb tidak boleh lebih dari 25 % dan yang beratnya 1 ton paling sedikit 40 %

Class C. bahannya biasanya dari sisa-sisa yang tidak bisa dipakai pada Class A atau B atau bisa juga berasal dari hasil pengerukan pelabuhan.

Tipe pertama bahannya terdiri dari konstruksi inti dari bahan batu yang kecil biasanya berkenaan dengan hasil penggalian (run of quarry), ditempatkan mulai dari dasar laut sampai diatas permukaan air rata-rata. Bahan ini dilindungi oleh lapis permukaan atau lapis penutup dengan menggunakan

batu-batu yang besar, dipilih ukuran dan bentuk sedemikian kemudiann dipasang membentuk kemiringan tertentu. Satu atau lebih menggunakan lapisan menengah dari bahaType pertama bahannya terdiri dari konstruksi inti dari bahan baru yann batu berukuran kecil, Biasanya ditaruh pada lapisan bawahatau sebagai filter antara inti yang ada dilapisan dalam sedangkan lapisan penutup diluar berupa batu-batu yang besar. Selanjutnya dapat disimpulkan bahwa pemecah gelombang ini terdiri dari 3 bagian yaitu: inti, lapis bawah atau filter dan lapis pelindung. Walaupun begitu masih dimungkinkan untuk modifikasi dalam pemakaian ketiga komponen tersebut, seperti misalnya tanpa menggunakan filter atau menghilangkan material inti dengan mengganti semuanya dengan batu-batu yang besar tergantung dari bahan-bahan yang tersedia dilapangan.

Untuk pembangunan pemecah gelombang Tipe 1 ini sangat mudah dilakukan khususnya untuk lapisan inti . Pelaksanaannya tinggal menumpahkan batu-batu dari truk sampai melampaui permukaan air pasang tertinggi.

Tipe kedua, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.25, *prototype* tersebut telah dites oleh *united States Waterways Experiment Station for Bureau of Yards and Docks*, angkatan laut Amerika Serikat, untuk dapat digunakan sebagai patokan dalam menentukan ukuran batu serta kemiringan yang aman. Lapangan hasil tes tersebut (1953) dapat disimpulkan sebagai berikut :

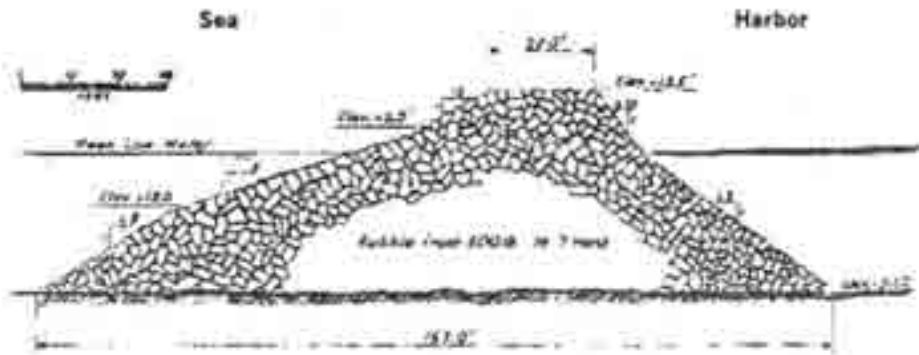
- (1). Bahan class C dapat ditempatkan tanpa perlu ada lapisan pelindung dengan elevasi yang paling atas tidak melebihi nilai-nilai berikut :

Tinggi Gelombang (ft)	Elefasi Puncak Di bawah muka air rata-rata (ft)
7-8	20
10-11	30
15-16	40
20-21	50

- (2) Apabila sewaktu pelaksanaan pekerjaan pembangunan pemecah gelombang ternyata tinggi gelombang yang terjadi melebihi atau nilainya diatas tabel tersebut, maka bahan class B harus digunakan pada kedua sisi di dalam kolam pelabuhan maupun pada sisi yang menghadap laut lepas. Bersamaan dengan penempatan konstruksi inti (class C) Penempatan bahan class B pada salah satu sisi apakah disisis dalam apalagi sisi luar sedapat mungkin dihindarkan untuk bisa menahan hempasan gelombang yang besar, walaupun bahan class C sangat banyak dilokasi proyek.

- (3) Bahan class B yaitu lapisan penutup tebalnya kira-kira 8 ft
- (4) Segera setelah bahan class B selesai ditempatkan pada tempatnya kemudian diikuti oleh bahan class A agar bahan class B tersebut tidak mengalami erosi. Tes yang telah dilakukan mengidentifikasi bahwa prototype class A tidak stabil pada kemiringan 1:2 tetapi stabil pada kemiringan 1:4,5

Pembangunan pemecah gelombang pertama di Amerika Serikat seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.26. Pemecah gelombang ini terletak di Cap Henlopen, Delaware, yang mulai dibangun pada tahun 1828 tetapi baru selesai pada tahun 1869. Pemecah gelombang ini mempunyai panjang total 5.267 ft



Gambar 5.26 Pemecah Gelombang pertama di Dunia yang dibangun di Delaware, Amerika Serikat. Sumber (from report by Joseph F. Hasskarl, XIIth International Congress of Navigation, Philadelphia, 1912) dalam (Quinn 1972)

Fungsi utama dari pemecah gelombang miring sama dengan pemecah gelombang lainnya adalah untuk melindungi wilayah pelabuhan atau pantai dari aksi gelombang yang berlebihan. Yang membedakan jenis pemecah gelombang miring dengan jenis pemecah gelombang lainnya adalah penyerapan energi gelombang melalui disipasi bukan refleksi.

Jika gelombang mempunyai kemiringan curam atau disisi laut (*seaward side*) relatif datar, maka gelombang akan terbalik dan terjun ke lereng, menghamburkan energi lebih lanjut. Beberapa energi yang tersisa diubah menjadi energi potensial sebagai gelombang berjalan mendaki lereng sementara sisanya tercermin dari arah laut dan juga ditransmisikan ke sisi (terlindung) didalam perairan atau kolam pelabuhan. Dalam kebanyakan situasi overtopping yang ditoleransi hanya terbatas dan untuk transmisi yang hanya terjadi secara internal. Beberapa energi gelombang internal ditransmisikan didisipasikan bersama arus melalui inti (*core*), dan sisanya

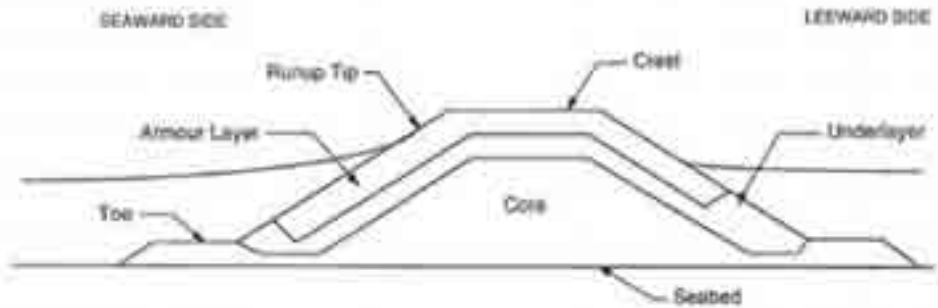
muncul sebagai gelombang pada sisi terlindung (*leeward side*) didalam perairan pelabuhan.

Bangunan pemecah gelombang sisi miring dibuat dari beberapa lapisan material yang di tumpuk dan di bentuk sedemikian rupa (pada umumnya apabila dilihat potongan melintangnya membentuk trapezium). Sehingga terlihat seperti sebuah gundukan batu yang besar yang biasa disebut dengan *rubble mound breakwater* seperti ditunjukkan pada Gambar 5.24, 5.25, 5.26.

Seberapa besar energi gelombang yang dipantulkan, dihancurkan dan diteruskan tergantung karakteristik gelombang datang (periode, tinggi, kedalaman air), tipe bangunan pemecah gelombang (permukaan licin atau kasar) dan geometrik bangunan peredam (kemiringan, elevasi dan puncak bangunan). Efektivitas pemecah gelombang dinilai berdasarkan kemampuannya untuk membatasi ketinggian dari gelombang yang ditransmisikan. Tujuan utama perancangan adalah untuk menentukan ukuran dan tata letak komponen dari penampang. Merancang dan membangun stabilitas struktur dengan karakteristik energi yang diterima dan diserap dengan mengandalkan gaya berat. Bagian ini menguraikan masalah perancangan dan bagaimana membangun pemecah gelombang tipe miring, khususnya berkaitan dengan stabilitas lapisan pelindung (*armour stability*), menguraikan desain kunci serta masalah pelaksanaan pembangunan konstruksi. Merancang dan membangun struktur yang stabil dengan karakteristik energi yang diterima selanjutnya diserap didasarkan pada pengalaman dan pemodelan fisik. Hal ini sesuai dengan struktur *coastal rubble* lainnya, seperti *groynes*, *revetments* dan *training walls*.

5.4.1 Konfigurasi potongan melintang

Tipe bangunan pemecah gelombang sisi miring, dibuat dari beberapa lapisan material yang di tumpuk (*mound*) dan di bentuk sedemikian rupa (pada umumnya apabila dilihat potongan melintangnya membentuk trapesium) sehingga terlihat seperti sebuah gundukan besar batu. Lapisan luar disebut sebagai lapisan penutup utama (*armour*). istilah yang digunakan di sini “bongkahan” (*rubble*) meliputi batu, riprap atau unit beton pracetak. penampang inti *rockfill* relatif padat dengan satu atau dua lapisan batuan atau salah satu dari berbagai jenis unit lapisan pelindung beton pracetak sehingga bangunan pemecah gelombang ini disebut dengan *rubble mound* seperti ditunjukkan pada Gambar 5.27



Gambar 5.27 Tipikal Potongan melintang pemecah gelombang rubble mound

Sudut Lereng

Kemiringan umumnya sebagai kecuraman yang memungkinkan untuk meminimalkan volume bahan inti dan untuk mengoptimalkan jangkauan crane bekerja (Moore 1989). Namun dimungkinkan untuk mengembangkan lereng kurang curam jika crane beroperasi dari tongkang. Lereng biasanya dalam kisaran 1V: 1.5H sampai 1V: 3H dan pengaruh jumlah interaksi antara unit armour. Dengan meningkatnya sudut, kontribusi untuk stabilitas akibat gesekan dan saling mengunci juga meningkatkan penerapan kekuatan lereng-paralel oleh unit yang berdekatan. Namun ada penurunan terkait kemiringan dalam komponen tegak lurus dari berat sendiri (Price 1979). Ini berarti sudut kemiringan optimal untuk stabilitas dan interaksi maksimum (Losada dan Gimenez-Curto 1982).

Ketebalan Lapisan

Stabilitas pelindung (*armour*) umumnya meningkat dengan meningkatnya ketebalan lapisan pelindung. Semua lapisan harus dibangun lebih tebal daripada yang dirancang untuk mengantisipasi terjadinya penurunan, armour memberikan toleransi terjadinya penurunan tanpa kerusakan. Kelonggaran juga harus dibuat untuk terjadinya penurunan awal untuk mencapai posisi unit yang lebih stabil dalam menghadapi aksi gelombang.

Elevasi Puncak (Crest)

Ketinggian puncak minimum harus dapat menerima terjadinya *overtopping*. Ini harus didasarkan pada terjangan gelombang (*wave runup*) maksimum, dengan memungkinkan untuk *freeboard* dan penurunan pasca-pembangunan.

Keseimbangan profil

Keseimbangan profil yang berbentuk S atau “dibentuk kembali” dibangun dengan cara penyebaran kembali material untuk menghadapi aksi gelombang.

Kerusakan yang luas untuk pemecah gelombang pada kemiringan sisi bidang laut lepas biasanya menghasilkan suatu profil, dengan bahan yang dipindahkan dari zona pusat dekat SWL yang ditempatkan pada jari kaki (toe). Profil terus berkembang sampai keseimbangan antara erosi dan akresi tercapai. Untuk memastikan keseimbangan telah dicapai biasanya dibatasi untuk tempat-tempat dengan rentang pasang surut kecil. Kesamaan antara peningkatan profil pantai dan profil keseimbangan telah ditunjukkan oleh Van der Meer dan Pilarczyk (1987), yang juga menyajikan data empiris yang diperoleh pada geometri dari profil yang dibentuk kembali.

Tanggul pemecah gelombang

Tanggul pemecah gelombang dibangun dengan tanggul horizontal pada atau dekat SWL, dengan tanggul yang menempati lebar penuh lapisan pelindung. Hal ini diduga untuk memberikan kecepatan internal yang lebih rendah daripada lapisan pelindung konvensional dan pelindung sehingga lebih kecil, baik batu atau riprap, dapat digunakan. Menuju ke laut yang profil mempertahankan bentuk aslinya secara keseluruhan, tetapi tanggul yang kompak di bawah aksi gelombang menjadi bentuk lebih stabil (MacIntosh dan Baird 1987). Pengembangan profil arah laut telah secara fisik dan numerik dimodelkan oleh Van Gent (1995).

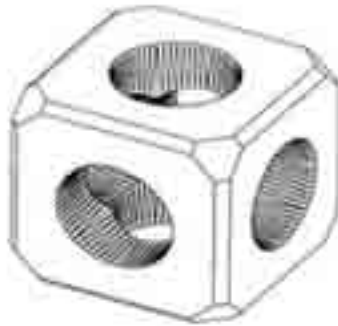
Lapisan pelindung (*Armour layer*)

Jenis Armour

Lapisan pelindung utama (*main armour layer*) seperti namanya, merupakan pertahanan utama dari pemecah gelombang terhadap serangan gelombang pada lapisan inilah biasanya batu-batuan ukuran besar sehingga menyebabkan gelombang akan kehilangan energi lebih besar karena gesekan dengan permukaan peredam gelombang. Unit *armour* dapat diklasifikasikan sebagai lapisan yang kompak, saling mengunci dan berongga sesuai dengan bentuknya sehingga konstruksinya stabil. Unit *armour* yang kompak meliputi batuan dan penggunaan berat riprap, dan untuk mengurangi tingkat gesekan dalam melawan aksi gelombang. Sebagai contoh, unit *armour* yang saling terkait, seperti Dolos (Gambar 5.29) bergantung terutama pada saling berkaitan dengan unit. Sebuah lapisan *armour* lebih berpori dibuat memungkinkan proporsi yang lebih tinggi dari energi gelombang yang menjadi hilang dalam rongga antara unit *armour*. Namun hal ini cenderung untuk memaksa unit *armor* terlepas. Rusaknya beberapa unit yang saling berkaitan dapat menyebabkan kegagalan seluruh lapisan *armour*.

Unit lapis *armour* berongga seperti Shed (Shephard Hill, Energi Dissipator) (Gambar 5.28) dan *Accropode* ditempatkan dalam pola yang teratur

membentuk lapisan tunggal (Kobayashi dan Kaihatsu 1995). Accropode dikembangkan oleh konsultan Sogreah (Perancis) pada awal tahun 1980. Kekosongan didalam yang menjamin bahwa ruang yang selalu tersedia untuk disipasi energi, kelihatannya tidak kompak namun unit *armour* saling mengunci dimana porositas tergantung pada posisi relatif mereka. seperti unit saling mengunci. Unit berongga rentan terhadap perbedaan penurunan pada lapisan dasarnya.



Gambar 5.28 *Armour berongga*

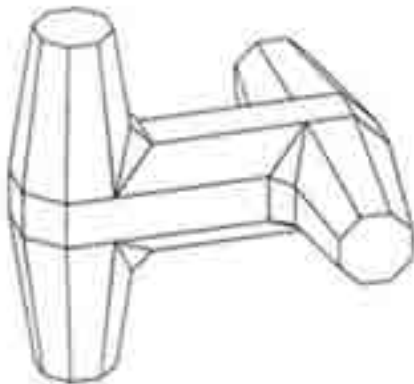
USACE (1984) mendaftarkan beberapa banyak jenis unit *armour* yang ada. Mereka menyajikan criteria dalam bentuk diagram untuk seleksi awal yang meliputi biaya royalti dan bentuk yang tersedia. Bruun (1985) menyajikan ringkasan dan evaluasi berbagai jenis *armour*.

Unit *armour* beton pracetak digunakan apabila batu yang cocok tidak tersedia atau, menurut hasil survei PIANC (1985), ketika ketinggian gelombang HS melebihi 5m. Hasilnya dari mereka juga menunjukkan bahwa berat yang dibutuhkan umumnya memiliki berat antara 6t sampai 50t. Pilihan antara batu dan beton dapat dipengaruhi oleh keinginan untuk berbaur dengan struktur yang ada atau fitur yang alami.

Tetrapod merupakan teknik yang pertama dari “rekayasa” unit *armour* beton pracetak, dikembangkan oleh perusahaan Francis Neyrpric pada tahun 1953. Ini terjadi berdasarkan sebuah film yang ditayangkan oleh PIANC pada tahun 1949 yang memperlihatkan pengangkatan batu untuk *armour* selama *downrush*. Kemudian dilawan oleh beratnya sendiri. Neyrpric berusaha untuk mengimprovasi permeabilitas dan saling mengunci antara unit (Dock dan Harbour Authority 1957). Perluasan perlindungan lapisan ini meluas sampai ke Wellington untuk melindungi landasan pacu bandara pada tahun 1955 yang merupakan salah satu proyek awal untuk menggunakan Tetrapod.

Dolos dikembangkan pada tahun 1966 untuk merehabilitasi kerusakan penahan gelombang di Pelabuhan London Timur, Afrika Selatan (Merrifield

dan Zwamborn 1967) (Gambar 5.29). Diputuskan untuk mengembangkan unit baru karena pertimbangan hak paten dan biaya pada jenis ini. Model kayu digunakan untuk menyempurnakan bentuk dengan kriteria tinggi untuk mencapai perbandingan atara rongga dan saling mengunci dengan solid. Dolosse telah menjadi subyek banyak penelitian dan pemantauan di lapangan, karena sejumlah besar kegagalan dan kebutuhan untuk memberikan informasi untuk mendukung manajemen dan pemeliharaan struktur yang memiliki lapisan *armour*.



Gambar 5.29 Unit Armour, Dolosse

Untuk batu itu adalah normal untuk menentukan toleransi berat pelindung, seperti 25% dari nominal berat (Van Oorschlot 1983), dan batas pada persentase maksimal berat *armour* kurang dari nominal berat (biasanya 50-70%). Riprap berbeda dari batu dalam berbagai ukuran partikel yang ada dan USACE (1984) merekomendasikan bahwa itu hanya digunakan apabila desain untuk gelombang tinggi (rata-rata 10% tertinggi dari

semua gelombang) kurang dari sekitar 1,5 m. Konstruksi yang khusus dikembangkan dan harus diakui dalam pengujian model ternyata *grading* tidak dapat diperiksa di lapangan dengan analisa saringan.

Pertimbangan yang cermat harus diberikan terhadap elevasi di mana lapisan penutup primer berakhir. Menurut survei PIANC (1985) itu biasanya sama dengan 1.5HS dibawah SWL. *Armour* dibawah tingkat ini biasanya terdiri dari batu, bahkan ketika unit beton yang digunakan di atasnya.

Pada umumnya digunakan jenis *armour* beton pracetak yang berbeda-beda dalam lapisan penutup yang sama. Foster (1985a) menjelaskan masalah *interfacing* antara Dolos dan unit Tribar selama pelaksanaan, khususnya di dekat SWL dimana aksi gelombang yang paling terkonsentrasi. Berat *armour* dapat bervariasi disepanjang pemecah gelombang yang disesuaikan dengan kedalaman air dan tinggi gelombang (DePuy dan Stickland 1976), tapi mungkin bisa lebih ekonomis dan praktis untuk mengadopsi berat yang konstan.

Diperlukan transisi terhadap perubahan lereng, khususnya pada sisi yang terlindung yang mempunyai kemiringan datar didekat kepala untuk membentuk tubuh konstruksinya (Paus dan Clark 1983). Perawatan harus dilakukan terhadap transisi antara *armour* baru dan yang sudah ada, terutama untuk hantaman gelombang miring karena *armour* yang baru berbeda dalam berat dari yang sudah ada. Baumgartner et al (1985) dan Markle dan Dubose (1985) menggambarkan penggunaan batu penopang untuk mendukung Dolos untuk merehabilitasi pemecah gelombang yang rusak. Untuk penempatan batu bisa terjadi mengalami kesulitan dalam menempatkan pada lapisan luar dan dalam (Groeneveld et al 1983) dan juga unit-unit pada lapisan yang sama (Van Damme et al 1985).

Lapisan bawah (Underlayer)

Lapisan bawah pertama (under layer) disebut juga lapisan penyaring (filter layer) sebagai dasar untuk lapisan pelindung dan sebagai filter untuk mencegah terkikisnya bagian inti (*core*) terhadap penghanyutan material. Disamping itu juga melindungi inti selama konstruksi. Ukuran batu yang akan digunakan dalam *underlayer* dilakukan dengan beberapa proporsi dari W. Hal ini untuk memastikan *interlock* yang memadai antara lapisan yang berdekatan dan juga mengurangi gradasi potensi erosi internal. Stabilitas *armour* umumnya meningkat dengan peningkatan permeabilitas *underlayer*.

Hedges (1984) telah menyarankan penggunaan “pengikat” (*shear keys*) antara lapisan *armour* dan *underlayer* untuk mencegah geser, tapi ini bukan praktek umum. Penggunaan teknik ini dijelaskan oleh De Carvalho (1964) di mana beton pracetak berbentuk khusus “ *cast through stones*” yang digunakan untuk menghubungkan dua lapisan pelindung batu.

Inti (Core)

Permeabilitas inti mempengaruhi terjangan gelombang (*runup*) dan stabilitas pelindung. Dengan permeabilitas rendah akan menyebabkan terjangan yang lebih tinggi dan stabilitas yang lebih rendah (Timco et al 1985, Van der Meer dan Pilarczyk 1987). Meskipun kepadatan inti mengurangi transmisi gelombang, kehalusan minimal harus digunakan untuk menghindari erosi internal. Sebuah filter bergradasi mencegah penghapusan gradasi halus dari inti tetapi tidak mencegah redistribusi material internal yang dapat menyebabkan penyelesaian diferensial. Pemilihan bahan inti umumnya menggunakan pedoman empiris berdasarkan pengalaman masa lalu dan umumnya terdiri dari agregat galian kasar, tanpa partikel-partikel halus dari debu dan pasir.

Penetrasi ke dasar laut dapat menyebabkan jumlah yang lebih besar dari yang diperkirakan yang dibutuhkan selama desain. Hal ini juga dapat menurunkan puncak, meningkatkan risiko overtopping. Konsolidasi yang signifikan di dasar laut dapat terjadi selama konstruksi (Fang 1982) tetapi dapat dikelola dengan tahapan konstruksi seperti konsolidasi yang terjadi dari dasar laut sebagai hasil konstruksi. Karena inti disimpan dalam keadaan longgar, penurunan awal dapat terjadi akibat aksi gelombang, yang dapat merusak unit armour. Gempa atau gelombang susulan mungkin perlu pertimbangan dalam desain.

Teknik yang digunakan untuk menganalisis profil keseimbangan dapat digunakan untuk menilai perilaku inti selama terkena badai. Resiko kerusakan biasanya dibatasi dengan menentukan panjang maksimum inti yang dapat dibiarkan terbuka setiap saat selama konstruksi.

Daya dukung Jari Kaki (Toe support)

Keadaan laut penting bagi tes model desain jari kaki, dan biasanya dilakukan saat air surut, dimana ketinggian gelombang kecil. Struktur ujung kaki dari penempatan unit *armour*, biasanya batu, memberikan dukungan langsung terhadap lapisan pelindung. Literatur banyak berisi laporan pada kegagalan lapisan *armour* yang ditandai oleh hilangnya dukungan jari kaki atau dasar laut berpasir, bersama dengan metode rehabilitasi (Danel dan Greslou 1963, Kjellstrup and Bruun 1983, Smith and Gordon 1983, Silvester and Hsu 1984, Thorpe 1984, Read 1986, Sorensen and Jensen 1986). Paparan dari inti dapat mengakibatkan rentan terhadap serangan gelombang. Fredsøe and Sumer (1997) menjelaskan mekanisme gerusan dekat kepala dan menyajikan rumus empiris untuk ukuran armour batu pelindung

Struktur jari kaki terbentuk dari beton cor *insitu* sangat esensial dengan unit-unit yang berongga. Dalam beberapa kasus stabilitas unit saling

ditingkatkan dengan memodifikasi bentuk unit seperti Dolos (Van Dijk et al 1983) atau dengan orientasi khusus. Dari konstruksi titik pandang, yang terakhir praktis hanya di air dangkal. Jika geotekstil yang digunakan, pertimbangan harus diberikan kepada kepraktisan menempatkannya di bawah air. Perawatan juga harus diambil untuk mencegah kropos.

Suprastruktur

Sebuah suprastruktur terdiri dari blok beton atau dinding (*wave wall*) atau mahkota (*crown wall*) yang diperlukan untuk akses bagi pemeliharaan atau penanganan kargo, dan sangat penting apabila unit berongga yang digunakan (lihat Gambar 5.30). Hal ini juga dapat mengurangi jumlah *overtopping* dan memperkuat puncaknya.



Gambar 5.30 Pemecah gelombang dengan *crown wall* yang sejajar dengan *rock armour*

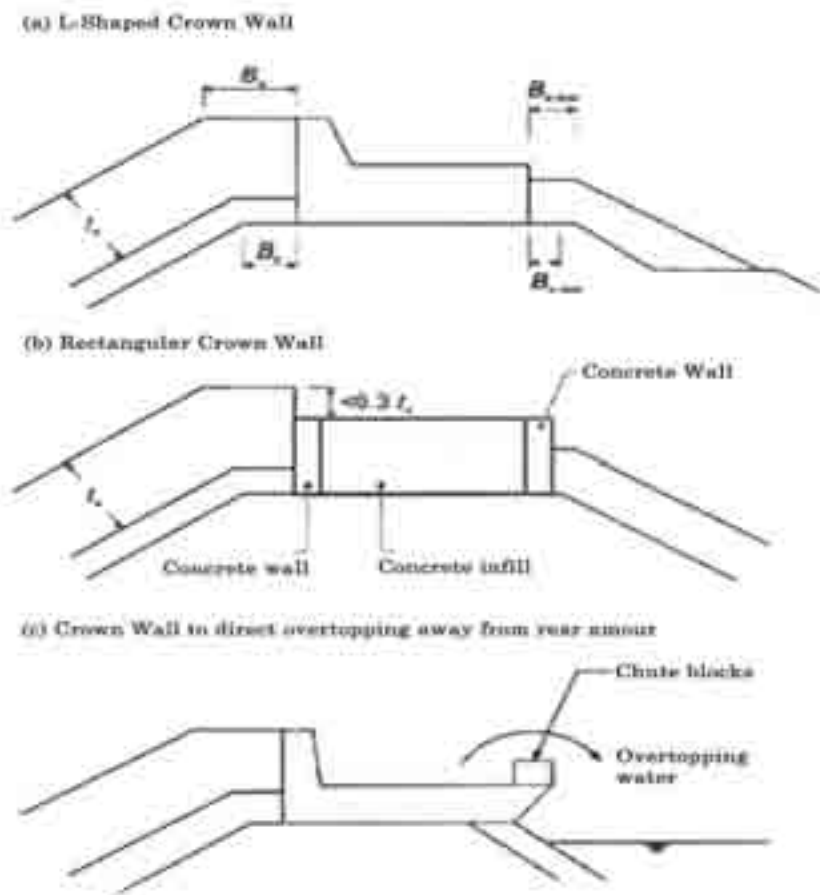
Beban dinamis akibat dari dampak gelombang dari arah laut dan beban pangkalan. Yang terakhir ini dapat dikurangi dengan lubang ventilasi, tetapi hal ini membutuhkan komitmen untuk menjaga mereka bersih. Beban ekstra vertikal juga didapat dari hasil gelombang *overtopping*. Sebuah tembok pembatas yang dimaksudkan untuk mencegah *overtopping* menyebabkan tambahan beban pada unit lapis pelindung.

Sliding dapat dicegah oleh gesekan antara dasar dan *underlayer* atau inti. Kesulitan muncul dalam mencoba untuk mereproduksi ini dengan model fisik, terutama ketika ukuran relatif dari material telah diubah untuk memenuhi persyaratan hidrolika.

Jensen (1983) menyajikan pedoman berikut:

- Dinding gelombang tidak harus diatas sepanjang lapisan pelindung (untuk meminimalkan gaya pada suprastruktur)
- Tombol blok topi ke inti dengan tumit
- Memperpanjang inti sampai dengan bagian bawah blok topi, dan
- Memperpanjang belakang blok tutup lereng bawah untuk mengarahkan overtopping jatuh langsung di permukaan air.

Konfigurasi Crown wall dapat dilihat pada Gambar 5.31



Gambar 5.31 Konfigurasi Crown wall

Bahan bawah dasar harus memiliki permeabilitas yang sangat baik untuk meringankan tekanan mengangkat, atau permeabilitas sangat rendah untuk mencegah air memasuki pori-pori. Komentar berguna lainnya yang dibuat oleh Baird et al. (1981). Hamilton dan Hall (1993) menyajikan hasil pengujian model dengan mahkota (gelombang) yang menunjukkan bahwa

dinding, kaki pendek stabilisasi di ujung bawah arah laut dan suprastruktur secara substansial meningkatkan stabilitas dan stabilitas juga meningkat dengan menurunnya ketinggian dinding. Seperti Jensen (1983), mereka merekomendasikan penempatan langsung pada inti dengan *armour* membentang hingga bagian depan dinding.

4.2. Kestabilan Pemecah Gelombang Sisi Miring

Kestabilan pemecah gelombang dari bahan batu sangat tergantung pada berat dan bentuk setiap batu serta kemiringan dari lapisan penutupnya Iribarren (1983) menentukan hubungan antara berat dan kemiringan untuk tinggi gelombang yang berbeda-beda

$$W = \frac{K \cdot H^3 \cdot Sr}{(\cos \alpha - \sin \alpha)^2 (Sr - 1)^2} \quad (5.1)$$

di mana:

- W = berat masing-masing batu (kg)
- K = Koefisien; K = 15 untuk batu alam dan K = 19 untuk batu buatan.
- H = tinggi gelombang (m)
- α = sudut kemiringan dengan bidang horizontal
- Sr = berat volume dari batu alam atau batu buatan (metrik ton/m³)

Dengan merubah berat menjadi ton, tinggi gelombang dalam ft dan diasumsikan koefisien gesekan = 1, koefisien K = 15 dan berat volume batu = 2,73, selanjutnya dapat ditentukan hubungan antara berat batu, kemiringan lapisan penutup dan tinggi gelombang yang ditunjukkan dalam Gambar 5.32.

Satu lagi bentuk umum dari persamaan diatas yang diberikan oleh Hudson.

$$W = \frac{K \cdot \gamma_f^3 \cdot \gamma_r \cdot H^3}{(\mu \cdot \cos \alpha - \sin \alpha)^2 (\gamma_r - \gamma_f)^2} \quad (5.2)$$

di mana :

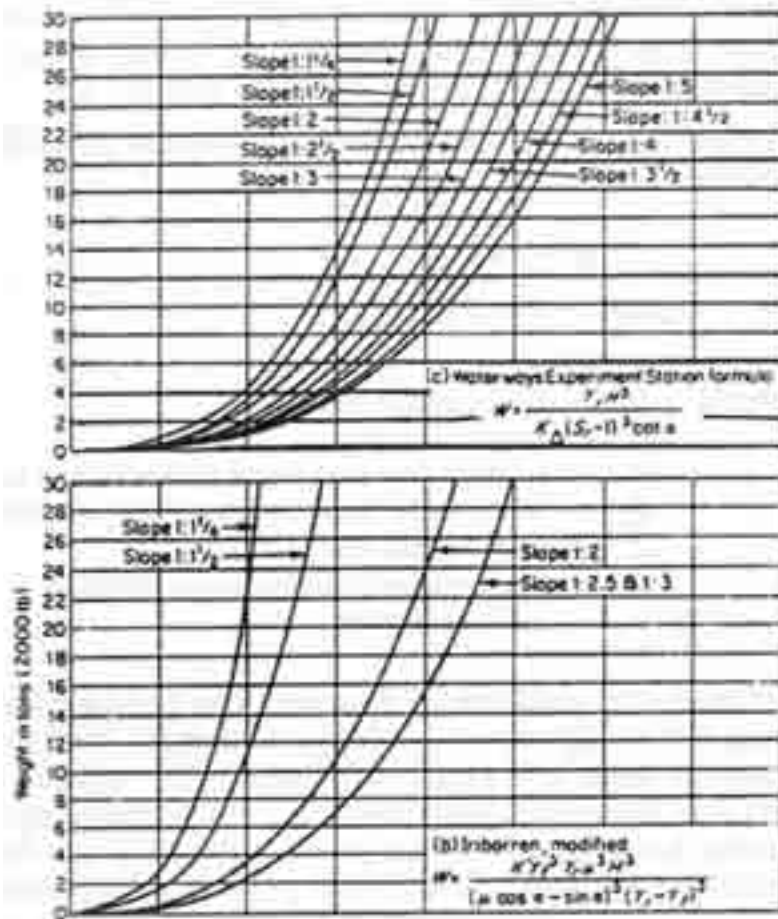
- W = berat masing-masing batu
- H = tinggi gelombang
- K = koefisien keamanan untuk ketidak pastian ukuran
- γ_f = berat volume cairan yang ada di sela-sela batu
- γ_r = berat volume batu.

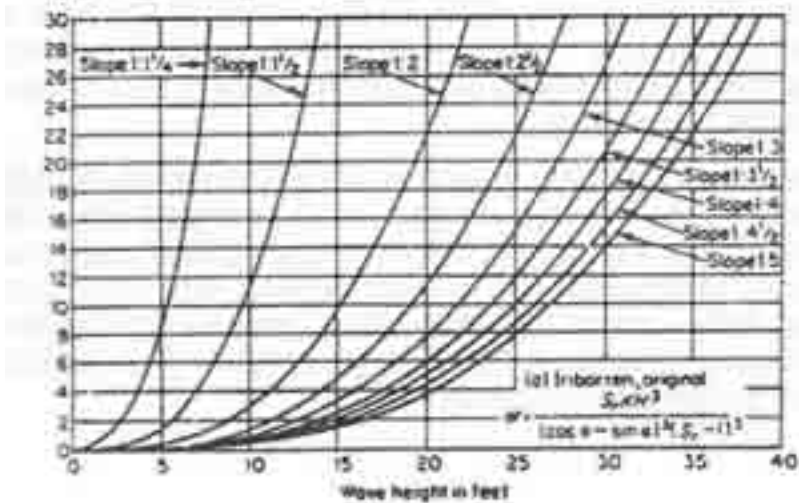
- α = sudut pada sisi di dalam kolam pelabuhan
- μ = koefisien gesekan.

Persamaan ini mempunyai dimensi yang homogeny dan unit- unit yang dapat digunakan beberapa systemnya konstan. Unit dalam system Inggris dimana $\gamma_f = 62.4$, $\gamma_r = 170$ dan $\mu = 1$ koefisien $K = 15$ menjadi $K' = 0,015$. Selanjutnya Gambar 5.33 dan Gambar 5.34 memperlihatkan grafik nilai K' untuk berbagai kedalaman d , tinggi gelombang H dan panjang gelombang L .

Selanjutnya dengan menggunakan variabel K' untuk kondisi rata-rata dimana $d = 60$ ft dan $L = 300$ ft dengan memakai grafik pada Gambar 5.32b dapat dilihat hubungan antara berat, kemiringandan tinggi gelombang.

Dalam tahun 1951, angkatan perang Amerika Serikat telah melakukan percobaan dengan mengadakan penelitian di laboratorium. Penelitian tersebut ditekankan





Gambar 5.32 Hubungan berat batu untuk lapisan penutup dan koefisien gelombang

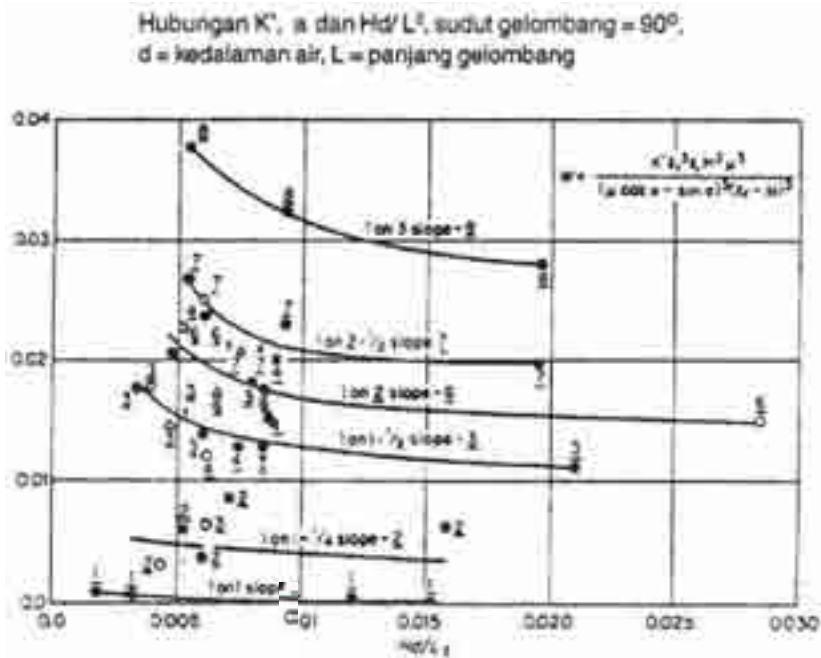
pada stabilitas pemecah gelombang sisi miring dengan unit-unit batu alam sebagai bahan untuk lapisan penutup. Dasar teori dan hasil dari penelitian tersebut menghasilkan perumusan yang hampir sama dengan perumusan Iribarren's.

$$W_r = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{K_\Delta (S_r - 1)^3 \cdot \text{Cot} \alpha} \tag{5.3}$$

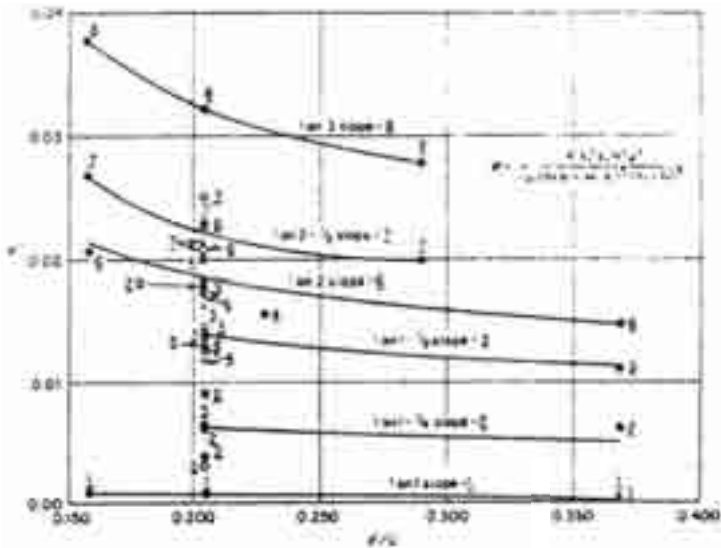
di mana :

- W_r = berat masing-masing batu (lb)
- H = tinggi gelombang (ft)
- K_Δ = koefisien keamanan akibat kerusakan = 3,2
- α = sudut kemiringan dengan bidang horizontal
- S_r = berat jenis batu
- γ_r = berat volume batu (lb/ft³)

Dengan mengganti dalam ton dan diasumsikan berat jenis = 2,73 untuk selimut batu (*armor stone*) grafik dapat dilihat dalam Gambar 5.32c



Gambar 5.33 Hubungan K' , α dan Hd/L^2 kriteria desain gelombang yang tidak merusak dengan menggunakan perhitungan K' sudut gelombang = 90° , d = kedalaman air, L = panjang gelombang



Gambar 5.34 Hubungan antara nilai K' dengan α dan d/L kriteria desain gelombang yang tidak merusak dengan menggunakan perhitungan K' sudut gelombang = 90° , d = kedalaman air, L = panjang gelombang

Tabel 5.1 memberikan nilai K_2 , yang tergantung dari kedalaman air dan cara penempatannya untuk berbagai lapisan timbunan pemecah gelombang.

1. Untuk timbunan pemecah gelombang yang cukup dalam dan tanpa limpasaan (overtopping)
2. Untuk pemecah gelombang dengan kedalaman yang dangkal dan ukuran gelombang yang pecah langsung pada kemiringan timbunan.
3. Untuk puncak kerucut dari pemecah gelombang dari kedalaman yang cukup.
4. Untuk puncak kerucut dari pemecah gelombang yang menjadi sasaran dari gaya gelombang.

Tabel 5.1 Mengajukan untuk nilai K_2

Lapisan Penutup (Armor unit)	Metode Penempatan	Lapisan (n)	Koefisien			
			1	2	3	4
Batu licin	Sembarang	2	2,6	2,5	2,4	2,0
Batu kasar	Sembarang	2	3,5	3,0	2,9	2,0
Batu licin	Sembarang	>3	3,2	3,0	2,9	
Batu kasar	Sembarang	>3	4,3	4,0	3,8	
Kombinasi	Sembarang	2	7,5	7,0	5,0	
Tetrapod	Sembarang	2	8,3	8,0	6,5	6,0
Quadripod	Sembarang	2	8,3	8,0	6,5	6,0
Hexapod	Seragam	2	9,0	8,5	7,0	6,0
Tribar	Seragam	2	10,0	9,5	7,5	6,0
Tribar	Seragam	1	15,0	12,0	9,5	

Sumber: (Quinn 1972)

Tabel 5.2 Rembesan lapisan penutup

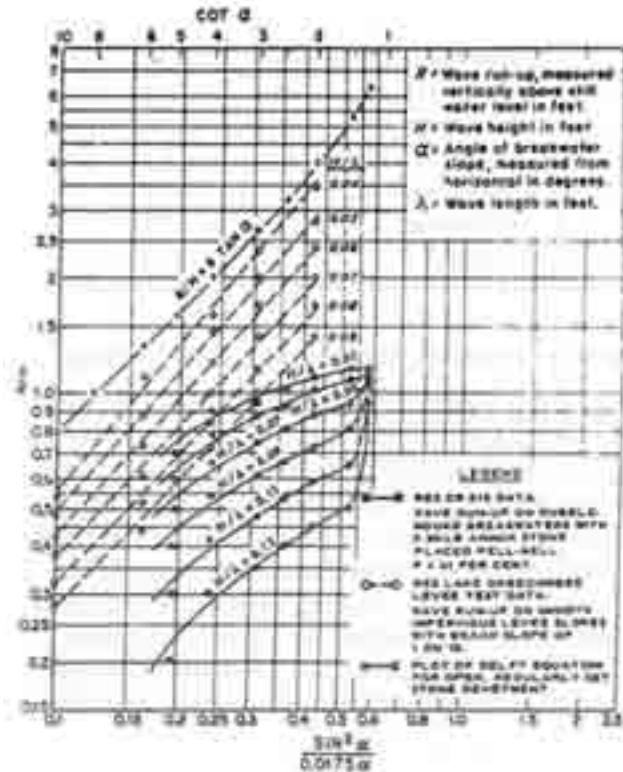
Lapisan Penutup (Armor unit)	Metode Penempatan	Lapisan (n)	$K\Delta$	P_1 %
Batu	Sembarang	2	1,0	38
Batu	Sembarang	>3	1,0	40
Modifikasi	Sembarang	2	1,1	47
Tetrapod	Sembarang	2	1,0	50
Quadripod	Sembarang	2	1,0	50
Hexapod	Sembarang	2	1,15	47
Tribar	Sembarang	2	1,0	54
Tribar	Seragam	1	1,13	47

Sumber: (Quinn 1972)

5.4.3 Dimensi pemecah gelombang sisi miring

Fungsi utama pemecah gelombang adalah untuk memberukan perlindungan yang cukup pada pelabuhan dari gaya gelombang yang penting air yang melimpas pada puncak pemecah gelombang benar-benar dcegah agar tidak terjadi limpasan (overtopping) terutama gelombang yang akan pecah atau hamper mencapai lereng tumpukan batu dan akan naik (run-up) pada kemiringan permukaan pemecah gelombang. Elevasi puncak pemecah gelombang tumpukan batu tergantung pada limpasan (overtopping) yang diijinkan. Air yang melimpas puncak pemecah gelombang akan mengganggu ketenangan di kolam pelabuhan. Elevasi puncak bangunan dihitung berdasarkan kenaikan (run-up) gelombang, yang tergantung pada karakteristik gelombang, kemiringan bangunan porositas dan kekasaran lapis pelindung.

Laporan penelitian 22 Juli 1958 oleh United States Army Engineer Waterways Experiment Station, memberikan informasi kenaikan (run-up) gelombang pada bangunan pemecah gelombang sisi miring. Laporan penelitiannya menyimpulkan bahwa kemiringan pemecah gelombang dan ketinggian gelombang adalah variabel utama yang mempengaruhi run-up pada air yang dalam tergantung besarnya nilai tinggi relatif H/d dan run up gelombang berkurang sejalan dengan bertambahnya nilai ketinggian gelombang dan kemiringan tumpukan batu. Gambar 5.35. memberikan faktor $\text{run-up}R/H$ untuk tumpukan batu yang halus, lereng tumpukan batu yang kedap air. Yang menari yang perlu catat bahwa untuk kondisi rata-rata (dimana ratio tinggi dan panjang gelombang $H/2 = 0,07$ dan untu kemiringan 1 : 2 ratio R/H pada run up (diukur dari atas muka air rata-rata) tinggi gelombang adalah kira-kira 0,9.



Gambar 5.35 Tinggi run up gelombang untuk pemecah gelombang tumpukan batu dan lereng yang halus serta kedap air. Sumber: (Quinn 1972)

5.4.4 Contoh perhitungan kestabilan konstruksi pemecah gelombang sisi miring

Dalam kuliah pelabuhan tidak akan dibahas secara rinci mengenai teori dan analisis dalam perhitungan kestabilan lereng karena sudah dibahas secara rinci pada kuliah mekanika tanah. Disini hanya akan dibahas secara garis besar, untuk itu ada baiknya sebelumnya dibaca kembali pelajaran mekanika tanah khususnya yang menyangkut perhitungan kestabilan lereng.

Cara yang dipakai untuk menghitung kemantapan lereng adalah suatu "limit equilibrium method" (cara keseimbangan batas yaitu kita hitung besarnya kekuatan geser yang diperlukan untuk mempertahankan kemantapan dan kita bandingkan dengan kekuatan geser yang ada dari perbandingan ini kita mendapatkan factor keamanan).

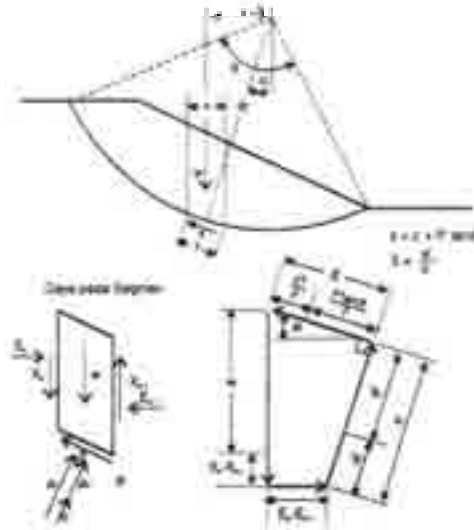
Pada permulaan kita anggap bahwa akan terjadikelongsoran pada suatu bidang gelincir tertentu, dan kita hitung gaya atau momen yang mencoba menyebabkan kelongsoran pada bidang tersebut, akibat berat

tanah. Ini disebut gaya penggerak (sliding force) atau momen penggerak (turning moment). dengan mempersamakan kedua momen ini kita dapat menentukan factor keamanan terhadap kelongsoran pada bidang geser yang bersangkutan. Cara ini di ulang pada bidang-bidang gelincir lain, sampai tercapai nilai faktor keamanan yang terkecil.

Ada dua metode untuk menganalisis kestabilan lereng yaitu :

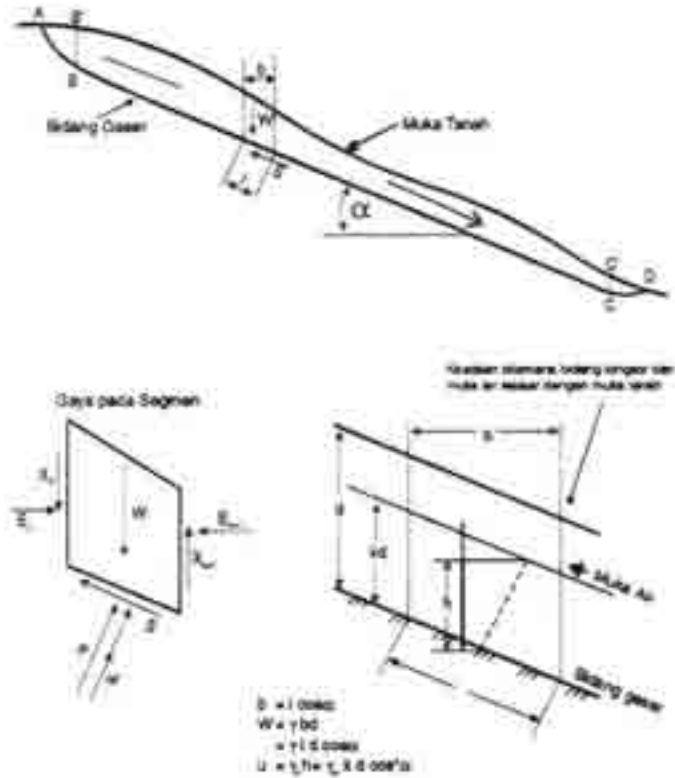
- a) Circular arc method atau Rotational slides. Cara ini digambarkan pada Gambar 5.36. Momen penggerak segmen = $W \times X$ dimana W = berat segmen. Sedangkan momen penggerak seluruhnya kita peroleh dengan menjumlahkan momen dari setiap segmen.

