JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil
Vol. 5, No. 3, Agustus 2022: hlm 881-888

EISSN 2622-545X

FAKTOR DAKTILITAS STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN BRESING BAJA EKSENTRIS

Daniel Christianto[1] dan Ricardo Hendrawan[2]

[1]Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
danielc@ft.untar.ac.id

[2]Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
ricardo.325180057@stu.untar.ac.id

Masuk: 10-08-2022, revisi: 28-10-2022, diterima untuk diterbitkan: 15-11-2022

ABSTRACT

Regulation for calculating earthquake forces for building in Indonesia keep developing. SNI 1726-2019 is the lastest earthquake regulation which has a return period of 2500 years, while SNI 1726-2002 has a return period of 500 years. So the old building have to be strengthened. Steel braces is a good option to resist lateral forces. In SNI 1726-2019 the value of response modification factor (R), overstrength factor (Ω_0), and deflection amplification factor (C_d) for eccentrically braced concrete frames is not available. Therefore, the research purpose is to find the value of R, Ω_0, and C_d for eccentrically braced concrete frames with pushover. Based on analysis, type A braces placed on 1 and 5 spans and using equal angle steel profile 50x50x5 is the best model, because first yielding occurred in the braces. The value of response modification factor (R) in X direction is 6,4848, and in Y direction is 6,9641. The value of overstrength factor (Ω_0) in X direction is 3,1346, and in Y direction is 2,4483. The value of deflection amplification factor (C_d) in X direction is 1,2692, and in Y direction is 1,1745. Performanced level based on ATC-40 and FEMA 440 for X and Y direction is immediate occupancy.

Keywords: eccentric braces; pushover; response modification factor; overstrength factor; deflection amplification factor

ABSTRAK

Peraturan analisis gaya gempa di Indonesia untuk bangunan gedung terus berkembang. Pada peraturan gempa terbaru yaitu SNI 1726-2019 memiliki periode ulang 2500 tahun, sedangkan pada SNI 1726-2002 memiliki periode ulang 500 tahun. Maka, bangunan lama perlu diberi perkuatan tambahan. Bresing baja merupakan pilihan yang baik karena efektif menahan gaya lateral. Dalam SNI 1726-2019 tidak terdapat nilai faktor modifikasi respons (R), faktor kuat lebih (Ω_0), dan faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk rangka beton dengan bresing eksentris. Maka, tujuan dari penelitian ini adalah mencari nilai R, Ω_0, dan C_d untuk rangka beton dengan bresing eksentris dengan metode *pushover*. Dari hasil analisis yang dilakukan, bresing tipe A, yang ditempatkan pada bentang 1 dan 5, dan menggunakan profil baja siku L 50x50x5 merupakan model yang paling baik, karena pelelehan pertama terjadi pada bresing. Nilai faktor modifikasi respons (R) arah X sebesar 6,4848, dan untuk arah Y sebesar 6,9641. Nilai faktor kuat lebih (Ω_0) untuk arah X sebesar 3,1346, dan untuk arah Y sebesar 2,4483. Nilai faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk arah X sebesar 1,2692, dan untuk arah Y sebesar 1,1745. Tingkat kinerja berdasarkan ATC-40 dan FEMA 440 untuk arah X dan arah Y adalah *immediate occupancy*.

Kata kunci: bresing eksentris; *pushover*; faktor modifikasi respons; faktor kuat lebih; faktor pembesaran defleksi

1. PENDAHULUAN

Bangunan tinggi sudah tidak asing lagi dijumpai di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Bangunan tinggi juga merupakan salah satu solusi untuk menanggulangi keterbatasan lahan. Tetapi, bentuk dari bangunan tinggi akan cenderung langsing dan tinggi, sehingga akan sangat dipengaruhi oleh gaya lateral.

Ketentuan analisis gaya gempa di Indonesia untuk bangunan gedung sebenarnya sudah ada sejak lama yang di tuliskan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI). Tetapi SNI gempa tersebut berkembang dan diperbaharui dari waktu ke waktu. SNI terbaru yang mengatur perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung adalah SNI 1726-2019. Pada SNI 1726-2019 ini bahwa gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarannya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2% (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Dapat disimpulkan bahwa periode ulang adalah 2500 tahun. Pada SNI 1726:2012 gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarannya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen. Dengan

