

Pengaruh *Core* terhadap Kinerja Seismik Gedung Bertingkat

MEKY SARYUDI¹, BERNARDINUS HERBUDIMAN²,

¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Institut Teknologi Nasional, Bandung

²Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Institut Teknologi Nasional, Bandung
Email: saryudi_sky@ymail.com

ABSTRAK

Sistem struktur dinding geser terus berkembang menjadi beberapa sistem struktur yang populer digunakan dalam perancangan bangunan tinggi seperti struktur inti (core) yang merupakan modifikasi dari dinding geser (shear wall). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh core terhadap kinerja seismik gedung bertingkat. Obyek penelitian yaitu 2 tipe struktur yang berbeda dengan bentuk asimetris. Sistem struktur tipe 1 berupa portal terbuka dan struktur tipe 2 berupa portal terbuka yang dikombinasikan dengan core. Salah satu metode analisis untuk mengetahui kinerja suatu bangunan adalah analisis statik nonlinear pushover. Hasil penelitian menghasilkan, struktur tipe 2 memiliki nilai kapasitas maksimum roof displacement untuk arah +UX, -UX, +UY dan -UY dengan rasio sebesar 1,67, 1,55, 0,23, dan 0,24 dari struktur tipe 1. Kapasitas maksimum gaya geser dasar untuk struktur tipe 2 mengalami peningkatan untuk keempat arah +UX, -UX, +UY dan -UY dengan rasio 2,0, 1,99, 1,26 dan 1,27. Level kinerja untuk tipe struktur 1 dan 2 adalah immediate occupancy menurut peraturan ATC-40

Kata kunci: pushover, core wall, asimetris

ABSTRACT

The shear wall structure system evolve into some popular structural systems used in the design of tall buildings such as core structure which is a modification of the shear wall. The purpose of this study is to determine core effect on the seismic performance of tall building. The object of this study is two different types of structures with asymmetrical shape. System structure type 1 is open frame and structure type 2 is open frame combined with core. One of analysis method for determine the performance of a building is nonlinear static pushover analysis. The study results, structure type 2 has a maximum capacity roof displacement for direction +UX, -UX, +UY and -UY with ratio is 1.67, 1.55, 0.23 and 0.24 of the structure type 1. The maximum capacity base shear force for structure type 2 has increase to four directions +UX, -UX, +UY and -UY with ratio is 2.0, 1.99, 1.26, and 1.27. Performance level for structure type 1 and type 2 is immediate occupancy according to ATC-40 regulation.

Keyword: pushover, core wall, asymmetrical

1. PENDAHULUAN

Tantangan yang dihadapi dalam konstruksi gedung bertingkat di Indonesia adalah ancaman terhadap bencana alam berupa gempa bumi. Hal ini dikarenakan Indonesia berada di daerah pertemuan empat lempeng tektonik utama dan banyaknya gunung berapi aktif yang dapat menimbulkan gempa bumi. Salah satu cara agar membuat bangunan gedung tahan akan pengaruh gempa adalah dengan menambahkan dinding geser pada struktur bangunan. Sistem struktur dinding geser ini terus berkembang menjadi beberapa sistem struktur yang populer digunakan dalam perancangan bangunan tinggi seperti struktur inti (*core*) yang merupakan modifikasi dari dinding geser (*shear wall*).

Sebagai salah satu sistem struktur tahan gempa, seharusnya pengaruh dari struktur *core* harus membuat kinerja dari struktur gedung menjadi lebih baik. Untuk mengetahui pengaruh dari struktur *core* terhadap kinerja seismik gedung digunakan analisis *static nonlinear pushover analysis* dan untuk mengetahui batas kinerja struktur dapat diketahui dengan menggunakan metode *capacity spectrum* (ATC-40). Kelebihan dari analisis *pushover* ini mampu menggambarkan secara jelas perilaku inelastis dan titik perpindahan struktur gedung, selain itu dengan analisis ini juga dapat diketahui berbagai tingkatan kinerja struktur ketika gempa terjadi sehingga bangunan memiliki kekuatan tahan gempa yang daya gunanya atau kinerjanya dapat diperkirakan.

Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan kinerja terhadap dua tipe struktur yang berbeda tapi memiliki denah yang sama, pembebanan yang sama dan geometri struktur yang sama. Bangunan gedung ini memiliki panjang total 20,7 meter, lebar total 16,275 meter, dan tinggi total 36,2 meter yang terbagi menjadi 10 lantai. Sistem struktur tipe 1 berupa portal terbuka dan sistem struktur tipe 2 berupa portal terbuka yang dikombinasikan dengan *core*.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kinerja seismik gedung yang terdiri dari perilaku inelastis, *roof displacement* maksimum, gaya geser dasar maksimum dan tingkatan kinerja dari struktur tipe 1 dan struktur tipe 2. Hasil analisis kemudian dibandingkan sehingga didapat perbedaan kinerja seismik dari kedua tipe struktur tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Inti Bangunan

