

PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR KOLOM BULAT DAN KOLOM PERSEGI BETON BERTULANG TERHADAP BEBAN GEMPA DENGAN ANALISIS *PUSHOVER* (Studi Kasus : Gedung Balai Diklat Keuangan Denpasar)

Ratna Dewi¹, I Wayan Artana², I Putu Laintarawan³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hindu Indonesia

¹Email: ratnadewi99@gmail.com

²Email: artana.str2@gmail.com

³Email: Ltrwnn@gmail.com

ABSTRAK

Kolom adalah elemen struktur vertikal berfungsi untuk menyerap beban aksial dan melimpahkan ke pondasi. Struktur kolom ini terdiri dari tulangan dan beton yang merupakan kombinasi material tahan tarikan dan tekanan. Kolom memikul gabungan beban aksial dan momen ultimit secara bersamaan. Kolom harus memiliki kekuatan dimana kekuatan kolom harus melebihi dari beban yang bekerja. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan perbedaan kinerja struktur gedung beton bertulang menggunakan kolom bulat dan persegi akibat beban gempa. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan bantuan software SAP2000 dengan analisis nonlinier Pushover. Ada dua model dalam penelitian ini, yaitu Model M1 adalah model kolom persegi dan model M2 adalah model kolom bulat. Hasil analisis menunjukkan bahwa perilaku struktur untuk simpangan lateral arah X kolom persegi lebih kaku dibandingkan kolom bulat, sedangkan simpangan lateral arah Y kolom bulat lebih kaku dibandingkan kolom persegi. Hal ini dipengaruhi oleh Inersia penampang dan jumlah kolom masing-masing arah berbeda. Gaya-gaya dalam kolom persegi lebih besar 1%, gaya geser lebih kecil 62% dan gaya aksial lebih besar 24% dibandingkan kolom bulat. Model kolom persegi dengan level kinerja IO memiliki kemampuan menerima beban dan simpangan lateral pada kurva kapasitas lebih besar dibandingkan kolom bulat untuk gempa arah X dan Y.

Kata kunci : kinerja, perilaku, kolom, beton bertulang, pushover

COMPARISON OF STRUCTURAL PERFORMANCE OF CIRCULAR AND SQUARE COLUMN OF REINFORCED CONCRETE AGAINST EARTHQUAKE LOADS WITH *PUSHOVER* ANALYSIS

(Case Study: Denpasar Financial Training Center Building)

ABSTRACT

Column is a vertical structural element that functions to absorb axial loads and transfer them to the foundation. The structure of this column consists of reinforcement and concrete which is a combination of tensile and compression resistant materials. The column carries a combination of axial loads and ultimate moments simultaneously. The column must have strength where the strength of the column must exceed the working load. The purpose of this study was to obtain differences in the performance of reinforced concrete building structures using circular and square columns due to earthquake loads. The research method used is a quantitative method with the help of SAP2000 software with nonlinear Pushover analysis. There are two models in this study, namely Model M1 is a square column model and model M2 is a circular column model. The results of the analysis show that the behavior of the structure for lateral deformation in the X direction of the square column is stiffer than the round column, while the lateral deformation in the Y direction of the circular column is stiffer than the square column. This is influenced by the inertia of the cross-section and the number of columns in each direction is different. The forces in the square column are 1% greater, the shear force is 62% smaller and the axial force is 24% greater than the circular column. The square column model with IO performance level has the ability to accept lateral loads and deformations on a larger capacity curve compared to circular columns for X and Y direction earthquakes.

Keywords: performance, behavior, column, reinforced concrete, pushover

1. PENDAHULUAN

Perencanaan struktur bangunan gedung pada umumnya menggunakan desain kolom persegi untuk menahan struktur balok induk sesuai fungsi dan beban bangunan tersebut. Namun demikian, karena ada tuntutan dari segi arsitektur beberapa bangunan gedung menggunakan desain kolom bulat /lingkaran. Menurut (Sudarmoko, 1996), kolom merupakan suatu struktur tekan yang memegang peranan penting dari satu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya lantai dan runtuhnya bangunan secara total. Berdasarkan tragedi yang telah terjadi, keruntuhan bangunan akibat bencana gempa bumi menelan korban jiwa dan kerugian materi dalam jumlah yang cukup besar. Bangunan harus direncanakan untuk dapat memberikan kinerja minimal keselamatan penghuni terjamin (*life safety*), dimana bangunan diperbolehkan mengalami kerusakan namun tidak mengalami keruntuhan. Oleh karena itu, diperlukan suatu analisa/assessment terhadap suatu bangunan konstruksi yang telah ada untuk mengetahui kinerja struktur saat menerima beban gempa, dengan demikian, kemungkinan timbulnya korban jiwa dan kerugian materi dapat diminimalisir kemampuan struktur dapat dinilai dengan menganalisis statik nonlinier *pushover*.