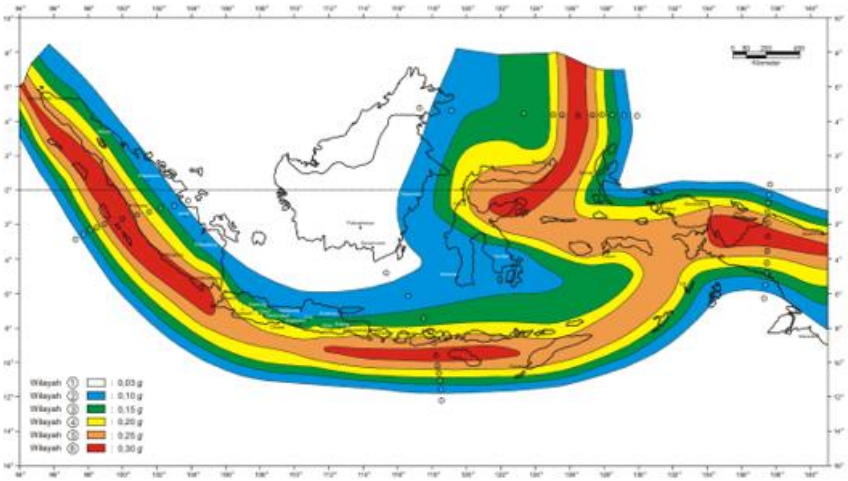
demikian, pada peraturan tersebut memiliki periode ulang yang sama dengan SNI 1726:2019 yaitu 2500 tahun. Sedangkan pada SNI 1726-2002 tertulis bahwa peluang dilampauinya beban tersebut dalam kurun waktu umur gedung 50 tahun adalah 10% dan gempa yang menyebabkannya disebut Gempa Rencana (dengan periode ulang 500 tahun). Perbedaan periode ulang SNI 1726-2019 dan SNI 1726-2002 sebagai acuan untuk mendesain bangunan gedung cukup jauh. Maka, bangunan lama yang didesain dengan SNI 1726-2002 perlu diberi perkuatan tambahan agar struktur cukup kuat untuk menahan gaya gempa dari peraturan terbaru.

Bresing baja merupakan salah satu pilihan untuk perkuatan struktur karena efektif untuk membantu struktur menahan gaya lateral. Rangka bresing adalah suatu rangka batang vertikal, atau yang setara dengan jenis konsentris, atau eksentris, yang disediakan pada pada sistem rangka bangunan atau sistem ganda untuk menahan gaya lateral gempa (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Secara umum ujung bresing dapat diletakkan pada pertemuan balok-kolom (bresing konsentris) atau pada balok dengan jarak tertentu dari sambungan balok-kolom (bresing eksentris). Bresing eksentris mempunyai kelebihan dibanding bresing konsentris karena letak pemasangan ujung bresing. Hal ini berpengaruh pada kemudahan proses pemasangan di lapangan dibanding bresing konsentris, karena bresing eksentris hanya disambungkan pada balok sedangkan bresing konsentris harus disambung pada hubungan balok-kolom. Pada bangunan bertingkat tinggi, sambungan bresing konsentris menjadi cukup besar, sehingga dapat mengecilkan ruang pada daerah disamping kolom dan di bawah balok. Area yang terganggu oleh sambungan ini memungkinkan berdampak pada tata letak mekanikal, distribusi saluran pipa, dan detail arsitektur. Bresing eksentris juga memberikan keunggulan dalam segi ekonomi, karena panjang dari bresing eksentris lebih pendek dibandingkan bresing konsentris. Hal tersebut dapat menghemat biaya material baja yang akan digunakan sebagai perkuatan. Proses perbaikan struktur dengan perkuatan bresing tidaklah sulit karena bresing dapat di lepas atau dipasang dengan relatif mudah.

Dalam SNI 1726-2019 terdapat nilai faktor modifikasi respons (R), faktor kuat lebih (Ω_0), dan faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk berbagai macam sistem pemikul gaya seismik. Tetapi tidak terdapat nilai faktor tersebut untuk rangka beton dengan bresing eksentris, sedangkan nilai-nilai tersebut diperlukan untuk analisis perilaku struktur setelah diberi perkuatan. Maka peneliti akan melakukan analisis untuk mendapatkan nilai faktor modifikasi respons (R), faktor kuat lebih (Ω_0), dan faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk rangka beton dengan bresing eksentris diagonal tunggal dengan metode *pushover*.

