



TEKNIK MESIN
UDAYANA



Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362
Telp./Fax.: +62 361 703321
<http://www.mesin.unud.ac.id>

ISSN 2338 - 414X



Prosiding Konferensi Nasional Engineering Perhotelan IV - 2013



ISSN 2338 – 414X

Nomor 1/Volume 2/Juli 2014

PROSIDING

KONFERENSI NASIONAL ENGINEERING PERHOTELAN

“Inovasi Teknologi Ramah Lingkungan (*green technology*) untuk Perkembangan Pariwisata”



Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Udayana

**Prosiding Konferensi Nasional Engineering Perhotelan V – 2014
26 – 27 Juni, 2014**

Ketua Editor : Ainul Ghurri, S.T., M.T., Ph.D.
Editor Pelaksana : I Made Gatot Karohika, S.T., M.T.
I Ketut Adi Atmika, S.T., M.T.
IG Teddy Prananda Surya, S.T., M.T.

Penyunting Ahli : Prof.Dr. Tjok Gd. Tirta Nindhia (UNUD)
Prof.Dr. ING Antara M.Eng. (UNUD)
Prof.Dr.Ir. IGB Wijaya Kusuma (UNUD)
Prof Johny Wahyuadi M, DEA (UI)
Prof. Dr. Kuncoro Diharjo, ST,MT. (UNS)
Dr Caturwati (UNTIRTA)
Prof.Dr.Ing. Mulyadi Bur (Sekjen BKSTM)
Dr. Ir. I Wayan Surata, MErg (UNUD)



**Hak Cipta @ 2014 oleh KNEP V – 2014
Jurusan Teknik Mesin – Universitas Udayana.
Dilarang mereproduksi dan mendistribusi
bagian dari publikasi ini dalam bentuk
maupun media apapun tanpa seijin Jurusan
Teknik Mesin – Universitas Udayana.**

**Dipublikasikan dan didistribusikan oleh Jurusan Teknik Mesin – Universitas
Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362, Indonesia.**

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmatNya acara Konferensi Engineering Perhotelan V (KNEP-V) bisa terselenggara pada tanggal 26-27 Juni 2014 di Universitas Udayana Bali, Kampus Sudirman. KNEP - V ini diselenggarakan oleh jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dalam rangkaian kegiatan BKFT ke 49 dan Dies Natalis ke 52 Universitas Udayana, didukung oleh Badan Kerjasama Teknik Mesin (BKSTM) seluruh Indonesia.

KNEP V – 2014 ini merupakan forum untuk mendiskusikan dan mengkomunikasikan hasil-hasil penelitian terkini engineering dalam konteks perhotelan; dan topik-topik pendukung lain dalam lingkup Teknik Mesin. Disamping itu untuk meningkatkan kerja sama dengan organisasi profesi engineering perhotelan. Hasil yang dihapakan adalah meningkatnya mutu riset-riset yang akan dilakukan, meningkatnya daya kompetisi untuk mendapatkan grant penelitian, hubungan yang baik inter akademisi dan antara akademisi dengan praktisi.

Konferensi ini mengangkat beberapa Grup topik yang meliputi:

1. **Engineering perhotelan (EP)**: manajemen dan optimasi energi, manajemen air, AC dan Chiller, pompa, perpipaan, maintenance, elektrik, sistem pengamanan, boiler, building service, bangunan hemat energi, dll.
2. **Konversi energi (KE)**: Perpindahan panas, mekanika fluida, termodinamika, sumber energi alternatif.
3. **Teknologi, pengujian dan pengembangan material (TPPM)**: Korosi, pengelasan, pengecoran, polimer dan komposit, analisis kegagalan.
4. **Teknik dan manajemen manufaktur (TMM)**: proses permesinan, pembentukan, fabrikasi, sistem manufaktur, CAD-CAM, otomasi industri, sistem pengontrolan.
5. **Bidang umum (BU)**: pendidikan Teknik Mesin, metode pengajaran, kebijakan energi, pengelolaan dampak lingkungan.
6. **Industri pariwisata kreatif (IPK)**: teknologi informasi industri pariwisata, manajemen industri perhotelan, teknologi tepat guna yang berhubungan dengan pengembangan pariwisata.

Adapun jumlah makalah yang dipresentasikan dalam konferensi ini berjumlah 64 makalah yang mencakup enam topik di atas.

Kami mengucapkan terima kasih kepada *keynote speaker*, para akademisi, peneliti, praktisi dan professional di bidang perhotelan yang telah mengirimkan artikelnya, serta semua pihak yang meliputi panitia pengarah, panitia pelaksana, *scientific committee* dan pihak-pihak yang telah terlibat dan membantu terselenggaranya kegiatan ini dengan sukses.

Denpasar, Bali, 21 Juni 2014

Ketua Panitia KNEP V,

Ainul Ghurri S.T., M.T., Ph.D.