Sehingga Faktor Keamanan $F = \frac{\text{Mome tahan}}{\text{Mome guling}} = \frac{R \sum s \cdot l}{\sum W \cdot x}$



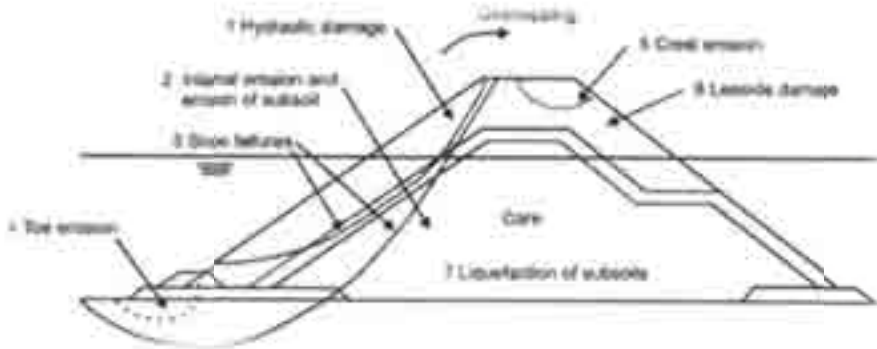
Gambar 5.36 Cara menghitung kemantapan lereng terhadap rotational slides.

- b) Slice method atau Translations Slides . Bentuk yang khusus dari tanah longsor semacam ini dapat dilihat pada Gambar 5.34. Dalam hal ini bentuk serta dalam bidang yang gelincir ditentukan oleh adanya lapisan lebih keras dekat pada permukaan tanah. Untuk keperluan perhitungan sebagian besar bidang gelincir tersebut dapat dianggap lurus, seperti bagian BC



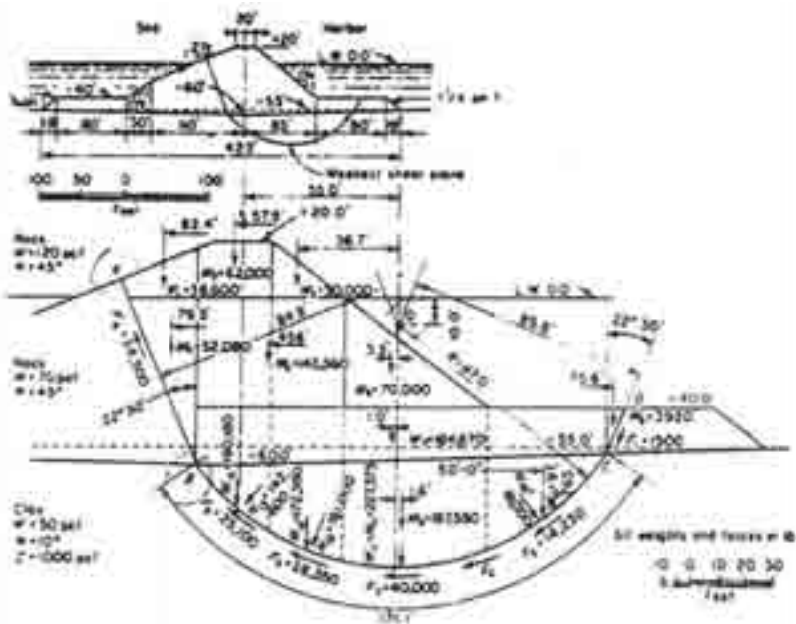
Gambar 5.37 Perhitungan kemantapan lereng terhadap “Translational Slide”

Untuk pemecah gelombang sisi miring, kegagalan struktur umumnya disebabkan baik oleh aksi gelombang maupun oleh faktor geoteknik, seperti longsor, kegagalan pondasi dan erosi internal yang disebabkan oleh berat sendiri, tekanan air dan gaya gempa. Erosi pada sepatu (toe erosion) longsor, erosi internal, kerusakan hidraulik dan limpasan yang besar dapat menyebabkan erosi pada puncak bangunan dan kerusakan pada wilayah di dalam pelabuhan (lee-side). kasus kerusakan utama pada bangunan pemecah gelombang miring dapat dilihat pada Gambar 3.38. Pengecekan terhadap setiap model kerusakan yang potensial harus dipahami. Model fisik sangat penting untuk menilai perilaku struktur melawan gaya gelombang. Erosi pada pondasi dan hubungannya dengan kelongsoran pada sepatu dari struktur adalah kasus kegagalan yang umum terjadi oleh karena itu harus hati-hati dalam menghitungnya.



Gambar 5.38 Model kelongsoran dari bangunan pemecah gelombang sisi miring

Contoh Perhitungan yang diambil dari buku Design and Construction of Ports and Marine Structures sebagai berikut: Suatu pemecah gelombang yang dibangun pada tanah dasar lempung pada kedalaman 55 ft dari air rendah dimana tegangan geser tanah = $c + \tan \phi$ dan kohesi, $C = 1000 \text{ lb / ft}^2$ serta sudut geser dalam $\phi = 10$. Elevasi pemecah gelombang seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.39, untuk elevasi puncak adalah 20 ft diatas air rendah. Di hitung momen guling dan momen tahan serta faktor keamanan terhadap kelongsoran. Dari perhitungan coba – coba di dapatkan garis kelongsoran ABCD. Titik pusat kelongsoran adalah di titik O.



Gambar 5.39 Pemecah gelombang dan garis kelongsoran pada tanah lempung

Dari gambar dapat dilihat kemiringan pemecah gelombang untuk di luar pelabuhan (laut lepas) adalah 1 : 2 1/2 untuk timbunan batu di atas permukaan air dan 1 : 1 1/2 untuk yang terendam di dalam air dan apabila berat jenis batu (Sr) = 2,73, berat jenis beton = 2,25 dan berat jenis air laut = 1,03, tinggi gelombang = 3 meter = 9,84 feet maka berat batu untuk lapis lindung dengan menggunakan rumus Irrabaren adalah sebagai berikut :

- a. Berat batu diatas permukaan air

$$W = \frac{KH^3Sr}{(\cos\alpha - \sin\alpha)^3(Sr-1)^2}$$

Koefisien untuk batu, K = 15 dan K = 9 untuk blok buatan.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{3}{2\frac{1}{2}} (\cos \alpha - \sin \alpha)^3 = 0,173$$

$$\text{Maka } W = \frac{15 \times 3^3 \times 2,73}{0,173 \times 1,73} = 3.694 \text{ kg}$$

- b. Berat batu terendam air

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{3}{1\frac{1}{2}} (\cos \alpha - \sin \alpha)^3 = 0,021$$

$$\text{Maka } W = \frac{15 \times 3^3 \times 2,73}{0,021 \times 1,73} = 30.433 \text{ kg}$$

- c. Kestabilan lereng

Momen guling

W1	:	38.600	x	82,4	=	3.180.640 ft-lb
W2	:	62.000	x	57,9	=	3.589.800 ft-lb
W3	:	30.000	x	36,7	=	1.101.000 ft-lb
W4	:	52.080	x	79,5	=	4.140.360 ft-lb
W5	:	143.360	x	45,6	=	6.537.216 ft-lb
W6	:	70.000	x	3,3	=	231.000 ft-lb
W7	:	184.870	x	1,0	=	<u>184.870 ft-lb</u>
						18.964.886 ft-lb

Momen tahanan

W8	:	3.920	x	75,6	=	296.352 ft-lb
W9	:	197.550	x	1,6	=	316.080 ft-lb
W10	:	97.765	x	50,0	=	4.888.250 ft-lb

Gaya Geser :

Batu : $\phi = 45^\circ, \tan \phi = 1$

F1	:	1.500	x	85,6	=	128.400 ft-lb
F6	:	34.500	x	84,9	=	2.929.050 ft-lb

Tanah lempung $\phi = 10^\circ, \tan \phi = 0,17633$

$$\begin{aligned} F2 & : 14.230 \\ F3 & : 40.000 \\ F4 & : 28.350 \\ F5 & : \underline{25.100} \\ & 107.680 \times 87,0 = 9.368.160 \text{ ft-lb} \end{aligned}$$

Gaya Kohesi:

$$\begin{aligned} Fc & : 171,1 \times 1.000 = 171.100 \\ & 171.100 \times 87,0 = \underline{14.885.700 \text{ ft-lb}} \\ & 32.983.092 \text{ ft-lb} \end{aligned}$$

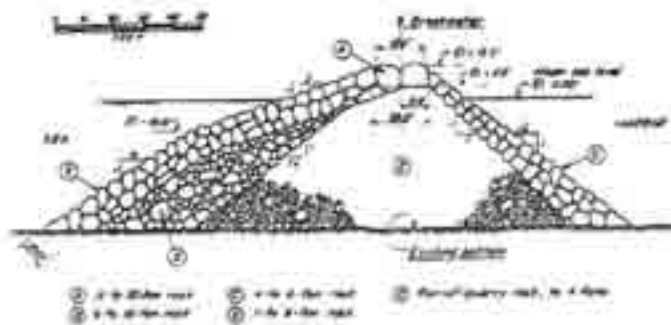
$$\text{Faktor keamanan : } \frac{32.983.092}{19.484.896} = 1,74$$

5.4.5 Contoh Bangunan Pemecah Gelombang Sisi Miring

Banyak bangunan pemecah gelombang tipe ini yang telah di bangun di dunia. Selanjutnya disini di pilih beberapa tipe yang berbeda untuk mengetahui lebih jauh tentang bangunan pemecah gelombang tipe ini dari segi perencanaan, pelaksanaan dan material yang digunakan.

Gambar 5.40 ditunjukkan potongan melintang pemecah gelombang di pelabuhan La Guaria , Vanezuela yang di bangun pada tahun 1950. Ini adalah salah satu contoh bangunan pemecah gelombang yang sangat bagus karena dalam pembangunannya untuk pertama kalinya di dunia telah menggunakan peralatan berat dalam penimbunan lapis pemecah gelombang baik untuk lapisan inti maupun lapisan tengah sampai pada lapisan puncak. Pemecah gelombang ini direncanakan untuk menahan gelombang dengan ketinggian 20 feet dengan menggunakan bahan batu dengan berat lebih dari 20 ton.

Untuk pembangunan pemecah gelombang ini, lapisan dalam (inti) ditempatkan pada dasar laut dengan menggunakan batu dari pecahan-pecahan yang dihasilkan dari tempat galian dengan berat bervariasi dari 100 lb sampai 4 ton. Lapisan inti paling atas dibuat lebarnya yang memadai untuk operasinya truk- truk dengan beban roda 20 ton yang digunakan untuk mengangkut batu dari tempat galian (quarry) ke lokasi pembangunan pemecah gelombang. Gambar 5.41 memperlihatkan batu yang beratnya 20 ton yang dibongkar dari truk dengan menggunakan crane. Gambar 5.42, memperlihatkan batu- batu besar untuk lapisan penutup yang ditempatkan setelah lapisan inti.



Gambar 5.40 Potongan melintang pemecah gelombang La Guaria, Venezuela

Tipe pemecah gelombang yang mirip dengan di atas juga telah di bangun di pantai utara Lake Superior pada tahun 1956. Perbedaan utama pada konstruksi ini tidak berisi lapisan penyaring (filter course) atau lapisan kedua dan metode penempatan lapisan penutup seperti yang diperlihatkan pada potongan melintang pada Gambar 5.43.

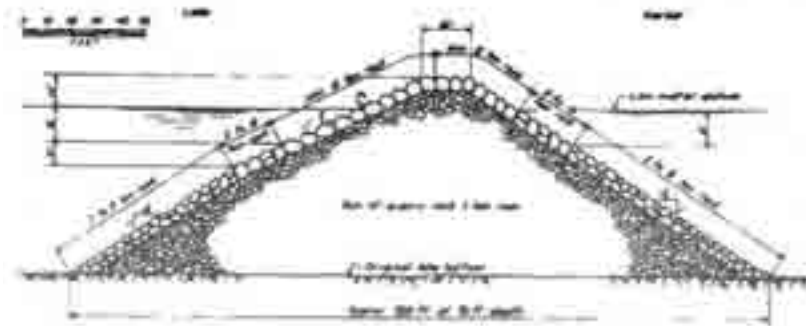


Gambar 5.41 pembongkaran batu yang berat nya 20 ton dari truk



Gambar 5.42 penempatan / penumpukan batu di lokasi setelah lapisan inti

Untuk pembangunan pemecah gelombang di Taconite, lake superior ini dibutuhkan kira – kira satu juta ton batu di ledakan untuk menghasilkan batu-batu dengan berat sesuai dengan proporsi yang diinginkan. Batu dengan berat yang kurang dari 3 ton adalah 63,3 %, berat 3-8 ton adalah 9,5 % , 8 sampai 15 ton adalah 12,1 % dan batu yang beratnya lebih besar 15 ton.



Gambar 5.43 potongan melintang Pemecah gelombang di pelabuhan Taconite, Lake Superior

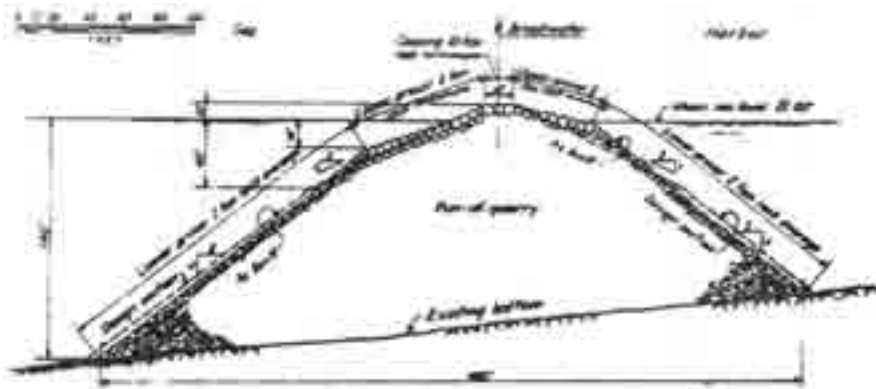
Batu – batu tersebut diangkut dari lokasi penggalian/peledakan (quarry) ke lokasi pembangunan pemecah gelombang dengan menggunakan flat-bed trailer truck. Selanjutnya pembongkaran dari truk dan penempatan pada lapisan inti dengan cara di tumpahkan seperti ditunjukkan pada Gambar 5.44. dalam gambar tersebut juga tampak batu- batu dengan kapasitas 25 ton di tempatkan pada posisinya.



Gambar 5.44 Penumpukan batu dengan menggunakan Derek

Pelabuhan Matarani, Peru yang di selesaikan pada tahun 1941 yang merupakan contoh pembangunan pemecah gelombang yang sangat baik yang terdiri dari dua pemecah gelombang. Di sisi selatan dengan panjang kira-kira 2.000 feet dan di sisi timur dengan panjang 500 feet yang telah di uraikan pada bab tiga.

Pemecah gelombang pada sisi selatan merupakan salah satu bangunan pemecah gelombang yang terdalam di dunia dan berisi bahan batu kira-kira 1,9 juta kubik yard. Potongan melintang pemecah gelombang ini seperti di perlihatkan pada Gambar 5.45, 5.46, 5.47.



Gambar 5.45 Potongan melintang pemecah gelombang pada pelabuhan Matarani, Peru.



Gambar 5.46. Pandangan dari atas pemecah gelombang yang terletak disebelah utara, pelabuhan Matarani, Peru. Kelihatan juga jalan di atas pemecah gelombang.

Lapisan inti dan lapisan penutupan yang teratas dan terbawah di tumpuk dengan menggunakan dump truck dan side-dump truck trailer. Pemandangan pelaksanaan ini diperlihatkan pada gambar 5.47.



Gambar 5.47 Pandangan sebelah selatan, pelabuhan Matarani, Peru.

5.5 Pemecah Gelombang Sisi Miring Tumpukan Batu dan Cetakan Beton (*Concrete Block and Rock-Mound Breakwaters*)

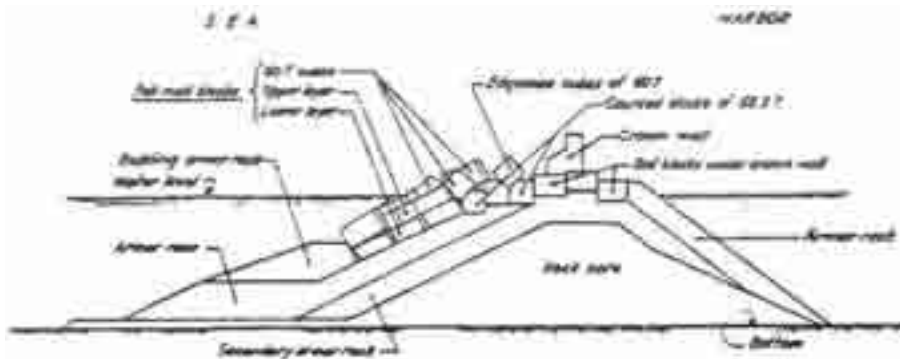
Tipe konstruksi ini digunakan apabila batu alam tidak tersedia di lokasi proyek pembangunan pemecah gelombang atau apabila dalam studi perencanaan yang telah dilakukan ternyata apabila menggunakan batu alam tidak ekonomis atau ukuran batu yang dibutuhkan sangat besar dan tidak mungkin didapatkan di lokasi karena ukurannya sangat besar dan berat. Keadaan seperti yang disebutkan ini sering sekali ditemui, khususnya apabila pemecah gelombang yang direncanakan untuk ketinggian gelombang yang besar.

Ukuran batu alam yang paling berat 20 ton masih bisa dibuat atau didapatkan serta ekonomis dari tempat galian (Gambar 5.48 menunjukkan beberapa blok beton dapat digunakan apabila ketinggian gelombang melebihi 20 feet).

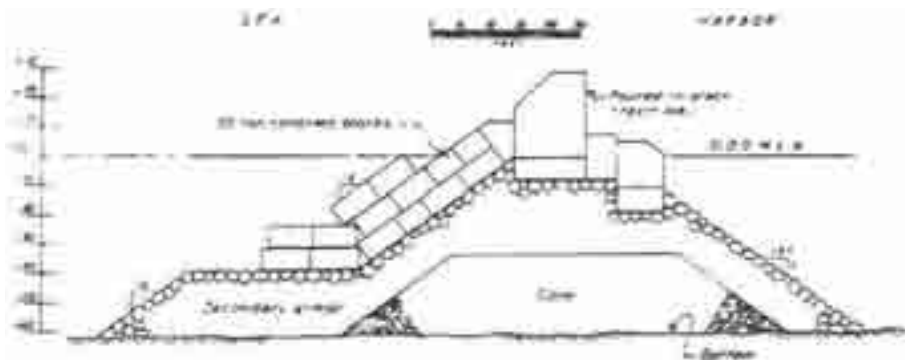
Berat blok-blok beton tidak mungkin dibuat sesuai keinginan karena sangat dibatasi oleh peralatan yang digunakan dalam pembuatan blok-blok beton tersebut. Blok-blok beton ini terbatas hanya apabila peralatan mampu untuk menanganinya. Seandainya tidak ada keterbatasan ini, mungkin pemecah gelombang direncanakan untuk pemecah gelombang berbagai ukuran yang

seperti kita inginkan. Blok-blok beton dengan berat 50 sampai 60 ton sangat umum digunakan dan sangat aneh apabila blok beton tersebut beratnya sampai sebesar 400 ton misalnya.

Blok-blok beton buatan tersebut dalam pelaksanaannya diletakkan seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.49. Atau diletakkan dengan cara menyusun dengan pola seperti yang ditunjukkan seperti Gambar 5.50. Apabila blok-blok beton diletakkan seperti Gambar 5.49, maka konstruksinya tersebut akan memiliki kekasaran hidrolis yang lebih baik karena dapat di tembus air lebih mudah yang sangat dibutuhkan oleh konstruksi pemecah gelombang dari batu. Walaupun begitu untuk lapisan luar blok beton yang merupakan lapisan luar yang mempunyai volume yang paling besar dibandingkan batu alam (ini biasanya di letakkan pada lapisan pertama yang tetap memberikan derajat kekasaran yang baik dan prous alami).



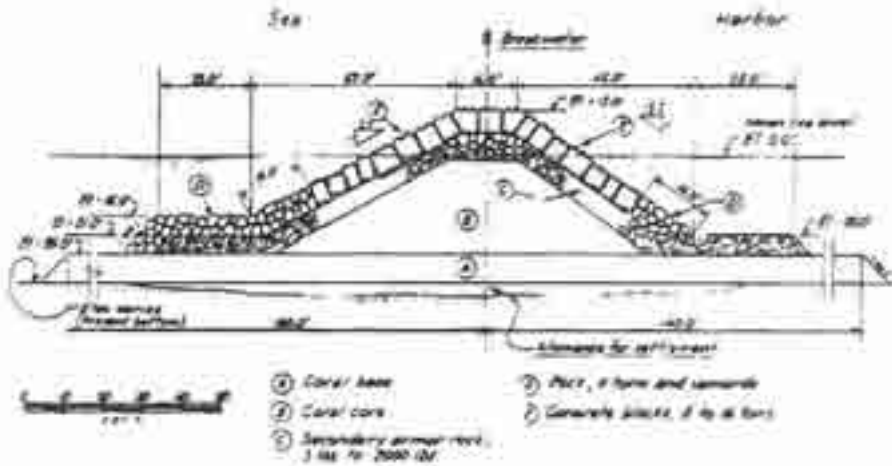
Gambar 5.49. Pemecah gelombang blok beton dengan penempatan tidak teratur



Gambar 5.50. Pemecah gelombang blok beton penempatannya menggunakan pola

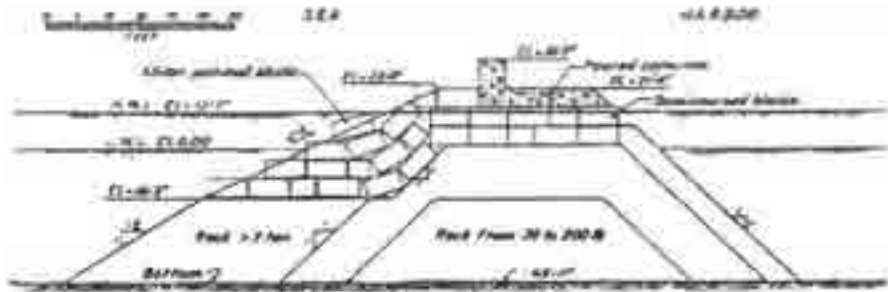
5.5.1. Contoh Pemecah Gelombang Blok Beton di Atas Tumpukan Batu

Umumnya konstruksi tipe ini sangat disenangi di Negara –negara Eropa dibandingkan di Negara- Negara barat yang lebih menonjol menggunakan pemecah gelombang dari batu alam. Walaupun begitu, salah satu contoh yang patut diperhatikan adalah bangunan pemecah gelombang Naval Air Station yang terletak di Coco Solo, Canel zone yang menggunakan blok beton yang di tempatkan dengan pola yang teratur. Pemecah gelombang ini dibangun pada waktu perang adalah merupakan tipe bangunan pemecah gelombang yang agak berbeda dari biasanya di mana bahan konstruksinya terdiri dari tiga kelas. Dasarnya menggunakan batu karang, lapisan inti juga menggunakan batu karang. Sedangkan lapisan kedua menggunakan batu alam dan blok beton. Potongan melintang pemecah gelombang ini ditunjukkan dalam Gambar 5.51



Gambar 5.51 potongan melintang pemecah gelombang di Naval Air Station, Coco Coco Solo, Panama canal

Pada pelabuhan Safi, Marocco, bentuk pelabuhan dan perlindungan pelabuhan dengan menggunakan pemecah gelombang yang kira-kira sejajar dengan garis pantai. Bangunan pemecah gelombang ini diperluas dalam tahun 1995 yang mempunyai panjang kira-kira 24.000 feet. Pemecah gelombang ini dapat dilihat pada Gambar 5.52.



Gambar 5.52 pemecah gelombang pada pelabuhan Saji, marocco

Gambar 5.53 diperlihatkan potongan melintang pemecah gelombang untuk pelabuhan Zonguldak, Turki. Pemecah gelombang tersebut direncanakan untuk gelombang sampai ketinggian 8,5 meter. Kedalaman air maksimum 17 meter. Photo pemecah gelombang secara komplit dapat dilihat dalam Gambar 5.54.

Untuk memperbaiki stabilitas pemecah gelombang sisi miring dengan tumpukan blok beton, berbagai bentuk beton yang tidak rata (irregular-shaped concrete) direncanakan dan di tes di united states waterways experiment station adalah: tetrapod, quadripod, hexapod, tribar, kombinasi kubus dan kombinasi tetrahedron.



Gambar 5.53 Potongan melintang pemecah gelombang di Zonguldak, Turki.



Gambar 5.54 Tampak secara komplit pemecah gelombang, Zonguldak, Turki.

5.5.2. Pemecah Gelombang dengan Unit *Irregular Concrete*

Gambar 5.55 unit tetrapod yang dikembangkan oleh NEYRPIC, Grenoble, Prancis dan pada Gambar 5.56 ditunjukkan cara pengangkutan tetrapod. Tetrapod tersebut menggunakan ukuran diatas 40 ton per unit. Walaupun sebenarnya dengan ukuran 25 ton saja biasanya sudah memadai untuk pemecah gelombang yang besar.



Gambar 5.55 Tetrapod untuk unit lapisan luar pemecah gelombang (NEYRPIC, Grenobel, France).



Gambar 5.56 Cara pengangkutan tetrapod

Cara penempatan tetrapod pada lapisan pertama diatas tumpukan batu dengan cara menempatkan tiga buah tetrapod terlebih dahulu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.57 selanjutnya pada lapisan kedua ditempatkan satu buah tetrapod diantara ketiganya sehingga masing – masing tetrapod itu akan saling mengunci seperti ditunjukkan pada Gambar 5.58.

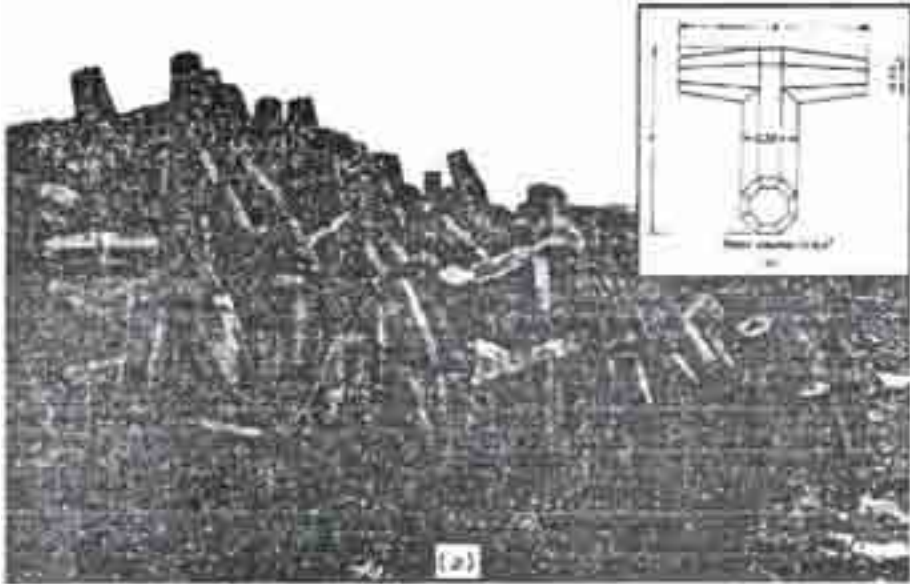


Gambar 5.57 Penempatan tetrapod pada lapisan pertama diatas tumpukan batu



Gambar 5.58 penempatan tetrapod pada lapisan kedua

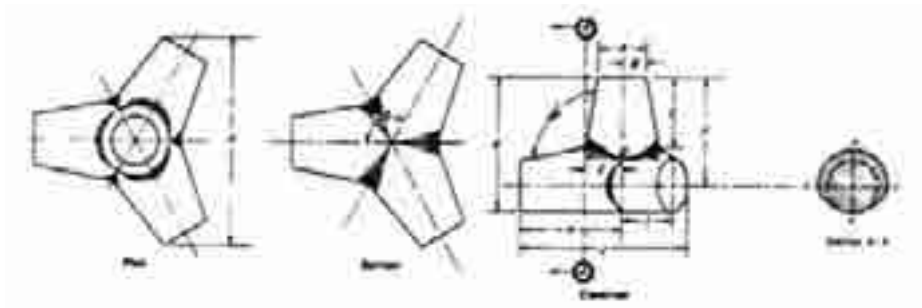
Bentuk Dolos telah dikembangkan oleh Eric M. Merrifield, ahli teknik pada pelabuhan East London, Afrika selatan. Dolosse ini digunakan untuk memperbaiki kerusakan yang terjadi pada pemecah gelombang di pelabuhan East London dimana kerusakannya diduga mencapai 60 % untuk blok-blok beton yang berukuran 40 ton. Dimensi doloss seperti ditunjukkan pada Gambar 5.59a dan penempatannya ditunjukkan dalam Gambar 5.59b.



Gambar 5.59. (a) Dimensi Dolos, (b) Penempatan dolos di lokasi proyek

Tabel 5.3 sampai dengan 5.6 ditunjukkan spesifikasi cetakan beton tetrapod, quadripod, hexapod, tribar, dan modifikasi kubus. memberikan volume, berat, dan ketebalan masing masing lapisan serta ukuran

Tabel 5.3 Quartripod : volume, berat, tebal lapisan dan ukuran



Volume masing-masing unit (Cu ft)

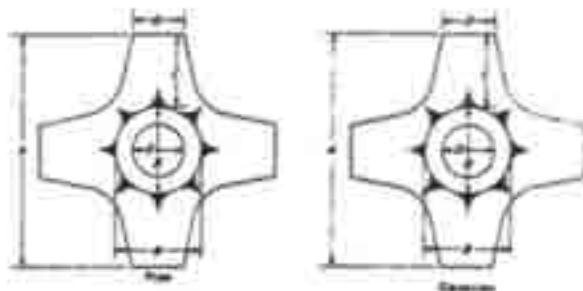
	7,14	14,28	28,57	71,43	142,86	214,29	285,71	357,14	428,57	500,00	571,43
Specific weight, pcf	 Berat masing-masing unit (ton)										
140,0	140,0	1,33	2,66	3,00	10,00	13,00	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00
160,0	160,0	1,27	2,54	3,36	10,08	13,44	21,36	26,70	32,04	37,38	42,72
180,0	180,0	1,11	2,22	3,33	11,14	14,71	22,07	27,58	33,10	38,61	44,13
192,0	192,0	1,18	2,31	3,78	11,57	15,43	23,14	28,92	34,71	40,50	46,29
	 Tebal rata-rata untuk dua lapisan dengan penempatan random (%)										
	2,95	4,61	5,81	7,86	9,88	11,57	13,21	14,85	16,50	18,14	19,77
	 Banyaknya unit per 1.000 sq ft untuk dua lapisan dengan penempatan random										
	281,26	164,44	103,02	56,20	35,37	27,04	22,38	18,28	15,15	12,41	10,15
Simbol	 Dimensi tiap unit (%)										
A	0,20	1,17	1,48	2,23	2,52	3,26	3,17	3,42	3,63	3,85	4,10
B	0,46	0,58	0,74	1,00	1,28	1,44	1,58	1,71	1,82	1,93	2,05
C	1,26	1,61	2,00	2,76	3,46	3,98	4,36	4,70	5,03	5,36	5,62
D	1,26	1,74	2,19	2,97	3,74	4,28	4,71	5,09	5,43	5,78	6,04
E	0,80	0,87	1,08	1,40	1,67	2,14	2,26	2,54	2,70	2,84	2,97
F	1,37	2,46	3,13	4,28	5,28	6,12	6,74	7,28	7,77	8,12	8,48
G	1,40	2,07	2,66	3,24	3,81	4,37	4,82	5,27	5,63	6,00	6,36
H	1,37	2,46	3,13	4,28	5,28	6,12	6,74	7,28	7,77	8,12	8,48
I	0,80	1,24	1,56	2,12	2,67	3,08	3,56	3,93	4,30	4,58	4,85
J	0,36	4,23	4,23	2,23	3,12	13,43	11,43	12,23	13,15	13,93	14,67
K	0,36	4,86	3,15	5,36	10,52	12,00	13,56	14,28	15,15	15,96	16,70

Sumber: Laporan penelitian 2-11, Juni 1968, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station

Sumber: Laporan penelitian 2-11, Juni 1968, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, dalam (Quinn 1972)

Juga telah dikembangkan dan diuji oleh Hydraulic Laboratory, Delft, Netherlands bentuk unit pemecah gelombang Akmon yang dibuat dari bahan beton pratekan. Ukuran unit tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 5.60

Tabel 5.4 Tetrapod: volume, berat, tebal lapisan dan ukuran.



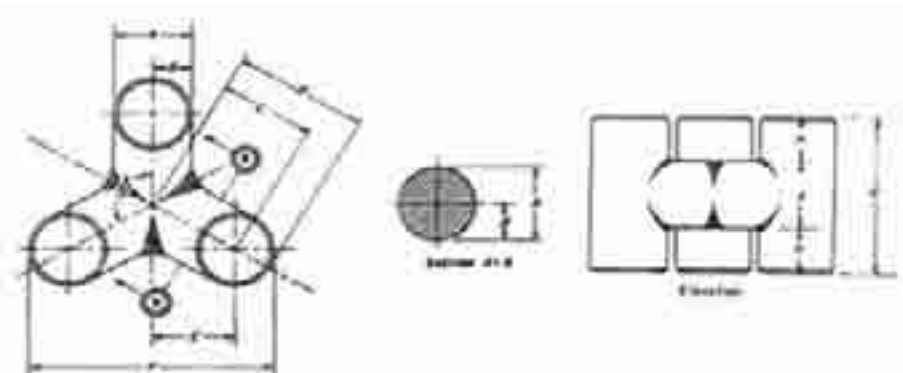
Volume masing-masing unit (Cu ft)

	7.54	14.28	22.87	31.46	40.06	48.26	56.71	65.14	73.87	82.08	91.43
Specific weight, pcf	Berat masing-masing unit (pcf)										
1400	0.30	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
1450	0.53	1.07	2.14	3.21	4.28	5.35	6.42	7.49	8.56	9.63	10.70
1500	0.56	1.11	2.23	3.35	4.47	5.59	6.71	7.83	8.95	10.07	11.19
1550	0.59	1.18	2.37	3.54	4.71	5.88	7.05	8.22	9.39	10.56	11.73
Tabel rata-rata untuk satu lapis dengan pemampatan seragam (%)											
	2.46	3.12	3.84	4.56	5.24	5.92	6.60	7.28	7.96	8.64	9.32
Tabel rata-rata untuk dua lapis (%)											
	4.43	5.88	7.25	8.64	10.02	11.39	12.76	14.14	15.52	16.89	18.26
Beratnya unit per 1.000 sq ft untuk satu lapis pemampatan seragam											
	190.28	324.78	459.28	593.78	728.28	862.78	997.28	1131.78	1266.28	1400.78	1535.28
Beratnya unit per 1.000 sq ft untuk dua lapis dengan pemampatan random											
	335.40	555.36	775.32	995.28	1215.24	1435.20	1655.16	1875.12	2095.08	2315.04	2535.00
Dimensi	Dimensi tiap unit (ft)										
A	2.44	4.33	6.46	8.59	10.72	12.85	14.98	17.11	19.24	21.37	23.50
B	1.25	1.36	1.46	1.56	1.66	1.76	1.87	1.97	2.07	2.17	2.27
C	1.11	1.40	1.70	2.00	2.30	2.60	2.90	3.20	3.50	3.80	4.10
D	0.78	0.83	0.87	0.92	0.96	1.01	1.05	1.10	1.14	1.18	1.22

Sumber: Laporan penelitian 2-11, Juni 1968, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station

Sumber: Laporan penelitian 2-11, Juni 1968, U.S Army Engineer Waterways Experiment Station, dalam (Quinn 1972)

Tabel 5.5 Tribar: volume, berat, tebal lapisan dan ukuran.



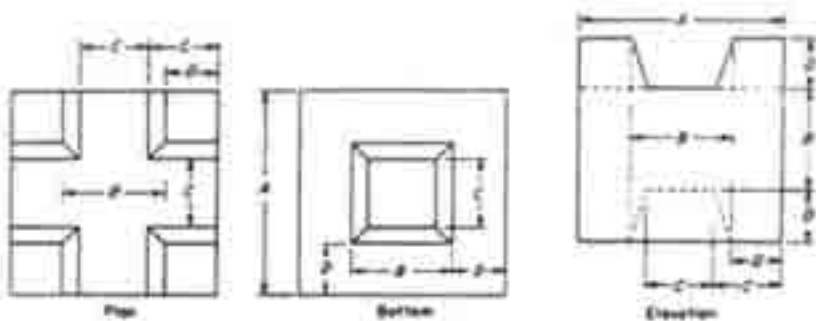
Volume masing-masing unit (Cu ft)

	7.14	14.28	28.57	71.43	142.86	214.29	285.71	357.14	428.57	500.00	571.43
Specific weight unit	Berat masing-masing Unit (ton)										
140.0	3.00	5.39	10.78	26.95	53.90	80.85	107.80	134.75	161.70	188.65	215.60
143.3	3.03	5.57	11.14	27.85	55.70	83.55	111.40	139.25	167.10	194.95	222.80
150.0	3.30	5.91	11.82	29.55	59.10	88.65	118.20	147.75	177.30	206.85	236.40
152.0	3.36	6.05	12.10	30.25	60.50	90.75	121.50	152.25	183.00	213.75	244.50
Tabel rata-rata untuk satu lapis dengan penempatan random (%)											
	2.18	3.74	7.49	18.72	37.44	56.16	74.88	93.60	112.32	131.04	149.76
Tabel rata-rata untuk dua lapisan dengan penempatan random (%)											
	3.80	6.40	12.80	32.00	64.00	96.00	128.00	160.00	192.00	224.00	256.00
Beratnya unit per 1.000 sq ft untuk satu lapis penempatan random											
	161.34	322.68	645.36	1613.40	3226.80	4840.20	6453.60	8067.00	9680.40	11293.80	12907.20
Beratnya unit per 1.000 sq ft untuk dua lapisan dengan penempatan random											
	347.60	695.20	1390.40	3476.00	6952.00	10428.00	13904.00	17380.00	20856.00	24332.00	27808.00
Simbol	Dimensi tiap unit (ft)										
A	1.00	1.20	1.60	2.20	2.94	3.20	3.50	3.80	4.00	4.21	4.51
B	0.52	0.60	0.80	1.13	1.40	1.60	1.79	1.90	2.00	2.10	2.20
C	1.20	1.50	1.80	2.70	3.41	3.80	4.20	4.60	4.91	5.17	5.41
D	1.70	2.24	2.80	3.80	4.80	5.50	6.00	6.50	6.90	7.20	7.60
E	1.00	1.20	1.70	2.34	3.00	3.30	3.70	4.00	4.20	4.40	4.60
F	2.20	4.00	5.11	8.00	9.74	10.00	11.01	11.80	12.60	13.20	13.87
G	2.00	2.80	3.30	4.51	5.80	6.50	7.10	7.70	8.10	8.60	9.01
H	0.50	0.60	0.80	1.13	1.40	1.60	1.79	1.90	2.00	2.10	2.20

Sumber: Laporan penelitian 2-11, Juni 1968, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station

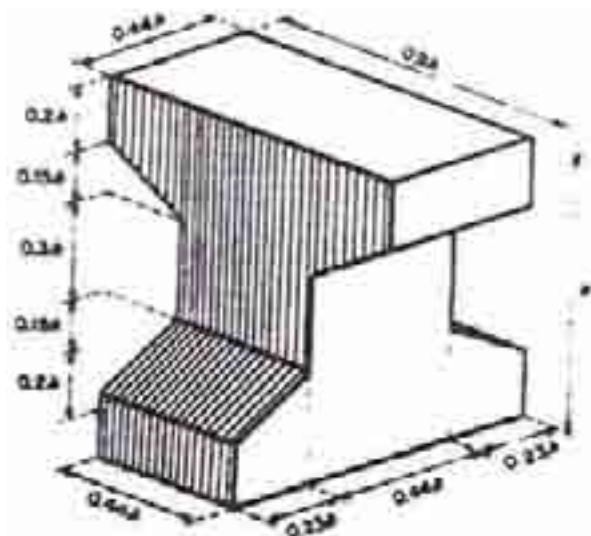
Sumber: Laporan penelitian 2-11, Juni 1968, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, dalam (Quinn 1972)

Tabel 5.6 Modifikasi kubus : volume, berat, tebal lapisan dan ukuran.



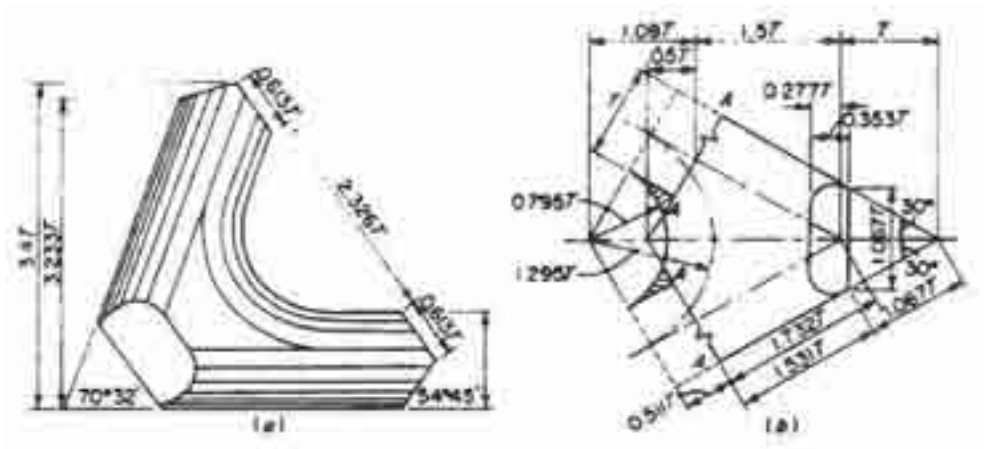
Volume masing-masing unit (Cu ft)										
	7,14	14,28	21,42	28,57	35,71	42,86	50,00	57,14	64,29	71,43
Spacings width, ft	Besar masing-masing Unit (ft)									
140:1	1,50	1,00	2,50	3,00	10,00	15,00	20,00	30,00	30,00	40,00
140:1	0,53	1,07	2,14	3,21	4,28	5,35	6,42	7,49	8,56	9,63
150:1	0,56	1,11	2,23	3,35	4,47	5,59	6,71	7,83	8,95	10,07
160:1	0,58	1,16	2,31	3,43	4,55	5,67	6,79	7,91	9,03	10,15
Total relative unit area layout dengan pemampatan random (%)										
	2,18	2,70	3,40	4,00	5,00	6,70	7,20	7,80	8,94	9,28
Total unit area unit area layout dengan pemampatan random (%)										
	4,24	5,28	6,70	8,10	1,00	13,10	14,40	15,80	18,00	19,40
Banyaknya unit per 1.000 sq ft unit area layout dengan pemampatan random										
	200,00	140,70	97,40	47,90	39,54	32,81	26,80	18,21	14,47	13,00
Banyaknya unit per 1.000 sq ft unit area layout dengan pemampatan random										
	214,12	173,67	134,60	107,4	82,00	62,00	46,00	33,00	25,4	22,00
Struktur	Dimensi tiap unit (ft)									
A	2,00	2,00	3,00	4,00	5,07	6,40	7,10	7,70	8,10	9,01
B	1,00	1,20	1,50	2,00	2,80	3,20	3,80	4,07	4,11	4,50
C	0,70	0,80	1,11	1,31	1,90	2,30	2,80	2,80	2,74	2,90
D	0,30	0,60	0,80	1,10	1,40	1,70	1,70	1,80	2,04	2,14

Sumber: Laporan penelitian 2-11, Juni 1968, U.S Army Engineer Waterways Experiment Station, dalam (Quinn 1972)



Gambar 5.60. Unit Akmon (Publikasi 27 Hydraulics Laboratory, Dolf Netherlands) dalam (Quinn 1972)

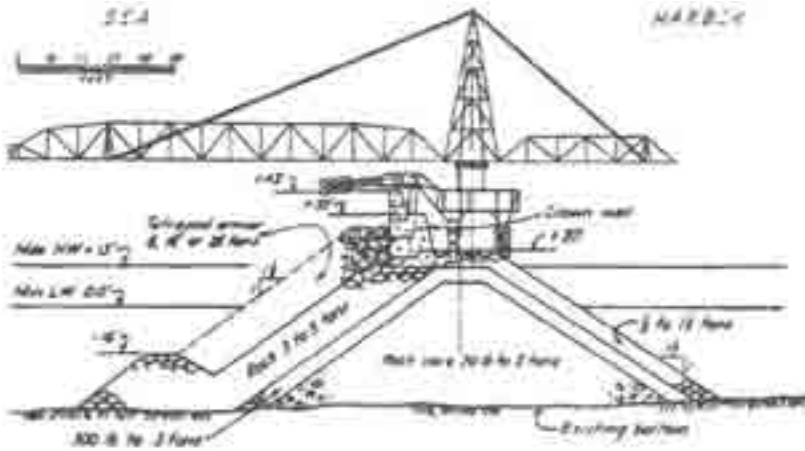
Unit beton pratekan untuk pemecah gelombang, sebenarnya pertama kali dikembangkan dalam tahun 1961 yang digunakan untuk membangun kembali pemecah gelombang di pelabuhan Benghazi, Libya. Kira-kira 10.000 unit blok beton dengan berat 29 ton digunakan dalam pembangunan kembali pemecah gelombang tersebut. Gambar 5.61 diperlihatkan ukuran secara proporsional untuk konstruksi ini



Gambar 5.61. Stabil secara proporsional

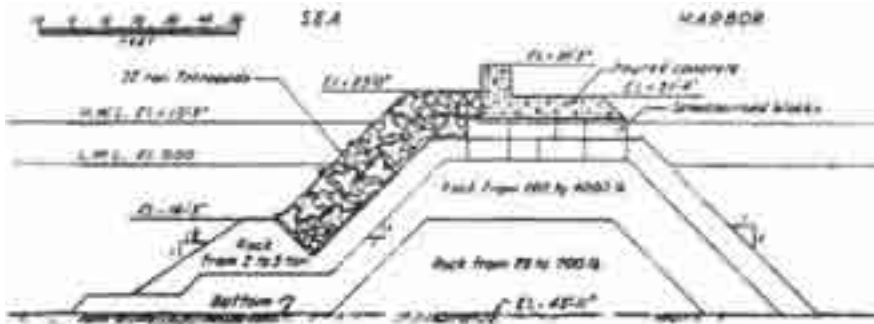
5.5.3 Contoh Bangunan Pemecah Gelombang dengan tetrapod dan Tribar

Konstruksi tetrapod pertama kali digunakan untuk melindungi air yang masuk di perairan Casablanca, Marocco dimana pembangunannya diselesaikan pada tahun 1951 dan unit tetrapod yang digunakan dengan berat 16 ton. Selanjutnya sejak tahun 1971 lebih dari 500 instalasi dibangun dengan menggunakan tetrapod atau tribar termasuk instalasi-instalasi penting seperti instalasi angkatan laut Amerika, Spanyol, perluasan pemecah gelombang di Safi, Marocco, perluasan pemecah gelombang di Crescent City, California, pemecah gelombang di Vera Cruz, Mexico dan beberapa yang lainnya. Gambar 5.62 memperlihatkan potongan melintang pemecah gelombang, dengan menggunakan crane yang berkekuatan 400 ton untuk mengangkat dan menempatkan tetrapod di tempatnya.



Gambar 5.62. Potongan melintang pemecah gelombang Rota Spanyol.

Dalam tahun 1955, pemecah gelombang utama di safi (sudah dijelaskan di depan) diperluas. Konstruksi yang baru menggunakan tetrapod dengan berat 25 ton ditempatkan dengan kemiringan 1 : 1 diatas timbunan batu sebagai lapisan penting yang berada pada sisi laut lepas. Gambar 5.63 memperlihatkan potongan melintang bangunan pemecah gelombang ini.



Gambar 5.63 Potongan melintang pemecah gelombang dari tetrapod di safi Marocco

5.6 Pemecah Gelombang Sisi Tegak (Vertical – Wall Breakwaters)

Pemecah gelombang sisi tegak berbeda dengan tipe pemecah gelombang sisi miring dalam menahan reaksi gelombang . Dinding Vertikal memantulkan gelombang tersebut tanpa menghancurkan energinya, Superposisi antara gelombang datang dan gelombang pantul akan menyebabkan terjadinya gelombang stasioner yang disebutkan dengan klapotis . Pada pemecah gelombang sisi miring, energi gelombang dapat dihancurkan melalui *run up*

pada permukaan sisi miring, gesekan dan turbulensi yang disebabkan oleh ketidak teraturan permukaan.

Pada pemecah gelombang sisi tegak, yang biasanya ditempatkan dilaut dengan kedalaman lebih besar dari tinggi gelombang akan memantulkan gelombang oskilasi setinggi kira-kira dua kali tinggi gelombang datang. Oleh karena itu tinggi pemecah gelombang diatas muka air pasang tertinggi tidak boleh kurang dari $1 \frac{1}{3}$ sampai $1 \frac{1}{2}$ kali gelombang maksimum, dan kedalaman dibawah muka air terendah ke dasar bangunan tidak kurang dari $1 \frac{1}{4}$ sampai $1 \frac{1}{2}$ kali atau lebih baik sekitar 2 kali tinggi gelombang. Dilaut dengan kedalaman yang lebih besar maka pemecah gelombang sisi tegak dibangun diatas pemecah gelombang tumpukan batu (pemecah gelombang campuran). Pemecah gelombang ini dapat dibangun dilaut sampai pada kedalaman 40 m.

Pemecah gelombang sisi tegak dibuat apabila tanah dasar mempunyai daya dukung besar dan tahan terhadap erosi. Apabila tanah dasar mempunyai lapis atas berupa lumpur atau pasir halus maka lapis tersebut harus dikeruk dulu. Pada tanah dasar dengan daya dukung kecil, dibuat dasar dari tumpukan batu untuk menyebarkan beban pada luasan yang lebih besar. Dasar tumpukan batu ini dibuat agak lebar sehingga kaki bangunan dapat lebih aman terhadap penggerusan, panjang dasar dari bangunan adalah $\frac{1}{4}$ kali panjang gelombang terbesar. Kegagalan yang sering terjadi bukan karena kelemahan konstruksi, tetapi karena terjadi erosi pada kaki bangunan, tekanan yang terlalu besar dan tergeser tanah pondasi.

Pemecah gelombang sisi tegak bisa dibuat dari blok-blok beton massa yang disusun secara vertikal, kaisan beton, turap beton atau baja yang dipancang dan sebagainya.

