

ANALISIS R , Ω_0 , C_d PADA STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG DENGAN *MULTISTORY X-BRACING* MENGGUNAKAN METODE *PUSHOVER*

Vryscilia Marcella¹ dan Daniel Christianto²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
vryscilia.32518005@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
danielc@ft.untar.ac.id

Masuk: 24-01-2022, revisi: 05-05-2022, diterima untuk diterbitkan: 09-05-2022

ABSTRACT

There is a change in earthquake regulations from SNI 1726-2002 to SNI 1726-2019 causes differences in building planning criteria. One way that can be done to increase stability and lateral stiffness is to use steel bracing. However, for buildings with reinforced concrete structures with steel bracing, the values of the response modification factor (R), the strength factor (Ω_0) and the deflection factor (C_d) have not been found in SNI 1726-2019. Therefore, the analysis is intended to review the values of R , Ω_0 and C_d in reinforced concrete structures with steel bracing with a multistory configuration of X and V . How to determine the value of R , Ω_0 and C_d is to do a pushover analysis. The results of the analysis show that the steel bracing with multistory X configuration with the bracing position on the edge of the building gives the best results where the first yielding occur in steel bracing and the column does not experience yielding. The values of R are 6.85 (X direction) and 7.36 (Y direction). The values of Ω_0 are 2.97 (X direction) and 2.42 (Y direction). While the value of C_d is 1.173 (X direction) and 1.107 (Y direction). Based on the level of performance, the structure is included in the Damage Control category in both X and Y directions if it is based on ATC-40. If based on FEMA 356, the X direction is Immediate Occupancy and the Y direction is Life Safety.

Keywords: multistory X -bracing; response modification factor; strength factor; deflection factor; pushover analysis

ABSTRAK

Adanya perubahan peraturan gempa dari SNI 1726-2002 ke SNI 1726-2019 menyebabkan terdapat perbedaan pula pada kriteria perencanaan bangunan. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kestabilan dan kekakuan lateral adalah menggunakan *bracing* baja. Namun, untuk bangunan dengan struktur beton bertulang dengan *bracing* baja, nilai dari faktor modifikasi respons (R) faktor kuat lebih (Ω_0) dan pembesaran defleksi (C_d) belum terdapat pada SNI 1726-2019. Oleh karena itu, analisis ini ditujukan untuk meninjau nilai R , Ω_0 dan C_d pada bangunan struktur beton bertulang dengan *bracing* baja dengan konfigurasi *multistory X* dan V . Cara untuk mengetahui besarnya nilai R , Ω_0 dan C_d adalah dengan analisis *pushover*. Hasil analisis menunjukkan bahwa *bracing* baja dengan konfigurasi *multistory X* dengan posisi *bracing* di tepi bangunan memberikan hasil yang terbaik, dimana *bracing* leleh pertama dan kolom tidak mengalami pelehan. Nilai faktor daktilitas R adalah 6,85 (arah X) dan 7,36 (arah Y). Nilai Ω_0 adalah 2,97 (arah X) dan 2,42 (arah Y). Sedangkan nilai C_d adalah 1,173 (arah X) dan 1,107 (arah Y). Berdasarkan tingkat kinerja struktur termasuk dalam kategori *damage control* baik arah X dan Y jika berdasarkan ATC-40. Apabila berdasarkan FEMA 356, untuk arah X adalah *immediate occupancy* dan arah Y adalah *life safety*.

Kata kunci: *multistory X bracing*; faktor modifikasi respons; faktor kuat lebih; faktor pembesaran defleksi; analisis *pushover*

1. PENDAHULUAN

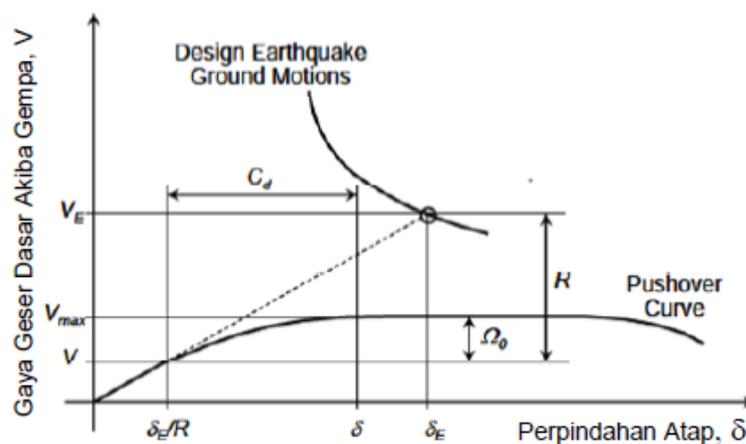
Bangunan yang telah di desain dengan peraturan SNI 1726-2002 tentunya akan memerlukan perkuatan jika dianalisis ulang dengan mengacu pada peraturan SNI 1726-2019 terutama dari segi kekuatan dan kekakuannya. Hal ini dikarenakan semakin besarnya gaya gempa yang terjadi. Oleh karena itu, perlu meningkatkan kestabilan dan kekakuan lateral pada bangunan lama terhadap gempa untuk menyesuaikan gaya gempa yang terjadi saat ini guna menahan simpangan lateral akibat pengaruh dari beban gempa. Salah satu cara yang banyak digunakan untuk meningkatkan kestabilan dan kekakuan lateral adalah dengan menggunakan *bracing* baja. *Bracing* baja merupakan salah satu sistem penahan lateral untuk mencegah terjadinya goyangan yang berlebihan pada bangunan. Selain itu, *bracing* baja juga lebih ekonomis dan mudah dalam pengerjaannya. *Bracing* baja yang akan di uji memiliki konfigurasi *multistory-X* dan V . Konfigurasi *multistory-X* dapat meminimalkan terjadinya pembebanan vertikal dan lateral yang tidak seimbang

pada elemen balok sehingga pelelehan tidak terjadi pada balok duluan tetapi didistribusikan pada *bracing* tersebut. Sedangkan untuk konfigurasi V, panjang tekuknya lebih pendek.

