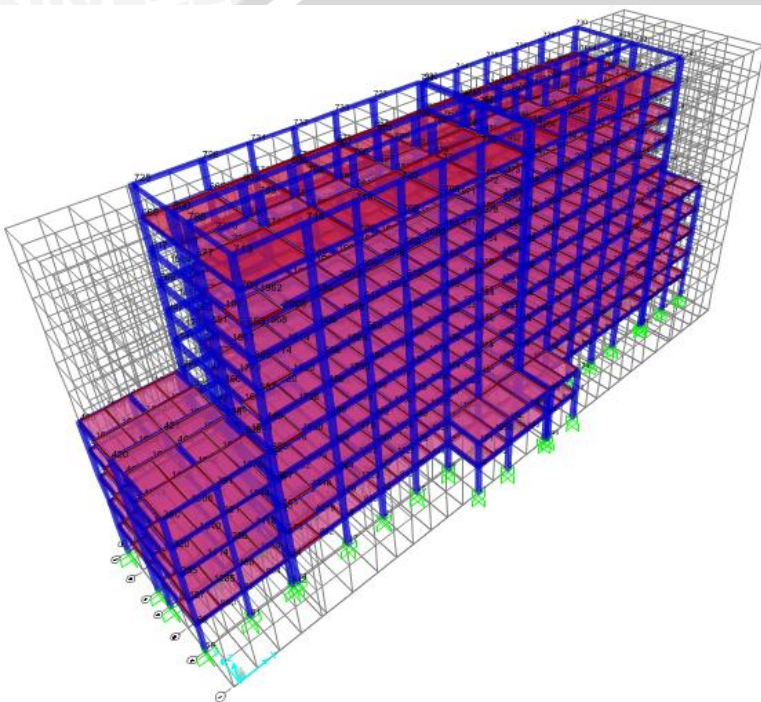


BAB IV

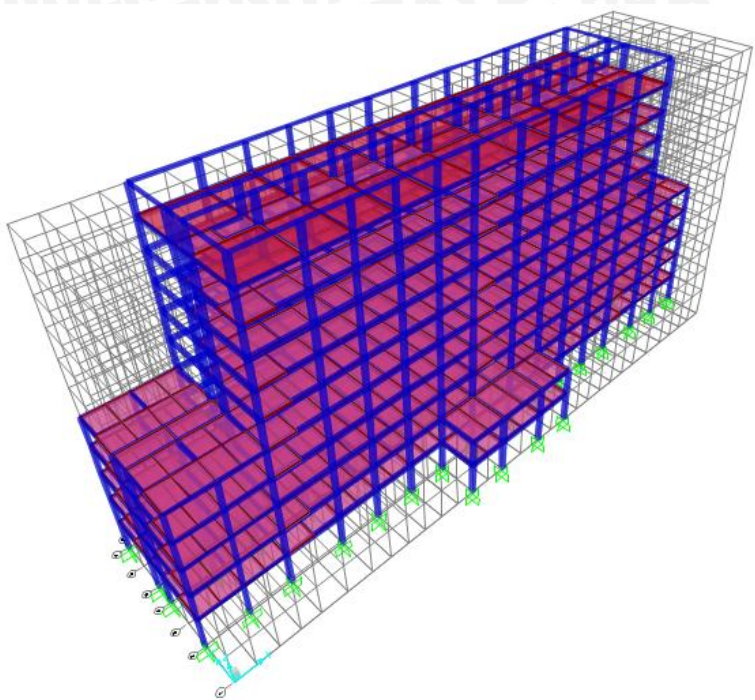
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Detail Pemodel Struktur

Berdasarkan subbab 3.5.1 terdapat tujuh model struktur yang akan dianalisis dengan metode statik non-linier *pushover*, yaitu struktur OD, OND, Tipe A, Tipe B, Tipe D, dan Tipe E. Berikut merupakan pemodelan dari masing-masing jenis struktur pada program SAP2000 v18.

