

ANALISA PERBANDINGAN PERILAKU STRUKTUR PADA GEDUNG DENGAN VARIASI BENTUK PENAMPANG KOLOM BETON BERTULANG

Riskiawan Ertanto¹, Dharma Giri², Dharma Putra³
e-mail: riskiawanertanto@gmail.com

Abstrak: Kolom merupakan bagian vertikal dari suatu struktur rangka yang menerima beban tekan dan lentur. Pada perencanaan kolom banyak kemungkinan variasi penampang yang bisa digunakan. Kolom dengan penampang lingkaran memiliki kinerja terbaik dalam menahan beban dan daktilitas dibandingkan kolom mempunyai penampang persegi. Pada kenyataan di lapangan kolom yang sering digunakan dalam perencanaan adalah kolom dengan penampang persegi karena pelaksanaan pekerjaannya mudah. Berdasarkan kondisi tersebut maka dalam penelitian ini akan ditinjau perilaku struktur gedung yang dibebani beban aksial dan beban gempa dengan menggunakan variasi bentuk penampang kolom yang berbeda. Penelitian dilakukan pada tiga bentuk penampang yaitu penampang bujur sangkar, lingkaran, dan persegi panjang dengan luas penampang beton dan luas tulangan yang sama. Hasil analisis yang dibandingkan berupa simpangan dan gaya-gaya dalam. Hasil analisis menunjukkan simpangan pada struktur dengan kolom persegi panjang memiliki simpangan struktur arah-x paling besar dengan rasio 19,1 % terhadap struktur dengan kolom bujur sangkar dan 17,3 % terhadap struktur dengan kolom lingkaran. Tetapi, pada arah-y struktur dengan kolom persegi panjang memiliki simpangan paling kecil dengan rasio 18,8 % terhadap struktur dengan kolom bujur sangkar dan 20,5 % terhadap struktur dengan kolom lingkaran. Momen dan gaya geser kolom arah-x pada struktur dengan kolom persegi panjang adalah yang paling kecil. Sebaliknya, pada arah-y momen dan gaya geser kolom adalah yang terbesar. Momen dan gaya geser balok yang ditinjau pada struktur dengan kolom persegi panjang adalah yang paling kecil. Struktur dengan kolom lingkaran memiliki kapasitas dalam menahan aksial dan momen paling baik dengan rasio 14,7 % terhadap struktur dengan kolom bujur sangkar dan 14,2 % terhadap struktur dengan kolom persegi panjang dibandingkan dengan struktur dengan kolom bujur sangkar.

Kata kunci: bentuk penampang kolom, perilaku struktur

COMPARATIVE ANALYSIS OF BEHAVIOR IN BUILDING STRUCTURE WITH VARIATION OF CONCRETE COLUMN SECTION

Abstract:

The column is a vertical section of a frame structure which receives compressive loads and bending. In the field of planning many possible variations of cross sections can be used. Column with circular cross bar has the best performance in weight-bearing and ductility compared columns have a square cross bar. In the reality on the ground columns are often used in planning is a column with a square cross-section due to the implementation of the job easier. Under these conditions it will be reviewed in this study the behavior of building structures that are subjected to axial loads and seismic loads using a variety of different cross-sectional shape column. The study was conducted in three forms, namely a cross-sectional squares, circles, and rectangles with a wide cross-sectional area of concrete and reinforcing the same. The analysis compared results in the form of deviation and internal forces. The analysis shows deviations in the structure with rectangular columns have ancillary structures greatest x-direction with a ratio of 19.1% against the structure with square columns and 17.3% of the structure with circular columns. However, in the y direction rectangular structure with columns having the smallest deviation in the ratio of 18.8% against the structure with square columns and 20.5% of the structure with circular columns. Moments and shear forces in the x-direction columns with rectangular column structure is the smallest. In contrast, in the y-direction moments and shear forces are the largest column. Moments and shear forces on a beam which is reviewed by the rectangular column structure is the smallest. Structure with circular columns have the capacity to withstand axial and best moments with a ratio of 14.7% for structures with square columns and 14.2% of the structures with rectangular columns compared to structures with square columns.

Keywords: sectional shape of a column, the behavior of the structure

PENDAHULUAN

Kolom merupakan suatu struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur. (Sudarmoko, 1996). Berdasarkan definisi kolom di atas dapat disimpulkan bahwa kolom merupakan struktur yang sangat penting.