Analisis statik nonlinier *pushover* adalah pola beban statis yang besarnya meningkat secara *incremental* hingga struktur mencapai target *displacement* atau pola keruntuhan tertentu, hasil penelitian dapat menjelaskan hubungan antara *base shear* dan *roof displacement* yang di petakan sebagai kurva kapasitas struktur (ATC 40,1996).

Analisis perbandingan kolom berbentuk bulat dan persegi terhadap kinerja struktur gedung beton bertulang akibat beban gempa penelitian dari Agus dan Pranata (2018) menghasilkan perbandingan dimana gaya dalam, gaya geser, dan gaya aksial kolom bulat lebih besar dibandingkan dengan kolom persegi, tetapi dari segi penulangan bahwa rasio penulangan kolom persegi lebih kecil daripada kolom bulat yang menyebabkan kolom persegi lebih efektif pada penulangan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku dan kinerja struktur gedung dengan kolom persegi dan kolom bulat terhadap beban gempa. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang perilaku dan kinerja struktur Gedung dengan dengan kolom berpenampang persegi dan bulat serta sebagai bahan referensi untuk penelitian selanjutnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Kolom

Kolom adalah elemen struktur yang vertikal berfungsi untuk menyerap beban aksial dan menyalurkannya ke pondasi. Struktur di dalam kolom terdiri dari besi dan beton, keduanya merupakan kombinasi material tahan

tarikan dan tekanan. Salah satu elemen struktur tekan memiliki peranan penting pada suatu bangunan. Oleh karena itu, keruntuhan suatu kolom merupakan titik kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai serta keruntuhan total (*total collapse*) keseluruhan struktur (Sudarmoko 1996). Menurut SNI 2847:2013, kolom adalah elemen struktur dengan perbandingan tinggi pada dimensi lateral terkecil lebih besar dari 3, yang utamanya berfungsi untuk menumpu beban tekan aksial.

Jenis kolom diklasifikasikan berdasarkan bentuk kolom dan susunan tulangan, cara pembebanan, letak beban pada penampang, dan panjang kolom.

Ada tiga jenis kolom beton bertulang, yaitu: kolom pengikat sengkang lateral, kolom pengikat spiral dan kolom komposit. Kolom memikul gabungan beban aksial ultimit dan momen ultimit secara bersamaan. Akibat dari kondisi tersebut, kolom harus memiliki kekuatan dimana kekuatan melebihi dari beban yang diberikan. oleh karena itu, kolom harus dirancang sesuai beban dan momen yang akan diterima oleh kolom serta mengacu pada peraturan yang ada.

Pada kolom persegi, tulangan Sengkang berbentuk persegi dengan memiliki spasi antar tulangan sebagai pendukung dari tulangan utama longitudinal. Saat kolom diberi beban hingga runtuh, beton diluar sengkang akan hancur terlebih dahulu. Kolom dengan sengkang persegi akan hancur secara tiba-tiba jika diberi beban hingga runtuh, tulangan longitudinal mengalami pembengkokan, kemudian tulangan sengkang akan bengkok keluar karena beton pada kolom mengalami ekspansi sampai kolom hancur.

Pada kolom bulat, tulangan sengkang spiral menerus sebagai pendukung pada tulangan utama longitudinal. Saat kolom diberi beban aksial hingga runtuh, bagian beton luar akan hancur terlebih dahulu. Akibat Penggunaan tulangan spiral pada kolom bulat secara perlahan akan mengakibatkan kolom hancur setelah beton luar hancur, kolom ini dapat ditahan tulangan spiral, yang selanjutnya kolom akan berdeformasi lebih lanjut sampai tulangan utama bengkok dan runtuh.