DAFTAR ISI

| | |
|---|------------|
| Kata Pengantar | ii |
| Daftar Isi | iii |
| Makalah KNEP V - 2014 | iii |
| Grup Engineering Perhotelan | |
| EP 01 | |
| Sistem informasi geografis pemetaan hotel berbasis web - N.M.A.E.D. Wirastuti, I.G.A.K. Diafari Djuni, I.G.A.S. Antariksa | 1 |
| EP 02 | |
| Evaluasi sistem pengelolaan limbah cair dengan proses biofilter anaerob-aerob dari industri perhotelan di Bali - Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati | 11 |
| Grup Konversi Energi | |
| KE 01 | |
| Analisis pengaruh posisi percabangan pipa distribusi reservoir terhadap kerugian head total instalasi - H. Nasaruddin Salam | 17 |
| KE 02 | |
| Uji kinerja motor diesel menggunakan biowater diesel terbuat dari virgin coconut oil - Annisa Bhikuning dan Reandy Ferdinanto | 27 |
| KE 03 | |
| Kajian simulasi koefisien perpindahan panas konveksi dan distribusi temperatur aliran fluida pada counterflow heat exchanger dengan pipa spiral menggunakan solidworks - Sri Poernomo Sari dan Sandy Suryady | 33 |
| KE 04 | |
| Paradigma dan peluang konservasi energi pada gedung komersial - I Made Astina, Anugrah Erick Eryantono, Febryansyah | 41 |
| KE 05 | |
| Pengaruh model turbulensi pada analisis penggunaan blowing terhadap hambatan aerodinamika model kendaraan - Rustan Tarakka, Jalaluddin, Baharuddin Mire, Muhammad Noor Umar | 53 |
| KE 06 | |
| Kaji eksperimental pengaruh variasi ketebalan isolator terhadap efisiensi tungku biomassa berbahan serbuk gergaji kayu - Ismail Thamrin dan Andriansyah | 61 |
| KE 07 | |
| Analisis laju aliran minyak pelumas pada bantalan jurnal dengan metode elemen hingga - Irsyadi Yani dan Hasan Basri | 67 |
| KE 08 | |
| Pengaruh jumlah tingkat destilasi kontinyu terhadap kualitas dan kapasitas produksi arak bali sebagai bahan bakar alternatif - IGK Sukadana, IGN Putu Tenaya | 73 |
| KE 09 | |
| Pengujian efisiensi kompor biomassa sederhana dengan debit airan udara yang bervariasi - Ahmad Maulana K. | 79 |

| | | |
|--------------|---|------------|
| KE 10 | Analisis performansi kolektor surya pelat datar untuk pemanas air dengan sumber energi matahari - Ketut Astawa, Nengah Suarnadwipa, IGK Dwijana | 85 |
| KE 11 | Perbandingan dampak pemakaian campuran minyak goreng bekas dengan solar terhadap emisi gas yang ditimbulkannya - Dewin Purnama, Richard A.M. Napitupulu | 91 |
| KE 12 | Drag reduction suspense bakteri selulosa pada aliran crude oil dalam pipa spiral - Yanuar, Kurniawan, Rendi, Habib, Edwin, Vaul | 97 |
| KE 13 | Penggunaan minyak goreng bekas untuk kompor bertekanan - I Ketut Gede Wirawan | 105 |
| KE 14 | Pengaruh pemanasan bahan bakar dengan media radiator terhadap emisi gas buang - IGN Putu Tenaya, IGK Sukadana, I Wayan Marlon Managi | 109 |
| KE 15 | Potensi tenaga air di Kabupaten Buleleng - Bali - Made Suarda | 117 |
| KE 16 | Simulasi sistem pengering biji kopi dengan menggunakan energi surya - Isa Abdillah | 125 |
| KE 17 | Potensi biogas dari substrat bio-limbah perhotelan - I Nyoman Suprpta Winaya, I Gusti Ngurah Putu Tenaya, I Made Agus Putrawan | 131 |
| KE 18 | Potensi pemanfaatan energi terbuang pada chiller dalam upaya mengoptimalkan energi perhotelan - Suarnadwipa, Gunawan Tista, Wendy S | 137 |
| KE 19 | Unjuk kerja destilasi air energi surya dengan penambahan kondensor pasif - I Gusti Ketut Puja, Mayang Kapita, FA Rusdi Sambada | 143 |
| KE 20 | Pengaruh bentuk penampang ring yang diletakkan pada permukaan silinder terhadap koefisien drag - Si Putu Gede Gunawan Tista dan Ainul Ghurri | 151 |
| KE 21 | Sintesis dan uji angka ester biodiesel jelantah minyak kelapa - Ni Made Suaniti, I Wayan Bandem Adnyana | 159 |
| KE 22 | Pengaruh jarak pitch longitudinal pengganggu aliran tersusun staggered terhadap performa kolektor surya pemanas udara - Made Sucipta, I Putu Surya Pandita, Ketut Astawa | 163 |
| KE 23 | Konduktivitas termal papan partikel sekam padi dan jerami - Effendy Arif, Syamsul Arifin, Rombe Allo | 169 |
| KE 24 | Sifat-sifat fisik papan partikel sekam padi dan jerami - Rombe Allo, Effendy Arif, Syamsul Arifin | 179 |