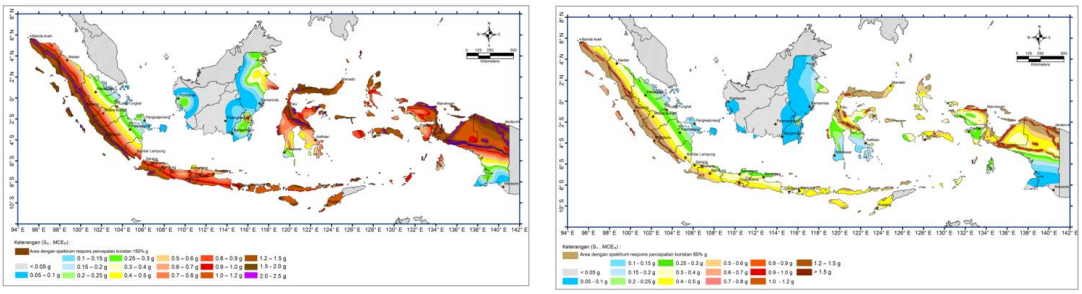
Perbedaan SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2019

Terdapat perbedaan antara peraturan perencaan struktur bangunan gedung tahan gempa tahun 2002 dan 2019. Perbedaan yang mendasar adalah gempa rencana ditetapkan mempunyai periode ulang 500 tahun pada SNI 1726-2002, sedangkan gempa rencana ditetapkan mempunyai periode ulang 2500 tahun pada SNI 1726-2019. Perbedaan tersebut berpengaruh pada peta wilayah gempa yang digunakan untuk menentukan parameter-parameter percepatan gempa. Oleh sebab itu, peta wilayah gempa yang digunakan pada SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2019 juga berbeda. Pada SNI 1726-2002, Indonesia dibagi menjadi 6 wilayah gempa. Di mana wilayah gempa 1 adalah wilayah dengan kegempaan paling rendah dan wilayah gempa 6 dengan kegempaan paling tinggi. Sedangkan pada SNI 1726-2019 wilayah gempa di Indonesia dibagi menjadi 17. Peta gempa 2002 dapat dilihat pada gambar 1 dan peta dempa 2019 dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 1. Wilayah gempa di Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan periode ulang 500 tahun (Badan Standardisasi Nasional, 2002)

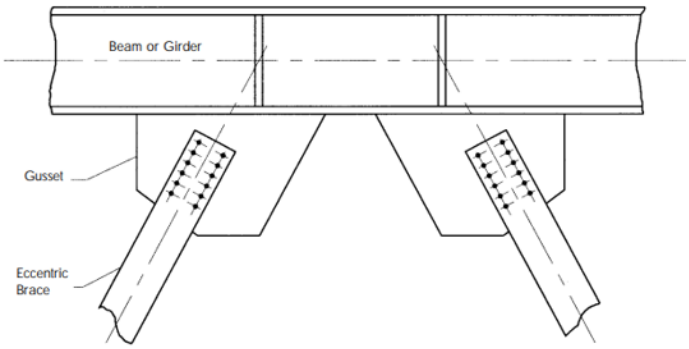
 EISSN 2622-545X



Gambar 2. Parameter gerak tanah S_1 (gambar kiri) dan S_s (gambar kanan), gempa maksium yang dipertimbangkan risiko-tertarget wilayah Indonesia (Badan Standardisasi Nasional, 2019)

Bangunan retrofit

Seismik *retrofit* bertujuan untuk meningkatkan kapasitas bangunan lama terhadap gempa karena perbaruan peraturan desain, perubahan fungsi dan konsep bangunan (misalnya bangunan lama berfungsi sebagai kantor dialihfungsikan menjadi bangunan rumah sakit). Hal-hal yang perlu diperhatikan ketika seismik *retrofit* adalah jenis *retrofit* yang dipilih, tidak mengurangi gangguan lingkungan ketika *retrofit*, mudah dilaksanakan dan ekonomis (Tavio dan Usman Wijaya, 2018). Penambahan perkuatan bresing merupakan salah satu upaya untuk membuat bangunan *retrofit* karena dapat meningkatkan kekuatan dan kekakuan struktur. Bresing adalah elemen struktur tambahan yang dipergunakan apabila hendak menjadikan struktur portal lebih kaku (mengurangi simpangan lateral). Bresing direncanakan memikul beban aksial yang dapat menyebabkan tarik dan tekan. Perkuatan struktur dengan bresing baja memiliki beberapa keuntungan, yaitu waktu pengerjaan yang singkat dan tidak memberi pengaruh signifikan pada berat struktur. Pemasangan bresing baja dapat dilakukan pada bagian luar (eksterior) gedung, sehingga tidak mengganggu aktivitas di dalam struktur tersebut. Dalam pelaksanaan bresing baja juga mudah diangkut ke tingkat atas (Sukrawa et al., 2016). Bresing dapat ditempatkan pada sambungan balok-kolom, atau yang biasa disebut bresing konsentris. Bresing juga dapat ditempatkan pada balok saja sehingga terdapat eksentrisitas antara bresing dengan muka kolom, penempatan tipe ini biasa disebut bresing eksentris. Bresing eksentris mempunyai kelebihan dibanding bresing konsentris karena letak pemasangan ujung bresing. Hal ini berpengaruh pada kemudahan proses pemasangan di lapangan dibanding bresing konsentris, karena bresing eksentris hanya disambungkan pada balok sedangkan bresing konsentris harus disambung pada hubungan balok-kolom. Gambar 3 memperlihatkan ilustrasi sambungan bresing eksentris dengan balok.