Beban

Beban mati (*Dead*) adalah berat keseluruhan konstruksi bahan bangunan yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang termasuk berat piva dan keran. Beban mati untuk perancangan di tentukan menggunakan berat bahan dan konstruksi yang sebenarnya, berdasarkan ketentuan jika tidak ada informasi yang jelas, maka nilai yang harus digunakan adalah nilai yang disetujui oleh pihak yang berwenang. Sedangkan untuk beban mati rencana, harus memperhitungkan berat peralatan layan yang digunakan dalam bangunan gedung seperti plambing, mekanikal elektrik, dan alat pemanas, ventilasi, dan sistem pengondisian udara.

Beban hidup (*Live*) adalah beban yang diakibatkan oleh penghuni atau pengguna gedung dan di dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal tidak terpisahkan dari Gedung dan Dapat diganti selama masa hidup gedung, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Beban hidup pada lantai harus diambil menurut Tabel 4.3-1 SNI 1727: 2020 untuk gedung perkantoran memiliki beban sebesar 4,79 kN/m² pada Lobi dan Koridor lantai pertama sedangkan pada area Kantor memiliki beban hidup sebesar 2,40 kN/m², pada koridor diatas lantai pertama sebesar 3,83 kN/m² dan untuk beban hidup pada atap diambil beban minimum sebesar 0,58 kN/m² pada bidang datar.

Beban gempa menggunakan beban gempa pushover yang sesuai dengan SNI 1726:2019 dengan gempa rencana dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%. Kategori resiko gempa adalah II. Kombinasi beban terfaktor yang diperhitungkan adalah sebagai berikut:

$$U1 = 1,4D$$

$$U2 = 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$$

$$U3 = 1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$$

$$U4 = 1,2D + 1,0W + L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$$

$$U5 = 0,9D + 1,0$$

Simpangan Batas

SNI 1726:2019 pasal 7.8.6 mengatur simpangan antar lantai tingkat akibat gempa desain (Δ) sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Simpangan antar lantai desain (Δ), tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_{α}) (Tabel 20 pada SNI 1726:2019) Kategori risiko didapatkan dari Tabel 4 pada SNI 1726:2019, bergantung dari pemanfaatan gedung. Kategori risiko juga menentukan faktor keutamaan gedung (I).

Mekanisme Keruntuhan *Soft Story*

Pada tingkat keruntuhan lunak (*soft story*) adalah mengindikasikan reduksi kekakuan lateral dibandingkan kekakuan lateral lantai-lantai di atasnya. Dapat terjadinya keruntuhan di semua lantai, tetapi umumnya sangat kritis terjadi pada lantai dasar karena mengalami gaya yang terbesar, dimana terjadi diskontinu kekuatan dan kekakuan struktur pada sambungan dengan lantai kedua. Kondisi diskontinu dapat disebabkan oleh struktur pada lantai dasar lebih lemah dibandingkan di atasnya atau lebih lentur sehingga menghasilkan deformasi lateral akibat gempa yang sangat besar pada lantai dasar sehingga beban terkonsentrasi pada sambungan dengan lantai dua (*Ikhsansaleh, 2010*).

Analisis Statik NonLinier *Pushover*

Menurut ATC-40 (*California Seismic Safety Commission, 1996*) analisis statik non linier *Pushover* merupakan pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statis

yang bekerja pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut dan mengalami perubahan bentuk elastis yang besar hingga mencapai kondisi plastis.

Analisis statik nonlinier *Pushover* dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh level kinerja dan deformasi yang terjadi, serta untuk memperoleh informasi bagian struktur yang kritis terhadap gempa sehingga dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan dan stabilitasnya. Dalam melakukan analisis statik nonlinier *Pushover* perlu dilakukan penentuan letak sendi plastis pada ujung-ujung balok dan kolom karena perilaku sendi plastis pada elemen-elemen struktur mempengaruhi kinerja struktur secara global.

