

Kajian Pemakaian *Shear Wall* dan *Bracing* pada Gedung Bertingkat

SANTI GLORIA HUTAHAEAN, ASWANDY

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
e-mail: santigloriaa@gmail.com

ABSTRAK

Dinding geser dan bresing merupakan elemen penahan gempa yang banyak digunakan pada gedung bertingkat tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku kinerja dinding geser dan bresing dengan menggunakan metode analisis pushover. Obyek penelitian yang digunakan adalah dua sistem stuktur asimetris, yaitu Model 1 berupa gedung dengan dinding geser dan Model 2 berupa gedung dengan bresing. Hasil penelitian simpangan atap saat titik kinerja tercapai pada Model 1 dalam arah X, -X, Y dan -Y (0,225 m, 0,287 m, 0,225 m and 0,234 m) lebih kecil daripada Model 2 (0,344 m, 0,349 m, 0,317 m and 0,357 m) sedangkan besarnya gaya geser dasar pada Model 1 dalam arah X, -X, Y dan -Y (15.322,977 kN, 20.038,897 kN, 22.564,376 kN and 21.371,845 kN) lebih besar daripada Model 2 (11.459,977 kN, 12.957,979 kN, 69,839 kN and 10.912,926 kN). Hal ini menunjukkan bahwa Model 1 lebih kaku dan kuat daripada Model 2. Level kinerja kedua model menurut ATC-40 adalah Immediate Occupancy (IO).

Kata kunci: *dinding geser, bresing, asimetris, pushover, level kinerja*

ABSTRACT

Shear wall and bracing are retaining earthquake elements that are widely-used in high-rise buildings. This research aims to determine the performance of shear wall and bracing using pushover analysis method. The objects of the research are two asymmetrical structure system, Model 1 is building using shear wall and Model 2 is building using bracing. The results of the research show that the roof displacement of Model 1 when performance point is reached in the direction of X, -X, Y and -Y (0,225 m, 0,287 m, 0,225 m and 0,234 m) are lower than Model 2 (0,344 m, 0,349 m, 0,317 m and 0,357 m). While the amount of base shear of Model 1 in the direction of X, -X, Y and -Y (15.322,977 kN, 20.038,897 kN, 22.564,376 kN and 21.371,845 kN) higher than the amount of base shear of Model 2 (11.459,977 kN, 12.957,979 kN, 69,839 kN and 10.912,926 kN). Those show that the Model 1 is more rigid and stronger than Model 2. The level of the performance of both models according to ATC-40 is Immediate Occupancy (IO).

Keywords: *shear wall, bracing, asymmetric, pushover, performance level*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan sebagian besar wilayahnya memiliki tingkat kerawanan yang tinggi terhadap gempa bumi. Bangunan bertingkat tinggi merupakan struktur gedung yang rentan terhadap gaya lateral sehingga harus dirancang untuk dapat menahan beban lateral, seperti angin dan gempa. Agar dapat menahan beban lateral, perlu ditambahkan elemen yang dapat menahan beban lateral seperti dinding geser (*shear wall*) yang dapat meningkatkan kekakuan bangunan atau bresing (*bracing*) yang dapat mengubah gaya lateral menjadi aksial yang bekerja pada batang-batangnya.

Meskipun *shear wall* dan *bracing* sama-sama merupakan elemen penahan gempa, perilaku kinerja kedua sistem struktur belum tentu sama. Untuk mengetahui kinerja penggunaan *shear wall* atau *bracing* dilakukan analisis *static nonlinear pushover* dengan metode *capacity spectrum* (ATC-40). Hasil analisis *static nonlinear pushover* dapat menunjukkan pola keruntuhan dan perpindahan yang terjadi pada struktur gedung. Selain itu, analisis ini juga dapat menunjukkan tingkat kinerja struktur saat terjadi gempa.

Obyek penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah Model 1 berupa struktur gedung dengan *shear wall* dan Model 2 berupa struktur gedung dengan *bracing* tipe-X. Bangunan gedung kedua model memiliki panjang 40 meter dan lebar 16 meter. Jumlah lantai bangunan gedung adalah 15 lantai dengan tinggi tiap lantai sebesar 4 meter.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku kinerja struktur yang terdiri dari pola keruntuhan, *roof displacement*, *base shear* dan level kinerja pada kedua model struktur. Hasil analisis *pushover* pada kedua model kemudian dibandingkan sehingga didapat perbedaan kinerja pada kedua model.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Shear Wall

Shear wall atau dinding geser adalah dinding yang dirancang untuk menahan gaya lateral akibat gempa bumi dan angin. *Shear wall* sangat penting bagi bangunan bertingkat tinggi karena selain untuk mencegah kegagalan dinding eksterior, dinding geser juga mendukung beberapa lantai gedung dan memastikan bahwa struktur tidak runtuh akibat gerakan lateral saat gempa bumi.