Grup Teknologi Pengujian dan Pengembangan Material

| | |
|--|------------|
| TPPM 01 Defusifitas unsur aluminium dengan unsure Fe pada baja cetakan guna menghindari fenomena die soldering - Abdul Hay, Ilyas Djamal, Haerul Arsyad | 187 |
| TPPM 02 Studi eksperimen dan pemodelan matematis efek soaked time proses pack carburizing terhadap kekerasan permukaan baja karbon - AAIA Sri Komaladewi, I Dewa Made Krishna Muku, DNK Putra Negara | 193 |
| TPPM 03 Laju korosi dan kekuatan pipa komposit baja karbon-tembaga dalam air laut - Johannes Leonard | 199 |
| TPPM 04 Pengaruh wetting agent terhadap densitas komposit matriks keramik Al₂O₃/Al Produk DIMOX - G. N. Anastasia Sahari | 205 |
| TPPM 05 Pembuatan dan karakterisasi material komposit matriks logam paduan Al-4%Mg dengan penguat serbuk SiC menggunakan metode stir casting - Abdul Aziz | 211 |
| TPPM 06 Pengaruh temperatur sintering pada penambahan penguat SiCw dan Al₂O₃ partikel terhadap karakteristik aluminium matrik komposit - Ketut Suarsana | 219 |
| TPPM 07 Aplikasi program Matlab™ pada perhitungan dan penentuan komposisi bahan penyusun rem komposit - Agus Triono, IGN Wiratmaja Puja, Satriyo Soemantri B., Aditianto R., Bagus B. | 227 |
| TPPM 08 Analysis on pulling and bending strength of composite having stengthener of peneapple leaf fibre – epoxy by using alkalinity - Hammada Abbas, Reinyelda D. Latuheru, Abdul Hay | 233 |
| TPPM 09 Sifat Compression pada honeycomb sandwich structure dengan reinforcement serat alam - Sofyan Djamil dan Patrick Kusworo | 239 |
| TPPM 10 Distribusi kekerasan dan total case depth baja karbon rendah setelah proses pack carburizing - Dewa Ngakan Ketut Putra Negara, I Ketut Gede Sugita, IGN Arimbawa | 245 |
| TPPM 11 Mekanisme aus baja karbon AISI 1065 pada permukaan kontak basah akibat beban kontak gelinding-luncur - I Made Widiyarta, I Made Parwata, I Made Gatot Karohika, I Putu Lokantara dan Made Arie Satryawan | 249 |
| TPPM 12 Ketahanan api komposit plastik daur ulang berpenguat serat sabut kelapa dengan perlakuan acrylic acid dan diammonium phospate pada fraksi berat yang berbeda - I Putu Lokantara dan Ngakan Putu Gede Suardana | 255 |
| TPPM 13 Fraksi volume dan panjang serat berpengaruh terhadap kekuatan lentur komposit polyester berpenguat serat tapis kelapa - I Made Astika dan I Gusti Komang Dwijana | 263 |

| | | |
|----------------|---|------------|
| TPPM 14 | Keausan komposit akibat perubahan fraksi berat serat dan perlakuan vulcan AF21 - NPG | 271 |
| | Suardana, NM. Suaniti, IP Lokantara, Sumadiasa P, Adi Prayudi | |

Grup Teknik dan Manajemen Manufaktur

| | | |
|---------------|--|------------|
| TMM 01 | Pengaruh dan pertimbangan faktor lingkungan untuk peningkatan kualitas pada lini produksi - | 277 |
| | H Harisupriyanto | |
| TMM 02 | Analisa waktu baku elemen kerja pada pekerjaan penempelan cutting stiker di CV Cahaya | 284 |
| | Thesani - I Wayan Sukania, Teddy Gunawan | |
| TMM 03 | Analisis beban kerja mahasiswa praktek di bengkel teknologi mekanik jurusan Teknik Mesin | 295 |
| | Politeknik Negeri Bali - M. Yusuf dan Anom Santiana | |
| TMM 04 | Aspek keselamatan kerja pada proses pembentukan batu permata menggunakan mesin | 301 |
| | gerinda - Anom Santiana dan M. Yusuf | |
| TMM 05 | Optimasi kondisi pemesinan untuk kekasaran permukaan pada proses slot milling baja tahan | 307 |
| | karat AISI 304 - Amrifan Saladin Mohruni, Erna Yuliwati, Redy Kholif Muhrobin | |
| TMM 06 | Kajian eksperimental kekasaran permukaan polymer ertalone 6SA pada proses milling - Sobron | 315 |
| | Lubis, Rosehan, Kevin Nataniel | |
| TMM 07 | Pemodelan desain sol sepatu dengan inovasi penambahan wave spring - Redyarsa Dharma | 323 |
| | Bintara, Puspita Fajar Kharismaningtyas, Moch. Agus Choiron, Anindito Purnowidodo | |
| TMM 08 | Analisa gaya dan daya mesin pencacah rumput gajah berkapasitas 1350 kg/jam - Liza | 327 |
| | Rusdiyana, Suhariyanto, Eddy Widiyono, Mahirul Mursid | |
| TMM 09 | Redesain tempat kerja untuk meningkatkan kenyamanan dalam proses peleburan paduan | 339 |
| | perunggu perajin gamelan Bali di Desa Tihingan - IGN Priambadi dan IKG Sugita | |
| TMM 10 | Perbaikan performa traksi dengan modifikasi rasio gigi transmisi - I Gusti Agung Kade Suriadi, I | 347 |
| | Ketut Adi Atmika, I Made Dwi Budiana Penindra | |
| TMM 11 | Auto tuning PID controller untuk mengendalikan kecepatan DC servomotor robot gripper 5 Jari | 353 |
| | - I Wayan Widhiada, Wayan Reza Yuda Ade Putra, Cok. G. Indra Partha | |
| TMM 12 | Meningkatkan pendapatan masyarakat dengan mesin pencacah sampah plastik - I Gede Putu | 359 |
| | Agus Suryawan, Cok. Istri P. Kusuma Kencanawati, I Made Widiyarta | |
| TMM 13 | Effects of length/hole diameter ratio on stress intensity factor in stop hole method - Nurlia P.S., | 363 |
| | Yanuar R.A.P., Anggara D.P., Moch. Agus Choiron | |