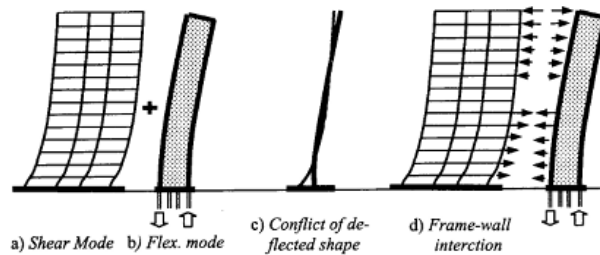
Core wall adalah komponen utama untuk menahan gaya beban horisontal dan beban gravitasi gedung. *Core wall* biasanya terdiri dari sebuah perakitan dinding geser yang terhubung sehingga membentuk bagian kotak dengan bukaan yang mungkin sebagian ditutup oleh balok atau pelat lantai. Momen inersia dari *core wall* sangat besar sehingga *core wall* dapat menahan hampir seluruh beban lateral.

Dinding geser pada umumnya mempunyai kekuatan yang cukup besar sehingga dapat menahan beban lateral akibat gempa yang cukup besar. Disamping mempunyai kekuatan yang cukup besar, dinding geser umumnya sangat kaku dibanding kolom, sehingga dinding geser ini memberikan kekakuan tambahan terhadap struktur gedung. Kekakuan yang cukup besar membuat dinding geser diharapkan dapat mengendalikan simpangan yang terjadi (Prawiradikromo, W. 2012)

2.2 Pola Goyangan Struktur Kombinasi antara Portal dengan *Wall*

Portal termasuk struktur fleksibel, yang mana struktur akan mengalami simpangan antar tingkat yang cukup besar pada kombinasi beban vertikal dan beban gempa. Oleh sebab itu

perlu ditambahkannya struktur dinding untuk gedung bertingkat tinggi agar simpangan dapat dikendalikan. Antara portal dan struktur *wall* mempunyai pola simpangan yang berbeda. Interaksi antar pola simpangan tersebut adalah seperti **Gambar 1**.



Gambar 1. Pola goyangan portal terbuka dan dinding geser
(Sumber: Prawiradikromo, W, 2012)

Pada bagian dasar, pola simpangan sama, dan oleh karena itu dua-duanya saling mendukung. Pada bagian bawah, pola simpangannya berlawanan, sehingga interaksinya juga berlawanan. Peran struktur *wall* sangat membantu pada bagian bawah karena mengurangi mengendalikan *interstorey drift frame* yang awalnya besar. Pada bagian atas, pola simpangan masih tetap berlawanan, maka interaksinya juga berlawanan.

2.3 Sendi Plastis

Sendi plastis terjadi apabila kuat-leleh pada suatu titik dalam suatu elemen dicapai/dilampaui sehingga kekuatannya sudah tidak bertambah tetapi regangan dapat bertambah. Pada struktur gedung beton bertulang sendi plastis ini terjadi jika respon struktur berada pada fase inelastis, hal ini dimulai dengan lelehnya tulangan tarik (Hajati, N.L, 2013).

Estimasi terbaik untuk menentukan jarak efektif sendi plastis adalah melalui persamaan sebagai berikut (Paulay and Priestley, 1992)

$$l_p = 0,008 l + 0,022 d_b f_y \quad (\text{MPa}) \quad \dots (1)$$

Halmana :

- l_p = jarak efektif sendi plastis (mm),
- l = panjang penampang (mm),
- d_b = diameter tulangan longitudinal (mm),
- f_y = kuat leleh tulangan baja (MPa).

untuk mempermudah perhitungan maka nilai $l_p = 0,5 h$ dapat dipakai, dimana h adalah tinggi dari penampang.

2.4 Performance Level

Secara garis besar terdapat 4 kriteria dalam *performance level* yaitu:

(1) *Operational*

merupakan suatu tahap dimana dapat diindikasikan tidak ada kerusakan struktural maupun non-struktural yang berarti pada struktur, struktur masih dapat berfungsi dengan baik;

(2) *Immediate Occupance (IO)*

merupakan suatu tahap dimana dapat diindikasikan tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur, kekuatan dan kekakuan struktur kira-kira sama dengan kondisi sebelum terjadi beban gempa. Komponen non-struktural masih berada pada tempatnya dan sebagian besar masih berfungsi jika utilitasnya tersedia. Bangunan tetap dapat berfungsi tanpa terganggu masalah perbaikan;

(3) *Life Safety (LS)*

merupakan suatu tahap dimana dapat diindikasikan telah terjadi kerusakan pada elemen struktural tetapi masih bersifat daktail. Komponen non-struktural masih ada tetapi sudah tidak berfungsi, bangunan masih dapat digunakan setelah dilakukan perbaikan;

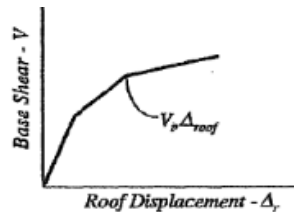
(4) *Collapse Prevention (CP)*

merupakan suatu tahap dimana dapat diindikasikan telah terjadi kerusakan pada elemen struktural dan non-struktural, bangunan hampir runtuh dan sudah tidak dapat dipakai.

2.5 Analisis Pushover

Analisis beban statik dorong (*pushover analysis*) adalah suatu analisis statik non linier dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-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-elastis yang besar sampai mencapai kondisi plastis (Pranata, 2006).