Pola pendistribusian gaya lateral yang sebagai beban pendorong sangat mempengaruhi kurva *pushover*. Analisis *pushover* dilakukan untuk memperoleh deformasi dan informasi terhadap area struktur yang mengalami kritis. Analisa *pushover* juga digunakan untuk mengetahui gaya maksimum. Adapun tahapan analisis *pushover*:

1. Menentukan *control node* untuk mengamati besaran nilai perpindahan struktur. Nilai gaya geser dasar dan perpindahan tersebut digunakan untuk menyusun kurva *pushover*
2. Membuat kurva *pushover* dengan sumber nilai pola distribusi dan gaya lateral terpenting gaya ekuivalen yang di distribusi dari gaya inersia. Harapannya terjadi deformasi yang mendekati deformasi diakibatkan gempa. Sebab gempa memiliki sifat tidak pasti. Sehingga perlu berbagai pola yang berbeda untuk pembebanan lateral sehingga menghasilkan kondisi yang di harapkan.
3. Estimasi besaran pada perpindahan lateral. Titik control dilakukan mencapai standar perpindahan.
4. Dilakukan evaluasi terhadap level kinerja pada struktur saat titik control sudah mencapai perpindahan yang tepat. Komponen struktur dan aksi perilakunya dianggap memuaskan apabila telah memenuhi syarat yang telah ditentukan. Karena yang di evaluasi adalah komponen maka jumlah nilai relatifnya sangat banyak, sehingga proses ini sepenuhnya dikerjakan oleh komputer (fasilitas *pushover* dan evaluasi kinerja yang terdapat secara *build-in* pada program SAP2000, mengacu pada FEMA-356)

Kinerja Struktur

Perencanaan struktur bangunan umumnya didasarkan pada ketentuan-ketentuan dan batasan-batasan yang terdapat pada peraturan setempat, yang dibuat untuk menghindari adanya korban jiwa pada saat terjadi gempa besar atau mengurangi kerusakan dan kerugian harta benda pada saat terjadi gempa sedang. Namun,

prosedur yang disyaratkan di peraturan tidak secara eksplisit menjamin baik atau tidaknya kinerja struktur tersebut saat gempa terjadi. Alangkah baiknya jika kinerja tersebut dapat diperkirakan sehingga pemilik atau penyandang dana dapat mengetahui secara lebih jelas seberapa besar resiko yang akan ditanggungnya dengan sejumlah dana yang dikeluarkan. Perencana struktur dapat menawarkan kepada pemilik atau penyandang dana secara kuantitatif sekuat apa bangunan yang akan didirikan. Dari sinilah bermula pemikiran tentang perencanaan berbasis kinerja (*performancebased design*).

Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja (*performance-based seismic design*) adalah proses yang digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkuatan (*upgrade*) bangunan yang sudah ada, dengan pemahaman yang realistis terhadap resiko keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) akan mungkin terjadi akibat gempa yang datang. Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja dimulai dengan membuat model rencana bangunan selanjutnya melakukan simulasi kinerjanya terhadap kejadian gempa. Simulasi akan memberikan informasi tingkat kerusakan (*level of damage*), dan ketahanan struktur, sehingga memperkirakan berapa besar keselamatan, kesiapan pakai dan kerugian harta benda yang akan terjadi (Dewobroto 2005)

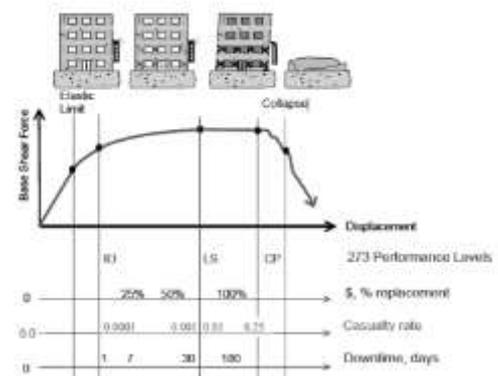
Tingkat Kinerja Struktur berdasarkan (FEMA 356 2000) sebagai berikut:

1. *Operational (O)*, Tidak ada kerusakan pada struktur dan nonstruktur bila terjadi gempa yang artinya bangunan tetap berfungsi.
2. *Immediate Occupancy (IO)*, Bila terjadi gempa, tidak ada kerusakan struktur yang berarti kekuatan dan kekakuannya hampir sama dengan kondisi sebelum gempa, maka bangunan dapat dipakai
3. *Life-Safety (LS)*, Bila terjadi gempa, bangunan mengalami sedikit kerusakan struktural namun masih bisa menahan beban gempa yang terjadi, sehingga keselamatan penghuni masih terjamin
4. *Collapse Prevention (CP)*, Bila terjadi gempa, bangunan mengalami kerusakan berat pada struktur dan non struktur namun belum terjadi keruntuhan

Kinerja struktur dilihat dari kemampuan struktur dalam menerima gaya gempa yang kuat. Struktur diharapkan dapat menyebar gaya-gaya dalam ke seluruh elemen-elemen strukturnya dan tidak terfokus ke beberapa elemen stuktur saja. Sehingga Struktur dengan kinerja yang baik masih memiliki kemampuan untuk bertahan dari gempa meskipun sudah mencapai ambang keruntuhan.