5.6.1 Reaksi Gelombang pada dinding Vertikal

Dinding vertikal dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok yaitu : pemecah gelombang (Breakwater) dan dinding penahan gelombang (seawall). Pemecah gelombang biasanya dibangun pada perairan yang cukup dalam untuk melindungi perairan pelabuhan atau kolam pelabuhan. Sedangkan dinding penahan gelombang di bangun pada pinggir pantai untuk melindungi pantai terhadap gelombang.

Breakwater umumnya dibangun pada perairan yang cukup dalam menghancurkan gelombang (*attacking waves from breaking*).

Terdapat perbedaan tekanan/gaya gelombang diantara kedua tipe tersebut, breaking wave menyebabkan tekanan yang lebih besar dimana energinya dapat merusak dinding dan sebagian besar energi tersebut disalurkan dengan cara merefleksikan dari dinding. Jika ketinggian dinding yang

dibangun tidak cukup tinggi, maka sebagian dari gelombang akan melewati dinding yang akan menyebabkan gangguan didalam perairan pelabuhan. Pola gelombang pada kenyataannya adalah sangat kompleks karena terlalu banyaknya variabel dan sulitnya membentuk model-model berdasarkan data-data yang signifikan untuk prototipe seluruh kondisi nyata sehingga dalam merencanakan konstruksi breakwater yang vertical maupun seawall sangat sulit mendapatkan derajat keamanan serta keharmonisan yang sama.

Tekanan gelombang pada dinding vertikal terdiri dari:

1. Tekanan hidrostatis (hydrostatic pressure) yang merupakan gelombang yang naik dan turun sepanjang dinding
2. Tekanan dinamis (dynamic pressure) akibat pergerakan partikel-partikel air.

Sejumlah teori dan formula telah dikembangkan untuk menentukan tekanan gelombang pada dinding vertikal. Solusi yang dibuat oleh D'Auria (1890), Lira (1926) dan Ibarren (1938) yang disebut dengan metode statis-dinamis (static-dinamic methods). Dalam teori ini diasumsikan bahwa adanya dinding yang tidak berpengaruh terhadap pergerakan gelombang namun kenyataannya adalah sebaliknya sehingga teori tersebut tidak begitu mendapat sambutan.

Victor Benezit (1923) pertama-tama memperkenalkan pengaruh klaposis atau standing wave yang dipantulkan oleh gelombang yang terjadi untuk tekanan pada dinding vertikal. Dalam tahun 1928, George Sainflou memperkenalkan persamaan untuk tekanan gelombang pada dinding vertikal yang didasarkan pada pendekatan gerakan dari gelombang elip traochodial yang berada di depan dinding.

M. Gourrent (1935) menganalisa metode-metode dari Benezit dan Sainflou dan mengembangkan formula lain yang sangat mirip dengan formula Sainflou.

Dari teori Saint-Venant dan Flamant menyatakan bahwa suatu partikel air pada suatu permukaan air yang dalam, maka gelombang osilasi disuatu titik di atas rata-rata tingginya kira-kira sebagai berikut:

$$h_o = \frac{\pi H^2}{4L} \coth \frac{2\pi d}{L}$$

Oleh karena itu puncak ketinggian diatas muka air rata-rata, $a = h_o + H/2$ dimana gelombang ini adalah dari klaposis yang disebabkan benturan pada

dinding vertikal. Permukaan dari klapis ini pada posisi yang tertinggi adalah juga trochoid menurut Saint-Venant dan Flamant. Tinggi dari pusat osilasi di atas air rata-rata adalah:

$$h_{oc} = \frac{\pi H^2}{L} \coth \frac{2\pi d}{L} \quad (5.4)$$

Atau empat kali tinggi dalam kasus gelombang yang tidak dipantulkan. Tinggi gelombang klapis adalah $2H$, yaitu dua kali tinggi gelombang yang tidak dipantulkan. Ketinggian gelombang di atas muka air rata-rata $a=H+4h_o$ atau kira-kira dua kali tinggi puncak gelombang yang tidak dipantulkan. Perhitungan Saint-Venant adalah formula yang umum untuk tekanan pada suatu dinding vertikal yang diperlihatkan pada Gambar 5.64 dan diagram tekanan gelombang pada bagian dasarnya adalah:

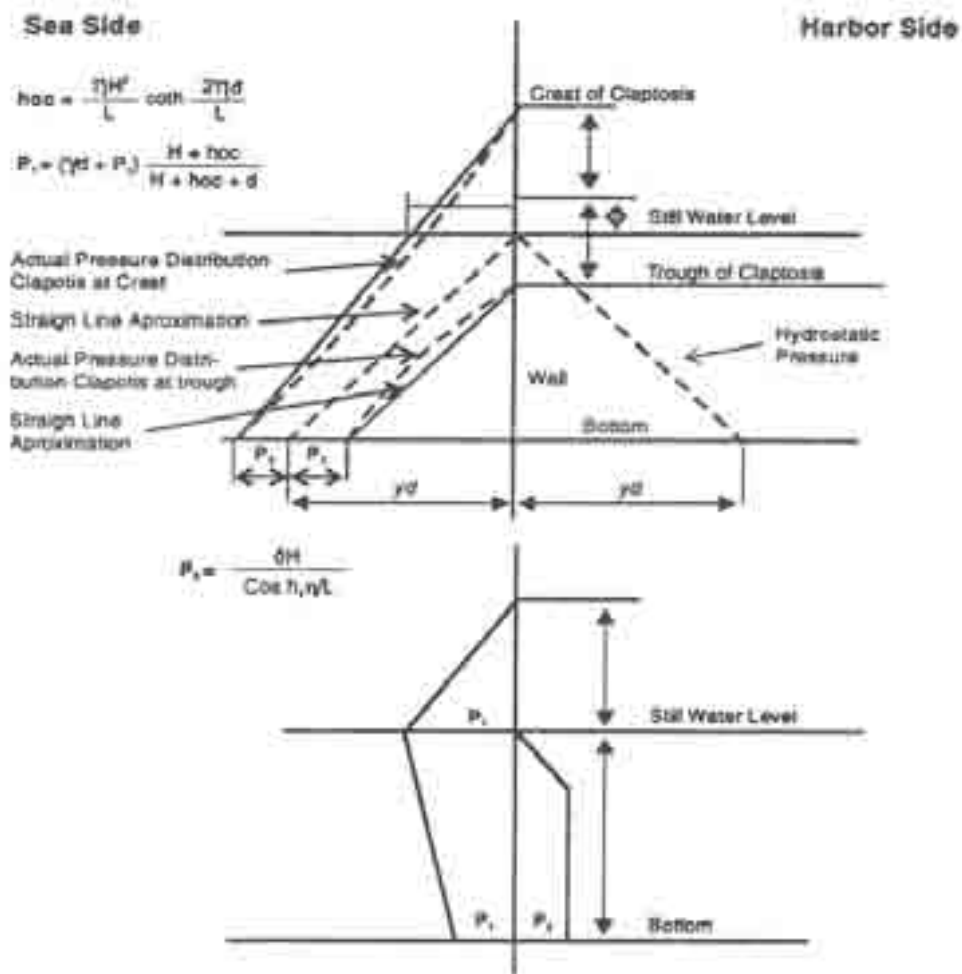
$$\begin{aligned} \partial d \pm p_2 &= \partial d \pm \frac{\partial H}{\cosh 2\pi d/L} \\ p_2 &= \frac{\partial H}{\cosh 2\pi d/L} \end{aligned} \quad (5.5)$$

dimana ∂ adalah berat volume air.

Tanda plus berlaku untuk gelombang di posisi puncak dan tanda minus untuk gelombang pada posisi di lembah. Garis lurus bisa diganti untuk kurva tekanan yang sebenarnya tanpa berpengaruh besar terhadap hasilnya, yang dapat menyederhanakan perhitungan tekanan pada dinding vertikal. Untuk gelombang di puncak posisi tekanan gelombang pada permukaan air rata-rata, dengan proporsi yang sederhana, adalah

$$p_1 = (\partial d + p_2) \frac{H+h_{oc}}{H+h_{oc}+d} \quad (5.6)$$

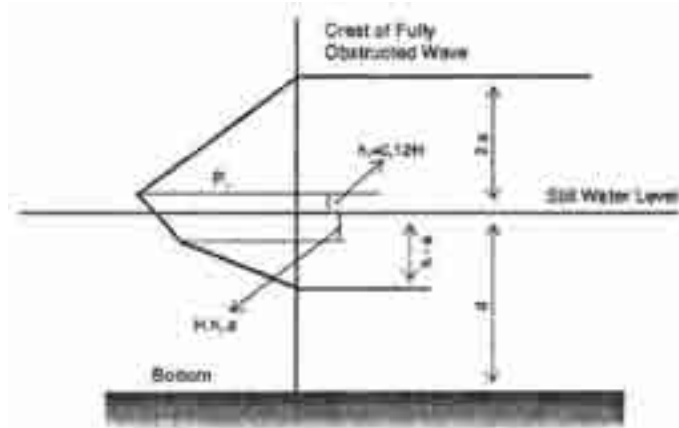
Di mana tekanan hidrostatis pada permukaan air rata-rata di sisi berlawanan dari dinding tekanan bersih yang dihasilkan di dinding ditunjukkan di bagian bawah Gambar 5.64, di mana diagram di sebelah kiri memberikan tekanan untuk klapis di posisi lembah.



Gambar 5.64 Tekanan gelombang pada dinding vertikal, menurut Sainflou

Reaksi tekanan hidrostatis pada sisi yang berlawanan pada dinding menghasilkan tekanan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.64 tersebut diatas yang menunjukkan diagram tekanan pada sisi kiri adalah untuk clapotis atau gelombang yang jatuh di puncak sedangkan gelombang yang jatuh di lembah pada sisi kanan.

Dalam tahun 1934 D.A . Molitor mengembangkan metode empiris untuk menghitung tekanan gelombang pada konstruksi pemecah gelombang vertikal dengan memanfaatkan data hasil tes yang dilakukan di Great Lakes oleh Kapten D.D Gaillard. Diagram tekanan yang diusulkan oleh Molitor diperlihatkan pada Gambar 5.65



Gambar 5.65 Tekanan gelombang pada dinding vertical, menurut Molitor

Tekanan gelombang maksimum adalah:

$$p_1 = \frac{k\theta}{2g}(v + v_o)^2 \quad (5.7)$$

Dimana:

- k = koefisien yang diambil antara 1.3-1.7 untuk kecepatan angin 30 sampai 70 mil knot/jam di Great Lake dan 1.8 untuk gelombang di laut
- θ = Berat volume air
- g = gravitasi ($32,2\text{ft/det}^2$)
- v = kecepatan perambatan gelombang (ft/det)
($v=2,26cL$; untuk nilai μ (lihat tabel 2.5)
- H = tinggi gelombang laut (ft)
- L = panjang gelombang (ft)

Tekanan gelombang maksimum terjadi pada ketinggian h_1 di atas muka air rata-rata.

$$H_1 = 0,12 H \quad (5.8)$$

Jika gelombang dirintangi seluruhnya oleh dinding akan mencapai ketinggian $2a$ di atas muka air rata-rata. Pada puncak ketinggian tekanan adalah nol. Menurut Kapten Gaillard, puncak ketinggian gelombang adalah:

$$\alpha = \frac{H}{2} + \frac{H^2}{L}$$

Diagram tekanan maksimum digambarkan dalam garis lurus antara puncak gelombang sampai tekanan maksimum (h_1) di atas mukaair rata-rata. Monitor mengasumsikan bahwa untuk gelombang yang jatuh di lembah elevasi (H -a dibawah muka air rata-rata) tekanan gelombangnya adalah nol. Jarak setengah elevasi di lembah dan titik tekanan maksimum, tekanan gelombangnya adalah $0,72 p$.

Diagram tekanan yang dibuat oleh monitor dapat menghitung/menentukan nilai tekanan disetiap elevasi. Selanjutnya tidak ada nilai yang terlalu tinggi. Di samping itu Monitor juga mengabaikan tekanan dibawah gelombang yang jatuh di lembah.

Contoh 1:

Direncanakan penangkis gelombang tipe vertical dengan kedalaman 70ft dari permukaan air rata-rata dan kedalaman permukaan timbunan batu adalah 50 ft dari permukaan air rata-rata. Tinggi pelabuhan diluar pelabuhan adalah 20ft dan panjang gelombang 400 ft

Hitung tekanan gelombang pada dinding vertikal

Jawaban : (lihat Gambar 5.66)

$$H/L = 20/400 = 0,05$$

$$H/L = 50/400 = 0,12$$

Menurut SAINFLOY

$$\partial d \pm p_2 = \partial d \pm \frac{\partial H}{\cosh 2\pi d/L}$$

$$p_2 = \frac{\partial H}{\cosh 2\pi d/L}$$

$$p_2 = \frac{64,4 \cdot 20}{\cosh 2\pi \cdot 53/400}$$

$$h_{oc} = \frac{\pi H^2}{L} \text{Coth} \frac{2\pi d}{L}$$

$$= \frac{\pi \cdot 20^2}{400} \text{Coth} \frac{2 \cdot \pi \cdot 53}{400}$$

$$= 4.61 \text{ ft}$$

$$p_1 = (\partial d + p_2) \frac{H + h_{oc}}{H + h_{oc} + d}$$

$$p_1 = (941 + 64,4 \cdot 53) \cdot 24,61 / 73,61 = 1,381 \text{ lb/ft}^2$$

$$P = (H + h_{oc}) \frac{p_1}{2} + \frac{p_1}{2} + \frac{p_2 \cdot d}{2}$$

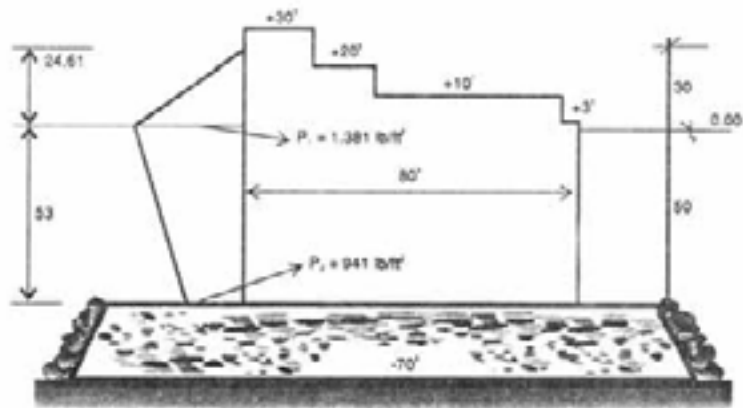
$$= 24.61 \frac{1,381}{2} + \frac{1,381 \cdot (53)}{2} + \frac{941 \cdot (53)}{2}$$

$$P = 16,993 + 36,596 + 24,936 = 78,525 \text{ lb}$$

Momen terhadap titik 0

$$M = 16,993 \left(d + \frac{H + h_{oc}}{3} \right) + 36,596 \frac{2 \cdot d}{3} + 24,936 \frac{d}{2}$$

$$M = 2,773,637 \text{ ft-lb}$$



Gambar 5.66 Rencana Konstruksi

Menurut MOLITOR

$$p_1 = \frac{k\gamma}{2g} (v + v_0)$$

$$v = 2.26 \cdot c \cdot \sqrt{L} \quad (\text{Lihat Tabel 2.5 } c = 0.830 \text{ dan } \mu = 1.209)$$

$$= 2.26 \times 0.830 \times \sqrt{400} = 37.5 \text{ ft/dt}$$

$$v_0 = 7.11 \times 1.209 \times \frac{20}{\sqrt{400}} = 8.6 \text{ ft/dt}$$

$$p_1 = \frac{1.8 \times 64.4}{2 \times 32.2} (37.5 + 8.6)^2$$

$$p_1 = 3,825 \text{ lb/ft}^2$$

Tekanan gelombang maksimum terjadi pada:

$$H_1 = 0.12 H$$

$$= 0.12 \times 20 = 2.4 \text{ ft}$$

$$1.84 H = 36.8 \text{ berarti } d > 1.84 H$$

$$a = \frac{H}{2} + \frac{H^2}{L} \text{ untuk } d > 1.4 H$$

$$2a = 2 \left(\frac{H}{2} + \frac{H^2}{L} \right) = \mathbf{22 \text{ ft}}$$

$$p_2 = 0.72 p_1$$

$$p_2 = 0.72 \times 3,825 = \mathbf{2,754 \text{ lb/ft}^2}$$

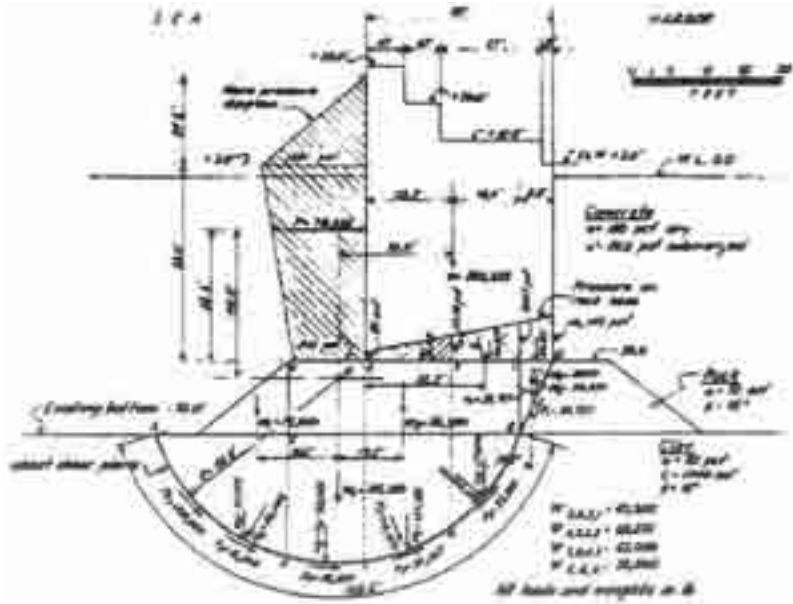
Sama seperti metode Sainflou total Gaya tekanan gelombang horizontal dan momen guling didapat:

$$\mathbf{P = 64,000 \text{ lb dan } M = 3,678,000 \text{ ft-lb}}$$

Contoh 2 Perhitungan Kestabilan Konstruksi

Contoh perhitungan ini di ambil dari buku Design and Construction of ports and Marine Structures, Alenso Def . Quinn sebagai berikut:

Direncanakan pemecah gelombang sisi tegak seperti Gambar 5.67. Pondasi nya menggunakan batu karang dengan gaya geser $c + \tan \phi$ dimana c = kohesi = 1.000 lb/ft² dan sudut geser dalam = 15° . Dengan cara coba-coba dibuat garis kelongsoran ABC seperti ditunjukkan dalam gambar kemudian dibagi menjadi sejumlah segmen. Gaya gelombang dihitung dengan menggunakan metode Sainflou menghasilkan gaya horisontal 78.525 lb/ft, pusat gravitasi terletak 35,3 ft diatas dasar bangunan berat total dinding 280.682 lb dan apabila dikombinasikan dengan gaya horisontal akibat gaya gelombang = 78.525 lb. Resultante dari diagram tegangan maksimum adalah 5,6 ton / ft² selanjutnya dihitung momen guling dan momen tahan untuk dapat menghitung angka keamanan adalah sebagai berikut.



Gambar 5.67 Analisis stabilitas pemecah gelombang dinding vertikal

Momen guling.

$$\begin{aligned}
 W & : 280.682 \times 30,0 = 8.420.460 \text{ ft-lb} \\
 P & : 78.525 \times 40,0 = 3.141.000 \text{ ft-lb} \\
 W2 & : 86.380 \times 17,5 = 1.511.650 \text{ ft-lb} \\
 W3 & : 5.810 \times 51,2 = 297.472 \text{ ft-lb} \\
 W4 & : 126.100 \times 0 = \underline{\hspace{1cm}} 0 \text{ ft-lb} \\
 & \hspace{10em} 13.370.582 \text{ ft-lb}
 \end{aligned}$$

Momen tahan :

$$W1 = 17.500 \text{ lb} \rightarrow 17.500 \times 21,6 = 378.000 \text{ ft-lb}$$

Kohesi :

$$F_c : 128,6 \times 1.000 = 128.600 \text{ lb} \rightarrow 128.600 \times 50,8 = 6.532.880 \text{ ft-lb}$$

Geser :

$$\text{Batu} : \phi = 45^\circ, \tan \phi = 1$$

$$W5 : 84.861 + 5.810 = 90.671$$

$$N1 : 90.671 \sin 22^\circ 30' = 34.727$$

$$F1 : 34.727 \times 1 = 34.727 \rightarrow 34.727 \times 50,6 = 1.757.186 \text{ ft-lb}$$

Lempung : $\phi = 15^\circ \rightarrow \tan \phi = 0,268$

$$W6 : 133.810 + 40.260 = 174.070$$

$$N2 : 174.070 \times 0,6 = 104.442$$

$$F2 : 104.442 \times 0,268 = 27.990 \text{ lb} \rightarrow 27.990 \times 50,8 = 1.421.892 \text{ ft-lb}$$

$$W7 : 62.011 + 69.370 = 131.381$$

$$N3 : 131.381 \times 0,89 = 116.929$$

$$F3 : 116.929 \times 0,268 = 31.337 \text{ lb} \rightarrow 31.337 \times 50,8 = 1.591.920 \text{ ft-lb}$$

$$W8 : 63.050 \qquad \qquad \qquad = N4$$

$$F4 : 63.050 \times 0,268 = 16.897 \text{ lb} \rightarrow 16.897 \times 50,8 = 858.368 \text{ ft-lb}$$

$$W9 : 17.500 + 39.800 \qquad = 57.300$$

$$N5 : 57.300 \times 0,88 \qquad = 50.424$$

$$F5 : 50.424 \times 0,268 = 13.514 \text{ lb} \rightarrow 13.514 \times 50,8 = \frac{858.368 \text{ ft-lb}}{13.226.757 \text{ ft-lb}}$$

$$\text{Faktor keamanan} : \frac{13.226.757}{13.370.582} = 0,99$$

Faktor keamanan yang kurang dari 1 (satu) mengidentifikasi bahwa bangunan penangkis gelombang tersebut kurang aman untuk menerima gaya gelombang setinggi 20 ft.

Contoh 3. Direncanakan penangkis gelombang seperti Gambar 5.68
Untuk Gelombang Luar (Sebelah luar Penangkis Gelombang/diluar Kolam Pelabuhan)

$$\frac{\lambda}{H} = 13 s/d 33 \rightarrow \text{Quinn (hl. 41)}$$

$$\frac{H\lambda}{\lambda l} = \frac{1}{17} \rightarrow \lambda l = 17 H l$$

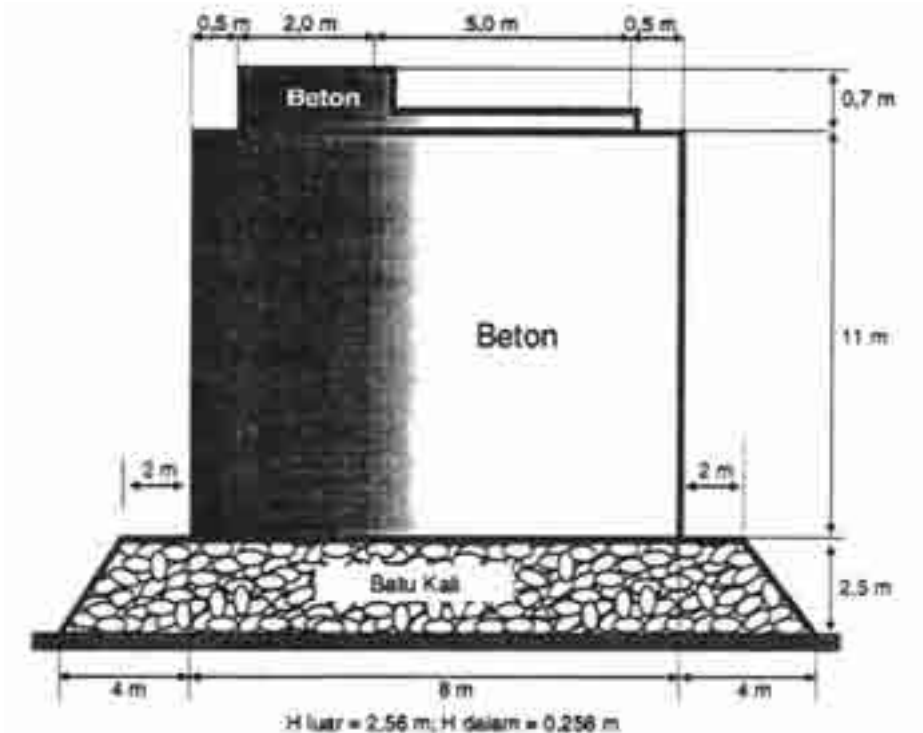
$$= 17.2,56 = 43,52 \text{ m}$$

$$H \text{ kritis} = 1,5 \times H \text{ luar}$$

$$= 1,5 \times 2,56 = 3,84 \text{ m}$$

$$\frac{1}{2}L = \frac{1}{2} \lambda l = \frac{1}{2} \cdot 43,52 = 21,76 \text{ m} \rightarrow h = T + \Sigma \Delta T = 10 \text{ m}$$

$$\text{Syarat : } \left. \begin{array}{l} h < \frac{1}{2}l \\ h > H_{\text{kritis}} \end{array} \right\} \text{Gelombang perairan dangkal}$$



Gambar 5.68 Konstruksi penangkis gelombang tegak

Untuk Gelombang di dalam (sebelah dalam penangkis gelombang)

$$\frac{\lambda}{H} = 9 s/d 15 \rightarrow \text{Quinn (hl. 41)}$$

$$\frac{Hd}{\lambda d} = \frac{1}{10} \rightarrow \lambda d = Hl. 10$$

$$= 0.256 \times 10 = 2,56 \text{ m}$$

$$H \text{ kritis} = 1,5 \times H \text{ dalam}$$

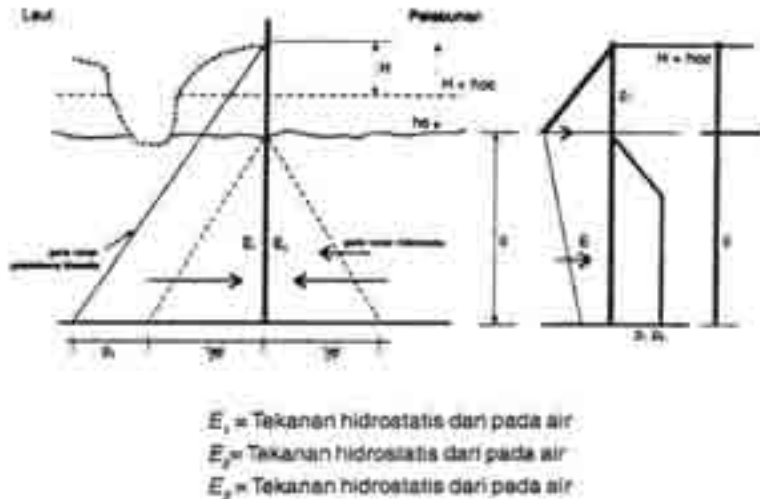
$$= 1,5 \times 0,256 = 0,384 \text{ m}$$

$$\frac{1}{2}L = \frac{1}{2} 2,56 = 1,28 \text{ m,} \quad \text{padahal} \rightarrow h = T + \Sigma \Delta T = 10 \text{ m}$$

Menghitung Tekanan Gelombang

1) Untuk gelombang Dangkal

a). Bila Gelombang jatuh di puncak (lihat Gambar 5.69)



Gambar 5.69. Diagram tekanan untuk gelombang jatuh di puncak

$$E_1 = \frac{1}{2} \lambda d^2$$

$$E_2 = \frac{1}{2} (yd + p_2)(d + hoc + H)$$

$$p_1 = (yd + p_2) \left[\frac{H + hoc}{H + hoc + d} \right]$$

$$p_2 = \pm \frac{yH}{\cos^2 \frac{2\pi d}{L}}$$

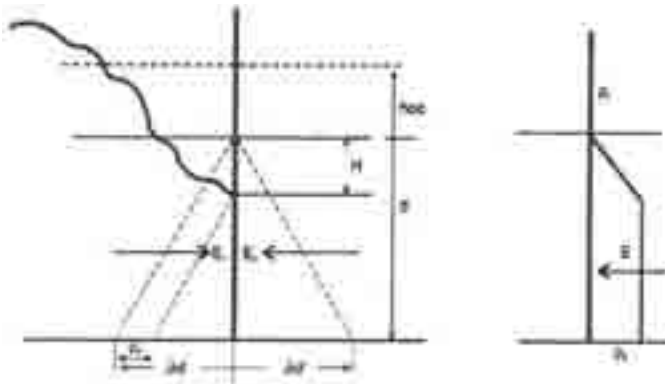
Jadi besarnya tekanan total pada dinding

$$\begin{aligned}
 E &= E_2 - E_1 \\
 &= \frac{1}{2} \{ (d + hoc + H)(yd + p_2) - yd^2 \} \\
 &= \frac{1}{2} \{ (10 + hoc + 2,56)(1,10 + p_2) - 10^2 \}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_{oc} &= \frac{\pi H c^2}{\lambda} \cosh \frac{2\pi \cdot 10}{\lambda} \\
 &= \frac{\pi (2,56)^2}{43,52} \cosh \frac{2\pi \cdot 10}{43,52} \\
 H_{oc} &= 0,529 \text{ m} \approx 0,53 \text{ m} \\
 P_2 &= \frac{1 \times 2,56}{\cosh \frac{2\pi \cdot 10}{43,52}} = 2,29 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E &= 1/2\{(d + H + h_{oc})(\gamma d + p_2) - \gamma d^2\} \\
 &= \frac{1}{2}\{(10 + 2,56 + 0,53)(10 + 2,29) - 100\} \\
 &= \frac{1}{2}(13,09) \cdot (12,29) - 100 \\
 E &= 30,438 \text{ ton/m}^2
 \end{aligned}$$

b). Bila gelombang jatuh dilembah (lihat Gambar 5.70)



Gambar 5.70 Diagram tekanan gelombang jatuh di lembah

$$\begin{aligned}
 E_1 &= \frac{1}{2} d \cdot y d \frac{1}{2} y d^2 \\
 P_2 &= \frac{yH}{\cosh \frac{2\pi d}{L}}
 \end{aligned}$$

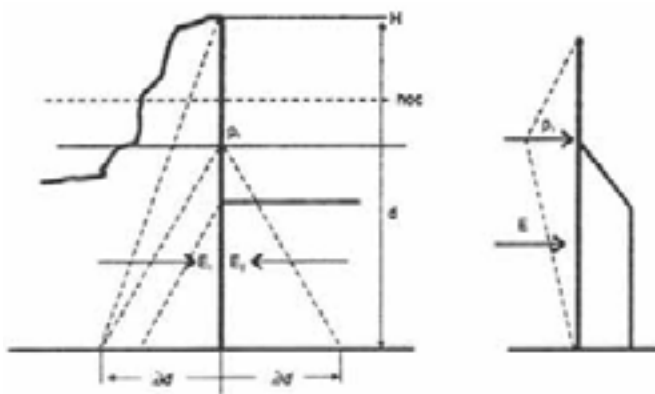
$$\begin{aligned}
 E_2 &= \frac{1}{2}(yd - p_2)d \\
 &= \frac{1}{2} \left[\gamma d - \frac{\gamma H}{\cosh \frac{2\pi d}{L}} (d - H + h_{oc}) \right] \\
 &= \frac{1}{2} y(d - p_2)(d - H + h_{oc}) \\
 E &= E_1 - E_2 \\
 &= \frac{1}{2} \{d^2 - (d - p_2)(d - H + h_{oc})\} \\
 &= \frac{1}{2} \{10^2 - (10 - 2,29)(10 - 2,25 + 0,53)\} \\
 &= \frac{1}{2} \{100 - (7,97)(7,70)\}
 \end{aligned}$$

$$E = 19,275 \text{ ton/m}$$

2) Untuk Gelombang Dalam ($d > 1/2$)

Untuk gelombang dalam besarnya

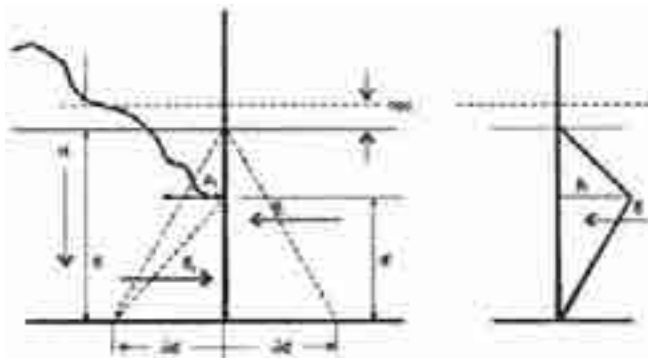
a. Jatuh dipuncak (lihat 5.71)



Gambar 5.71 Diagram tekanan untuk gelombang jatuh dipuncak, untuk gelombang di dalam (di dalam kolam pelabuhan)

$$\begin{aligned}
 P_1 &= (\gamma d + p_2) \frac{H + hoc}{H + hoc + d} \\
 &= \gamma d \left(\frac{H + hoc}{H + hoc + d} \right) \\
 E &= E_2 - E_1 \rightarrow E_1 = \frac{1}{2} \gamma d^2 \\
 E_2 &= \frac{1}{2} (\gamma d + p_2) (H + hoc + d) \\
 &= \frac{1}{2} \gamma d (H + hoc + d) \\
 E &= \left\{ \frac{1}{2} \gamma d (H + hoc + d) - \frac{1}{2} \gamma d^2 \right\} \\
 &= \frac{1}{2} \gamma d (H + hoc) \\
 hoc &= \frac{\pi H d^2}{\lambda} \cosh \frac{2\pi d}{\lambda} \\
 &= \pi \left(\frac{0,256}{2,56} \right)^2 \cosh \frac{2\pi 10}{2,56} = 0,08 \text{ m.} \\
 E &= \frac{1}{2} \cdot 10 (0,256 + 0,08) \\
 &= 1,680 \text{ Ton/m}
 \end{aligned}$$

b. Gelombang Jatuh pada Lembah (lihat Gambar 5.72)



Gambar 5.72 Diagram tekanan untuk gelombang jatuh dilembah, untuk gelombang di dalam pelabuhan

$$E_1 = \frac{1}{2} \gamma d^2$$

$$E_2 = \frac{1}{2} \gamma d \cdot d^1$$

$$= \frac{1}{2} \gamma d (d - (H - hoc))$$

$$= \frac{1}{2} \gamma d (d - H + hoc)$$

$$E = E_1 - E_2$$

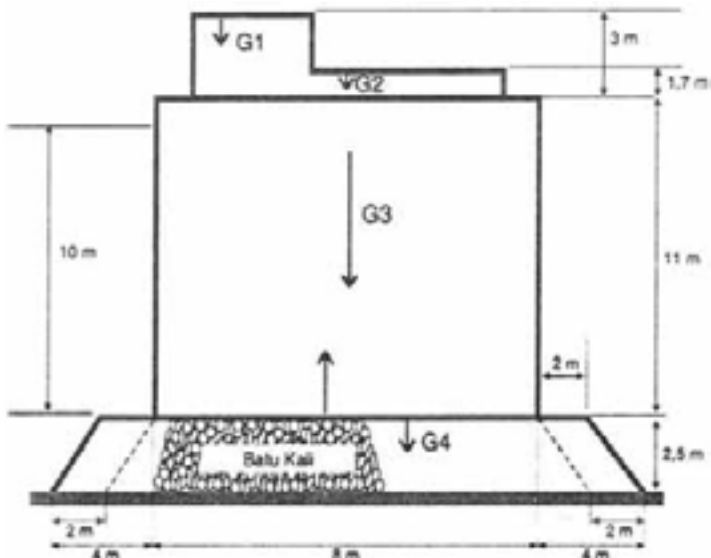
$$= \frac{1}{2} \gamma d^2 - \left\{ \frac{1}{2} \gamma d (d - Hdl + hoc) \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \gamma d (Hdl - hoc)$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 10 (0,256 - 0,08)$$

$$= 5(0,176) = 0,88 \text{ ton/m}^1$$

Perhitungan Kestabilan Pemecah Gelombang (lihat Gambar 5.73)



Gambar 5.73 Gaya-gaya yang bekerja pada konstruksi pemecah gelombang

Gaya akibat berat sendiri

$$\begin{aligned}
 G1 &= 3 \times 2 \times 2,4 &= 24,4 \text{ t/m} \\
 G2 &= 5 \times 1,7 \times 2,4 &= 20,4 \text{ t/m} \\
 G3 &= 11 \times 8 \times 2,4 &= 24,2 \text{ t/m} \\
 G4 &= \frac{1}{2} \times 2,5 \times (8+12)(1,8-1) &= 20 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

Gaya Horizontal

$$E = 30,438 \text{ t/m} \quad W_{p2} = 0,5 \times P2 \times B = 0,5 \times 2,29 \times 80 = 9,16 \text{ t/m} (-)$$

$$P2 = 2,29 \text{ t/m} \quad W_{air} = 8.11.1 = 88 \text{ t/m} (-)$$

Kontrol Kestabilan Konstruksi**1). Kontrol Geser****a. Antara tembok beton dengan konstruksi batu kali.**

$$\text{Syarat keamanan } \left\{ \frac{\Sigma V \cdot f}{\Sigma H} \right\} > 1.5$$

$$f = \tan \phi \rightarrow \text{Apabila } \phi = 30^0 \text{ maka,}$$

$$f = 0,57735 = 0,6$$

$$\Sigma V = G1 + G2 + G3 + G4 - W_{p2} - W_{air}$$

$$\Sigma H = E = 30.438 \text{ t/m}$$

$$\frac{\Sigma v \cdot f}{\Sigma H} = \frac{148,84 \times 0,6}{30.438} = \frac{89,304}{30,438} = 2,934 > 1,5 (OK)$$

c. Antara batu kali dan tanah dasar.

Dalam hal ini kedalaman air laut = 10m dari permukaan laut dianggap tidak ada gelombang. Jadi dianggap seperti tekanan air biasa dengan $\phi = 0$

$$\lambda p - \lambda a = tg^2(45^0 - 1/2 \phi)$$

$$= tg^2(45^0) = 1$$

$$EH = 0,5H^2 = 0,5(2,56)^2 = 3,28 \text{ t/m}^2$$

$$\begin{aligned}\Sigma V &= G1 + G2 + G3 + G4 - Wp2 - W_{air} \\ &= 14,4 + 20,4 + 21,2 + 20 - 9,16 - 88 \\ &= 168,84 \text{ t/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma H &= \Sigma H + EH \\ &= 30,438 + 3,28 \\ &= 33,718 \text{ t/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Control } \frac{\Sigma V \cdot f}{\Sigma H} &> 1,5 \\ &= \frac{168,841}{38,718} \\ &= 5 > 1,5(OK)\end{aligned}$$

2. Kontrol Guling

$$\text{Syarat } \frac{\Sigma M_{\text{pasif}}}{\Sigma M_{\text{aktif}}} > 1,5$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_{\text{pasif}} &= G1 \cdot 6,5 + G2 \cdot 3 + G3 \cdot 4 - WP2 \cdot 5,3 - W_{air} \cdot 4 \\ &= 14,4 \cdot 6,5 + 20,4 \cdot 3 + 211,2 \cdot 4 - 9,16 \cdot 5,33 - 88 \cdot 4 \\ &= 93,6 + 61,2 + 844,8 - 48,853 - 352 \\ &= 598,747 \text{ tm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_{\text{aktif}} &= 30,438 \times 7,83 \\ &= 238,33 \text{ tm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\Sigma M_{\text{pasif}}}{\Sigma M_{\text{aktif}}} &> 1,5 \\ &= \frac{598,747}{238,33} = 2,51 > 1,5(OK)\end{aligned}$$

Jadi Konstruksi tidak mengguling

3). Kontrol turun terhadap tanah dasar

$$(\sigma = 2 \text{ kg/cm}^2)$$

$$\sigma = \frac{P}{F} \pm \frac{M}{W}$$

$$W = 1/6 b x h^2 = 1/6 \times 1 \times 16^2 = 42,66 \text{ m}^3$$

$$F = b x h = 1 \times 16 = 16 \text{ m}^2$$

Dalam hal ini ΣV beton = 168,84 ton

$$\begin{aligned} \Sigma MB &= -G1.2,5 + G2.1 - G3.0 + E.7,83 + WP2.1,33 \\ &= -14,4 \times 25 + 20,4 \times 1 - 0 + 30,438 \times 7,83 + 9,16 \times 1,33 \\ &= -36 + 20,4 + 238,329 + 12,183 \\ &= 234,912 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\text{jadi } \sigma = \frac{P}{F} \pm \frac{M}{W}$$

$$= \frac{168,84}{16} + \frac{233,912}{42,66}$$

$$\sigma = 10,55 + 5,507$$

$$= 16,057 \text{ ton/m}^2$$

$$\sigma \text{ yang terjadi} = 1,6057 \text{ kg/cm}^2 \text{ } (\sigma \text{ tanah} = 2 \text{ kg/cm}^2)$$

Dari perhitungan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa dimensi konstruksi pemecah gelombang sisi tegak (*wall type*) memenuhi syarat.

5.6.2 Contoh Bangunan Pemecah Gelombang Sisi Tegak

Pemecah gelombang tipe ini dapat dibangun dengan menggunakan :

- (1) . Blok beton
- (2) . Kaison dengan bahan beton atau baja
- (3) . Turap yang terdiri dari sel-sel (cellular sheet-pile breakwater)
- (4) . Krib dari kayu
- (5) . Krib dari beton
- (6) . Turap kombinasi beton dan baja.

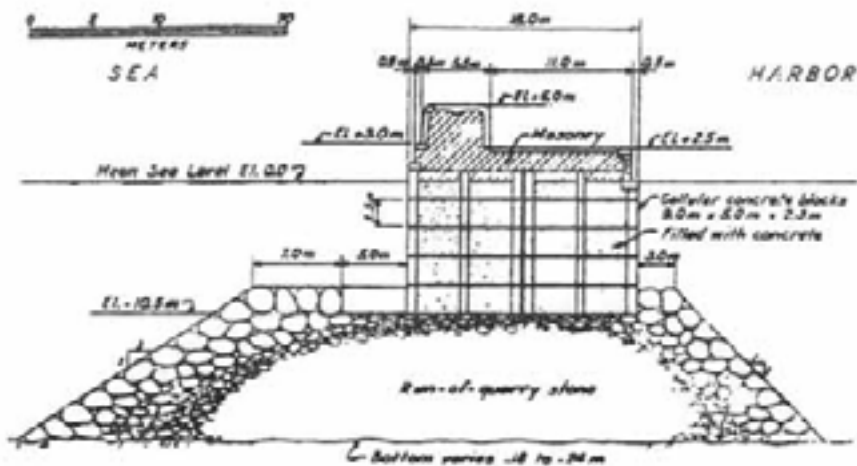
Blok Beton

Blok beton banyak digunakan di Eropa. Contoh yang cukup baik untuk tipe ini adalah perencanaan pemecah gelombang Granili yang dibangun pada tahun 1910. Bangunan pemecah gelombang ini dimaksudkan untuk melindungi bagian timur pelabuhan Naples, Itali. Bangunan ini dibangun sejajar dengan pantai sepanjang 1.000 meter dan berjarak 600 meter dari pantai. Kedalaman air bervariasi antara 18 sampai 24 meter.

Gambar 5.74. diperlihatkan potongan melintang pemecah gelombang dengan blok beton ini, Terlihat bahwa pondasi pemecah gelombang ini menggunakan blok beton sampai 1.157.000 ton yang diletakkan sampai pada elevasi 10,5 meter dengan lebar pondasi 38 meter serta kemiringan lereng 1 : 1 1/2 meter yang menghadap laut lepas dan 1 : 1 untuk didalam kolam pelabuhan.

Setiap blok beton terdiri dari dua cell dengan ukuran 3,5 x 3,5 x 2,3 meter Cell. Agar konstruksi dasar terlindung dari erosi akibat air yang kembali karena gelombang surut, maka cell tersebut diisi dengan beton yang berukuran 5 x 2,5 x 2 dengan berat masing-masing 50,5 ton.

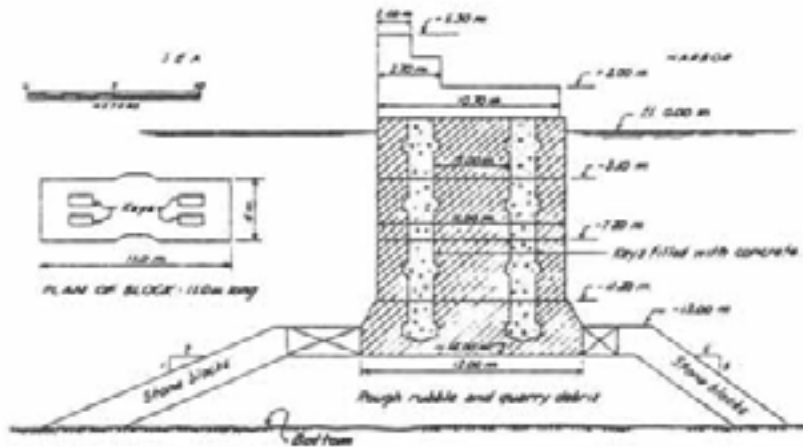
Bangunan bagian atas 0,5 meter diatas permukaan air rata-rata dengan menggunakan ordinary masonry dengan tinggi 2 meter sedangkan untuk yang menghadap ke laut lepas dengan lebar 5,3 meter serta ketenggian dinding 6 meter diatas permukaan air rata-rata.



Gambar 5.74 Potongan melintang pemecah gelombang Pelabuhan Itali

Pada Gambar 5.75 ditunjukkan potongan melintang pemecah gelombang algeers yang sangat baik untuk mencegah keruntuhan bangunan bangunan.

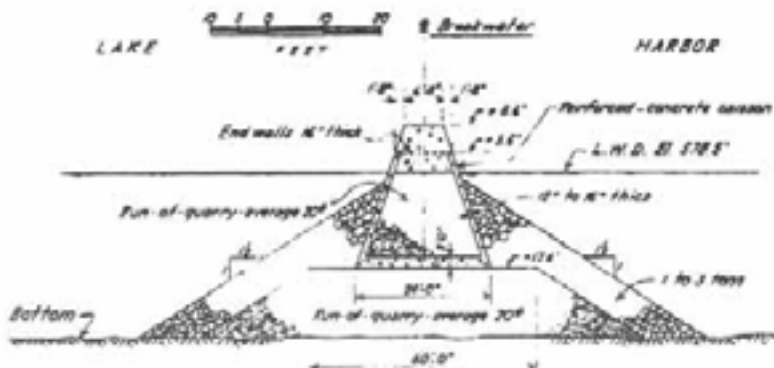
Bangunan ini mulai dibangun dalam tahun 1927 yang memproduksi blok beton dengan dengan berat 450 ton serta untuk memperkuat hubungan antara blok-blok tersebut diberikan pengunci dari bahan beton.



Gambar 5.75 Potongan melintang bangunan pemecah gelombang Algiers Morocco

Kaisson

Bangunan tipe ini sering digunakan untuk pemecah gelombang yang melindungi pelabuhan-pelabuhan di Eropa termasuk Indonesia yang merupakan bekas jajahan Belanda. Keuntungan tipe ini adalah mengurangi pekerjaan yang dilakukan di dalam air karena konstruksi tipe ini bisa dilakukan di darat kemudian dibawa ke laut untuk dipasang. Cara ini merupakan faktor yang penting dimana air laut yang bergelombang dan waktu kerja yang bisa diperkecil sehingga peralatan-peralatan kerja yang mengapung dapat dipersedikit. Contoh bangunan pemecah gelombang yang dibangun dalam tahun 1926 sampai tahun 1929 yaitu pelabuhan Milwaukee di Lake Michigan yang ditunjukkan dalam Gambar 5.76.



Gambar 5.76. Potongan melintang bangunan pemecah gelombang di Milwaukee, Lake Michigan.

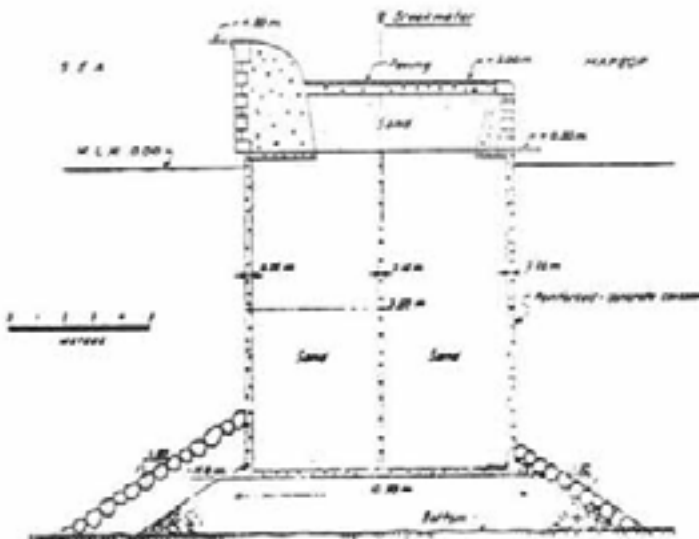
Bangunan ini dibuat dengan menggunakan beton pratekan dengan panjang masing-masing 54 feet, tinggi 21 feet dan lebar 24 feet didasar laut dan lebar 10 feet pada puncak bangunan.

Dalam Gambar 4.44. ditunjukkan potongan melintang pemecah gelombang kaison dengan panjang bervariasi antara 21 sampai 29 meter. Potongan kaison tiap 3,5 meter yang membagi kaison menjadi ruang-ruang terpisah.