Dari analisis *pushover* didapatkan kurva kapasitas seperti pada **Gambar 2** yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan simpangan atap (*roof displacement*) dari struktur. kurva ini memperlihatkan perubahan perilaku struktur dari linier menjadi non-linier berupa penurunan kekakuan yang diindikasikan dengan penurunan kemiringan kurva akibat terbentuknya sendi plastis pada kolom dan balok.

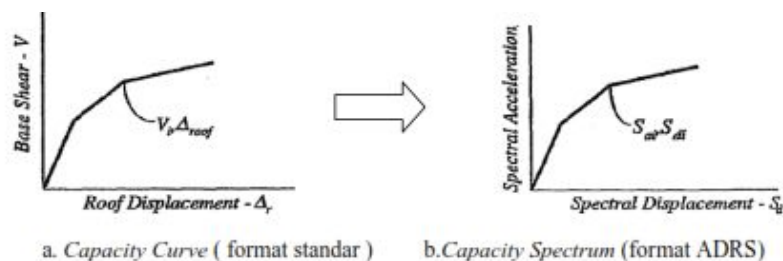


Gambar 2. Kurva kapasitas (Sumber: ATC-40,1996)

2.6 Metode Capacity Spectrum ATC-40

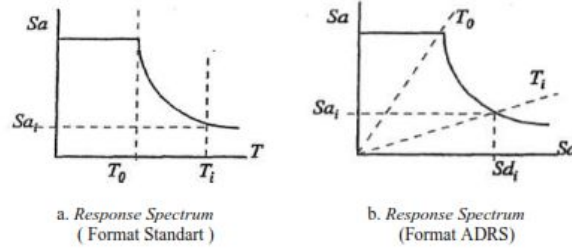
Output yang diperoleh dari metode ini adalah parameter titik kinerja struktur dengan memanfaatkan hasil dari analisis *pushover* yang berupa kurva kapasitas. Metode *capacity spectrum* sesuai ATC-40 menghasilkan target perpindahan atap yang paling kecil dibandingkan dengan metode FEMA 356 dan FEMA 440 (Pranata, 2006). Tahapan desain kinerja struktur dengan metode *capacity spectrum* sesuai ATC-40 adalah sebagai berikut:

- (1) konversi kurva kapasitas hasil analisis *pushover* menjadi *capacity spectrum* yang disebut juga kurva *Acceleration-Displacement Response Spectra (ADRS)* seperti pada **Gambar 3**;



Gambar 3. Konversi kurva kapasitas menjadi spektrum kapasitas (Sumber: ATC-40,1996)

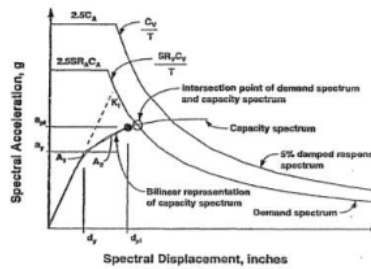
(2) konversi *response spectrum* menjadi *demand spectrum* seperti pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Konversi *response spectrum* menjadi *demand spectrum* (Sumber: ATC-40,1996)

2.7 Performance Point

Performance point adalah titik dimana spektrum kapasitas berpotongan dengan *demand spectrum* seperti pada **Gambar 5**. Pada *performance point* dapat diperoleh informasi mengenai periode bangunan dan redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis. Selain itu, titik pertemuan ini digunakan untuk memeriksa apakah komponen struktural dan non-struktural tidak melebihi batas kerusakan yang telah ditetapkan pada *performance objective*.

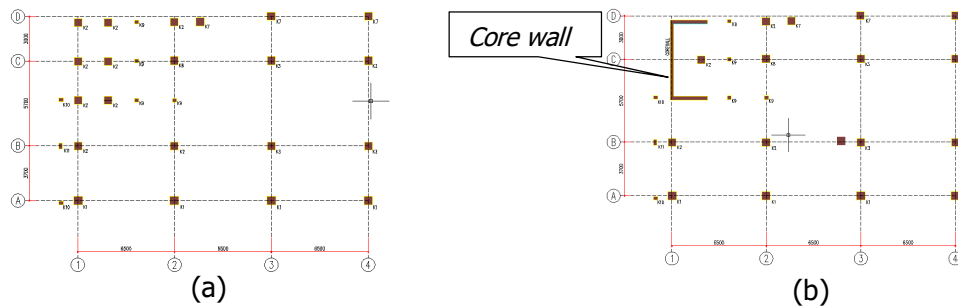


Gambar 5. Penentuan Performance Point (Sumber: ATC-40,1996)

3. METODE PENELITIAN

3.1 Pemodelan Struktur

Jumlah tipe struktur yang akan dimodelkan berjumlah 2 tipe dengan denah yang sama yaitu tipe 1 berupa portal terbuka biasa dan tipe 2 berupa portal terbuka dikombinasikan dengan *core wall*. Gedung berfungsi sebagai perhotelan dan memiliki luas ± 241,8 m². Ketinggian gedung setinggi +36,20 m yang terdiri dari 10 lantai. Konfigurasi kolom dan *core wall* dapat dilihat pada **Gambar 6a** dan **Gambar 6b** di bawah ini.