Namun, untuk bangunan dengan struktur beton bertulang dengan *bracing* baja, nilai dari faktor modifikasi respons (R) faktor kuat lebih (Ω_0) dan faktor pembesaran defleksi (C_d) belum terdapat pada SNI 1726-2019. Cara untuk mengetahui besarnya nilai R, Ω_0 dan C_d adalah dengan melakukan analisis *pushover* (beban dorong statik) yang kemudian akan diperoleh kurva *pushover* yaitu hubungan antara gaya dengan perpindahan struktur. Analisis *pushover* merupakan analisis non-linier untuk mengetahui respons keruntuhan struktur terhadap gempa. Dari analisis *pushover* ini, dapat diketahui juga gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta bagian struktur mana yang kritis.

Sistem dan parameter struktur tahan gempa

Suatu sistem struktur sebagai pemikul gaya seismik lateral dan vertikal harus memenuhi salah satu tipe sistem struktur yang sudah ditentukan oleh peraturan. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan simpangan struktur yang bergantung pada ketinggian struktur. Terdapat faktor daktilitas yang digunakan untuk penentuan geser dasar, gaya desain elemen dan simpangan antar tingkat desain yaitu faktor modifikasi respons (R), faktor kuat lebih (Ω_0) dan pembesaran defleksi (C_d). FEMA P-695 memberikan dasar rasional untuk menentukan faktor kinerja seismik global, termasuk koefisien modifikasi respons (R), faktor kekuatan lebih (Ω_0) dan faktor amplifikasi defleksi (C_d), yang jika diterapkan dengan benar dalam desain seismik, akan menghasilkan keamanan yang setara terhadap keruntuhan yang terjadi.



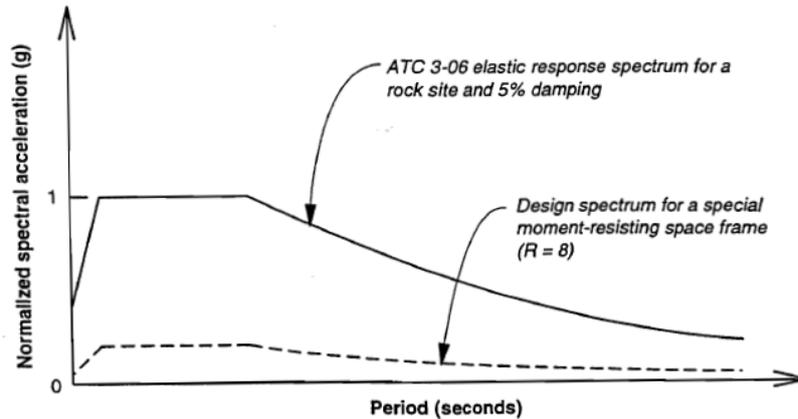
Gambar 1. Definisi faktor daktilitas struktur dari kurva V dan δ (Sumber: Prabowo & Lase, 2016).

Nilai faktor daktilitas struktur pada Gambar 1 diperoleh dari kurva *demand* yang digambar bersamaan dengan kurva V- δ (kurva kapasitas). Kurva *demand* diperoleh dari grafik respon spektrum percepatan gempa pada struktur yang dinyatakan sebagai fungsi percepatan spektral (S_a) terhadap periode (T).

Faktor modifikasi respons (R)

Faktor modifikasi respons merupakan parameter kunci dalam konstruksi desain seismik. Faktor modifikasi respon menunjukkan kemampuan struktur untuk mengurangi energi melalui perilaku inelastis.

Konsep dari faktor modifikasi respon (R) adalah bahwa sistem rangka seismik dapat mempertahankan deformasi inelastis yang besar tanpa terjadinya keruntuhan (bersifat daktil) dan meningkatkan kekuatan lateral yang melebihi kekuatan desainnya. Gambar 2 memperlihatkan bahwa dengan adanya nilai R maka akan mengurangi level gaya desain pada respon spektrum. Langkah pertama dalam menentukan nilai R adalah dengan mengambil nilai R maksimum untuk tipe struktur yang dianggap memberikan kinerja seismik yang terbaik yaitu yang memiliki kekuatan dan daktilitas yang tinggi. Kategori tersebut mencakup rangka penahan momen khusus dan sistem ganda yang terdiri dari struktur dinding geser beton bertulang dengan rangka pemikul momen khusus yang bisa menahan setidaknya 25% dari gaya gempa yang ditentukan (Structural Engineers Association of California, 1995).



Gambar 2. Penggunaan nilai R dapat mengurangi level gaya desain (Sumber: Structural Engineers Association of California, 1995).

Besarnya nilai faktor modifikasi respons (R) dapat diperoleh dari Persamaan 1.

$$R = \frac{V_E}{V} \quad (1)$$

dengan V_E = gaya gempa saat elastik penuh ($R = 1$) dan V = gaya geser desain.

Faktor kuat lebih (Ω_0)

Faktor kuat lebih (Ω_0) diambil dari nilai rata-rata terbesar dari faktor kuat lebih yang dihitung di setiap kelompok kinerja. Dengan adanya faktor kuat lebih, struktur tetap aman selama ada getaran yang cukup kuat. 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.

Besarnya nilai faktor kuat lebih (Ω_0) dapat diperoleh dari Persamaan 2.

$$\Omega_0 = \frac{V_{maks}}{V} \quad (2)$$

dengan V_{maks} = gaya geser maksimum saat seluruh elemen struktur mengalami pelelehan dan V = gaya geser desain.

Faktor pembesaran defleksi (C_d)

Faktor pembesaran defleksi (C_d) adalah kemampuan struktur untuk berdeformasi saat terkena beban gempa (Tavio & Wijaya, 2018). Ketentuan desain seismik untuk memperkirakan simpangan atap dan tingkat maksimum yang terjadi saat gempa bumi besar dengan memperbesar simpangan yang dihitung dari analisis elastis pada tingkat gaya seismik desain ditentukan dengan faktor pembesaran defleksi (C_d).