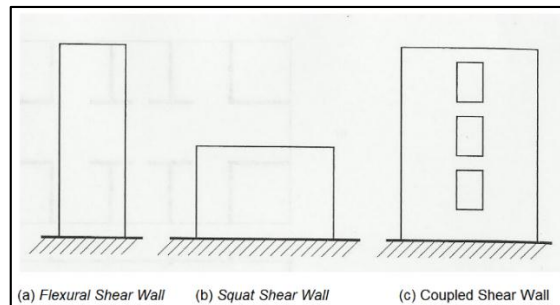
Berdasarkan geometrinya, dinding geser dapat dikategorikan sebagai berikut:

- (1) *flexural wall* (dinding langsing), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \geq 2$ dan desainnya dikontrol oleh perilaku lentur;
- (2) *squat wall* (dinding pendek), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \leq 2$ dan desainnya dikontrol oleh perilaku geser;
- (3) *coupled shear wall* (dinding berangkai), merupakan sepasang dinding menahan momen guling yang terjadi akibat beban gempa, yang dihubungkan oleh balok-balok perangkai, sebagai gaya-gaya tarik dan tekan yang bekerja pada masing-masing dasar pasangan dinding tersebut.

Dalam merencanakan dinding geser, perlu diperhatikan bahwa dinding geser yang berfungsi untuk menahan gaya lateral yang besar akibat beban gempa tidak boleh runtuh akibat gaya lateral, karena apabila dinding geser runtuh karena gaya lateral maka keseluruhan struktur bangunan akan runtuh karena tidak ada elemen struktur yang mampu menahan gaya lateral.

Oleh karena itu, dinding geser harus didesain untuk mampu menahan gaya lateral yang mungkin terjadi akibat beban gempa.

Macam-macam dinding geser berdasarkan geometrinya dapat dilihat pada **Gambar 1.** di bawah ini.



Gambar 1. Jenis *shear wall* berdasarkan geometrinya

2.2 Bracing

Bracing atau bresing merupakan elemen struktur penahan gaya lateral. Elemen ini berupa batang yang dipasang pada portal struktur. Karakteristik dari elemen ini adalah dominasi aksial yang terjadi ketika gaya lateral terjadi. Di mana pada saat gempa terjadi, gaya lateral yang diterima oleh struktur akan diteruskan pada elemen *bracing* ini sebagai gaya-gaya aksial. Secara umum bentuk *bracing* yang digunakan untuk struktur portal terdiri dari dua, yaitu *centrically braced frame* dan *eccentrically braced frame*.

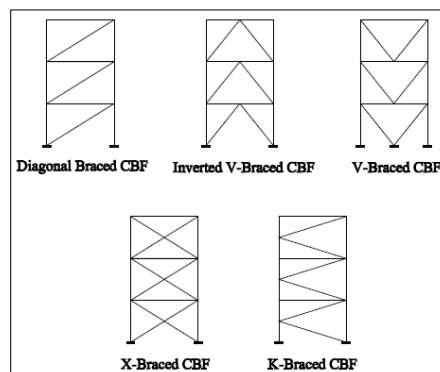
(1) Sistem rangka *bracing* konsentrik

kekakuan sistem ini terjadi akibat adanya elemen pengaku yang berfungsi sebagai penahan gaya lateral yang terjadi pada struktur. Penyerapan energi pada sistem ini dilakukan melalui pelelehan yang dirancang terjadi pada pelat buhul. Sistem ini daktilitasnya kurang begitu baik sehingga kegagalannya ditentukan oleh tekuk *bracing*.

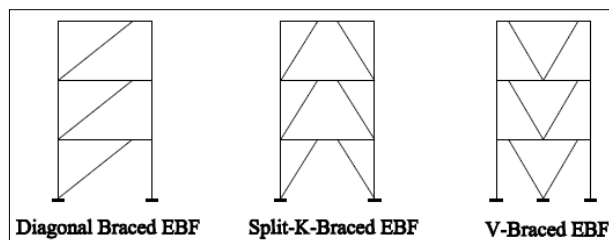
(2) Sistem rangka *bracing* eksentrik

pada sistem rangka bresing eksentrik, disingkat *EBF*, ada suatu bagian dari balok yang disebut *link* dan direncanakan secara khusus. *EBF* diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis yang cukup besar pada *link* saat memikul gaya-gaya akibat beban gempa rencana karena element *link* tersebut berfungsi sebagai pendisipasi energi ketika struktur menerima beban gempa. Pendisipasi energi ini diwujudkan dalam bentuk plastifikasi pada elemen *link* tersebut. Hal tersebut yang menyebabkan sistem SRBE mempunyai nilai daktilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan SRBK yang lebih mengutamakan pada kekuatan strukturnya.

Tipe-tipe rangka *bracing* pada umumnya digambarkan seperti pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**.



Gambar 2. Rangka *bracing* konsentrik



Gambar 3. Rangka *bracing* eksentrik

Pemilihan profil *bracing* tergantung dari besarnya gaya aksial yang bekerja, panjang *bracing*, kekakuan *bracing*, estetika dan ruang bebas yang diinginkan. Profil *bracing* bisa berupa profil siku ganda, profil kanal, profil T, profil WF dan profil tampang berongga (bulat atau kotak). Pemilihan profil *bracing* juga mempertimbangkan sambungan yang akan dipakai.