Pentingnya dari suatu perencanaan berbasis kinerja yaitu sasaran kinerja bangunan terhadap gempa dinyatakan secara jelas, sehingga pemilik, penyewa, asuransi, pemerintahan atau penyandang dana miemiliki kesempatan untuk menetapkan kondisi apa

yang dipilih, dan ketentuan tersebut digunakan insinyur perencana sebagai pedomannya. Berikut gambar ilustrasi level kinerja struktur bangunan bersamaan dengan kurva hubungan perpindahan pada atap terhadap gaya geser dasar yang bekerja.



Gambar 2.1 Ilustrasi rekayasa gempa berbasis kinerja (Sumber: ATC-58, 2004)

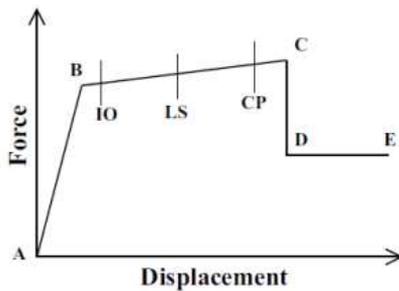
Gambar 2.1 menurut ATC-58 (*ATC-58 Structural Performance Products Team, 2004*) menjelaskan secara kualitatif level kinerja/performance levels pada FEMA273 yang digambarkan dengan suatu kurva hubungan gaya geser dasar (V) dan perpindahan titik acuan (D) yang menunjukkan perilaku struktur secara menyeluruh (global) terhadap pembebanan lateral. Kurva tersebut dihasilkan dari analisis statik nonlinier khusus yang dikenal sebagai analisis *Pushover*, sehingga disebut juga sebagai kurva *Pushover*. Sedangkan titik kinerja (*performance point*) merupakan perpindahan atap pada saat mengalami gempa rencana. Diatas kurva *Pushover* dapat digambarkan secara kualitatif kondisi kerusakan yang terjadi pada level kinerja yang ditetapkan agar kurva di bawahnya dapat memberikan bayangan seberapa besar kerusakan itu terjadi. Selain itu dapat juga dikorelasikan berapa persentase biaya dan waktu yang diperlukan untuk perbaikan. Informasi itu tentunya sekedar gambaran perkiraan, meskipun demikian sudah mencukupi untuk mengambil keputusan apa yang sebaiknya harus dilakukan terhadap Hasil penelitian bangunan tersebut.

Sendi Plastik Balok dan Kolom

Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan struktur dalam menahan gaya dalam. Pemodelan sendi digunakan untuk mendefinisikan perilaku nonlinier gaya-perpindahan atau momen-rotasi yang dapat ditempatkan pada beberapa tempat berbeda di sepanjang bentang balok atau kolom. Pemodelan sendi yaitu rigid dengan tidak memiliki efek pada perilaku linier.

Pada elemen kolom menggunakan tipe sendi *default* P-M2-M3, dengan mempertimbangkan adanya hubungan gaya aksial dengan momen (diagram interaksi P-M). Sedangkan untuk elemen balok menggunakan *default* V2 dan *default* M3, dan di pertimbangkan balok efektif menahan gaya geser pada

sumbu lemah dan momen terhadap arah sumbu kuat, sehingga diharapkan sendi plastis terjadi pada balok. Sendi diasumsikan terletak di masing-masing ujung pada elemen balok dan kolom (Wibowo, Purwanto, dan Yanto 2010)



Gambar 2.2 Model sendi plastis balok dan kolom (Sumber: CSI, 2007)

Hubungan gaya dengan perpindahan ditampilkan pada Gambar 2.2 yang menunjukkan model sendi plastis menurut FEMA 356. Grafik tersebut juga berlaku untuk hubungan momen dengan rotasi. *Hinge properties* yang digunakan dianalisis dengan program SAP2000 pada *fitur automatic hinge*, sesuai material dan *acceptance criteria* yang digunakan. *Acceptance criteria* pada Table 6-7 dan 6-8 FEMA 356 adalah untuk balok dan kolom dengan material beton. Sedangkan pada Table 5-6 FEMA 356 untuk balok dan kolom dengan material baja

Pada program SAP2000, warna untuk setiap kondisi sendi plastis adalah sebagai berikut.