Besarnya nilai faktor pembesaran defleksi (C_d) dapat diperoleh dari Persamaan 3.

$$C_d = \frac{\delta}{\delta_E/R} \quad (3)$$

dengan δ = perpindahan saat struktur mulai mencaai kondisi leleh dan δ_E/R = perpindahan saat struktur dikenakan beban rencana sebesar V .

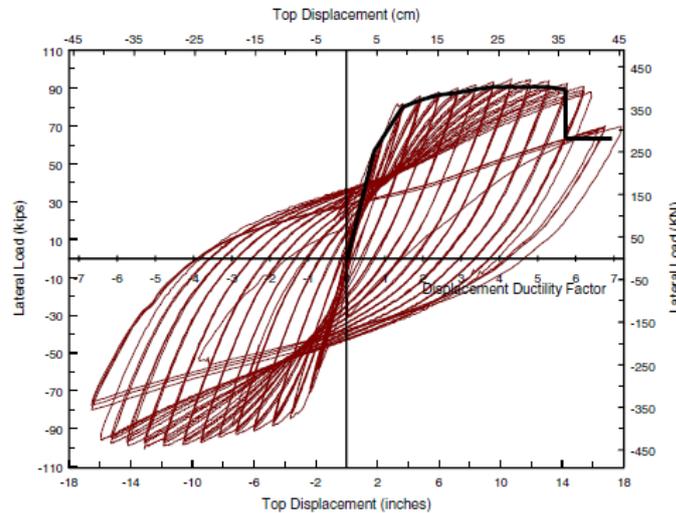
Kurva Backbone

Kunci untuk melakukan keseluruhan analisis non-linier adalah mengidentifikasi elemen struktur utama yang harus dimodelkan. Sedangkan untuk elemen sekunder yang tidak memberikan kontribusi yang signifikan terhadap sistem penahan gaya lateral bangunan, tidak perlu dimasukkan ke dalam analisis.

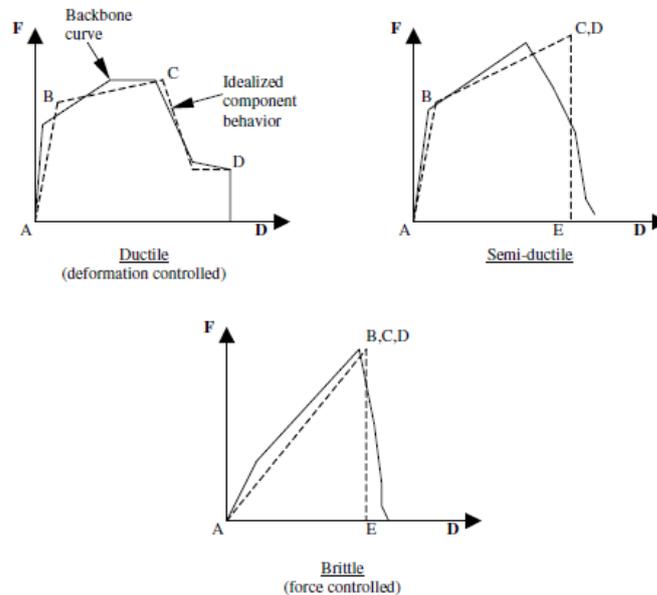
Pada bangunan beton, efek dari getaran gempa ditahan secara vertikal oleh elemen rangka atau elemen dinding yang tersambung dengan elemen horizontal (diafragma) pada tingkat lantai dan atap. Elemen struktur itu sendiri terdiri dari kolom, balok, dinding dan lain sebagainya. Penting untuk mengidentifikasi mekanisme kegagalan dari elemen

struktur utama dan menentukan properti non-linier yang sesuai. Properti dari elemen-elemen tersebut adalah hubungan antara gaya (aksial, lentur dan geser) dan perpindahan inelastis yang sesuai (perpindahan, rotasi dan *drift*).

Gempa bumi biasanya memuat elemen-elemen ini dalam perilaku yang siklik seperti ditunjukkan pada Gambar 3 Untuk tujuan pemodelan dan analisis, hubungan tersebut bisa di idealisasikan seperti Gambar 4 (Naeim, 2001).



Gambar 3. Kurva *backbone* dari perilaku *hysteretic* yang sebenarnya.



Gambar 4. Idealisasi perilaku dari kurva *backbone*.

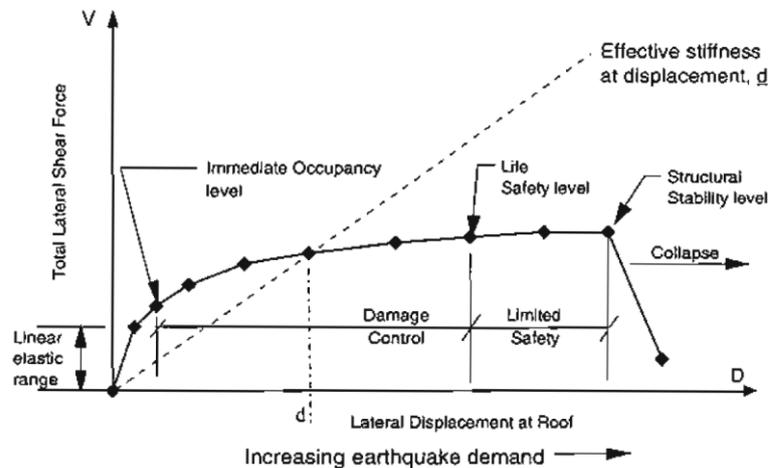
Tingkat kinerja struktur

Bangunan yang berada di daerah rawan gempa harus didesain tahan gempa. Saat ini, teknologi desain tahan gempa sudah mengacu pada konsep *performance based seismic design* yang menggunakan teknik analisis non-linier menggunakan bantuan program komputer untuk menganalisis perilaku inelastis struktur pada intensitas gempa yang berbeda, untuk mengetahui kinerjanya pada kondisi kritis.