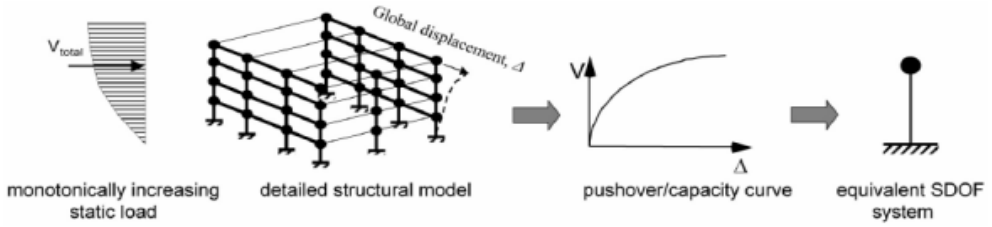


Gambar 3. Bresing eksentris tipikal pada sambungan balok (American Institute of Steel Construction, 2002)

Analisis beban dorong (*pushover analysis*)

Analisis statik beban dorong (*pushover*) adalah suatu analisis non-linier statik dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban statik yang bekerja pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara bertahap sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai target peralihan yang diharapkan atau sampai mencapai kondisi plastik. Metode analisis statik beban dorong merupakan metode dengan pendekatan non-linier statik, dimana dapat digunakan pada struktur bangunan gedung beraturan, dengan karakteristik dinamik mode tinggi yang tidak dominan. Salah satu hasil analisis yang mempunyai manfaat penting yaitu kurva kapasitas. Kurva kapasitas hasil dari analisis statik beban dorong menunjukkan hubungan kurva beban lateral-peralihan oleh

peningkatan beban statik sampai pada kondisi ultimit atau target peralihan yang diharapkan (Pranata & Wijaya, 2008). Skematik analisis beban dorong dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Skematik analisis statik beban dorong (ATC 40, 2004)

Tahapan utama dalam analisis *pushover* adalah:

1. Menentukan titik kontrol untuk memonitor besarnya perpindahan struktur. Rekaman besarnya perpindahan titik kontrol dan gaya geser dasar digunakan untuk menyusun kurva *pushover*.
2. Membuat kurva *pushover* berdasarkan berbagai macam pola distribusi gaya lateral terutama yang ekivalen dengan distribusi dari gaya inersia, sehingga diharapkan deformasi yang terjadi hampir sama atau mendekati deformasi yang terjadi akibat gempa. Oleh karena sifat gempa adalah tidak pasti, maka perlu dibuat beberapa pola pembebanan lateral yang berbeda untuk mendapatkan kondisi yang paling menentukan.
3. Estimasi besarnya perpindahan lateral saat gempa rencana (target perpindahan). Titik kontrol didorong sampai taraf perpindahan tersebut, yang mencerminkan perpindahan maksimum yang diakibatkan oleh intensitas gempa rencana yang ditentukan.
4. Mengevaluasi level kinerja struktur ketika titik kontrol tepat berada pada target perpindahan merupakan hal utama dari perencanaan berbasis kinerja. Komponen struktur dan aksi perilakunya dapat dianggap memuaskan jika memenuhi kriteria yang dari awal sudah ditetapkan, baik terhadap persyaratan deformasi maupun kekuatan. Karena yang dievaluasi adalah komponen maka jumlahnya relatif sangat banyak, oleh karena itu proses ini sepenuhnya harus dikerjakan oleh komputer. Gempa bumi menghasilkan gaya siklik dan menyebabkan elemen-elemen sturktur juga berperilaku siklik.

Faktor modifikasi respons (R)

Sesuai dengan peraturan desain tahan gempa pada umumnya, besarnya beban gempa yang timbul dari inersia massa struktur dapat direduksi menggunakan nilai R menjadi beban gempa rencana. Semakin besar nilai R mengakibatkan semakin kecil beban gempa rencana. Nilai R yang besar perlu dijamin oleh kemampuan struktur untuk berperilaku daktail saat terjadi beban gempa yang lebih besar dari yang direncanakan (Prabowo, 2016). Besarnya faktor modifikasi respon (R) dapat diperoleh dengan persamaan berikut ini:

$$R = \frac{V_E}{V} \tag{1}$$

Dengan R = faktor modifikasi respons, V_E = besarnya gaya gempa pada struktur saat berperilaku elastik penuh, V = beban gempa rencana yang diberikan pada perancangan struktur.