| | | |
|--|--|------------|
| TMM 14 | | |
| Pengembangan model elemen hingga indentasi bulat (spherical) untuk memprediksi kekerasan Rockwell B (HRB) - I Nyoman Budiarsa | | 369 |
| TMM 15 | | |
| Pemodelan desain awal crash box dua segmen terhadap tabrakan arah frontal dan arah miring - Moch. Agus Choiron | | 379 |
| TMM 16 | | |
| Aplikasi ergonomi total untuk meningkatkan kualitas dan produktivitas - I Wayan Surata | | 383 |
| TMM 17 | | |
| Analisis penyerapan energy dan deformasi crash box dengan variasi bentuk penampang - Fikrul Akbar Alamsyah dan Moch. Agus Choiron | | 389 |
| TMM 18 | | |
| Kajian kinerja traksi dan perilaku guling kendaraan truk pengolah sampah - I Dewa Gede Ary Subagia, I Ketut Adi Atmika, Tjok, Gde Tirta Nindhia | | 395 |
| TMM 19 | | |
| Aplikasi ergonomic function deployment untuk redesain kursi penumpang mini bus angkutan pariwisata di Bali - I Gusti Komang Dwijana dan I Putu Lokantara | | 403 |
| TMM 20 | | |
| Karakteristik traksi sepeda motor dengan continuous variable transmission system - I Ketut Adi Atmika dan I Dewa Gede Ary Subagia | | 409 |
| TMM 21 | | |
| Analisa distribusi tegangan pada helm industri dengan menggunakan metode elemen hingga - I Made Gatot Karohika, I Made Dwi Budiana Penidra, DNK Putra Negara, Geovani | | 417 |
| TMM 22 | | |
| Aplikasi metode Six Sigma (DMAIC) untuk meningkatkan kualitas produk alat music sasando - Damianus Manesi | | 423 |
| Grup Bidang Umum | | |
| BU 01 | | |
| Asupan nutrisi berupa segelas teh manis dan 75 gram kue ketan dapat menurunkan kelelahan dan meningkatkan konsentrasi petani Subak Abian di Desa Taman Tanda Bedugul - I Ketut Widana dan I Gede Oka Pujihadi | | 433 |
| Grup Industri Pariwisata Kreatif | | |
| IPK 01 | | |
| Introduksi teknologi tepat guna untuk perajin kulit kerang sebagai industri kreatif penunjang pariwisata di Lombok – NTB - I Wayan Joniarta dan Made Wijana | | 439 |

Mekanisme aus baja karbon AISI 1065 pada permukaan kontak basah akibat beban kontak gelinding-luncur

I Made Widiyarta, I Made Parwata, I Made Gatot Karohika, I Putu Lokantara dan Made Arie Satryawan

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362
Email: m_widiyarta@me.unud.ac.id

Abstrak

Dalam proses kontak gelinding-luncur, permukaan kontak yang basah karena terperangkapnya air di daerah permukaan kontak dapat mengurangi kontak adhesi [Chen et al., *Wear* 253 (2002)]. Kondisi tersebut mungkin dapat mempengaruhi mekanisme kegagalan aus material. Pada penelitian ini, tingkat keausan dan mekanisme aus material akibat beban gelinding-luncur pada kondisi permukaan kontak basah diinvestigasi. Uji keausan dilakukan dengan alat uji kontak dua disk dan material uji dipilih adalah baja karbon 0.65%C dengan tekanan maksimum 750MPa dan rasio slip-roll 5%. Untuk uji aus pada kondisi kontak basah, air diteteskan secara kontinyu pada permukaan kontak disk. Dari hasil uji terlihat dengan adanya air dipermukaan kontak, tingkat keausan yang terjadi mengalami penurunan yang cukup besar sekitar 50% yaitu dari 6×10^{-4} μm /putaran untuk kontak kering menjadi 3×10^{-4} μm /putaran pada kontak basah. Hal ini dapat terjadi mungkin diakibatkan oleh air yang ada dipermukaan kontak mampu membatasi areal kontak antara dua material kontak tersebut sehingga menurunkan gesekan yang terjadi dan mengakibatkan keausan menurun. Pada kontak basah, material yang mengalami regangan geser plastis hanya terjadi hingga kedalaman kurang dari 100 μm dan pada kontak kering regangan geser plastis dapat terjadi hingga kedalaman sekitar 400 μm .