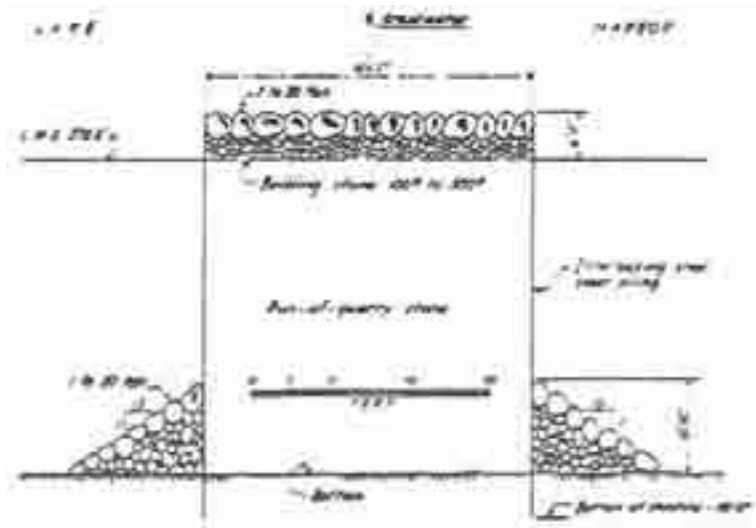
Dalam tahun 1967, pemecah gelombang sepanjang 1.410 feet dibangun di pelabuhan Marsa el Brega, Libya, yang melindungi dua dermaga yang melayani kapal-kapal tangker untuk bongkar muat gas. Pemecah gelombang ini terdiri dari delapan kaison beton dengan panjang 175 feet dan berat masing-masing kaison adalah 7.000 ton yang dibuat di Massina, Itali. Gambar 4.45, memperlihatkan tipikal potongan melintang pemecah gelombang.

Pemecah Gelombang Turap Baja (*Cellular sheet-pile breakwater*)

Tipe pemecah gelombang ini telah digunakan dengan berhasil di Great lakes. Walaupun begitu bangunan ini sudah tidak pernah digunakan lagi karena : 1). pelaksanaannya cukup sulit apalagi dinegara yang sedang berkembang seperti Indonesia , 2). Masalah korosi yang menyebabkan umur ekonomis bangunan tersebut kurang menguntungkan , 3) sangat sulit dibangun pada laut yang dalam.

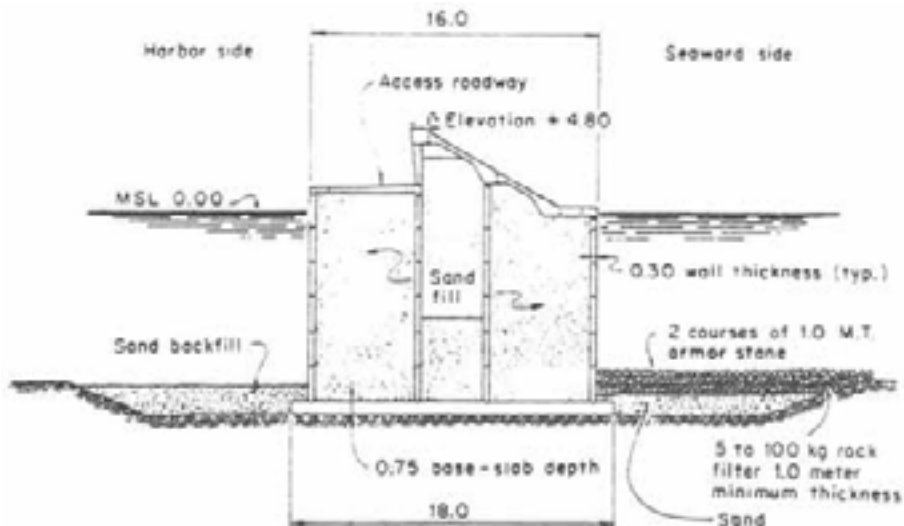


Gambar 5.77 Potongan melintang pemecah gelombang pelabuhan Helsingborg, Swedia



Gambar 5.78 Potongan melintang pemecah gelombang di Marsa el Brega, Libya

Walaupun begitu pemecah gelombang tipe ini masih sering digunakan terutama untuk bangunan-bangunan sementara yang hanya diperuntukan sebagai cofferdam agar air tidak masuk ke dalam pelabuhan dari gelombang seperti misalnya yang digunakan pada pelabuhan Taconita yang telah diuraikan pada bab 3 dimana sel-senyanya diisi dengan pasir dan batu. Gambar 5.79 memperlihatkan turap-turap baja dipelabuhan Calumet, Lake Michigan yang mempunyai panjang 5.000 feet dan dibangun pada tahun 1935.

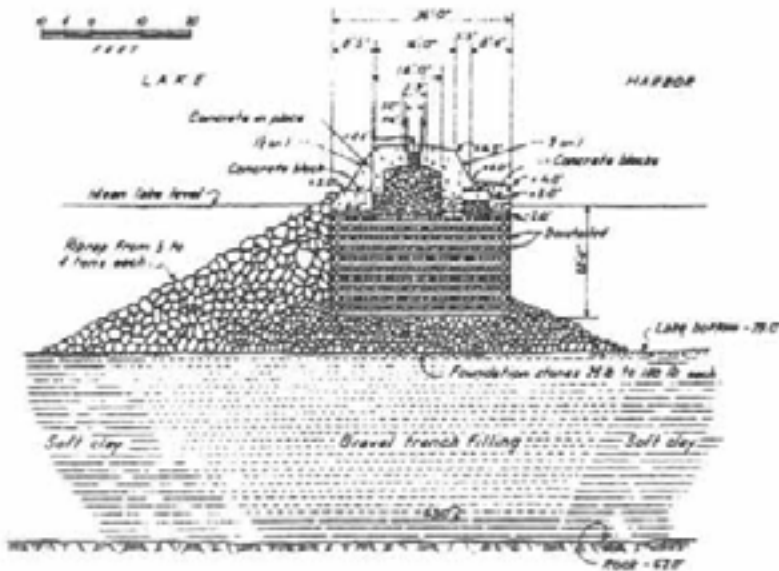


Gambar 5.79. Potongan melintang pemecah gelombang turap baja di Calumet, Lake Michigan

Krib Kayu (*Rock filled timber cribs*)

Tipe ini sudah dibuktikan sangat efektif di great lakes, khususnya pada akhir-akhir ini di mana kayu cukup murah di lokasi proyek pemecah gelombang.

Contoh yang cukup baik dapat dilihat pada bangunan pemecah gelombang di Buffalo, Newyork yang aslinya dibangun pada tahun 1898 sampai tahun 1900. Bangunan atas pemecah gelombang ini juga dibuat dari kayu ternyata tidak baik sehingga bangunan atas ini pada tahun 1902 diganti dengan konstruksi beton. Bangunan ini dapat dilihat pada gambar 5.80.



Gambar 5.80 Potongan melintang bangunan pemecah gelombang dari krib kayu.

Krib beton berlubang (*Pertorated concrete breakwater*)

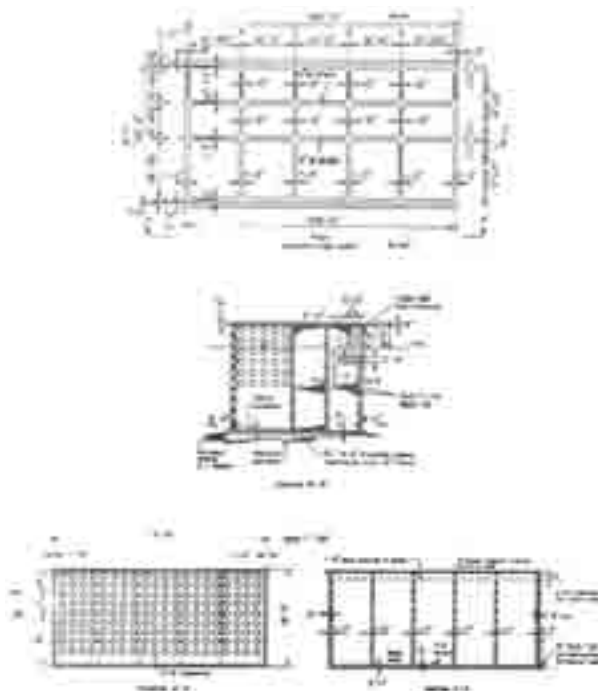
Konstruksi dinding vertikal dengan menggunakan krib maupun kaisan yang diperuntukan atau berfungsi ganda yaitu sebagai pemecah gelombang yang melindungi pelabuhan atau dermaga dan juga sebagai dermaga warf akan menghadapi banyak masalah terutama menyangkut pantulan gelombang yang sangat keras pada permukaan vertical akan menyebabkan clapotis yang merupakan bagian dari karakteristik gelombang stationer oleh amplitude gelombang yang mendekati dua kali tinggi gelombang tinggi gelombang datang. Pengaruh clapotis pada konstruksi dapat menyebabkan limpasan air yang cukup besar (overtapping) yang akan dapat menggenangi permukaan (lantai) dermaga. Maka untuk itu pada sisi bangunan yang menghadap laut lepas konstruksinya dibangun lebih tinggi dari bangunan pemecah gelombang biasanya untuk kelancaran bongkaran muat di dermaga.

Energi gelombang datang dapat ditanggulangi dengan mengurangi amplitude clapotis pada sisi laut lepas berdasarkan penelitian oleh National Research Council of Canada beberapa tahun yang lalu. Penelitian ini dengan menggunakan model tes dan studi kelayakan studi kelayakan serta studi perencanaan.

Krib-krib yang berlubang sebagai konstruksi berbagai fungsi untuk pemecah gelombang dan dermaga. Strukturnya terdiri dari krib-krib beton. Efektifitas pemecah gelombang dan dermaga ini tergantung pada kombinasi antara total daerah yang berlubang pada dinding, ketebalan dinding dan lebar dari bilik gelombang . Kombinasi yang paling baik dari faktor-faktor ini tergantung pada karakteristik gelombang rencana yang meliputi rata-rata dari energy gelombang yang diserap. Gambar 5.81. memperlihatkan bentuk umum krib yang berlubang seperti yang dikembangkan dalam laporan penelitian diatas.

5.7 Pemecah Gelombang Pancaran Udara dan Pancaran Air

Pemecah gelombang pancaran udara menggunakan semburan udara untuk menghancurkan gelombang, sedang pemecah gelombang pancaran air menggunakan semburan air untuk menghancurkan gelombang . Gambar 4.50, memperlihatkan kedua tipe pemecah gelombang tersebut.



Gambar 5.81 Rencana umum krib beton (Perforated Crib)

Bab 6

Dermaga (*Wharves, Piers, Bulkhead, Dolphin dan Mooring*)

6.1 Pengertian Dermaga

Dermaga adalah suatu bangunan struktur di air yang digunakan untuk bertambatnya kapal-kapal agar dapat melakukan bongkar muat barang atau menaik turunkan penumpang dengan aman dan lancar.

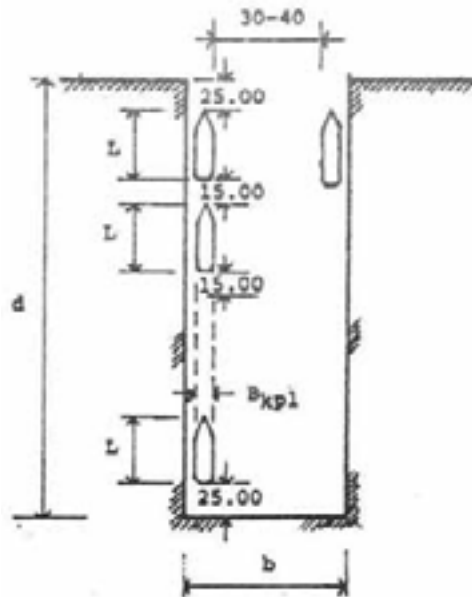
Dock adalah istilah yang umum untuk menjelaskan suatu bangunan struktur di air (*marine structure*) yang digunakan untuk bertambatnya kapal-kapal agar dapat melakukan bongkar muat barang atau menaik turunkan penumpang dengan aman dan lancar. Di Amerika dermaga-dermaga ini disebut dengan berbagai nama tergantung pada bentuk, letak dan fungsinya seperti pier, warf, bulkhead. Sedangkan di Eropa disebut Jetty, quay dan quay wall. Di Eropa dimana perbedaan pasang surut sangat besar ada istilah *wet dock* apabila kolam pelabuhan terdapat air (saat pasang) dan *dry dock* untuk sebaliknya. Di Indonesia apron dermaga sering disebut dengan terminal seperti terminal warf atau Quay dan terminal bulkhead. Walaupun begitu dalam buku ini terminal tidak dibahas.

- a. *Warf* atau *Quay* Adalah dermaga yang biasanya sejajar dengan garis pantai atau mengikuti garis pantai. Di Indonesia dermaga ini disebut tipe menerus. Tipe dermaga ini memaksimalkan kawasan operasional di darat seperti untuk kontainer atau peti kemas di mana dibutuhkan suatu area terbuka yang cukup luas untuk menjamin kelancaran angkutan barang dan sangat cocok dibangun pada pantai dengan kedalaman hampir merata sepanjang garis pantai. Dermaga tipe ini sangat mudah kita temukan pada pelabuhan-pelabuhan di Indonesia. Secara ilustratif dapat dilihat pada Gambar 6.1.

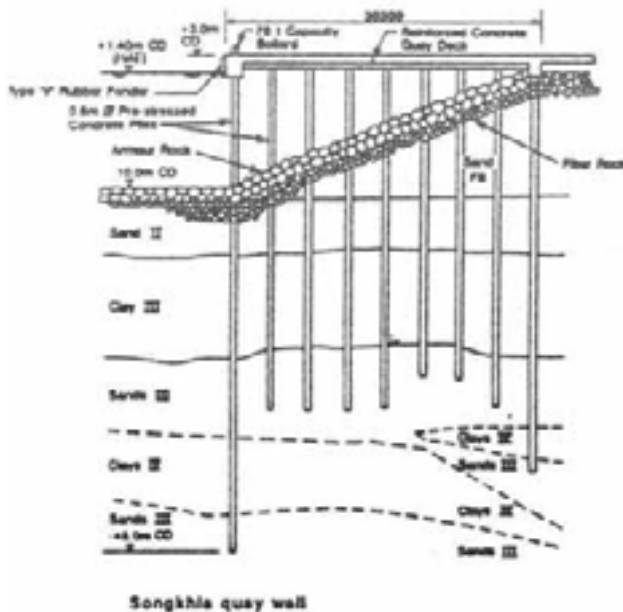
- b. *Bulkhead* atau *Quay Wall* Sebenarnya tipe ini sama dengan warf atau quay, perbedaannya hanya terletak pada kondisi tanahnya seperti diilustrasikan pada Gambar 6.2. Dalam banyak lokasi dimana industri-industri dibuat mendekati transportasi laut/sungai biasanya kondisi tanahnya berrawa-rawa, elevasi rendah sehingga apabila membuat bangunan harus diadakan perbaikan tanah terlebih dahulu (reklamasi) atau sering juga dilakukan pengerukan-pengerukan untuk jalan air sehingga terciptalah alur-alur pelabuhan sehingga bentuk dermaga menyerupai jari (finger type warf). Dermaga ini dapat dijumpai pada pelabuhan tanjung perak Surabaya seperti ditunjukkan pada Gambar 6.2 dan 6.3.



Gambar 6.1 Dermaga Warf/Quayz



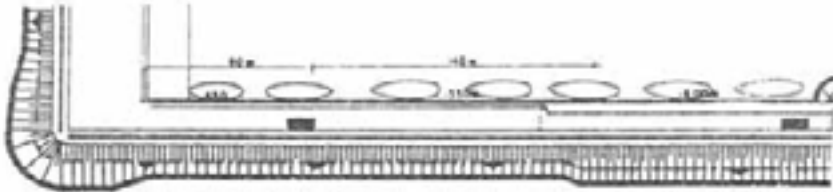
Gambar 6.2 Bulkhead atau Quaywal



Gambar 6.3 Potongan melintang Quaywall

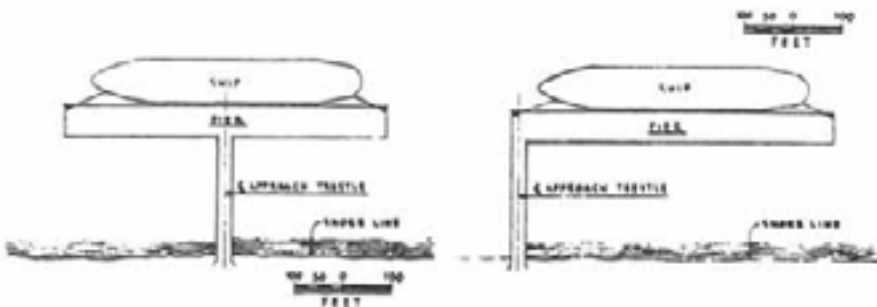
- c. *Bulkhead Wharf* Oleh karena disepanjang alur pelayaran biasanya terbentuk tebing-tebing yang curam, maka dibuat dinding penahan tanah dengan konstruksi bulkhead. Konstruksi ini biasanya juga

dipakai sebagai dermaga warf sehingga dapat melayani kapal-kapal yang bertambat yang selanjutnya konstruksi bangunan ini dilengkapi dengan fasilitas-fasilitas pelayanan kapal seperti bolder, apron, peralatan untuk penanganan bongkar muat barang dan gudang. Tipe dermaga ini secara ilustratif dapat dilihat pada Gambar 6.4.



Gambar 6.4 Bulkhead warf

- d. *Pier atau Jetty* adalah konstruksi dermaga yang menjorok ke air/laut, kadang-kadang dihubungkan oleh mole atau trestle dan kadang-kadang dikombinasikan dengan pemecah gelombang disebut dengan *breakwater pier*. Di Indonesia dermaga ini disebut tipe jembatan. Kalau warf hanya dapat digunakan pada satu sisi tapi pier dapat dipakai pada kedua sisi. Apabila garis kedalaman jauh dari pantai dan tidak diinginkan adanya pengerukan maupun penimbunan (reklamasi) karena pertimbangan teknis, lingkungan dan terutama biaya pembangunan, pier dapat dibuat lebih kurang sejajar garis pantai dan dihubungkan dengan mole atau trestle. Dalam kasus seperti ini pier biasanya disebut T-head pier atau L-shaped pier tergantung pendekatan jalan masuk ke dermaga apakah di tengah atau di ujung pier. Secara ilustratif dapat dilihat pada Gambar 6.5.



Gambar 6.5 Typical T-head dan L-Shaped Piers

- e. *Dolphins* adalah suatu konstruksi dilaut yang berfungsi sebagai tempat bertambatnya kapal-kapal. Konstruksi ini juga biasanya digunakan dalam bentuk kombinasi dengan piers atau wharves

agar dapat memperpendek panjang dermaga. Dolphin saat ini sudah digunakan secara ekstensif untuk bongkar muat barang-barang curah. Disamping itu konstruksi ini juga digunakan untuk landasan kapal sewaktu memindahkan barang dari suatu kapal ke kapal yang lain.

Dolphin mempunyai dua tipe yaitu:

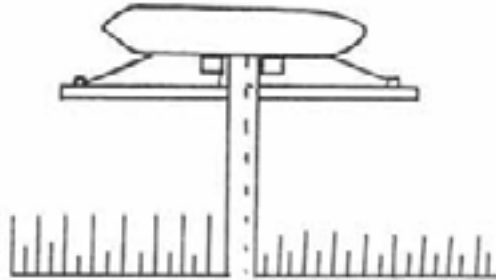
Breasting Dolphin yaitu tipe dolphin yang paling besar. Konstruksi ini dirancang untuk dapat menahan tumbukan kapal yang merapat ke dermaga dan disamping itu untuk pegangan kapal apabila ada angin ang besar. Oleh karena itu, untuk mencegah agar konstruksi dolphin serta kapal dari kerusakan sewaktu kapal bertumbuk dengan dermaga maka konstruksi ini harus dilengkapi dengan fender untuk menyerap gaya akibat tumbukan kapal. Konstruksi ini biasanya dilengkapi dengan bolder untuk mengikat kapal. Tali-tali ini apabila diikatkan pada dolphin kurang efektif terutama apabila ada angin yang bertiup dari arah dermaga sehingga harus dibuatkan dolphin di haluan dan buritan kapal yang ditempatkan dibelakang dermaga *breasting dolphin*. Konstruksi dolphin ini biasa disebut dengan *mooring dolphins*.

Mooring Dolphins adalah konstruksi dermaga (dolphin) yang dirancang untuk tidak menerima gaya akibat tumbukan kapal yang lokasinya dibelakang dermaga dimana konstruksi ini tidak menerima benturan.

Mooring dolphin ditempatkan kira-kira dengan sudut 45 derajat kearah haluan dan buritan kapal. Tali untuk penambatannya lebih kurang 200 ft – 400 ft jika menggunakan hanya dua *mooring dolphin*.

Mooring dolphin biasanya dilengkapi dengan bolder atau tempat tambat (*bollards or mooring ports*) serta alat untuk memutar tali apabila tali digunakan untuk menarik kapal yang sangat berat. Maksimum tarikan satu tali biasanya tidak melebihi 50 ton atau satu bolder dengan dua tali tidak melebihi 100 ton. Disamping itu dolphin (*breasting dolphin* maupun *mooring dolphin*) sama-sama digunakan untuk mengarahkan kapal-kapal sewaktu merapat dengan cara mengikatkan tali pada boldernya. Kapal-kapal yang sangat besar dapat membutuhkan dua dolphin tambahan, di buritan dan di haluan dan lokasi ini biasanya juga sesuai dengan panjang tali tambatan yang normal ke dermaga yang dibuat agar lebih efektif dalam bongkar muat kapal-kapal besar sewaktu terjadi angin seperti yang dilakukan pada pelabuhan penyeberangan Gilimanuk. Secara ilustratif dapat

dilihat pada Gambar 6.6 dan gambar yang diambil pada pelabuhan penyeberangan Gilimanuk seperti ditunjukkan pada Gambar 6.7 dan 6.8 dan Dermaga Dolphin untuk pelabuhan minyak pada Gambar 6.9.



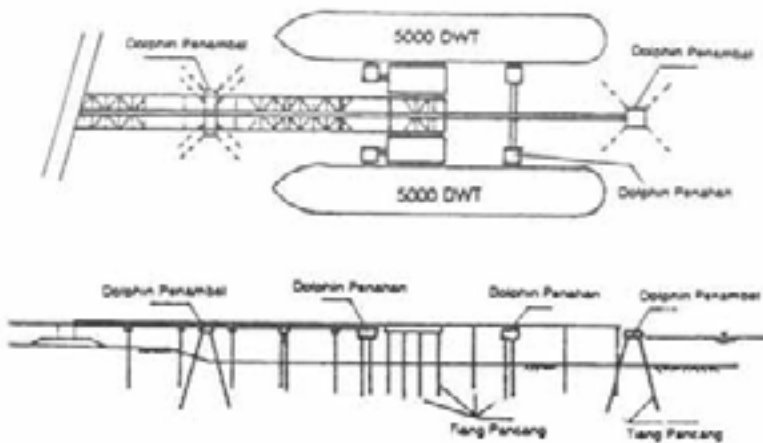
Gambar 6.6 Breasting Dolphin dan Mooring Dolphin Pelabuhan penyeberangan Gilimanuk



Gambar 6.7 Breasting Dolphin dan Mooring Dolphin (sudah tidak ada/hancur) Pelabuhan penyeberangan Gilimanuk saat ini



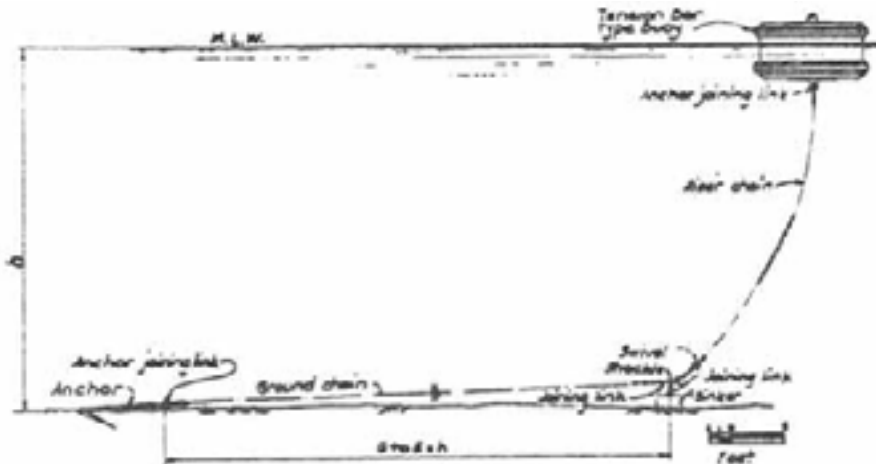
Gambar 6.8 Breasting dolphin dan mooring dolphin menyatu pada dermaga pelabuhan penyebrangan Gilimanuk Bali



Gambar 6.9 Breasting Dolphin dan Mooring Dolphin Pelabuhan Minyak

- f. *Fixed Mooring Berth* adalah suatu bangunan dilaut yang terdiri dari suatu platform untuk tempat peralatan bongkar muat. Platform biasanya ditempatkan dibelakang dolphin sejauh 5 sampai 10 ft agar kapal tidak akan bersinggungan dengan platform sehingga oleh karena itu tidak dirancang untuk menerima gaya tumbukan dari kapal-kapal sewaktu merapat.

- g. Mooring for Ship (lihat Gambar 6.10), pada posisi tertentu dilengkapi dengan pegangan untuk mengikat tali-tali kapal. Setiap unit dari alat pegangan terdiri dari satu atau lebih jangkar yang dilengkapi dengan rantai, sinker dan pelampung untuk mengikatkan tali kapal yang biasanya berlokasi pada buritan dan haluan dari kapal.



Gambar 6.10 Mooring for ship

6.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pemilihan tipe Dermaga

Dermaga umumnya dibangun untuk melayani kegiatan bongkar muat tertentu. Fungsi yang utama kemungkinan untuk menangani bongkar muat barang atau penumpang atau kombinasi keduanya atau kemungkinan untuk menangani jenis-jenis barang khusus terutama barang-barang curah seperti: minyak, batubara, semen serta biji-bian (padi, gandum). Fungsi pelayanan merupakan hal pokok dalam pemilihan jenis dermaga yang akan direncanakan. Walaupun begitu terdapat faktor-faktor yang lain yang juga menentukan dalam pemilihan jenis dermaga yang akan dibangun seperti misalnya:

- Instalasi yang diinginkan apakah permanen atau hanya sementara
- Ukuran dari kapal yang akan menggunakan dermaga tersebut
- Arah angin dan gelombang
- Letak dan kedalaman perairan dermaga yang direncanakan
- Beban muatan yang harus dipikul dermaga, baik beban merata maupun beban terpusat (Crane, forklift dan lain-lain)

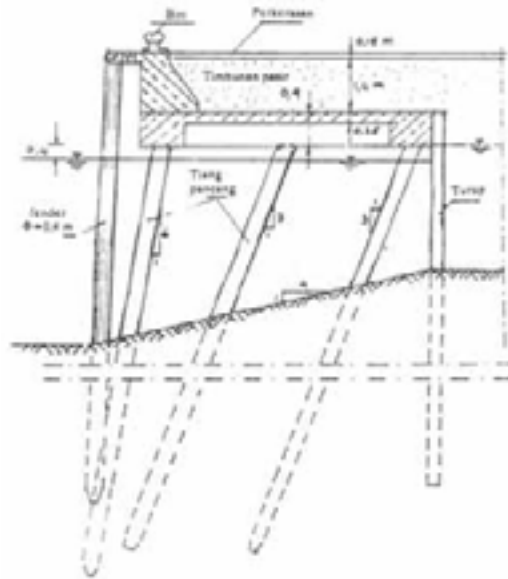
- f. Kondisi tanahnya, terutama jika dipertimbangkan adanya pengerukan
- g. Karakteristik tanah, terutama yang bersangkutan dengan daya dukung tanah, stabilitas bangunan dan lingkungan maupun kemungkinan penurunan bangunan sebagai akibat konsolidasi tanah
- h. Yang terakhir, tetapi menjadi pertimbangan yang paling menentukan yaitu jenis konstruksi yang paling ekonomis

Dalam mempertimbangkan ukuran dermaga harus didasarkan pada jenis dan ukuran-ukuran minimal sehingga kapal dapat bertambat atau meninggalkan dermaga maupun melakukan bogkar muat barang dengan aman, cepat dan lancer. Dalam pembangunan dermaga dibangun fasilitas-fasilitas pendukung yang sangat tergantung juga dengan jenis kapal dan jenis dermaga yang disesuaikan dengan jenis barang yang dilayani. Fasilitas-fasilitas atau bangunan-bangunan tersebut seperti apron, gudang terbuka maupun tertutup, tempat bongkar muat barang, jalan, kereta api dan sebagainya.

Dermaga (Pier atau Wharves) biasanya dipilih apabila dermaga yang dibangun terletak pada pantai yang mempunyai bentuk yang sejajar. Sedangkan Finger Pier biasanya dibuat untuk melayani kapal-kapal yang bersandar pada kedua sisinya (double the berthing space) untuk bias memaksimalkan kolam pelabuhan.

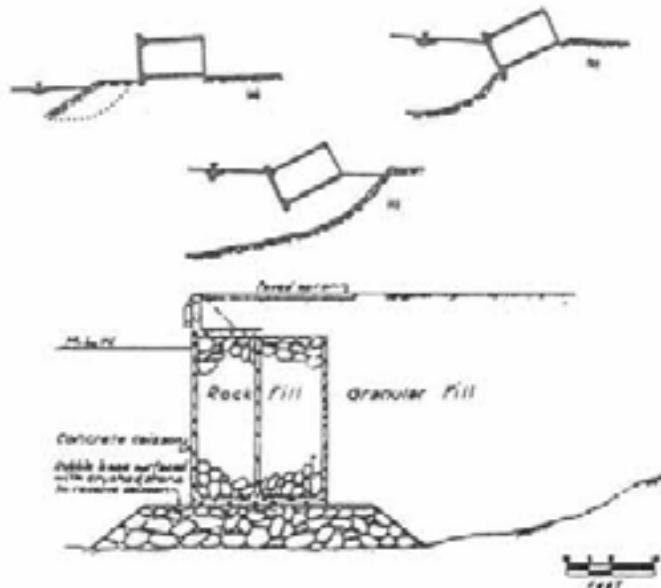
Walaupun begitu, beberapa lokasi dermaga yang dibangun sejajar garis pantai, dimana kemiringan tanah dasarnya curam serta menonjol dan mempunyai kedalaman yang cukup akan menyebabkan pondasinya tidak praktis dan efisien atau sangat mahal. Namun dalam beberapa kondisi yang kedalaman airnya dangkal atau tidak begitu dalam serta jaraknya dengan pantai tidak begitu jauh terhadap kedalaman yang disyaratkan sehingga tidak dibutuhkan pengerukan, pada kondisi tersebut lebih cocok dan lebih ekonomis menggunakan dermaga pier dengan T-head atau L-Shaped pier yang dilengkapi dengan Trestle dari pantai seperti yang kita lihat pada Gambar 6.5.

Untuk keadaan karakteristik tanah tertentu, konstruksi dermaga dapat dibuat dari turap ataupun dinding penahan tanah. Pada karakteristik tanah yang kurang menguntungkan dapat dikembangkan konstruksi ganda, yaitu suatu kombinasi tiang pancang di atasnya dibuat dinding penahan tanah seperti terlihat pada Gambar 6.11.



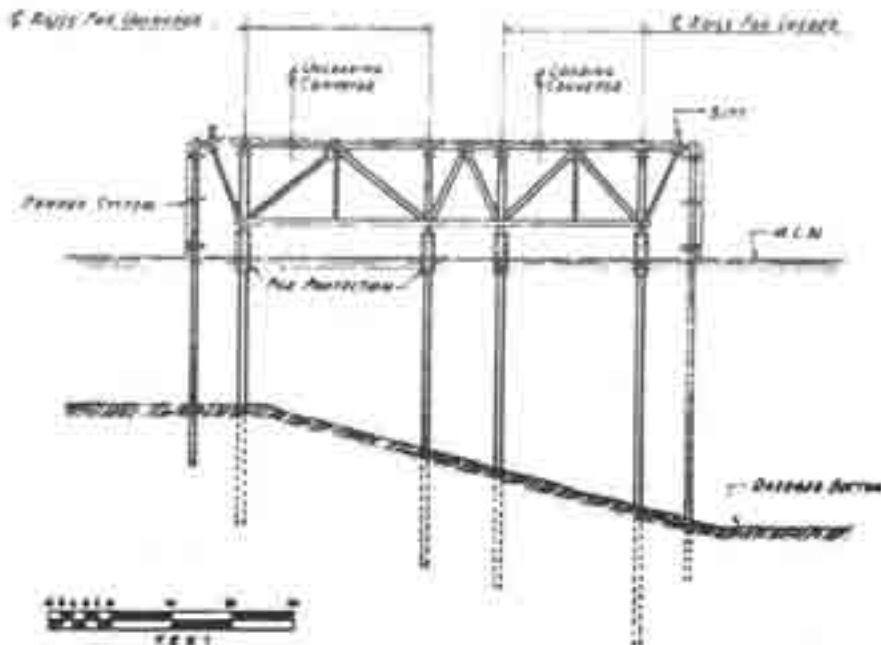
Gambar 6.11 Dermaga kombinasi tiang pancang dan dinding penahan tanah

Konstruksi kaisan untuk pembangunan dermaga dapat diterapkan bila karakteristik tanahnya jelek. Kaisan adalah suatu konstruksi kotak-kotak beton bertulang yang dibuat di darat dan dengan cara mengapungkan dan dihela pada posisi yang diinginkan kemudian ditenggelamkan dengan cara mengisi dinding kamar-kamar kaisan dengan pasir laut seperti dapat dilihat pada Gambar 6.12



Gambar 6.12 Dermaga Warf dengan konstruksi kaisan

Dermaga dolphin dibangun biasanya untuk melayani bongkar muat minyak dan untuk menangani bongkar muat barang curah. Konstruksinya dibangun untuk menerima beban yang lebih ringan dibandingkan dengan dermaga untuk menangani bongkar muat barang umum (*general cargo*) dan fasilitas-fasilitas yang dibutuhkan juga tidak sama seperti dermaga untuk bongkar muat barang-barang umum apalagi barang-barang berat seperti container. Untuk dermaga dolphin yang hanya digunakan untuk melayani kebutuhan bongkar muat minyak, tidak dibutuhkan gudang-gudang penyimpanan, tidak perlu didukung oleh peralatan-peralatan bongkar muat yang lain seperti crane, forklift dan sebagainya tapi dibutuhkan penyimpanan minyak jauh diluar dermaga dengan menggunakan fasilitas-fasilitas bongkar muat khusus dan daerah khusus dan pengamanan khusus seperti digunakannya pipa-pipa untuk menyalurkan minyak langsung dari pelabuhan ketempat penyimpanan. Dermaga tidak dibebani secara tetap karena langsung diangkut melalui pipa-pipa yang menyatu dengan dermaga sehingga panjang serta jumlah dermaga menjadi berkurang. Dermaga dolphin sangat cocok dan ekonomis digunakan untuk kondisi tersebut karena hanya untuk menerima tumbukan kapal waktu merapat serta tambatan untuk tambatan kapal untuk bongkar muat minyak. Gambar 6.13 memperlihatkan dermaga dolphin yang dikombinasi dengan pier untuk bongkar muat minyak.



Gambar 6.13 Dermaga pier untuk minyak dengan dua tambatan konstruksi terbuka rangka kaku

6.3 Bahan dan Tipe Konstruksi Dermaga

Konstruksi dermaga umumnya diklasifikasikan menjadi dua yaitu:

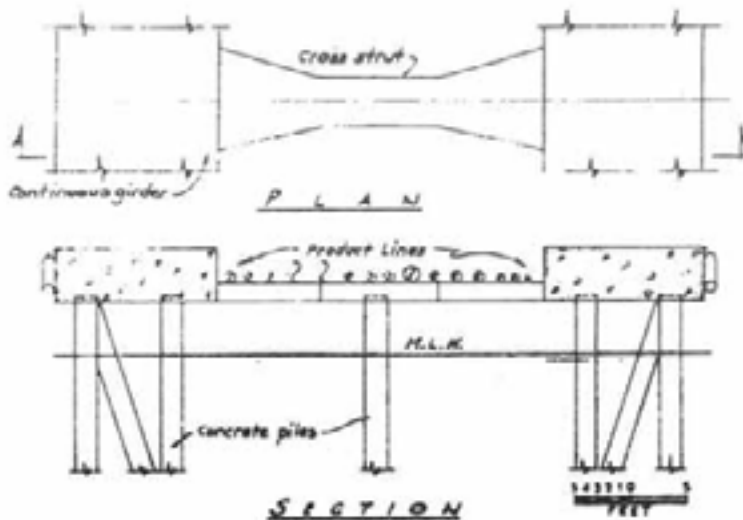
1. Dermaga konstruksi terbuka yang umumnya menggunakan tiang-tiang pancang
2. Dermaga konstruksi tertutup atau solid, seperti turap, bulkhead, krib, kaisan dan dinding penahan tanah

Dermaga konstruksi terbuka selanjutnya dibagi berdasarkan posisi geladaknya yaitu:

- Posisi geladak yang tinggi (*high level deck*)
- Tipe peron (*relieving-type platform*)

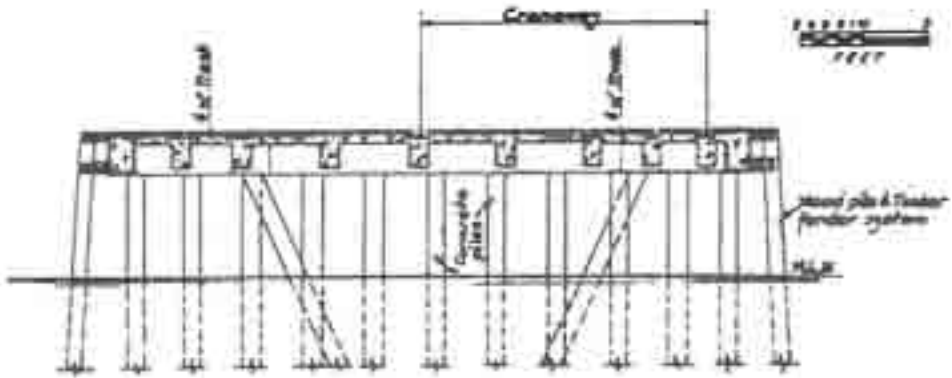
Untuk posisi geladak yang tinggi biasanya tidak membutuhkan apron karena akan digunakan untuk melayani bongkar muat barang-barang curah khususnya yang populer saat ini adalah untuk bongkar muat barang curah minyak.

Umumnya konstruksi untuk geladak yang tinggi ini adalah tertutup atau solid, namun khusus untuk dermaga yang melayani bongkar minyak biasanya menggunakan dermaga pier atau tipe jembatan dimana slabnya menggunakan konstruksi kerangka untuk memberikan tempat untuk penempatan pipa-pipa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.14.



Gambar 6.14 Dermaga pier untuk minyak, konstruksi terbuka dengan posisi geladak yang tinggi

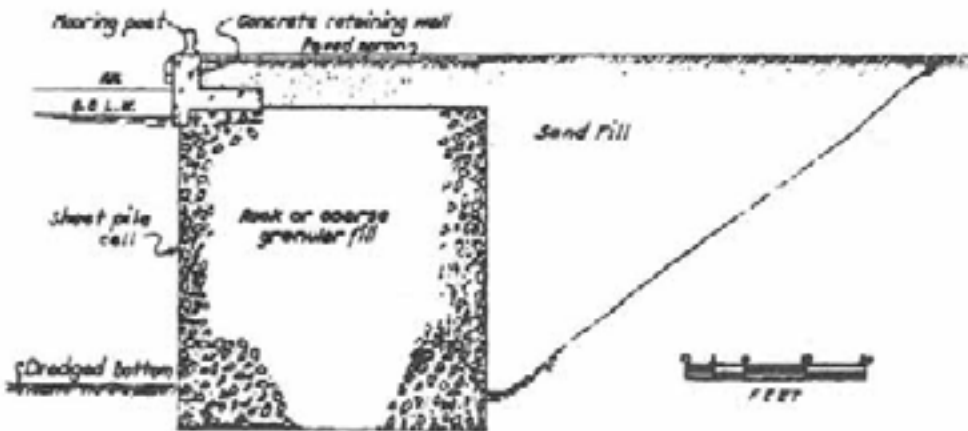
Dermaga konstruksi terbuka biasanya digunakan untuk dermaga pier yang biasanya didukung oleh tiang-tiang pancang dari kayu, beton dan baja atau kombinasi beton dan baja seperti diperlihatkan pada Gambar 6.15.



Gambar 6.15 Tipikal tipe konstruksi terbuka dengan gelagar beton

Pada tahun-tahun terakhir ini penggunaan beton pratekan sangat populer digunakan untuk tiang-tiang pancang dermaga pier atau dolphin karena bentuknya yang menyebabkan konstruksinya lebih ekonomis.

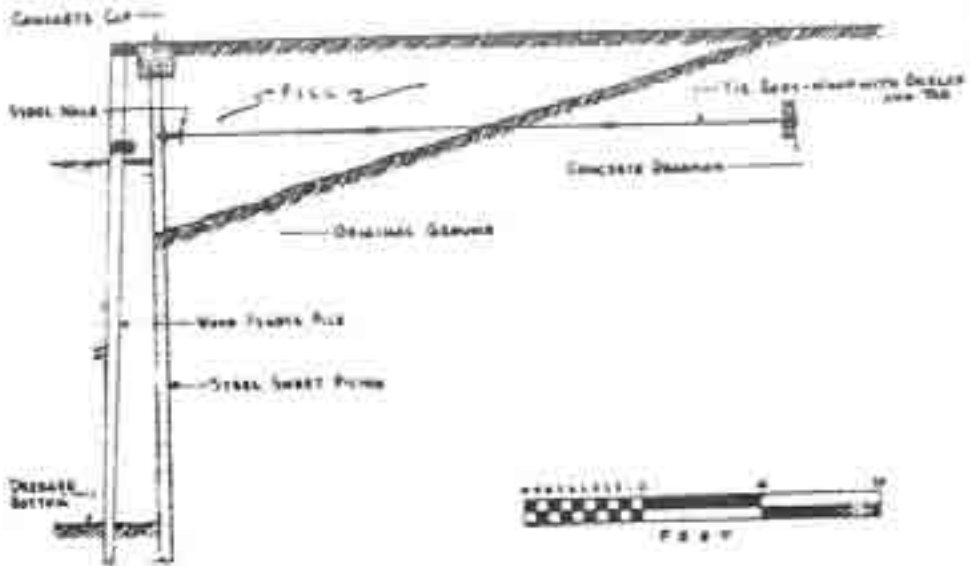
Konstruksi dermaga bentuk solid biasanya menggunakan turap baja (*steel-pile cell*) apabila kedalaman air tidak melebihi 50 ft dan kondisi tanah dasarnya cukup stabil untuk menahan gaya gravitasi. Lubang-lubangnya biasanya diisi dengan beton di atas permukaan air dibuatkan dinding penahan tanah seperti dilihat pada Gambar 6.16.



Gambar 6.16 Dermaga bulkhead dengan konstruksi tertutup dari turap

Sedangkankan konstruksi turap yang digunakan untuk dinding penahan tanah biasanya menggunakan kayu, baja atau beton yang biasanya diangker

pada dinding tanah atau diperkuat dengan menggunakan tiang pancang miring seperti diperlihatkan pada Gambar 6.17 dan Gambar 6.18.

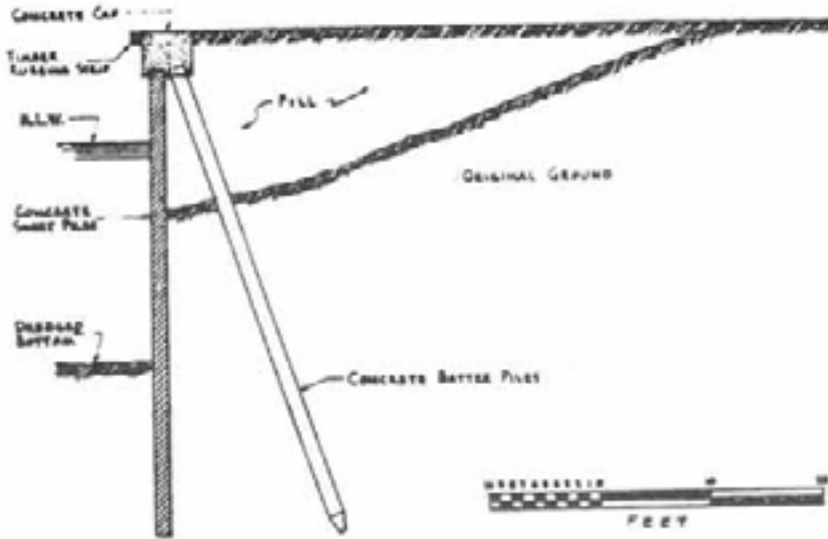


Gambar 6.17 Dermaga bulkhead konstruksi tertutup dengan menggunakan turap serta diangker (shed-pile bulkhead supported by tie rods and anchor wall)

Gambar 6.18 Dermaga bulkhead konstruksi tertutup dengan menggunakan turap baja serta diperkuat dengan tiang pancang miring

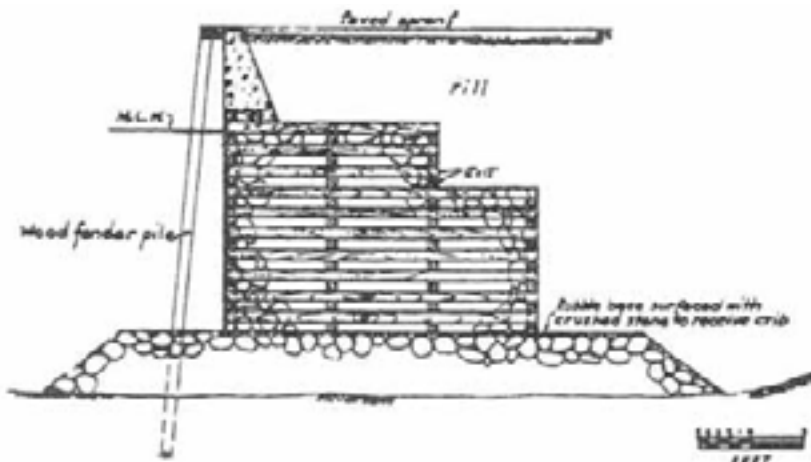
Dermaga konstruksi terbuka biasanya digunakan untuk dermaga pier. Untuk dermaga yang direncanakan tidak menerima gaya-gaya yang besar, pemakaian crib-crib dari kayu sangat sering digunakan untuk dermaga wharf maupun dermaga pier, seperti sering digunakan pada danau-danau yang besar serta sungai-sungai dipedalaman Kalimantan dimana bahan-bahan kayu murah serta mudah didapat.

Crib kayu biasanya direncanakan atau ditempatkan dibawah muka air sedangkan diatasnya konstruksi penahan tanah dengan menggunakan konstruksi beton seperti diperlihatkan pada gambar 6.19



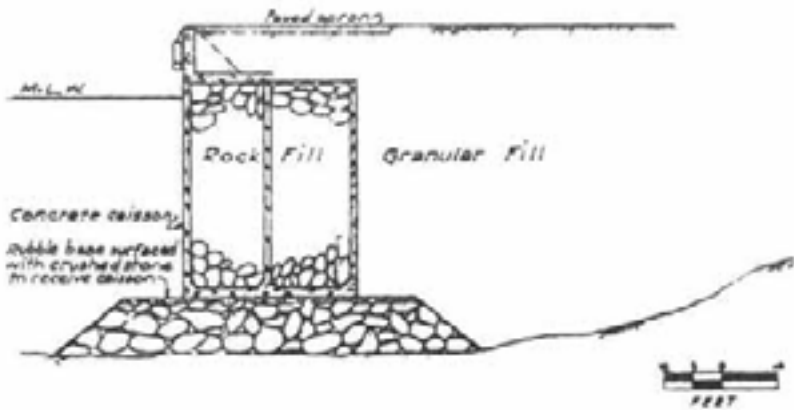
Gambar 6.19 Dermaga Warf konstruksi tertutup dengan menggunakan crib kayu (typical timber crib wharf)

Konstruksi kaisan dari bahan beton telah digunakan secara ekstensif untuk dermaga warf atau quay wall khususnya di Eropa dan juga konstruksi ini dapat kita lihat pada beberapa pelabuhan di Indonesia seperti di Tanjung Perak Surabaya yang dibangun pada jaman penjajahan Belanda. Contoh untuk tipe ini dapat kita lihat juga di Shouthampton Inggris yang dibangun pada tahun 1934 sepanjang 7500 ft yang terdiri dari 146 beton kaisan dengan ukuran 7 sampai 30 ft dari dasar permukaan tanah. Typical dan tipe kaisan dapat dilihat pada gambar 6.20.



Gambar 6.20. Dermaga Bulkhead Warf konstruksi tertutup dengan menggunakan Kaisan Beton (Solid type bulkhead wharf using concrete caisson with closed bottom)

Konstruksi yang mirip dengan tipe ini adalah dengan menggunakan gravity quay wall yang biasanya dibangun dengan menggunakan balok-balok beton pratekan. Typical konstruksi ini dapat dilihat pada gambar 6.21.



Gambar 6.21 Dermaga Quaywall konstruksi tertutup dengan menggunakan Blok-Blok Beton Pracetak

6.4 FAKTOR-FAKTOR YANG PERLU DIPERHATIKAN DALAM PERENCANAAN DERMAGA

Dalam perencanaan dermaga faktor-faktor yang harus diperlihatkan antara lain adalah :

1. Penentuan ukuran dan layout dermaga
2. Tipe Disain
3. Gaya dan beban yang diperhitungkan dalam perancangan

6.4.1. Penentuan Ukuran dan Layout Dermaga

Ukuran suatu pelabuhan ditentukan berdasarkan panjang dermaga, lebar, kedalaman kolam pelabuhan dan daerah pendukung operasinya. Ukuran dan tipe konstruksi dermaga yang tepat (efektif, efisien) akan sangat menentukan terhadap besarnya nilai investasi yang diperlukan

Investasi pembangunan maupun penambahan prasarana dan sarana pelabuhan dilakukan untuk menjaga keseimbangan antara permintaan jasa kepelabuhan dan kapasitas yang tersedia pada tingkat pelayanan tertentu. Didalam prakteknya proposal investasi penambahan unit dermaga, secara garis besar mengandung:

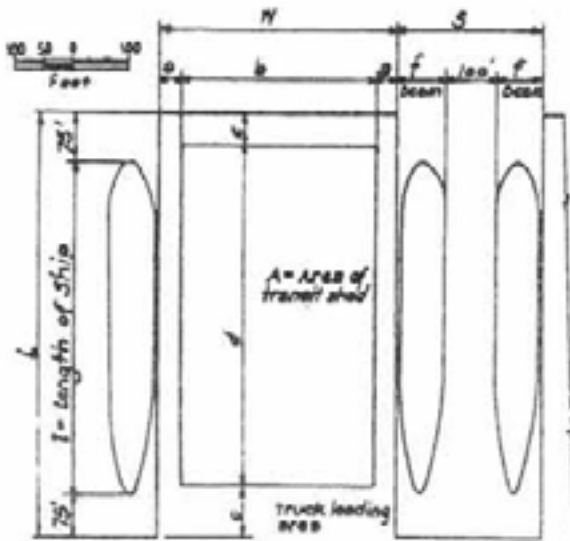
- Peramalan arus lalu lintas penumpang serta barang serta produktivitas pelabuhan,

- Penentuan ukuran dermaga dan prasarana serta sarana penunjang lainnya.
- Analisa ekonomi dan finansial

Dermaga harus mempunyai ukuran-ukuran minimal demi untuk menjaga agar kapal dapat dengan aman bertambat atau meninggalkan dermaga dan melakukan bongkar muat. Dermaga untuk bersandarnya empat kapal harus mempunyai kolam pelabuhan yang cukup lebar (*slip*) untuk manuver kapal, keluar masuk kapal. Gambar 6.22 dan Gambar 6.23 memperlihatkan dimensi dermaga pier untuk dua atau empat kapal yang bersandar. Sedangkan gambar 6.24, menunjukkan dimensi layout dermaga wharf.