Faktor pembesaran defleksi (C_d)

Faktor pembesaran defleksi (C_d) adalah kemampuan struktur untuk berdeformasi saat terkena beban gempa (Tavio dan Usman Wijaya, 2018). Faktor pembesaran defleksi dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$C_d = \frac{\delta}{\delta_E / R} \tag{2}$$

Dimana δ = besar perpindahan saat struktur mencapai kondisi leleh, δ_E/R = besarnya perpindahan atap ketika struktur dikenakan beban gempa rencana sebesar V.

Faktor kuat lebih (Ω_0)

Semakin besar nilai Ω_0 menunjukkan struktur memiliki kemampuan yang semakin besar sehingga menghasilkan gaya gempa yang diperlukan agar semua elemen struktur mengalami pelelehan. Nilai Ω_0 digunakan untuk memperbesar gaya-gaya dari struktur atas ke struktur bawah untuk perancangan *basement*/fondasi. Tujuannya untuk menjamin agar struktur bawah tidak mengalami kegagalan lebih awal dibanding struktur di atasnya (Prabowo, 2016). Faktor kuat lebih dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$\Omega_0 = \frac{V_{max}}{V} \quad (3)$$

Dimana Ω_0 = faktor kuat lebih, V_{max} = besarnya gaya gempa maksimum yang mampu dipikul oleh struktur hingga seluruh elemen struktur mengalami pelelehan, V = beban gempa rencana yang diberikan pada perancangan struktur.

Tingkat kinerja struktur

Menurut (Tavio dan Usman Wijaya, 2018) kinerja struktur adalah tingkatan performa suatu struktur terhadap gempa rencana. Tingkatan performa struktur dapat diketahui dengan melihat tingkat kerusakan pada struktur saat terkena gempa rencana dengan periode ulang tertentu, oleh karenanya tingkat kinerja struktur akan selalu berhubungan dengan biaya perbaikan terhadap bangunan tersebut. Dalam desain struktur berbasis kinerja, biasanya kinerja struktur didesain sesuai dengan tujuan dan kegunaan suatu bangunan, dengan pertimbangan faktor ekonomis terhadap perbaikan bangunan saat terjadi gempa tanpa mengesampingkan keselamatan terhadap pengguna bangunan. Mengacu pada FEMA-273 (1997) yang menjadi acuan klasik bagi perencanaan berbasis kinerja maka kategori level kinerja struktur, adalah *Immediate Occupancy* (IO), *Life-Safety* (LS), *Collapse Prevention* (CP). Tabel 1 menunjukan tingkat kinerja struktur bedasarkan ATC-40.

Tabel 1. Batasan simpangan pada tingkat kinerja struktur (ATC-40, 1996)

Batas Simpangan Antar Tingkat	**Tingkat Kinerja Struktur**			
	Immediate Occupancy	***Damage Control***	***Life Safety***	***Structural Stability***
Simpangan Total Maksimum	0,01	0,01-0,02	0,02	$0{,}33\frac{V_i}{P_i}$
Simpangan Inelastis Maksimum	0,005	0,005-0,015	Tidak ada Batasan	Tidak ada Batasan

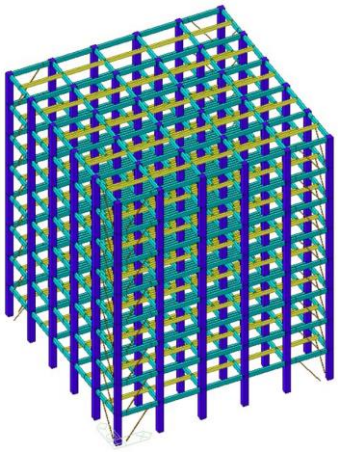
Tabel 2 menunjukan tingkat kinerja struktur bedasarkan FEMA 356.

Tabel 2. Tingkat kinerja struktur untuk elemen vertikal (*drift*) (FEMA 356, 2000)

Elemen	***Collapse Prevention* (S-5)**	***Life Safety* (S-3)**	***Immediate Occupancy* (S-1)**
Portal Beton	4% simpangan sementara atau permanen	2% simpangan sementara atau 1% simpangan permanen	1% simpangan sementara atau simpangan permanent diabaikan
Rangka Baja Pemikul Momen	5% simpangan sementara atau permanen	2,5% simpangan sementara atau 1% simpangan permanen	0,7% simpangan sementara atau simpangan permanent diabaikan
Portal Bresing Baja	2% simpangan sementara atau permanen	1,5% simpangan sementara atau 0,5% simpangan permanen	0,5% simpangan sementara atau simpangan permanent diabaikan