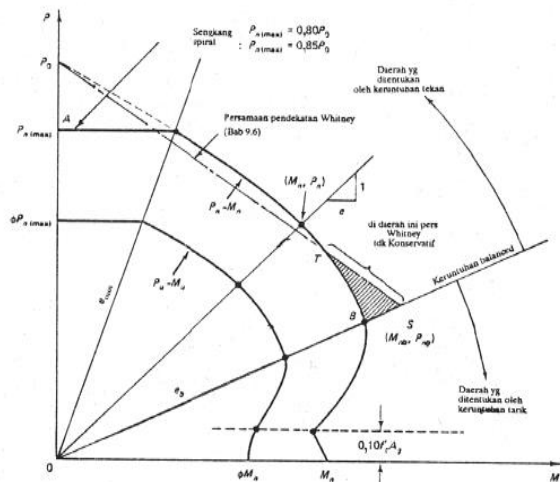
Kekuatan kolom dalam memikul beban didasarkan pada kemampuannya memikul kombinasi beban aksial (P_u) dan Momen (M_u) secara bersamaan. Akibat dari kondisi tersebut perencanaan kolom suatu struktur bangunan didasarkan pada kekuatan dan kekakuan penampang lintangnya terhadap aksi beban aksial dan momen lentur. Pada perencanaan kolom banyak kemungkinan variasi penampang yang bisa digunakan. Bustamy (2011) dalam penelitiannya mengenai kapasitas lentur dan daktilitas dalam menahan beban lateral pada berbagai bentuk kolom mendapatkan bahwa kolom dengan sengkang lingkaran memiliki kinerja terbaik dalam menahan beban dan daktilitas dibandingkan kolom mempunyai sengkang persegi. Kolom bersengkang segi empat dan bujur sangkar merupakan jenis kolom yang paling banyak digunakan karena pelaksanaan pekerjaannya mudah dan harga pembuatannya murah. (Asroni, 2010). Krisnamurti (2013) dalam penelitiannya mengenai pengaruh variasi bentuk penampang kolom terhadap perilaku elemen struktur akibat beban gempa mendapatkan bahwa kapasitas kolom lingkaran dalam menerima beban aksial lebih besar daripada kolom persegi dan persegi panjang.

Berdasarkan uraian diatas perlu adanya kajian mengenai analisa perbandingan perilaku struktur pada gedung dengan variasi bentuk penampang kolom beton bertulang. Krisnamurti (2013) dalam penelitiannya meninjau tiga bentuk penampang kolom yaitu pada penampang bujur sangkar, lingkaran, dan persegi panjang. Pada penelitian tersebut meninjau gaya-gaya dalam dan kapasitas dari elemen-elemen struktur pada gedung tiga lantai. Pada penelitian ini akan ditinjau perilaku struktur gedung yang dibebani beban aksial dan beban gempa dengan menggunakan variasi bentuk penampang kolom. Bentuk penampang kolom yang akan ditinjau adalah pada penampang bujur sangkar, lingkaran, dan persegi panjang. Perilaku struktur yang akan ditinjau meliputi simpangan dan gaya-gaya dalam pada gedung tujuh lantai.

MATERI DAN METODE

Kapasitas penampang beton bertulang untuk menahan kombinasi gaya aksial dan momen lentur dapat digambarkan dalam bentuk suatu kurva

interaksi antara kedua gaya dalam tersebut. Gambar 2 memperlihatkan contoh diagram tersebut. Setiap titik dalam kurva ini menunjukkan kombinasi kekuatan gaya nominal P_n dan kekuatan momen nominal M_n yang sesuai dengan lokasi sumbu netralnya. Diagram interaksi tersebut dapat dibagi menjadi dua daerah, yaitu daerah yang ditentukan oleh keruntuhan tarik dan daerah yang ditentukan oleh keruntuhan tekan, dengan pembatasnya adalah titik balanced (titik B). contoh berikut ini mengilustrasikan pembuatan diagram P-M untuk penampang segiempat tipikal. (Nawy,1998)



Gambar 1. Diagram interaksi P-M kolom

Pada penelitian ini pembebanan struktur yang digunakan mengacu pada Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPPURG, 1987) untuk pembebanan vertikal dan Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 03-1726-2012) untuk pembebanan gempa.

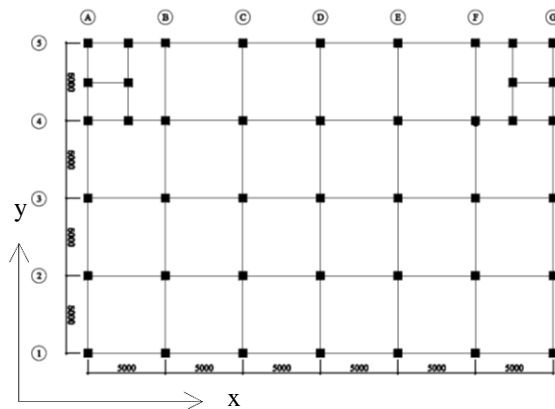
Beban gempa dapat dianalisis dengan menggunakan metode statik (statik ekuivalen dan autoloadd) dan metode dinamis (respon spektrum dan time history). Berdasarkan SNI 03-1726-2012, kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan $0,85 V/V_t$. Berdasarkan ketentuan tersebut maka analisis gaya gempa dengan menggunakan metode dinamis bisa digunakan jika gaya geser dasar dengan metode dinamis lebih dari 85 % gaya geser dasar dengan metode statik.

Pada penelitian ini analisis akan dibantu dengan perangkat lunak SAP2000. Analisis menggunakan SAP2000 dimulai dengan membuat model struktur untuk masing-masing tipe struktur yaitu struktur beraturan tujuh tingkat dengan jarak antar lantai 4 meter berfungsi sebagai kantor. Denah struktur gedung bisa dilihat pada gambar 2. Mutu

beton yang digunakan dalam perencanaan adalah 40 Mpa. Baja tulangan untuk tulangan longitudinal menggunakan baja dengan kuat tarik 320 Mpa dan tulangan tranversal menggunakan baja dengan kuat tarik 240 Mpa.