Oleh karena kapal-kapal tambah besar dan kapasitas angkut juga bertambah besar, apron yang dibutuhkan lebih luas, penumpukan barang pada apron menjadi lebih tinggi agar memudahkan dalam penanganan barang dan menyusun barang pada pallet dengan menggunakan fork-lift trucks dan alat-alat lainnya. Semuanya ini menghasilkan piers dan warf yang lebar.

Lebar dermaga (apron) tergantung pada alat bongkar muat yang digunakan, jumlah jalan kereta api dan truk seperti dilihat pada gambar 6.25. Sedangkan untuk luas apron atau sering disebut terminal tempat bongkar muat sangat tergantung pada alat bongkar muat yang digunakan dan prasarana pendukung seperti jalan dan jalan kereta api.



$$A = 90,000 \text{ ft}^2$$

$$L = l + 150 \text{ ft}$$

$$W = 2a + b$$

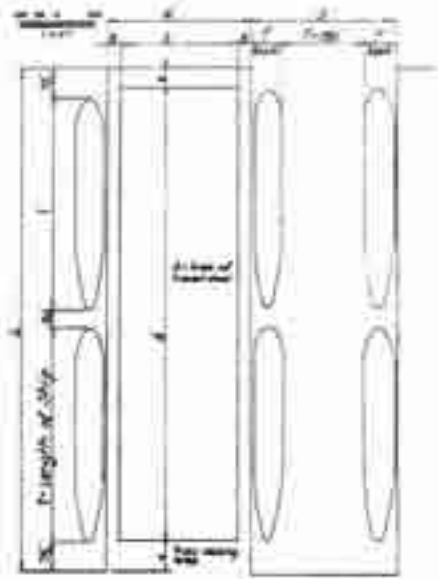
$$S = 2f + 100 \text{ ft}$$

$$d = L - (c + e)$$

$$b = A/d$$

untuk nilai a , c dan e
diambil dari Gambar
6.26

Gambar 6.22 Dimensi untuk dua tambatan untuk satu kapal pada satu dermaga pier dan satu kolam (S) untuk dua dermaga pier



$$A = 90,000 \text{ ft}^2$$

$$L = 2l + 200 \text{ ft}$$

$$W = 2a + b$$

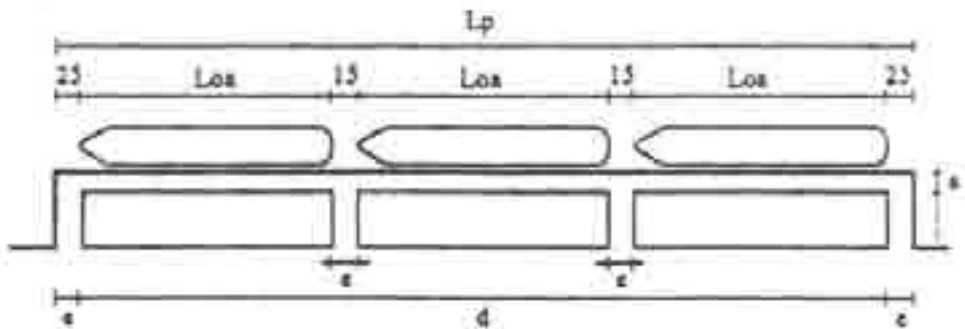
$$S = 3f + 150 \text{ ft}$$

$$d = L - (c + e)$$

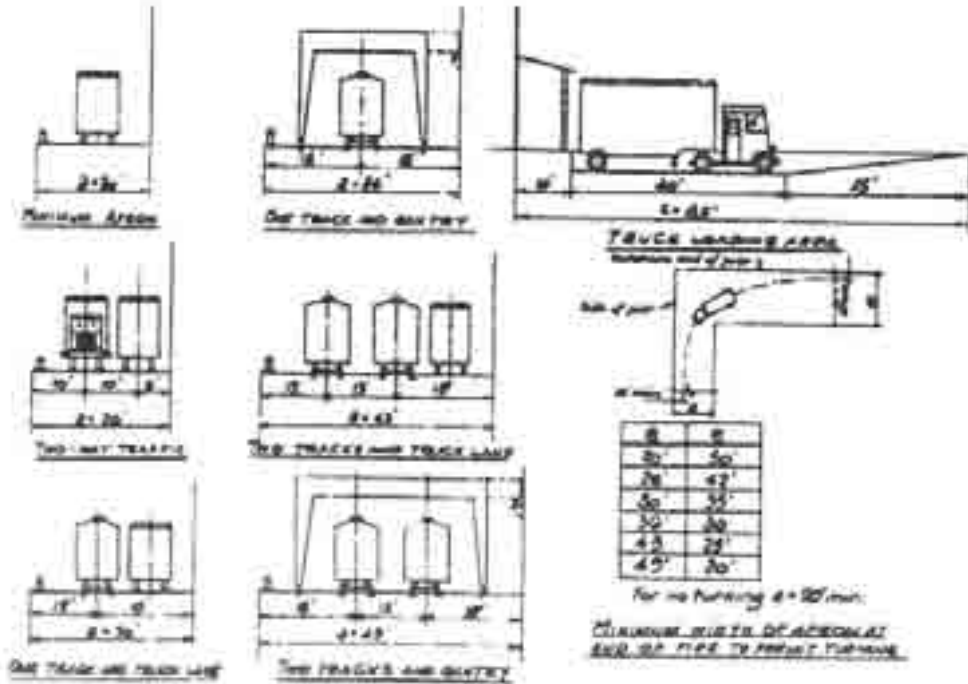
$$b = A/d$$

untuk nilai a , c dan e
diambil dari Gambar 6.26

Gambar 6.23 Dimensi untuk dua tambatan untuk dua kapal pada satu dermaga pier dan satu kolam (S) untuk dua dermaga pier masing-masing dua kapal



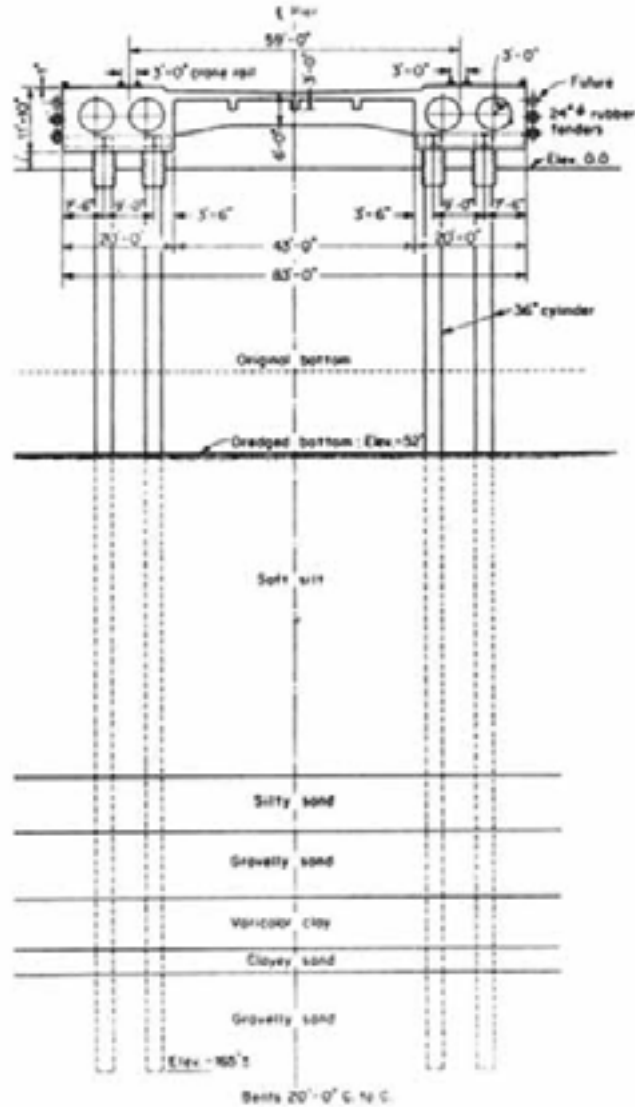
Gambar 6.24 Dimensi dermaga Warf



Gambar 6.25 Lebar apron dan operasi bongkar muat dengan kondisi yang berbeda
Sumber: (Quinn 1972)

6.4.2 Tipe disain

Sebuah dermaga dapat dirancang sebagai struktur kaku di mana gaya lateral diambil alih oleh tiang pancang atau dengan gaya rangka kaku. Namun, karena deformasi elastis dan lentur, beberapa gerakan mungkin terjadi, tapi ini biasanya diabaikan dalam menyerap tumbukan dari kapal. Beberapa konstruksi dirancang untuk menjadi fleksibel sehingga dapat menyerap tumbukan kapal saat merapat. Kumpulan tiang pancang dari kayu adalah contoh dari jenis fleksibilitas, karena mereka menyerap energi dari tumbukan melalui gerakan besar dimana kayu mampu menjalani tanpa terjadi distorsi permanen. Penggunaannya, bagaimanapun, biasanya terbatas pada dermaga untuk kapal tongkang dan kapal kecil. Di mana kapal besar yang akan berlabuh terhadap struktur yang fleksibel itu harus dirancang dari struktur rangka baja dan tiang baja untuk memberikan gaya melawan yang memadai. Contoh dari jenis konstruksi ini ditunjukkan pada Gambar. 6.13 diatas dan 6.26 dibawah. yang terakhir adalah dermaga bijih besi dibangun baru-baru ini oleh Bethlehem Steel Corporation di Sparrows Point, Maryland, yang dirancang untuk berlabuh kapal bijih 180.000 DWT.



Gambar 6.26 Potongan melintang dermaga pier

6.4.3 Gaya dan Beban yang Diperhitungkan dalam Perancangan

Tahap perencanaan dan perancangan dermaga dapat dijelaskan sebagai berikut: (lihat Gambar 6.27)

1. Syarat teknis perencanaan disesuaikan dengan kondisi perancangan (lihat Bag.6.4.2)

- Persyaratan utama
 - dimensi kapal
 - kecepatan merapat antara 0,15 dan 1,0 ft per detik
 - Sudut merapat maximum 10° ke muka dermaga
 - Kondisi alam
 - Pasang surut
 - arus
 - angin
 - gelombang
 - kedalaman air laut/kontur
 - Pembebanan
 - Beban mati
 - beton bertulang (2,4 t/m³)
 - beton tak bertulang (2,2 t/m³)
 - baja (7,8 t/m³)
 - Beban hidup/beban bergerak
 - Sesuai dengan standard design criteria for Ports in Indonesia (dirjen Perhubungan Laut, Jan'84)
 - Beban terbagi rata 3 t/m³
 - beban terpusat (roda kendaraan)
 - mobil crane kapasitas 25 t
 - forklift kapasitas 10 t
 - truk kapasitas 15 t
 - trailer untuk peti kemas 2 x 20 ft
 - pengaruh kejut beban bergerak diabaikan
 - Gaya horizontal
 - gaya gesek: pada kondisi gempa beban bergerak terbagi rata direduksi menjadi 50 %
 - akibat benturan kapal (*berthing force*)
 - gaya tarik kapal (*mooring force*) arah horizontal 35 t bersamaan dengan arah vertical 17,5 t
 - akibat angin
 - Kombinasi pembebanan
2. Dimensi Dermaga
- Kedalaman air rencana (lihat Bag. 4.3.3)
 - Elevasi Apron dermaga (lihat data pasang surut dan elevasi dermaga yang ada)



Gambar 6.27 proses perencanaan dan perancangan dermaga

ditentukan oleh:

- pasang surut
- elevasi dermaga yang sudah ada
- menurut standard design criteria for ports in Indonesia, kedalaman air diatas 4,5 m dengan pasang surut < 10 m adalah 1 s/d 2 meter diatas HWL jadi elevasi Apron = HWL + (1 s/d 2)m
- lebar apron dermaga, tergantung fungsi, umumnya 15 m – 20 m
- Panjang dermaga (tambatan)
 $L_b = L_{oa} + 10 \text{ meter}$
 atau $L_b = L_{oa} + 10\%$
- Alignment dermaga (lihat Bag.4.3.1)
 ditentukan:
 - kemudahan maneuver kapal
 - menghindari timbulnya pengendapan di depan dermaga
 - pengembangan di kemudian hari
- Ukuran satu blok dan denah tiang (lihat Gambar 6.28)
 Sehubungan dengan pengaruh perubahan suhu. Panjang satu blok dibatasi < 50 meter.
- Ukuran penampang
 Biasanya direncanakan dulu (diperkirakan) setelah itu dikontrol

Perkiraan: lebar balok $1/10$ panjang bentang
tinggi balok $1/6$ bentang
tebal pelat lantai $1/20$ s/d $1/15$ bentang

Dimensi penampang, potongan melintang dan denah balok dapat digambar sesuai taksiran.

- Jarak fender, biasanya adalah $0,08$ s/d $0,10 L_v$ (L_v = panjang kapal)
Pada konstruksi dermaga tipe platform (sistem lantai diatas tiang) dianggap bahwa pada dasarnya penempatan/letak fender bersamaan dengan ntiang pancang dengan maksud agar gaya bertambat (benturan kapal diterima oleh tiang)
- dan sebagainya

Apabila tipe dermaga sudah ditentukan, maka selanjutnya perlu untuk menetapkan beban horisontal dan vertikal yang akan diterima oleh dermaga. Beban-beban ini terdiri dari berikut ini.

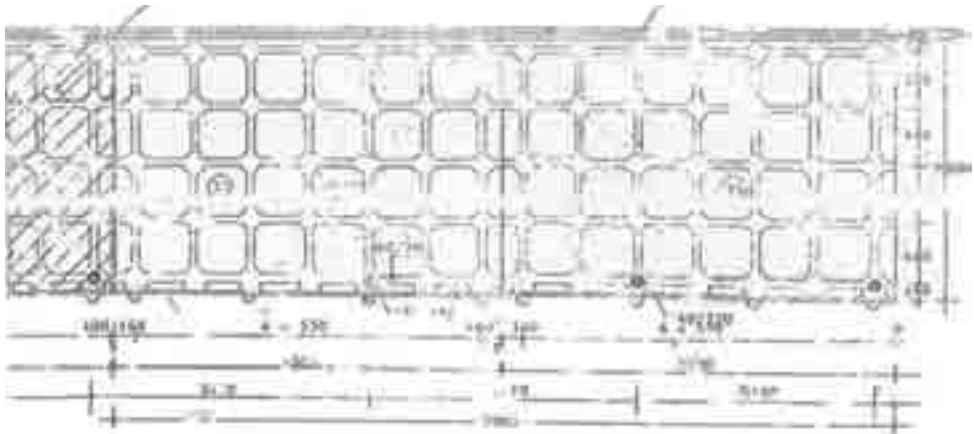
A. Beban horizontal (*lateral loads*)

1. Angin
2. Benturan kapal di dermaga (*docking impact*)
3. Gempa

B. Beban Vertikal (*vertical loads*)

1. Beban mati (*dead load*)
2. Beban hidup (*live load*)

Beban horizontal ditentukan berdasarkan pengaruh gaya akibat angin dan arus yang bekerja pada kapal saat kapal sedang bertambat di dermaga . Gaya angin maksimum akan sama dengan daerah terkena, dalam persegi feet, dari selebaran kapal dalam kondisi kosong, dikalikan dengan tekanan



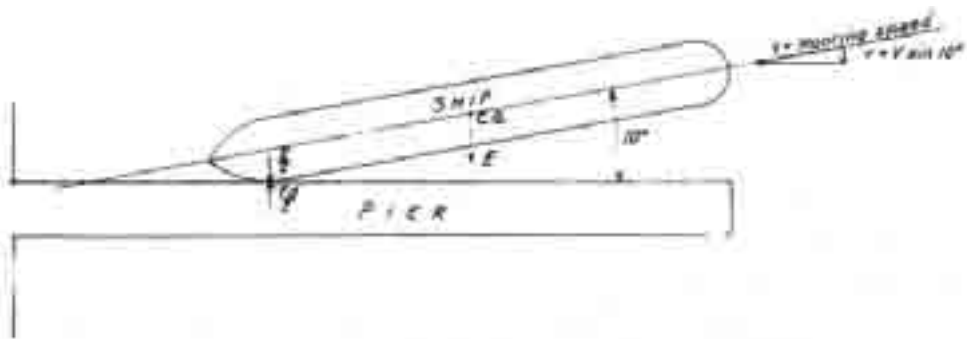
Gambar 6.28 Tipikal Denah Balok Blok

angin dalam pound per ft² dengan faktor keamanan yang ditetapkan sebesar 1,3, merupakan faktor gabungan yang sudah mempertimbangkan pengurangan karena tinggi dan peningkatan hisapan angin dibawah kapal. Kekuatan angin bervariasi tergantung lokasi biasanya diasumsikan tidak kurang dari 10 atau tidak lebih dari 20 lb/ft², sesuai dengan kecepatan angin sekitar 55-78 mil per jam, masing-masing, berdasarkan tekanan angin rumus $p = 0,00256v^2$, dikalikan dengan faktor keamanan 1,3, di mana p adalah tekanan dalam pound per feet persegi, dan v adalah kecepatan angin dalam mil per jam. Ketika kapal berlabuh di kedua sisi dermaga, gaya total angin yang bekerja pada dermaga, sebagai akibat dari angin pada kapal, harus ditingkatkan sebesar 50 persen untuk memungkinkan angin terhadap kapal kedua. Penulis percaya bahwa tekanan angin lebih tinggi dari 20 lb/ft² terhadap sisi kapal tidak dibenarkan karena kapal tidak akan tetap bersandar di dermaga, dalam kondisi kosong, dalam intensitas badai. Kapal yang akan berlayar ke laut atau diikatkan pada bolder, sehingga dapat mengurangi daerah yang terkena angin. Angin terhadap struktur dermaga dan gudang atau gudang di dermaga mungkin kondisinya lebih parah dibandingkan angin di kapal, seperti luas permukaan mungkin lebih besar dan intensitas angin yang lebih besar. Tekanan angin dalam hal ini harus diperhitungkan untuk kecepatan angin maksimum dan faktor keamanan yang tepat diterapkan untuk jenis struktur di dermaga. Faktor keamanan ini dapat bervariasi antara 1,3 sampai 1,6. dikalikan total tekanan angin, di daerah badai di mana kecepatan angin diperhitungkan pada kecepatan 125 mil per jam, mungkin gayanya menjadi 64 lb/ft²

Kekuatan arus = $w/2gvv^2$ dalam lb/ft², di mana w adalah berat volume air (lb/ft³, v adalah kecepatan arus feet per detik, dan g adalah 32,2 ft/dt². Untuk air laut ini menghasilkan tekanan per feet kwadrat sama dengan v^2 . Kecepatan saat ini biasanya akan bervariasi antara 1 sampai 4 ft per detik yang akan menghasilkan tekanan masing-masing 1 sampai 16 lb/ft². Tekanan ini akan diterapkan ke area kapal di bawah garis air saat terisi penuh. Saat kapal berlabuh umumnya sejajar dengan arus ini, factor gaya ini jarang diperhitungkan.

Kapasitas bolder ditentukan berdasarkan pengaruh gaya akibat angin dan arus yang bekerja pada kapal yang sedang bertambat. Sehingga kapasitas bolder cukup ditentukan atas dasar kecepatan angin dan arus maximum yang diijinkan dengan maneuver dan bertambat yang moderat bagi kapal, sebagai berikut: angin Vmax: 40 knot = 20,63 m/dt dan arus Vmax: 3 knot = 1,547 m/dt. Sedangkan menurut Peraturan Muatan Indonesia untuk gedung, 1981 (PMI-1981), tekanan tiup harus diambil minimum 40 kg/m² yaitu, setara dengan 25,3 m/dt > 20,63 m/dt, sehingga harga ini diambil sebagai dasar perencanaan.

Tumbukan kapal pada dermaga saat berlabuh. Untuk tujuan desain asumsi biasanya dibuat untuk dampak maksimum yang dihasilkan oleh sebuah kapal yang terisi penuh (*displacement tonnage*) menumbuk dermaga, pada sudut 10° dengan dermaga, dengan kecepatan merapat normal 0,25-0,5 ft per detik seperti ditunjukkan pada Gambar 6.29. Beberapa instalasi ada yang dirancang dengan kecepatan 1,0 ft per detik, namun ini dianggap berlebihan, kecuali untuk pergerakan kapal kecil 500 sampai 1.000 ton, seperti kapal tunda, karena sesuai dengan kecepatan pendekatan sekitar $3\frac{1}{2}$ knot, dengan sudut 10° ke dermaga, dan bisa merusak kapal. Sistem fender dirancang untuk menyerap energi tumbukan kapal, dan kekuatan yang dihasilkan akan dilawan oleh dermaga yang akan tergantung pada jenis dan jenis fender dan defleksi dermaga, jika dirancang sebagai struktur yang fleksibel. Penentuan energi tumbukan dan kekuatan yang dihasilkan pada struktur dan deskripsi dari berbagai jenis fender dan kemampuan menyerap energi akan ditemukan di Bagian.6.6.



Gambar 6.29 Proses merapatnya kapal pada dermaga

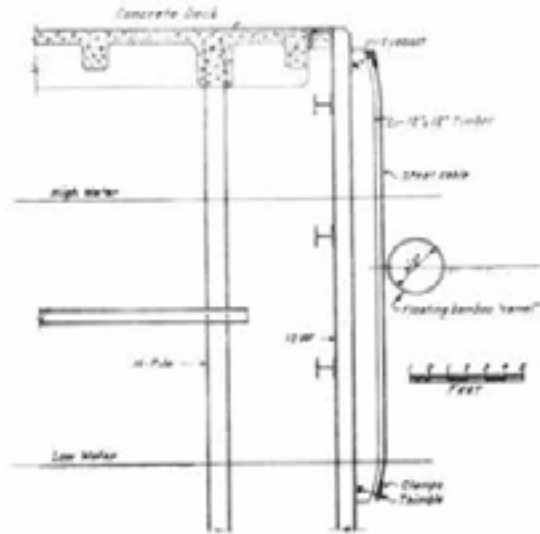
Gaya gempa harus dipertimbangkan jika di daerah berpotensi gangguan gempa. Gaya horisontal dapat bervariasi antara 0,025 dan 0,10 dari percepatan gravitasi g kali massa, diterapkan pada pusat gravitasinya, yang dapat dinyatakan sebagai berat berturut-turut 0,025-0,10,. Berat yang akan digunakan adalah total beban mati ditambah satu-setengah dari beban hidup. Kecuali konstruksi dermaga massive atau konstruksi jenis gravitasi, efek pada desain biasanya akan menjadi kecil berdasarkan tekanan yang diijinkan, bila dikombinasikan dengan tekanan beban mati dan beban mati, mungkin meningkat menjadi $33\frac{1}{3}$ persen. Jika tiang cukup memadai yang digunakan untuk menerima gaya lateral, tiang ini akan mengatasi kekuatan gempa horisontal tanpa meningkatkan beban yang diijinkan oleh lebih dari $33\frac{1}{3}$ persen, walaupun begitu tambahan tiang akan diperlukan untuk tambahan kekuatan. Hal ini berlaku untuk kedua arah melintang dan memanjang dermaga.

Beban vertikal terdiri dari bobot mati struktur, disebut beban mati, dan beban hidup yang biasanya akan terdiri dari beban dari roda truk, kereta api atau lokomotif, alat bongkar muat crane, dan peralatan. Beban hidup merata pada apron dermaga dapat bervariasi dari 250 sampai 1.000 lb/ft², beban yang lebih kecil digunakan untuk dermaga minyak dan struktur serupa yang menangani bahan massal oleh conveyor atau pipa, di mana kargo umum merupakan kepentingan sekunder. Kecenderungan dalam beberapa tahun terakhir dalam merancang dermaga kargo umum untuk beban hidup yang lebih berat, mulai dari 600 sampai 800 lb/ft². Penanganan pad dermaga pier seperti kontainer dapat dirancang untuk 1.000 lb/ft² atau lebih. Beban hidup merata akan menentukan desain tiang pancang, sedangkan beban roda terkonsentrasi, termasuk *impact*, biasanya akan menentukan desain lantai dan balok dermaga. Pengurangan sampai 33¹/₃ persen kadang-kadang dirancang dalam beban hidup merata dalam mencari beban tiang dan dalam merancang girder. Hal ini didasarkan pada asumsi bahwa seluruh plat lantai dermaga tidak akan terisi penuh pada satu waktu.

6.5 Fender Dermaga

6.5.1 Fungsi Fender Dermaga

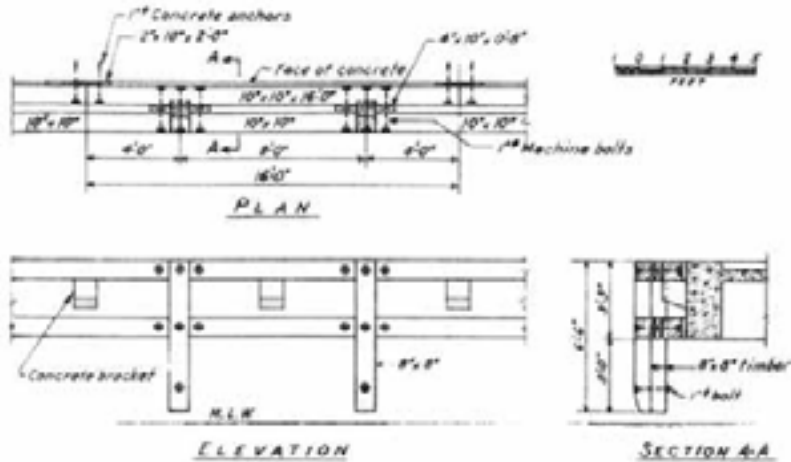
Fungsi utama dari fender dermaga adalah untuk mencegah kapal dan / atau dermaga dari kerusakan pada saat kapal merapat di dermaga. Dalam kondisi yang ideal dan terkendali sempurna kapal mungkin mendekati dermaga tanpa benturan yang keras, tetapi masih penting untuk memisahkan dermaga dengan gesekan dengan landasan kayu atau karet untuk mencegah cat tidak rusak yang disebabkan dari gerakan relatif antara dermaga dan kapal, yang disebabkan oleh angin dan ombak. Kayu gelondongan mengambang atau “unta,” seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 6.30 kadang-kadang ditempatkan di antara kapal dan sistem fender atau dimuka dermaga. Ini mempunyai dua tujuan yaitu, memegang kapal dari muka dermaga, dan membantu untuk mendistribusikan beban di sepanjang sistem fender. Yang terakhir ini penting ketika sebuah kapal besar yang berlabuh di samping dermaga kayu dengan kumpulan fender kayu.



Gambar 6.30 Fender Kayu (floating camel)

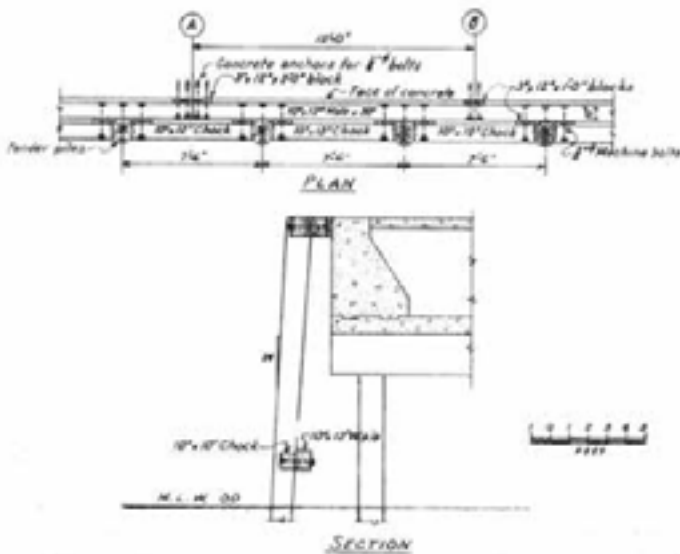
6.5.2 Tipe Fender

Dalam bentuk yang paling sederhana fender mungkin bagian dari struktur kayu horizontal atau sejumlah struktur kayu vertikal atau landasan gesekan diikat ke dermaga. Untuk setiap bagian vertikal, kumpulan kayu dapat digunakan atau mungkin kayu berakhir di *water level* dan tergantung dari dek, dalam hal ini fender disebut fender menggantung, “seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.31. Perawatan harus dilakukan untuk melihat bahwa berat fender didukung pada kurung dari muka dermaga: sebaliknya, panjang baut yang memegang kayu di tempat akan melengkung untuk memungkinkan fender melorot sesuai ketinggian air. Kayu itu sendiri dapat menyerap sejumlah energi karena dikompresi, dan, jika ini dibangun dalam ketebalan yang cukup besar, dampak kekuatan akan sangat berkurang. Tumpukan kayu-fender, yang ditempatkan jauh dari dermaga pada sedikit tumbukan berulang-ulang sekitar 1 pada 24, akan menyerap energi karena defleksi yang akan berlangsung bila benturan oleh kapal. Namun, apabila kapal menjadi lebih besar sesuatu tambahan dibutuhkan untuk menyerap lebih banyak energi, dan berbagai jenis sistem yang fleksibel-fender telah dirancang dan telah berfungsi dengan cukup sukses.



Gambar 6.31 Tipikal fender gantungan kayu (hung-wood)

Gambar 6.32 menunjukkan jenis fender kayu di mana penyerapan energi diperoleh tidak hanya dari defleksi dari kumpulan kayu tapi dari defleksi dari papan sepanjang sisi kapal kayu, lebih tebal dari papan biasa, dan memperkuat dan melindungi lambung yang disebut *wood wale*. Hal ini dicapai dengan menempatkan kayu pada titik-titik seperempat rentang dan dengan menghalangi keluar ganjal kayu antara tumpukan. *Wood wale* harus proporsional dan hati-hati untuk memberikan defleksi yang tepat tanpa gagal pada geser atau lentur.



Gambar 6.32 Tipe fender kayu tipe springing

Dalam merancang sistem fender yang melibatkan terutama penggunaan kayu, harus dipastikan hanya kayu kelas satu dan senantiasa untuk merawat (kayu) dengan kreosot 12 sampai 16 lb/ft³. Lubang baut harus dibor dengan diameter persis sama seperti bautnya, dan posisi semua lubang muka fender harus tepat sehingga sekrup, paku, atau baut dapat dimasukkan rata dengan permukaan (*countersunk*). Semua pemotongan dibuat di lapangan harus dicat dengan minyak creosote, dan ruang yang tersisa di sekitar kepala semua baut *countersunk* harus diisi dengan damar wangi. Semua hardware fender harus galvanis.

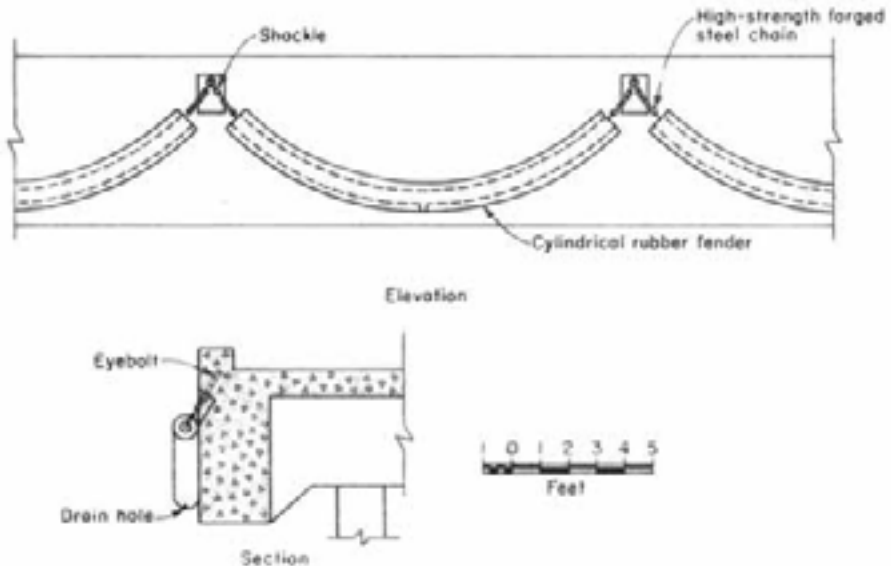
Karet telah digunakan secara luas dalam sistem fender. Ban karet tergantung di sisi dermaga adalah contoh dari pemanfaatannya sebagai fender. Penggunaan yang unik dari karet ban sebagai fender ditunjukkan pada Gambar. 6.33, di mana ban truk di atas roda ditempatkan dalam posisi horizontal sepanjang muka dermaga dan as roda diatur dalam dek beton, sehingga menghilangkan gesekan memanjang antara kapal dan muka dermaga. Jenis ini hanya akan cocok untuk lokasi di mana air tenang dan rentang pasang kecil.



Gambar 6.33 Fender Karet dan Ban Truk

Setelah penggunaan ban karet bermunculan silinder lubang atau fender persegi panjang, blok karet persegi panjang, dan jenis *sandwich* yang dikenal sebagai fender penyangga *Raykin*. Jenis silinder berongga awalnya digunakan sebagai fender terbungkus, seperti ditunjukkan pada Gambar. 6.34. Hal ini memerlukan dinding fasia yang kuat untuk kedalaman minimal 6 ft, karena dimaksudkan untuk menyebarkan beban saat tumbukan. Ketinggian setidaknya 3-ft dari bidang kapal. Dalam hal ini, penting untuk memiliki fender melengkung ke radius tertentu. Fender yang terbungkus sangat mudah beradaptasi dengan jenis konstruksi dermaga tertutup, Gambar 6.34 menunjukkan instalasi fender karet silinder pada dermaga supertanker Puerto La Cruz, Venezuela

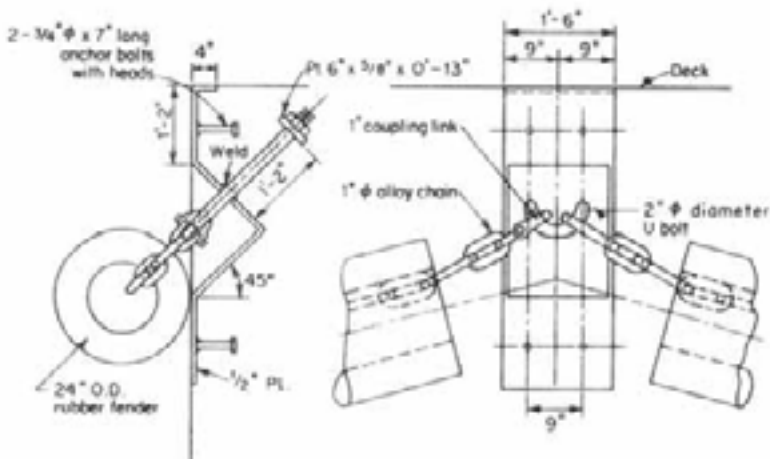
Fender karet terbungkus didukung oleh tali kawat atau rantai melekat pada mata baut diatur dalam dinding dermaga beton. Mata baut diatur dalam relung sehingga mereka tidak menonjol keluar. Mata baut untuk fender 12-24 in. Harus bervariasi dari $1\frac{1}{4}$ sampai 2 in. Jika mungkin, diameter harus ditetapkan sehingga berada dalam posisi ketegangan, bukan menjadi sasaran geser langsung dan bantalan terhadap beton, seperti ditunjukkan pada Gambar. 6.35. Untuk ukuran fenders yang lebih besar dianjurkan diikat, seperti ditunjukkan pada Gambar. 6.36.



Gambar 6.34 Tipikal fender karet silinder digantung



Gambar 6.35 sistem fender karet digantung di pelabuhan minyak Puerto La Cruz Venezuela

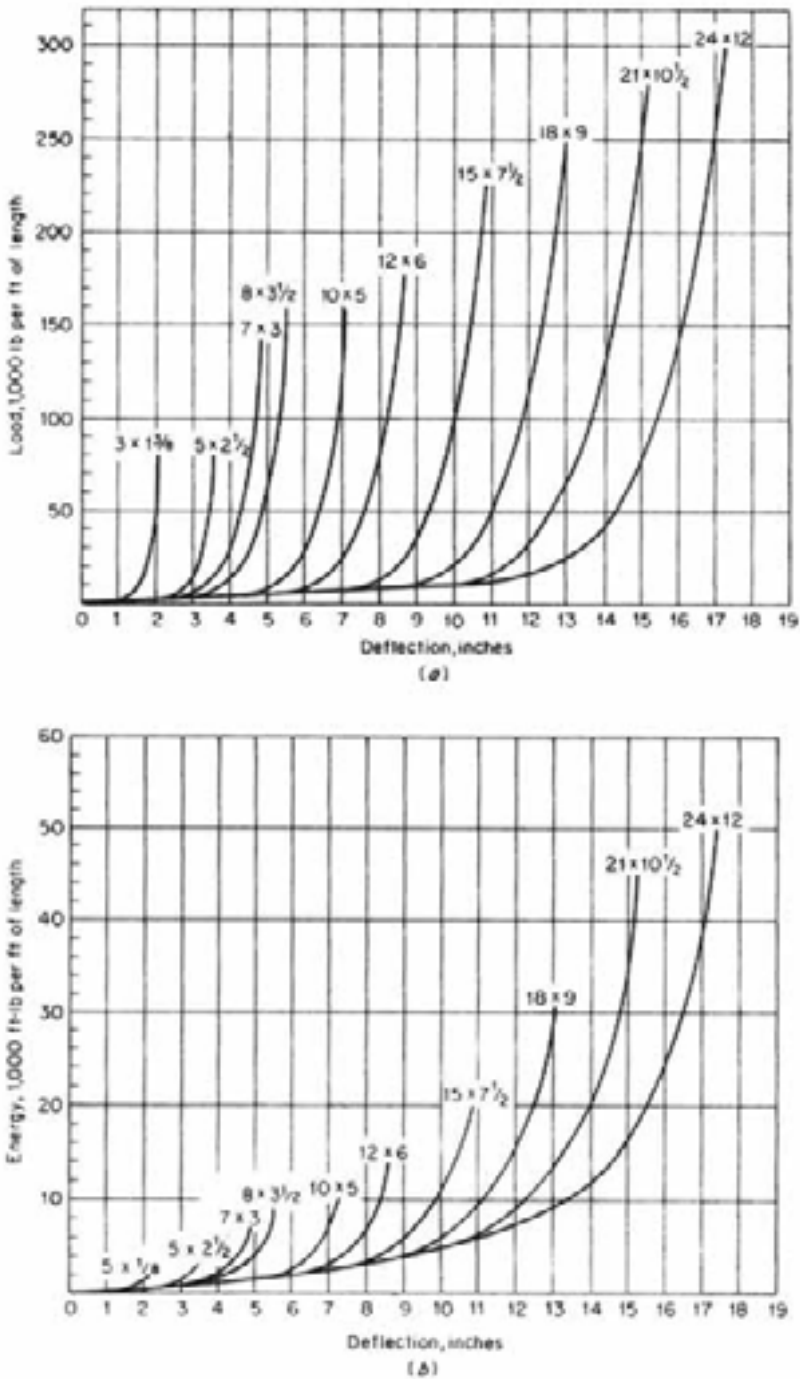


Gambar 6.36 Detail pengikatan fender karet dengan dengan baut U (U bolt)

Apabila tidak praktis untuk menggunakan dermaga dalam jalur balok atau dinding, fender karet silinder dapat ditempatkan di belakang balok baja horisontal yang melekat pada tiang fender, seperti ditunjukkan pada Gambar. 6.37. Jika balok baja kira-kira lebih panjang dari 30 ft, harus diartikulasikan dengan memasukkan terhubung pin sambungan yang akan meneruskan geser tapi bukan momen. Tiang pancang dapat berupa kayu atau baja, tetapi jika yang terakhir digunakan asalkan tiang harus dengan kayu strip (*wood rubbing strip*).

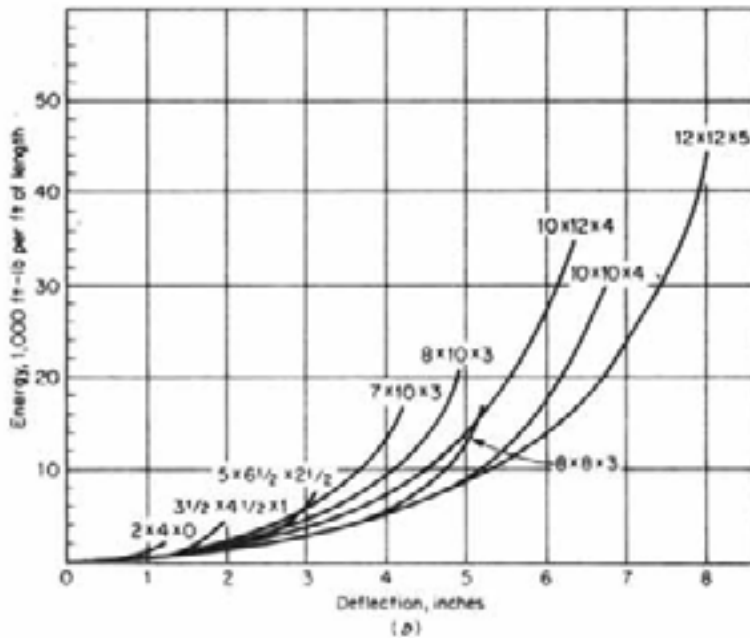
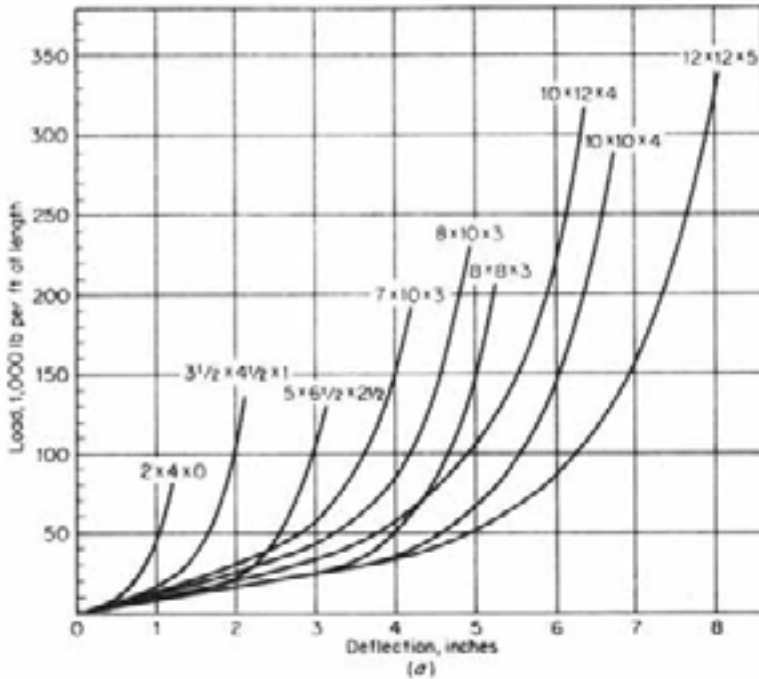
ditunjukkan pada Gambar. 6.39. Fender ini dapat diperoleh dalam berbagai ukuran dan kapasitas menyerap energi seperti diberikan dalam Tabel 6.2. Fender *Lord fleksibel dock* dari kekuatan konstruksi karet berikat yang digunakan “kolom tekuk” prinsip seperti yang telah dipatenkan untuk menyediakan penyerapan energi. Setelah menangkis benturan, dan mengaitkan dalam arah tertentu pada beban yang telah ditentukan. Pemasangan karet terikat pada pelat baja datar, dengan lubang untuk memungkinkan fender untuk melesat ke dermaga di satu sisi dan bantalan baja atau fender di sisi lain. Tabel 6.3 memberikan dimensi dan kapasitas Fender Lord fleksibel.

Tabel 6,4 sampai dengan 6,12, memberikan dimensi dan kapasitas fender Bridgestone Super Arch, diproduksi oleh Bridgestone Tire Company, Ltd, dan didistribusikan oleh Lord Manufacturing Company. Dengan munculnya tanker 100.000 DWT pada tahun 1961 dan tanker raksasa yang lebih baru 200.000 - 300.000 dan 500.000 DWT, Jepang, merupakan negara yang telah banyak membangun kapal tanker besar, mengembangkan beberapa jenis fender karet dengan reaksi gaya rendah, karakteristik energi penyerapan tinggi, yang akan menyerap energi yang jauh lebih besar dari benturan kapal-kapal yang lebih besar pada fender dermaga yang sebelumnya sudah menyerap. Fender karet ini dikenal sebagai Seibu jenis V dan H yang diproduksi oleh *Seibu Rubber Chemical Co, Ltd*; dermaga sel fender oleh Bridgestone Tire Co, Ltd dan fender karet pneumatik oleh Yokohama Rubber Co, Ltd. Fender ini telah digunakan tidak hanya di Jepang, tapi di Amerika Serikat dan negara-negara lainnya juga. Jenis fender karet Seibu V bentuk intinya dari karet alam atau karet sintetis mencakup jenis polimer sintetik yang menyerupai karet, tahan terhadap minyak, panas, dan pelapukan. dengan ketebalan dari 2 sampai 3 mm. Permukaan atas biasanya dilapisi dengan urethane. Blok karet terikat pada pelat baja, dan unit ini diikat dengan baut jangkar diatur dalam colokan resin dalam beton pier atau dolphin. Tabel 6.13 memberikan dimensi dari jenis unit V, dan Tabel 6.14 kapasitasnya. Dengan dimensi yang diberikan dalam Tabel 6.15. Kapasitas diberikan dalam Tabel 6.16. Fender tipe-H telah dipasang pada tahun 1969 untuk tambatan kapal tanker 500.000 ton di Ki-ire Kagoshima, Jepang selatan. Dolphin utama yang digunakan 12 buah dengan ukuran masing-masing 2000H x 3000 L, dan diyakini fender dermaga terbesar yang pernah dipasang.



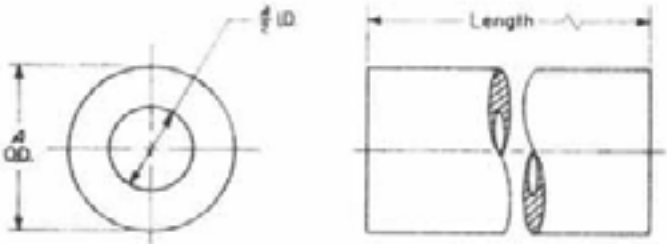
Gambar 6.38 (a) Kurve perkiraan beban-defleksi fender karet silinder (b) kurve perkiraan energy-defleksi fender karet silinderdisisi pembebanan.

Sumber: Courtesy of Goodyear Tire & Rubber Co, dalam (Quinn 1972)



Gambar 6.39 (a) Kurve perkiraan beban-defleksi fender karet persegi panjang (b) kurve perkiraan energy-defleksi fender karet persegi panjang disisi pembebanan.
Sumber: Courtesy of Goodyear Tire & Rubber Co, dalam (Quinn 1972)

Tabel 6.1 Kapasitas dan dimensi fender Cilinder



p/n dimensions			Engineering data					
Size code	Outside diameter A		Load		Energy		Weight	
	in. (approx.)	mm	lb per ft of length	Metric tons per meter	ft-lb per ft of length	Metric ton-meters per meter	lb per ft	kg per meter
FR1	6	150	3,350	5	908	.140	10.7	16
FR2	8	200	4,700	7	594	.27	19.5	29
FR3	10	250	5,360	8	926	.42	30.2	45
FR4	12	300	6,700	10	1,345	.61	43.0	64
FR5	16	400	8,720	13	2,205	1.00	76.5	114
FR6	20	500	11,720	16	3,530	1.60	119.5	178
FR7	24	600	12,720	19	5,300	2.40	171.8	256
FR8	28	700	14,750	22	7,280	3.30	234.0	349
FR9	32	800	16,780	25	9,480	4.30	305.0	455
FR10	36	900	18,750	28	11,700	5.40	386.0	575
FR11	40	1,000	20,800	31	14,500	6.70	477.0	711
FR12	44	1,100	22,800	34	17,500	8.10	582.0	866
FR13	48	1,200	24,800	37	21,400	9.70	690.0	1,030
FR14	51	1,300	26,800	40	24,200	11.0	804.0	1,200
FR15	55	1,400	28,800	43	28,600	13.0	940.0	1,390
FR16	59	1,500	30,800	46	33,000	15.0	1062.0	1,600

SOURCE: Lord Manufacturing Company, Division of Lord Corporation, distributor for Bridgestone Tire Company, Ltd.

dalam (Quinn 1972)

Fender sel Dermaga adalah silinder berongga dari karet, dengan diperkuat dengan baja di atas dan bawahnya, yang digunakan secara tunggal atau dalam kombinasi dirangkai bersama-sama. Sisi yang terkena kapal ditutupi dengan bantalan karet untuk melindungi kapal. Fender dermaga sel

dianjurkan terutama untuk melayani kapal-kapal besar yang membutuhkan desain reaksi rendah untuk menjaga tekanan rendah terhadap gaya luar. Tabel 6.17 memberikan dimensi dan kapasitas fender sel individu.

Fender karet pneumatik, terbuat dari tiga lapisan, yaitu, karet penutup eksternal, kain ban nilon yang kuat terdiri dari sekitar 15-ply kabel serat sintetis yang disusun tegak lurus, mirip dengan konstruksi ban, dan karet penutup internal. Pada setiap akhir adalah besi flange, salah satunya berisi katup udara. Unit ditutupi dengan tali kawat jaring dilapisi karet dimana tali kawat dapat dilampirkan untuk memegang fender dalam posisi. Tabel 6.18 memberikan dimensi dan kapasitas fender pneumatik.