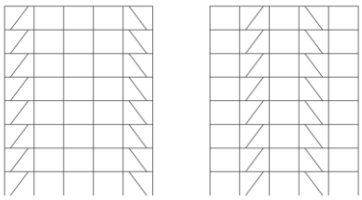
2. METODE PENELITIAN

Struktur yang akan dianalisis adalah bangunan perkantoran 8 lantai dengan tinggi antar tingkat 4 meter. Untuk arah X dan arah y masing-masing memiliki 5 bentang dengan lebar per bentang 5 meter. Struktur gedung berada di daerah Jakarta dengan kondisi tanah sedang (SD). Struktur diberi perkuatan berupa bresing eksentris diagonal tunggal. Data-data tersebut akan digunakan untuk pemodelan pada perangkat lunak MIDAS GEN, kemudian struktur tersebut akan dianalisis dan dicari nilai faktor modifikasi respons (R), faktor kuat lebih (Ω_0), dan faktor pembesaran defleksi (C_d) dengan metode *pushover*. Pemodelan struktur bangunan yang dilakukan pada perangkat lunak MIDAS GEN dapat dilihat pada Gambar 5.

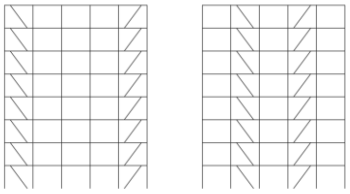


Gambar 5. Pemodelan dengan perangkat lunak MIDAS GEN

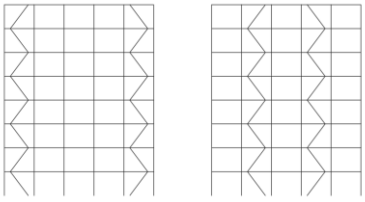
Untuk pengujian, akan dilakukan dengan berbagai variasi tipe bresing, posisi, eksentrisitas, dan profil bresing. Tipe bresing yang digunakan adalah bresing tipe A, *inverted* A, dan *diamond*. Untuk posisi akan diletakkan pada bentang 1 dan 5 atau pada bentang 2 dan 4. Eksentrisitas yang akan diuji adalah pada jarak 1.5h, 2h, dan 2.5h. Sedangkan untuk profil bresing akan digunakan siku L 50x50x5 dan UNP 75x40x5x7. Untuk konfigurasi bresing, dapat dilihat pada gambar 6, gambar 7, dan gambar 8.



Gambar 6. Tipe bresing A pada bentang 1 dan 5 (Gambar kiri), tipe bresing A pada bentang 2 dan 4 (Gambar kanan)



Gambar 7. Tipe bresing *inverted* A pada bentang 1 dan 5 (Gambar kiri), tipe bresing *inverted* A pada bentang 2 dan 4 (Gambar kanan)



Gambar 8. Tipe bresing diamond pada bentang 1 dan 5 (Gambar kiri), tipe bresing diamond pada bentang 2 dan 4 (Gambar kanan)

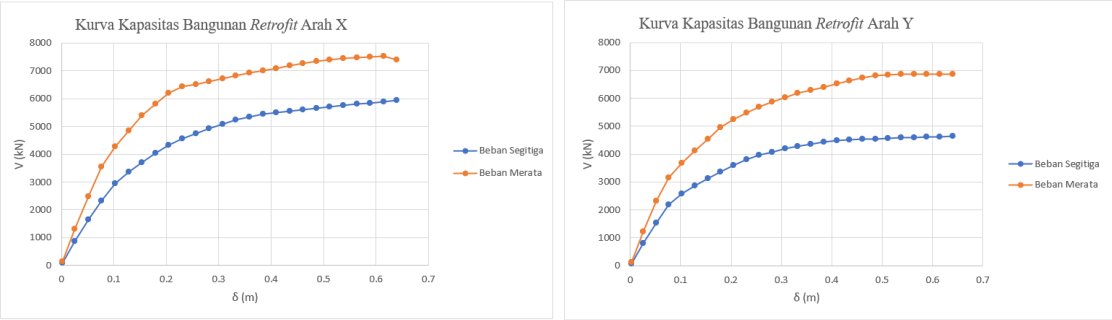
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan jumlah bresing yang digunakan