2.3 Kriteria Struktur Tahan Gempa

Perencanaan bangunan bertingkat tinggi harus memperhitungkan beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, seperti beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi adalah beban mati dan beban hidup pada struktur, sedangkan beban lateral adalah beban angin dan beban gempa. Macam-macam kategori level kinerja struktur antara lain:

- (1) *Operasional*
bila terjadi gempa, tidak ada kerusakan berarti pada struktur dan non-struktur (bangunan tetap berfungsi);
- (2) *Immediate Occupancy (IO)*
bila gempa terjadi, struktur mampu menahan gempa tersebut, struktur tidak mengalami kerusakan struktural dan tidak mengalami kerusakan non struktural. Sehingga dapat langsung dipakai;
- (3) *Life Safety (LS)*
bila gempa terjadi, struktur mampu menahan gempa, dengan sedikit kerusakan struktural, manusia yang tinggal atau berada pada bangunan tersebut terjaga keselamatannya dari gempa bumi;
- (4) *Collapse Pervention (CP)*
bila gempa terjadi, struktur mengalami kerusakan struktural yang sangat berat, tetapi belum runtuh.

Untuk mendapatkan level kinerja suatu struktur, dilakukan perhitungan maksimum *drift* dan maksimum *inelastic drift*. Rumus yang digunakan untuk menghitung maksimum *drift* dan maksimum *inelastic drift* ditunjukkan pada **Persamaan 1** dan **Persamaan 2** berikut:

$$\text{maksimum drift} = \frac{D_t}{H} \quad \dots (1)$$

$$\text{maksimum inelastic drift} = \frac{D_t - D_1}{H} \quad \dots (2)$$

halmana:

- D_t = *displacement* saat terjadinya *performance point* [m],
 D_1 = *displacement* saat terjadinya leleh pertama kalinya [m],
 H = tinggi total bangunan [m].

Dari **Persamaan 1** dan **Persamaan 2** dilakukan perbandingan batasan *ratio drift* menurut ATC-40 yang ditunjukkan pada **Tabel 1.** berikut ini:

Tabel 1. Batasan Rasio Drift Atap Menurut ATC-40

Parameter	Performance Level			
	IO	Damage Control	LS	Structural Stability
Maksimum Total Drift	0,01	0,01 s.d. 0,02	0,02	$0,33 \frac{V_i}{P_i}$
Maksimum Total Inelastik Drift	0,005	0,005 s.d. 0,015	no limit	no limit

(Sumber: Applied Technology Council, *Seismic Evaluation and Retrofit Of Concrete Buildings*, Report ATC-40, Tabel 8-4, p 8-19, Redwood City: ATC, 1996)

2.4 Analisis Statik Nonlinear

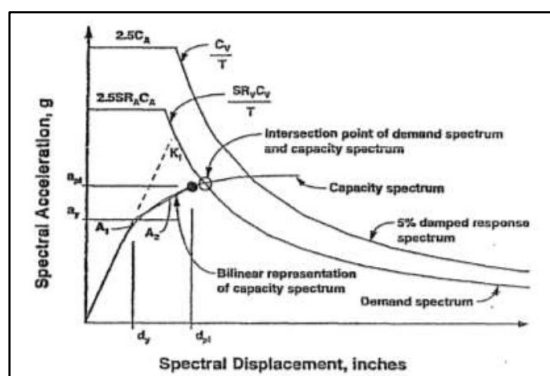
Analisis statik non-linier (*pushover*) adalah suatu analisis non-linier statik dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai target peralihan yang diharapkan atau sampai mencapai kondisi plastis (Pranata, 2006).

Metode spektrum kapasitas (*capacity spectrum method, CSM*) merupakan metode yang sering digunakan dalam perencanaan berbasis kinerja. Metode spektrum kapasitas merupakan bagian dari metode *pushover*.

Hasil akhir dari analisis ini berupa nilai-nilai gaya-gaya geser dasar (*base shear*) untuk menghasilkan perpindahan dari struktur tersebut. Nilai-nilai tersebut akan digambarkan dalam bentuk kurva kapasitas yang merupakan gambaran perilaku struktur dalam bentuk perpindahan lateral terhadap beban (*demand*) yang diberikan. Selain itu, analisis *pushover* dapat menampilkan secara visual elemen-elemen struktur yang mengalami kegagalan, sehingga dapat dilakukan pencegahan dengan melakukan pendetailan khusus pada elemen struktur tersebut.

2.5 Performance Point

Performance point adalah titik dimana *capacity curve* berpotongan dengan *response spectrum curve* seperti yang dipergunakan dalam *capacity spectrum method* (ATC-40,1996). Contoh *performance point* dapat dilihat pada **Gambar 4**. Pada *performance point* dapat diperoleh informasi mengenai periode bangunan dan redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis. Berdasarkan informasi tersebut respons-respons struktur lainnya seperti nilai simpangan tingkat dan posisi sendi plastis dapat diketahui.