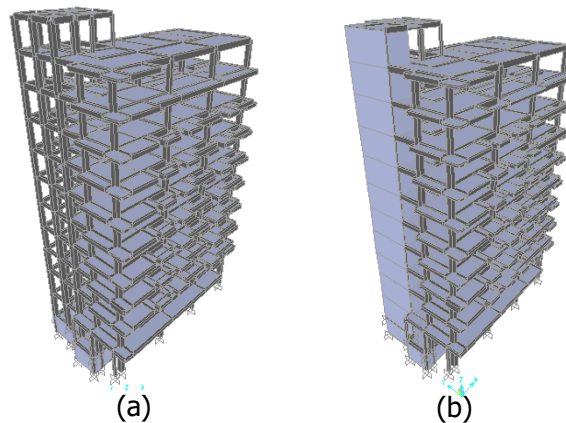


Gambar 6a. Konfigurasi kolom struktur tipe 1 tanpa *core wall*
Gambar 6b. Konfigurasi kolom struktur tipe 2 dengan *core wall*

Mutu Bahan yang digunakan yaitu :

- a. Mutu beton untuk balok dan pelat lantai (f_c) = 25 MPa (K-300)
- b. Mutu beton untuk kolom dan *core wall* (f_c) = 33 MPa (K-400)
- c. Mutu tulangan longitudinal (f_y) = 400 MPa (BJTD - 40)
- d. Mutu tulangan geser (f_{ys}) = 240 MPa (BJTP - 24)

Pemodelan struktur dengan menggunakan SAP2000 dalam bentuk 3 dimensi dapat dilihat pada **Gambar 7** di bawah ini.



Gambar 7a. Model 3D struktur tipe 1 tanpa core
Gambar 7b. Model 3D struktur tipe 2 dengan core

3.2 Pembebanan

Beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati, beban mati tambahan, beban dinding dan beban hidup. Pada program SAP2000 beban mati telah dihitung secara otomatis, sedangkan untuk beban mati tambahan, beban dinding dan beban hidup perlu dimasukkan secara manual sesuai dengan data yang ada. Pada balok beban yang bekerja adalah beban mati (berat sendiri balok) dan beban dinding. Jenis dinding yang dipakai merupakan bata ringan dengan berat jenis sebesar 65 kg/m^2 . Pada Pelat lantai beban yang bekerja berupa beban mati (berat sendiri), beban mati tambahan dan Beban hidup. Besarnya beban yang bekerja untuk beban mati tambahan sebesar 135 kg/m^2 . Beban hidup pada ruang perhotelan sebesar 250 kg/m^2 , pada ruang mesin sebesar 400 kg/m^2 , dan pada atap sebesar 100 kg/m^2 .

3.3 Penentuan Sendi Plastis

Penentuan data sendi plastis pada model struktur bangunan sesuai dengan penentuan tempat terjadinya sendi plastis. sendi plastis diharapkan terjadi pada balok dan kolom. Untuk balok dikenakan beban momen M3 dan M2 yang artinya sendi plastis terjadi karena momen searah sumbu lokal 3 dan sumbu lokal 2, sedangkan pada kolom dikenakan beban PM2M3 yang artinya sendi plastis terjadi karena interaksi gaya aksial (P), momen sumbu lokal 2 (M2), dan momen sumbu lokal 3 (M3). Jarak sendi plastis adalah $0,5 h$ dari ujung elemen.

3.4 Pembebanan Nonlinear Pushover

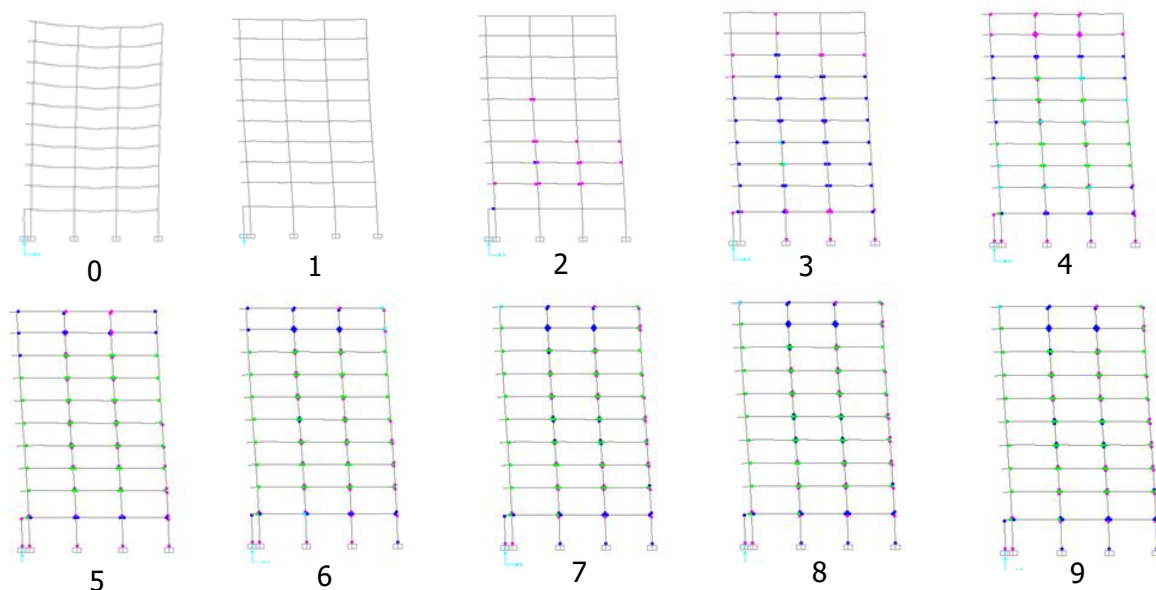
Pada pembebanan statik *pushover* digunakan dua macam pembebanan yaitu pembebanan akibat beban gravitasi dan beban lateral. Untuk beban gravitasi, tipe pembebanan dipilih jenis *full load* dikarenakan beban gravitasi yang bekerja sudah diketahui besarnya. Setelah pembebanan gravitasi selesai dijalankan, pembebanan pada bangunan dilanjutkan dengan