Karena terdapat perbedaan periode ulang, dan peta wilayah gempa antara SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2019, maka gaya geser dasar struktur yang dihitung dari kedua peraturan tersebut akan berbeda. Berdasarkan SNI 1726-2002 gaya geser dasar struktur adalah 1247,5529 kN sedangkan dengan SNI 1726-2019 gaya geser dasar struktur adalah 1893,1856 kN. Selisih gaya geser dasar pada perhitunhgan tersebut adalah 645,533 kN. Maka berdasarkan perhitungan tersebut, bangunan eksisting membutuhkan perkuatan. Dalam perencanaan bangunan *retrofit* akan digunakan bresing baja dengan profil kanal C dan siku L *equal angle* dengan mutu BJ 37 (tegangan leleh (f_y) = 240 MPa, dan tegangan ultimit (f_u) = 370 MPa). Pertimbangan pemilihan profil kanal C dan siku L *equal angle* adalah kedua profil memiliki 1 sumbu simetris dan memiliki massa yang ringan dibanding profil lainnya. Maka luasan bresing yang dibutuhkan adalah selisih gaya geser dasar dibagi dengan tegangan leleh bresing, yaitu 2702,648 mm^2. Ukuran bresing siku L *equal angle* yang akan di uji adalah ukuran 50x50x5 ($A = 480{,}2\ mm^2$). Sedangkan untuk bresing UNP digunakan ukuran 75x40x5x7($A = 818{,}8\ mm^2$). Bresing akan dipasang pada ke empat sisi bangunan pada setiap lantai. Setelah kebutuhan bresing diketahui, bangunan akan dimodelkan dan dilakukan analisis *pushover*.

Nilai faktor daktilitas dari variasi bangunan *retrofit*

Dilakukan analisis *pushover*, untuk menghasilkan *output* berupa kurva kapasitas. Kurva kapasitas menunjukan hubungan antara perpindahan atap dan gaya geser dasar struktur. Setelah didapatkan kurva kapasitas, maka nilai faktor daktilitas struktur dapat dicari. Terdapat dua pola pembebanan yang dilakukan pada analisis *pushover* yaitu pola pembebanan merata dan pola pembebanan segitiga. Hal tersebut diatur pada FEMA 273 yang mengatakan untuk semua analisis, paling tidak 2 distribusi vertikal beban lateral harus di aplikasikan. Selanjutnya akan ditentukan *master node* dan penentuan deformasi maksimum saat analisis *pushover*. *Pushover* dilakukan sampai *master node* (berada di lantai atap bangunan) mencapai perpindahan atap sebesar 0,02 tinggi bangunan, yaitu 0,64 meter. Nilai tersebut adalah batas maksimal dari tingkat kinerja *life safety*. Gambar 9 adalah contoh kurva kapasitas bangunan *retrofit*.



Gambar 9. Kurva kapasitas bangunan *retrofit*

Kelelehan pertama dari elemen struktur bangunan *retrofit*

Setelah proses *running pushover analysis* dilihat kelelehan yang terjadi pada elemen struktur. Dari hasil *pushover analysis* pada 72 model bangunan *retrofit*, tidak terlihat terjadinya kelelehan pertama pada kolom. Hal tersebut merupakan hasil yang baik, karena kolom berperan penting untuk menjaga kestabilan struktur, menahan gaya aksial, geser, momen, serta torsi. Pada 4 model yang diberi pola beban merata, bresing leleh pertama kali dibanding dengan balok, kolom, serta perletakan pada arah X, sedangkan pada arah Y, bresing dan balok mengalami leleh pada *step pushover* yang sama. Sedangkan pada 3 model yang diberi pola beban segitiga, bresing leleh pertama kali dibanding dengan balok, kolom, serta perletakan pada arah X dan Y. Persamaan dari beberapa model tersebut adalah memakai perkuatan bresing siku L, eksentrisitas bresing 1,5h, tipe bresing "A" dan "*inverted* A".

Tingkat kinerja berdasarkan ATC 40 dan FEMA 440

Tingkat kinerja bangunan dipengaruhi oleh simpangan total maksimum. Simpangan total maksimum didapat dari perbandingan *performance point displacement* dan tinggi total bangunan. Nilai *performance point displacement* didapat dari hasil analisis MIDAS GEN. Perhitungan yang dilakukan akan menggunakan metode ATC-40 dan FEMA 440. Perhitungan dengan FEMA 356 tidak dilakukan, karena menggunakan metode koefisien peralihan (metode yang sama dengan FEMA 440). FEMA 440 merupakan peraturan yang terbaru dan sudah melakukan penyesuaian terhadap FEMA 356. Sedangkan ATC-40 menggunakan metode spektrum kapasitas.