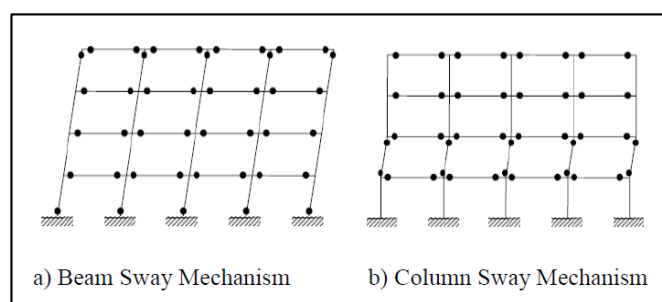
Gambar 4. Performance point

2.6 Mekanisme Keruntuhan Gedung

Mekanisme keruntuhan struktur bangunan yang aman yaitu saat terjadi gempa tidak mengakibatkan keruntuhan total (*collapse*) pada bangunan. Ada dua tipe mekanisme keruntuhan yang biasa terjadi pada analisis statis sebagai batasan analisis yaitu mekanisme keruntuhan balok (*beam sway mechanism*) dan mekanisme keruntuhan kolom (*column sway mechanism*) (Muljati et al, 2010).

Beam sway mechanism merupakan tipe keruntuhan yang disyaratkan SNI 03-1726-2002. Mekanisme ini hanya dapat terjadi jika kekuatan kolom lebih besar dari balok, dimana dalam konsep desain kapasitas hal tersebut dikenal dengan persyaratan kolom kuat balok lemah.

Mekanisme keruntuhan *beam sway mechanism* dan *column sway mechanism* dapat dilihat pada kedua ilustrasi yang ditampilkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Mekanisme keruntuhan gedung

3. TAHAPAN PENELITIAN

3.1 Studi Pustaka

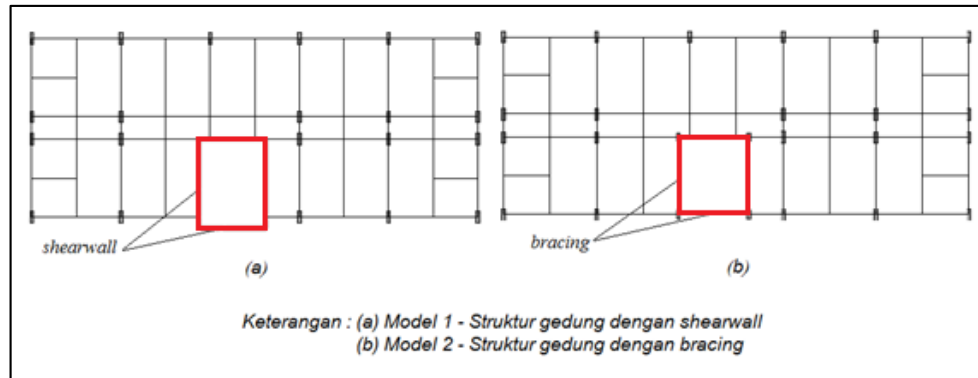
Studi literatur dilakukan dengan mempelajari landasan teori yang terkait dengan tugas akhir ini. Buku acuan yang dipakai antara lain SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, *Applied Technology Council for Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume-1 (ATC-40)*, dan jurnal-jurnal penelitian terdahulu yang berkaitan dengan tugas akhir ini.

3.2 Pengumpulan Data

Data struktur yang digunakan adalah gedung hotel 15 lantai yang digunakan untuk pemodelan struktur 3D. Data struktur yang didapat terdiri dari denah tiap lantai beserta fungsi tiap ruangan; detail balok, kolom, pelat dan *shear wall* beserta mutu beton dan baja tulangan; serta potongan melintang untuk mengetahui elevasi tiap lantai.

3.3 Pemodelan Struktur

Model struktur yang digunakan pada penelitian ini adalah gedung hotel 15 lantai yang terdiri dari 2 tipe struktur. Model 1 adalah struktur gedung sesuai dengan gambar asli yang menggunakan *shear wall* sebagai elemen penahan gempa dan tipe 2 yang merupakan modifikasi dari tipe 1, dimana elemen penahan gempa yang digunakan adalah *bracing*. Tata letak elemen penahan gempa pada struktur model 1 dan model 2 dapat dilihat pada **Gambar 6**.

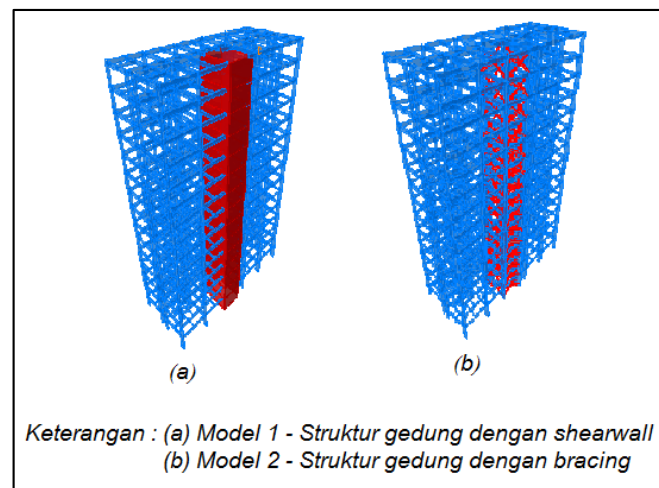


Gambar 6. Tata letak *shear wall* dan *bracing* pada gedung

Mutu bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- mutu beton balok dan pelat (f'_c) = 30 MPa
- mutu beton kolom dan *shear wall* (f'_c) = 35 MPa
- mutu baja tulangan (f_y) = 240 MPa (BJTP 24)
400 MPa (BJTD 40)
- mutu baja *bracing* : f_y = 240 MPa
 f_u = 370 MPa