kondisi kedua akibat beban lateral. Untuk beban lateral tipe pembebanan dipilih jenis *displacement control* karena batas perpindahan atap dapat diketahui tetapi jumlah beban tidak diketahui. Proses pembebanan lateral dilakukan hingga batas perpindahan atap tercapai atau sampai struktur tersebut *collapse*.

4. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Mekanisme Keruntuhan Struktur Tipe 2

Analisis *pushover* memberikan tahapan perkiraan keruntuhan dari struktur bangunan berdasarkan sendi plastis yang terjadi pada elemen struktur. Mekanisme keruntuhan struktur yang ditinjau adalah arah +UX portal As-B. Tahapan keruntuhan struktur dapat dilihat pada **Gambar 8** berikut ini.



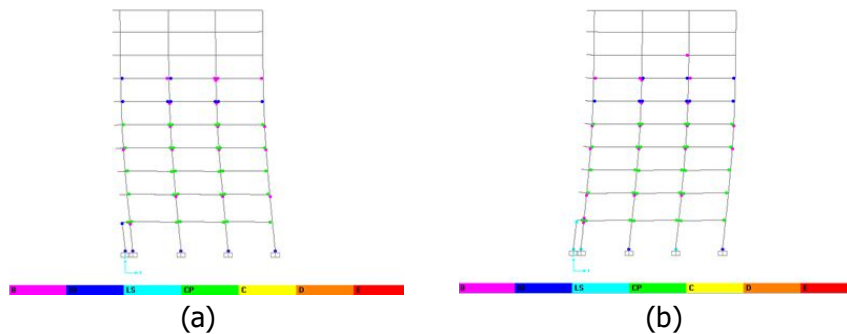
Gambar 8. Tahap keruntuhan struktur tipe 2 arah +UX

Berikut adalah uraian tahap keruntuhan pada **Gambar 8**:

- pada tahap 0 terjadi *small displacement* akibat beban gravitasi sebesar 1,467 mm dan tidak terjadi sendi plastis di semua elemen struktur;
- pada tahap 1, terjadi satu sendi plastis pada balok yang sudah mencapai batas linear dan diikuti terjadinya pelelehan pertama dengan fase B ke IO. *Displacement* yang terjadi sebesar 25,021 mm dengan *base force* sebesar 2210762,03 N;
- pada tahap 2, terjadi 79 sendi plastis yang sudah mencapai batas linear diikuti terjadinya pelelehan pertama dengan fase B ke IO dan 56 sendi plastis sudah memasuki fase inelastis dengan fase IO ke LS. *Displacement* yang terjadi sebesar 79,722 mm dengan *base force* sebesar 5990910,87 N;
- pada tahap 3, mulai terjadi pelelehan pertama pada sebagian kolom dengan fase B ke IO. Banyak sendi plastis pada balok sudah memasuki fase inelastis. *Displacement* yang terjadi sebesar 153,311 mm dengan *base force* sebesar 8254857,8 N;
- pada tahap 4, banyak sendi plastis sudah memasuki fase inelastis. *Displacement* yang terjadi sebesar 227,744 mm dengan *base force* sebesar 9834894,75 N;
- pada tahap 5, banyak sendi plastis sudah memasuki fase inelastis CP ke C. *Displacement* yang terjadi sebesar 303,798 mm dengan *base force* sebesar 11186856,95 N;