Struktur gedung didesain dengan dua tipe kolom. Pada lantai satu sampai dengan lantai empat kolom-kolom didesain dengan dimensi yang lebih besar dibandingkan dengan kolom-kolom pada lantai lima sampai dengan lantai tujuh. Begitu juga dengan balok-balok pada lantai satu dengan lantai empat kolom-kolom didesain dengan dimensi yang lebih besar dibandingkan dengan kolom-kolom pada lantai lima sampai dengan lantai tujuh. Dimensi elemen-elemen struktur didesain dengan ketentuan yang ada pada SNI 03-2847-2013.

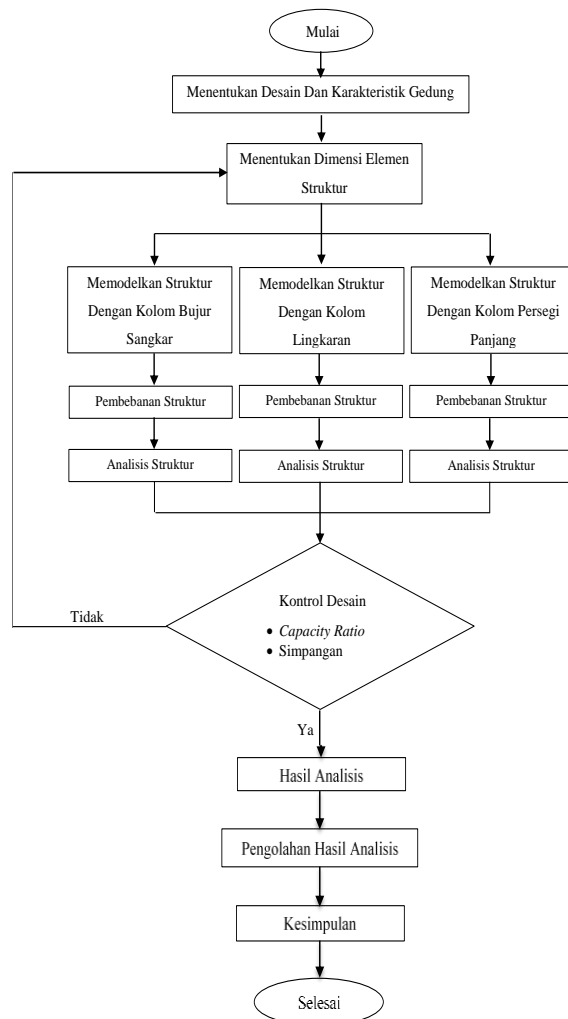
Variasi bentuk penampang kolom yang dianalisis adalah tiga bentuk penampang yaitu penampang bujur sangkar, lingkaran, dan persegi panjang dengan luas penampang dan luas tulangan yang sama. Tulangan pada ketiga kolom direncanakan tersebar merata. Pada kolom dengan penampang lingkaran, sengkang yang digunakan adalah sengkang spiral. Kolom persegi panjang didesain dengan perbandingan $b/h = 1/1,56$ dan ditempatkan memanjang searah sumbu-y.



Gambar 2. Denah struktur gedung

Setelah pemodelan dan analisis struktur telah selesai selanjutnya dilakukan pengecekan desain struktur yaitu meliputi *capacity ratio* dan simpangan horizontal. Pada pengecekan ini semua elemen-elemen struktur harus memiliki *capacity ratio* kurang dari satu. Tetapi *capacity ratio* pada elemen-elemen struktur diharapkan mendekati satu sehingga tidak terlalu boros. Simpangan horizontal yang terjadi tidak boleh melebihi ketentuan yang telah dijelaskan pada SNI 03-1726-2012. Jika pada pengecekan desain terdapat ketidaksesuaian dengan kriteria desain yang telah ditentukan maka harus mengubah desain sehingga mendapatkan desain yang sesuai dengan kriteria desain yang disyaratkan.

Hasil analisis diambil dari output perangkat lunak SAP2000 setelah desain memenuhi kriteria-kriteria desain yang disyaratkan. Hasil analisis tersebut berupa simpangan horizontal dan gaya-gaya dalam struktur yang meliputi gaya aksial, gaya geser, dan momen. Pengolahan data dilakukan dengan perangkat lunak Microsoft Office untuk merekap data-data simpangan dan gaya-gaya dalam. Setelah data-data simpangan dan gaya-gaya dalam selesai direkap selanjutnya adalah membandingkan simpangan dan gaya-gaya dalam dari ketiga model struktur.