Model tiga dimensi struktur gedung yang digunakan pada program ETABS dapat dilihat pada **Gambar 7.**



Gambar 7. Model 3 dimensi struktur gedung

3.4 Pembebanan

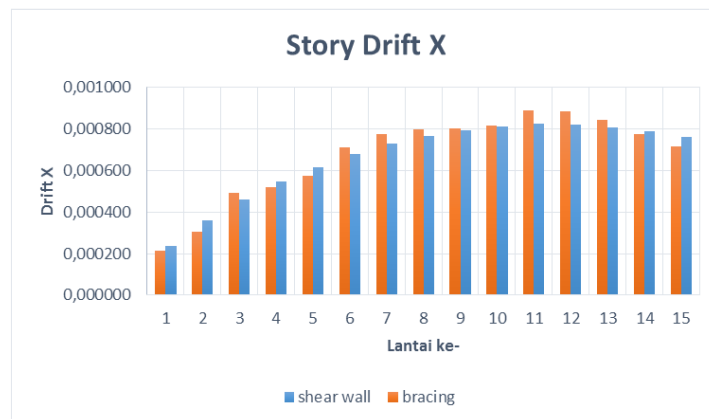
Beban yang dimasukkan adalah beban mati (DL), beban mati tambahan (SDL), beban hidup (LL), beban gempa untuk arah X (EX) dan beban gempa untuk arah Y (EY). Beban mati pada gedung dihitung otomatis oleh program ETABS. Beban mati tambahan pada dinding yaitu dinding $\frac{1}{2}$ bata sebesar 875 kg/m (8,5808 kN/m), pada pelat lantai 2-lantai 15 yaitu langit-langit+penggantung, spesi dan penutup lantai sebesar 63 kg/m² (0,6178 kN/m²) dan pada pelat lantai atap yaitu langit-langit+penggantung, spesi dan genangan air hujan sebesar 59 kg/m² (0,5786 kN/m²). Beban hidup yang digunakan sesuai SNI 03-1727-2013 adalah 0,96 kN/m² untuk dak atap gedung dan 1,92 kN/m² untuk kamar dan koridor. Beban gempa yang digunakan sesuai dengan SNI 1726-2012, yaitu dengan wilayah Karawang dengan kondisi tanah sedang.

3.5 Pemodelan Sendi Plastis

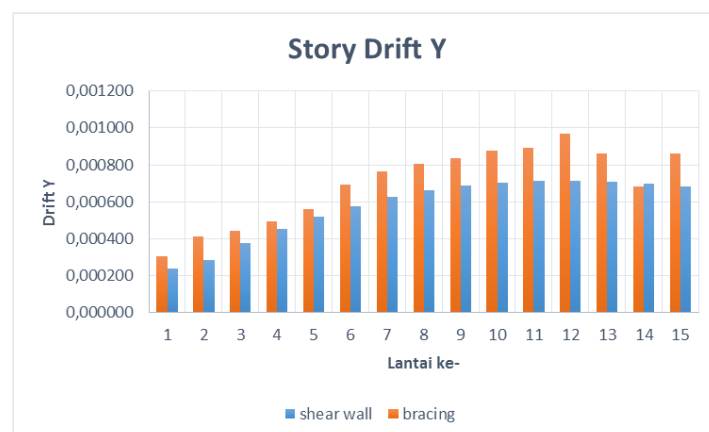
Pendefinisian sendi plastis dilakukan karena terjadinya perubahan perilaku elemen yang awalnya kaku menjadi sendi. Pada balok, sendi plastis yang digunakan adalah *default-M3* dengan nilai *relative distance* 0 dan 1 (ujung-ujung balok). *Default-M3* digunakan karena balok akan efektif menahan momen pada arah sumbu kuatnya (sumbu 3) sehingga pada sumbu inilah akan terjadi sendi plastis pada balok. Pada kolom, sendi plastis yang digunakan adalah *default-PMM* dengan nilai *relative distance* 0 dan 1 (ujung-ujung kolom). *Default-PMM* digunakan karena kolom terdapat hubungan antara gaya aksial dan momen seperti pada diagram iterasi kolom. Pada *bracing* sendi plastis yang digunakan adalah *default-P* dengan nilai *relative distance* 0 dan 1 (ujung-ujung *bracing*). *Default-P* digunakan karena sendi plastis yang terjadi pada *bracing* adalah akibat gaya aksial pada batang *bracing*.