Gambar. 6.40 dan 6.41 memberikan kurva defleksi energi dan beban. Unit terdiri dari batang karet *butyl* dimana permukaan yang kontak dengan kapal dilindungi dengan urethane. Urethane menyajikan tahan gores, tidak cacat, permukaan gesekan rendah. Fender terikat pada pelat baja dengan lubang untuk unit baut struktur dermaga. Unit ini hanya dalam satu ukuran, tetapi sejumlah kombinasi dapat dirancang dengan penahan yang diatur setiap waktu atau terus menerus, horisontal atau vertikal.

Pegas baja telah digunakan dalam sistem fender dermaga. Fender karet umumnya menggantikan penggunaan pegas sebagai sediaan memiliki umur yang lebih panjang dan membutuhkan sedikit perawatan. Juga, jenis silinder fender karet lebih mampu mengambil kekuatan memanjang sejajar dengan dermaga.

Fender jenis gravitasi telah digunakan selama bertahun-tahun di Eropa, tetapi tidak pernah menjadi terlalu populer di Amerika Serikat. Fender ini dirancang atas dasar mengubah energi kinetik menjadi energi potensial dengan cara menaikkan beratnya. Hal ini dilakukan dalam beberapa cara: (1) dengan sistem kabel dengan jumlah besar, (2) dengan pendulum, atau (3) dengan *trunnions*.

Fender gravitasi pertama dipasang di Heysham, Inggris, pada tahun 1942, di sebuah dermaga minyak khusus perang. Lokasi ini tidak terlindung dari laut, kondisi cuaca dan pasang surut 27 ft. Ujung dermaga dilindungi oleh dolphin lonceng. Bingkai luar memberikan stabilitas (kapal) dengan menempatkan alat pemberat dalam lambung kapal tersebut. yang dapat memutar dan ketika dorongan lateral pada pusat gravitasi dari bel, yang beratnya 170 ton, terangkat 11 in. Pekerjaan selesai adalah, $170 \times 11 = 1.870$ inci-ton, yang cukup menyerap seluruh energi benturan kapal dengan berat yang dipindahkan 28.000 long ton panjang, dengan kecepatan gerak 0,5 ft per detik.

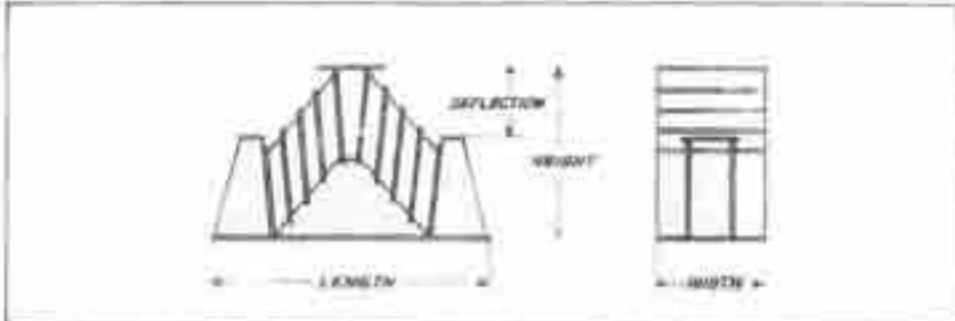
Jenis unit fender gravitasi umum yang cocok untuk digunakan sepanjang muka dermaga. Unit-unit ini dari tabung baja diisi dengan beton, dengan strip kayu, dalam rang membongkar jangkar 15 ton dan memiliki gerakan

vertikal maksimum sekitar 2 ft, sehingga menyerap energi 30 ft-ton. Dengan memberikan jumlah yang cukup sepanjang dermaga, energi benturan kapal dapat diserap, dengan mempertimbangkan bahwa jumlah energi yang diserap oleh setiap unit akan bervariasi secara langsung dengan gerakan, yang akan tergantung pada sudut dan kelengkungan lambung kapal dengan dermaga, seperti ditunjukkan pada Gambar. 6.42.

Desain lain memanfaatkan prinsip mentransfer energi kinetik dari benturan energi potensial dari posisi, di mana blok beton besar tergantung horisontal dengan dua set kabel atau rantai cenderung dalam posisi melintang dan membujur dari arah dek dermaga. Bagian depan blok beton disediakan dengan strip kayu.

Yang beroperasi pada prinsip gravitasi adalah, virgil Blancato, manajer, cabang struktural, Departemen Pekerjaan Umum, New York Naval Shipyard, telah merancang sebuah unit fender,. Sebuah unit yang mempunyai panjang 88 kaki dari jenis fender dipasang di Brooklyn Navy Yard pada tahun 1955. Unit fender ini bila terkena kapal akan bergerak ke dalam dan ke atas dan miring, sehingga memanfaatkan berat fender untuk menyerap energi kinetik benturan kapal.


Tabel 6.2 Data teknis fender Raykin



	PART NO.	LOAD LB.	EARTH RESISTANCE FT-LB.	PART NO.	LOAD LB.	EARTH RESISTANCE FT-LB.	NO. OF LOGS	DIMENSIONS IN INCHES		
								LENGTH	WIDTH	HEIGHT
20-25 TON SIZE (SAME OVERALL DIMENSIONS)	A-20	40,000	2,800	A-25	50,000	7,200	3	33½	18	20½
	B-20	40,000	7,600	B-25	50,000	14,200	6	38½	18	22½
	C-20	40,000	17,400	C-25	50,000	21,200	5	43½	18	27½
	D-20	40,000	23,200	D-25	50,000	28,000	12	51½	18	30½
	E-20	40,000	28,000	E-25	50,000	34,800	18	58½	18	33½
	F-20	40,000	34,800	F-25	50,000	42,200	18	64½	18	36½
30-35 TON SIZE (SAME OVERALL DIMENSIONS)	A-30	60,000	8,700	A-35	70,000	10,100	3	38½	21½	23½
	B-30	60,000	17,400	B-35	70,000	20,200	6	43	21½	26½
	C-30	60,000	26,100	C-35	70,000	30,400	9	51½	21½	30½
	D-30	60,000	34,800	D-35	70,000	40,600	12	57½	21½	33½
	E-30	60,000	43,500	E-35	70,000	50,700	15	63½	21½	36½
	F-30	60,000	52,200	F-35	70,000	60,800	18	70	21½	40
40-45 TON SIZE (SAME OVERALL DIMENSIONS)	A-40	80,000	11,600	A-45	90,000	13,000	3	45½	24½	26½
	B-40	80,000	23,200	B-45	90,000	26,100	6	51½	24½	29½
	C-40	80,000	34,800	C-45	90,000	39,100	9	58½	24½	32½
	D-40	80,000	46,400	D-45	90,000	52,200	12	64½	24½	36½
	E-40	80,000	58,000	E-45	90,000	65,200	15	71½	24½	39½
	F-40	80,000	69,600	F-45	90,000	78,200	18	78½	24½	42½
50-60 TON SIZE (SAME OVERALL DIMENSIONS)	A-50	100,000	14,500	A-60	120,000	17,400	3	51½	27	30½
	B-50	100,000	29,000	B-60	120,000	34,800	6	57½	27	32½
	C-50	100,000	43,500	C-60	120,000	52,200	9	64½	27	35½
	D-50	100,000	58,000	D-60	120,000	69,600	12	70½	27	38½
	E-50	100,000	72,500	E-60	120,000	87,000	15	77½	27	42½
	F-50	100,000	87,000	F-60	120,000	104,400	18	84½	27	46½

Sumber: The General Tire & Rubber.Co dalam (Quinn 1972)

Tabel 6.3 Kapasitas dan dimensi fender Lord Marine



Part no.	Energy absorbed,† ft-lb (metric ton-meters)	Reaction load,‡ lb (metric tons)	Shear spring rate, lb/in. (kg/cm)	H, in. (cm)	W, in. (cm)	L, in. (cm)	T, in. (cm)	Approx. weight, lb (kg)
Full deflection 6.5 in. (16.6 cm) Rated deflection 5.5 in. (24.1 cm) Attachment holes for 3/4-in. bolts								
4F5-14	1,400 (0.195)	5,300 (2.40)	400 (72)	12 (30.48)	7 3/4 (19.68)	10 (25.40)	6 (15.24)	25 (11.3)
4F5-21	2,100 (0.295)	7,600 (3.44)	600 (107)	12 (30.48)	7 3/4 (19.68)	13 (33.02)	9 (22.86)	35 (15.9)
4F5-28	2,800 (0.392)	10,000 (4.53)	800 (143)	12 (30.48)	7 3/4 (19.68)	16 (40.64)	12 (30.48)	45 (20.4)
4F5-35	3,500 (0.490)	12,000 (5.43)	735 (131)	12 (30.48)	7 3/4 (19.68)	13 (33.02)	9 (22.86)	40 (18.1)
4F5-47	4,700 (0.620)	14,300 (6.47)	1,000 (179)	12 (30.48)	7 3/4 (19.68)	16 (40.64)	12 (30.48)	50 (22.7)
Full deflection 11.5 in. (29.3 cm) Rated deflection 14.5 in. (24.1 cm) Attachment holes for 3/4-in. bolts								
1F4-69	6,900 (0.96)	12,800 (5.79)	525 (94)	20 3/4 (52.71)	12 1/4 (31.12)	16 5/16 (41.43)	10 (25.40)	90 (40.8)
1F4-97	9,700 (1.35)	17,700 (8.00)	870 (156)	20 3/4 (52.71)	12 1/4 (31.12)	20 3/16 (51.59)	14 (35.46)	115 (52.3)
1F4-125	12,500 (1.75)	22,300 (10.1)	1,280 (230)	20 3/4 (52.71)	12 1/4 (31.12)	24 3/16 (61.75)	18 (45.72)	145 (65.9)
1F4-152	15,200 (2.12)	26,400 (12.0)	1,660 (298)	20 3/4 (52.71)	12 1/4 (31.12)	28 3/16 (71.91)	22 (55.88)	175 (79.5)
1F4-180	18,000 (2.51)	31,700 (14.4)	2,100 (377)	20 3/4 (52.71)	12 1/4 (31.12)	32 3/16 (82.07)	26 (66.04)	205 (93.2)

Tabel 6.3 (lanjutan)

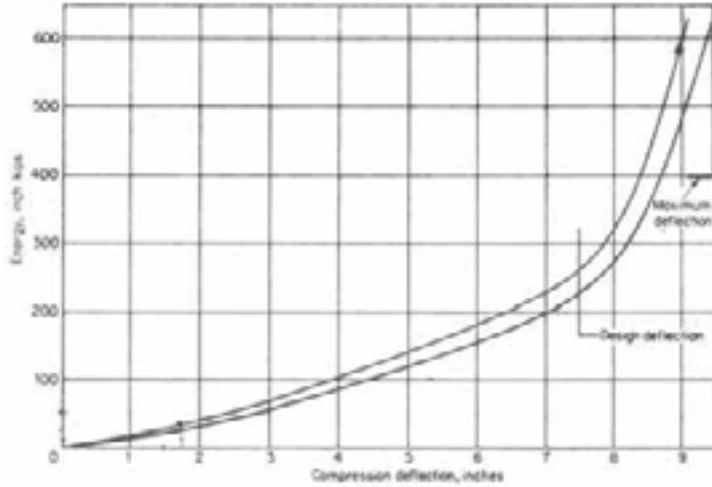
Part no.	Energy absorbed, † ft-lb (metric ton-meters)	Reaction load, † lb (metric tons)	Shear spring rate. lb/in. (kg/cm)	H, in. (cm)	W, in. (cm)	L, in. (cm)	T, in. (cm)	Approx. weight, lb (kg)
Full deflection 17.0 in. (43.3 cm) Rated deflection 14.5 in. (36.8 cm) Attachment holes for 1-in. bolts								
2F4-212	21,200 (2.90)	25,000 (11.3)	585 (105)	33 (83.82)	16 1/4 (41.28)	18 9/16 (46.51)	12 (30.48)	235 (107)
2F4-319	31,900 (4.40)	35,000 (15.8)	985 (176)	33 (83.82)	16 1/4 (41.28)	24 3/16 (61.75)	18 (45.72)	345 (157)
2F4-390	39,000 (5.40)	43,200 (19.6)	1,400 (251)	33 (83.82)	16 1/4 (41.28)	28 9/16 (71.91)	22 (55.88)	400 (181)
2F4-460	46,000 (6.35)	51,600 (23.4)	1,700 (305)	33 (83.82)	16 1/4 (41.28)	32 9/16 (82.07)	26 (66.04)	480 (218)
2F4-530	53,000 (7.35)	60,800 (27.5)	2,180 (391)	33 (83.82)	16 1/4 (41.28)	36 3/16 (92.23)	30 (76.02)	550 (250)
Full deflection 26.0 in. (66.0 cm) Rated deflection 23.0 in. (58.5 cm) Attachment holes for 1-in. bolts								
5F-600	60,000 (8.29)	37,300 (16.91)	500 (90)	48 1/8 (123.2)	22 1/2 (57.2)	20 9/16 (51.60)	14 (35.6)	525 (238)
5F-765	76,500 (10.57)	47,500 (21.54)	650 (116)	48 1/8 (123.2)	22 1/2 (57.2)	23 13/16 (60.60)	17 1/2 (44.5)	635 (288)
5F-900	90,000 (12.44)	55,800 (25.31)	965 (173)	48 1/8 (123.2)	22 1/2 (57.2)	27 7/16 (69.40)	21 (53.45)	750 (340)
5F-1070	107,000 (14.79)	66,300 (30.06)	1,120 (200)	48 1/8 (123.2)	22 1/2 (57.2)	30 13/16 (78.50)	24 1/2 (62.3)	870 (394)
5F-1240	124,000 (17.14)	76,800 (34.82)	1,415 (254)	48 1/8 (123.2)	22 1/2 (57.2)	34 3/16 (87.25)	28 (71.15)	990 (448)

* Material: natural rubber and SAE 950 low-alloy high-tensile steel—ASTM A-242 or equivalent.

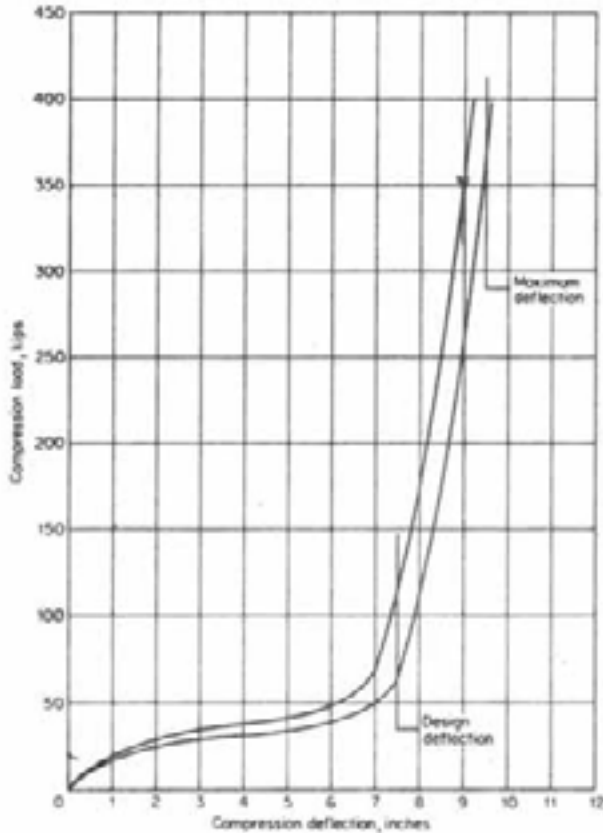
† At rated deflection.

SOURCE: Lord Manufacturing Company, Division of Lord Corporation.

dalam (Quinn 1972)

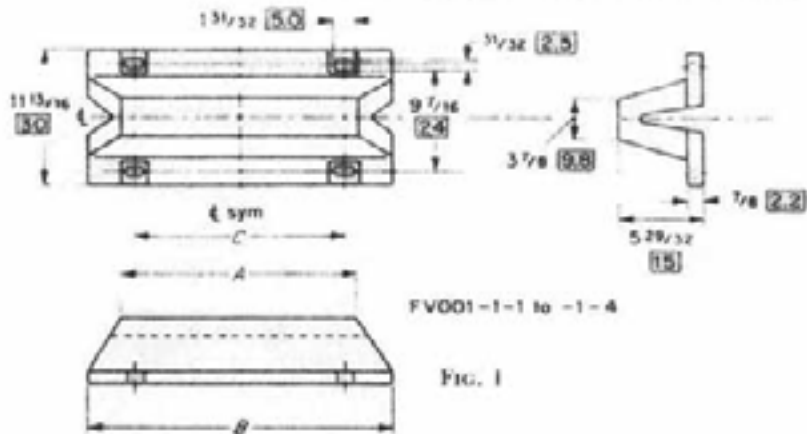


Gambar 6.40 Kurve energi defleksi Portslide.
 Sumber The General Tire & Rubber.co dalam (Quinn 1972)



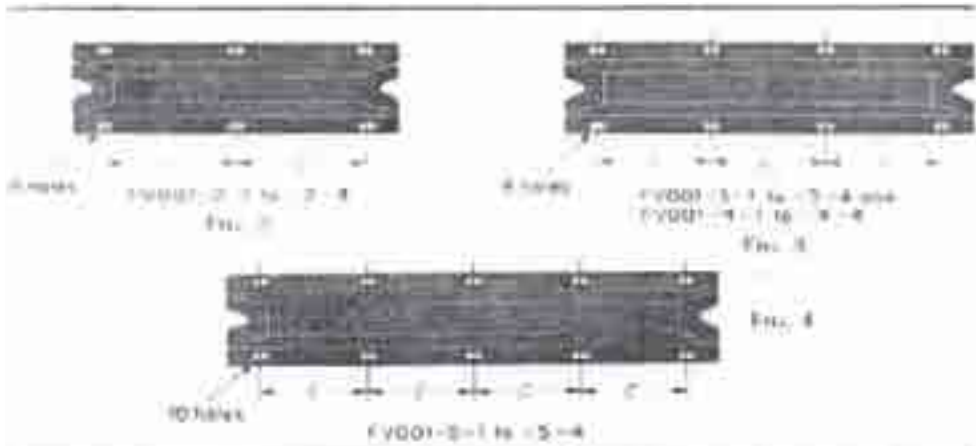
Gambar 6.41 Kurve berat- defleksi Portslide.
 Sumber The General Tire & Rubber.co dalam (Quinn 1972)

Tabel 6.4 Kapasitas dan dimensi fender Bridgestone Super-Arch



Part no.	Fig. no.	Dimensions			Load, kips (metric tons)	Energy, ft-kips (metric ton-meters)	Contact area, ft ² (meters ²)	R/E, kips/ft-kip (metric tons/metric ton-meter)
		A, in. (cm)	B, in. (cm)	C, in. (cm)				
FV001-1-1	1	39 ⁹ / ₈ (100)	41 ⁷ / ₈ (107.5)	33 ¹¹ / ₁₆ (85.5)	28.7 (13)	4.63 (0.64)	1.062 (0.098)	6.19 (20.31)
-1-2	1	39 ⁹ / ₈ (100)	41 ⁷ / ₈ (107.5)	33 ¹¹ / ₁₆ (85.5)	26.5 (12)	4.13 (0.57)	1.062 (0.098)	6.41 (21.05)
-1-3	1	39 ⁹ / ₈ (100)	41 ⁷ / ₈ (107.5)	33 ¹¹ / ₁₆ (85.5)	19.8 (9)	3.11 (0.43)	1.062 (0.098)	6.37 (20.93)
-1-4	1	39 ⁹ / ₈ (100)	41 ⁷ / ₈ (107.5)	33 ¹¹ / ₁₆ (85.5)	13.2 (6)	2.10 (0.29)	1.062 (0.098)	6.30 (20.69)
FV001-2-1	2	59 (150)	62 (157.5)	26 ⁹ / ₁₆ (67.5)	44.1 (20)	6.95 (0.96)	1.580 (0.147)	6.34 (20.83)
-2-2	2	59 (150)	62 (157.5)	26 ⁹ / ₁₆ (67.5)	37.5 (17)	6.15 (0.85)	1.580 (0.147)	6.09 (20.00)
-2-3	2	59 (150)	62 (57.5)	26 ⁹ / ₁₆ (67.5)	28.7 (13)	4.63 (0.64)	1.580 (0.147)	6.19 (20.31)
-2-4	2	59 (150)	62 (157.5)	26 ⁹ / ₁₆ (67.5)	19.8 (9)	3.11 (0.43)	1.580 (0.147)	6.37 (20.93)
FV001-3-1	3	78 ³ / ₄ (200)	81 ³ / ₄ (207.5)	24 ⁷ / ₁₆ (62.0)	57.3 (26)	8.69 (1.2)	2.121 (0.196)	6.60 (21.67)
-3-2	3	78 ³ / ₄ (200)	81 ³ / ₄ (207.5)	24 ⁷ / ₁₆ (62.0)	50.7 (23)	7.96 (1.1)	2.121 (0.196)	6.37 (20.91)
-3-3	3	78 ³ / ₄ (200)	81 ³ / ₄ (207.5)	24 ⁷ / ₁₆ (62.0)	37.5 (17)	6.15 (0.85)	2.121 (0.196)	6.09 (20.00)
-3-4	3	78 ³ / ₄ (200)	81 ³ / ₄ (207.5)	24 ⁷ / ₁₆ (62.0)	26.5 (12)	4.13 (0.57)	2.121 (0.196)	6.41 (21.05)

Tabel 6.4 (lanjutan)



Part no.	Fig. no.	Dimensions			Load, kips (metric tons)	Energy, ft-kips (metric ton-meters)	Com. area ft ² (metric m ²)	R/E, kips-ft-kip (metric ton-metric ton-meter)
		A, in. (cm)	B, in. (cm)	C, in. (cm)				
FV001-4-1	3	98 ⁹ / ₁₆ (250)	101 ¹ / ₄ (257.5)	30 ⁹ / ₁₆ (78.5)	72.8 (33)	11.58 (1.6)	2.654 (0.245)	6.28 (20.67)
-4-2	3	98 ⁹ / ₁₆ (250)	101 ¹ / ₄ (257.5)	30 ⁹ / ₁₆ (78.5)	63.9 (29)	10.14 (1.4)	2.654 (0.245)	6.51 (20.71)
-4-3	3	98 ⁹ / ₁₆ (250)	101 ¹ / ₄ (257.5)	30 ⁹ / ₁₆ (78.5)	48.5 (22)	7.24 (1.0)	2.654 (0.245)	6.70 (22.00)
-4-4	3	98 ⁹ / ₁₆ (250)	101 ¹ / ₄ (257.5)	30 ⁹ / ₁₆ (78.5)	33.1 (15)	5.21 (0.72)	2.654 (0.245)	6.84 (20.83)
FV001-5-1	4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	121 (307.5)	28 ⁹ / ₁₆ (71.5)	86.0 (39)	13.76 (1.9)	3.184 (0.294)	6.25 (20.53)
-5-2	4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	121 (307.5)	28 ⁹ / ₁₆ (71.5)	79.4 (36)	12.31 (1.7)	3.184 (0.294)	6.45 (21.18)
-5-3	4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	121 (307.5)	28 ⁹ / ₁₆ (71.5)	57.3 (26)	8.09 (1.2)	3.184 (0.294)	6.60 (21.67)
-5-4	4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	121 (307.5)	28 ⁹ / ₁₆ (71.5)	37.3 (17)	6.15 (0.85)	3.184 (0.294)	6.69 (20.00)

notes: R Reaction load
E Energy absorbed.

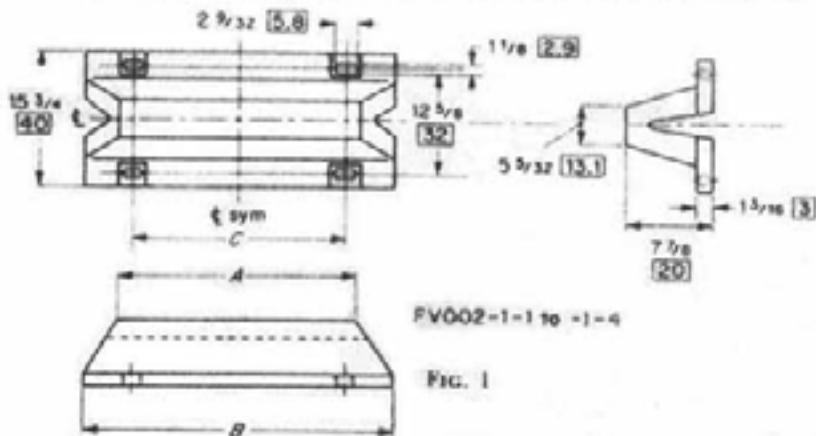
Unless otherwise specified:

- (1) Material: metal parts -- steel; elastomer -- rubber
- (2) Dimensions in boxes in Fig. 1 are in centimeters
- (3) Skin of elastomer on all surfaces and edges.
- (4) I.D. of holes coated with rust-preventive coatings.
- (5) Rated deflection: 45% of free height.

source: Lord Manufacturing Company, Division of Lord Corporation, distributor for

dalam (Quinn 1972)

Tabel 6.5 Kapasitas dan dimensi fender Bridgestone Super-Arch

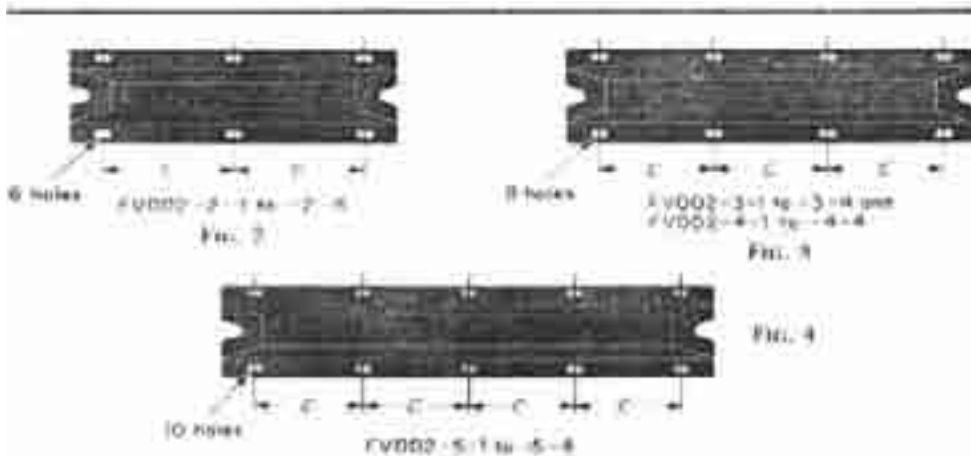


FV002-1-1 to -4

FIG. 1

Part no.	Fig. no.	Dimensions			Load, kips (metric tons)	Energy, ft-kips (metric ton-meters)	Contact area, ft ² (meters ²)	R/E, kips/ft-kip (metric tons/metric ton-meter)
		A, in. (cm)	B, in. (cm)	C, in. (cm)				
FV002-1-1	1	39 ³ / ₈ (100)	43 ³ / ₈ (110)	33 ³ / ₈ (86)	39.7 (18)	7.96 (1.1)	1.411 (0.131)	4.98 (16.36)
-1-2	1	39 ³ / ₈ (100)	43 ³ / ₈ (110)	33 ³ / ₈ (86)	33.1 (15)	7.24 (1.0)	1.411 (0.131)	4.57 (15.00)
-1-3	1	39 ³ / ₈ (100)	43 ³ / ₈ (110)	33 ³ / ₈ (86)	26.5 (12)	5.50 (0.76)	1.411 (0.131)	4.81 (15.79)
-1-4	1	39 ³ / ₈ (100)	43 ³ / ₈ (110)	33 ³ / ₈ (86)	17.6 (8)	3.69 (0.51)	1.411 (0.131)	4.78 (15.69)
FV002-2-1	2	59 (150)	62 (160)	26 ¹ / ₁₆ (68)	57.3 (26)	12.31 (1.7)	2.114 (0.196)	4.66 (15.29)
-2-2	2	59 (150)	62 (160)	26 ¹ / ₁₆ (68)	50.7 (23)	10.86 (1.5)	2.114 (0.196)	4.67 (15.33)
-2-3	2	59 (150)	62 (160)	26 ¹ / ₁₆ (68)	37.5 (17)	7.96 (1.1)	2.114 (0.196)	4.71 (15.45)
-2-4	2	59 (150)	62 (160)	26 ¹ / ₁₆ (68)	26.5 (12)	5.50 (0.76)	2.114 (0.196)	4.81 (15.79)
FV002-3-1	3	78 ³ / ₄ (200)	81 ³ / ₄ (210)	24 ⁷ / ₁₆ (62)	77.2 (35)	15.93 (2.2)	2.820 (0.262)	4.84 (15.91)
-3-2	3	78 ³ / ₄ (200)	81 ³ / ₄ (210)	24 ⁷ / ₁₆ (62)	66.2 (30)	14.48 (2.0)	2.820 (0.262)	4.57 (15.00)
-3-3	3	78 ³ / ₄ (200)	81 ³ / ₄ (210)	24 ⁷ / ₁₆ (62)	50.7 (23)	10.86 (1.5)	2.820 (0.262)	4.67 (15.33)
-3-4	3	78 ³ / ₄ (200)	81 ³ / ₄ (210)	24 ⁷ / ₁₆ (62)	33.1 (15)	7.24 (1.0)	2.820 (0.262)	4.57 (15.00)

Tabel 6.5 (lanjutan)



Part no.	Fig. no.	Dimensions			Load, kips (metric tons)	Energy, ft-kips (metric ton-meters)	Contact area, ft ² (meters ²)	R/E, kips/ft-kip (metric tons/meter)
		A, in. (cm)	B, in. (cm)	C, in. (cm)				
FV002-4-1	3	98V ₁₀₀ (251)	102V ₈ (260)	30V ₁₀₀ (78.5)	94.8 (43)	20.27 (7.8)	3.529 (0.327)	4.66 (15.36)
4-2	3	98V ₁₀₀ (250)	102V ₈ (260)	30V ₁₀₀ (78.5)	83.8 (38)	18.10 (2.5)	3.529 (0.327)	4.65 (15.20)
4-3	3	98V ₁₀₀ (260)	102V ₈ (260)	30V ₁₀₀ (78.5)	63.9 (29)	15.76 (1.9)	3.529 (0.327)	4.65 (15.26)
4-4	3	98V ₁₀₀ (250)	102V ₈ (260)	30V ₁₀₀ (78.5)	41.9 (19)	8.69 (1.2)	3.529 (0.327)	4.82 (15.85)
FV002-5-1	4	118V ₁₀₀ (300)	122 (310)	28V ₁₀₀ (71.5)	114.7 (52)	24.62 (3.4)	4.235 (0.393)	4.66 (15.29)
5-2	4	118V ₁₀₀ (300)	122 (310)	28V ₁₀₀ (71.5)	99.2 (45)	21.72 (3.0)	4.235 (0.393)	4.57 (15.00)
5-3	4	118V ₁₀₀ (300)	122 (310)	28V ₁₀₀ (71.5)	75.0 (34)	15.93 (2.2)	4.235 (0.393)	4.71 (15.45)
5-4	4	118V ₁₀₀ (300)	122 (310)	28V ₁₀₀ (71.5)	50.7 (23)	10.86 (1.5)	4.235 (0.393)	4.67 (15.35)

NOTES: R Reaction load.

E Energy absorbed.

Unless otherwise specified:

- (1) Material: metal parts—steel; elastomer—rubber.
- (2) Dimensions in boxes in Fig. 1 are in centimeters.
- (3) Skin of elastomer on all surfaces and edges.
- (4) I.D. of holes coated with sun-preventive coatings.
- (5) Rated deflection: 15% of free height.

source: Lord Manufacturing Company, Division of Lord Corporation, distributor for

dalam (Quinn 1972)

Tabel 6.6 Kapasitas dan dimensi fender Bridgestone Super-Arch

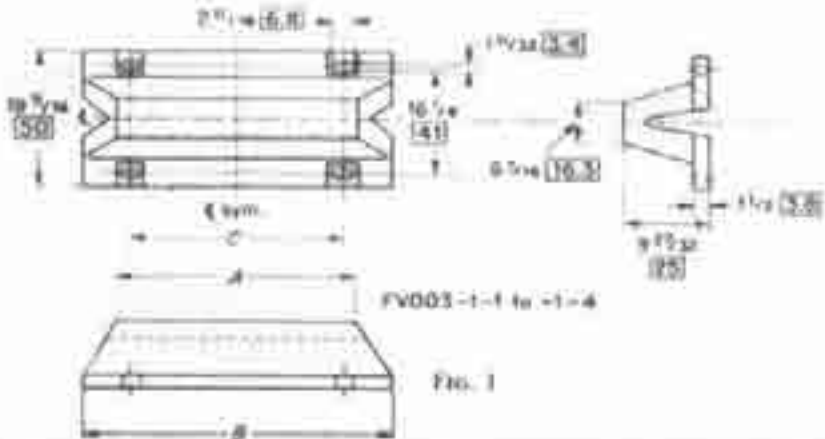
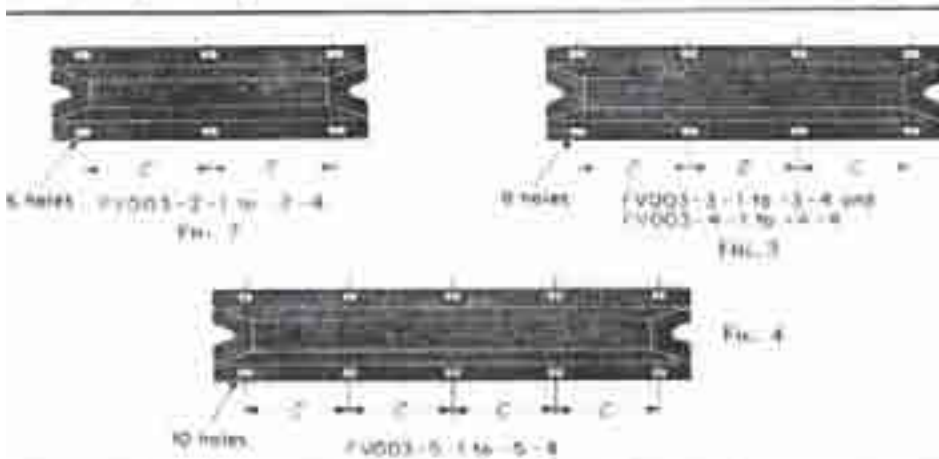


FIG. 1

Part no.	Fig. no.	Dimensions			Load, kips (metric tons)	Energy, ft-kips (metric ton-meters)	Contact area, ft ² (meters ²)	R/E, kips/ft-kip (metric tons/metric ton-meter)
		A, in. (mm)	B, in. (mm)	C, in. (mm)				
FV003-1-1	1	39 3/4 (100)	44 1/4 (112.5)	34 1/2 (88.5)	40.5 (22)	12.31 (1.7)	1.754 (0.183)	3.04 (12.94)
-1-2	1	39 3/4 (100)	44 1/4 (112.5)	34 1/2 (88.5)	41.0 (19)	10.80 (1.5)	1.754 (0.183)	3.00 (12.67)
-1-3	1	39 3/4 (100)	44 1/4 (112.5)	34 1/2 (88.5)	55.1 (10)	7.96 (1.1)	1.754 (0.183)	4.15 (15.68)
-1-4	1	39 3/4 (100)	44 1/4 (112.5)	34 1/2 (88.5)	22.0 (10)	5.72 (0.79)	1.754 (0.183)	3.80 (12.66)
FV003-2-1	2	59 (150)	64 (162.5)	26 3/4 (68.0)	72.8 (33)	18.82 (2.6)	2.630 (0.245)	3.80 (12.65)
-2-2	2	59 (150)	64 (162.5)	26 3/4 (68.0)	63.9 (29)	16.65 (2.3)	2.630 (0.245)	3.04 (12.61)
-2-3	2	59 (150)	64 (162.5)	26 3/4 (68.0)	48.5 (22)	12.31 (1.7)	2.630 (0.245)	3.94 (12.94)
-2-4	2	59 (150)	64 (162.5)	26 3/4 (68.0)	30.9 (14)	7.90 (1.1)	2.630 (0.245)	3.00 (12.73)
FV003-3-1	3	78 3/4 (200)	83 3/4 (212.5)	24 3/4 (62.0)	94.8 (43)	25.34 (5.5)	3.510 (0.327)	3.74 (12.28)
-3-2	3	78 3/4 (200)	83 3/4 (212.5)	24 3/4 (62.0)	83.8 (38)	22.44 (3.1)	3.510 (0.327)	3.73 (12.97)
-3-3	3	78 3/4 (200)	83 3/4 (212.5)	24 3/4 (62.0)	65.0 (29)	16.65 (2.3)	3.510 (0.327)	3.04 (12.61)
-3-4	3	78 3/4 (200)	83 3/4 (212.5)	24 3/4 (62.0)	41.0 (19)	10.80 (1.5)	3.510 (0.327)	3.00 (12.67)

Tabel 6.6 (lanjutan)



Part no.	Fig. no.	Dimensions			Load, kips (metric tons)	Energy, ft-kip (metric ton-meters)	Contact area, in ² (meters ²)	R/E, kips/in-kip (metric tons/meter-meter)
		A, in. (cm)	B, in. (cm)	C, in. (cm)				
FV003-4-1	3	98 ³ / ₁₆ (250)	103 ¹ / ₂ (262.5)	31 ¹ / ₁₆ (79.0)	119.1 (54)	31.86 (4.4)	4.391 (0.408)	3.74 (12.27)
-4-2	3	98 ³ / ₁₆ (250)	103 ¹ / ₂ (262.5)	31 ¹ / ₁₆ (79.0)	103.6 (47)	28.24 (3.9)	4.391 (0.408)	3.67 (12.05)
-4-3	3	98 ³ / ₁₆ (250)	103 ¹ / ₂ (262.5)	31 ¹ / ₁₆ (79.0)	79.4 (36)	21.00 (2.9)	4.391 (0.408)	3.78 (12.41)
-4-4	3	98 ³ / ₁₆ (250)	103 ¹ / ₂ (262.5)	31 ¹ / ₁₆ (79.0)	52.9 (24)	13.76 (1.9)	4.391 (0.408)	3.83 (12.63)
FV003-5-1	4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	123 ³ / ₈ (312.5)	28 ¹ / ₁₆ (71.5)	145.5 (65)	38.87 (5.3)	5.269 (0.490)	3.74 (12.26)
-5-2	4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	123 ³ / ₈ (312.5)	28 ¹ / ₁₆ (71.5)	125.7 (57)	34.03 (4.7)	5.269 (0.490)	3.69 (12.15)
-5-3	4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	123 ³ / ₈ (312.5)	28 ¹ / ₁₆ (71.5)	94.8 (43)	25.34 (3.5)	5.269 (0.490)	3.74 (12.28)
-5-4	4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	123 ³ / ₈ (312.5)	28 ¹ / ₁₆ (71.5)	63.9 (29)	16.65 (2.3)	5.269 (0.490)	3.84 (12.61)

series: R: Reaction load.

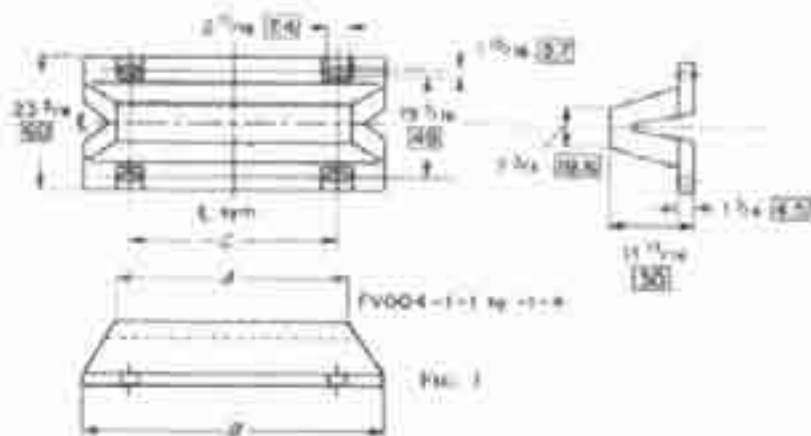
E: Energy absorbed.

Unless otherwise specified:

- (1) Material: metal parts - steel; elastomer - rubber.
- (2) Dimensions in boxes in Fig. 1 are in centimeters.
- (3) Skin of elastomer on all surfaces and edges.
- (4) I.D. of holes coated with rust-preventive coatings.
- (5) Rated deflection: 15% of free height.

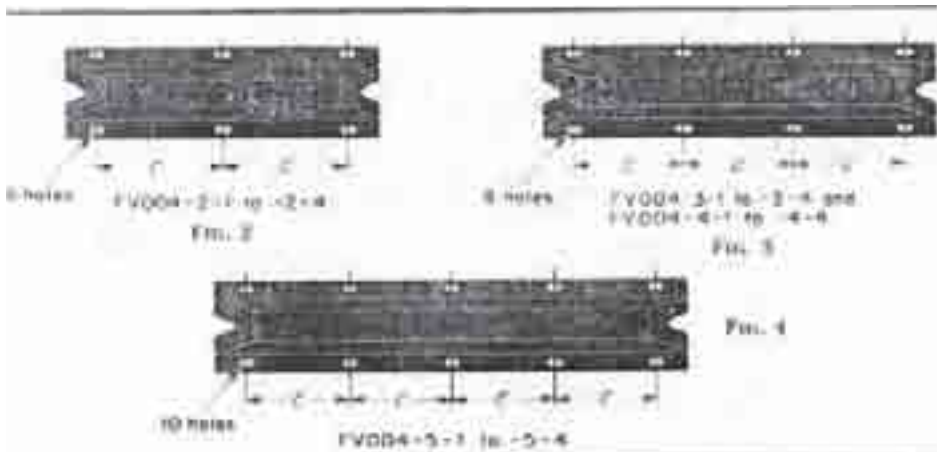
Sumber: (Quinn 1972)

Tabel 6.7 Kapasitas dan dimensi fender Bridgestone Super-Arch



Part no.	Fig. no.	Dimensions			Load, kips (metric tons)	Energy, ft-kips (metric ton-meters)	Con. sq ft (meters ²)	R/E, kips ft-kip (metric ton-meters)
		A, in. (cm)	B, in. (cm)	C, in. (cm)				
FV004-1-1	1	30 3/4 (100)	46 1/2 (113)	34 1/2 (87.0)	37.3 (26)	18.19 (2.5)	2.119 (10.40)	
-1-2	1	29 1/2 (100)	46 1/2 (113)	34 1/2 (87.0)	50.7 (23)	15.95 (2.2)	2.119 (10.45)	
-1-3	1	30 3/4 (100)	54 1/2 (115)	34 1/2 (87.0)	37.5 (17)	12.51 (1.7)	2.119 (10.00)	
-1-4	1	30 3/4 (100)	43 1/2 (115)	34 1/2 (87.0)	26.5 (12)	7.96 (1.1)	2.119 (10.91)	
FV005-2-1	2	59 (150)	65 (165)	27 (68.5)	86.0 (39)	27.51 (3.8)	3.175 (10.26)	
-2-2	2	59 (150)	65 (165)	27 (68.5)	75.0 (34)	23.89 (3.3)	3.175 (10.30)	
-2-3	2	59 (150)	65 (165)	27 (68.5)	57.5 (26)	18.10 (2.5)	3.175 (10.40)	
-2-4	2	59 (150)	65 (165)	27 (68.5)	39.7 (18)	12.34 (1.7)	3.175 (10.30)	
FV001-3-1	3	78 1/2 (200)	84 1/2 (215)	24 1/2 (62.5)	114.7 (50)	36.92 (5.1)	4.238 (10.20)	
-3-2	3	78 1/2 (200)	84 1/2 (215)	24 1/2 (62.5)	99.2 (45)	32.58 (4.5)	4.238 (10.00)	
-3-3	3	78 1/2 (200)	84 1/2 (215)	24 1/2 (62.5)	77.2 (35)	24.62 (3.4)	4.238 (10.29)	
-3-4	3	78 1/2 (200)	84 1/2 (215)	24 1/2 (62.5)	52.9 (24)	16.00 (2.2)	4.238 (10.91)	

Tabel 6.7 (lanjutan)



Part no.	Fig. no.	Dimensions			Load, kips (metric tons)	Energy, Ft-kips (metric ton-meters)	Contact area, ft ² (meters ²)	R/E, kips/ft-kip (metric tons/metric ton-meter)
		A, in. (cm)	B, in. (cm)	C, in. (cm)				
FV004-4-1	3	98 ¹ / ₁₆	104 ¹ / ₈	31 ¹ / ₁₆	143.3	45.61	5.281	3.14
		(250)	(265)	(79.0)	(65)	(6.3)	(0.491)	(10.32)
	3	98 ¹ / ₁₆	104 ¹ / ₈	31 ¹ / ₁₆	125.7	41.27	5.281	3.04
		(250)	(265)	(79.0)	(57)	(5.7)	(0.491)	(10.00)
3	98 ¹ / ₁₆	104 ¹ / ₈	31 ¹ / ₁₆	94.8	30.41	5.281	3.12	
	(250)	(265)	(79.0)	(43)	(4.3)	(0.491)	(10.24)	
3	98 ¹ / ₁₆	104 ¹ / ₈	31 ¹ / ₁₆	85.9	26.27	5.281	3.15	
	(250)	(265)	(79.0)	(29)	(2.8)	(0.491)	(10.56)	
FV004-5-1	4	118 ¹ / ₁₆	121 ¹ / ₈	28 ¹ / ₁₆	172.0	55.02	6.336	3.12
		(300)	(315)	(71.3)	(78)	(7.6)	(0.589)	(10.26)
	4	118 ¹ / ₁₆	121 ¹ / ₈	28 ¹ / ₁₆	149.0	48.31	6.336	3.09
		(300)	(315)	(71.3)	(68)	(6.7)	(0.589)	(10.15)
4	118 ¹ / ₁₆	121 ¹ / ₈	28 ¹ / ₁₆	112.4	36.20	6.336	3.11	
	(300)	(315)	(71.3)	(51)	(5.0)	(0.589)	(10.20)	
4	118 ¹ / ₁₆	121 ¹ / ₈	28 ¹ / ₁₆	75.0	23.89	6.336	3.14	
	(300)	(315)	(71.3)	(34)	(3.3)	(0.589)	(10.50)	

NOTE: R Reaction load.

E Energy absorbed.

Unless otherwise specified:

- (1) Material: metal parts - steel; elastomer - rubber.
- (2) Dimensions in boxes in Fig. 1 are in centimeters.
- (3) Skin of elastomer on all surfaces and edges.
- (4) I.D. of holes coated with rust-preventive coatings.
- (5) Rated deflection: 45% of free height.