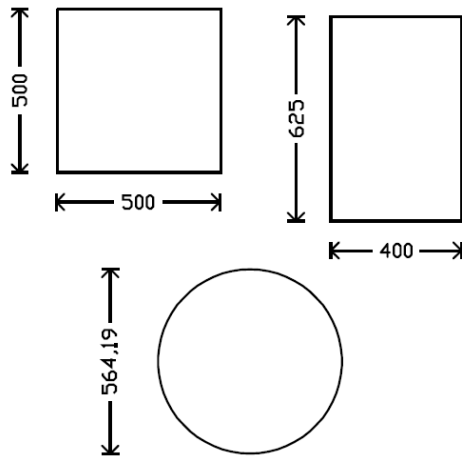
Gambar 3. Bagan alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kolom dan balok didimensi dengan cara *trial and error* pada perangkat lunak SAP2000. Variasi bentuk penampang kolom yang ditinjau adalah tiga bentuk penampang kolom yaitu kolom dengan penampang bujur sangkar, penampang lingkaran, dan penampang persegi panjang. Kolom didesain dengan

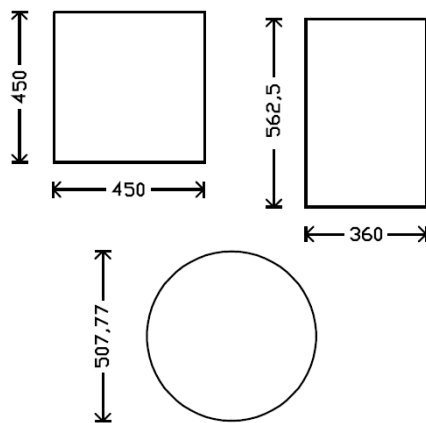
luas penampang beton dan luas tulangan yang sama. Berikut ini adalah dimesni kolom yang didapat dari metode *trial and error* pada perangkat lunak SAP2000.

- a. Kolom pada lantai satu sampai dengan lantai empat didesain dengan luas penampang beton 250000 mm² dan menggunakan 20 baja tulangan dengan ukuran D22.



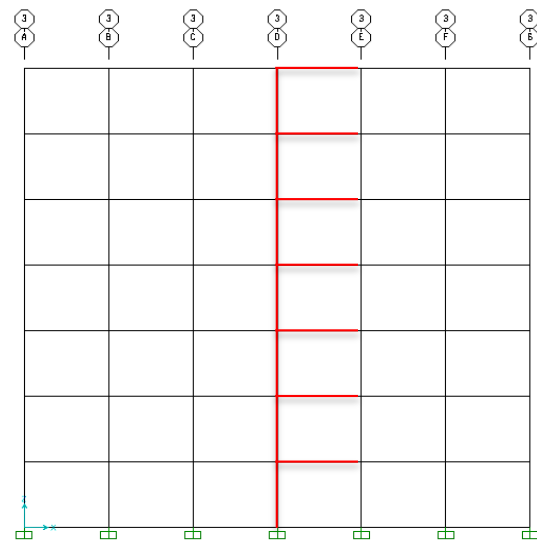
Gambar 4. Kolom untuk lantai 1 sampai dengan lantai 4

- b. Kolom pada lantai empat dan lantai lima didesain dengan luas penampang beton 202500 mm² dan menggunakan 16 baja tulangan dengan ukuran D22.



Gambar 5. Kolom untuk lantai 5 sampai dengan lantai 7

Pada perbandingan elemen struktur kolom dan balok yang dibandingkan adalah elemen kolom dan balok yang berada di tengah dengan asumsi kolom dan balok yang berada di tengah dikenai beban terbesar. Perilaku struktur yang dibandingkan meliputi simpangan horizontal, gaya-gaya dalam, dan *capacity ratio* dari ketiga sistem struktur. Gambar 6. menunjukkan kolom dan balok pada Portal 3-3 yang akan dibandingkan perilaku strukturnya.