Kata kunci: Baja karbon, kontak basah, aus

Abstract

*In rolling-sliding contact, the wet surface as a result of water trapped in the contact area can reduce adhesion [Chen et al., *Wear* 253 (2002)]. This condition may influence the mechanism of wear on the contact material. In this work, the wear rate and wear mechanism of material on the wet contact surface were investigated. Wear test was conducted using disc-to-disc contact test and carbon steel (0.65%C) was chosen as the test material with the maximum pressure of 750MPa and slip-roll ratio of 5%. For the wear test with the wet contact, water was dropped continuously on the contact surface. The results show the wear rate on the material with wet contact was decrease significantly by about 50% i.e., from about 6×10^{-4} μm /cycle for the dry contact to about 3×10^{-4} μm /cycle for the wet contact. This may be caused by the water trapped on the contact area reduces the contact adhesion between both the contact materials and causes the friction to decrease, and resulting wear to decrease. For the wet contact, the plastic shear strain on material occurred into depth less than 100 μm , and for the dry contact, the plastic shear strain on material occurred into depth about 400 μm .*

Keywords: carbon steel, wet contact, wear

1. PENDAHULUAN

Dalam industri perkeretaapian, rel merupakan salah satu komponen terpenting sebagai lintasan kereta api. Beban kontak yang sangat besar oleh roda kereta pada rel yang berulang-ulang dapat mengakibatkan kegagalan aus dan patah lelah pada rel maupun pada roda kereta. Salah satu kegagalan aus yang dapat terjadi pada rel yaitu *ratchetting wear* [2]. *Ratchetting wear* adalah keausan pada material yang diawali dengan terjadinya akumulasi regangan geser plastis dipermukaan dan dibawah permukaan kontak yang cukup besar sebagai akibat beban gelinding-luncur. Dengan berlanjutnya beban kontak roda kereta pada rel yang terus-menerus, akumulasi regangan geser plastis tersebut akan semakin besar dan material dipermukaan selanjutnya akan terlepas sebagai butiran aus apabila regangan geser plastis dipermukaan telah mencapai regangan geser kritis material.

Besar kecilnya tingkat keausan yang terjadi pada material rel oleh beban roda kereta dalam

bentuk beban gelinding-luncur dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti besar beban oleh roda, sifat mekanik material rel, kontaminan yang dapat terperangkap pada area kontak seperti pasir, oli, air, dll. Keausan yang terjadi pada material dapat dibedakan menjadi tiga katagory yang tergantung dari besar kecilnya tingkat keausan yaitu keausan *mild*, *severe* dan *catastrophic* [3]. Keausan *mild* ditunjukkan dengan tingkat keausan yang rendah dengan butiran aus yang sangat kecil dengan diameter sekitar 100 nm [4]. Keausan ini cenderung terjadi pada material dengan permukaan kontak yang sangat halus dan umumnya keausan yang terjadi adalah jenis keausan oksidasi. Keausan *severe* umumnya terjadi pada material yang memiliki permukaan kontak kasar dan ditunjukkan dengan ukuran butiran aus yang cukup besar yaitu sekitar 0.01mm [4]. Perubahan kategori aus dari *mild* ke *severe* umumnya terjadi karena adanya perubahan kondisi kontak yaitu dari kondisi kontak sebagian slip (*partial slip*) ke kondisi kontak seluruh bidang kontak slip (*full slip*), keausan yang terjadi dapat berupa *abrasive wear*. Sedangkan transisi aus dari kategori keausan *severe* ke *catastrophic* terjadi akibat melemahnya sifat mekanis material karena pengaruh suhu permukaan kontak yang tinggi, *melting wear* umumnya terjadi pada kondisi tersebut [4, 5]

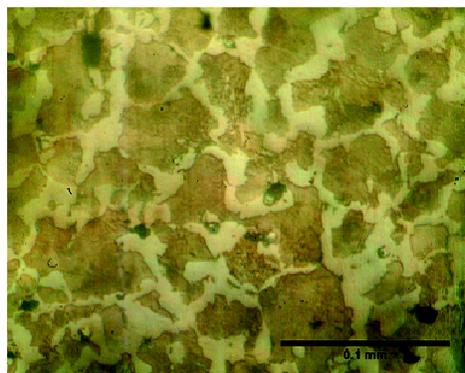
Di Indonesia terdapat dua musim yaitu musim panas dan musim penghujan. Kondisi ini mengakibatkan kontak antara roda kereta dan rel dapat terjadi tidak hanya pada kondisi kontak kering akan tetapi dapat terjadi pada kondisi kontak basah khususnya pada saat musim penghujan. Pada kondisi permukaan rel yang basah oleh air, air hujan pada permukaan kontak dapat mengakibatkan kontak adhesi antara roda dan rel kereta menjadi berkurang [1, 6]. Hal ini tentunya juga dapat mempengaruhi mekanisme kegagalan aus dan tingkat keausan yang terjadi pada material rel.

Pada penelitian ini, uji keausan akibat beban kontak gelinding-luncur dilakukan pada alat uji aus kontak dua disk. Untuk kontak basah, permukaan kontak akan ditetesi dengan air secara kontinyu agar permukaan kontak tetap terjaga dalam kondisi basah. Material uji yang digunakan yaitu baja karbon (AISI 1065).

2. METODE

2.1. Material Uji

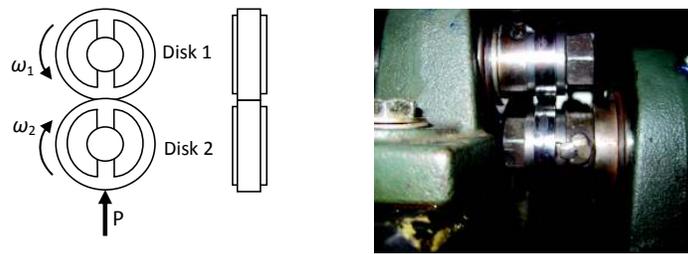
Pada penelitian ini, baja karbon dengan kandungan karbon 0.65% (AISI 1065) dipilih sebagai material uji, baja karbon tersebut masuk dalam kategori baja karbon tinggi yang memiliki sifat mekanis seperti kekuatan tarik, ketahanan aus dan ketangguhan yang baik [7]. Baja karbon tinggi banyak dimanfaatkan untuk roda gigi, rel kereta api dan perkakas. Dari foto struktur mikro (Gambar 1) terlihat baja karbon AISI 1065 terdiri dari struktur *ferite* yang memiliki sifat yang lunak (ditunjukkan dengan warna terang) dan struktur yang memiliki sifat relatif keras (*brittle*) yaitu *cementite* (ditunjukkan dengan warna gelap). Baja karbon ini memiliki kekerasan rata-rata sekitar 180 HVn.