4. KESIMPULAN

Ada 3 model bresing yang dipilih untuk bangunan *retrofit* karena terjadi kelelehan pertama pada bresing baik arah X maupun arah Y pada pola pembebanan segitga, berikut adalah ketiga model bresing tersebut:

- Bresing tipe A, dengan eksentrisitas 1,5h, ditempatkan pada bentang 1 dan 5, menggunakan profil baja siku L 50x50x5,
- Bresing tipe *inverted* A, dengan eksentrisitas 1,5h, ditempatkan pada bentang 1 dan 5, menggunakan profil baja siku L 50x50x5,
- Bresing tipe *inverted* A, dengan eksentrisitas 1,5h, ditempatkan pada bentang 2 dan 4, menggunakan profil baja siku L 50x50x5,

Model bresing tipe A, dengan eksentrisitas 1,5h, ditempatkan pada bentang 1 dan 5, menggunakan profil baja siku L 50x50x5 memiliki nilai faktor modifikasi respons (R_{y1}) untuk X sebesar 6,485 dan arah Y sebesar 6,964.

Model bresing tipe *inverted* A, dengan eksentrisitas 1,5h, ditempatkan pada bentang 1 dan 5, menggunakan profil baja siku L 50x50x5 memiliki nilai faktor modifikasi respons (R_{y1}) untuk X sebesar 6,427 dan arah Y sebesar 6,906, dan Model Bresing tipe *inverted* A, dengan eksentrisitas 1,5h, ditempatkan pada bentang 2 dan 4, menggunakan profil baja siku L 50x50x5 memiliki nilai faktor modifikasi respons (R_{y1}) untuk X sebesar 6,450 dan arah Y sebesar 6,930.

Model bresing tipe A, dengan eksentrisitas 1,5h, ditempatkan pada bentang 1 dan 5, menggunakan profil baja siku L 50x50x5 memiliki nilai faktor kuat lebih (Ω_0) untuk X sebesar 3,135 dan arah Y sebesar 2,448.

Model bresing tipe *inverted* A, dengan eksentrisitas 1,5h, ditempatkan pada bentang 1 dan 5, menggunakan profil baja siku L 50x50x5 memiliki nilai faktor kuat lebih (Ω_0) untuk X sebesar 3,314 dan arah Y sebesar 2,446.

Model bresing tipe *inverted* A, dengan eksentrisitas 1,5h, ditempatkan pada bentang 2 dan 4, menggunakan profil baja siku L 50x50x5 memiliki nilai faktor kuat lebih (Ω_0) untuk X sebesar 3,134 dan arah Y sebesar 2,446.

Model bresing tipe A, dengan eksentrisitas 1,5h, ditempatkan pada bentang 1 dan 5, menggunakan profil baja siku L 50x50x5memiliki nilai faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk X sebesar 1,269 dan arah Y sebesar 1,175.

Model bresing tipe *inverted* A, dengan eksentrisitas 1,5h, ditempatkan pada bentang 1 dan 5, menggunakan profil baja siku L 50x50x5 memiliki nilai faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk X sebesar 1,299 dan arah Y sebesar 1,197.

Model bresing tipe *inverted* A, dengan eksentrisitas 1,5h, ditempatkan pada bentang 2 dan 4, menggunakan profil baja siku L 50x50x5 memiliki nilai faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk X sebesar 1,279 dan arah Y sebesar 1,183.

Berdasarkan ATC-40, ketiga model bresing yang dipilih memiliki nilai *drift* aktual untuk arah X sebesar 0,0064, untuk arah Y sebesar 0,0068, dan mecapai tingkat kinerja *immediate occupancy*.

Berdasarkan FEMA 440, ketiga model bresing yang dipilih memiliki nilai *drift* aktual untuk arah X sebesar 0,0075, untuk arah Y sebesar 0,0079, dan mecapai tingkat kinerja *immediate occupancy*.

DAFTAR PUSTAKA

American Institute of Steel Construction. (2002). *Designing with Structural Steel A Guide For Architecs* (Edisi 2). United States of America.

Applied Technology Council. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings* (ACT-40).

Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung* (SNI 1726:2019).

Federal Emergency Management Agency & American Society of Civil Engineers. (2000). *Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings* (FEMA 356).

Prabowo, A. (2016). Tinjauan Nilai Faktor Modifikasi Respon (R) dan Faktor Kuat Lebih (Ω_0) pada Struktur Gabungan Rangka Baja dan Rangka Beton Bertulang dengan Analisis Pushover. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, *23*(1), 75–88.

Pranata, Y. A. & Wijaya, P. K. (2008). Kajian Daktilitas Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan Analisis Riwayat Waktu Dan Analisis Beban Dorong. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, *8*(3), 250-263.

Sukrawa, M., Giri, I. B. D., Deskarta, I. P., & Prayoga, M. H. (2016). Perkuatan Seismik Struktur Rangka Beton Bertulang Menggunakan Bresing Baja Tipe X dan V Terbalik. *Jurnal Spektran*, *4*(2).

Tavio & Wijaya, U. (2018). *Desain Rekayasa Berbasis Kinerja* (Edisi 2). Andi.