Untuk memberikan kinerja seismik yang terjamin, bangunan harus memiliki sistem penahan gaya lateral yang lengkap, yang mampu membatasi perpindahan lateral akibat gempa pada level kerusakan yang berkelanjutan dan mencapai tujuan kinerja yang diinginkan. Faktor-faktor dasar yang mempengaruhi kemampuan sistem penahan gaya

lateral untuk melakukan hal tersebut adalah massa bangunan, kekakuan, redaman dan konfigurasi: kapasitas deformasi pada elemen, kekuatan dan karakter gerakan tanah.

Terdapat beberapa tingkatan kinerja menurut ATC-40, dimana tingkatan kinerja digambarkan pada kurva hubungan antara gaya yang bekerja dan perpindahan lateral seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva kapasitas pada berbagai tingkat kinerja struktur (Sumber: California Seismic Safety Commission, 1996).

Deformasi lateral pada saat *performance point* harus dicek terhadap batasan deformasi pada berbagai tingkat kinerja seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Batasan Deformasi untuk Tingkatan Kinerja Struktur Menurut ATC-40

Batasan Simpangan Antar Tingkat	Tingkatan Kinerja			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Simpangan Total Maksimum	0,01	0,01 – 0,02	0,02	$0,33 \frac{V_i}{P_i}$
Simpangan Inelastik Maksimum	0,005	0,005 – 0,015	Tidak ada batasan	Tidak ada batasan

(Sumber: California Seismic Safety Commission, 1996)

Tabel 2. Tingkat Kinerja Struktur untuk Elemen Vertikal Menurut FEMA 356

Elemen	Tingkatan Kinerja		
	<i>Collapse Prevention (S-5)</i>	<i>Life Safety (S-3)</i>	<i>Immediate Occupancy (S-1)</i>
Portal Rangka Beton	4% simpangan sementara atau permanen	2% simpangan sementara; 1% simpangan permanen	1% simpangan sementara; simpangan permanen diabaikan
Dinding Beton	2% simpangan sementara atau permanen	1% simpangan sementara; 0,5% simpangan permanen	0,5% simpangan sementara; simpangan permanen diabaikan

(Sumber: Federal Emergency Management Agency & American Society of Civil Engineers, 2000)

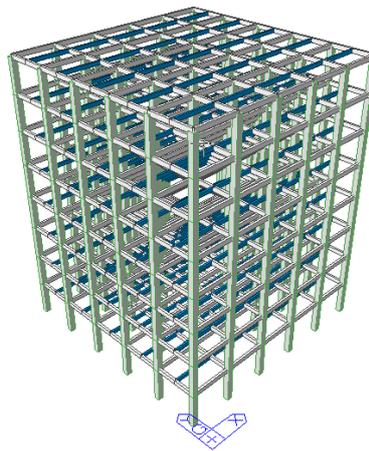
2. METODE PENELITIAN

Bangunan eksisting yang akan dianalisis mempunyai fungsi sebagai kantor dengan total ketinggian adalah 32 meter (8 tingkat). Struktur bangunan berada di wilayah Jakarta dengan kondisi tanah sedang (SD). Jumlah bentang yang

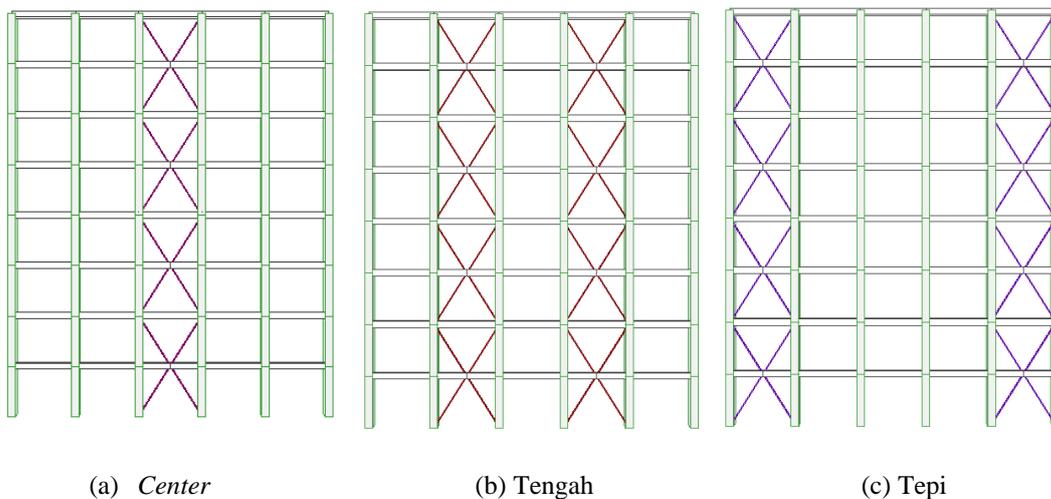
digunakan adalah 5 bentang untuk arah X dan Y dengan lebar tiap bentang adalah 5 meter. Jenis material yang digunakan adalah beton bertulang dengan nilai mutu beton (f_c') adalah 30 MPa dan berat jenis beton adalah 24 kN/m³. Untuk tulangan longitudinal dan transversal menggunakan tulangan ulir dengan mutu BJTD 40. Dimensi balok induk yang digunakan pada struktur bangunan ini adalah 250 mm x 500 mm, sedangkan untuk balok anak adalah 200 mm x 400 mm. Dimensi kolom yang digunakan dari lantai 1 sampai dengan lantai 8 adalah sama yaitu 600 mm x 600 mm.

Beban-beban yang digunakan dalam pemodelan adalah beban mati, beban hidup/beban hidup atap dan beban gempa. Untuk bangunan eksisting, pembebanan menggunakan SNI-03-1727-1989 dan perencanaan gempa menggunakan SNI 1726-2002, sedangkan untuk bangunan *retrofit*, pembebanan menggunakan SNI 1727-2020 dan perencanaan gempa menggunakan SNI 1726-2019.