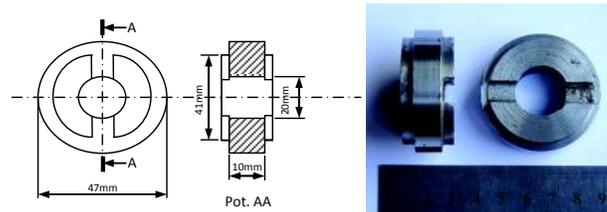
Gambar 1. Struktur mikro baja Carbon (AISI 1065)

2.2. Prosedur Pengujian

Uji aus dilakukan dengan alat uji keausan kontak dua disk, alat uji ini dikembangkan dengan mengacu pada mekanisme alat uji aus *twin-disc machine SUROS* [2]. Alat uji aus ini terdiri dari dua disk (seperti Gambar 2) yang saling kontak dan bergerak/berputar relatif satu dengan yang lainnya dengan kecepatan yang dapat diatur untuk mendapatkan rasio slip-roll yang berbeda. Besar beban kontak diberikan melalui disk yang dibawah (disk 2) yang dapat diatur untuk mendapatkan tekanan kontak sesuai tekanan yang diinginkan. Pada penelitian ini disk 1 sebagai spesimen uji dimodelkan sebagai material rel kereta api dan disk 2 (posisi bawah) dimodelkan sebagai roda kereta api.



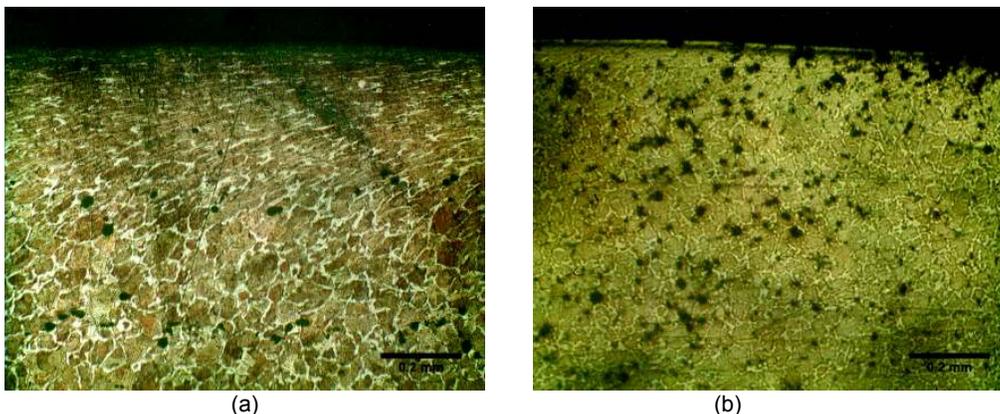
Gambar 2 Kontak dua disk



Gambar 3 Dimensi spesimen uji

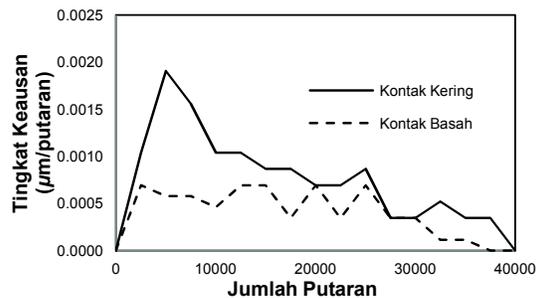
Untuk melakukan uji keausan dengan metode kontak dua disk, material uji terlebih dahulu dibentuk seperti Gambar 3 dan dengan dimensi yang sama. Pembersihan kedua spesimen dilakukan sebelum uji aus dilaksanakan dengan menggunakan bak ultrasonic dengan ethanol sebagai media pembersih. Setelah pembersihan, dilakukan pengukuran kedua spesimen baik massa spesimen maupun dimensi spesimen. Spesimen uji kemudian diletakkan pada alat uji sesuai dengan kedudukannya sebagai roda diletakkan dibagian bawah (disk 2) dan sebagai rel kereta api diletakkan dibagian atas (disk 1). Pada penelitian ini, kecepatan disk 1 diset sebesar 382 r.p.m dan disk 2 diatur kecepatannya sebesar sekitar 402 r.p.m. untuk memperoleh rasio slip-roll sekitar 5%. Tekanan maksimum yang diberikan melalui disk 2 sebesar $P_0 = 750$ MPa dan dijaga konstan. Untuk uji aus pada permukaan kontak basah, air diteteskan secara kontinyu dipermukaan disk sehingga permukaan kontak tetap dalam kondisi basah. Setiap 2500 putaran, kedua spesimen (disk) dilepaskan dari alat uji dan kemudian dibersihkan dalam bak ultrasonic dan selanjutnya diukur massaya. Pengulangan uji dilakukan selanjutnya beberapa kali dengan durasi 2500 putaran sampai total jumlah putaran mencapai sekitar 40000 putaran.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