3.6 Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat (*story drift*) adalah acuan yang digunakan dalam pembuatan model 2 (dengan menggunakan *bracing*). Setelah dilakukan pemodelan pada model 1, didapatkan nilai *story drift* model 1. Setelah itu dilakukan pemodelan model 2, yaitu dengan cara *trial and error* (coba-coba) dimensi *bracing* dan kolom pada *bracing* hingga didapatkan nilai *story drift* yang mendekati model 1. Perbandingan *story drift* kedua model dapat dilihat lebih jelas pada **Gambar 8** dan **Gambar 9**.



Gambar 8. Perbandingan *story drift* X



Gambar 9. Perbandingan *story drift* Y

Dari di atas diketahui bahwa simpangan antar tingkat pada kedua model hampir mendekati terutama pada arah X. Karena simpangan antar tingkat kedua model memiliki besar yang hampir sama, sehingga kedua model dapat digunakan untuk analisis berikutnya.

3.7 Analisis *Pushover*

Pada analisis *pushover* dibuat dua macam pembebanan. Pembebanan pertama adalah pembebanan akibat beban gravitasi. Dalam analisis ini, karena beban gravitasi yang bekerja sudah diketahui besarnya, tipe pembebanan yang dipilih adalah jenis *full load*. Setelah kondisi pertama selesai dijalankan, pembebanan bangunan dilanjutkan dengan kondisi kedua, yakni akibat beban lateral. Karena batas perpindahan atap (*roof displacement*) dapat diketahui tetapi jumlah beban tidak diketahui, maka dipilih jenis *displacement control*. Pembebanan lateral dilakukan hingga tercapainya *roof displacement* atau struktur mengalami *collapse*.

3.8 Pembahasan Hasil Analisis *Pushover*

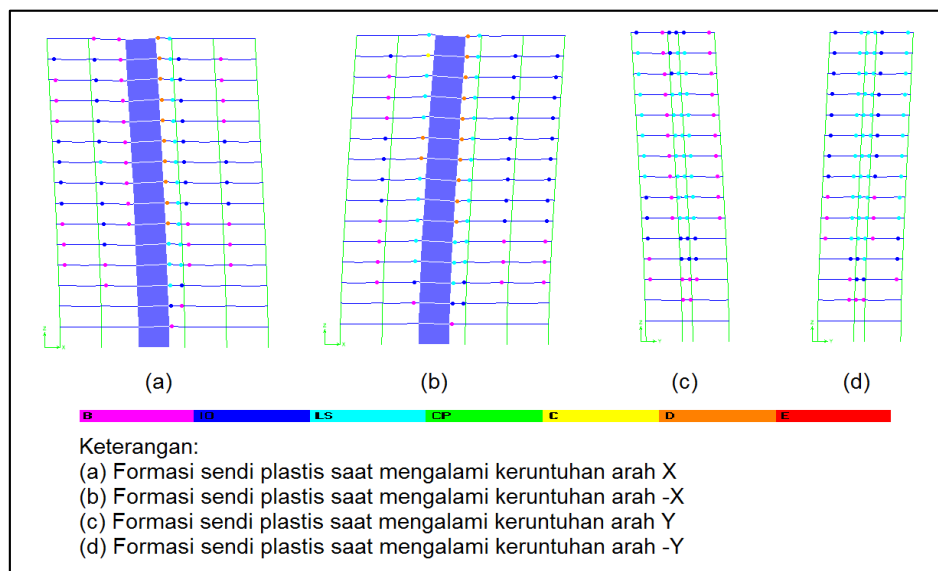
Analisis *pushover* menghasilkan kurva kapasitas yang menunjukkan perilaku struktur saat dikenai gaya geser pada level tertentu, kurva respon spektrum yang sesuai dengan wilayah gempa model yang digunakan dan *performance point* yang didapat dari kurva respon spektrum dalam format *Acceleration-Displacement Response Spectra* (ADRS) yang diplotkan dengan kurva kapasitas. Proses konversi dilakukan sepenuhnya oleh program ETABS. Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan, maka dapat dibuat kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