Pemodelan struktur portal 3D menggunakan bantuan *software* MIDAS GEN dengan 25 variasi pemodelan yang terdiri bangunan eksisting seperti Gambar 6. Sedangkan untuk bangunan *retrofit* yang dimaksud adalah bangunan eksisting yang diperkuat dengan *bracing* untuk meningkatkan kapasitas bangunan terhadap gempa akibat adanya perubahan peraturan desain gempa yang terdiri dari 24 variasi pemodelan. Konfigurasi *bracing* yang digunakan ada dua yaitu, *multistory X* dan V dengan posisi *bracing* di *center*, tengah dan tepi yang dapat dilihat pada Gambar 7 untuk arah sumbu X. *Bracing* tersebut diletakkan pada empat bagian sisi luar bangunan. Mutu *bracing* yang digunakan adalah BJ-37. Dalam analisis *pushover*, baik untuk bangunan eksisting maupun *retrofit*, akan dilakukan pola pembebanan yaitu pola pembebanan merata dan pembebanan segitiga untuk mengetahui kondisi ekstrim bangunan. Dalam kajian ini, sambungan antara struktur beton dengan *bracing* baja dimodelkan sendi.



Gambar 6. Bangunan eksisting.



(a) *Center*

(b) *Tengah*

(c) *Tepi*

Gambar 7. Posisi *bracing*.

Perubahan gaya gempa dari tahun 2002 dan 2019 digunakan untuk menentukan kebutuhan *bracing*. Setelah dilakukan pemodelan, tahap selanjutnya adalah dilakukan analisis *pushover* untuk mendapatkan kurva kapasitas yang menghubungkan antara gaya geser dasar dan perpindahan atap. Dari kurva kapasitas tersebut, dapat ditentukan nilai dari faktor daktilitas dan target kinerja dari struktur bangunan eksisting dan *retrofit*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kebutuhan penggunaan *bracing* baja

Penggunaan *bracing* baja ditujukan untuk memperkuat bangunan dalam memikul kelebihan gaya gempa tahun 2019. Dengan adanya kemampuan baja yang cukup tinggi untuk menahan tegangan tarik, maka diharapkan baja tersebut akan mengalami pelepasan terlebih dahulu dibandingkan dengan elemen struktur seperti balok dan kolom. Kebutuhan *bracing* dianalisis berdasarkan perubahan gaya gempa dari tahun 2002 dan 2019 serta *bracing* yang digunakan memiliki mutu BJ 37 seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Pemilihan penggunaan *bracing* tersebut didasarkan pada berat sendiri yang ringan sehingga mudah untuk di sambung/di pasang dan tidak terlalu mempengaruhi berat struktur bangunan eksisting. Sehingga ukuran dari elemen struktur tetap mampu menopang *bracing* yang menumpu padanya. Selanjutnya *bracing* yang digunakan adalah pada ke empat sisi bangunan dan di tiap lantai.

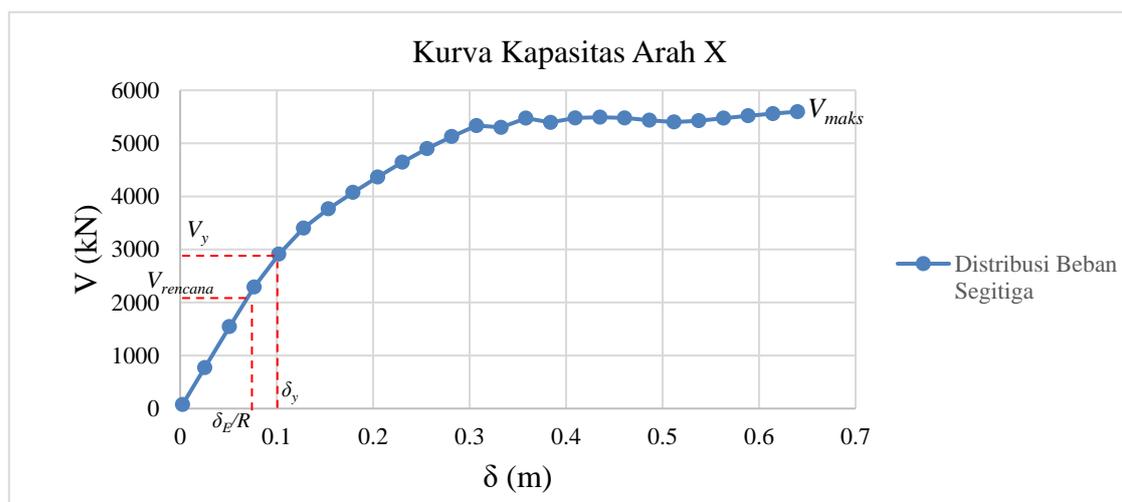
Tabel 3. Kebutuhan Penggunaan *Bracing*

Gaya Gempa (kN)		Selisih gaya gempa (kN)	Luas <i>bracing</i> yang dibutuhkan (mm ²)	Profil <i>bracing</i>	Luas 1 profil <i>bracing</i> (mm ²)	n <i>bracing</i>
2002	2019					
1242,8	1885	642,5	2677	Siku L 70 x 70 x 6 Kanal C 75 x 40 x 5 x 7	812,7 818,8	4 4

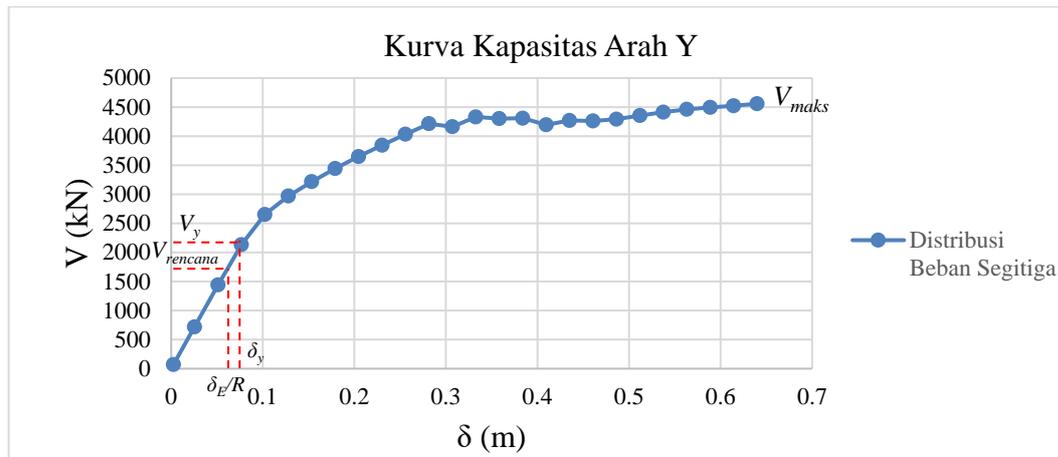
Faktor daktilitas struktur bangunan *retrofit*