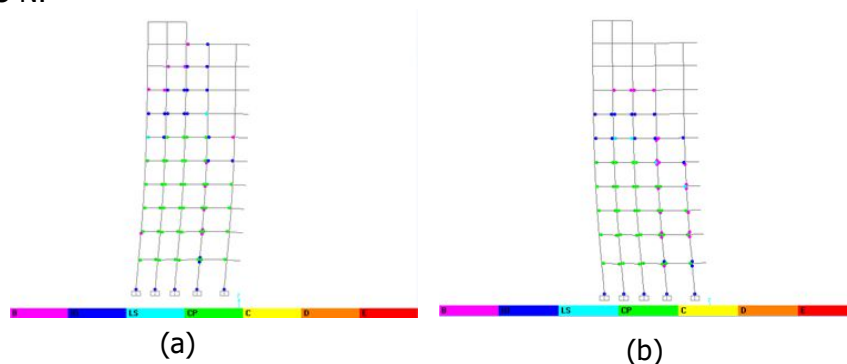
- pada tahap 6, sebagian struktur kolom sudah memasuki fase inelastis. *Displacement* yang terjadi sebesar 389,298 mm dengan *base force* sebesar 12496461,84 N;
- pada tahap 7, sebagian struktur kolom sudah memasuki fase inelastis. Banyak sendi plastis pada balok sudah memasuki fase inelastic CP ke C. *Displacement* yang terjadi sebesar 462,506 mm dengan *base force* sebesar 13522736,78 N;
- pada tahap 8, banyak sendi plastis sudah memasuki fase inelastis. *Displacement* yang terjadi sebesar 475,805 mm dengan *base force* sebesar 13695961,44 N;
- kondisi maksimum untuk arah +Ux terjadi pada tahap 9 dengan nilai *displacement* yang terjadi sebesar 475,817 mm dengan *base force* sebesar 13696365,07 N.

4.2 Kondisi Maksimum Struktur Tipe 1



Gambar 9a. Kondisi maksimum arah +UX
Gambar 9b. Kondisi maksimum arah -UX

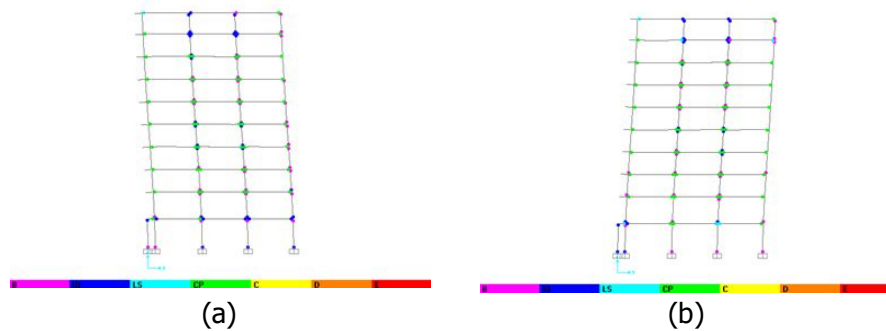
Kondisi maksimum untuk arah +UX seperti pada **Gambar 9a** terjadi pada tahap 6 dengan nilai *displacement* yang terjadi sebesar 284,234 mm dengan *base force* sebesar 6.857.607,99 N, sedangkan kondisi maksimum untuk arah -UX seperti pada **Gambar 9b** terjadi pada tahap 8 dengan nilai *displacement* yang terjadi sebesar 303,565 mm dengan *base force* sebesar 6.947.586,9 N.



Gambar 10a. Kondisi maksimum arah +UY
Gambar 10b. Kondisi maksimum arah -UY

Kondisi maksimum untuk arah +UY seperti pada **Gambar 10a** terjadi pada tahap 7 dengan nilai *displacement* yang terjadi sebesar 270,108 mm dengan *base force* sebesar 6.563.395 N, sedangkan kondisi maksimum untuk arah -UY seperti pada **Gambar 10b** terjadi pada tahap 7 dengan nilai *displacement* yang terjadi sebesar 259,778 mm dengan *base force* sebesar 6.883.524,49 N.

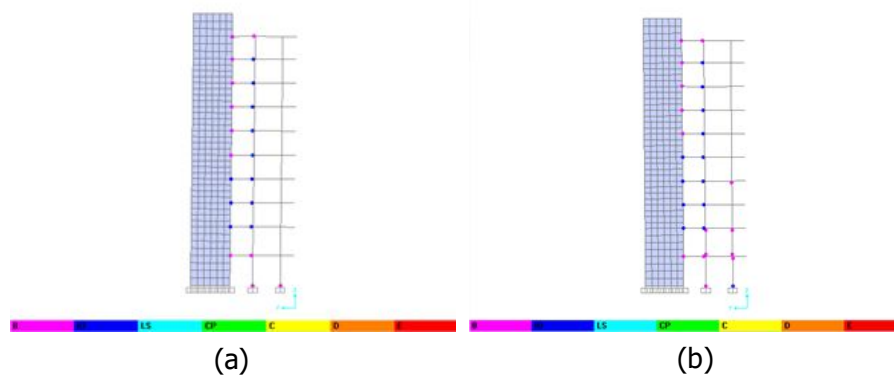
4.3 Kondisi Maksimum Struktur Tipe 2



Gambar 11a. Kondisi maksimum arah +UX

Gambar 11b. Kondisi maksimum arah -UX

Kondisi maksimum untuk arah +UX seperti pada **Gambar 11a** terjadi pada tahap 9 dengan nilai *displacement* yang terjadi sebesar 475,817 mm dengan *base force* sebesar 13.696.365,07 N, sedangkan kondisi maksimum untuk arah -UX seperti pada **Gambar 11b** terjadi pada tahap 9 dengan nilai *displacement* yang terjadi sebesar 470,247 mm dengan *base force* sebesar 13.838.735,36 N.