1. A: awal pembebanan, belum terbentuk sendi plastis.
2. B: batas elastis, sendi plastis pertama terbentuk dalam warna merah muda.
3. IO: Immediate Occupancy, sendi plastis terbentuk dalam warna biru tua.
4. LS: Life Safety, sendi plastis terbentuk dalam warna biru muda.
5. CP: Collapse Prevention, sendi plastis terbentuk dalam warna hijau.
6. C: Collapse, sendi plastis terbentuk dalam warna kuning.
7. D: residual point, sendi plastis terbentuk dalam warna oranye.
8. E: runtuh, sendi plastis terbentuk dalam warna merah.

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan cara penulis untuk memperoleh jawaban atas masalah yang diajukan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif. Menurut Sugiyono (2020) metode penelitian kuantitatif dapat diartikan sebagai metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat positivisme, digunakan untuk meneliti pada populasi atau sampel tertentu, pengumpulan data menggunakan instrumen penelitian, analisis data bersifat

kuantitatif/statistik, dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan.

Properties Material

Adapun properties material yang digunakan adalah properties material beton bertulang dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Mutu beton (f'_c) = 30 Mpa
2. Modulus elastisitas beton (E_c) = $4700\sqrt{f'_c}$ MPa
3. Berat volume beton bertulang (γ_c) = 2400 kg/m³
4. Mutu tulangan longitudinal (f_{yt}) = 420 MPa
5. Mutu tulangan geser (f_{yt}) = 280 MPa
6. Modulus elastisitas baja (E_s) = 200000 MPa
7. Poisson ratio (μ) = 0,2

Objek Penelitian

Objek penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah struktur gedung beton bertulang tiga lantai yang difungsikan sebagai gedung perkantoran dengan sistem struktur SRPMK gedung terdiri dari 7 portal melintang dengan jarak antar portal yang bervariasi yaitu portal yang berjarak terpanjang 7,50 m dan yang terpendek 3,0 m. Sedangkan jarak bentang lainnya juga bervariasi yaitu dari yang terpanjang berjarak 7,885 m, terpendek berjarak 2,0 m dan tinggi setiap lantainya 4,0 m. Penelitian ini menggunakan perbandingan dua model yaitu model struktur kolom persegi (M1) dan model struktur kolom bulat (M2). Model M1 adalah model kolom kolom persegi dengan dimensi kolom K3 (500x1000 mm), K4 (700x800 mm), K5 (500x800 mm), K6 (600x700 mm), K7 (500x700 mm), K8 (500x600 mm), K9 (500x500 mm).

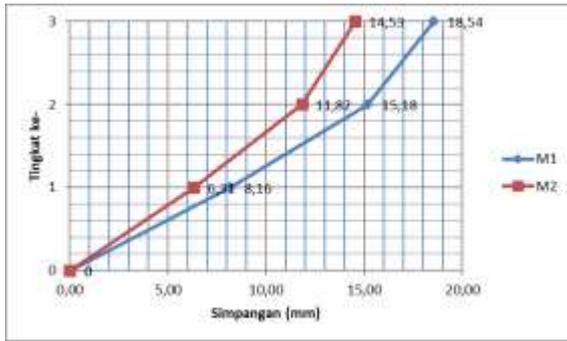
Model M2 adalah model kolom kolom bulat dengan dimensi kolom K3 (800 mm), K4 (850 mm), K5 (720 mm), K6 (730 mm), K7 (670 mm), K8 (620 mm) dan K9 (560 mm).

4. HASIL

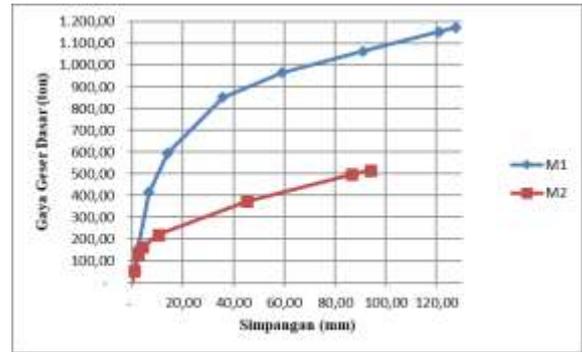
Simpangan lateral akibat beban gempa seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1 arah X dan Gambar 4.8 arah Y.