Dari analisis *pushover* yang dilakukan pada berbagai variasi pemodelan, diperoleh bahwa untuk tipe *bracing* dengan *multistory X* dan *V*, maka *bracing* yang mengalami pelepasan terlebih dahulu. Tetapi pada tipe *bracing V*, kolom mengalami pelepasan terlebih dahulu dari balok.

Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi *V* tidak dapat digunakan untuk bangunan ini. Karena yang diharapkan adalah kolom tidak mengalami pelepasan untuk menghindari terjadinya keruntuhan ketidakstabilan pada struktur bangunan.



Gambar 8. Kurva kapasitas arah X.



Gambar 9. Kurva kapasitas arah Y.

Dari kurva kapasitas bangunan *retrofit* dengan konfigurasi *multistory X*, posisi *bracing* di tepi dan profil siku L pada Gambar 8 dan Gambar 9, dapat diperoleh nilai dari faktor daktilitas (R , Ω_0 dan C_d) dan target kinerja. Dalam penelitian ini, nilai R selanjutnya akan dinamakan sebagai R_y . Karena merupakan perbandingan antara gaya geser dasar pada kondisi elastis maksimum dimana $R = 1$ (V_E) dengan gaya geser saat terjadinya pelelehan pertama (V_y).

Berdasarkan Tabel 4 dan Tabel 5 pada No. 10, yaitu tipe *multistory-X bracing* dengan posisi di tepi dan menggunakan profil kanal C menunjukkan hasil yang hampir sama dengan No.9 yaitu tipe *multistory-X bracing* dengan posisi di tepi dan menggunakan profil siku L. Tetapi untuk profil kanal C menghasilkan faktor daktilitas yang lebih kecil jika dibandingkan dengan profil siku L. Hal ini disebabkan karena profil kanal C memiliki luas yang lebih besar dari siku L. Sehingga gaya yang menyebabkan leleh pertama pada struktur juga akan semakin besar.

Tingkat kinerja

Tingkatan kinerja berdasarkan ATC-40 pada Tabel 6 dilihat berdasarkan simpangan total maksimum yang merupakan *performance point displacement* dibandingkan dengan total tinggi lantai yaitu 32 meter.

Sedangkan tingkat kinerja global berdasarkan FEMA 356 pada Tabel 7 didasarkan pada simpangan antar tingkat maksimum saat terjadi perpindahan rencana pada target kinerja yang kemudian dibandingkan dengan kriteria penerimaan. Analisis tingkat kinerja global FEMA 356 hampir sama dengan tingkat kinerja ATC-40. Yang membedakannya adalah batasan yang ditetapkan.

Untuk arah Y pada Gambar 11 digunakan *pushover step* 12 karena *performance point* berada di *step* tersebut. Berdasarkan Gambar 10 dan Gambar 11 diperoleh nilai rasio *drift* maksimum antar tingkat yang akan dirangkum pada Tabel 7.

Tabel 8 merupakan perbandingan faktor daktilitas dan tingkat kinerja pada bangunan eksisting dan bangunan *retrofit*. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa kapasitas bangunan lama yang telah dilakukan *retrofit* dengan *multistory X bracing* dengan posisi *bracing* di tepi serta menggunakan profil siku L akan menjadi lebih besar terhadap gempa karena adanya pembaruan peraturan desain gempa.

