

STUDI PERBANDINGAN HARGA DAN KINERJA STRUKTUR SRPMK DENGAN SISTEM GANDA PADA PERENCANAAN HOTEL 6 LANTAI DI SIDOARJO

Ir. Bantot Sutriono, M.Sc ¹⁾, Retno Trimurtiningrum, ST, MT ²⁾, Harya Yogisatrya³⁾

¹⁾Dosen Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Email: bantot_s@yahoo.co.id

²⁾Dosen Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Email: neno_s47@yahoo.com

³⁾Mahasiswa S1 Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Email: yogisatrya19@gmail.com

Abstract

Indonesia is an area prone to earthquakes that can be at risk of casualties caused by the collapse of the building due to lack of properly designed. This does not rule out the loss of structures that also affect the economic factors. So that required analysis of structures that have high ductility and structural analysis that has a bracing frame to know the feasibility of the structure in order to avoid severe damage but without spending expensive and does not affect the loss of repairs. Therefore, this study discusses cost comparison and performance of Special Moment Frame and Dual System structures with static analysis of non-linear pushover due to earthquake loads according to SNI 03-2847-2013 and SNI 03-1726-2012.

The result of the analysis shows that the structure performance of Special Moment Frame has the performance point value of X direction change of 0.136 m and the Y direction of 0.022 m. While the Dual System has a performance point value of X direction of 0.03 m and Y direction of 0.072 m. Based on the value of the performance points of the two structures, the dual system structure is more rigid than the Special Moment Frame structure. But both have structural performance under Immediate Occupancy (IO) conditions. But in terms of price, dual system structure is more economical with the cost incurred of Rp. 3,417,603,300.00 compared to the Special Moment Frame structure of Rp. 3,886,483,100.00. that caused by the dual system structure that has a shearwall that receives the earthquake load from the rest of the main frame. So as to reduce the dimensions and reinforcement of the beam and column structure of the building.

Keywords: Special Moment Frame, Dual System, Performance Point, Pushover Analysis, Cost Calculation

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan wilayah yang rawan terjadi gempa tinggi yang menyebabkan runtuhnya bangunan yang dapat memakan korban jiwa. Sebagian besar korban dan kerugian yang terjadi akibat gempa disebabkan oleh kerusakan dan kegagalan infrastruktur. Oleh karena itu, saat terjadi gempa kinerja sebuah bangunan diharapkan dapat menahan gaya gempa pada level tertentu agar tidak terjadi kerusakan parah dan tidak berpengaruh pada kerugian ekonomi.

Metode analisis *pushover* (ATC-40, 1996) merupakan sarana untuk mengetahui perilaku struktur pada saat kondisi elastis, plastis dan sampai terjadinya keruntuhan pada elemen-elemen strukturnya. Terdapat empat level kinerja struktur berdasarkan FEMA 273/356 yaitu pertama, *Fully Operational* (FO) adalah kondisi dimana bangunan tetap dapat beroperasi langsung setelah gempa terjadi. Kedua, *Immediately Occupancy* (IO) adalah kondisi yang mana struktur secara umum masih aman untuk kegiatan operasional setelah gempa terjadi. Ketiga, *Life Safety* (SF) adalah kondisi dimana struktur bangunan mengalami kerusakan sedang namun bangunan masih stabil dan mampu melindungi pemakai dengan baik. Dan yang keempat, *Collapse Prevention* (CP) adalah kondisi dimana struktur mengalami kerusakan parah. Untuk itu dibutuhkan perbandingan struktur penahan gempa pada bangunan tersebut agar bisa diketahui dari segi keunggulan struktur tersebut yaitu SRPMK dan Sistem Ganda. SRPMK adalah struktur beton bertulang yang memiliki nilai daktilitas tinggi. Sedangkan Sistem Ganda adalah salah satu sistem struktur yang beban gravitasinya dipikul sepenuhnya oleh rangka utama, sedangkan beban gempa dipikul oleh rangka utama sekurang-kurangnya 25% dan sisanya dipikul oleh dinding geser. Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan biaya dan kinerja *level* struktur pada gedung Hotel 6 lantai di Sidoarjo SRPMK dengan Sistem Ganda untuk memikul beban beban gempa dengan resiko gempa tinggi sesuai SNI 1726-2012 dan SNI 2847-2013.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut.

1. Bagaimana merencanakan balok dan kolom tahan gempa sesuai SNI 03-2847-2013 ?
2. Bagaimana merencanakan dinding geser khusus Sistem Ganda sebagai penahan beban gempa sesuai dari SNI 03-2847-2013 ?
3. Bagaimana menganalisa kinerja gedung menggunakan metode *pushover* dengan aplikasi SAP 2000 ?
4. Bagaimana menghitung anggaran biaya pada struktur SRPMK dengan Sistem Ganda ?

1.3 Tujuan

Keempat masalah tersebut dibahas dalam penelitian ini dengan tujuan:

1. Dapat merencanakan balok dan kolom tahan gempa sesuai SNI 03-2847-2013.
2. Dapat merencanakan dinding geser sebagai penahan beban gempa sesuai dari SNI 03-2847-2013.
3. Dapat mengetahui kinerja gedung menggunakan metode *pushover* dengan aplikasi SAP 2000.
4. Dapat mengetahui anggaran biaya pada struktur SRPMK dengan Sistem Ganda.