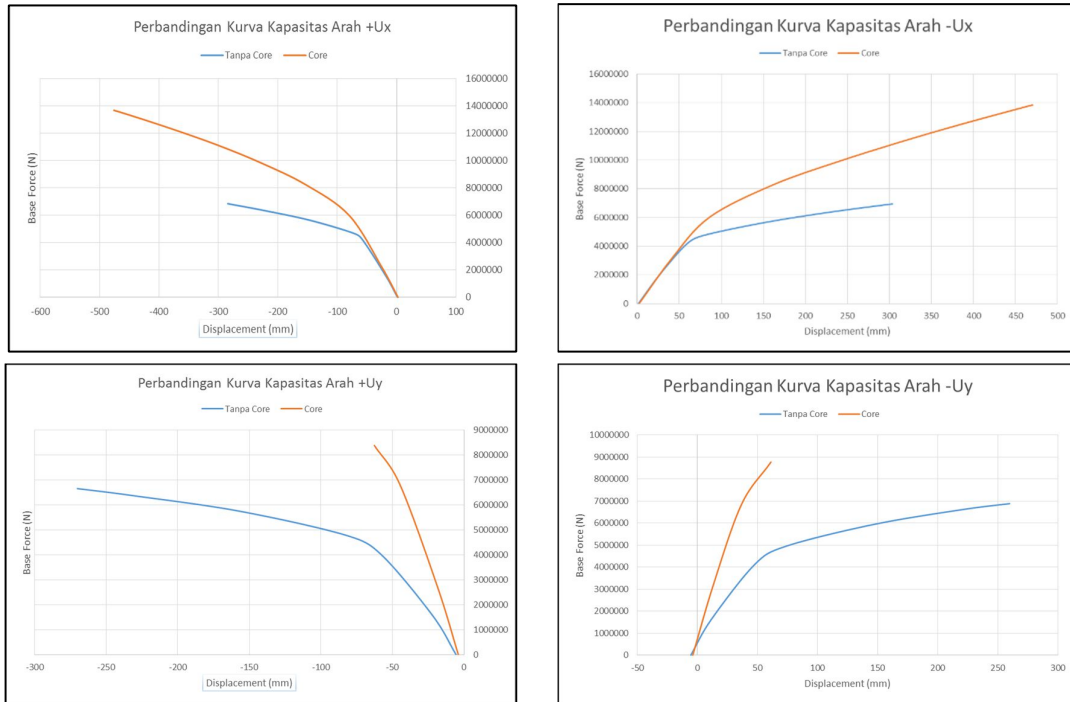


Gambar 12a. Kondisi maksimum arah +UY

Gambar 12b. Kondisi maksimum arah -UY

Kondisi maksimum untuk arah +UY seperti pada **Gambar 12a** terjadi pada tahap 3 dengan nilai *displacement* yang terjadi sebesar 62,640 mm dengan *base force* sebesar 8.380.887,95 N, sedangkan kondisi maksimum untuk arah -UY seperti pada **Gambar 12b** terjadi pada tahap 3 dengan nilai *displacement* yang terjadi sebesar 61,117 mm dengan *base force* sebesar 8.771.783,01 N.

4.4 Kurva Kapasitas



Gambar13. Grafik perbandingan kurva kapasitas (N.mm)

Dari **Gambar 13** didapat hasil *roof displacement* dan gaya geser dasar maksimum seperti disajikan dalam **Tabel 1** dan **Tabel 2** berikut ini :

Tabel 1. Perbandingan Maksimum *Roof Displacement* (mm)

Arah	Struktur Tipe 1	Struktur Tipe 2	Rasio
+UX	284,234	475,817	1,67
-UX	303,565	470,247	1,55
+UY	270,018	62,64	0,23
-UY	259,778	61,117	0,24

Tabel 2. Perbandingan Maksimum *Base Force* (N)

Arah	Struktur Tipe 1	Struktur Tipe 2	Rasio
+UX	6.857.607,99	13.696.365,07	2,00
-UX	6.947.586,87	13.838.735,36	1,99
+UY	6.653.395,01	8.380.887,95	1,26
-UY	6.883.524,49	8.771.783,01	1,27

4.5 Performance Point

Hasil dari *performance point* dapat dilihat pada **Tabel 3** untuk struktur tipe 1 tanpa *core wall* dan **Tabel 4** untuk struktur tipe 2 dengan *core wall*.