Gambar 4.1 Simpangan lateral arah X akibat D+L+Ex
Sumber: Hasil Analisis (2024)



Gambar 4.2 Simpangan lateral arah Y akibat D+L+Ey
Sumber: Hasil Analisis (2024)



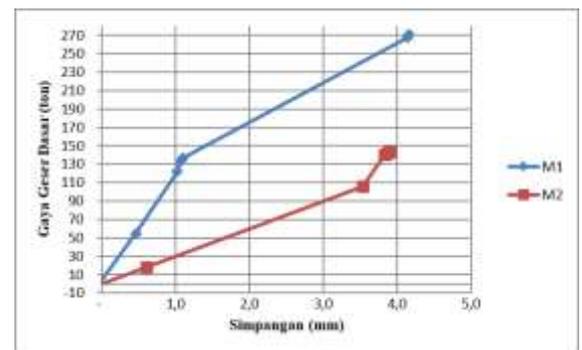
Gambar 4.3 Kurva Pushover model M1 dan M2 akibat PUSH X
Sumber: Hasil penelitian, (2024)

Gambar 4.2 menunjukkan simpangan lateral pada arah X model M1 yaitu sebesar 11,37 mm sedangkan model M2 memiliki simpangan lateral lebih besar yaitu 17,30 mm atau 52,2% dari model M1. Untuk simpangan lateral arah Y pada Gambar 4.8 memperlihatkan model M1 sebesar 18,54 mm sedangkan model M2 memiliki simpangan lebih kecil yaitu 14,53 mm dengan simpangan 22% dari model M1. Dari hasil simpangan lateral arah X struktur gedung dengan kolom persegi (M1) lebih kaku di bandingkan dengan struktur kolom bulat (M2) sedangkan pada arah Y struktur gedung dengan kolom Bulat (M2) lebih kaku di bandingkan dengan struktur kolom persegi (M1). Ini disebabkan karena penampang pada bangunan eksisting sebagian besar berpenampang persegi panjang.

Hasil analisis terhadap gaya-gaya dalam gaya aksial, gaya geser dan momen maksimum pada kolom persegi berturut-turut sebesar 329,029 kN, 13,612 kN dan 30,015 kNm). Sedangkan hasil analisis terhadap gaya-gaya dalam gaya aksial, gaya geser dan momen maksimum pada kolom bulat berturut-turut sebesar 326,59 kN, 11,483 kN dan 24,287 kNm. Persentase selisih gaya-gaya dalam kolom persegi dan kolom bulat untuk gaya aksial, gaya geser dan momen berturut-turut sebesar 1% (M1>M2), 62% (M1<M2), 24% (M1 > M2).

Hasil dari analisis statik non linier berupa kurva Pushover, menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar dengan perpindahan atap. Kurva Pushover akibat PUSH X untuk model M1 dan M2 ditampilkan pada gambar 4.9 dan akibat PUSH Y untuk ketiga model tersebut ditampilkan pada gambar 4.10.

Dari gambar 4.3 dapat dilihat M1 mampu menerima beban lateral maksimum sampai dengan 1173 ton dengan perpindahan atap sebesar 127 mm. Sedangkan model M2 mampu menerima beban lateral maksimum sampai dengan 516 ton dengan perpindahan atap sebesar 93 mm. Dapat diamati beban maksimum yang mampu diterima M2 lebih kecil yang dicapai M1. Dari gambar 4.4 dapat dilihat M1 mampu menerima beban lateral maksimum sampai dengan 439 ton dengan perpindahan atap sebesar 6,6 mm.