SOURCE: Lord Manufacturing Company, Division of Lord Corporation, distributor for

dalam (Quinn 1972)

Tabel 6.8 Kapasitas dan dimensi fender Bridgestone Super-Arch

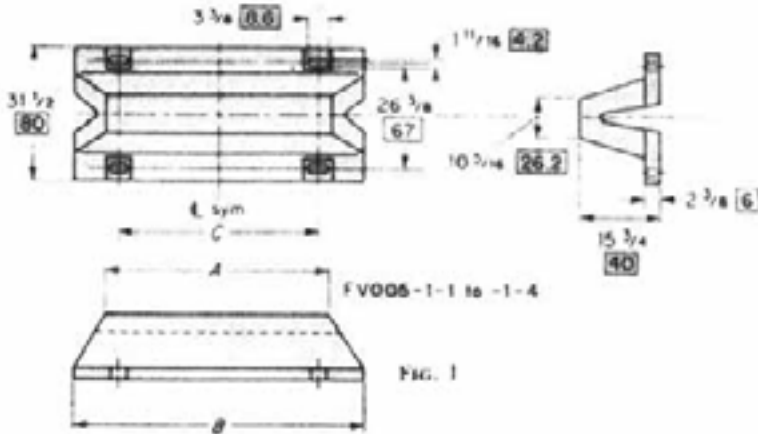
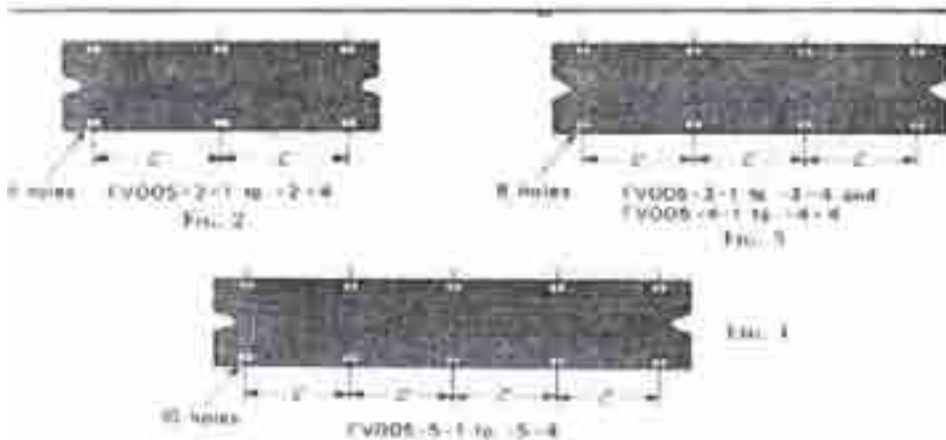


FIG. 1

Part no.	Fig. no.	Dimensions			Load, kips (metric tons)	Energy, ft-kips (metric ton-meters)	Contact area, ft ² (meters ²)	R/E, kips/ft-kip (metric tons/metric ton-meter)
		A, in. (cm)	B, in. (cm)	C, in. (cm)				
FV005-1-1	1	39 1/2 (100)	47 1/8 (120)	35 1/2 (90.0)	77.2 (35)	32.58 (4.5)	2.819 (0.262)	2.37 (7.78)
-1-2	1	39 1/2 (100)	47 1/8 (120)	35 1/2 (90.0)	66.2 (30)	28.96 (4.0)	2.819 (0.262)	2.28 (7.50)
-1-3	1	39 1/2 (100)	47 1/8 (120)	35 1/2 (90.0)	50.7 (23)	21.72 (3.0)	2.819 (0.262)	2.33 (7.67)
-1-4	1	39 1/2 (100)	47 1/8 (120)	35 1/2 (90.0)	33.1 (15)	14.48 (2.0)	2.819 (0.262)	2.28 (7.50)
FV005-2-1	2	59 (150)	67 (170)	27 3/4 (70.0)	114.7 (52)	49.23 (6.8)	4.224 (0.393)	2.33 (7.65)
-2-2	2	59 (150)	67 (170)	27 3/4 (70.0)	99.2 (45)	43.44 (6.0)	4.224 (0.393)	2.28 (7.50)
-2-3	2	59 (150)	67 (170)	27 3/4 (70.0)	75.0 (34)	32.58 (4.5)	4.224 (0.393)	2.30 (7.56)
-2-4	2	59 (150)	67 (170)	27 3/4 (70.0)	50.7 (23)	21.72 (3.0)	4.224 (0.393)	2.33 (7.67)
FV005-3-1	3	78 3/4 (200)	86 3/4 (220)	25 (63.5)	152.1 (69)	65.88 (9.1)	5.638 (0.524)	2.31 (7.58)
-3-2	3	78 3/4 (200)	86 3/4 (220)	25 (63.5)	132.3 (60)	58.64 (8.1)	5.638 (0.524)	2.26 (7.41)
-3-3	3	78 3/4 (200)	86 3/4 (220)	25 (63.5)	101.4 (46)	43.44 (6.0)	5.638 (0.524)	2.33 (7.67)
-3-4	3	78 3/4 (200)	86 3/4 (220)	25 (63.5)	68.4 (31)	28.96 (4.0)	5.638 (0.524)	2.36 (7.75)

Tabel 6.8 (lanjutan)



Part no.	Fig. no.	Dimensions			Load, kips (metric tons)	Energy, ft.kips (metric ton-meters)	Contact area, (ft ²) (meters ²)	R/E, kips/ft.kip (metric tons/metric ton-meter)
		A, in (cm)	B, in (cm)	C, in (cm)				
EV005-4-1	3	98 ⁹ / ₁₆ (250)	100 ⁹ / ₁₆ (270)	31 ³ / ₈ (80.0)	139.6 (96)	79.64 (11.0)	7.052 (0.655)	2.38 (7.82)
	4-2	98 ⁹ / ₁₆ (250)	100 ⁹ / ₁₆ (270)	31 ³ / ₈ (80.0)	165.4 (75)	72.40 (10.0)	7.052 (0.655)	2.28 (7.50)
	4-3	98 ⁹ / ₁₆ (250)	100 ⁹ / ₁₆ (270)	31 ³ / ₈ (80.0)	125.7 (57)	54.30 (7.5)	7.052 (0.655)	2.31 (7.00)
	4-4	98 ⁹ / ₁₆ (250)	100 ⁹ / ₁₆ (270)	31 ³ / ₈ (80.0)	83.8 (58)	36.20 (5.0)	7.052 (0.655)	2.31 (7.00)
EV005-5-1	4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	126 (320)	28 ⁹ / ₁₆ (72.5)	227.4 (107)	94.12 (13.0)	8.462 (0.786)	2.41 (7.92)
	5-2	118 ⁹ / ₁₆ (300)	126 (320)	28 ⁹ / ₁₆ (72.5)	198.4 (90)	86.88 (12.0)	8.462 (0.786)	2.28 (7.50)
	5-3	118 ⁹ / ₁₆ (300)	126 (320)	28 ⁹ / ₁₆ (72.5)	139.7 (68)	65.16 (9.0)	8.462 (0.786)	2.30 (7.56)
	5-4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	126 (320)	28 ⁹ / ₁₆ (72.5)	99.2 (45)	43.44 (6.0)	8.462 (0.786)	2.38 (7.50)

NOTES: R = Reaction load.

E = Energy absorbed.

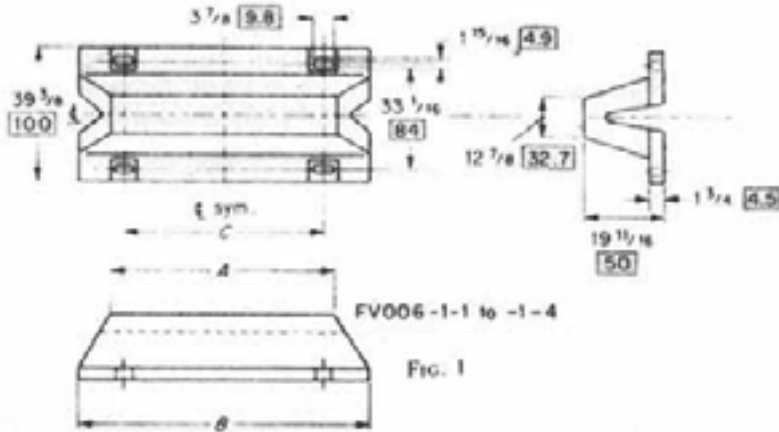
Unless otherwise specified:

- 1) Material: metal parts—steel; elastomer—rubber.
- 2) Dimensions in boxes in Fig. 1 are in millimeters.
- 3) Skirt of elastomer on all surfaces and edges.
- 4) I.D. of holes coated with rust-preventive coatings.
- 5) Rated deflection: 45% of free height.

SOURCE: Lord Manufacturing Company, Division of Lord Corporation, distributor for Indigestone Tire Company, Ltd.

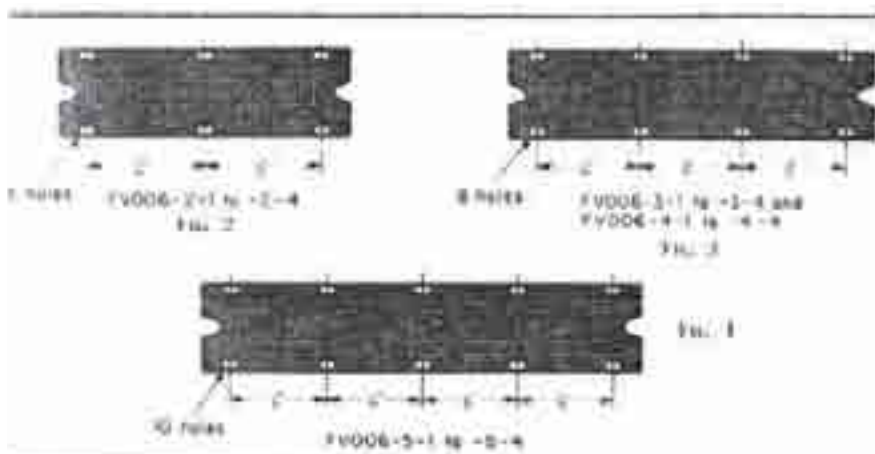
dalam (Quinn 1972)

Tabel 6.9 Kapasitas dan dimensi fender Bridgestone Super-Arch



Part no.	Fig. no.	Dimensions			Load, kips (metric tons)	Energy, ft-kips (metric ton-meters)	Contact area, ft ² (meters ²)	R/E, kips/ft-kip (metric tons/metric ton-meter)
		A, in. (cm)	B, in. (cm)	C, in. (cm)				
FV006-1-1	1	39 ¹ / ₈ (100)	49 ⁹ / ₁₆ (125)	36 ³ / ₈ (93.0)	94.8 (43)	51.40 (7.1)	3.519 (0.327)	1.84 (6.06)
-1-2	1	39 ¹ / ₈ (100)	49 ⁹ / ₁₆ (125)	36 ³ / ₈ (93.0)	83.8 (38)	45.61 (6.3)	3.519 (0.327)	1.84 (6.03)
-1-3	1	39 ¹ / ₈ (100)	49 ⁹ / ₁₆ (125)	36 ³ / ₈ (93.0)	83.9 (29)	34.03 (4.7)	3.519 (0.327)	1.88 (6.17)
-1-4	1	39 ¹ / ₈ (100)	49 ⁹ / ₁₆ (125)	36 ³ / ₈ (93.0)	41.9 (19)	22.44 (3.1)	3.519 (0.327)	1.87 (6.13)
FV006-2-1	2	59 (150)	69 (175)	28 ⁹ / ₁₆ (71.5)	143.3 (65)	72.40 (10.0)	5.273 (0.490)	1.98 (6.50)
-2-2	2	59 (150)	69 (175)	28 ⁹ / ₁₆ (71.5)	123.5 (56)	68.05 (9.4)	5.273 (0.490)	1.81 (5.96)
-2-3	2	59 (150)	69 (175)	28 ⁹ / ₁₆ (71.5)	94.8 (43)	50.68 (7.0)	5.273 (0.490)	1.87 (6.14)
-2-4	2	59 (150)	69 (175)	28 ⁹ / ₁₆ (71.5)	61.7 (28)	34.03 (4.7)	5.273 (0.490)	1.81 (5.96)
FV006-3-1	3	78 ³ / ₄ (200)	88 ¹ / ₂ (225)	25 ³ / ₈ (64.5)	189.6 (86)	101.36 (14.0)	7.038 (0.654)	1.87 (6.14)
-3-2	3	78 ³ / ₄ (200)	88 ¹ / ₂ (225)	25 ³ / ₈ (64.5)	165.4 (75)	86.88 (12.0)	7.038 (0.654)	1.90 (6.25)
-3-3	3	78 ³ / ₄ (200)	88 ¹ / ₂ (225)	25 ³ / ₈ (64.5)	125.7 (57)	68.78 (9.5)	7.083 (0.654)	1.83 (6.00)
-3-4	3	78 ³ / ₄ (200)	88 ¹ / ₂ (225)	25 ³ / ₈ (64.5)	83.8 (38)	45.61 (6.3)	7.038 (0.654)	1.84 (6.03)

Tabel 6.9 (lanjutan)



Part no.	Fig. no.	Dimensions			Load, kN (tons)	Energy, ft-kips (metric ton-meters)	Load area, in ² (meters ²)	N/E, kips/ft-lip (metric tons/metric meter)
		A, in. (cm)	B, in. (cm)	C, in. (cm)				
FV006-4-1	3	98 ⁹ / ₁₆ (250)	108 ⁹ / ₁₆ (275)	31 ⁵ / ₁₆ (81.0)	238.1 (108)	125.08 (17.0)	8.803 (0.817)	1.93 (6.55)
-4-2	3	98 ⁹ / ₁₆ (250)	108 ⁹ / ₁₆ (275)	31 ⁵ / ₁₆ (81.0)	207.3 (94)	108.60 (15.0)	8.803 (0.817)	1.91 (6.27)
-4-3	3	98 ⁹ / ₁₆ (250)	108 ⁹ / ₁₆ (275)	31 ⁵ / ₁₆ (81.0)	156.6 (71)	79.04 (11.0)	8.803 (0.817)	1.86 (6.45)
-4-4	3	98 ⁹ / ₁₆ (250)	108 ⁹ / ₁₆ (275)	31 ⁵ / ₁₆ (81.0)	103.4 (47)	57.20 (7.9)	8.803 (0.817)	1.81 (5.95)
FV006-5-1	4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	128 (325)	28 ⁹ / ₁₆ (73.0)	284.1 (120)	152.04 (21.0)	10.563 (0.981)	1.87 (6.14)
-5-2	4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	128 (325)	28 ⁹ / ₁₆ (73.0)	247.0 (112)	190.32 (18.0)	10.563 (0.981)	1.90 (6.22)
-5-3	4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	128 (325)	28 ⁹ / ₁₆ (73.0)	187.4 (85)	101.36 (14.0)	10.563 (0.981)	1.85 (6.07)
-5-4	4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	128 (325)	28 ⁹ / ₁₆ (73.0)	125.5 (56)	68.06 (9.4)	10.563 (0.981)	1.81 (5.90)

NOTE: B = Reaction load.

E = Energy absorbed.

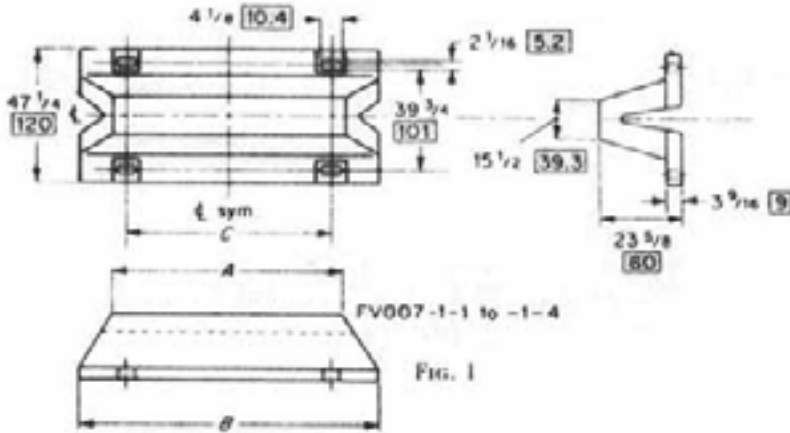
Unless otherwise specified:

- 1) Material: metal parts - steel; elastomer - rubber.
- 2) Dimensions in boxes in Fig. 1 are in centimeters.
- 3) Skin of elastomer on all surfaces and edges.
- 4) I.D. of holes coated with rust preventive coatings.
- 5) Rated deflection: 15% of free height.

SOURCE: Lord Manufacturing Company, Division of Ford Corporation, distributor for

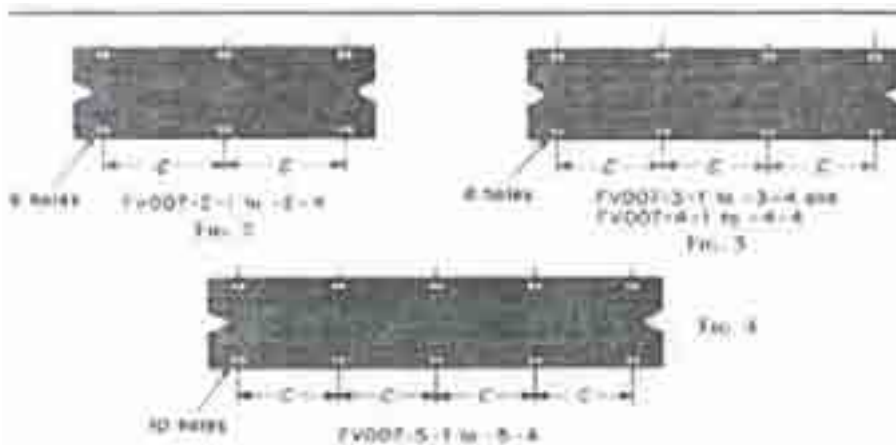
dalam (Quinn 1972)

Tabel 6.10 Kapasitas dan dimensi fender Bridgestone Super-Arch



Part no.	Fig. no.	Dimensions			Load, kips (metric tons)	Energy, ft-kips (metric ton-meters)	Contact area, ft ² (meters ²)	R/E, kips/ft-kip (metric tons/metric ton-meter)
		A, in. (cm)	B, in. (cm)	C, in. (cm)				
FV007-1-1	1	39 ³ / ₄ (100)	51 ⁷ / ₁₆ (130)	37 ¹³ / ₁₆ (96.0)	114.7 (52)	72.40 (10.0)	4.238 (0.393)	1.58 (5.20)
-1-2	1	39 ³ / ₄ (100)	51 ⁷ / ₁₆ (130)	37 ¹³ / ₁₆ (96.0)	99.2 (45)	65.88 (9.1)	4.238 (0.393)	1.51 (4.94)
-1-3	1	39 ³ / ₄ (100)	51 ⁷ / ₁₆ (130)	37 ¹³ / ₁₆ (96.0)	75.0 (34)	49.23 (6.8)	4.238 (0.393)	1.52 (5.00)
-1-4	1	39 ³ / ₄ (100)	51 ⁷ / ₁₆ (130)	37 ¹³ / ₁₆ (96.0)	50.7 (23)	32.58 (4.5)	4.238 (0.393)	1.56 (5.11)
FV007-2-1	2	59 (150)	71 (180)	28 ³ / ₄ (73.0)	172.0 (78)	108.60 (15.0)	6.343 (0.589)	1.58 (5.20)
-2-2	2	59 (150)	71 (180)	28 ³ / ₄ (73.0)	149.9 (68)	94.12 (13.0)	6.343 (0.589)	1.59 (5.23)
-2-3	2	59 (150)	71 (180)	28 ³ / ₄ (73.0)	112.4 (51)	72.40 (10.0)	6.343 (0.589)	1.55 (5.10)
-2-4	2	59 (150)	71 (180)	28 ³ / ₄ (73.0)	75.0 (34)	48.51 (6.7)	6.343 (0.589)	1.54 (5.07)
FV007-3-1	3	78 ³ / ₄ (200)	90 ³ / ₄ (230)	25 ¹³ / ₁₆ (65.5)	227.1 (103)	144.80 (20.0)	8.460 (0.786)	1.57 (5.15)
-3-2	3	78 ³ / ₄ (200)	90 ³ / ₄ (230)	25 ¹³ / ₁₆ (65.5)	198.4 (90)	130.32 (18.0)	8.460 (0.786)	1.52 (5.00)
-3-3	3	78 ³ / ₄ (200)	90 ³ / ₄ (230)	25 ¹³ / ₁₆ (65.5)	149.9 (68)	94.12 (13.0)	8.460 (0.786)	1.59 (5.23)
-3-4	3	78 ³ / ₄ (200)	90 ³ / ₄ (230)	25 ¹³ / ₁₆ (65.5)	101.4 (46)	65.88 (9.1)	8.460 (0.786)	1.54 (5.05)

Tabel 6.10 (lanjutan)



Part no.	Fig. no.	Dimensions			Load, kips (metric tons)	Energy, ft-kips (metric ton-meters)	Contact area, ft ² (metric m ²)	B/E, kips/ft-kip (metric tons/meter)
		A, in. (cm)	B, in. (cm)	C, in. (cm)				
FV007-4-1	3	98 ³ / ₁₆ (250)	110 ⁹ / ₁₆ (280)	32 ⁹ / ₁₆ (82.0)	284.4 (129)	181.00 (82.0)	10.582 (0.982)	1.57 (5.16)
-4-2	3	98 ³ / ₁₆ (250)	110 ⁹ / ₁₆ (280)	32 ⁹ / ₁₆ (82.0)	247.0 (112)	156.28 (72.0)	10.582 (0.982)	1.35 (5.09)
-4-3	3	98 ³ / ₁₆ (250)	110 ⁹ / ₁₆ (280)	32 ⁹ / ₁₆ (82.0)	185.2 (84)	125.08 (57.0)	10.582 (0.982)	1.00 (4.94)
-4-4	3	98 ³ / ₁₆ (250)	110 ⁹ / ₁₆ (280)	32 ⁹ / ₁₆ (82.0)	123.5 (56)	78.64 (36.0)	10.582 (0.982)	1.55 (5.09)
FV007-3-1	4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	130 (330)	39 ³ / ₁₆ (74.0)	341.8 (155)	217.20 (100.0)	12.722 (1.179)	1.57 (5.17)
-3-2	4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	130 (330)	29 ³ / ₁₆ (74.0)	295.3 (134)	195.46 (89.0)	12.722 (1.179)	1.51 (4.96)
-3-3	4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	130 (330)	29 ³ / ₁₆ (74.0)	222.7 (101)	144.86 (66.0)	12.722 (1.179)	1.54 (5.05)
-3-4	4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	130 (330)	29 ³ / ₁₆ (74.0)	149.9 (68)	94.12 (43.0)	12.722 (1.179)	1.50 (5.23)

NOTE: B - Reaction load.

E - Energy absorbed.

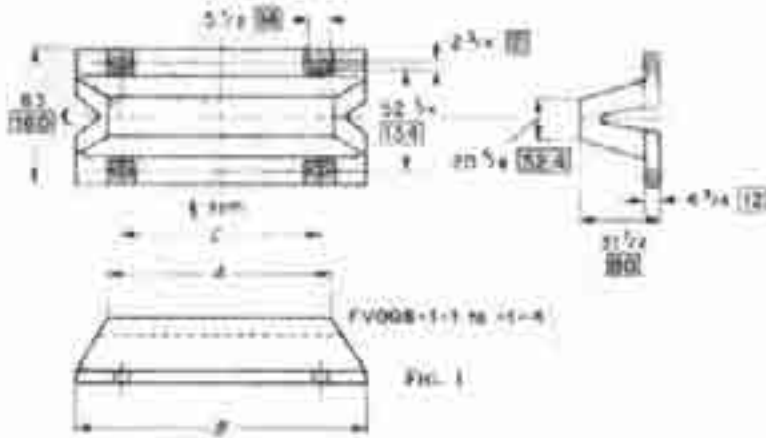
Unless otherwise specified:

- (1) Material: metal parts - steel; elastomers - rubber
- (2) Dimensions in boxes in Fig. 1 are in centimeters.
- (3) Slip of elastomer on all surfaces and edges.
- (4) I.D. of holes coated with rust-preventive coating.
- (5) Rated deflection: 45% of free height.

SOURCE: Load Manufacturing Company, Division of Load Corporation, distributor for Bridgestone Tire Company, Ltd.

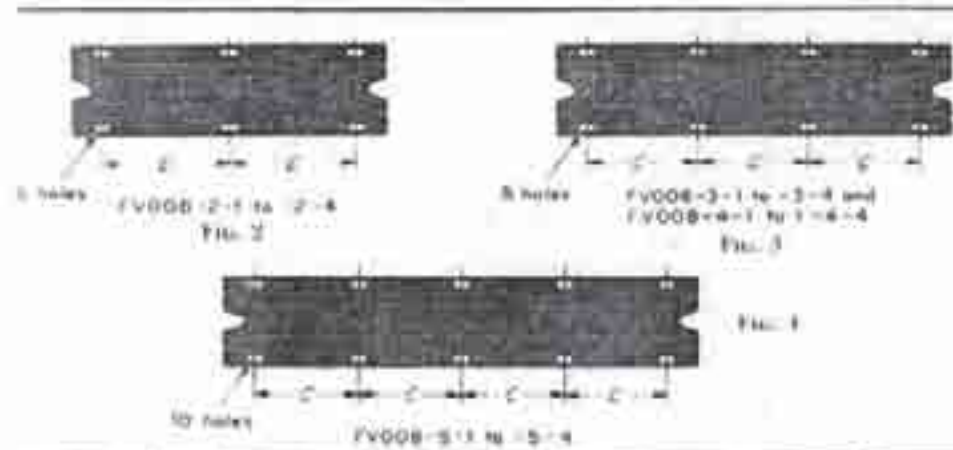
dalam (Quinn 1972)

Tabel 6.11 Kapasitas dan dimensi fender Bridgestone Super-Arch



Part no.	Fig. no.	Dimensions			Load, kips (metric tons)	Energy, ft-kips (metric ton-meters)	Con-tact area, ft ² (meters ²)	R/E, kips/ft-kip (metric tons/metric ton-meter)
		d, in. (cm)	A, in. (cm)	C, in. (cm)				
FV008-1.1	1	39 ¹ / ₂ (100)	35 ¹ / ₂ (110)	40 ¹ / ₂ (104)	152.1 (69)	130.52 (18.0)	5.642 (0.524)	1.17 (3.89)
-1.2	1	39 ¹ / ₂ (100)	35 ¹ / ₂ (110)	40 ¹ / ₂ (104)	152.3 (69)	115.84 (16.0)	5.642 (0.524)	1.14 (3.75)
-1.3	1	39 ¹ / ₂ (100)	35 ¹ / ₂ (110)	40 ¹ / ₂ (104)	99.2 (45)	86.88 (12.0)	5.642 (0.524)	1.14 (3.75)
-1.4	1	39 ¹ / ₂ (100)	35 ¹ / ₂ (110)	40 ¹ / ₂ (104)	66.2 (30)	58.64 (8.1)	5.642 (0.524)	1.13 (3.70)
FV008-2.1	2	59 (150)	74 ¹ / ₂ (190)	30 ¹ / ₂ (77)	227.1 (103)	195.48 (27.0)	8.453 (0.786)	1.16 (3.81)
-2.2	2	59 (150)	74 ¹ / ₂ (190)	30 ¹ / ₂ (77)	198.4 (90)	175.76 (24.0)	8.453 (0.786)	1.14 (3.75)
-2.3	2	59 (150)	74 ¹ / ₂ (190)	30 ¹ / ₂ (77)	149.9 (68)	130.32 (18.0)	8.453 (0.786)	1.15 (3.70)
-2.4	2	59 (150)	74 ¹ / ₂ (190)	30 ¹ / ₂ (77)	99.2 (45)	86.88 (12.0)	8.453 (0.786)	1.14 (3.75)
FV008-3.1	3	78 ¹ / ₂ (200)	94 ¹ / ₂ (240)	20 ¹ / ₂ (68)	304.3 (138)	267.88 (37.0)	11.250 (1.048)	1.14 (3.73)
-3.2	3	78 ¹ / ₂ (200)	94 ¹ / ₂ (240)	20 ¹ / ₂ (68)	264.6 (120)	231.08 (32.0)	11.250 (1.048)	1.14 (3.75)
-3.3	3	78 ¹ / ₂ (200)	94 ¹ / ₂ (240)	20 ¹ / ₂ (68)	198.4 (90)	175.76 (24.0)	11.250 (1.048)	1.14 (3.75)
-3.4	3	78 ¹ / ₂ (200)	94 ¹ / ₂ (240)	20 ¹ / ₂ (68)	132.3 (60)	115.84 (16.0)	11.250 (1.048)	1.14 (3.75)

Tabel 6.11 (lanjutan)



Part no.	Fig. no.	Dimensions			Load, kips (metric tons)	Energy, ft-kips (metric ton-meters)	Contact area, ft ² (meters ²)	R/E, kips/ft-kip (metric ton/metric ton-meter)
		A, in. (cm)	B, in. (cm)	C, in. (cm)				
FY008-4-1	3	98 ⁵ / ₁₆ (250)	114 ⁹ / ₁₆ (290)	33 ³ / ₄ (84.5)	379.3 (172)	325.80 (45.0)	14,200 (1,310)	1.10 (3.82)
-4-2	3	98 ⁵ / ₁₆ (250)	114 ⁹ / ₁₆ (290)	33 ³ / ₄ (84.5)	350.8 (150)	289.60 (40.0)	14,200 (1,310)	1.14 (3.75)
-4-3	3	98 ⁵ / ₁₆ (250)	114 ⁹ / ₁₆ (290)	33 ³ / ₄ (84.5)	249.2 (113)	217.20 (30.0)	14,200 (1,310)	1.15 (3.77)
-4-4	3	98 ⁵ / ₁₆ (250)	114 ⁹ / ₁₆ (290)	33 ³ / ₄ (84.5)	165.4 (75)	144.80 (20.0)	14,200 (1,310)	1.18 (3.75)
FY008-5-1	4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	133 ⁷ / ₈ (340)	20 ¹ / ₂ (76)	454.2 (206)	390.98 (54.0)	16,925 (1,572)	1.10 (3.81)
-5-2	4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	133 ⁷ / ₈ (340)	20 ¹ / ₂ (76)	394.7 (179)	347.32 (48.0)	16,925 (1,572)	1.14 (3.78)
-5-3	4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	133 ⁷ / ₈ (340)	20 ¹ / ₂ (76)	295.5 (134)	260.64 (36.0)	16,925 (1,572)	1.13 (3.72)
-5-4	4	118 ⁹ / ₁₆ (300)	133 ⁷ / ₈ (340)	20 ¹ / ₂ (76)	198.4 (90)	175.76 (24.0)	16,925 (1,572)	1.14 (3.75)

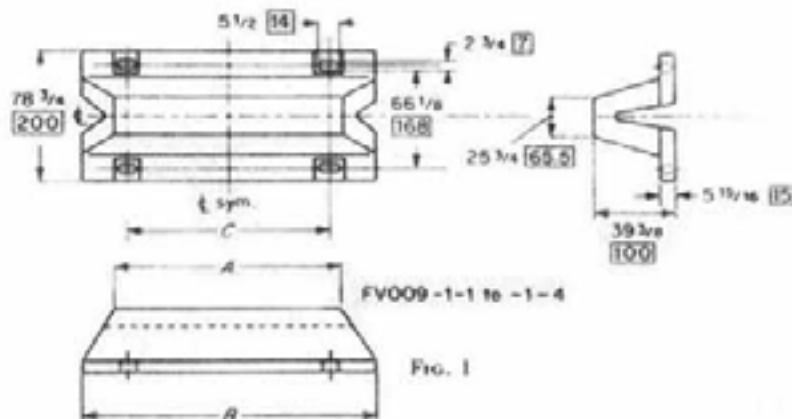
NOTE: R = Reaction load.
E = Energy absorbed.

Unless otherwise specified:

- (1) Material: metal parts—steel, elastomer—rubber.
- (2) Dimensions in boxes in Fig. 1 are in centimeters.
- (3) Skin of elastomer on all surfaces and edges.
- (4) I.D. of holes coated with rust preventive coatings.
- (5) Rated deflection: 45% of free height.

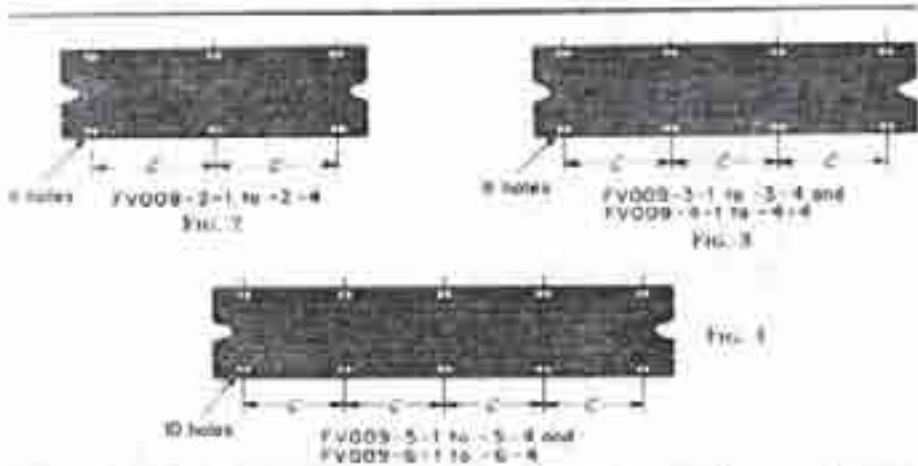
SOURCE: Lord Manufacturing Company, Division of Lord Corporation, distributor for Bridgestone Tire Company, Ltd.

Tabel 6.12 Kapasitas dan dimensi fender Bridgestone Super-Arch



Part no.	Fig. no.	Dimensions			Load, kips (metric tons)	Energy, ft-kips (metric ton-meters)	Contact area, ft ² (meters ²)	R/E, kips/ft-kip (metric tons/metric ton-meter)
		A, in. (cm)	B, in. (cm)	C, in. (cm)				
FV009-1-1	1	39 ³ / ₈ (100)	59 (150)	43 ⁷ / ₁₆ (110)	189.6 (86)	202.72 (28.0)	7.053 (0.655)	.935 (3.07)
-1-2	1	39 ³ / ₈ (100)	59 (150)	43 ⁷ / ₁₆ (110)	165.4 (75)	181.00 (25.0)	7.053 (0.655)	.914 (3.00)
-1-3	1	39 ³ / ₈ (100)	59 (150)	43 ⁷ / ₁₆ (110)	125.7 (57)	137.56 (19.0)	7.053 (0.655)	.914 (3.00)
-1-4	1	39 ³ / ₈ (100)	59 (150)	43 ⁷ / ₁₆ (110)	83.8 (38)	94.12 (13.0)	7.053 (0.655)	.890 (2.92)
FV009-2-1	2	59 (150)	78 ³ / ₄ (200)	31 ¹ / ₂ (80)	284.4 (129)	304.08 (42.0)	10.576 (0.982)	.935 (3.07)
-2-2	2	59 (150)	78 ³ / ₄ (200)	31 ¹ / ₂ (80)	247.0 (112)	267.88 (37.0)	10.567 (0.982)	.922 (3.03)
-2-3	2	59 (150)	78 ³ / ₄ (200)	31 ¹ / ₂ (80)	185.2 (84)	202.72 (28.0)	10.567 (0.982)	.914 (3.00)
-2-4	2	59 (150)	78 ³ / ₄ (200)	31 ¹ / ₂ (80)	123.5 (56)	130.32 (18.0)	10.567 (0.982)	.948 (3.11)
FV009-3-1	3	78 ³ / ₄ (200)	98 ⁷ / ₁₆ (250)	27 ⁹ / ₁₆ (70)	379.3 (172)	405.44 (56.0)	14.104 (1.310)	.935 (3.07)
-3-2	3	78 ³ / ₄ (200)	98 ⁷ / ₁₆ (250)	27 ⁹ / ₁₆ (70)	330.8 (150)	362.00 (50.0)	14.104 (1.310)	.914 (3.00)
-3-3	3	78 ³ / ₄ (200)	98 ⁷ / ₁₆ (250)	27 ⁹ / ₁₆ (70)	247.0 (112)	275.12 (38.0)	14.104 (1.310)	.898 (2.95)
-3-4	3	78 ³ / ₄ (200)	98 ⁷ / ₁₆ (250)	27 ⁹ / ₁₆ (70)	165.4 (75)	181.00 (25.0)	14.104 (1.310)	.914 (3.00)

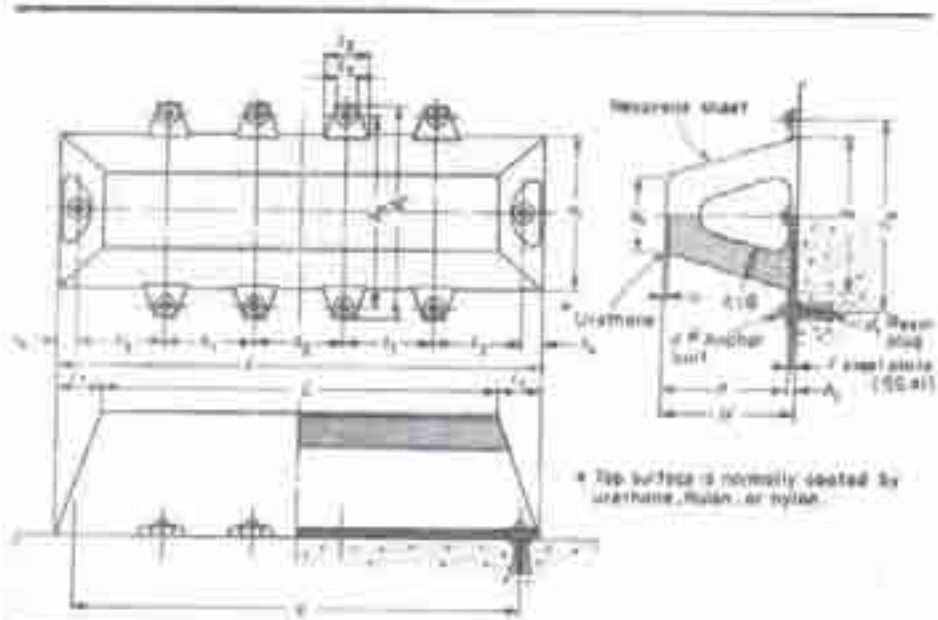
Tabel 6.12 (lanjutan)



Part no.	Fig. no.	Dimensions			Load, kips (metric tons)	Energy, ft-kips (metric ton-meters)	Contact area, ft ² (meters ²)	R/E, kips/ft-kip (metric tons/meter)
		A, in. (cm)	B, in. (cm)	C, in. (cm)				
FV009-4-1	3	98 7/16 (250)	118 9/16 (300)	34 1/16 (86.5)	471.8 (214)	506.80 (70.0)	17.560 (1.638)	.913 (3.00)
	4-2	98 7/16 (250)	118 9/16 (300)	34 1/16 (86.5)	412.3 (187)	456.12 (63.0)	17.560 (1.638)	.904 (2.97)
	4-3	98 7/16 (250)	118 9/16 (300)	34 1/16 (86.5)	308.7 (140)	340.28 (47.0)	17.560 (1.638)	.907 (2.98)
	4-4	98 7/16 (250)	118 9/16 (300)	34 1/16 (86.5)	207.3 (93)	217.20 (30.0)	17.560 (1.638)	.914 (3.01)
FV009-5-1	4	118 9/16 (300)	137 7/16 (350)	30 9/16 (77.5)	568.9 (258)	618.40 (85.0)	21.167 (1.965)	.924 (3.04)
	5-2	118 9/16 (300)	137 7/16 (350)	30 9/16 (77.5)	495.5 (224)	543.00 (75.0)	21.167 (1.965)	.910 (2.99)
	5-3	118 9/16 (300)	137 7/16 (350)	30 9/16 (77.5)	370.1 (168)	405.44 (56.0)	21.167 (1.965)	.914 (3.00)
	5-4	118 9/16 (300)	137 7/16 (350)	30 9/16 (77.5)	247.0 (112)	267.88 (37.0)	21.167 (1.965)	.922 (3.03)
FV009-6-1	4	137 7/16 (350)	157 1/2 (400)	35 1/16 (90)	663.3 (301)	724.00 (100.0)	24.620 (2.292)	.917 (3.01)
	6-2	137 7/16 (350)	157 1/2 (400)	35 1/16 (90)	572.7 (262)	637.42 (88.0)	24.620 (2.292)	.907 (2.98)
	6-3	137 7/16 (350)	157 1/2 (400)	35 1/16 (90)	434.4 (197)	477.84 (66.0)	24.620 (2.292)	.909 (2.98)
	6-4	137 7/16 (350)	157 1/2 (400)	35 1/16 (90)	288.8 (131)	340.28 (47.0)	24.620 (2.292)	.919 (2.79)

Sumber: (Quinn 1972)

Tabel 6.13 Dimensi fender karet Seibu tipe V



Designation	1500H	1000H	800H	600H	500H	400H	300H
H	1,300	1,000	800	600	500	400	300
L	4,000	3,500	3,500	3,000	3,500	3,500	3,000
B	1,235	933	740	550	400	300	265
A	65	65	60	50	40	40	35
J	4,050	4,200	4,100	4,150	4,050	3,950	3,350
L ₁	425	350	300	325	275	225	175
L ₂	400	400	360	285	260	250	195
L ₃	250	200	180	155	100	140	150
L ₄	4,450	3,900	3,840	3,920	3,850	3,780	3,300
S	900	1,200	1,050	1,020	1,000	1,200	1,000
S ₁	900	0	0	0	0	0	0
S ₂	375	750	370	640	325	690	640
S ₃	200	150	150	115	100	85	75
S ₄	2,080	1,600	1,350	1,050	800	710	580
B ₁	815	625	500	375	315	250	180
B ₂	1,025	1,250	1,000	750	625	500	375
B ₃	2,250	1,800	1,350	1,210	1,000	840	645
F	38	35	35	32	25	19	16
S ₅	384	280	225	168	140	108	80
W	10	10	0	6	5	4	3
Bolt d., inches	3	2 3/8	2 3/8	2	1 3/4	1 3/8	1 3/8
Number of bolts	10	8	8	8	8	8	8
Plug d., inches	3	2 3/8	2 3/8	2	1 3/4	1 3/8	1 3/8

Source: Seibu Rubber Chemical Co., Ltd.

dalam (Quinn 1972)

Tabel 6.14 Kapasitas fender karet Seibu tipe V

Type	Energy		Reaction		Deflection	
	ton-meters	ft-kips	tons	kips	mm	in.
<i>Single-fendering system (standard per meter) *</i>						
300H	2.25	16.40	22.5	49.5	135.0	5.31
400H	4.00	29.16	30.0	66.0	180.0	7.09
500H	6.25	45.56	37.5	82.5	225.0	8.86
600H	9.00	65.61	45.0	99.0	270.0	10.63
800H	16.00	116.64	60.0	132.0	360.0	14.17
1000H	25.00	182.25	75.0	165.0	450.0	17.72
1300H	42.25	308.00	97.5	231.0	585.0	23.03
<i>Double-fendering system (standard at 45% deflection) †</i>						
300H	4.5	32.55	19.5	42.69	270	10.60
400H	8.0	57.86	26.0	56.92	360	14.17
500H	12.5	90.41	32.5	71.15	450	17.71
600H	18.0	130.19	39.0	85.38	540	21.26
800H	32.0	231.46	52.0	113.84	720	28.35
1000H	50.0	361.65	65.0	142.30	900	35.43
1300H	84.5	611.19	84.5	184.99	1,170	46.06

* Deflection 45%.

† Type: of 1 unit. Length of 1 unit of fenders is 1 meter.

SOURCE: Seibu Rubber Chemical Co., Ltd.

dalam (Quinn 1972)

Tabel 6.15 Dimensi fenderSeibu tipe H

H	A	B	C	D	E	F	G	p_1	p_2	a	B_0	Size of resin plug, in.
600	1,300	900	45	510	45	200	95	555	0	125	1,300	1 $\frac{3}{4}$
	1,700	1,200	45	510	45	250	100	750	0	150	1,600	
800	1,400	1,000	50	700	50	200	95	490	230	150	1,400	1 $\frac{3}{4}$
1,000	1,650	1,250	55	890	55	200	95	560	340	150	1,650	2
1,400	2,190	1,750	65	1,270	65	220	100	730	530	200	2,190	2
1,700	2,600	2,130	80	1,540	80	235	110	900	580	250	2,600	2 $\frac{1}{2}$
2,000	3,000	2,500	90	1,820	90	250	120	1,060	640	300	3,000	3
L	1,500			2,000			2,500					
H	600	1,000	1,700	600	1,000	1,700	600	1,000	1,700	600	1,000	1,700
	800	1,400	2,000	800	1,400	2,000	800	1,400	2,000	800	1,400	2,000
I_2	150	150	.....	150	150	150	140	140	140	140	140	140
p_3	600	600	.....	850	850	850	740	740	740	740	740	740
n_3	2	2	.....	2	2	2	3	3	3	3	3	3
I_4	300	300	.....	550	550	550	350	350	350	350	350	350
p_4	900	900	.....	900	900	900	900	900	900	900	900	900
n_4	1	1	.....	1	1	0	2	2	2	2	2	2
L_0	1,500	1,750	.....	2,000	2,300	2,500	2,500	2,900	3,150	3,150	3,150	3,150
	1,700	1,800	.....	2,300	2,400	2,600	2,800	3,000	3,200	3,200	3,200	3,200
L	3,000			3,500			4,000					
H	600	1,000	1,700	600	1,000	1,700	600	1,000	1,700	600	1,000	1,700
	800	1,400	2,000	800	1,400	2,000	800	1,400	2,000	800	1,400	2,000
I_2	150	150	150	150	150	150	160	160	160	160	160	160
p_3	900	900	900	800	800	800	920	920	920	920	920	920
n_3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
I_4	600	600	600	400	400	400	650	650	650	650	650	650
p_4	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900
n_4	2	2	2	3	3	3	5	5	5	5	5	5
L_0	3,000	3,500	3,750	3,500	4,000	4,400	4,000	4,600	5,000	5,000	5,000	5,000
	3,400	3,600	3,800	3,900	4,200	4,450	4,500	4,800	5,100	5,100	5,100	5,100

* Dimensions in millimeters. See Fig. 5.52.
SOURCE: Seibu Rubber Chemical Co., Ltd.

dalam (Quinn 1972)

Tabel 6.16 Kapasitas fenderSeibu tipe H

L	1,500		2,000		2,500		3,000		3,500		4,000	
	E	R	E	R	E	R	E	R	E	R	E	R
<i>Performance at 45% deflection</i>												
600	9.6	48	12.7	57	15.9	71	19.1	85	22.3	99	25.5	113
800	17.0	57	22.7	75	28.4	94	34.0	113	39.7	132	45.3	150
1,000	26.6	71	35.4	94	44.3	118	53.1	141	62.0	165	70.8	188
1,400	52.1	99	69.4	132	86.8	165	104.2	198	121.5	230	138.8	263
1,700	76.9	120	102.3	160	128.0	200	153.5	240	179.2	280	204.6	320
2,000	106.4	141	141.6	188	177.2	235	212.2	282	248.0	329	283.2	376
<i>Performance at 50% deflection</i>												
600	10.9	48	14.5	64	18.2	80	21.8	96	25.5	112	29.0	127
800	19.4	64	25.8	85	32.3	106	38.8	127	45.2	149	51.7	170
1,000	30.3	80	40.4	106	50.5	133	60.6	159	70.7	186	80.8	212
1,400	59.4	112	79.2	148	99.0	186	118.8	223	138.5	260	158.3	297
1,700	87.6	136	116.7	180	146.0	226	175.0	270	204.3	316	233.5	360
2,000	121.2	160	161.6	212	202.0	266	242.4	318	282.8	372	323.2	424

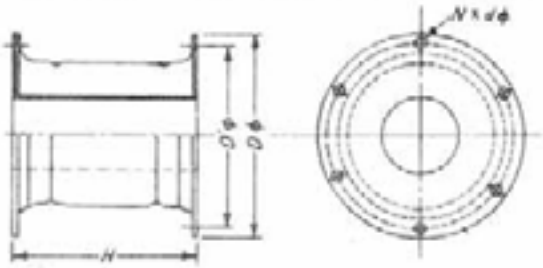
E Energy absorption, ton-meters
 L Length of fender, mm

R Reaction force, tons
 H Height of fender, mm

SOURCE: Seibu Rubber Chemical Co., Ltd.

dalam (Quinn 1972)

Tabel 6.17 Kapasitas dan dimensi fender Bridgestone Cell Dock



Energy $\pm 10\%$, ft-kips (metric ton- meters)	Reaction force $\pm 10\%$, kips (metric tons)	R/E,* kips/ ft-kip (metric tons/ metric ton)	p/n	Height H, inches	D' ϕ , inches	D ϕ , inches	Num- ber of holes	d ϕ , bolt diam- eter, inches	Bolt size, inches	Weight, lb (kg)	Maxi- mum bulge O.D., inches (mm)
7.24 (1.0)	14.3 (6.5)	1.97 (6.25)	FT 7	15.8 (40)	21.67 (55)	25.6 (65)	4	1.02 (2.60)	1		
15.20 (2.1)	24.2 (11.0)	1.56 (5.26)	FT 8	19.7 (50)	21.67 (55)	25.6 (65)	4	1.10 (2.80)	1		
30.40 (4.2)	38.5 (17.5)	1.26 (4.16)	FT 1	24.8 (63)	27.6 (70)	33.5 (85)	4	1.26 (3.2)	1 3/4	380 (171)	18.9 (48)
61.5 (8.5)	61.7 (28)	1.0 (3.33)	FT 2	31.5 (80)	35.4 (90)	41.3 (105)	6	1.38 (3.5)	1 3/4	980 (445)	26.4 (67)
123.0 (17.0)	98 (44.5)	0.80 (2.63)	FT 3	39.4 (100)	43.3 (110)	51.2 (130)	6	1.65 (4.2)	1 3/4	1,800 (813)	37 (94)
246.0 (34.0)	156.2 (71.0)	0.64 (2.08)	FT 4	49.2 (125)	57.1 (145)	65.0 (165)	6	1.89 (4.8)	1 3/4	3,200 (1,450)	46 (117)
492.0 (68.0)	245.0 (111.5)	0.50 (1.64)	FT 5	65.0 (160)	70.9 (180)	78.7 (200)	8	2.16 (5.5)	2	6,620 (3,000)	59 (150)
985.0 (136.0)	391.0 (177.5)	0.40 (1.30)	FT 6	78.7 (200)	78.7 (200)	86.6 (220)	8	2.68 (6.8)	2 3/4	9,700 (4,400)	71 (180)

* R Reaction load.

E Energy absorbed.

SOURCE: Lord Manufacturing Company, Division of Lord Corporation, distributor for Bridgestone Tire Company, Ltd.

dalam (Quinn 1972)

Tabel 6.18 Fender karet Pneumatic Yokohama

Nominal size. (diameter × length), feet (mm)	Mini- mum fen- ders (thick- ness, inches	Approx. fender weights, lb	Ap- prox. weights of wire nets with rubber sleeves, lb	Work- ing pres- sure, psi	Test- ing pres- sure, psi	Fender deflected 50% of diameter				Fender (with sponges in- side) de- flected 55% of diameter †			
						Standard values *		Maximum values		R, kips	E, ft- kips	R, kips	E, ft- kips
						R, kips	E, ft- kips	R, kips	E, ft- kips				
1.0ø global type (300ø global type)	0.354	8.8	.....	7.11	42.7	2.07	0.53	2.91	0.46			
1.6ø global type (500ø global type)	0.394	22	.....	7.11	35.6	3.15	0.91	4.41	1.27			
2.3 × 4.91 (700 × 1,500)	0.354	152	88	2.84	11.4	11.9	3.62	16.8	3.06	18.7	6.2		
3.3 × 4.91 (1,000 × 1,500)	0.354	276	99	2.84	11.4	15.4	6.51	22.0	9.40	23.8	10.6		
3.3 × 6.61 (1,000 × 2,000)	0.433	329	154	3.69	21.3	30.6	14.5	42.1	21.0	49.4	25.5		
3.9 × 6.61 (1,200 × 2,000)	0.472	661	176	3.69	21.3	35.1	19.5	48.5	27.5	52.9	28.9		
4.4 × 8.21 (1,350 × 2,500)	0.472	1,010	245	3.69	21.3	50.9	32.5	69.9	45.6	82.0	55.7		
4.9 × 9.81 (1,500 × 3,000)	0.472	1,340	485	3.69	21.3	69.0	49.9	94.8	69.4	111	85.3		
5.6 × 9.81 (1,700 × 3,000)	0.472	1,870	595	3.69	21.3	75.8	60.7	105	85.3	125	105		
6.6 × 11.51 (2,000 × 3,500)	0.512	2,930	926	3.69	28.4	104	97.6	143	138	141	188		
8.2 × 18.01 (2,500 × 5,500)	0.709	1,680	1,410	7.11	28.4	245	305	333	423				
10.8 × 21.31 (3,300 × 5,500)	0.827	5,730	2,050	7.11	35.6	439	723	556	996				
14.8 × 29.51 (4,500 × 9,000)	1.06	11,000	3,640	7.11	35.6	851	1,920	1,080	2,640				

R Reaction load.

E Energy absorbed.

* Standard values are recommended for strict calculation.

† These values have some variations.

‡ Fenders with sponges inside for safety. Sling-type fenders which need no wire nets are also available.