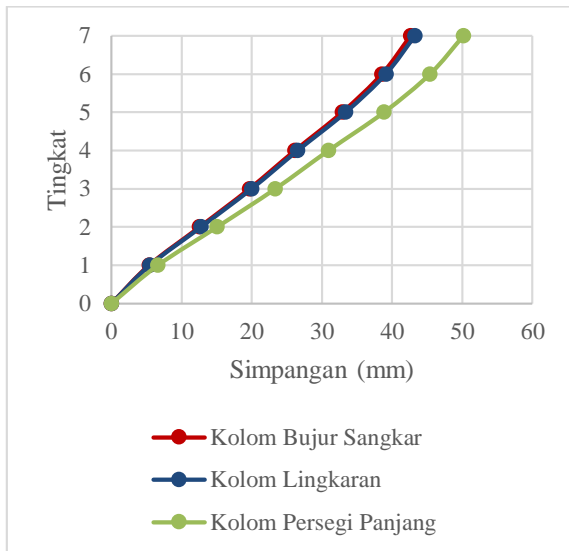


Gambar 6. Kolom dan balok yang ditinjau

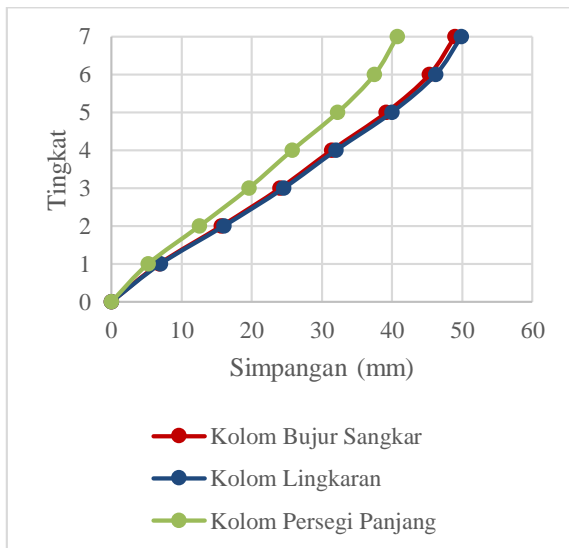
Simpangan

Perbandingan simpangan dilakukan menggunakan kombinasi beban mati, hidup, dan gempa dengan faktor beban. Simpangan tiap tingkat struktur yang didapat dari hasil analisis dengan SAP2000 untuk masing-masing sistem struktur dapat dilihat dalam bentuk grafik simpangan (Gambar 7 dan 8). Dari Gambar 7, dapat dilihat bahwa simpangan arah-x paling besar terjadi pada struktur dengan kolom persegi panjang, kedua adalah struktur dengan kolom lingkaran, sedangkan yang terkecil simpangannya adalah struktur dengan kolom bujur sangkar. Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa simpangan arah-y paling besar terjadi pada struktur dengan kolom lingkaran, kedua adalah struktur dengan kolom bujur sangkar, sedangkan yang terkecil simpangannya adalah struktur dengan persegi panjang. Struktur dengan kolom persegi panjang memiliki simpangan struktur arah-x paling besar dengan rasio 19,1 % terhadap struktur dengan kolom bujur sangkar dan 17,3 % terhadap struktur dengan kolom lingkaran. Tetapi pada arah y struktur dengan kolom persegi panjang memiliki simpangan paling kecil dengan rasio 18,8 % terhadap struktur dengan kolom bujur sangkar dan 20,5 % terhadap struktur dengan kolom lingkaran. Dari kedua gambar grafik tersebut terlihat bahwa simpangan struktur dengan kolom bujur sangkar berhimpit, ini berarti simpangan struktur pada kedua sistem struktur tersebut mempunyai selisih yang kecil. Pada struktur dengan kolom persegi panjang simpangan pada arah-x adalah yang terbesar, tetapi sebaliknya pada arah-y simpangan yang terjadi adalah yang paling kecil. Kedua hal tersebut terjadi dikarenakan simpangan berhubungan dengan inersia penampang. Jika inersia penampang besar maka struktur akan lebih kaku dan simpangan akan semakin kecil. Inersia penampang

bujur sangkar lebih besar jika dibandingkan inersia penampang lingkaran dengan selisih kecil sehingga membuat simpangan struktur pada kedua penampang berhimpit. Pada kolom persegi panjang simpangan pada arah-x besar dan simpangan pada arah-y kecil dikarenakan penempatan kolom persegi panjang searah sumbu-y, sehingga inersia penampang pada arah-y menjadi besar sehingga struktur pada arah-y lebih kaku dibanding struktur arah-x.



Gambar 7. Grafik perbandingan simpangan struktur arah-x

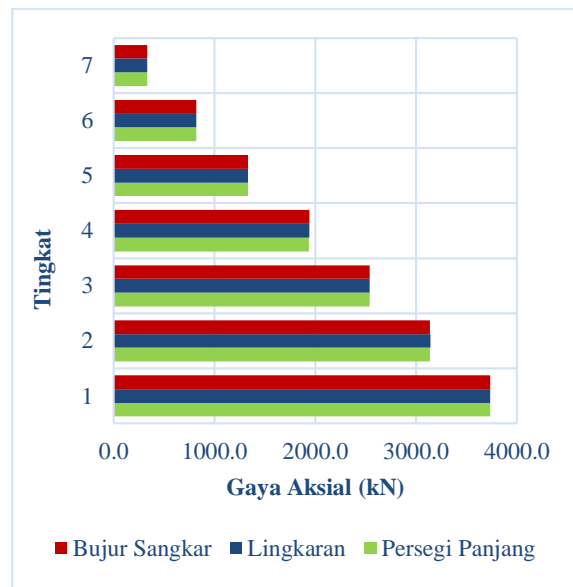


Gambar 8. Grafik perbandingan simpangan struktur arah-y

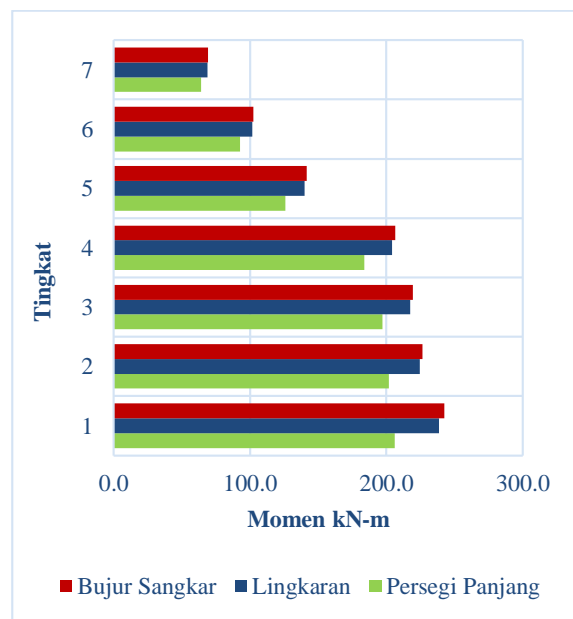
Gaya-Gaya Dalam

Perbandingan gaya-gaya dalam struktur meliputi gaya aksial, momen, dan gaya geser pada balok dan kolom. Pada Gambar 9 terlihat gaya aksial