1.4 Batasan Masalah

Karena banyaknya permasalahan yang berada pada penelitian tersebut, maka masalah yang akan dibahas adalah :

1. Perhitungan bangunan meliputi:
 - Struktur Primer menggunakan struktur beton bertulang pada balok, kolom dan dinding geser.
 - Struktur Sekunder menggunakan struktur beton bertulang pada pelat dan bagian atap gedung cor-coran.
2. Analisis struktur meliputi:
 - Evaluasi menggunakan Analisis *Pushover*
 - Perhitungan beban gempa menggunakan metode *Respon Spectrume*.
3. Aplikasi yang digunakan adalah software SAP 2000 V.14 dan PCACol.
4. Perhitungan anggaran biaya hanya meninjau struktur kolom, balok dan dinding geser.
5. Tidak meninjau segi manajemen konstruksi, desain tangga, lift dan struktur pondasi.

2. KAJIAN LITERATUR

2.1 Beton Bertulang

Beton merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan dalam dunia konstruksi. Beton sendiri adalah material konstruksi yang diperoleh dari pencampuran pasir, kerikil/batu pecah, semen, serta air. Campuran beton tersebut seiring dengan bertambahnya waktu akan menjadi keras seperti batuan, dan memiliki kuat tekan yang tinggi namun kuat tariknya rendah. Tulangan baja akan memberikan kuat tarik yang tidak dimiliki beton dan juga mampu memikul beban tekan. Sehingga kedua material tersebut dikombinasikan menjadi beton bertulang. Agar suatu bangunan struktur beton bertulang dapat berfungsi dengan baik, maka dikenal beberapa jenis elemen yang sering digunakan yaitu elemen pelat lantai, balok, kolom, dinding, dan pondasi.

2.2 Perencanaan Tahan Gempa Berbasis Kinerja

Proses perencanaan tahan gempa berbasis kinerja dimulai dengan membuat model rencana bangunan kemudian melakukan simulasi kinerjanya terhadap berbagai kejadian gempa. Setiap simulasi memberikan informasi tingkat kerusakan (*level of damage*), ketahanan struktur, sehingga dapat memperkirakan berapa besar keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang akan terjadi. Perencana selanjutnya dapat mengatur ulang resiko kerusakan yang dapat diterima sesuai dengan resiko biaya yang dikeluarkan. (Wiryanto, 2005)

2.3 Analisis *Pushover*

Prosedur perhitungan dengan analisis *pushover* (ATC 40, 1997) adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan model komputer struktur yang akan dianalisis secara dua atau tiga dimensi
2. Dimensi suatu kriteria performance, seperti batas ijin simpangan pada lantai atap pada titik sendi tertentu, dan lain-lain
3. Pembebanan struktur dengan gaya gravitasi sesuai dengan rencana
4. Pembebanan dengan pola beban statik tertentu yang didapatkan dari standar yang berlaku

- di masing-masing negara
- 5. Penentuan Titik Kendali tertentu untuk memantau perpindahan, biasanya titik pada lantai atap
- 6. Struktur didorong (*push*) dengan pola pembebanan yang ditentukan sebelumnya secara bertahap hingga mencapai batas ijin simpangan atau mencapai keruntuhan yang direncanakan
- 7. Penggambaran kurva kapasitas, yaitu kurva hubungan antara Gaya Geser Dasar dengan Perpindahan pada Titik Kendali.

2.4 Sistem Ganda

Tipe sistem struktur ini memiliki 3 ciri dasar. Pertama, rangka utama dari bangunan berfungsi memikul beban grafitasi. Kedua, pemikul beban lateral diserap oleh Rangka Utama minimal 25% dan sisanya diserap oleh Dinding geser. Ketiga, dinding struktural dan sistem rangka pemikul momen direncanakan untuk menahan V secara proporsional berdasarkan kekakuan relatifnya. Di zona gempa tinggi rangka ruang itu harus didesain sebagai SRPMK dan dinding geser harus sesuai ketentuan pada SNI 2847:2013 pasal 21.9 yaitu sebagai dinding struktural beton khusus termasuk ketentuan pasal sebelumnya yang masih berlaku.

2.5 Analisis Perencanaan Tahan Gempa

Berdasarkan SNI-03-1726-2012 untuk menganalisis tahan gempa dapat dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah seperti dibawah ini:

1. Menentukan kategori resiko struktur
2. Menentukan faktor keutamaan gempa
3. Menentukan faktor nilai spektral percepatan (Ss, S1)
4. Menentukan koefisien situs (Fa, Fv)
5. Menentukan kategori desain seismik (KDS)
6. Menentukan getaran fundamental (Ta)
7. Menentukan respon spektrum respon desain
8. Menentukan nilai koefisien respon seismik (Cs)
9. Menghitung total berat gravitasi portal yang ditinjau
10. Menentukan geser dasar seismik
11. Perhitungan distribusi gempa
12. Mengecek kontrol simpangan antar lantai

2.6 Persyaratan Untuk Perencanaan Struktur Beton

Dalam perencanaan struktur beton mengacu pada persyaratan yang telah ditentukan dalam SNI 2847:2013. Berikut beberapa persyaratannya:

1. Syarat Dimensi Penampang (Mengacu SNI 2847:2013 Pasal 21.5.1)

Komponen-komponen lentur dalam SRPMK harus memenuhi syarat-syarat dibawah ini:

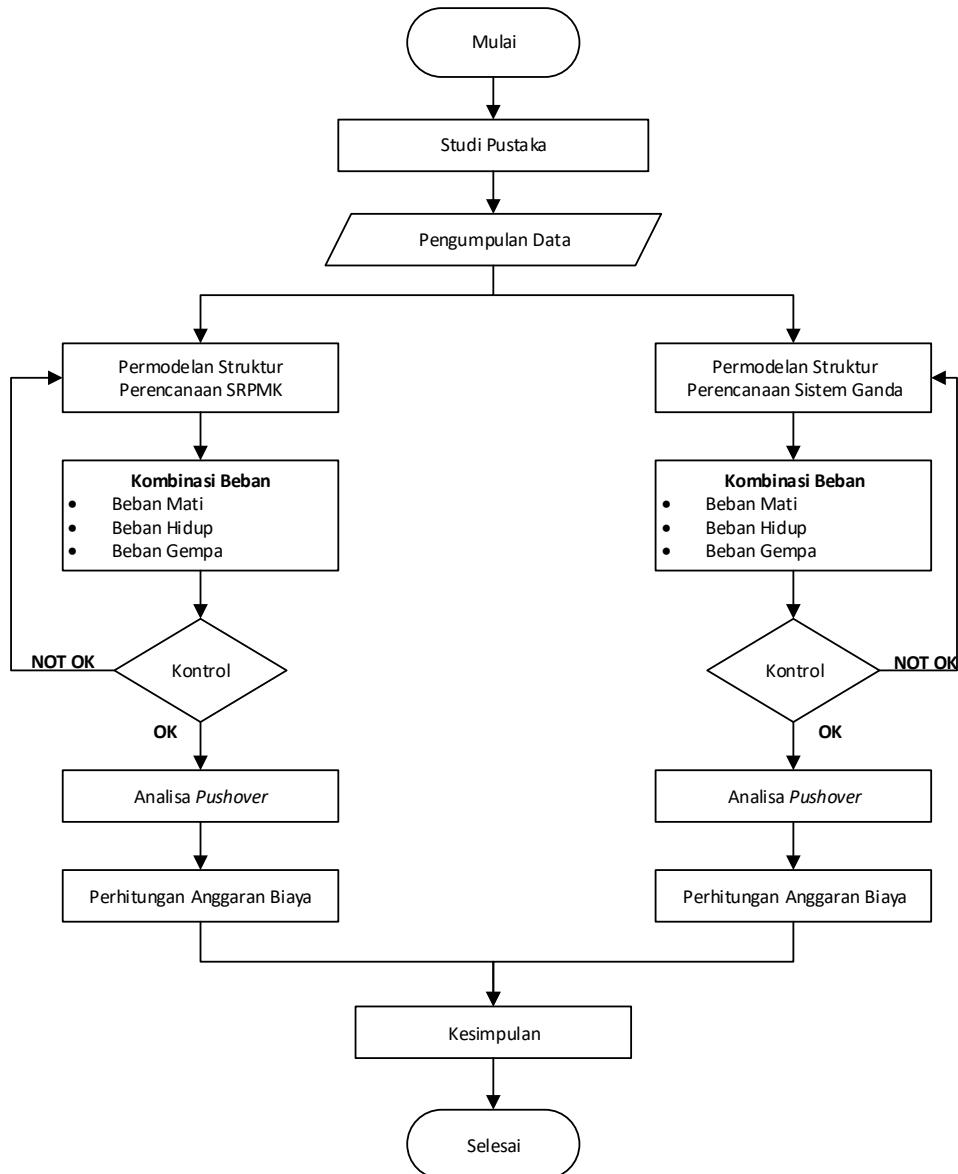
 - a. Beban aksial tekan $< Ag fc/10$
 - b. Bentang bersih $> 4 d$
 - c. $Bw/h > 0,3$
 - d. $Bw > 250 \text{ mm}$
2. Persyaratan Struktur Balok Lentur, $\emptyset M_n > M_u$
3. Persyaratan Balok Geser, $\emptyset V_n > V_u$
4. Persyaratan Kolom Lentur, $\sum M_{nc} > 1,2 \sum M_{nb}$
5. Persyaratan Kolom Geser, $\emptyset V_2 > 0,5 V_u$
6. Persyaratan Pelat, $A_s \text{ pasang} \leq A_s \text{ min}$
7. Persyaratan Dinding Geser, $\emptyset V_n > V_u$

2.7 Perhitungan Anggaran Biaya

Perhitungan Anggaran Biaya dilakukan dengan memasukkan data-data harga satuan tiap meter persegi dari masing-masing pekerjaan sehingga dapat dihitung total biaya keseluruhan penggerjaan struktur. Diantara lain, data yang dimasukkan :

- Perhitungan volume pekerjaan struktur
- Harga satuan dasar material dan upah pekerja
- Analisis harga satuan (biaya langsung)
- Rekapitulasi Anggaran Biaya

3. METODE



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

Data umum dari perencanaan penelitian ini sebagai berikut :

- | | |
|--------------------------|---|
| a. Fungsi Bangunan | : Gedung Hotel |
| b. Jenis Struktur | : Beton Bertulang |
| c. Tinggi Bangunan | : 24 m |
| d. Jumlah Lantai | : 6 lantai |
| e. Mutu beton (f'_c) | : 24,9 Mpa |
| f. Mutu baja (f_y) | : 350 Mpa untuk tulangan ulir
: 240 Mpa untuk tulangan polos |

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari proses preliminary desain diperoleh dimensi penampang balok induk (BI-1) 500/750 mm, balok induk (BI-2) 400/600 mm, balok anak (BA) 300/450, kolom (K1) 800/800 mm, dan kolom (K2) 600/600. Untuk ketebalan pelat lantai 120 mm, pelat atap 100 mm dan dinding geser 200 mm.

4.1 Kontrol Simpangan

Tabel 1. Kontrol Simpangan Antar Tingkat Lantai Arah X (SRPMK)

Lantai	elevasi (m)	Total Drift δ (mm) (dari hasil SAP)	Perpindahan/ Simpangan antar lantai δ_s (mm)	Story Drift δ_s (Cd/Ie) (mm)	$\Delta a/\rho$ (mm)	Cek
Atap	24	9,943	0,829	4,56	61,54	OK
6	20	9,114	1,3	7,15	61,54	OK
5	16	7,814	1,825	10,038	61,54	OK
4	12	5,989	2,345	12,898	61,54	OK
3	8	3,644	2,385	13,118	61,54	OK
2	4	1,259	1,259	6,925	61,54	OK
1	0	0	0	0	61,54	OK

Tabel 2. Kontrol Simpangan Antar Tingkat Lantai Arah Y (SRPMK)

Lantai	elevasi (m)	Total Drift δ (mm) (dari hasil SAP)	Perpindahan/ Simpangan antar lantai δ_s (mm)	Story Drift δ_s (Cd/Ie) (m)	$\Delta a/\rho$	Cek
Atap	24	8,028	0,671	3,691	61,54	OK
6	20	7,357	1,082	5,951	61,54	OK
5	16	6,275	1,465	8,058	61,54	OK
4	12	4,81	1,823	10,027	61,54	OK
3	8	2,987	1,894	10,417	61,54	OK
2	4	1,093	1,093	6,012	61,54	OK
1	0	0	0	0	61,54	OK

Tabel 3. Kontrol Simpangan Antar Tingkat Lantai Arah X (Sistem Ganda)

Lantai	elevasi (m)	Total Drift δ (mm) (dari hasil SAP)	Perpindahan/ Simpangan antar lantai δs (mm)	Story Drift δs (Cd/Ie) (m)	Δa/ρ	Cek
Atap	24	5,462	0,517	2,845	61,54	OK
6	20	4,944	0,735	4,044	61,54	OK
5	16	4,209	1,038	5,713	61,54	OK
4	12	3,170	1,267	6,969	61,54	OK
3	8	1,903	1,264	6,859	61,54	OK
2	4	0,656	0,656	3,61	61,54	OK
1	0	0	0	0	61,54	OK

Tabel 4. Kontrol Simpangan Antar Tingkat Lantai Arah Y (Sistem Ganda)

Lantai	elevasi (m)	Total Drift δ (mm) (dari hasil SAP)	Perpindahan/ Simpangan antar lantai δs (mm)	Story Drift δs (Cd/Ie) (m)	Δa/ρ	Cek
Atap	24	4,794	0,285	1,57	61,54	OK
6	20	4,508	0,540	2,975	61,54	OK
5	16	3,967	0,837	4,604	61,54	OK
4	12	3,130	1,170	6,438	61,54	OK
3	8	1,960	1,243	6,839	61,54	OK
2	4	0,716	0,716	3,940	61,54	OK
1	0	0	0	0	61,54	OK

4.2 Kontrol Khusus Sistem Ganda

Tabel 5. Rekapitulasi Persentase Kontrol Sistem Ganda

No	Kombinasi	Fx %		Fy %	
		SRPM	Shearwall	SRPM	Shearwall
1	1,2DL+1EQ X+1LL	57,58	42,42	54,03	45,97
2	1,2DL+1EQ Y+1LL	59,21	40,79	52,60	47,40
3	1,2DL-1EQ X+1LL	64,09	35,91	47,40	32,60
4	1,2DL-1EQ Y+1LL	69,35	30,65	49,06	50,94
5	0,9DL+EQ X	53,79	46,21	53,80	46,20
6	0,9DL+EQ Y	58,11	41,89	48,36	51,64
7	0,9DL-EQ X	60,01	39,99	70,71	29,29
8	0,9DL-EQ Y	73,30	26,70	45,40	54,60

Dari tabel 5 menunjukkan struktur sistem ganda mensyaratkan pembagian gaya geser antara SRPM dan Dinding geser adalah sekitar 62 % dengan sisa dari gaya SRPM yaitu sekitar 38 %. Dengan kedua rangka struktur tersebut maka dipastikan ketentuan pada SNI 03-1726-2012 pasal 7.2.5.1 telah terpenuhi.

4.3 Penulangan Struktur SRPMK dan Sistem Ganda Perhitungan Balok

Tabel 6. Rekapitulasi Penulangan Balok Struktur SRPMK

Tipe	Daerah	Tul (-)	Tul (+)	Tul. Geser	ØMn (Nmm)	Mmax	ØMn>Mmax
BI-1	Tumpuan	7D22	4D22	2Ø10-100	588445799	510803808	OK
	Lapangan	6D22	2D22	2Ø10-150	467914862	394258320	OK
BI-2	Tumpuan	6D22	4D22	2Ø10-100	340635047	333371960	OK
	Lapangan	6D22	2D22	2Ø10-150	270793628	257028076	OK
BA	Tumpuan	6D19	4D19	2Ø10-100	176262979	172656680	OK
	Lapangan	4D19	2D19	2Ø10-150	128337986	120476455	OK

Tabel 7. Rekapitulasi Penulangan Balok Struktur Sistem Ganda

Tipe	Daerah	Tul (-)	Tul (+)	Tul. Geser	ØMn (Nmm)	Mmax (Nmm)	ØMn>Mmax
BI-1	Tumpuan	9D19	5D19	2Ø10-100	512631816	480637284	OK
	Lapangan	7D19	2D19	2Ø10-150	411168653	393492030	OK
BI-2	Tumpuan	8D19	5D19	2Ø10-100	340302108	333306953	OK
	Lapangan	6D19	2D19	2Ø10-150	270793628	270370246	OK
BA	Tumpuan	6D19	4D19	2Ø10-100	252450013	252430934	OK
	Lapangan	4D19	2D19	2Ø10-150	128337986	120075770	OK

Perhitungan Kolom

Tabel 8. Rekapitulasi Penulangan Kolom Struktur SRPMK

Tipe	Daerah	Tul	Tul. Geser	Pmax (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)
K1	Tumpuan	28D25	4Ø16-110	4696,46	250,04	251,78
	Lapangan	28D25	4Ø16-200	4696,46	250,04	251,78
K2	Tumpuan	20D22	3Ø16-110	2999,7	143,08	112
	Lapangan	20D22	3Ø16-200	2999,7	143,08	112

Tabel 9. Rekapitulasi Penulangan Kolom Struktur Sistem Ganda

Tipe	Daerah	Tul	Tul. Geser	Pmax (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)
K1	Tumpuan	20D22	4Ø16-110	3911,061	116,3	155,2
	Lapangan	20D22	4Ø16-200	3911,061	116,3	155,2
K2	Tumpuan	20D22	3Ø16-110	3004,079	116,3	35,9
	Lapangan	20D22	3Ø16-200	3004,079	116,3	35,9

Perhitungan Dinding Geser Khusus Struktur Sistem Ganda

Tabel 10. Rekapitulasi Penulangan Dinding Geser

Tipe	Tebal	Tul Hor.	Tul Ver.
SW1	200	D22-300	D22-300
SW2	200	D22-300	D22-300

Perhitungan Pelat

Tabel 11. Rekapitulasi Penulangan Pelat Struktur SRPMK dan Sistem Ganda

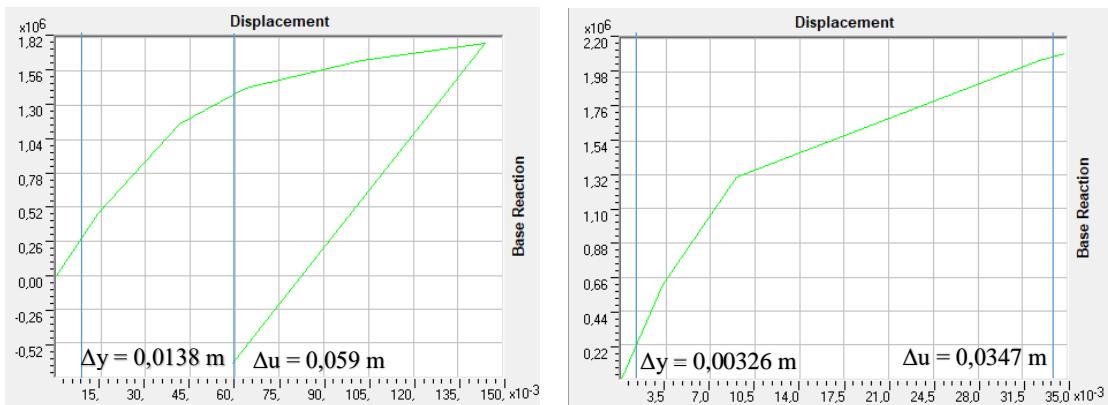
Tipe	Tebal (mm)	arah	Bagian	Penulangan
A	120	2 arah	Tumpuan	(Ø12mm-100mm)
			Lapangan	(Ø12mm-200mm)
B	100	2 arah	Tumpuan	(Ø12mm-100mm)
			Lapangan	(Ø12mm-200mm)
C	120	1 arah	Lapangan	(Ø12mm-150mm)
D	100	1 arah	Lapangan	(Ø12mm-150mm)
E	100	1 arah	Lapangan	(Ø12mm-100mm)

4.4 Perilaku dan Kinerja Struktur Terhadap Analisis Pushover

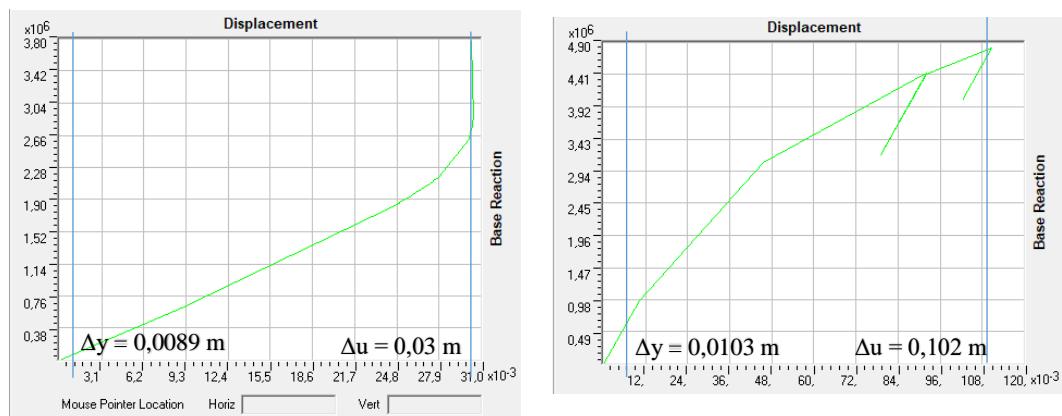
Dalam penelitian ini dibandingkan perilaku dan kinerja dari struktur gedung SRPMK dan struktur gedung Sistem Ganda. Model struktur dianalisis terhadap beban gravitasi dan beban gempa (RSNI 03- 1726-2012) yang kemudian dianalisis kembali terhadap beban statik non-linier *pushover*. Hal tersebut untuk mengevaluasi perilaku dan kinerja terhadap beban gempa rencana, yaitu memperlihatkan kurva kapasitas (*capacity curve*) dan mengetahui target perpindahan dengan parameter gempa berdasarkan RSNI 03-1726-2012, yaitu $C_a = 0,243$ dan $C_v = 0,607$ yang berlokasi di daerah Sidoarjo.

Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas merupakan kurva hubungan antara perpindahan (*displacement*) dengan gaya geser dasar (*base shear*) sebagai hasil dari analisis *pushover* yang disajikan dalam gambar 4.1 dan 4.2



Gambar 1. Kurva Base Shear vs Displacement SRPMK Arah X dan Arah Y



Gambar 2. Kurva Base Shear vs Displacement Sistem Ganda Arah X dan Arah Y

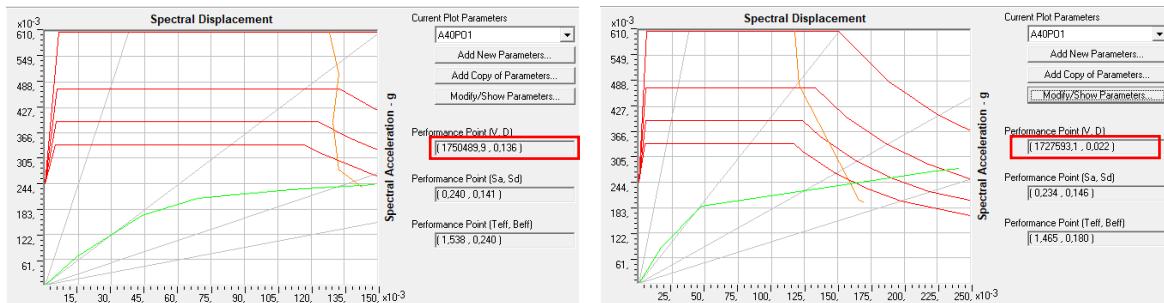
Tabel 12. Kurva Base Shear vs Displacement

Permodelan	Arah Kinerja	Δy (m)	Δu (m)
SRPMK	Arah X	0,0138	0,059
	Arah Y	0,00326	0,0347
Sistem Ganda	Arah X	0,0089	0,03
	Arah Y	0,0103	0,102

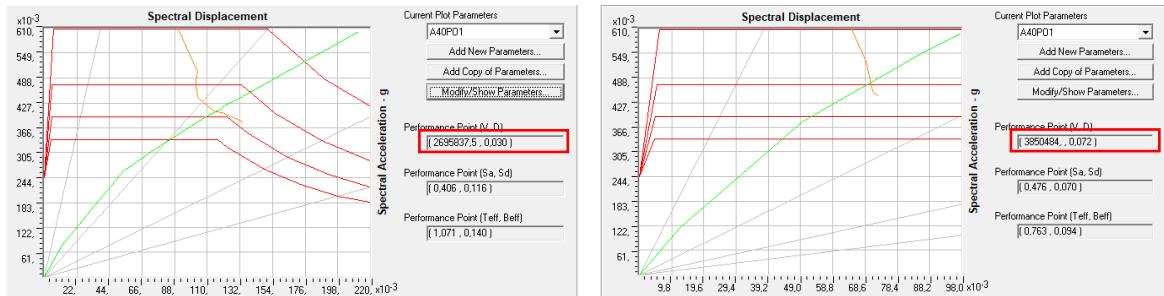
Kurva kapasitas diatas yaitu perpindahan saat leleh terbesar dari dua pemodelan gedung untuk arah X adalah SRPMK sebesar 0,0138 m, dan saat runtuh sebesar 0,059 m. Sedangkan untuk arah Y adalah permodelan Sistem Ganda sebesar 0,0103 m, dan saat runtuh sebesar 0,102 m.

Performance Point

Dari kurva respons spektrum rencana SNI 03-1726-2012, titik kinerja atau target perpindahan gedung merupakan perpotongan antara kurva spectrum kapasitas dan *spectrum demand*, yang menunjukkan bagaimana kekuatan struktur dalam memenuhi suatu beban yang diberikan. Berikut nilai target perpindahannya.



Gambar 3. Target Perpindahan Arah X dan Arah Y Struktur SRPMK



Gambar 4. Target Perpindahan Arah X dan Arah Y Struktur Sistem Ganda

Tabel 13. Target Perpindahan ATC 40

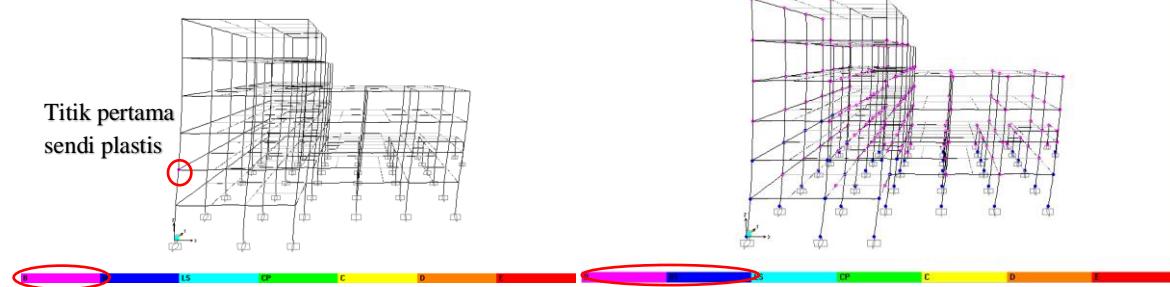
Permodelan	Arah Kinerja	D (m)
SRPMK	Arah X	0,136
	Arah Y	0,022
Sistem Ganda	Arah X	0,03
	Arah Y	0,072

Dari hasil *performance point* diketahui target perpindahan (δt) terbesar berdasarkan ATC 40 pada arah X yaitu SRPMK sebesar yaitu 0,136 m. Sedangkan arah Y terbesar adalah Sistem ganda dengan perpindahan sebesar 0,072 m.

Mekanisme Sendi Plastis

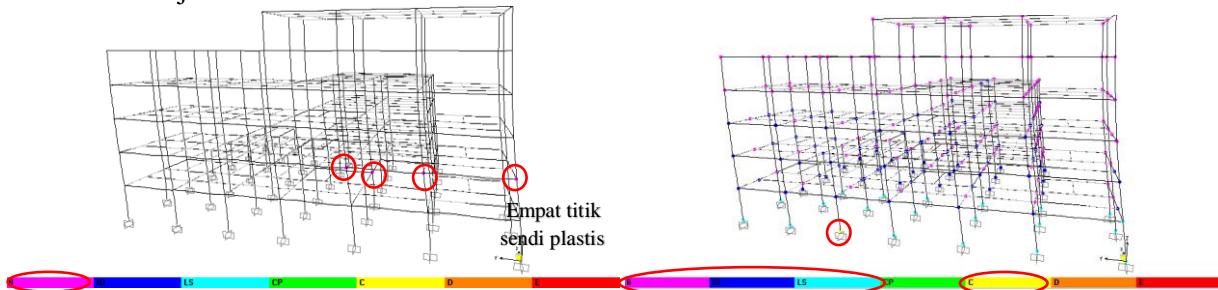
Dari analisis *pushover*, dapat diketahui jumlah elemen struktur yang telah mengalami kerusakan pada setiap tahap peningkatan beban lateral serta saat kinerja tercapai. Jumlah elemen struktur yang mengalami sendi plastis yang terjadi pada elemen struktur. Gambar yang akan ditampilkan yaitu pada kondisi maksimum yang menentukan.

- Permodelan SRPMK



Gambar 5. Keruntuhan Step 1 sampai 6 pada SRPMK arah X

Dari keruntuhan di atas dapat diketahui bahwa sendi plastis keruntuhan pertama SRPMK terjadi 1 titik. Kemudian pada step ke 4 sampai terakhir, sendi plastis yang terjadi pada rangka masuk dalam kondisi B dan IO dimana tidak terjadi pada kerusakan signifikan pada struktur. Hal tersebut menunjukkan bahwa struktur secara umum masih aman untuk kegiatan operasional setelah gempa rencana terjadi.



Gambar 6. Keruntuhan Step 1 sampai 6 pada SRPMK arah Y

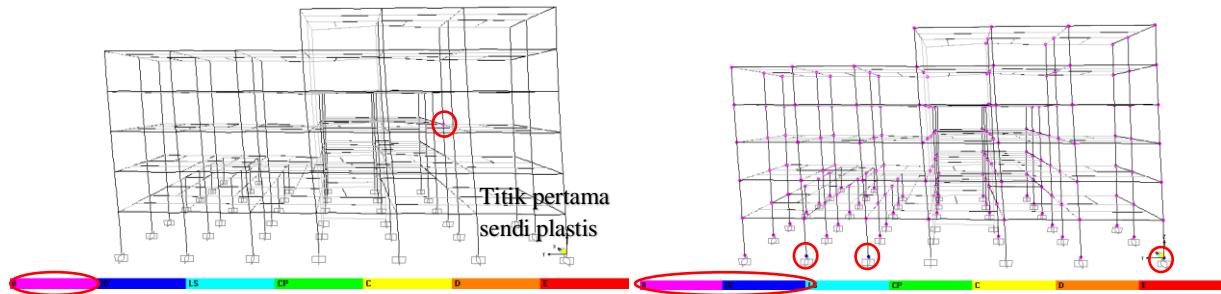
Dari keruntuhan di atas dapat diketahui bahwa sendi plastis keruntuhan pertama SRPMK 4 titik. Kemudian pada step terakhir, sendi plastis yang terjadi pada rangka masuk dalam kondisi B dan IO dimana tidak terjadi pada kerusakan signifikan pada struktur, sedangkan sendi plastis yang terjadi pada titik kolom bawah masuk dalam kondisi C (1 titik). Hal tersebut menunjukkan bahwa struktur dapat menerima beban gempa rencana dengan tidak mengalami kerusakan signifikan dan hanya terjadi pada kondisi C saja yang parah.

- Permodelan Sistem Ganda



Gambar 7. Keruntuhan Step 1 sampai 16 pada Sistem Ganda Arah X

Dari keruntuhan di atas dapat diketahui bahwa sendi plastis keruntuhan pertama Sistem Ganda 1 titik. Kemudian pada step 8, muncul 3 titik sendi plastis yang terjadi pada kolom bawah dan step 9 kondisi yg paling buruk pada saat masuk dalam kondisi B dan IO dimana tidak terjadi pada kerusakan signifikan pada struktur. Sedangkan pada step 16, kemunculan 5 titik sendi plastis dalam kondisi LS dan 1 titik sendi plastis pada kondisi C .



Gambar 8. Keruntuhan Step 1 sampai 8 pada Sistem Ganda arah Y

Dari keruntuhan di atas dapat diketahui bahwa sendi plastis keruntuhan pertama Sistem Ganda masih 1 titik dan muncul banyaknya sendi plastis pada step 2 yang paling buruk saat kondisi B. Kemudian pada step 6 dan step 8, muncul 3 titik sendi plastis yang terjadi pada kolom bawah dan masuk dalam kondisi B dan IO dimana tidak ada perubahan titik sendi plastis dan tidak terjadi pada kerusakan signifikan pada struktur.

Evaluasi Kinerja Struktur

Hasil evaluasi kinerja sesuai ATC didapat dari nilai target perpindahan dibagi dengan ketinggian gedung yang menentukan level kondisi dari kinerja struktur tersebut.

Tabel 14. Perhitungan Drift

Permodelan	Arah Kinerja	Δ (m)	Drift	Level Kinerja
SRPMK	Arah X	0,136	0,00567	IO
	Arah Y	0,022	0,001	IO
Sistem Ganda	Arah X	0,03	0,00125	IO
	Arah Y	0,072	0,003	IO

Dari kedua struktur gedung tersebut dapat menunjukkan bahwa level kinerja struktur berdasarkan performance point menunjukkan bangunan berada pada kondisi *Immediate Occupancy* (IO), kondisi dimana pada saat menerima gempa rencana struktur tidak mengalami mengalami kerusakan.

4.5 Analisa Perhitungan Harga Struktur

Perhitungan harga satuan dari pekerjaan struktur balok, kolom dan dinding geser saja yang meninjau dari segi harga material dan upah pekerja yang berdasarkan Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) pada tahun 2017.

Tabel 15. Total Pekerjaan Biaya Struktur SRPMK

Pekerjaan	Kebutuhan Beton (Rp)	Kebutuhan Besi (Rp)	Total Kebutuhan (Rp)
BI-1	372.839.457	512.891.609	885.731.067
BI-2	221.866.547	441.246.793	663.113.341
BA	99.207.391	219.939.930	319.147.322
K1	388.878.377	1.389.328.292	1.778.206.670
K2	53.415.610	192.813.450	240.285.828
Total			3.886.483.100

Tabel 16. Total Pekerjaan Biaya Struktur Sistem Ganda

Pekerjaan	Kebutuhan Beton (Rp)	Kebutuhan Besi (Rp)	Total Kebutuhan (Rp)
BI-1	354.341.014	456.764.974	811.105.990
BI-2	214.354.852	379.134.761	593.489.614
BA	99.334.288	220.181.313	319.515.602
K1	338.851.114	843.859.107	1.182.710.222
K2	53.472.378	186.813.450	240.285.828
SW	75.558.422	194.939.024	270.497.447
Total			3.417.603.300

Ditinjau dari anggaran biaya struktur, penggunaan metode SRPMK mencakup biaya sebesar Rp. 3.886.483.100,00 sedangkan untuk sistem ganda memerlukan biaya sebesar Rp. 3.417.603.300,00. Penggunaan biaya pengeluaran struktur sistem ganda lebih ekonomis dibandingkan SRPMK dikarenakan struktur sistem ganda yang memiliki dinding geser yang menerima beban gempa dari sisa rangka utama. Sehingga berkurangnya volume material dari balok dan kolom dari struktur gedung tersebut.

5. KESIMPULAN

1. Berdasarkan SNI 03-2847-2013 dimensi penulangan balok dan kolom Sistem Ganda lebih kecil dari pada SRPMK dikarenakan Sistem Ganda memiliki dinding geser yang memikul sisa beban gempa dari rangka utama, sehingga momen yang dihasilkan lebih kecil dari SRPMK.
2. Perhitungan penulangan Dinding Geser didapat hasil untuk tulangan vertikal sama dengan tulangan horizontal yaitu D22 – 300.
3. Kinerja struktur SRPMK dengan Sistem Ganda menunjukkan bangunan pada kondisi *Immediate Occupancy* (IO).
4. Perbandingan dari biaya kedua struktur menunjukkan SRPMK memiliki biaya sebesar Rp. 3.886.483.100. Sedangkan Sistem Ganda sebesar Rp. 3.417.603.300.

6. REFERENSI

- Dewobroto, Wiryanto. 2005. *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover*. Jurnal Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan Jakarta.
- Hendriyanto, Medi. 2010. *Evaluasi Kinerja Struktur Beton Tahan Gempa dengan Analisis Pushover Menggunakan Software ETABS Studi Kasus : Bangunan Rumah Susun di Surakarta*. Surakarta : Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Unisversitas Sebelas Maret Surakarta.
- Ismail, Muhammad. 2014. *Analisis Kinerja Struktur Atas Gedung 7 lantai Dengan Variasi Dimensi dan Lokasi Shearwall Studi Kasus Konsep Kondominium Hotel*. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, Volume.2 No.1, hal. 196 – 208.
- Laresi, Yulinda T. 2017. *Analisis Pushover Terhadap Ketidakberaturan Struktur Gedung Universitas 9 Lantai*. Jakarta : Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Bakrie Jakarta.
- Nugroho, Fajar. 2017. *Pengaruh Dinding Geser terhadap Perencanaan Kolom dan Balok Bangunan Gedung Beton Bertulang*. Jurnal Momentum, Volume.19, No.1, hal. 19 - 26.
- Pranata, Yosafat A. 2006. *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440)*. Jurnal Teknik Sipil, Volume.3 No.1, hal. 41 – 52.
- Purwono, Rachmat. 2005. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa*. Surabaya : ITS Press.
- Sasmito, Dody H. 2017. *Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Kantor Graha Atmaja dengan Metode Dual System di Daerah Resiko Gempa Tinggi*. Surabaya : Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS Surabaya.
- Setiawan Agus, (2016), *Perancangan Struktur Beton Bertulang (Berdasarkan SNI 2847:2013)*, Jakarta:Erlangga.
- SNI 2847:2013, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan gedung*.
- SNI 1726:2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*.
- SNI 1727:2013, *Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*.
- Sudarman. 2014. *Analisis Pushover Pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium*. Jurnal Sipil Statik, Volume.2 No.4, hal. 201 – 213.