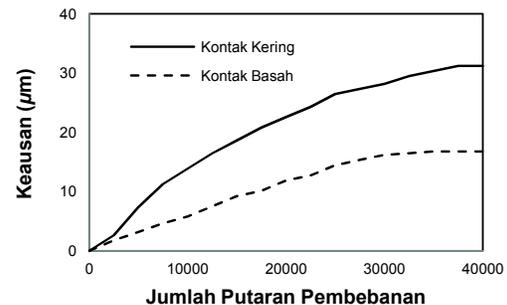


Gambar 4. Orientasi regangan geser material dibawah permukaan kontak pada baja carbon AISI 1065 setelah 40000 putaran, (a) Kondisi kontak kering, (b) kondisi kontak basah.

Gambar 4 menunjukkan kondisi material dibawah permukaan kontak setelah menerima beban gelinding luncur dengan tekanan maksimum kontak 750MPa, rasio slip-roll 5% and dengan kondisi kontak kering (Gambar 4a) dan kontak basah (Gambar 4b). Pada kondisi kontak kering (Gambar 4a), terlihat mekanisme keausan terjadi akibat proses yang diawali dengan terjadinya regangan geser plastis dipermukaan dan dibawah permukaan kontak material (hingga kedalaman mencapai sekitar 300 μm) dan terakumulasi cukup besar. Keausan kemudian terjadi apabila regangan geser plastis dipermukaan kontak telah mencapai regangan geser kritis material. Dari gambar juga terlihat orientasi arah reganga geser material searah dengan arah traksi yang terjadi di permukaan kontak. Kondisi ini memperlihatkan bahwa material dipermukaan terlepas sebagai butiran aus diperlukan pembebanan yang berulang-ulang sehingga diperlukan waktu tertentu untuk mencapai keausan maksimum. Waktu yang diperlukan agar material mengalami keausan tentunya tergantung pada sifat mekanis material tersebut dan kondisi pembebanan, seperti besar beban, koefisien gesek antara kedua komponen, geometri kontak dll. Regangan geser plastis pada material dipermukaan kontak maupun dibawah permukaan kontak dapat mengakibatkan kekerasan pada daerah tersebut meningkat. Meningkatnya kekerasan pada material oleh proses deformasi plastis disebut material mengalami proses work hardening [8]. Proses work hardening pada material dipermukaan dan dibawah permukaan dapat dilihat pada perubahan bentuk dan orientasi struktur mikro (Gambar 4). Struktur mikro terlihat mengalami perubahan orientasi sesuai arah traksi dan juga mengalami pemipihan sehingga membuat struktur *Cementite* (warna gelap) yang memiliki sifat keras dan getas menjadi lebih rapat dan komposisi struktur *Ferite* (warna terang) yang memiliki sifat mekanis lebih lunak dari pada *Cementite* yang juga sebagai lapisan pemisah *Cementite* menjadi semakin menipis. Perubahan inilah menunjukkan terjadinya deformasi plastis pada material tersebut dan mengakibatkan sifat mekanis material dekat permukaan kontak akan semakin keras dan lebih tahan terhadap aus [9]. Pada kondisi permukaan kontak basah (Gambar 4b), setelah material menerima beban gelinding-luncur hingga 40000 putaran pembebanan tidak terlihat terjadinya regangan geser yang cukup besar dipermukaan maupun dibawah permukaan kontak. Hal ini terjadi akibat air yang terperangkap pada area kontak mampu memperkecil kontak adhesi yang terjadi sehingga gaya gesek yang terjadi juga semakin kecil. Kondisi tersebut mengakibatkan regangan geser yang terjadi dipermukaan menjadi sangat kecil dan hanya dapat terjadi sampai kedalaman kurang dari 100 μm . Walaupun deformasi plastis terjadi hanya dipermukaan kontak hingga kedalaman kurang dari 100 μm , proses work hardening tentunya tetap terjadi hingga kedalaman tersebut. Hal ini tentunya mengakibatkan terjadinya perubahan sifat mekanik material.



Gambar 5. Tingkat keausan baja carbon AISI 1065 akibat beban gelinding-luncur ($\mu\text{m}/\text{putaran}$), dengan tekanan maksimum 750MPa dan rasio slip-roll 5%.



Gambar 6. Akumulasi keausan baja carbon AISI 1065 akibat beban gelinding-luncur ($\mu\text{m}/\text{putaran}$), dengan tekanan maksimum 750MPa dan rasio slip-roll 5%.

Gambar 5 menunjukkan tingkat keausan baja karbon AISI 1065 dengan beban kontak 1.8kN atau tekanan kontak maksimum 750MPa sampai pada putaran 40000. Garis solid menunjukkan tingkat keausan material pada permukaan kontak kering dan garis putus-putus menunjukkan tingkat keausan material pada permukaan kontak basah. Pada kondisi kontak kering, beban gelinding luncur mengakibatkan keausan terjadi sejak awal pembebanan dan terus meningkat hingga mencapai maksimumnya pada putaran 5000 putaran dengan tingkat keausan sekitar 0.0019 $\mu\text{m}/\text{putaran}$. Selanjutnya dengan bertambahnya jumlah pembebanan, tingkat keausan material mengalami penurunan hingga mencapai sekitar 0.0004 $\mu\text{m}/\text{putaran}$ dan selanjutnya mengalami kecenderungan kondisi keausan yang stabil ditingkat keausan antara 0.0004 – 0.0005 $\mu\text{m}/\text{putaran}$. Pada kondisi kontak basah, keausan yang terjadi sangat kecil dan cenderung berfluktuasi ditingkat keausan antara 0.0001 – 0.0007 $\mu\text{m}/\text{putaran}$. Pada kondisi ini tidak nampak terjadinya lonjakan tingkat keausan yang

sangat besar seperti halnya pada material dengan kondisi permukaan kontak kering. Total material aus hingga putaran pembebanan 40000 putaran yaitu sekitar 31.2 μm dari permukaan untuk permukaan kontak kering dan untuk permukaan material kontak basah sekitar 16.8 μm dari permukaan (Gambar 6).