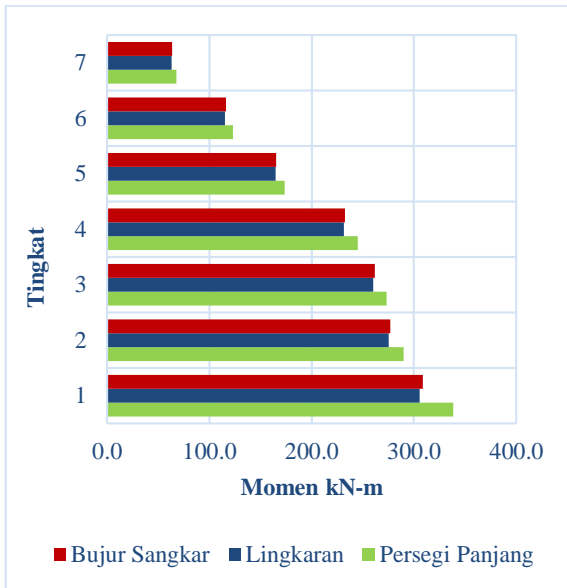
pada ketiga sistem struktur sama besar, hal tersebut terjadi dikarenakan berat struktur ketiga struktur juga sama. Pada Gambar 10 dan Gambar 11 terlihat bahwa struktur dengan kolom persegi panjang memiliki momen kolom arah-x paling kecil, dengan rasio 10,7 % terhadap struktur dengan kolom bujur sangkar dan 9,8 % terhadap struktur dengan kolom lingkaran. Tetapi pada arah y momen kolom pada struktur dengan kolom persegi panjang adalah yang paling besar, dengan rasio 5,9 % terhadap kolom struktur dengan kolom bujur sangkar dan 6,6 % terhadap kolom struktur dengan kolom lingkaran.



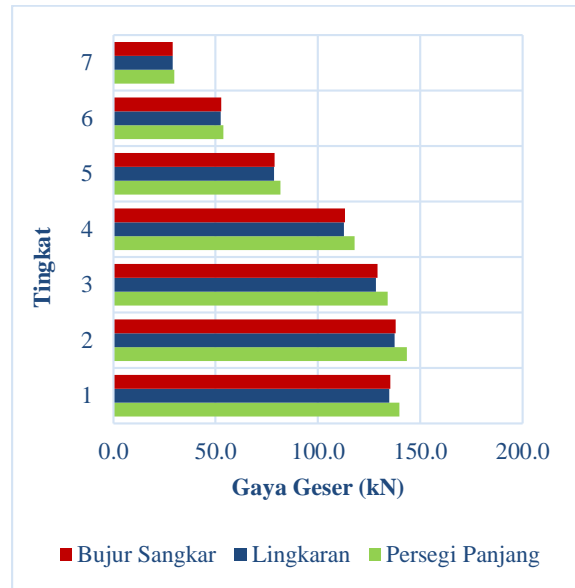
Gambar 9. Grafik perbandingan gaya aksial kolom



Gambar 10. Grafik perbandingan momen kolom arah-x



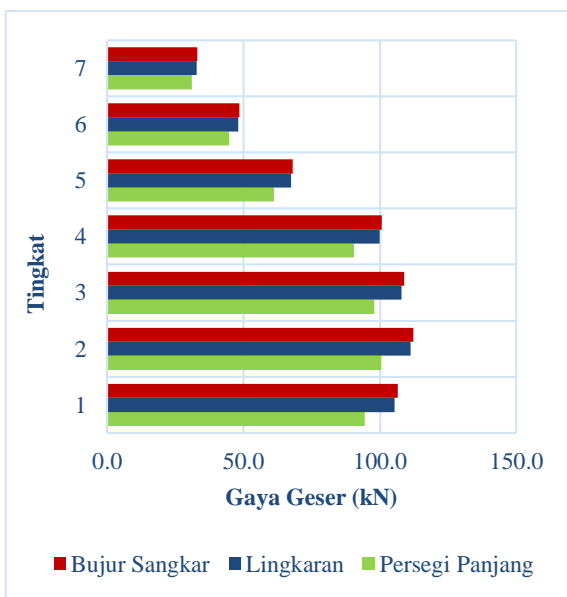
Gambar 11. Grafik perbandingan momen kolom arah-y