Tabel 3. Performance Point Struktur Tipe 1 tanpa Core Wall

Performance Point	Push +UX	Push -UX	Push +UY	Push -UY
Spectral Acceleration (S_a)	0,202	0,202	0,201	0,205
Spectral Displacement (S_d)	71,072	69,178	65,827	64,936
V (N)	4.865.236	4.835.325	4.852.878	4.970.915
Displacement (mm)	85,976	86,114	87,754	75,570
T_{eff}	1,173	1,164	1,138	1,123
B_{eff}	0,178	0,186	0,200	0,200

Tabel 4. Performance Point Struktur Tipe 2 dengan Core Wall

Performance Point	Push +UX	Push -UX	Push +UY	Push -UY
Spectral Acceleration (S_a)	0,272	0,268	0,237	0,251
Spectral Displacement (S_d)	74,527	72,640	69,775	67,694
V (N)	6.808.654	6.680.564	5.685.665	5.787.885
Displacement (mm)	106,303	108,092	37,540	29,817
T_{eff}	1,034	1,031	1,042	1,007
B_{eff}	0,111	0,116	0,140	0,139

4.6 Kinerja Struktur

ATC-40 memberikan batasan rasio *roof drift* untuk berbagai macam tingkat kinerja struktur dengan rincian seperti pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Batasan Rasio Roof Drift 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

Persamaan untuk menilai parameter tersebut adalah sebagai berikut:

$$\text{Maximum Drift} = \frac{D_t}{H} \quad \dots (2)$$

$$\text{Maximum Inelastic Drift} = \frac{D_t - D_1}{H} \quad \dots (3)$$

Kinerja Struktur Tipe 1

Tabel 6. Ratio Roof Drift Struktur Tipe 1 tanpa Core Wall

Parameter	+UX	-UX	+UY	-UY
Maksimum Total Drift	0,002375	0,002379	0,002424	0,002088
Maksimum Total Inelastis Drift	0,001872	0,001625	0,001814	0,001774

Berdasarkan batasan rasio *roof drift* menurut ATC-40, hasil perhitungan maksimum total *drift* yang dipaparkan pada **Tabel 6** menunjukkan bahwa gedung struktur tipe 1 termasuk dalam level *kinerja Immediate Occupancy (IO)*, dan maksimum inelastis *drift* gedung termasuk dalam level *kinerja Immediate Occupancy (IO)*

4.6.1 Kinerja Struktur Tipe 2

Tabel 7. Ratio Roof Drift Struktur Tipe 2 dengan Core Wall

Parameter	+UX	-UX	+UY	-UY
Maksimum Total Drift	0,002937	0,002986	0,001037	0,000824
Maksimum Total Inelastis Drift	0,002245	0,001825	0,000525	0,000445

Berdasarkan batasan rasio *roof drift* menurut ATC-40, hasil perhitungan maksimum total *drift* yang dipaparkan pada **Tabel 7** menunjukkan bahwa gedung struktur tipe 2 termasuk dalam level *kinerja Immediate Occupancy (IO)*, dan maksimum inelastis *drift* gedung termasuk dalam level *kinerja Immediate Occupancy (IO)*

5. KESIMPULAN

- Model struktur tipe 2 berupa Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang dikombinasikan dengan struktur *core wall* memiliki nilai kapasitas maksimum *roof displacement* yang lebih besar untuk arah +UX dan -UX dengan rasio 1,67 dan 1,55 dari struktur tipe 1 berupa Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) biasa. Penurunan kapasitas maksimum *roof displacement* untuk struktur tipe 2 terjadi pada arah +UY dan -UY dengan rasio sebesar 0,23 dan 0,24 dari struktur tipe 1.
- Kapasitas maksimum *base force* yang dapat dipikul oleh struktur tipe 2 memiliki nilai yang sangat besar dibandingkan dengan struktur tipe 1. Peningkatan rasio kapasitas maksimum *base force* untuk keempat arah beban lateral yaitu 2,0 untuk arah +UX, 1,99 untuk arah -UX, 1,26 untuk arah +UY dan 1,27 untuk arah -UY.
- Taraf kinerja struktur pada struktur tipe 1 dan tipe 2 memiliki level *kinerja Immediate Occupancy* untuk keempat arah beban lateral yaitu +UX, -UX, +UY dan -UY.

4. Mekanisme keruntuhan pada struktur sudah mengikuti kaidah kolom kuat balok lemah dikarenakan pada saat sebagian sendi plastis pada kolom mulai mengalami pelepasan pertama, sendi plastis pada balok sudah mengalami fase inelastis terlebih dahulu. Hal ini dibuktikan sendi plastis terjadi pertama kali pada balok struktur tipe 2 saat tahap 1 (**Gambar 8**).
5. Struktur yang dikombinasikan dengan *core wall* mempunyai kekuatan yang cukup besar sehingga dapat menahan beban lateral akibat beban gempa yang cukup besar. Hal ini dibuktikan dengan nilai maksimum *base force* struktur tipe 2 lebih besar dari struktur tipe 1 tanpa *core wall* (**Tabel 2**).
6. Struktur tipe 2 dengan *core wall* menjadi sangat kaku untuk arah +UY dan -UY. Hal ini dibuktikan bahwa rasio roof displacement struktur tipe 2 terhadap tipe 1 sebesar 0,23 untuk arah +UY dan 0,24 untuk arah -UY (**Tabel 1**).

DAFTAR RUJUKAN

- ATC-40. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume I*. California: Seismic Safety Commission State of California.
- Hajati, N.L. (2013). *Kajian Daktilitas Sistem Portal Berdinding Geser Terhadap Beban Lateral*. Bandung: Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional
- Paulay and Priestley. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete And Masonry Building*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Pranata, YA. (2006). *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC-40, FEMA 356, dan FEMA 440)*. Bandung: Universitas Kristen Maranatha.
- Prawiradikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.