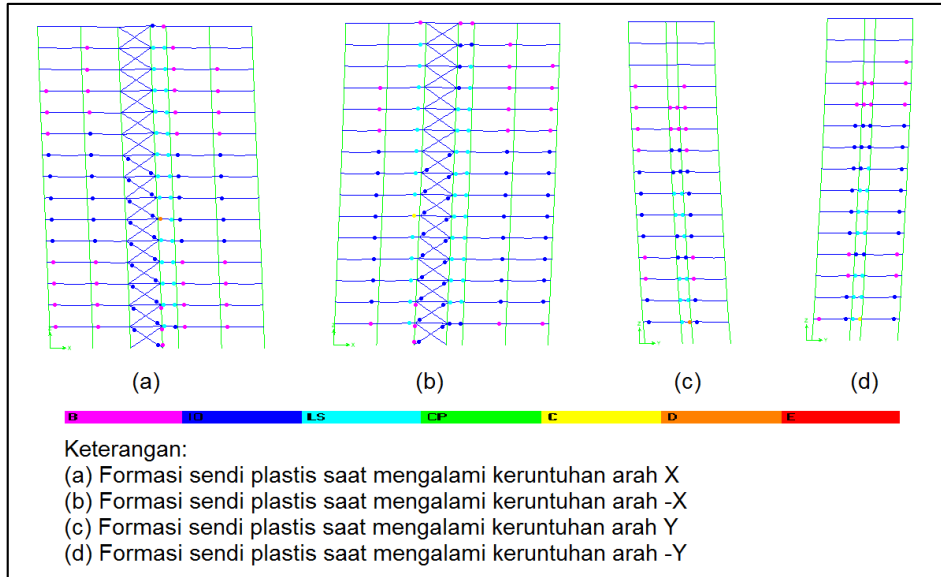
4.1 Mekanisme Keruntuhan

Mekanisme keruntuhan bangunan gedung ditunjukkan dengan terbentuknya sendi plastis pada elemen struktur. Leleh pertama ditandai dengan munculnya sendi plastis berwarna ungu muda untuk pertama kalinya, sedangkan runtuh pertama ditandai dengan munculnya sendi plastis berwarna merah tua untuk pertama kalinya. Analisa *pushover* yang dilakukan adalah dalam arah X, -X, Y dan -Y karena struktur gedung yang dianalisis tidak berbentuk simetris.

Saat tercapainya kondisi maksimum, terjadi sendi plastis pada ujung-ujung balok dan bracing. Hal ini menunjukkan bahwa keruntuhan yang terjadi adalah *beam sway mechanism*, artinya keruntuhan yang terjadi pada kedua model memenuhi Standar Nasional Indonesia. Sendi plastis yang terbentuk ketika tercapainya kondisi maksimum pada Model 1 dapat dilihat pada **Gambar 10** dan untuk Model 2 dapat dilihat pada **Gambar 11**. Tanda negatif (-) dan positif (+) *base force* dan *displacement* pada hasil *pushover* adalah menandakan arah yang terjadi.



Gambar 10. Formasi sendi plastis pada model 1

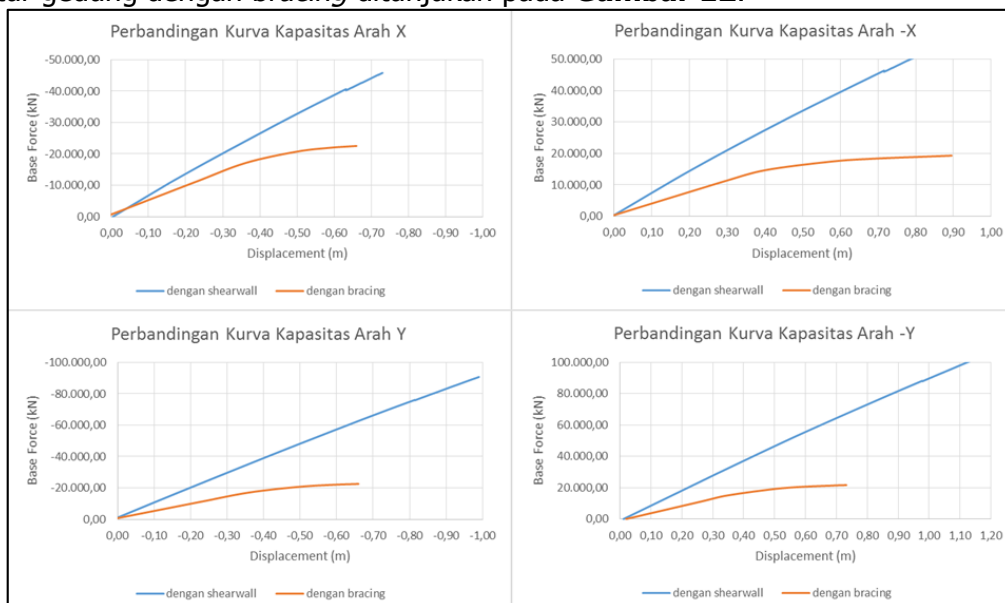


Gambar 11. Formasi sendi plastis pada model 2

4.2 Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas merupakan kurva hubungan antara besarnya perpindahan atap (D) dengan gaya geser dasar (V). Kurva kapasitas diperoleh setelah dilakukannya analisis *pushover* dengan menggunakan program ETABS.

Perbandingan kurva kapasitas antara Model 1 struktur gedung dengan *shear wall* dan Model 2 struktur gedung dengan *bracing* ditunjukkan pada **Gambar 12**.