Tabel 4. Faktor Daktilitas Arah X

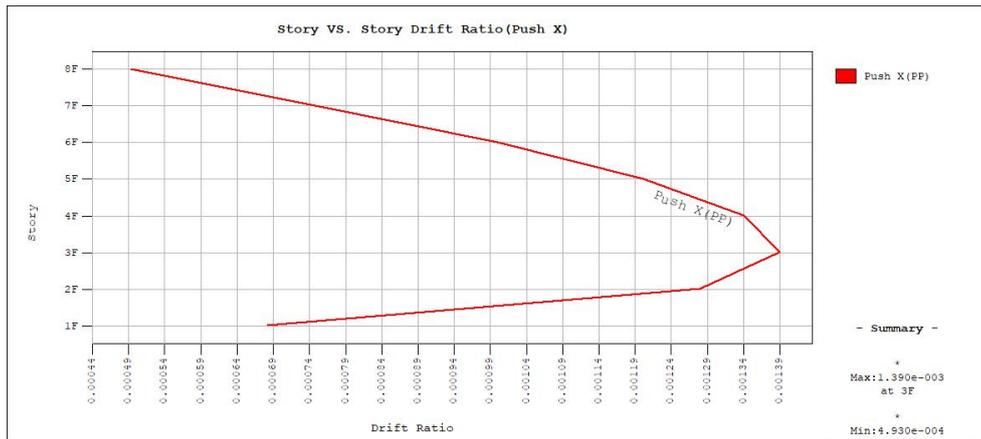
No	Pembebanan	Tipe Bracing	Posisi Bracing	Profil Bracing	Faktor Daktilitas								
					V _E (kN)	V _{y1} (kN)	V _{rencana} (kN)	V _{max} (kN)	δ _{y1} (m)	δE/R (m)	R _{y1}	Ω ₀	C _d
1	Merata	Multi X Bracing	Center	siku L	15088,05	3481,81	1886,0061	6812,06	0,1024	0,0517	4,33	3,61	1,9807
2				C	15088,52	3511,23	1886,0651	6829,64	0,1024	0,051	4,30	3,62	2,0078
3			Tengah	siku L	15093,63	2355,06	1886,7036	12419,8	0,0512	0,0427	6,41	6,58	1,1991
4				C	15094,53	2407,34	1886,8216	175976	0,0512	0,0417	6,27	9,33	1,2278
5			Tepi	siku L	15093,63	3383,52	1886,7036	6997,05	0,0768	0,0432	4,46	3,71	1,7778
6				C	15094,53	3457,57	1886,8216	6987,17	0,0768	0,0423	4,37	3,70	1,8156
7		V Bracing	Center	siku L	15088,05	1931,62	1886,0061	8745,16	0,0512	0,0521	7,81	4,64	0,9827
8				C	15088,52	1956,13	1886,0651	8771,76	0,0512	0,0514	7,71	4,65	0,9961
9			Tengah	siku L	15093,63	2329,64	1886,7036	12344,6	0,0512	0,0431	6,48	6,54	1,1879
10				C	15094,53	2378,61	1886,8216	12371,2	0,0512	0,0422	6,35	6,56	1,2133
11			Tepi	siku L	15093,63	2298,05	1886,7036	12383,1	0,0512	0,0437	6,57	6,56	1,1716
12				C	15094,53	2345,76	1886,8216	12417,1	0,0512	0,428	6,43	6,58	0,1196
13	Segitiga	Multi X Bracing	Center	siku L	15088,05	2758,27	1886,0061	5433,24	0,128	0,0844	5,47	2,88	1,5166
14				C	15088,52	2782,77	1886,0651	5458,54	0,128	0,084	5,42	2,89	1,5238
15			Tengah	siku L	15093,63	3762,61	1886,7036	11258,1	0,1536	0,069	4,01	5,97	2,2261
16				C	15094,53	3814,52	1886,8216	11307,77	0,1536	0,0673	3,96	5,99	2,2823
17			Tepi	siku L	15093,63	2292,05	1886,7036	5596,31	0,0768	0,0655	6,59	2,97	1,1725
18				C	15094,53	2323,76	1886,8216	5580,9	0,0768	0,0646	6,50	2,96	1,1889
19		V Bracing	Center	siku L	15088,05	1839,94	1886,0061	8014,84	0,0768	0,0834	8,20	4,25	0,9209
20				C	15088,52	1863,07	1886,0651	8304,52	0,0768	0,0822	8,10	4,40	0,9343
21			Tengah	siku L	15093,63	2231,01	1886,7036	11249,4	0,0768	0,0668	6,77	5,96	1,1497
22				C	15094,53	2255,71	1886,8216	11229,8	0,0768	0,066	6,69	5,95	1,1636
23			Tepi	siku L	15093,63	2214,65	1886,7036	11176	0,0768	0,0676	6,82	5,92	1,1361
24				C	15094,53	2262,81	1886,8216	11227	0,0768	0,0662	6,67	5,95	1,1601

Tabel 5. Faktor Daktilitas Arah Y

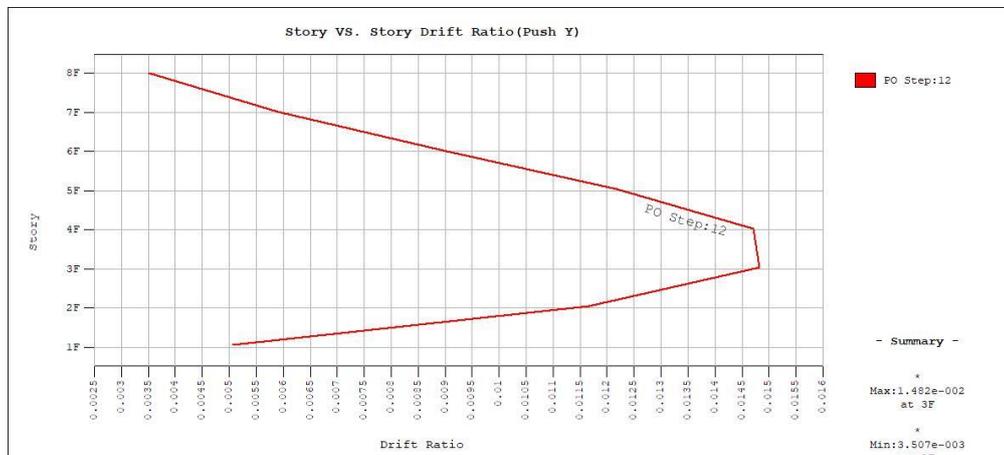
No	Pembebanan	Tipe Bracing	Posisi Bracing	Profil Bracing	Faktor Daktilitas									
					V_E (kN)	V_{y1} (kN)	$V_{rencana}$ (kN)	V_{max} (kN)	δ_{y1} (m)	$\delta E/R$ (m)	R_{y1}	Ω_0	C_d	
1	Merata	Multi X Bracing	Center	siku L	15088,05	2491,21	1886,0061	6104,4	0,0768	0,0578	6,06	3,24	1,3287	
2			Center	C	15088,52	2519,57	1886,0651	6137,04	0,0768	0,0659	5,99	3,25	1,1654	
3			Tengah	siku L	15093,63	2188,13	1886,7036	15972,3	0,0512	0,0459	6,90	8,47	1,1155	
4			Tengah	C	15094,53	2240,34	1886,8216	16039,4	0,0512	0,0448	6,74	8,50	1,1429	
5			Tepi	siku L	15093,63	3132,82	1886,7036	6094,24	0,0768	0,0465	4,82	3,23	1,6516	
6			Tepi	C	15094,53	3207,3	1886,8216	6414,53	0,0768	0,0454	4,71	3,40	1,6916	
7		V Bracing	V Bracing	Center	siku L	15088,05	1764,46	1886,0061	15477,1	0,0512	0,058	8,55	8,21	0,8828
8				Center	C	15088,52	1788,98	1886,0651	15510,2	0,0512	0,0571	8,43	8,22	0,8967
9				Tengah	siku L	15093,63	2162,63	1886,7036	15914	0,0512	0,0465	6,98	8,43	1,1011
10				Tengah	C	15094,53	2211,51	1886,8216	15980	0,0512	0,0454	6,83	8,47	1,1278
11				Tepi	siku L	15093,63	2135,33	1886,7036	15889,3	0,0512	0,0415	7,07	8,42	1,2337
12				Tepi	C	15094,53	2183,28	1886,8216	15953,3	0,0512	0,046	6,91	8,46	1,1130
13	Segitiga	Multi X Bracing	Center	siku L	15088,05	2051,46	1886,0061	4062,7	0,1024	0,097	7,35	2,15	1,0557	
14			Center	C	15088,52	2073,66	1886,0651	4092,48	0,1024	0,0952	7,28	2,17	1,0756	
15			Tengah	siku L	15093,63	2956,29	1886,7036	11397,1	0,128	0,0756	5,11	6,04	1,6931	
16			Tengah	C	15094,53	3942,29	1886,8216	11457,4	0,1792	0,0737	3,83	6,07	2,4315	
17			Tepi	siku L	15093,63	2133,67	1886,7036	4557,13	0,0768	0,0694	7,07	2,42	1,1066	
18			Tepi	C	15094,53	2166,95	1886,8216	4491,03	0,0768	0,0454	6,97	2,38	1,6916	
19		V Bracing	V Bracing	Center	siku L	15088,05	1713,66	1886,0061	10971,3	0,0768	0,0929	8,80	5,82	0,8267
20				Center	C	15088,52	1739,25	1886,0651	11002,6	0,0768	0,0914	8,68	5,83	0,8403
21				Tengah	siku L	15093,63	2128,79	1886,7036	11484,4	0,0768	0,0706	7,09	6,09	1,0878
22				Tengah	C	15094,53	2159,66	1886,8216	11447,7	0,0768	0,0696	6,99	6,07	1,1034
23				Tepi	siku L	15093,63	2085,85	1886,7036	11360,9	0,0768	0,0721	7,24	6,02	1,0652
24				Tepi	C	15094,53	2136,54	1886,8216	11418,8	0,0768	0,0705	7,06	6,05	1,0894