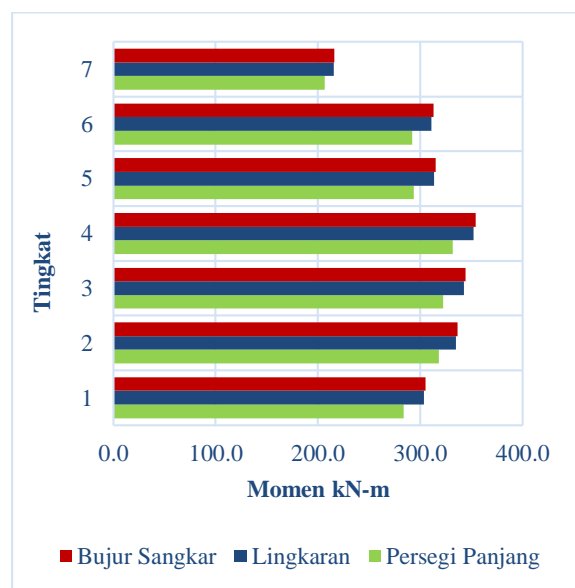
Gambar 13. Grafik perbandingan gaya geser kolom arah-y

Untuk gaya geser kolom dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13. Gaya geser kolom arah-x pada struktur dengan kolom persegi panjang adalah yang paling kecil dengan rasio 9,3 % terhadap struktur dengan kolom bujur sangkar dan 8,5 % terhadap struktur dengan kolom lingkaran. Tetapi gaya geser kolom arah-y pada struktur dengan kolom persegi panjang adalah yang paling besar dengan rasio 3,3 % terhadap struktur dengan kolom bujur sangkar dan 3,7 % terhadap struktur dengan kolom lingkaran.

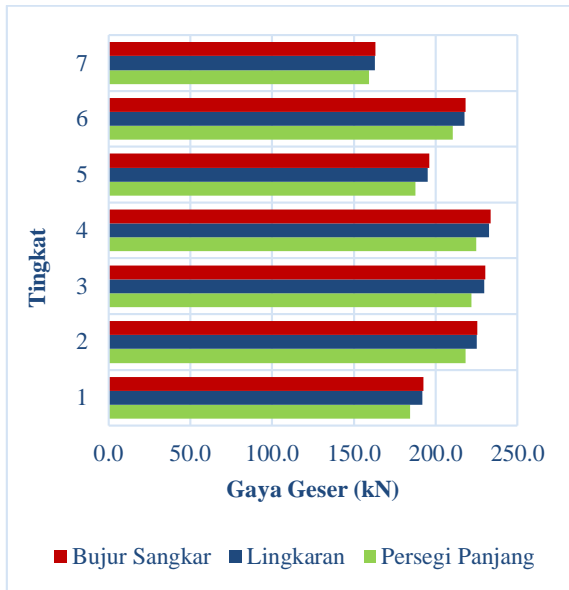
Pada Gambar 14 menampilkan grafik perbandingan momen pada balok dan dan Gambar 15 menampilkan grafik perbandingan gaya geser balok. Momen balok yang ditinjau pada struktur dengan kolom persegi panjang adalah yang kecil, dengan rasio 6,1 % terhadap struktur dengan kolom bujur sangkar dan 5,6 % terhadap struktur dengan kolom lingkaran. Gaya Geser balok yang ditinjau pada struktur dengan persegi panjang adalah yang paling kecil, dengan rasio 3,6 % terhadap struktur dengan kolom bujur sangkar dan 3,3 % terhadap struktur dengan kolom lingkaran.



Gambar 12. Grafik perbandingan gaya geser kolom arah-x



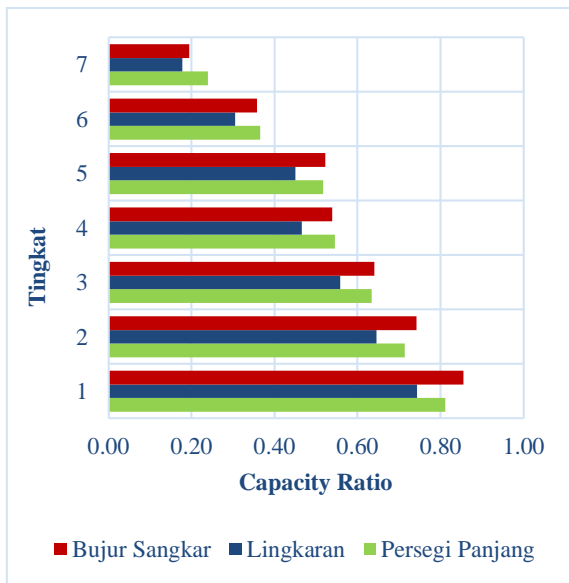
Gambar 14. Grafik perbandingan momen balok



Gambar 15. Grafik perbandingan momen balok

Capacity Ratio

Capacity ratio (R) adalah rasio antara gaya atau momen *ultimate* pada penampang akibat beban terfaktor terhadap kuat nominal penampang yang telah direduksi dengan faktor reduksi (ϕ). Suatu struktur dianggap memenuhi persyaratan kekuatan jika nilai *capacity ratio* kurang dari atau paling tidak sama dengan satu. Pada Gambar 16 terlihat bahwa *capacity ratio* kolom pada struktur dengan kolom lingkaran adalah yang paling kecil, dengan rasio 14,7 % terhadap struktur dengan kolom bujur sangkar dan 14,2 % terhadap struktur dengan kolom persegi panjang.