Gambar 12. Perbandingan kurva kapasitas Model 1 dan Model 2

4.3 Performance Point

Untuk mendapatkan *performance point* dibutuhkan nilai C_a (percepatan tanah puncak, *peak ground acceleration*) dan C_v (nilai koefisien gempa pada waktu periode struktur tanah adalah 1 detik). Nilai C_a dan C_v ini berbeda-beda untuk masing-masing jenis tanah. Berdasarkan SNI 1726:2002 untuk wilayah gempa 4 dengan kondisi tanah sedang, didapatkan nilai C_a sebesar 0,28 dan C_v sebesar 0,42. Data tersebut kemudian diinput untuk mendapatkan *performance*

point kedua model yang dianalisis. Rincian *performance point* dari hasil kurva *pushover* dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Performance Point Model 1 dan Model 2

Model 1 (Dengan <i>Shear Wall</i>)				
<i>Performance point</i>	Arah X	Arah -X	Arah Y	Arah -Y
V [kN]	15.322,977	20.038,897	22.564,376	21.371,845
<i>Displacement</i> [m]	0,225	0,287	0,225	0,234
<i>Spectral Acceleration</i> (S_a) [m/s ²]	0,206	0,228	0,276	0,283
<i>Spectral Displacement</i> (S_d) [m]	0,156	0,189	0,158	0,155
T_{eff} [s]	1,744	1,820	1,518	1,482
β_{eff} [%]	0,075	0,051	0,050	0,050
Model 2 (Dengan <i>Bracing</i>)				
<i>Performance point</i>	Arah X	Arah -X	Arah Y	Arah -Y
V [kN]	11.459,977	12.957,979	69,839	10.912,926
<i>Displacement</i> [m]	0,344	0,349	0,317	0,357
<i>Spectral Acceleration</i> (S_a) [m/s ²]	0,176	0,174	127,642	0,216
<i>Spectral Displacement</i> (S_d) [m]	0,247	0,251	0,165	0,201
T_{eff} [s]	2,368	2,405	1,582	1,930
β_{eff} [%]	0,050	0,050	0,050	0,050

Dari **Tabel 2** dapat diketahui bahwa saat *performance point* tercapai besarnya *base force* Model 1 lebih besar daripada Model 2, namun besarnya *displacement* Model 1 lebih kecil daripada Model 2. Hal ini membuktikan bahwa Model 1 memiliki kekakuan yang lebih besar daripada Model 2 karena Model 1 dapat menahan tekanan yang lebih besar dengan perpindahan yang lebih kecil.

4.4 Performance Level

Metode yang digunakan dalam menentukan *performance level* adalah metode ATC-40. Maksimum *drift* dihitung dengan menggunakan **Persamaan 1** dan maksimum *inelastic drift* dengan **Persamaan 2**. Setelah dilakukan perhitungan *drift*, hasil perhitungan dibandingkan dengan **Tabel 1** untuk mengetahui *performance level* kedua model. Data-data yang digunakan dan hasil perhitungan dalam penentuan *performance level* ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Performance Level Model 1 dan Model 2

Arah	Model 1 (Dengan <i>Shear Wall</i>)				Model 2 (Dengan <i>Bracing</i>)			
	Arah X	Arah -X	Arah Y	Arah -Y	Arah X	Arah -X	Arah Y	Arah -Y
D_t [m]	0,225	0,287	0,225	0,234	0,344	0,349	0,317	0,357
D_1 [m]	0,148	0,004	0,011	0,151	0,265	0,007	0,228	0,263
H [m]	60	60	60	60	60	60	60	60
Maksimum <i>Drift</i>	0,004	0,005	0,004	0,004	0,006	0,006	0,005	0,006
Keterangan	IO	IO	IO	IO	IO	IO	IO	IO
Maksimum <i>Inelastic Drift</i>	0,001	0,005	0,004	0,001	0,001	0,006	0,001	0,002
Keterangan	IO	IO	IO	IO	IO	IO	IO	IO

Dari hasil pengolahan data pada **Tabel 3**, maka diketahui bahwa kedua model, baik struktur dengan *shear wall* maupun *bracing*, memiliki *performance level Immediate Occupancy* (IO) yang berarti belum terjadi kerusakan struktur yang berarti akibat gempa terjadi, namun harus dilakukan perbaikan terhadap beberapa kerusakan agar tidak terjadi kerusakan yang lebih besar akibat gaya gravitasi dan beban layan gedung.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. dimensi *bracing* yang menghasilkan *drift* yang sama adalah WF27x281 untuk lantai 1-lantai 5, WF14x132 untuk lantai 6-lantai 10 dan WF12x87 untuk lantai 11-lantai 15, dan dimensi kolom penopang *bracing* adalah 600x1800 untuk lantai 1-lantai 3, 500x1600 untuk lantai 4-lantai 6, 400x1200 untuk lantai 7-lantai 9, 300x900 untuk lantai 10-lantai 12 dan 300x800 untuk lantai 13-lantai 15;
2. struktur gedung dengan *shear wall* memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih besar daripada struktur gedung dengan *bracing*;
3. kedua struktur memiliki level kinerja yang sama, yaitu *Immediate Occupancy* (IO).

DAFTAR RUJUKAN

- ATC-40. (1996). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume I. California: Seismic Safety Commission State of California.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 03-1726-2002. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 03-1726-2012. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1727-2013. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Muljati, Ima dan Benjamin Lumantarna. (2010). Seminar dan Pameran HAKI 2010 "Evaluasi Kinerja Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus Bercoakan 40% Di Wilayah Beresiko Gempa Tinggi Di Indonesia". Jakarta.
- Pranata, Y.A. (2006). Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440). Bandung: Universitas Kristen Maranatha.