Gambar 4.4 Kurva Pushover model M1 dan M2 akibat PUSH Y
Sumber: Hasil penelitian, (2024)

Model M2 mampu menerima beban lateral maksimum sampai dengan 144 ton dengan perpindahan atap sebesar 3,9 mm. Dapat diamati beban maksimum yang mampu diterima M2 tidak sebesar yang dicapai M1. Dari perpindahan target selanjutnya dapat ditentukan evaluasi kinerja struktur yang ditunjukkan dengan mekanisme terjadinya sendi plastis (skema kelelahan) dan level kinerja pada perpindahan target tersebut. Model M1 pada perpindahan atap mencapai 17 mm dengan beban yang mampu diterima sebesar 625 ton. Terdapat 210 sendi plastis yang mencapai level kinerja IO (*Immediate Occupancy*). Model M2 mencapai kinerjanya pada perpindahan atap mencapai 5 mm dengan beban yang diterima sebesar 394 ton. Terjadi 412 sendi plastis dalam kondisi level kinerja IO (*Immediate Occupancy*). Model M1 pada perpindahan atap mencapai 1 mm dengan beban yang mampu diterima sebesar 374 ton. Terdapat 338 sendi plastis yang mencapai level kinerja IO (*Immediate Occupancy*). Model M2 mencapai kinerjanya pada perpindahan atap mencapai 4 mm dengan beban yang diterima sebesar 144 ton. Terjadi 266 sendi plastis dalam kondisi IO (*Immediate Occupancy*).

5. SIMPULAN

Perilaku struktur untuk simpangan lateral arah X kolom persegi lebih kaku dibandingkan kolom bulat,

sedangkan simpangan lateral arah Y kolom bulat lebih kaku dibandingkan kolom persegi. Hal ini dipengaruhi oleh Inersia penampang dan jumlah kolom masing-masing arah berbeda. Gaya-gaya dalam kolom persegi dan kolom bulat untuk gaya aksial, gaya geser dan momen beturut-turut sebesar 1% ($M1 > M2$), 62% ($M1 < M2$), 24% ($M1 > M2$).

Pada arah X model kolom persegi (M1) dengan level kinerja IO memiliki kemampuan menerima beban dan simpangan lateral pada kurva kapasitas lebih besar masing-masing 1173 ton dan 127 mm dan model kolom dengan penampang bulat (M2) masing-masing sebesar 516 ton dan 93 mm. Pada arah Y, model M1 dengan level kinerja IO memiliki kemampuan menerima beban dan simpangan lateral pada kurva kapasitas lebih besar masing-masing sebesar 439 ton dan 6,6 mm dan model M2 sebesar 144 ton dan 3,9 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, dan Pranata, Y. (2018). *Analisis Perbandingan Kolom Berbentuk Bulat Dan Persegi Terhadap Kinerja Struktur Gedung Beton Bertulang Akibat Beban Gempa (Studi Kasus : Gedung BKPSDM Kota Padang Panjang)*. Jurnal Momentum Vol. 20: 102–9.
- Asmara, K. B., dan M. Isneini. (2021). *Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Tinggi Dengan Analisis Pushover Menggunakan Aplikasi Pemodelan Struktur*. Vol. 9: :177-188.
- ATC 40. 1996. *volume 1 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Redwood City, California, USA.: California Seismic Safety Commission.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI - 1726 - 2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Dewobroto, W. (2005) b. *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover*. Civil Engineering National Conference, 17-18 Juni 2005. Semarang: Unika Soegijapranata.
- Dipohusodo, dan Istimawan. (1994). *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia pustaka utama.
- Erwansyah, I, G Tarigan, dan R. H. T Simbolon. (2022). *Analisis Perbandingan Struktur Kolom Bulat Dan Kolom Persegi Terhadap Kekuatan Dan Biaya*. Buletin UtamaTeknik Vol. 17.
- FEMA 356. (2000). *Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency.
- McCormac, J. C. (2003). *Desain Beton Bertulang*. Jakarta: PT. Penerbit Erlangga.
- Simanjuntak, J. O, dan H. P Harefa. (2021). *Analisis Perbandingan Kolom Persegi Dan Kolom Bulat Dengan Mutu Beton, Luas Penampang Dan Luas Tulangan Yang Sama*. Harefa Vol. 1.
- Sudarmoko. (1996). *Perencanaan dan Analisis Kolom Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit.
- Sugiyono. (2020). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Wibowo, E Purwanto, dan D. Yanto. (2010). *Menentukan Level Kinerja Struktur Beton Bertulang Pasca Gempa*. Media Teknik Sipil: 49–54.
- Winter, G. dan, dan A. H Nielson. (1993). *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.