§ These have safety valves at ends of fenders, instead of sponges.

source: Yokohama Rubber Co., Ltd.

dalam (Quinn 1972)

6.5.3 Disain Umum Fender

Benturan maksimum yang disebabkan oleh kapal yang membentur dermaga ketika merapat didasarkan pada asumsi tertentu dari operasi kapal menyangkut sudut dan kecepatan saat merapat ke dermaga. Dalam perancangan biasanya kapal dianggap terisi penuh (*displaced tonnage*) dan pendekatan merapat dengan sudut 10° ke muka dermaga, seperti yang ditunjukkan pada Gambar.6.43. Hal ini mudah dilihat bahwa haluan kapal akan membentur fender, dan hanya sekitar dari kapasitas kapal yang akan efektif dalam menciptakan energi tumbukan yang akan diserap oleh fender dan dermaga. Kecepatan pendekatan harus diasumsikan dan bahwa di sini ada ketidakpastian sangat besar, terutama karena efeknya pada energi bervariasi sebagai kuadrat kecepatan. Kecepatan kapal harus dikonversi ke dalam komponen normal ke dermaga, dan pengalaman telah menunjukkan bahwa kecepatan ini akan berada di antara 0,15 dan 1,0 ft per detik, angka terakhir yang berhubungan dengan kecepatan pendekatan sekitar $3\frac{1}{2}$ knot pada sudut 10° ke muka dermaga. Secara umum, kecepatan dari 0.5 sampai 1,0 ft per detik adalah normal dan diasumsikan untuk muka dermaga terkena benturan lebih, kapal-kapal berlabuh diasumsikan tanpa bantuan kapal tunda, dan untuk kapal tonase ringan, sedangkan kecepatan di bawah 0,5 ft per detik berlaku untuk kapal-kapal yang lebih berat akan merapat di lokasi yang dilindungi atau dengan bantuan kapal tunda.

Dampak Energi kinetik adalah, $E = \frac{1}{2} Mv^2$ dan, W/g untuk massa M , E menjadi

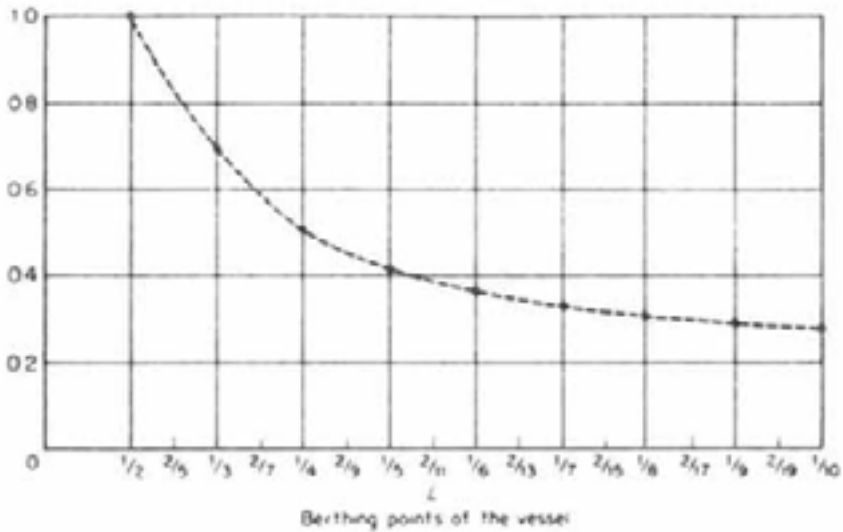
$$\frac{1}{2} x (W/g) x v^2 \quad (6.1)$$

dimana E = energi, (ft-tons (2,240 lb)
 W = berat displaced kapal, long tons
 v = kecepatan normal kapal merapat, ft per sec
 g = gaya gravitasi, 32.2 ft/dt²

Displacement kapal $W = C_b \cdot L \cdot B \cdot D \cdot j$ (6.2)

dimana: C_b = block coefficient (0,65 – 0,75)
 L = panjang kapal (m)
 B = lebar kapal (m)
 D = draft maximum kapal (m)
 j = berat volume air laut (1,03 t/m³)
 W = displacement kapal (ton)

Energi yang akan diserap oleh sistem fender dan dermaga biasanya diambil untuk menjadi $\frac{1}{2}E$, tetap diasumsikan setengah yang diserap oleh kapal dan air, karena rotasi pusat massa dari kapal sekitar titik kontak dari haluan dengan fender, dan diasumsikan pada titik seperempat dari panjang kapal. Untuk titik kontak merapat lainnya dari kontak kapal dengan dermaga. Seibu Karet Chemical Co, Ltd, telah mengembangkan kurva nyaman (Gbr. 6.42) untuk menentukan faktor K



Gambar 6.42 Garfik titik merapat untuk menentukan factor K dalam persamaan energy

equation

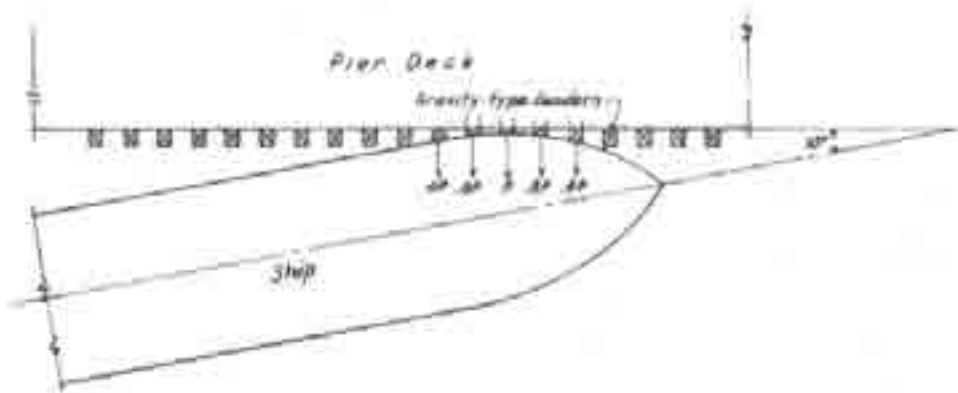
$$E = \frac{WV^2}{2g} \times K \quad K = \frac{1}{1 + (lr)^2}$$

where K = coefficient decided by method of approaching, $r = \frac{1}{4} L$, L = length of vessel, and l = distance from gravity center of vessel to point contact projected along water line of pier. (From Seibu Rubber Chemical Co, Ltd.)

Sumber: dalam (Quinn 1972)

dalam persamaan $E = \frac{WV^2}{2g} k$ Sebagai contoh, jika titik merapat/berlabuh adalah sepertiga bukannya seperempat panjang kapal, faktor K adalah sekitar 0,7 bukan seperti yang diasumsikan 0,5 dari energi yang ditransfer ke dermaga akibat benturan. Jelas, jika benturan pada setengah panjang kapal atau pusat gravitasi diasumsikan tidak ada rotasi kapal, dan seperti yang ditunjukkan pada kurva faktor K adalah 1, dan semua energi dampak ditransmisikan ke dermaga. Dengan asumsi energi yang akan menjadi $\frac{1}{2}E$, itu harus diserap oleh sistem fender dermaga dan dalam mengantar kapal untuk bertambat. Perlawanan meningkat dari nol sampai maksimum, dan kerja yang dilakukan oleh dermaga adalah $\frac{1}{2}F x d$. Oleh karena itu, $\frac{1}{2}E = \frac{1}{2}F$

$x d$ yang merupakan kerja yang dilakukan oleh dermaga dalam menyerap energi, Dimana F = gaya yang harus dilawan (long tons), dan d = jarak perpindahan gaya (ft), dan merupakan kompresi elastis dari fender dan / atau lendutan dari fender dan struktur. d diasumsikan untuk kayu adalah ketebalan (ft), dibagi dengan 20. Sistem fender dirancang untuk menyerap energi ini, dan kekuatan yang dihasilkan akan dilawan oleh dermaga yang tergantung pada jenis dan fender dan defleksi dermaga, jika dirancang sebagai struktur yang fleksibel.



Gambar 6.43 Kapal membentur dermaga dengan system fender gravitasi

Beberapa pihak menyarankan bahwa tidak cukup untuk mempertimbangkan hanya massa kapal bergerak, tetapi ketika gerakan kapal tersebut tiba-tiba terhambat/diperiksa harus mempertimbangkan efek dari air laut bergerak bersama dengan kapal bergerak. Efek seperti gumpalan air bergerak dianggap berat tambahan yang harus ditambahkan dengan berat kapal. Berat tambahan tersebut dapat didekati dengan menyamakan dengan berat gumpalan silinder air sepanjang kapal dan diameter sama dengan draft kapal. Ini dapat dinyatakan sebagai

$$W = \frac{\pi}{4} D^2 L \rho \omega \quad (6.3)$$

Dimana D = draft kapal, ft

L = panjang kapal, ft

$\rho \omega$ = kepadatan air laut (0.0287 long ton/cu ft)

Berat tambahan ini dapat diabaikan apabila kapal tersebut berlabuh pada dermaga terbuka atau dolphin tiang pancang, di mana ada sedikit halangan air bergerak bersama kapal. Dalam hal apapun, efek dari berat tambahan kapal relatif kecil dibandingkan dengan efek pada energi dari variasi kecepatan kapal ketika membentur dermaga, efek terakhir yang bervariasi sebagai kuadrat dari kecepatan kapal. Pemilihan kecepatan kapal yang

tepat merupakan faktor yang lebih penting dalam mendapatkan energi yang akan digunakan dalam perancangan struktur, dan untuk alasan itu biasanya mengabaikan berat tambahan dalam mempertimbangkan efek yang mungkin dari berat tambahan kapal yang dihasilkan dari gumpalan air yang diasumsikan bergerak dengan kapal.

Permanent International Associations of Navigation Congress (PIANC, 1984) memberikan perumusan sebagai berikut:

$$E = 0,50 \cdot C_E \cdot C_S \cdot C_M \cdot M \cdot V^2 \quad (6.4)$$

dimana:

C_E : faktor eksentrisitas, untuk kapal yang diukur dari titik kontak = 0,50

C_S : Softness factor, untuk fender yang lembut = 1. Sedangkan untuk fender yang keras = 0,90

C_M : factor massa

$$\frac{M + \left(\frac{\pi}{4} L D^2 \cdot \rho_w\right)}{M}$$

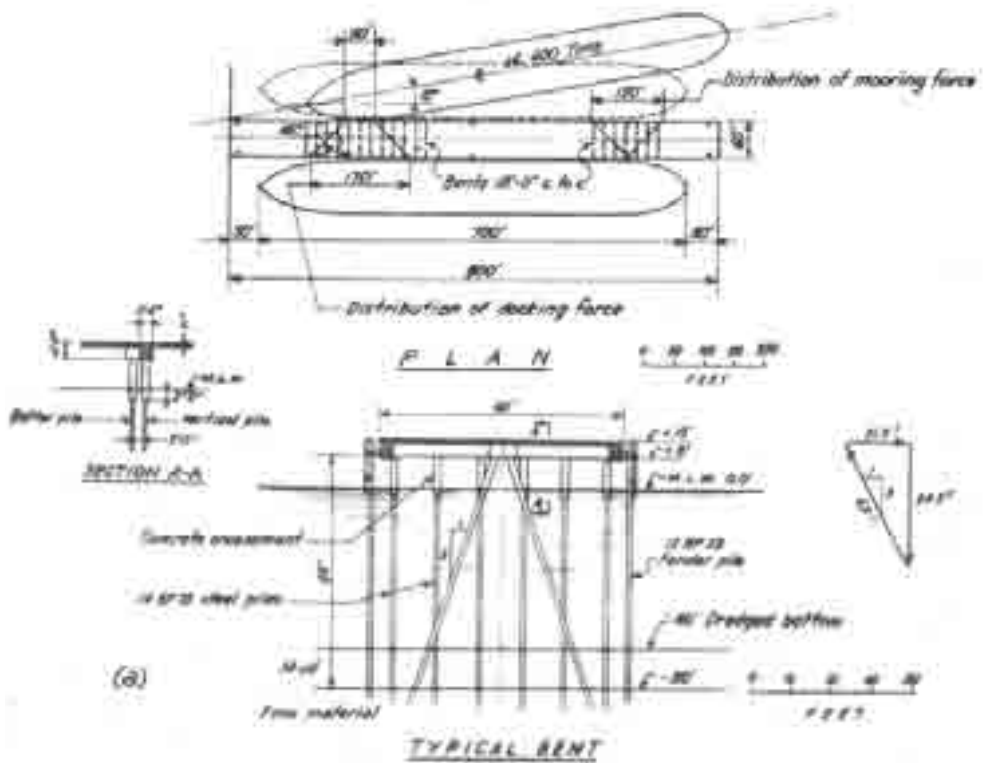
M = displacement tonase kapal (ton)

L = panjang kapal

D = draft kapal keadaan beban penuh (meter)

ρ_w = berat volume air laut = 1,03 t/m³

Finger Pier



Gambar 6.44 Finger pier: rencana dan tipikal penyebaran beban
Sumber: (Quinn 1972)

Angin

Gaya yang ditimbulkan oleh angin yang bekerja tegak lurus sumbu memanjang kapal dihitung dengan rumus

$$R_W = 0,7 \cdot A \cdot P_{\text{angin}} \tag{6.5}$$

dimana:

A = luas lambung kapal yang menerima gaya angin. Koefisien diambil 0,7 karena tidak seluruh bidang kapal yang menerima gaya angin (karena bentuk kapal)

$$P_{\text{angin}} = 40 \text{ kg/m}^2 \text{ (PMI-81)}$$

Atau:

$$R_W = C_W \cdot A \cdot P \text{ (kg)} \tag{6.6}$$

dimana:

- C_w = koefisien angin, yaitu angin datang ditambah angin isap (=0,4)
 = $0,9 + 0,4 = 1,3$ (Quinn 1972)
 A = luas lambung kapal
 P = tekanan stagnasi angin (kg/m²)
 = $v/16$, v = kecepatan angin (m/det) atau $P = 0,0025 v^2$ (Quinn 1972)

Arus pasang surut

Arus sejajar sumbu kapal

$$R_s = 0,06 \cdot Q_w \cdot B \cdot D \cdot \left(1 + \frac{D}{h}\right)^2 \quad (6.7)$$

dimana:

- R_s = gaya akibat arus (kg)
 Q_w = tekanan stagnasi = $P \cdot V^2$ $\left(\frac{\text{kg det}^{-2}}{\text{m}^2}\right)$
 P = kerapatan air laut = 104,5 $\left(\frac{\text{kg det}^{-3}}{\text{m}^3}\right)$
 V = kecepatan arus (m/det)
 D = sarat kapal (m)
 B = lebar kapal (m)
 h = tinggi (kedalaman) air pada air terendah (m)

6.6 Tiang Dermaga

Desain tiang pancang untuk dermaga berbeda dengan tiang pancang pada umumnya. Tiang pancang pada dermaga disamping sebagai pondasi yang menyokong dermaga juga berfungsi sebagai kolom. Analisa dan perencanaan tiang pancang pelabuhan terlebih dahulu diperhatikan beban atau gaya-gaya yang bekerja pada tiang pancang yaitu:

1. Gaya-gaya vertikal yang bekerja pada dermaga yaitu akibat berat sendiri dan beban hidup
2. Gaya-gaya horisontal yaitu: docking impact, angin dan arus, tarikan bolder dan gaya gempa.

Setelah diketahui beban-beban yang bekerja selanjutnya direncanakan ukuran tiang pancang kemudian rencana ini dikontrol antara lain meliputi:

a. Akibat pengangkutan

$$M_{\max} = \frac{1}{8} q l^2$$

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} < \bar{\sigma}$$

b. Berdasarkan kekuatan bahan tiang pancang

P bahan (ton) > P beban

c. Berdasarkan kekuatan tanah \longrightarrow Daya dukung tanah > beban tiang

1. Sondir = C

SPT (Standard Penetration Test) \longrightarrow N = 60

Daya dukung tiang pancang = $\frac{C}{10} \cdot A$, dimana A = luas penampang tiang pancang

Perbandingan N dalam SPT digunakan hubungan dengan nilai standar sebagai berikut:

$$q_c = 6N$$

$$\left. \begin{array}{l} Q_1 = \frac{C}{10} \cdot A \\ Q_2 = \frac{q_c \cdot A}{dx10} \end{array} \right\} Q = Q_1 + Q_2 > \text{beban tiang}$$

$$2. Q = \frac{C}{3} \cdot A + \frac{JHP \cdot O}{5} > \text{beban tiang}$$

$$3. Q = \frac{C \cdot A}{N}$$

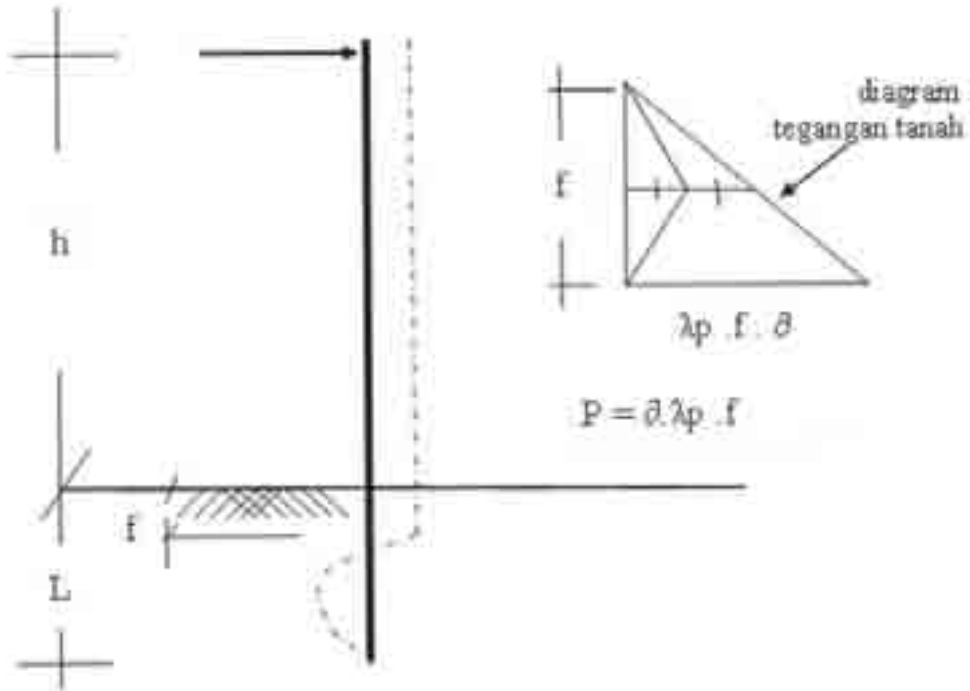
$$q_{ult} = 1,3 CN_c + \partial_1 ZN_z + 0,3D\partial_2 N_j$$

$$Q_{cleff} = A \cdot Q$$

$$Q = Q_{\text{konus}} + Q_{\text{clef}} > \text{beban tiang}$$

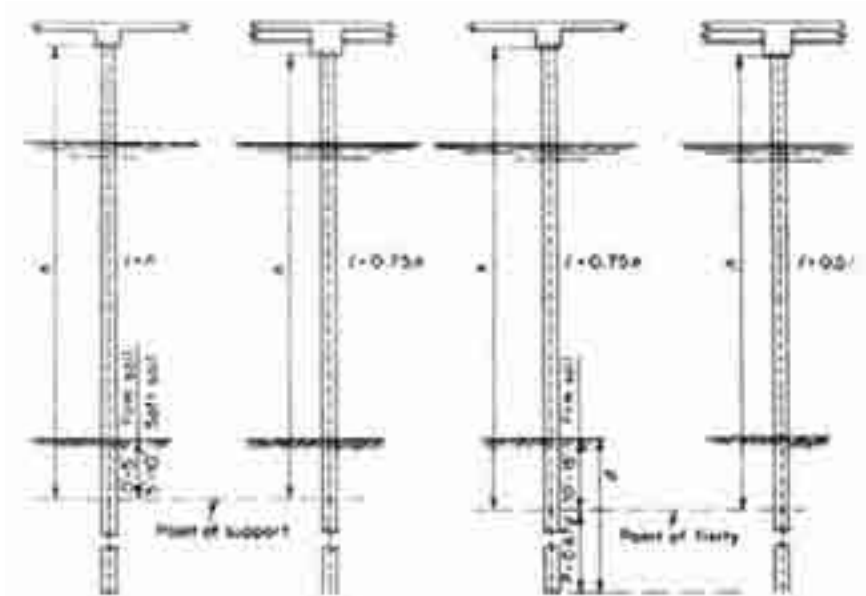
Dalam merancang tiang untuk menerima beban tertentu perlu mengetahui kondisi dukungan di kedua bagian tiang yaitu atas dan bawah karena dalam konstruksi dermaga tiang harus dirancang sebagai kolom panjang. Tiang dapat dianggap jepit jika ujung-ujungnya dicegah untuk berputar. Ini berarti bahwa untuk tiang vertikal sumbu tiang harus tetap vertikal pada ujung-ujungnya. Untuk ketetapan di atas adalah penting bahwa dermaga menjadi konstruksi berat dan tiang menjadi kaku menyatu dengan dermaga.

Perhitungan tekanan perlawanan tanah bila mendapat gaya horisontal. Momen maximum akibat gaya horizontal terjadi dimana pergeseran akan mengakibatkan titik *fixed point* sedalam f dari permukaan tanah tanah (lihat Gambar 6.45). Misal $\theta = 32^\circ$; $\delta = 1,39$ maka $\lambda_p = \text{tg}^2(45 + \theta/2) = 3,255$; $P = \lambda_p \cdot \delta \cdot f$ bias didapat, selanjutnya dicari titik tangkap E total. Perlawanan tanah tiap tiang pancang harus $> H$ kombinasi, apabila $<$ maka dibutuhkan bantuan tiang miring. Oleh karena itu, jika tiang jepit di atas tetapi tidak di



Gambar 6.45 Gaya horizontal pada tiang dermaga

bagian bawah, panjang efektif untuk desain 0.75 panjangnya dari titik tangkap di bagian bawah. Jika konstruksi dermaga ringan seperti kayu atau baja ringan, bagian atas tiang tidak dapat dianggap sebagai jepit, dan panjang efektif tiang kemudian menjadi jarak antara titik penyangga di atas (biasanya bagian bawah dermaga) dan titik penyangga di bagian bawah. Berbagai kondisi ditunjukkan pada Gambar. 6.46. Setelah panjang efektif tiang ditentukan beban yang diijinkan dapat dihitung.



Gambar 6.46 Panjang efektif tiang pancang untuk berbagai kondisi: (a) ujung tiang tidak fixed; (b) atas fixed bawah tidak fixed; (c) bawah fixed, atas tidak; (d) kedua ujung fixed. l = panjang efektif

Tiang pancang dari beton, biasanya lebih banyak digunakan untuk dermaga dibandingkan dengan tiang pancang lainnya. Karena, disamping dimensinya bias lebih ramping, yang terutama sekali karena beton lebih tahan pada air yang mengandung garam tanpa perlu ada biaya-biaya pemeliharaan. Di Indonesia cukup populer karena sebagian besar bahannya menggunakan bahan local yang ada di hamper setiap lokasi di Indonesia kecuali mungkin semen, besi dan alat prategang kalau menggunakan beton pratekan. Walaupun begitu ada juga keterbatasannya. Salah satunya yang terpenting menyangkut panjang tiang dan penyambungan tiang.

Tiang pancang baja, akhir-akhir ini penambahan draft dan ukuran kapal konstruksi dermaga yang dibangun akan lebih besar dan lebih kuat menyebabkan kebutuhan akan dermaga akan semakin besar dengan kedalaman yang lebih besar. Untuk menanggulangi hal tersebut pemakaian baja untuk tiang pancang sangat populer karena relative ringan dan dapat dengan mudah disambung/di las untuk mendapatkan panjang yang sesuai dengan kebutuhan.

Kelemahan yang utama adalah perlunya perawatan berkala untuk menghindari karat dan pada umur tertentu sudah harus diganti.

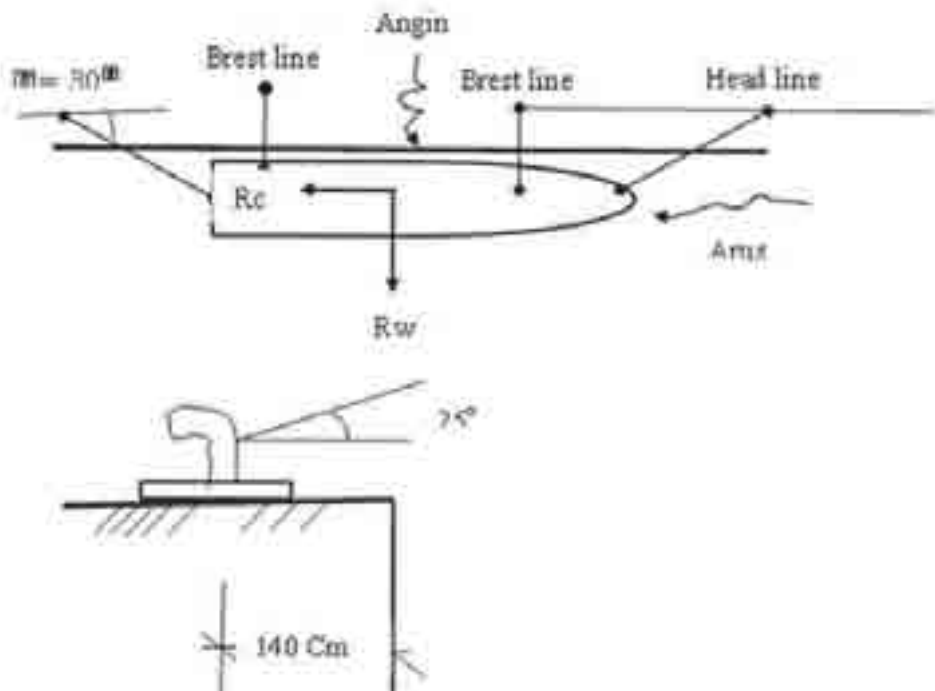
6.7 Bolder

Gaya tarik kapal (*mooring force*) ditentukan berdasarkan pengaruh gaya akibat angin dan arus yang bekerja pada kapal yang sedang bertambat alat tambat untuk menahan tarikan kapal disebut bolder. Sehingga kapasitas bolder cukup ditentukan atas dasar kecepatan angin dan arus maksimum yang diijinkan sehubungan dengan manuver dan bertambat yang moderat bagi kapal, sebagai berikut:

- angin, V_{maximum} : 40 knot = 20,63 m/detik
- arus V_{maksimum} 3 knot = 1,547 m/detik.

Sedangkan menurut Peraturan Muatan Indonesia untuk Gedung, 1981 (PMI, 1981), tekanan tiup harus diambil minimum 40 kg/m² yaitu setara dengan 25,3 m/dt > 20,63 m/dt. Dalam perencanaan biasanya nilai ini yang diambil sebagai dasar perencanaan.

Gaya tambat kapal (*mooring force*) dihitung dengan anggapan bahwa tali pengikat kapal membentuk sudut $\alpha = 30^\circ$ terhadap sumbu memanjang dermaga (pada bidang horisontal) dan sudut vertikal = 25° seperti ditunjukkan pada Gambar 6.47



Gambar 6.47 Sudut tali pengikat kapal pada bolder

6.8 Desain Umum Dermaga

Misal dermaga yang direncanakan untuk melayani kapal barang umum dengan tonase 10.000 DWT dari Tabel 2.9 di dapat:

- panjang kapal (L) = 141 m
- lebar kapal (B) = 19,4 m
- draft kapal = 8,2 m
- kecepatan merapat = 0,5 ft/dt = 0,15 m/dt

A. Perhitungan pelat lantai Dermaga

1. Momen akibat berat sendiri
2. momen akibat beban pangkalan
3. momen akibat mobile blasting
4. kombinasi momen
5. penulangan pelat lantai dermaga

B. Perencanaan Fender

Displacement kapal $W_1 = C_2 \cdot L \cdot B \cdot D \cdot \rho_w$

$$= 0,7 \cdot 141 \cdot 19,4 \cdot 8,2 \cdot 1,03$$

$$= 16.172,23 \text{ ton}$$

Additional weight $W_2 = \frac{1}{4} \pi D^2 \cdot \rho_w \cdot L$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (8,2)^2 \cdot 1,03 \cdot 141$$

$$= 7,665,73 \text{ ton}$$

$$W_1 + W_2 = 23.837,96 \text{ ton}$$

Energi tumbukan kapal $E = \frac{1}{2} M V^2$

$$= \frac{1}{2} \frac{23.837,96 \cdot (0,15)^2}{9,8}$$

$$= 27,36 \text{ ton m}$$

Energi yang diserap fender adalah 50 % = 27,36/2 = 13,68 tm

Dari Tabel 6.13 misalnya kita rencanakan tipe fender Seibu 300 H

$$\left. \begin{array}{l} H = 300 \text{ mm} \\ L = 3.000 \text{ mm} \end{array} \right\} \text{ dari Tabel 6.14 double fendering} = 4 \text{ tm}$$

Energi yang diterima tiap meter = 13,68/3 = 4,56 tm > E tabel (tidak memenuhi) diganti tipe fender 400 H

$$\left. \begin{array}{l} H = 400 \text{ mm} \\ L = 4.000 \text{ mm} \end{array} \right\} \text{ dari Tabel 6.14 double fendering} = 8 \text{ tm}$$

Energi yang diterima tiap meter = $13,68/4 = 3,42 \text{ tm} < E \text{ tabel (OK)}$
Jadi dipakai fender Seibu double fendering system 400 H

Dengan cara Permanent International Association of Navigation Congress (PIANC, 1984)

$$\begin{aligned} E &= 0,50 \cdot C_E \cdot C_s \cdot C_M \cdot V^2 \text{ (tm)} \\ M &= 4/3 \cdot 10.000 = 13.300 \text{ ton} \\ \text{Additional weight} &= 7,665.73 \text{ ton} \\ \text{Virtual weight} &= 13.300 + 7.665 = 21.171 \text{ ton} \\ C_M &= 21.171/13.300 = 1,59 \\ E &= 0,50 \cdot 0,50 \cdot 1 \cdot 1,59 \cdot 13.300/9,8 \cdot 0,15^2 \\ &= 12,13 \text{ tm} \end{aligned}$$

Dalam perencanaan ini dianggap kapal membentur 2 buah fender bersamaan (two fender contact) sehingga energy yang ditahan tiap fender:

$$E = \frac{1}{2} \cdot 12,13 = 6,06 \text{ tm}$$

Bila fender dipasang tegak dan tiap fender 1,
Tiap m! menyerap energi = 6,06 tm
adi dipakai fender Seibu double fendering system 400 H

Langkah-langkah Perhitungan Lainnya

Lebar bidang tumbukan = $0,1 \times$ panjang kapal (meter) dari hasil perhitungan lebar bidang tumbukan di dapat misalnya ada sedikitnya 3 buah tiang fender yang menerima energi.

Jadi 2 fender pile menerima = $2/3 \times 1/2 E$ (ton meter) kemudian lihat grafik Gambar 6.40.

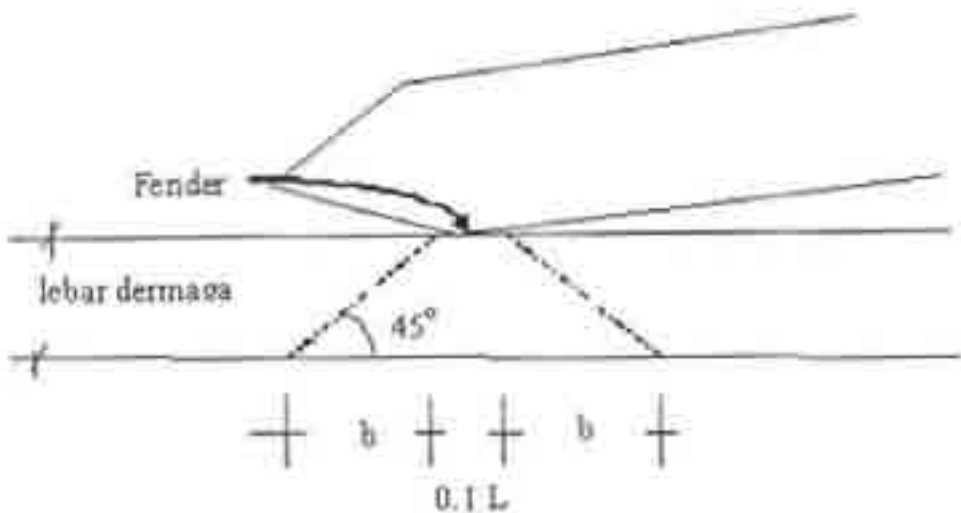
Karena pada Grafik dalam inch kips maka (ton meter) dirubah menjadi inch kips.

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ ton} = 7,2375 \text{ kips} \\ (\text{inch}) \\ 1 \text{ meter} = 39,37 \text{ inch} \end{array} \right\} \text{ dari Grafik Gambar 6.40 didapat } \textit{compression deflection}$$

Hasil compression deflection ini dimasukkan kedalam grafik Gambar 6.41 didapat compression load (Gaya fender terhadap tiang pancang) dalam (kips) kemudian kita rubah menjadi ton. Docking impact yang telah diserap oleh sistem fender menghasilkan reaksi fender = compression load (ton) dengan bidang penyebaran pada dermaga selebar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.45 yang disebarkan keseluruhan lebar dermaga dengan sudut penyebaran 45°.

Jika jarak portal 4 meter dan lebar dermaga 20 meter, maka gaya *docking impact* tersebut diterima oleh:

$$\text{Jumlah portal} = \frac{2b+0.1L}{4} \quad (\text{portal})$$



Gambar 6.48 Penyebaran beban pada dermaga

Jadi gaya yang diterima tiap portal:

$$H = \frac{\text{Gaya fender terhadap tiang (compression load (ton))}}{\text{jumlah portal}} = (\text{ton/portal})$$

Akibat angin dan Arus

Angin:

$$\begin{aligned} \text{Gaya angin: } H \text{ angin} &= 0,7 \times \text{luas bidang} \times \text{panjang} \\ &= 0,7 \times (L \times T) \times P \\ &= .. (\text{kg}) \end{aligned}$$

Lebar kontak kapal pada dermaga dianggap = 0,5 L = (meter)

Beban angin disebarkan pada: Jumlah portal = $\frac{2B+0,5 L}{4}$ = (portal)

Jadi Gaya akibat angin = $\frac{H_{\text{angin}}}{\text{jumlah porta}}$ = ton/meter

Arus

dari data arus didapat misal kecepatan maksimal = 14 cm/dt

$$F = \frac{\rho_w}{2g} \cdot V_c^2 \cdot L \cdot D \cdot \text{Sinca}$$

Beban arus disebarkan pada: Jumlah portal = $\frac{2B+0,5 L}{4}$ = (portal)

Gaya akibat Arus = $\frac{F}{N \text{ portal}}$ = (ton/portal)

Jadi Gaya akibat arus dan angin: Gaya arus+angin = Gaya arus + Gaya angin

Jarak Fender

untuk kapal ukuran 10.000 DWT biasanya fender yang terkena tumbukan kapal adalah dF = 0,08 s/d 0,10 Lv (Lv=panjang kapal) disini kita pakai 0,1 panjang kapal. jadi 0,1 x 141 = 14,1 meter

Jarak as balok melintang = 5,30 meter

dF = 2 x 5,30 = 10,60 m < 14, 10 meter (OK)

Pemilihan fender

Pada saat merapat, kapal membentur fender sebanyak $\frac{14,10}{10,60} \approx 2 \text{ buah}$

Dianggap kapal membentur 2 buah fender bersamaan

Energi tiap fender

$$E = 12,13/2 = 6,06 \text{ TM}$$

C. Perencanaan Bolder

Contoh perhitungan Bolder:

Pada saat kapal kosong

Akibat angin: $R_w = 1,3 \times L \times T \times C_w$

$$= 1,3 \times 141 \times 8,2 \times 40 = 60,12 \text{ ton}$$

misalnya data yang didapat:

- kecepatan arus pasang maksimum adalah 1,5 knot = 0,77 m/det
- arah 340° berarti searah dengan kapal
- keadaan kosong draft = 11,1 – 8,2 = 2,9 m

$$\begin{aligned} \text{Akibat arus: } R_c &= 0,060 (1025/9,81) \times 0,77^2 \times 19,4 \times 2,9 \times (1 \\ &\quad + 2,9/9,5)^3 \\ &= 453,675 \text{ kg} = 0,45 \text{ ton} \end{aligned}$$

Pada saat kapal penuh

$$\begin{aligned} \text{Akibat angin: } R_w &= 1,3 \times L \times T \times C_w \\ &= 1,3 \times 141 \times (11,1 - 8,2) \times 40 = 21,26 \text{ ton} \end{aligned}$$

misalnya data yang didapat:

- kecepatan arus pasang maksimum adalah 1,5 knot = 0,77 m/det
- arah 340° berarti searah dengan kapal
- keadaan kosong draft = 11,1 – 8,2 = 2,9 m

$$\begin{aligned} \text{Akibat arus: } R_c &= 0,060 (1025/9,81) \times 0,77^2 \times 19,4 \times 8,2 \times (1 + 8,2/9,5)^3 \\ &= 3819 \text{ kg} = 3,81 \text{ ton} \end{aligned}$$

Resume

N0	Kondisi	Akibat Angin (ton)	Akibat Arus (ton)
1	Kapal kosong	60,12	0,45
2	Kapal penuh	21,26	3,81

Ternyata akibat arus, gaya yang bekerja pada kapal sangat kecil (dapat diabaikan). Yang menentukan adalah keadaan kapal kosong (sarat minimum). aya ini ditahan oleh 2 (dua) buah bolder breat line, sehingga masing-masing bolder menahan gaya

$$H = 60,12/2 = 30,06 \text{ ton}$$

esuai peraturan dalam Standard Criteria For Port in Indonesia, hal. 15. Gaya tarik bolder untuk kapal ukuran 10 DWT ditentukan:

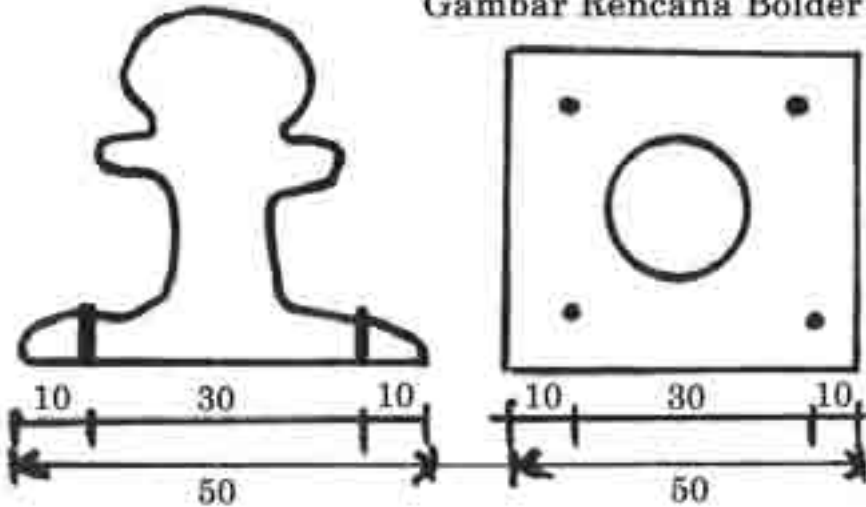
- Gaya horizontal H = 35 ton > 30,06 ton (OK)
- Gaya vertical V = 17,5 ton

Border yang direncanakan, diletakkan pada balok melintang agar gaya dari bolder dapat langsung didistribusikan pada portal-portal tiang pancang. Guna lebih menjamin stabilitas dari konstruksi perlu diingat bahwa gaya horisontal akibat tarikan bolder harus lebih kecil dari gaya-gaya horisontal yang bekerja pada dermaga. Hal ini dimaksudkan agar supaya apabila terjadi

gaya maksimum pada bolder maka stabilitas dermaga secara keseluruhan tidak terganggu (mungkin dermaga akan roboh, tetapi boldernya terlebih dahulu akan tercabut/lepas).

Berdasarkan anggapan demikian, maka perencanaan bolder disini direncanakan terhadap gaya tarik bolder horizontal sebesar 20 ton, dimana gaya tersebut masih lebih kecil dari gaya horisontal yang diperhitungkan terhadap dermaga yaitu 30,06 ton

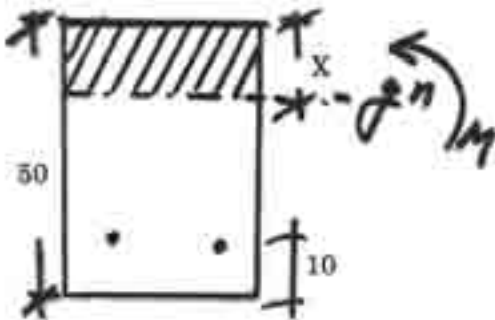
Gambar Rencana Bolder



Kontrol kekuatan angker

- $\sigma_b = 1.400 \text{ kg/cm}^2$
- $P \text{ geser} = \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot 0,6 \cdot \sigma_{baja} > 20 \text{ ton}$
- atau $\sigma - \frac{P}{F} + \frac{M}{W} < \bar{\sigma}$

Menghitung panjang baut angker



$$\begin{aligned}
 M &= 20.000/4 \\
 &= 5.000 \text{ kgm} \\
 &= 500.000 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

diameter baut angker $\varnothing 30$ $A = 7,07 \text{ cm}^2$

Statis momen terhadap garis netral = 0

$$50 \cdot X \cdot \frac{1}{2} \cdot X = 2 \cdot 7,07 (50 - X - 10)$$

$$25 \cdot X^2 = 14,14 (40 - X)$$

$$25 \cdot X^2 = 565,6 - 14,14 X$$

$$X^2 - 0,566 X - 22,624 = 0$$

$$X_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 + 4c}}{2a} = 4,5 \text{ cm}$$

Misal gaya pada angker = p kg

$$2 \cdot p = (50 - 10 - 4,5) = 500.000$$

$$p = 7.042 \text{ kg}$$

$$\tau_k = 65 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Panjang angker} = 7.042 / \pi \cdot d \cdot \tau_k = 11,6 \text{ cm}$$

Jadi panjang angker = 12 Cm

Daftar Pustaka

Abdul Mutttalip Prof. (1977). Pelabuhan I dan II. Bandung, Seksi Publikasi Departemen Teknik Sipil ITB.

Alderton, P. P. M. (2005). Port Management and Operations, LLP London Hongkong.

Arnold K.Henry, P. D. (1976). Transportation and Traffic Management, Grolier.

Artika, K. and M. Sukarta (1983). Tinjauan lay-out Pelabuhan Meneng Banyuwangi dari segi Hidro-Oceanografi. Tugas Akhir, Jurusan Perhubungan, Fakultas Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Association, I. M. (2007). Alternative Port Management Structures and Ownership Models. New York, World Bank Transport.

Darmadi (2010). Analisis Proses Sedimentasi yang terjadi akibat adanya Breakwater di pantai Balongan Indramayu. <http://dharmadharma.wordpress.com/2010/04/19/analisis-proses-sedimentasi>. Indonesia.

Departemen Perhubungan (1987). Data dan Informasi Sektor Perhubungan.

Devisi Teknik Badan Pengusahaan Pelabuhan Tanjung Perak (1978). Pedoman Perencanaan dari segi teknis dan operasional dalam rangka pengembangan pelabuhan. Surabaya.

- DixonJA (1993). Ecology and microeconomics as 'joint products' The Bonaire Marine Park in the Caribbean. Washington, DC, Worl Bank.
- Gaur, P. (2005). Port Planning as a Strategic Tool: A Typology. Transport and Maritime Economics. Antwerp, University of Antwerp. Master of Science in Transport and Maritime Economics.
- H.Ligteringen and H. Velsink (2012). Ports and Terminals. Delft, Netherlands, VSSD.
- https://id.wikipedia.org/wiki/Peti_kemas (2013). Ukuran Peti kemas.
- KJBUTTON (1982). Transport Economics. London, Heinemann.
- Kramadibrata, S. (1985). Perencanaan Pelabuhan. Bandung, Ganeca Exact.
- M.Arnatha. and Nyoman Budiarta R.M. (2011). "Prioritas Program Terminal Kapal Pesiar Tanah Ampo: Suatu Penerapan Benefit-Cost Analysis (BCA) Untuk Penilaian Proyek." *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* 15(1): 102-112.
- M.Sulaiman, D. and M. Jahja (1992). "An Overview of Coastal Management for Carita Beach." Second Seminar on PORTS AND INLAND WATERWAYS.
- M.Yamin Jinca (2013). "Conceptual Modeling of Port Development in Eastern Indonesia." *International Referred Journal of Engineering and Science (IRJES)* 2(10): 01 - 04.
- Malchow, M. B. (2001). An Analysis of Port Selection. Civil and Environmental Engineering. California, University of California, Berkeley. Doctor of Philosophy.
- Marine (2001). Marine Policy Center Woods Hole Oceanografhic Institute. Retrieved 22 June, 2001 from the World Wide Web.
- Maritime Sector Development Programme (1984). Standard Design Criteria for Ports in Indonesia, Directorate General of Sea Communications.
- Nasution, H. M. N. (1987). Manajemen Transportasi. Indonesia, Ghalia.
- Natchez, D. S. (1992). Marina Resorts for the Development of Tourism in Emerging Nations. Ports and Inland Waterways Conference, Surabaya Indonesi, ITS.
- Nyoman Budiarta R.M. (2011). EKONOMI TRANSPORTASI Model Penentuan Lokasi Pelabuhan Berbasis Sektor Pariwisata. Denpasar,

Udayana University Press.

ofyarZ.Tamin (1997). *Perencanaan & Pemodelan Transportasi*. Bandung, Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung, Penerbit ITB Bandung.

Peraturan Pemerintah No.8 (2011). "Tentang Angkutan Multimoda."

Perpres RI No.26 (2012). *Cetak Biru Pengembangan Sistem Logistik Nasional*. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2012, 5 Maret 2012, Jakarta.

Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi, D. (2007). *Pelaksanaan Pekerjaan Reklamasi. Pelatihan Dinas Perikanan*. Hotel Sahid, Surabaya.

Quinn, A. D. (1972). *Design and Construction of Ports and Marine Structures*. Newyork, Mc.Graw Hill Book Company.

Rachmad (1988). *Analisis Penambahan Dermaga Berdasarkan Kriteria Biaya Ekonomis Total Minimum Dengan Menggunakan Model Simulasi Komputer untuk Terminal BPP-Nol Pelabuhan Balikpapan*. Thesis Program Transportasi, Pasca Sarjana Institut Teknologi Bandung (ITB). Master Degree.

Raka, I. G. P. and Triwulan (1992). "Considerations in the Design and Construction of Concrete Marine Structures in the Developing Countries." *Second Seminar on PORTS AND INLAND WATERWAYS, Proceedings*.

RM, N. B., T. Achmadi, et al. (2015). "Port Location Selection Model: Case Study of Tourism Sector in Bali." *Applied Mechanics and Materials 776(Recent Decisions Technologies for Sustainable Development): 87-94*.

Rober G Hennes, M. E. (1975). *Fundamentals of Transportation Engineering*. New Delhi, Mc Graw-Hill Publishing Company LTD.

Setiawan, N. and K. Okubo (1992). "Ship Simulation for the Design of the Access Channel at Benoa Port." *Second Seminar on PORTS AND INLAND WATERWAYS*.

Sunugroho, H. (1986). *Analisa Penyediaan Peralatan Bongkar Muat Angkutan Peti Kemas di Pelabuhan Laut Tanjung Priok yang sesuai dengan Permintaan pada Tahun 1986-1987*, Thesis Pasca Sarjana Program Transportasi, ITB. Master Degree.

T.Achmadi and H. Firmanto (2000). "A Study of Port Restructing Strategy: an Anticipation for Global Change" " *Marine Transportation Systems Laboratory Department of Naval Architecture, Faculty of Marine Technology*

Institut Teknologi Sepuluh Nopember(ITS) Surabaya, Indonesia

Triatmodjo, B. (1996). Pelabuhan. Yogyakarta, Beta Offset.

UN Document (1996). Maritime transport in small island developing States
UNITED NATIONS Document E/CN.17/1996/20/add.4 of 29 February 1996.

Yuwono, N. (1982). Teknik Pantai. Yogyakarta, Biro Penerbit Keluarga
Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM.

Tentang Editor



Dr. Eng. Ni Nyoman Pujianiki, ST. MT. MEng. kelahiran Singaraja pada tanggal 25 Pebruari 1971 adalah putri dari pasangan I Nyoman Santa (alm.) dan Made Segarini merupakan dosen di Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Udayana. Pendidikan SD sampai SMA di selesaikan di Denpasar (1977-1989). Pendidikan Sarjana Teknik di selesaikan di Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Udayana pada tahun 1995 dan mendapatkan beasiswa Supersemar selama setahun. Kemudian bekerja sebagai Construction Staff di PT. Hyundai Co.Ltd pada Proyek Hard Rock Café Kuta. Tahun 1997 diterima sebagai Calon Tenaga Akademik Baru di FT Jurusan Sipil UNUD dan mendapatkan tugas belajar di FT Jurusan Sipil UGM pada bidang studi Teknik Pantai dengan menggunakan beasiswa dari World Bank dan meraih gelar Megister Teknik Tahun 2000. Tahun 2004 – 2005 mendapatkan beasiswa dari pemerintah Belanda melalui NFC untuk memperdalam pengetahuan Teknik Pantai di IHE UNESCO Delft Belanda dan berhasil meraih Master of Engineering di bidang Coastal Engineering and Port Development. Setelah aktif mengajar beberapa tahun, kembali Tahun 2008 mendapat beasiswa Dikti Luar Negeri untuk melanjutkan studi S3 di Nagoya Institute of Technology Jepang hingga akhirnya meraih gelar Doktor pada tahun 2013. Sejak tahun 2013 sampai sekarang aktif kembali mengajar Teknik Pantai dan Pelabuhan Perancangan Bangunan Pantai, Mekanika Fluida dan Hidrolika, Hidrolika lanjut dan Hidro dinamika Pantai. Saat ini terdaftar sebagai anggota PII, HATHI dan INACID. Pernah mengikuti Short Course di bidang IT di India dan Short Course Integrated Coastal Zone Management di Belanda. Seminar dan konfrensi baik di tingkat Nasional maupun Internasional telah diikuti untuk menambah wawasan di bidang Keairan. Sejak tahun 2014 hingga sekarang menjalin kerja sama dengan

Yamaguchi University dalam pertukaran siswa/Student Exchange pada Global Engineering Program. Tahun 2015 bekerja sama dengan Pemerintah Timor Leste untuk memberikan Technical Training di bidang Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu / IWRM kepada Staff PU Timor Leste.