Gambar 16. Grafik perbandingan momen balok

Berdasarkan hasil tersebut kolom-kolom pada struktur dengan kolom lingkaran memiliki kapasitas dalam menahan gaya aksial dan momen lebih baik dibandingkan dengan struktur dengan kolom bujur sangkar dan struktur dengan kolom persegi panjang.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut;

1. Struktur dengan kolom persegi panjang memiliki simpangan struktur arah-x paling besar dengan rasio 19,1 % terhadap struktur dengan kolom bujur sangkar dan 17,3 % terhadap struktur dengan kolom lingkaran. Tetapi pada arah-y struktur dengan kolom persegi panjang memiliki simpangan paling kecil dengan rasio 18,8 % terhadap struktur dengan kolom bujur sangkar dan 20,5 % terhadap struktur dengan kolom lingkaran.
2. Gaya aksial kolom pada ketiga sistem struktur sama.
3. Struktur dengan kolom persegi panjang memiliki momen kolom arah-x paling kecil dengan rasio 10,7 % terhadap struktur dengan kolom bujur sangkar dan 9,8 % terhadap struktur dengan kolom lingkaran. Tetapi pada arah y momen kolom pada struktur dengan kolom persegi panjang adalah yang paling besar dengan rasio 5,9 % terhadap kolom struktur dengan kolom bujur sangkar dan 6,6 % terhadap kolom struktur dengan kolom lingkaran.
4. Gaya geser kolom arah-x pada struktur dengan kolom persegi panjang adalah yang paling kecil dengan rasio 9,3 % terhadap struktur dengan kolom bujur sangkar dan 8,5 % terhadap struktur dengan kolom lingkaran. Tetapi gaya geser kolom arah-y pada struktur dengan kolom persegi panjang adalah yang paling besar dengan rasio 3,3 % terhadap struktur dengan kolom bujur sangkar dan 3,7 % terhadap struktur dengan kolom lingkaran.
5. Momen balok yang ditinjau pada struktur dengan kolom persegi panjang adalah yang kecil dengan rasio 6,1 % terhadap struktur dengan kolom bujur sangkar dan 5,6 % terhadap struktur dengan kolom lingkaran.
6. Gaya Geser balok yang ditinjau pada struktur dengan persegi panjang adalah yang paling kecil dengan rasio 3,6 % terhadap struktur dengan kolom bujur sangkar dan 3,3 % terhadap struktur dengan kolom lingkaran.
7. Struktur dengan kolom persegi panjang dipengaruhi oleh arah penempatan kolom, dimana ketika kolom ditempatkan memanjang pada arah-y akan membuat struktur lebih kaku

pada arah tersebut tetapi akan melemahkan kekakuan struktur pada arah lainnya.

8. Capacity ratio kolom pada struktur dengan kolom lingkaran adalah yang paling kecil dengan rasio 14,7 % terhadap struktur dengan kolom bujur sangkar dan 14,2 % terhadap struktur dengan kolom persegi panjang. Berdasarkan hasil tersebut kolom-kolom pada struktur dengan kolom lingkaran memiliki kapasitas dalam menahan gaya aksial dan momen lebih baik dibandingkan dengan struktur dengan kolom bujur sangkar dan struktur dengan kolom persegi panjang.

Saran

Berdasarkan analisa dan kesimpulan di atas hal-hal yang bisa digunakan sebagai referensi perencanaan struktur kolom beton bertulang dan pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut;

1. Untuk mendapatkan kekakuan struktur pada arah tertentu disarankan menggunakan bentuk penampang persegi panjang yang ditempatkan memanjang pada arah tersebut. Tetapi harus diingat bahwa dengan menggunakan penampang persegi panjang akan melemahkan struktur pada arah yang lainnya.
2. Dilihat dari kemampuan kolom dalam menahan gaya aksial dan momen, untuk mendapatkan kapasitas kolom yang lebih besar bentuk penampang lingkaran adalah yang paling efektif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua, saudara, dan teman-teman yang telah memberikan dorongan, bimbingan, dan saran dalam penyelesaian tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, Ali. 2010. *Kolom, Fondasi dan Balok T Beton Bertulang*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2012)*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2013)*. Jakarta.
- Busthamy, Imam. 2011. *Pengujian Serta Analisis Berbagai Bentuk Kolom Beton Bertulang Terhadap Kapasitas Lentur dan Daktilitas Menahan Beban Lateral*. Skripsi. Jember : Fakultas Teknik Universitas Jember

- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPPIURG)*. Jakarta : Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum
- G. Nawi, Edward. 1998. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: Refika Aditama.
- Krisnamurti, K., Wiswamitra, K. A., & Kriswardhana, W. (2013). *Pengaruh Variasi Bentuk Penampang Kolom Terhadap Perilaku Elemen Struktur Akibat Beban Gempa*. *Rekayasa Sipil*, 7(1), pp-13.
- Sudarmoko. 1996. *Perencanaan dan Analisis Kolom Beton Bertulang*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada