

Analisis Konfigurasi Shear Wall pada Struktur Beton Bertulang dengan Metode Pushover

MUHAMMAD GHUFRAN ABDILLAH, IR. KAMALUDIN, M.T., M.Kom.,

1. Afiliasi Penulis 1 (Muhammad Ghufran Abdillah)
2. Afiliasi Penulis 2 (IR. Kamaludin, M.T., M.Kom)
3. dst

Email (*ghufranabdillah007@gmail.com*): A-Satria@itenas.ac.id

ABSTRACT

Earthquake resistant building is determined by the capacity of structural elements in resisting the demand of lateral loads. The structural elements of earthquake resistant include beam, column and shear wall were designed based on SNI 1726:2019. The location of structural element's shear wall is determined by variations of shear wall's placement. Structure was modeled with 4 types of frames, which are structure without shear wall, structure with shear wall shaped I, L and T. Structure was analyzed with Pushover method until structure collapses. The collapse of structure will produce the displacement target and base shear forces for measure the performance level and the ductility of structure. The research result for 4 structural models show that each displacement, base force, ductility and performance level changes significantly based on the type of structure in resisting lateral loads until it collapses..

Kata kunci: *shear wall, performance level, structure ductility*

ABSTRAK

Struktur bangunan tahan gempa ditentukan berdasarkan kapasitas elemen struktur penahan gempa dalam menahan gaya lateral struktur. Elemen struktur penahan gempa termasuk balok, kolom dan dinding geser didesain sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019. Lokasi elemen struktur penahan gempa ditentukan berdasarkan masing-masing variasi bentuk penempatan dinding geser. Struktur dimodelkan dalam 4 jenis struktur model yaitu struktur tanpa dinding geser, struktur dengan dinding geser dengan bentuk I, L dan T. Struktur dianalisis menggunakan metode beban dorong sampai mengalami keruntuhan. Keruntuhan pada struktur menunjukkan target perpindahan dan gaya geser dasar saat runtuh untuk mendapatkan level kinerja serta daktilitas struktur. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa, keempat struktur memiliki hasil yang cukup signifikan dalam menahan beban lateral sampai mencapai keruntuhan.

Kata kunci: *dinding geser, level kinerja, daktilitas struktur*

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur di Indonesia sangat penting, karena infrastruktur adalah salah satu aspek penting untuk meningkatkan roda pergerakan ekonomi di Indonesia. Pembangunan infrastruktur yang sangat berkembang pada pembangunan di Indonesia adalah gedung bertingkat. Salah satu yang perlu diperhatikan adalah letak Indonesia yang berada dikawasan cincin api (Ring of fire), dimana resiko untuk terjadi gempa bumi sangat tinggi.

Untuk mengurangi resiko timbulnya korban jiwa Ketika terjadi gempa dapat dikurangi, dengan cara membangun Gedung tahan gempa sesuai dengan standart yang berlaku. Pengetahuan perilaku struktur yang menerima beban gempa sangat penting, pengetahuan tersebut bermanfaat untuk mengetahui kekuatan elemen struktur jika terjadi gempa.

Salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam perencanaan bangunan tahan gempa adalah Sistem pemikul gaya seismik yang digunakan. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk melakukan perencanaan struktur Gedung diantaranya adalah Metode Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) dan Sistem Dinding Struktural (SDS). Sistem pemikul gaya seismik yang digunakan berdasarkan lokasi perencanaan.

Perencanaan bangunan gedung bertingkat tinggi dengan resiko kegempaan dapat dihitung dengan beberapa metode. Diantaranya adalah metode Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) dan Sistem Dinding Struktural (SDS). Sistem rangka pemikul momen terbagi dalam kategori desain seismik yang didasarkan pada lokasi perencanaan. Pada lokasi yang terjadi di wilayah resiko rawan kegempaan tinggi dengan kategori desain seismik D, E dan F direncanakan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Namun untuk lokasi yang terjadi di wilayah resiko kegempaan sedang dengan kategori desain seismik C direncanakan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

Dan pada lokasi yang terjadi di wilayah resiko kegempaan rendah dengan kategori desain seismik A dan B direncanakan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB). Selain itu, pada bangunan gedung bertingkat tinggi juga memerlukan perkuatan tambahan untuk menahan gaya gempa yang bekerja, misalnya dengan penambahan struktur dinding geser (shearwall). Sama halnya seperti SRPMK, Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK) juga digunakan untuk struktur yang dikenakan kategori desain seismik D, E, dan F. Untuk struktur yang dikenakan kategori desain seismik A, B, dan C menggunakan Sistem Dinding Struktural Biasa (Iswandi, 2014).

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian tugas akhir ini berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya yaitu bagaimana perbandingan efektivitas kinerja struktur bangunan dengan berbagai variasi tipe Shear Wall dengan menggunakan sistem gaya pemikul seismik sistem rangka dengan pemikul momen khusus yang dianalisis menggunakan metode pushover analysis.

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Mengetahui perbandingan efektifitas kinerja struktur dari masing masing variasi
2. tipe konfigurasi shear wall melalui analisis dengan metode pushover analysis.
3. Mengetahui tipe konfigurasi dinding beton bertulang khusus yang efektif menggunakan metode pushover analysis
4. Bagaimana pengaruh perubahan lokasi dinding geser terhadap respons gempa pada bangunan tinggi?

Manfaat penelitian tugas akhir ini secara teoritis yakni memberikan pemahaman dan memperluas pengetahuan mengenai penggunaan dinding geser dan pengaruh variasi bentuk dan posisi pada struktur bangunan struktur beton bertulang. Sedangkan secara praktis manfaat dari penelitian tugas akhir ini dapat memberikan wawasan mengenai penggunaan variasi tipe konfigurasi shear wall pada stuktur beton bertulang sehingga dapat menjadi suatu pilihan dalam pemecahan masalah dalam perencanaan stuktur suatu bangunan.

Untuk merealisasikan penelitian tugas akhir diperlukan ruang lingkup untuk menentukan batas penelitian tugas akhir, agar penelitian tugas akhir dapat dilakukan secara optimal. Adapun ruang lingkup sebagai berikut : Sistem struktur rangka baja 7 lantai dengan fungsi gedung sebagai apartemen di kota Bandung dengan jenis tanah lunak.

Perencanaan menggunakan 4 model struktur
Sistem tunggal rangka pemikul momen menggunakan Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK)

b. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus menggunakan Dinding geser beton bertulang khusus berbentuk I

Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus menggunakan Dinding geser beton bertulang khusus berbentuk L

Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus menggunakan Dinding geser beton bertulang khusus berbentuk T

3. Properti material menggunakan beton f_c 30 dan baja tulangan dengan mutu BJTP 280 dan BJTD 420.

4. Analisis menggunakan metode pushover analysis dengan ketentuan metode spektrum kapasitas.

5. Hanya meninjau struktur atas bangunan gedung

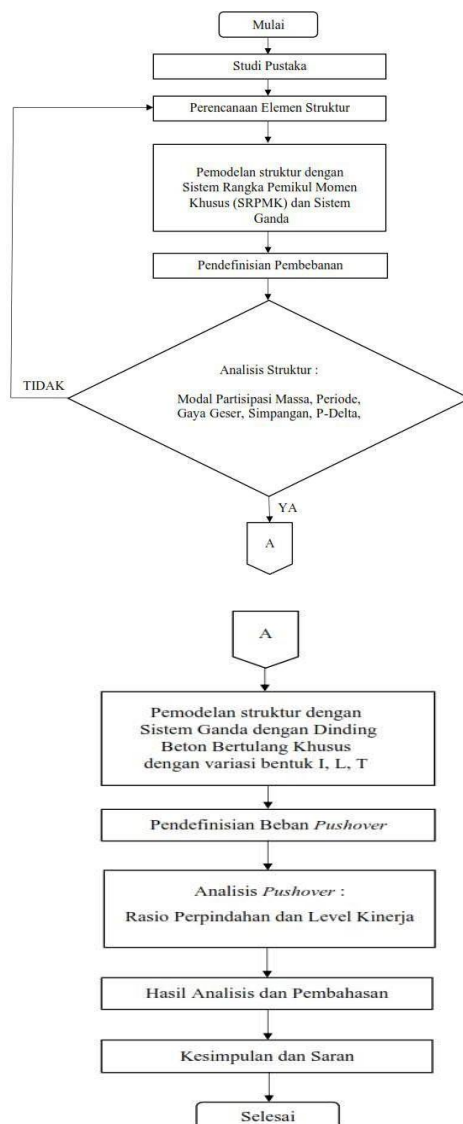
6. Beban angin tidak diperhitungkan

Dalam pembuatan tugas akhir ini, menggunakan penelitian dengan menggunakan bangunan yang dibuat dengan fungsi bangunan sebagai apartemen, dan menggunakan sistem pemikul gaya seismic ganda dan tunggal, dan direncanakan berdasarkan SNI 1727-2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain, SNI 1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan Gedung dan nongedung, dan SNI 2847-2019 Persyaratan beton structural untuk bangunan Gedung dan penjelasan.

7. Kinerja struktur yang ditinjau yaitu jumlah dan ragam getar, periode struktur, kapasitas gaya geser, rasio perpindahan (displacement), simpangan antar tingkat (story drift), dan level kinerja.

8. SNI yang digunakan yaitu SNI 1729:2020 untuk perencanaan struktur menggunakan Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan, SNI 2847:2019 untuk pembebanan dan kombinasi, dan SNI 1726:2019 untuk pembebanan gempa.

METODE



Landasan teori pada penelitian dalam tugas akhir ini mengacu kepada berbagai literatur yang bersifat ilmiah seperti jurnal, artikel, dan buku yang terkait dengan penelitian yang dilakukan. Peraturan yang digunakan meliputi SNI 1727-2020

Aplikasi ETABS digunakan untuk melakukan analisis struktur untuk menentukan gaya dalam yang bekerja dan kapasitas struktur yang dihasilkan dari setiap struktur yang dimodelkan. Setelah perencanaan elemen struktur, penentuan beban dan kombinasi, struktur harus memenuhi kriteria. Jika struktur tidak memenuhi kriteria, perencanaan ulang struktur dilakukan.

Dalam analisis pushover, dua tahap pembebanan dilakukan: pembebanan akibat beban gravitasi dan akibat beban lateral. Karena nilai beban yang diakibatkan oleh gravitasi telah ditentukan dan besarnya sudah diketahui, pembebanan akibat beban gravitasi dilakukan dengan menggunakan tipe pembebanan jenis full load. Setelah tahap pertama selesai, pembebanan akibat beban lateral dapat dilanjutkan. Karena besarnya beban dibatasi oleh perpindahan atap maksimum, pembebanan akibat beban lateral dilakukan hingga struktur mencapai batas runtuh bangunan. Ini dilakukan dengan menggunakan tipe pembebanan jenis kontrol perpindahan.

Hasil analisis pushover dengan program ETABS termasuk kurva kapasitas, kurva respon spektrum, dan titik performa. Kurva kapasitas menunjukkan perilaku struktur yang disebabkan oleh beban geser, dan kurva respon spektrum menunjukkan

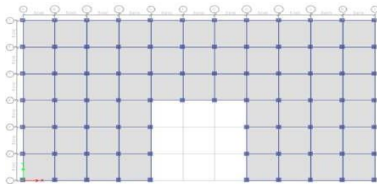
Pembebanan struktur dan kombinasi yang digunakan pada penelitian dalam tugas akhir ini pada masing-masing model struktur berpedoman kepada SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain dan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gempa dan Non Gedung.

Respon spektrum gempa yang digunakan pada penelitian dalam tugas akhir ini diperoleh melalui website resmi Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman (PUSKIM) yang dapat diakses secara daring menggunakan internet Desain Spektra Indonesia (pu.go.id) Adapun lokasi gedung yang diteliti bertempat di kota Bandung dengan kondisi tanah sedang (D). Data

Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain, SNI 1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan Gedung dan nongedung, dan SNI 2847-2019 Persyaratan beton structural untuk bangunan Gedung dan penjelasan Applied Technology Council for Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (ATC-40).

Pada perencanaan elemen struktur dalam dalam tugas akhir ini menggunakan aplikasi pendukung ETABS, dan direncanakan demgam fungsi bangunan apartemen 7 lantai. Pada penelitian tugas akhir struktur gedung akan didesain dengan data yang telah ditentukan sebagai berikut :

1. Lokasi Bangunan = Bandung
2. Fungsi Bangunan = Apartemen
3. Jenis Tanah = Tanah Lunak
4. Jumlah Lantai = 7 Lantai
5. Tinggi Gedung = 24 Meter
6. Panjang Gedung = 55m
7. Lebar Gedung = 30m
8. Denah Bangunan

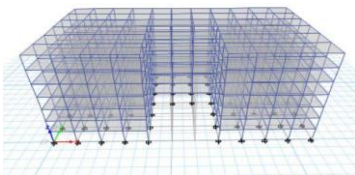


Gambar 3.8 Denah gedung tanpa dinding geser

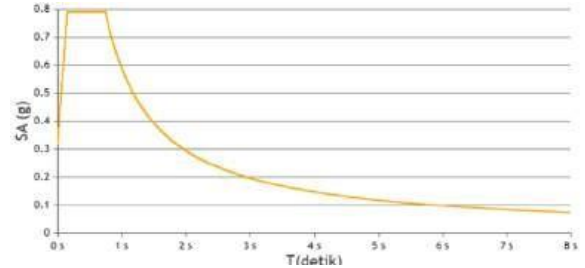
9. Material beton = $f_c' 30 \text{ MPa}$
10. Mutu Tulangan = BJTD 420 dan BJTP 280

Pemodelan struktur gedung pada penelitian dalam tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan bantuan aplikasi ETABS. Pemodelan struktur gedung direncanakan sebanyak 6 model struktur dalam bentuk 3 dimensi yang kemudian akan dilakukan analisis terhadap kinerja struktur pada masing-masing model struktur agar mendapatkan perbandingan terhadap kinerja strukturnya. Adapun pemodelan struktur yang direncanakan adalah sebagai berikut:

Gambar 3.9 Pemodelan gedung 3D SRPMK



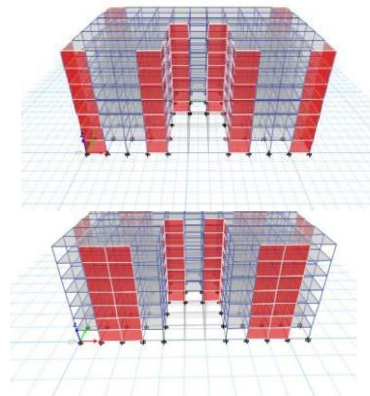
yang diperoleh dari website PUSKIM tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan beban gempa yang secara otomatis diolah dengan menggunakan



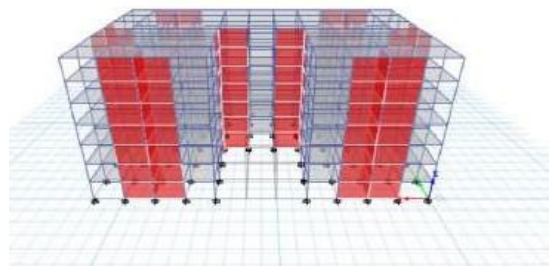
bantuan program ETABS.

Gambar 3.13 Grafik desain spektra

Gambar 3.10 Pemodelan gedung 3D (Gabungan SRPMK dan SDKS) variasi I



Gambar 3.11 Pemodelan gedung 3D (Gabungan SRPMK dan SDKS) variasi L



Gambar 3.12 Pemodelan gedung 3D (Gabungan SRPMK dan SDKS) variasi T

HASIL PENELITIAN

Modal Partisipasi Masa

Berdasarkan SNI 1726:2019, analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Pengecualian, sebagai alternatif, analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 100% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal orthogonal dari respons yang ditinjau oleh model. Analisis dilakukan dengan meninjau tabel Modal Participation Mass Ratio pada tiap model struktur yang dihasilkan dari program ETABS untuk menentukan

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	1.744	0.000	0.753	0.000
Modal	2	1.724	0.752	0.000	0.001
Modal	3	1.639	0.001	0.000	0.751
Modal	4	0.587	0.000	0.121	0.000
Modal	5	0.581	0.121	0.000	0.000
Modal	6	0.556	0.000	0.000	0.122
Modal	7	0.315	0.000	0.048	0.000
Modal	8	0.312	0.047	0.000	0.000
Modal	9	0.298	0.000	0.000	0.047
Modal	10	0.206	0.000	0.032	0.000
Modal	11	0.205	0.032	0.000	0.000
Modal	12	0.195	0.000	0.000	0.032
Modal	13	0.153	0.000	0.013	0.000
Modal	14	0.153	0.013	0.000	0.000
Modal	15	0.146	0.000	0.000	0.013
Modal	16	0.106	0.000	0.024	0.000
Modal	17	0.106	0.024	0.000	0.000
Modal	18	0.101	0.001	0.000	0.024
Modal	19	0.071	0.010	0.000	0.000
Modal	20	0.071	0.000	0.010	0.000
Modal	21	0.067	0.000	0.000	0.010
Jumlah			1.000	1.000	1.000

Tabel 4.18 Modal Participating Mass Ratio SRPMK Tanpa Dinding Geser

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0.573	0.000	0.705	0.000
Modal	2	0.446	0.701	0.000	0.004
Modal	3	0.381	0.004	0.000	0.702
Modal	4	0.152	0.000	0.206	0.000
Modal	5	0.118	0.207	0.000	0.002
Modal	6	0.102	0.002	0.000	0.208
Modal	7	0.076	0.000	0.054	0.000
Modal	8	0.059	0.052	0.000	0.001
Modal	9	0.051	0.000	0.020	0.000
Modal	10	0.051	0.001	0.000	0.052
Modal	11	0.040	0.019	0.000	0.000
Modal	12	0.040	0.000	0.009	0.000
Modal	13	0.035	0.000	0.000	0.019
Modal	14	0.035	0.000	0.003	0.000
Modal	15	0.032	0.008	0.000	0.000
Modal	16	0.031	0.000	0.002	0.000
Modal	17	0.028	0.000	0.000	0.007
Modal	18	0.027	0.003	0.000	0.001
Modal	19	0.025	0.001	0.000	0.000
Modal	20	0.024	0.000	0.000	0.003
Modal	21	0.022	0.000	0.000	0.001
Jumlah			1.000	1.000	1.000

Tabel 4.19 Modal Participating Mass Ratio SRPMK+SW I

Untuk model struktur SRPMK, dan SRPMK + SW I, SRPMK + SW T, tabel Modal Participation Mass Ratio menunjukkan bahwa arah ragam pada masing-masing arah X dan Y memiliki jumlah ragam yang memenuhi syarat minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi, yang merupakan lebih dari 100% dari massa aktual.

Periode Struktur

Analisis periode struktur dilakukan dengan meninjau tabel Modal Participating Mass Ratio pada tiap model struktur yang dihasilkan oleh program ETABS. Nilai periode struktur yang dihasilkan oleh program ETABS selanjutnya akan dianalisis sesuai dengan ketentuan dalam SNI 1726:2019 yang menyatakan bahwa periode fundamental struktur (T) tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (T_{max}) dan tidak kurang dari periode fundamental pendekatan (T_{min}).

Dalam analisis periode struktur, nilai periode yang didapatkan pada arah X (T_{cx}) dan arah Y (T_{cy}) akan dibandingkan dengan nilai periode maksimum (T_{max}) dan nilai periode minimum (T_{min}) seperti pada Tabel 4.6. Hal ini dikarenakan nilai periode maksimum dan nilai periode minimum merupakan acuan dasar perbandingan nilai periode struktur berdasarkan pada tipe struktur, ketinggian struktur (H_n), dan koefisien.

Jenis Pemodelan	T_{cx}	T_{cy}	S_{d1}	C_u	C_v	α	h_n	T_{min}	T_{max}	T_p	T_g
SRPMK	1.744	1.724	0.630	1.400	0.047	0.900	24.500	0.829	1.161	1.161	1.161
SRPMK + SW I	0.446	0.573	0.630	1.400	0.047	0.750	24.500	0.513	0.718	0.573	0.513
SRPMK + SW L	0.569	0.562	0.630	1.400	0.047	0.750	24.500	0.513	0.718	0.569	0.562
SRPMK + SW T	0.464	0.413	0.630	1.400	0.047	0.750	24.500	0.513	0.718	0.513	0.513

Kapasitas Gaya Geser

Parameter	Koefisien Respon Seismik							
	SRPMK		SRPMK + SW I		SRPMK + SW L		SRPMK + SW T	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
S_{d1}	0.670	0.670	0.670	0.670	0.670	0.670	0.670	0.670
S_{d2}	0.630	0.630	0.630	0.630	0.630	0.630	0.630	0.630
T	1.161	1.161	0.573	0.513	0.569	0.562	0.513	0.513
R	8.000	8.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000
I_e	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
C_u	0.084	0.084	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096
$C_{u, limit}$	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029
$C_{u, max}$	0.068	0.068	0.157	0.175	0.158	0.160	0.175	0.175
$C_{u, min}$	0.068	0.068	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096

TABLE: Modal Participating Mass Ratios SRPMK+SW L					
Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0.569	0.674	0.000	0.021
Modal	2	0.562	0.000	0.692	0.000
Modal	3	0.413	0.019	0.000	0.678
Modal	4	0.143	0.200	0.000	0.011
Modal	5	0.140	0.000	0.211	0.000
Modal	6	0.106	0.011	0.000	0.203
Modal	7	0.069	0.056	0.000	0.003
Modal	8	0.068	0.000	0.060	0.000
Modal	9	0.052	0.004	0.000	0.052
Modal	10	0.046	0.021	0.000	0.001
Modal	11	0.044	0.000	0.023	0.000
Modal	12	0.036	0.007	0.000	0.003
Modal	13	0.035	0.004	0.000	0.017
Modal	14	0.034	0.000	0.010	0.000
Modal	15	0.030	0.003	0.000	0.001
Modal	16	0.029	0.000	0.004	0.000
Modal	17	0.027	0.001	0.000	0.000
Modal	18	0.027	0.001	0.000	0.008
Modal	19	0.026	0.000	0.001	0.000
Modal	20	0.023	0.001	0.000	0.003
Modal	21	0.021	0.000	0.000	0.001
Jumlah			1.000	1.000	1.000

Tabel 4.20 Modal Participating Mass Ratio
SRPMK+SW L

TABLE: Modal Participating Mass Ratios SRPMK+SW T					
Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0.464	0.000	0.700	0.000
Modal	2	0.413	0.098	0.000	0.005
Modal	3	0.351	0.005	0.000	0.698
Modal	4	0.120	0.000	0.211	0.000
Modal	5	0.107	0.209	0.000	0.003
Modal	6	0.092	0.003	0.000	0.210
Modal	7	0.059	0.000	0.055	0.000
Modal	8	0.053	0.053	0.000	0.001
Modal	9	0.046	0.001	0.000	0.052
Modal	10	0.039	0.000	0.021	0.000
Modal	11	0.036	0.019	0.000	0.000
Modal	12	0.031	0.000	0.000	0.019
Modal	13	0.031	0.000	0.009	0.000
Modal	14	0.028	0.008	0.000	0.000
Modal	15	0.026	0.000	0.003	0.000
Modal	16	0.024	0.000	0.000	0.008
Modal	17	0.024	0.003	0.000	0.000
Modal	18	0.024	0.000	0.001	0.000
Modal	19	0.022	0.001	0.000	0.000
Modal	20	0.021	0.000	0.000	0.003
Modal	21	0.019	0.000	0.000	0.001
Jumlah			1.000	1.000	1.000

Tabel 4.21 Modal Participating Mass Ratio
SRPMK+SW T

Simpangan Antar Lantai

Analisis simpangan antar lantai (story drift) untuk mengetahui perpindahan yang terjadi akibat gempa pada arah x dan arah y dengan tidak melebihi batasan simpangan antar tingkat sesuai dengan SNI 1726:2019. Berdasarkan Tabel 20 dengan bangunan kategori risiko II, batasan simpangan antar tingkat dengan jenis struktur semua struktur lainnya memiliki nilai sebesar 2% dari tinggi tingkat antar lantai pada bangunan. Dari hasil analisis keempat model struktur, berikut adalah analisis simpangan antar lantai pada masing-masing struktur.

Kesimpulan untuk koefisien respon seismik yang digunakan merupakan C_s max karena nilai C_s lebih besar dari C_{smax} .

Pengecekan Sistem Ganda Shear Wall Memikul Tidak Lebih 75%

SRPMK - SW T					
Story	Load Case Combo	Fx (kN)	Story	Load Case Combo	Fy (kN)
Base	EQXMax	146,042	Base	EQYMax	11,308
Base	EQXMax	8,572	Base	EQYMax	13,089
Base	EQXMax	8,408	Base	EQYMax	12,816
Base	EQXMax	8,574	Base	EQYMax	11,082
Base	EQXMax	0,284	Base	EQYMax	182,227
Base	EQXMax	0,245	Base	EQYMax	193,330
Base	EQXMax	0,247	Base	EQYMax	195,634
Base	EQXMax	0,307	Base	EQYMax	200,401
Base	EQXMax	0,312	Base	EQYMax	200,401
Base	EQXMax	0,252	Base	EQYMax	196,634
Base	EQXMax	0,251	Base	EQYMax	193,300
Base	EQXMax	0,305	Base	EQYMax	182,227
Base	EQXMax	131,273	Base	EQYMax	0,489
Base	EQXMax	119,976	Base	EQYMax	0,292
Base	EQXMax	127,265	Base	EQYMax	0,389
Base	EQXMax	119,973	Base	EQYMax	0,472
Base	EQXMax	119,976	Base	EQYMax	0,472
Base	EQXMax	127,268	Base	EQYMax	0,389
Base	EQXMax	131,247	Base	EQYMax	0,392
Base	EQXMax	131,269	Base	EQYMax	0,489
Base	EQXMax	131,269	Base	EQYMax	0,489
Base	EQXMax	131,247	Base	EQYMax	0,391
Base	EQXMax	127,269	Base	EQYMax	0,388
Base	EQXMax	119,976	Base	EQYMax	0,471
Base	EQXMax	119,973	Base	EQYMax	0,470
Base	EQXMax	127,265	Base	EQYMax	0,388
Base	EQXMax	131,246	Base	EQYMax	0,390
Base	EQXMax	131,273	Base	EQYMax	0,489
Base	EQXMax	0,312	Base	EQYMax	199,107
Base	EQXMax	0,252	Base	EQYMax	198,397
Base	EQXMax	0,251	Base	EQYMax	193,138
Base	EQXMax	0,305	Base	EQYMax	181,093
Base	EQXMax	0,294	Base	EQYMax	181,093
Base	EQXMax	0,345	Base	EQYMax	192,138
Base	EQXMax	0,247	Base	EQYMax	198,397
Base	EQXMax	0,307	Base	EQYMax	199,107
Base	EQXMax	117,068	Base	EQYMax	0,487
Base	EQXMax	116,029	Base	EQYMax	0,390
Base	EQXMax	112,865	Base	EQYMax	0,388
Base	EQXMax	106,305	Base	EQYMax	0,470
Base	EQXMax	106,301	Base	EQYMax	0,471
Base	EQXMax	112,859	Base	EQYMax	0,388
Base	EQXMax	116,018	Base	EQYMax	0,391
Base	EQXMax	117,045	Base	EQYMax	0,487
Base	EQXMax	0,305	Base	EQYMax	165,356
Base	EQXMax	0,238	Base	EQYMax	167,050
Base	EQXMax	0,252	Base	EQYMax	165,367
Base	EQXMax	1,028	Base	EQYMax	151,640
Base	EQXMax	95,338	Base	EQYMax	1,661
Base	EQXMax	102,545	Base	EQYMax	0,403
Base	EQXMax	105,143	Base	EQYMax	0,359
Base	EQXMax	103,829	Base	EQYMax	0,477
Base	EQXMax	103,812	Base	EQYMax	0,478
Base	EQXMax	103,127	Base	EQYMax	0,360
Base	EQXMax	102,331	Base	EQYMax	0,402
Base	EQXMax	95,326	Base	EQYMax	1,664
Base	EQXMax	1,028	Base	EQYMax	151,902
Base	EQXMax	0,252	Base	EQYMax	165,149
Base	EQXMax	0,238	Base	EQYMax	167,338
Base	EQXMax	0,305	Base	EQYMax	165,688
Base	EQXMax	117,064	Base	EQYMax	0,489
Base	EQXMax	116,043	Base	EQYMax	0,392
Base	EQXMax	112,887	Base	EQYMax	0,389
Base	EQXMax	106,327	Base	EQYMax	0,472
Base	EQXMax	106,318	Base	EQYMax	0,472
Base	EQXMax	112,874	Base	EQYMax	0,389
Base	EQXMax	116,031	Base	EQYMax	0,392
Base	EQXMax	117,068	Base	EQYMax	0,489
Total		7760,368	Total		7756,758

Tabel 4.25 Joint Reaction Model SRPMK dan SDSK Variasi I (Lanjutan)

SRPMK + SW L		
Vrx (kN)	9161,690	
Vry (kN)	9161,690	
Vswx (kN)	7760,368	
Vswy (kN)	7756,758	
Persentase X (%)	84,705	OK
Persentase Y (%)	84,665	OK

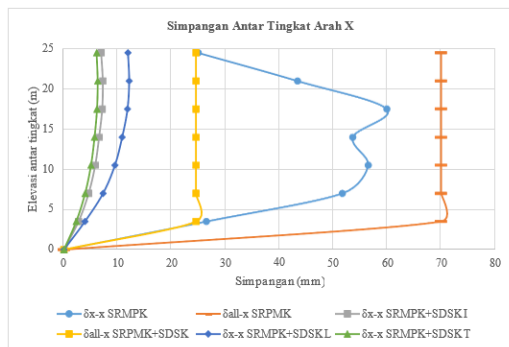
Tabel 4.26 Pengecekan Sistem Ganda SRPMK dan SDSK Variasi I

Dari hasil analisis simpangan antar tingkat pada arah x

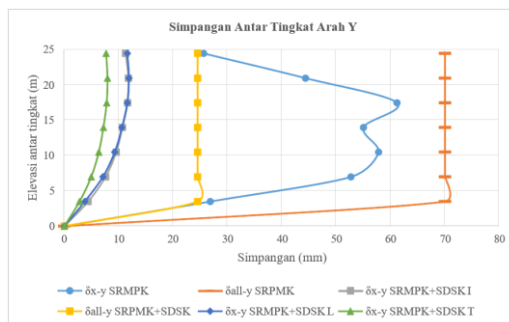
Story	Diaphragm	Load	total drift	h _x	perpindahan pusat massa	story drift (δ _x -y)	story drift izin (δ _{all} -y)	δ _x -y < δ _{all} -y
Story7	D7	Spec X	8,119	3500	1,398	7,689	24,5	OK
Story6	D6	Spec X	6,721	3500	1,443	7,965	24,5	OK
Story5	D5	Spec X	5,276	3500	1,415	7,825	24,5	OK
Story4	D4	Spec X	3,863	3500	1,306	7,183	24,5	OK
Story3	D3	Spec X	2,557	3500	1,151	6,306	24,5	OK
Story2	D2	Spec X	1,406	3500	0,898	4,939	24,5	OK
Story1	D1	Spec X	0,598	3500	0,598	2,794	24,5	OK

Tabel 4.40 Perhitungan Simpangan Antar Lantai
Arah Y model Gabungan SRPMK dan SDK Variasi T

Analisis simpangan struktur pada keempat struktur memiliki nilai simpangan yang memenuhi nilai simpangan izin yang sesuai dengan syarat pada peraturan SNI 1726:2019. Masing-masing simpangan antar tingkat struktur digambarkan dalam grafik besaran simpangan setiap tingkat yang memenuhi batas izin pada arah X dan Y sebagai berikut.



Gambar 4.42 Simpangan antar tingkat arah x



Gambar 4.43 Simpangan antar tingkat arah y

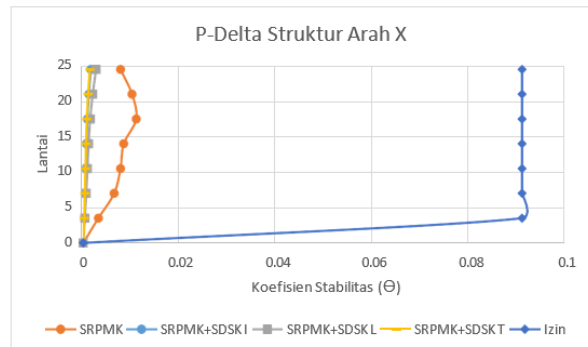
Pendefinisian Sendi Plastis

Sendi plastis perlu ditentukan pada elemen struktur saat mencapai kondisi leleh. Saat kondisi inelastis, elemen struktur akan mendisipasi energi beban dorong sampai mencapai keruntuhan. Lokasi sendi plastis pada elemen struktur ditentukan pada balok,

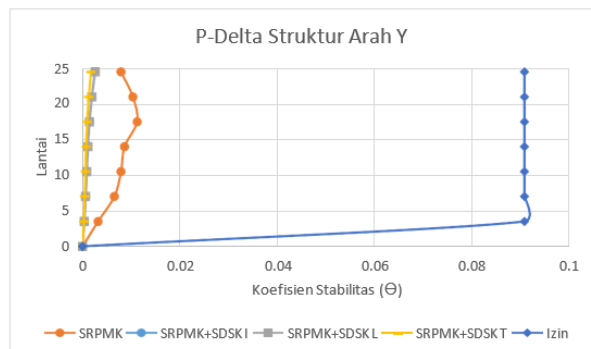
dan y pada struktur SRPMK tanpa dan dengan dinding geser memenuhi aturan simpangan antar tingkat izin sesuai dengan SNI 1726:2019.

Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-Delta pada struktur didefinisikan dengan koefisien stabilitas (θ). Nilai koefisien stabilitas tidak perlu diperhitungkan apabila persamaan sebagai berikut memiliki nilai sama dengan atau kurang dari 0,10.



Gambar 4.44 P-Delta struktur arah x



Gambar 4.45 P-Delta struktur arah y

Dari hasil analisis stabilitas yang digambarkan dalam koefisien stabilitas pada arah x dan y pada struktur SRPMK tanpa dan dengan dinding geser memenuhi aturan koefisien stabilitas izin P-Delta sesuai SNI 1726:2019.

Kurva Kapasitas

Analisis pushover dilakukan pada kondisi inelastis struktur dengan dilakukan beban dorong lateral pada struktur sampai mengalami keruntuhan. Beban dorong struktur yang berperan saat dilakukan pushover yaitu beban gravitasi, beban lateral arah x dan y. Parameter struktur dalam beban dorong sampai keruntuhan diukur dengan besaran gaya geser pada dasar terhadap perpindahan puncak yang terjadi pada struktur. Hal itu digambarkan dalam kurva kapasitas struktur pada arah x dan y sebagai

kolom dan dinding geser sebagai berikut.

Balok

Sendi plastis pada balok digunakan jarak relative sebesar 0.1 dan 0.9 dengan derajat kebebasan M3;

Kolom

Sendi plastis pada kolom digunakan jarak relative sebesar 0.1 dan 0.9 dengan derajat kebebasan P-M2-M3;

Dinding Geser

Sendi plastis pada dinding geser vertikal diasumsikan menggunakan Auto Fiber P-M3.

Kelelahan sendi plastis pertama pada struktur SRPMK tanpa dinding geser dan dengan dinding geser mengalami kelehan pertama pada elemen struktur balok dan kemudian kelelahan terjadi pada bagian bawah atau dasar kolom. Hal ini menunjukkan skema struktur Kolom kuat balok lemah sesuai dengan peraturan SNI 1726:2019.

Daktilitas

Nilai daktilitas pada struktur ditentukan berdasarkan dari rasio perpindahan maksimum terhadap perpindahan saat kondisi leleh saat kondisi inelastis struktur. Berikut adalah perhitungan daktilitas struktur pada arah x dan y.

Struktur	Arah	D_u	D_y	μ
SRPMK	X	378,098	289,98	1,303876
	Y	427,553	326,107	1,311082
SRPMK+SW I	X	14,566	10,306	1,413351
	Y	10,243	7,106	1,441458
SRPMK+SW L	X	11,493	8,544	1,345154
	Y	13,609	9,425	1,443926
SRPMK+SW T	X	10,341	7,318	1,413091
	Y	13,403	9,294	1,442113

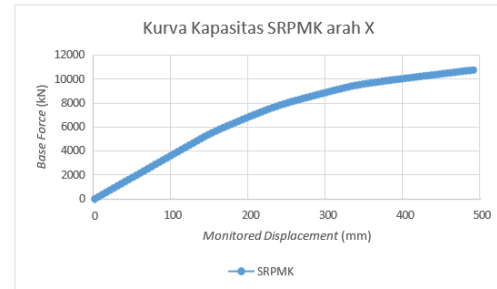
Tabel 4.49 Nilai daktilitas struktur

Dari hasil perhitungan nilai daktilitas struktur menunjukkan bahwa nilai rasio perbandingan perpindahan maksimum terhadap perpindahan saat leleh yang terkecil terdapat pada struktur SRPMK pada arah x dan y, untuk nilai daktilitas terbesar terdapat pada struktur SRPMK+SW I sebesar 1,413351 pada arah x dan SRPMK+SW L sebesar 1,443926 pada arah y. Perpindahan pada struktur SRPMK relatif lebih besar dibandingkan dengan struktur sistem ganda. Hal ini menunjukkan pengaruh dari sistem struktur yang digunakan, sehingga menyebabkan perpindahan dan gaya pada sistem pemikul momen khusus lebih besar. Berdasarkan kelompok sistem ganda struktur, struktur dengan pola dinding geser T (SRPMK+SW T) lebih daktail dibandingkan struktur sistem ganda lainnya.

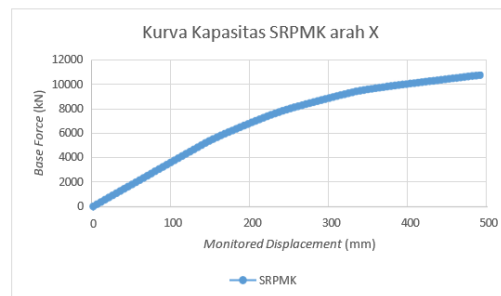
Titik Performa

Metode kapasitas berdasarkan ditunjukkan dalam titik performa struktur dalam menahan kondisi inelatis. Titik performa ditunjukkan dalam metode spektrum kapasitas menggunakan kurva ADRS (Acceleration Displacement Response Spectrum) yang merupakan hubungan antara spektrum percepatan (S_a), spektrum perpindahan (S_d) dan respon spektrum

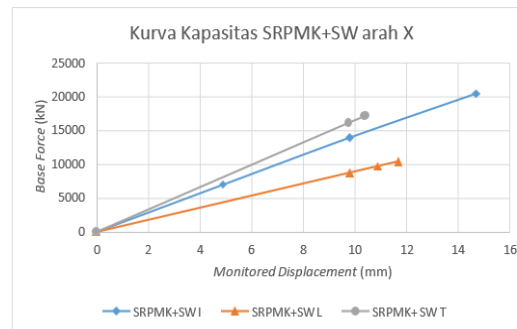
berikut.



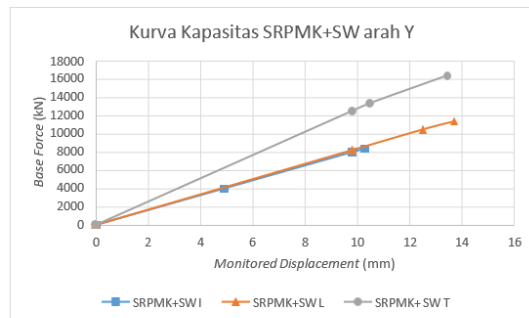
Gambar 4.54 Kurva kapasitas SRPMK arah X



Gambar 4.54 Kurva kapasitas SRPMK arah X

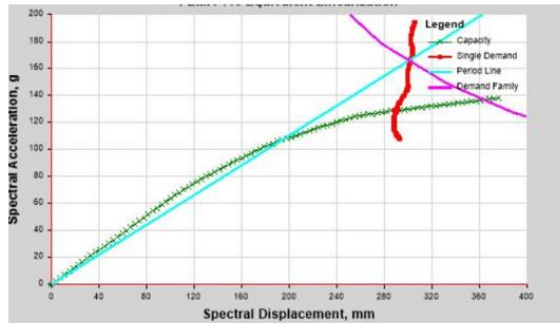


Gambar 4.56 Kurva kapasitas SRPMK+SW arah X

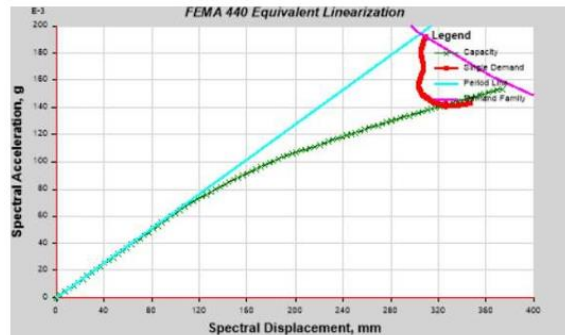


Gambar 4.57 Kurva kapasitas SRPMK+SW arah Y

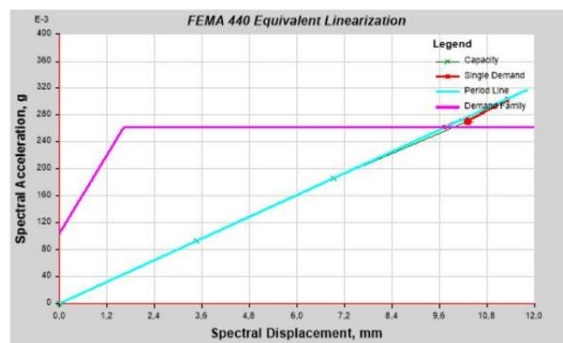
dalam bentuk spectrum demand. Ketiga parameter tersebut didapatkan dari program ETABS yang menunjukkan saling berpotongan satu sama lain seperti berikut.



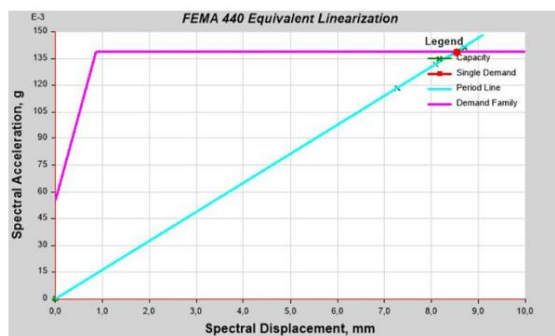
Gambar 4.60 Kurva ADRS SRPMK arah X



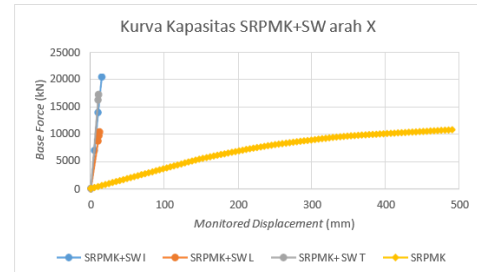
Gambar 4.61 Kurva ADRS SRPMK arah Y



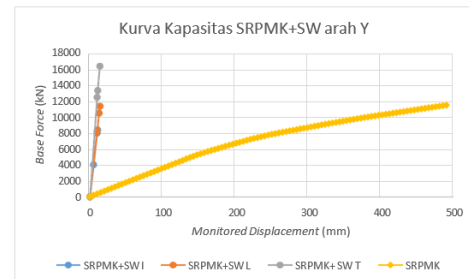
Gambar 4.62 Kurva ADRS SRPMK+SW I arah X



Gambar 4.63 Kurva ADRS SRPMK+SW I arah Y



Gambar 4.58 Kurva kapasitas gabungan seluruh model arah X



Gambar 4.59 Kurva kapasitas gabungan seluruh model arah Y

Tabel 4.50 Titik Performa FEMA 440 Grafik ADRS

Struktur	Arah	V_t (kN)	D (mm)	S_a	S_d (mm)	T_{eff} (detik)	Effective damping (%)
SRPMK	X	9843,056	378,098	0,129	289,98	2,867	0,083
	Y	10630,702	427,553	0,142	326,107	3,172	0,107
SRPMK+SW I	X	20212,729	14,566	0,271	10,306	0,413	0,0659
	Y	8344,72	10,243	0,112	7,106	0,505	0,05
SRPMK+SW L	X	10151,507	11,493	0,138	8,544	0,499	0,05
	Y	11280,526	13,609	0,154	9,425	0,495	0,05
SRPMK+SW T	X	17096,749	10,341	0,227	7,318	0,36	0,05
	Y	16326,283	13,403	0,218	9,294	0,412	0,05

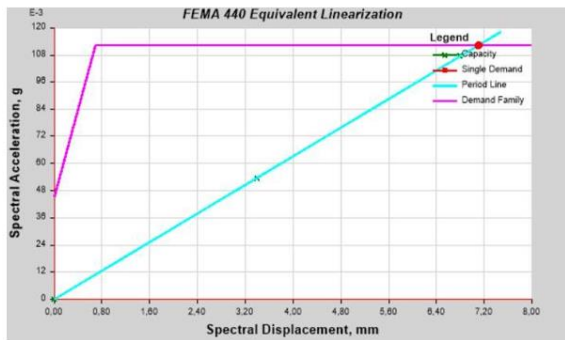
Penentuan titik performa berdasarkan kurva ADRS didapatkan parameter-parameter mengenai periode dan redaman viskos efektif dari perubahan kekakuan struktur setelah sendi plastis. Berikut adalah parameter-parameter yang didapatkan dari plot kurva ADRS berdasarkan FEMA 440.

Level Kinerja

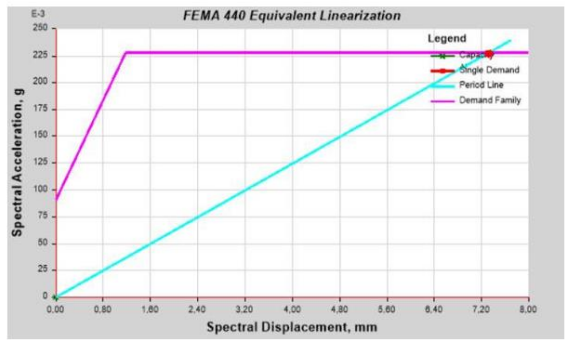
Level kinerja dengan metode spektrum kapasitas dapat mengetahui batasan deformasi yang terjadi saat kondisi elastik dan inelastik. Batasan deformasi yang terjadi dihitung berdasarkan nilai maksimum drift yang terjadi pada kondisi elastik dan inelastik untuk mendapatkan level kinerja struktur yang telah dianalisis. Level kinerja ditentukan besaran perpindahan yang telah dijelaskan pada Tabel 2.14.

Tabel 4.51 Level Kinerja

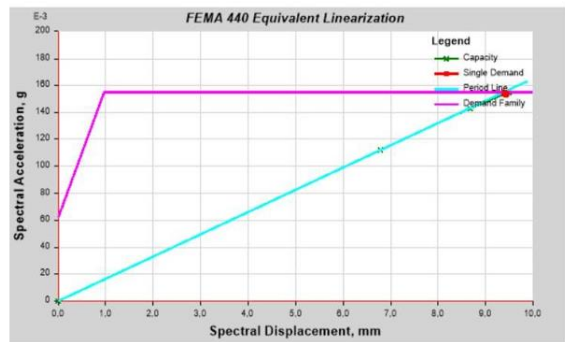
Struktur	Arah	H	D_e	D_i	Maximum Drift	Level Kinerja	Maximum Inelastic Drift	Level Kinerja
SRPMK	X	24500	378,098	289,98	0,01543	DC	0,00360	CP
	Y	24500	427,553	326,107	0,01745	DC	0,00414	CP
SRPMK+SW I	X	24500	14,566	10,306	0,00059	IO	0,00017	IO
	Y	24500	10,243	7,106	0,00042	IO	0,00013	IO
SRPMK+SW L	X	24500	11,493	8,544	0,00047	IO	0,00012	IO
	Y	24500	13,609	9,425	0,00056	IO	0,00017	IO
SRPMK+SW T	X	24500	10,341	7,318	0,00042	IO	0,00012	IO
	Y	24500	13,403	9,294	0,00055	IO	0,00017	IO



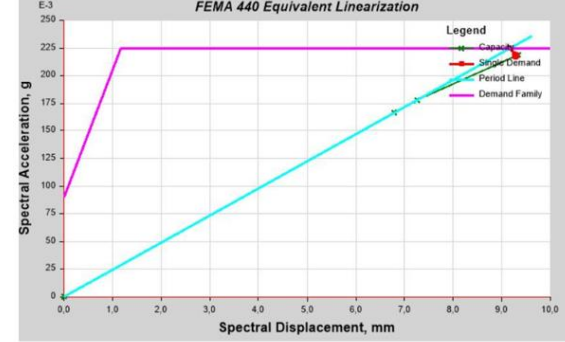
Gambar 4.64 Kurva ADRS SRPMK+SW L arah X



Gambar 4.66 Kurva ADRS SRPMK+SW T arah X



Gambar 4.65 Kurva ADRS SRPMK+SW L arah Y



Gambar 4.67 Kurva ADRS SRPMK+SW T arah Y

KESIMPULAN

Seluruh struktur bangunan telah memenuhi persyaratan ketahanan gempa SNI 1726:2019 mengenai periode struktur, jumlah dan ragam getar, simpangan antar tingkat dan pengaruh P-Delta.

Struktur SRPMK tanpa dinding geser pada arah x dan y memiliki periode struktur sebesar 1,161 detik dan untuk struktur SPRMK dengan dinding geser pada konfigurasi I, L dan T berturut-turut sebesar 0,513 detik, 0,562 detik dan 0,513 detik. Struktur SRPMK tanpa dinding geser memiliki nilai periode struktur paling besar diantara periode struktur SRPMK dengan dinding geser. Pada struktur SRPMK tanpa dan dengan dinding geser telah memenuhi syarat rentang periode minimum dan maksimum berdasarkan SNI 1726:2019.

Struktur SRPMK tanpa dinding geser dan dengan dinding geser memiliki jumlah ragam getar melebihi 100% dengan mode struktur pertama dan kedua mengalami translasi serta mode ketiga struktur sudah mulai berotasi.

Simpangan antar tingkat izin pada struktur SRPMK tanpa dinding geser sebesar 70 mm pada arah x dan y, dari hasil analisis pada Tabel 4.33 dan Tabel 4.34 menunjukkan bahwa simpangan antar tingkat memiliki nilai simpangan antar tingkat rentang 24,915 – 61,1875 mm. Simpangan antar tingkat izin struktur SRPMK dengan dinding geser sebesar 24,5 mm pada arah x dan y, dari hasil analisis pada struktur SRPMK dengan dinding geser pada Tabel 4.34 sampai dengan Tabel 4.39 menunjukkan bahwa simpangan antar tingkat memiliki nilai rentang 2,706 – 12,1055 mm. Pada analisis simpangan antar tingkat SRPMK tanpa dan dengan dinding geser memenuhi persyaratan pasal simpangan antar tingkat SNI 1726:2019.

Pengaruh P-Delta yang ditunjukkan dengan koefisien stabilitas pada struktur SRPMK dengan dan tanpa dinding geser memiliki koefisien maksimum sebesar 0,090909. Besaran koefisien pada seluruh struktur memiliki rentang 0,000593 – 0,011. Maka, syarat pengaruh stabilitas P-Delta yang ditunjukkan koefisien stabilitas memenuhi

Analisis non-linear yang telah digunakan menggunakan metode analisis beban dorong (pushover) didapatkan kinerja struktur pada keempat model struktur. Untuk struktur SRPMK dengan level kinerja Collapse Prevention (CP) dan untuk struktur SRPMK+SDSK dengan level kinerja Immediate Occupancy (IO). Dimana keempat struktur memiliki ukuran elemen struktur yang sama. Struktur SRPMK lebih efektif dalam menahan gempa dikarenakan mampu berdeformasi lebih besar dibandingkan struktur SRPMK+SDSK. Struktur SRPMK dalam arah x dan y mampu berdeformasi mencapai target perpindahan 490 mm sampai mencapai ambang keruntuhan. Namun, kapasitas dalam menahan gaya geser dasar ambang keruntuhan pada struktur SRPMK arah x yaitu 10727 kN lebih kecil dibandingkan dengan SRPMK+SDSK I arah x yaitu 20392 kN dan pada struktur SRPMK arah y yaitu 11492 kN lebih kecil dibandingkan struktur SRPMK+SDSK arah y yaitu 16381,5 kN. Maka dapat disimpulkan, SRPMK lebih efektif dalam berdeformasi pada kondisi inelastis sampai mencapai keruntuhan.

Perbedaan konfigurasi dinding geser beton bertulang pada analisis pushover memiliki hasil yang tidak jauh signifikan antara ketiga variasi dinding geser. Dalam kurva kapasitas arah x, ditunjukkan bahwa SRPMK+SDSK I mampu berdeformasi lebih besar dibandingkan SRPMK+SDSK L dan T. Namun, pada arah y, SRPMK+SDSK L mampu berdeformasi lebih besar dibandingkan SRPMK I dan T. Gaya geser dasar terbesar pada arah x terjadi pada struktur SRPMK+SDSK I dan gaya geser terbesar pada arah y terjadi pada struktur SRPMK+SDSK T

Dari hasil analisis daktilitas struktur yang digambarkan dengan koefisien daktilitas (μ) pada struktur SRPMK tanpa dinding geser memiliki nilai daktilitas struktur $\mu = 1.304$ pada arah x dan $\mu = 1.311$ pada arah y. Nilai daktilitas pada struktur SRPMK dengan dinding geser dengan pola I

persyaratan SNI 1726:2019.

Analisis non-linear yang telah digunakan menggunakan metode analisis beban dorong (pushover) didapatkan kinerja struktur pada keempat model struktur. Untuk struktur SRPMK dengan level kinerja Collapse Prevention (CP) dan untuk struktur SRPMK+SDSK dengan level kinerja Immediate Occupancy (IO). Dimana keempat struktur memiliki ukuran elemen struktur yang sama. Struktur SRPMK lebih efektif dalam menahan gempa dikarenakan mampu berdeformasi lebih besar dibandingkan struktur SRPMK+SDSK. Struktur SRPMK dalam arah x dan y mampu berdeformasi mencapai target perpindahan 490 mm sampai mencapai ambang keruntuhan. Namun, kapasitas dalam menahan gaya geser dasar ambang keruntuhan pada struktur SRPMK arah x yaitu 10727 kN lebih kecil dibandingkan dengan SRPMK+SDSK I arah x yaitu 20392 kN dan pada struktur SRPMK arah y yaitu 11492 kN lebih kecil dibandingkan struktur SRPMK+SDSK arah y yaitu 16381,5 kN. Maka dapat disimpulkan, SRPMK lebih efektif

memiliki daktilitas sebesar 1.413 pada arah x dan 1.44 pada arah y, struktur SRPMK dengan pola L memiliki nilai daktilitas sebesar 1.345 pada arah x dan 1.444 pada arah y dan untuk struktur SRPMK dengan pola T memiliki nilai daktilitas sebesar 1.413 pada arah x dan 1.442 pada arah y. Dapat disimpulkan bahwa nilai daktilitas struktur pada struktur SRPMK dengan dinding geser memiliki nilai yang paling besar dibandingkan struktur SRPMK tanpa dinding geser dengan taraf kinerja gedung yaitu daktil parsial.

Pengaruh lokasi dinding geser terhadap ketahanan gempa dapat mempengaruhi besaran deformasi struktur yang akan terjadi sampai ambang keruntuhan. Struktur SRPMK+SDSK I lebih unggul dalam berdeformasi lebih besar dalam menahan gempa sampai mencapai ambang keruntuhan.

DAFTAR RUJUKAN

- Ambarwati, Yuniar. 2017. *Analisis Perbandingan Sistem Ganda dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus pada Desain Struktur Hotel Ammeerra Jakarta*. Bandung: Institut Teknologi Nasional
- Applied Technology Council. 1996. *ATC 40 – Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. California: Seismic Commission States of California.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. 2006. *Pedoman Teknis Rumah dan Bangunan Gedung Tahan Gempa*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Federal Emergency Management Agency. *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*. 2005. California: Departemen of Homeland Security Federal Emergency Management Agency of Washington D.C.
- Khatami, Reysyahri. 2021. *Analisis Variasi Tata Letak Dinding Geser Dengan Metode Pushover*. Bandung: Institut Teknologi Nasional
- Mr.K.LovaRaju, Dr.K.V.G.D.Balaji. 2015. *Effective Location of Shear Wall on Perfomance of Building Frame Subjected to Earthquake Load*. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*. Gandhi Nagar: Gandhi Institute of Technology and Management.
- Nugraha, Reza. 2021. *Kajian Kinerja Struktur Bangunan Gedung Rangka Baja Dengan Variasi Tipe Bresing Konsentrik Menggunakan Pushover Analysis*. Bandung: Institut Teknologi Nasional
- Sudrajat, Reysyahri Khatami. 2021. *Analisis Variasi Tata Letak Dinding Geser dengan Metode Pushover*. Bandung: Institut Teknologi Nasional
- SNI 1726:2019. 2019. *Tata Cara Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1727:2020. 2020. *Beban Desain Minimum dan Keriteria Terkait untuk Bangunan gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.