Keausan yang terjadi pada kondisi kontak kering diawal pembebanan jumlahnya sangat kecil sebelum mencapai tingkat keausan maksimum. Hal ini terjadi akibat akumulasi regangan geser plastis yang terjadi dipermukaan perlu waktu untuk mencapai regangan geser kritis material. Tingkat keausan selanjutnya meningkat sangat drastis hingga mencapai keausan maksimum, hal ini terjadi karena material dibawah permukaan kontak telah terdeformasi plastis dan terakumulasi cukup besar sehingga pembebanan pada durasi putaran tersebut banyak material dipermukaan yang terlepas sebagai partikel aus. Deformasi plastis yang terjadi mengakibatkan juga perubahan sifat mekanik material dimana material mengalami pengerasan (mengalami proses *work hardening*) [8]. Work hardening yang terjadi pada material akibat deformasi plastis tersebut mengakibatkan material memiliki ketahanan aus meningkat sehingga tingkat keausan material mengalami penurunan. Setelah kekerasan akibat *strain hardening* dekat permukaan kontak mencapai nilai maksimumnya maka selanjutnya beban kontak gelinding-luncur berikutnya mengakibatkan tingkat keausan akan cenderung mendekati konstan. Pada kondisi permukaan kontak basah, tingkat keausan yang terjadi sangat kecil dan cenderung stabil atau berfluktuasi antara 0.0001 μm /putaran sampai dengan sekitar 0.0007 μm /putaran. Hal ini diakibatkan karena regangan geser plastis akibat beban gelinding luncur sangat kecil dan terjadi hanya hingga kedalaman tidak lebih dari 100 μm (lihat Gambar 4b). Kondisi ini mengakibatkan regangan geser plastis membutuhkan waktu yang sangat lama untuk mencapai nilai regangan geser kritis material.

4. SIMPULAN

Beban gelinding luncur pada permukaan kontak basah (air yang terperangkap dalam area kontak) dapat mengurangi terjadinya deformasi plastis (regangan geser plastis) dipermukaan kontak maupun dibawah permukaan kontak. Dengan tekanan kontak maksimum 750 MPa dan rasio slip-roll 5%, regangan geser plastis hanya terjadi hingga kedalaman kurang dari 100 μm pada kondisi kontak basah dan hingga kedalaman 400 μm untuk kondisi kontak kering. Kondisi tersebut mengakibatkan keausan material yang terjadi setelah 40000 putaran pada kondisi kontak basah menjadi lebih kecil (sekitar 16.8 μm , dengan rata-rata tingkat keausan sekitar 3×10^{-4} μm /putaran) dibandingkan dengan keausan yang terjadi pada kontak kering (sekitar 31.2 μm , dengan rata-rata tingkat keausan sekitar 6×10^{-4} μm /putaran).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (Dikjen Dikti) yang telah mendanai penelitian ini melalui Hibah Penelitian Desentralisasi Tahun 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. H. Chen, T. Bean, M. Ishida and T. Nakahara, *Adhesion between rail/wheel under water lubricated contact*, *Wear* 253 (2002) 75–81.
- [2]. W.R. Tyfour, J.H. Beynon, and A. Kapoor, *Deterioration of rolling contact fatigue life of pearlitic rail steel due to dry-wet rolling-sliding line contact*, *Wear*, 1996. 197: p. 255 – 265.
- [3]. R. Lewis and R.S. Dwyer-Joyce, *Wear mechanisms and transitions in railway wheel steels*, *Proc. Inst Mech. Engrs*, 2004. 218(J): p. 467 – 478.
- [4]. J. A. Williams, *Engineering tribology*, 1994, New York: Oxford University Press Inc.
- [5]. J. A. Williams, *Wear and wear particles - some fundamentals*, *Tribology International* 38 (2005) 863–870
- [6]. Weihua Zhang, Jianzheng Chen, Xuejie Wu, Xuesong Jin, *Wheel/rail adhesion and analysis by using full scale roller rig*, *Wear* 253 (2002) 82–88.
- [7]. William D. Callister, Jr. *Materials Science and Engineering an Introduction*, 1997, 4th Add., Wiley
- [8]. G. Baumann, H.J. Fecht, and S. Liebelt, *Formation of white-etching layers on rail treads*, *Wear*, 1996. 1991: p. 133-140.
- [9]. I Made Widiyarta, Tjok Gde Tirta Nindia dan Herry Mudiastrawan, Tingkat keausan baja karbon (AISI 1065) akibat beban kontak gelinding-luncur, *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI (SNTTM XI) & Thermofluid IV*, Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta, 16-17 Oktober 2012.