Tabel 6. Tingkat Kinerja Menurut ATC-40

Arah	Pembebanan	Rasio <i>drift</i> maksimum	Target Kinerja
X	Segitiga	0,016	<i>Damage Control</i>
	Merata	0,013	<i>Damage Control</i>
Y	Segitiga	0,019	<i>Damage Control</i>
	Merata	0,014	<i>Damage Control</i>



Gambar 10. Hubungan antara tingkat dengan rasio antar tingkat arah X.



Gambar 11. Hubungan antara tingkat dengan rasio antar tingkat arah Y.

Tabel 7. Tingkat Kinerja Menurut FEMA 356

Arah	Pembebanan	Rasio <i>drift</i> maksimum (%)	Tingkat	Target Kinerja
X	Segitiga	0,139	3	<i>Immediate Occupancy</i>
	Merata	0,9142	3	<i>Immediate Occupancy</i>
Y	Segitiga	1,482	3	<i>Life Safety</i>
	Merata	1,374	3	<i>Life Safety</i>

Tabel 8. Perbandingan Bangunan Eksisting dan Bangunan *Retrofit*

Bangunan	Faktor daktilitas X		Faktor daktilitas Y			Target kinerja				
						ATC-40		FEMA 356		
	R_{y1}	Ω_0	C_d	R_{y1}	Ω_0	C_d	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Eksisting	4,14	4,09	2,37	5,74	2,95	1,71	<i>Life Safety</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Life Safety</i>
<i>Retrofit</i> (<i>Multistory X-bracing</i>)	6,59	2,97	1,17	7,07	2,42	1,11	<i>Damage Control</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Life Safety</i>

4. KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, dipilih tipe *bracing* dengan konfigurasi *multistory X bracing* dan posisi *bracing* di tepi serta profil *bracing* dengan siku L. Karena *bracing* mengalami pelelehan terlebih dahulu dibandingkan dengan elemen struktur yang lainnya dan pada kolom tidak mengalami pelelehan.

Besarnya nilai faktor daktilitas untuk tipe *bracing* yang dipilih yaitu faktor modifikasi respons (R) adalah 6,59 untuk arah X dan 7,07 untuk arah Y. Untuk nilai kuat lebih (Ω_0) adalah 2,97 untuk arah X dan 2,42 untuk arah Y serta besarnya nilai modifikasi respons (C_d) adalah 1,17 untuk arah X dan 1,11 untuk arah Y.

Berdasarkan tingkat kinerja struktur adalah *Damage Control* baik arah X dan Y untuk semua pola pembebanan jika berdasarkan ATC-40. Sedangkan apabila berdasarkan FEMA 356, untuk semua pola pembebanan, untuk arah X adalah *Immediate Occupancy* dan arah Y adalah *Life Safety*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PT Midasindo Teknik Utama yang telah memberikan fasilitas lisensi *software* Midas Gen sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (1989). *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung* (SNI 03-1727)
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung* (SNI 1726)
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung* (SNI 1726)
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung Struktur Lain* (SNI 1727)
- California Seismic Safety Commission. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1* (ATC 40)
- Federal Emergency Management Agency & American Society of Civil Engineers. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings* (FEMA 356)
- Prabowo, A. & Lase, Y. (2016). Tinjauan Nilai Faktor Modifikasi Respons (R) dan Faktor Kuat Lebih (Ω_0) pada Struktur Gabungan Rangka Baja dan Rangka Beton Bertulang dengan Analisis Pushover. *Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, Vol. 23, No.1, 2
- Structural Engineers Association of California. (1995). *Structural Respon Modification Factor* (ATC 19)
- Tavio & Wijaya, U. (2018). *Desain Rekayasa Berbasis Kinerja*. ANDI Yogyakarta