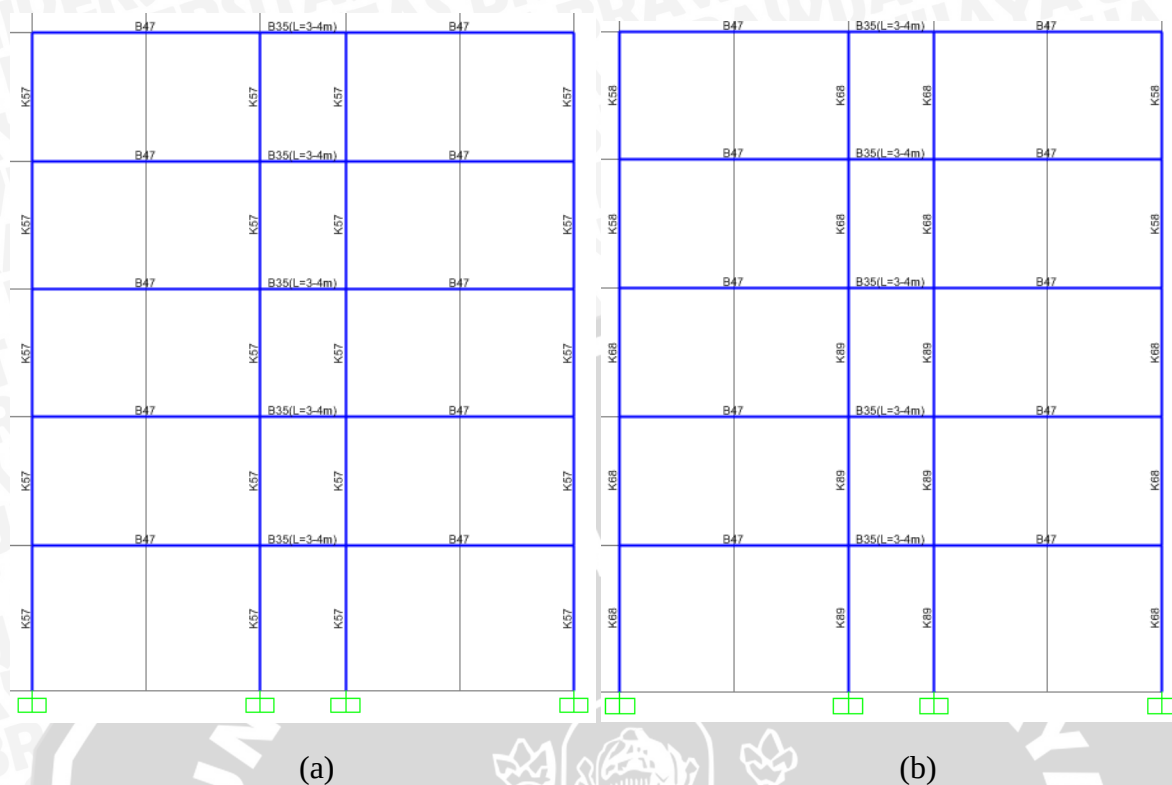


Gambar 4.1 Pemodelan Struktur Asli dengan Dilatasi (OD)

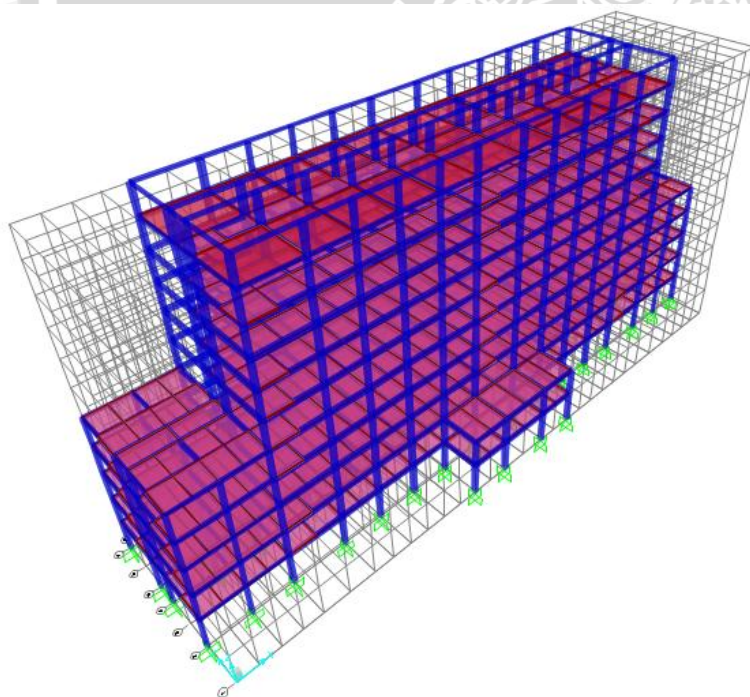


Gambar 4.2 Pemodelan Struktur Asli Tanpa Dilatasi (OND)

Pada Struktur Tipe OND terjadi sendi plastis pada kolom yang muncul sebelum struktur mencapai *performance point*. Munculnya sendi plastis pada kolom akan memicu keruntuhan struktur yang diawali dengan keruntuhan kolom terlebih dahulu. Untuk menghindari hal tersebut maka dilakukan suatu alternatif dengan memperbesar dimensi kolom pada struktur OND. Kolom yang diperbesar yaitu kolom pada portal bagian sayap.



Gambar 4.3 Dimensi Kolom Portal Sayap Asli (a) dan Alternatif (b)

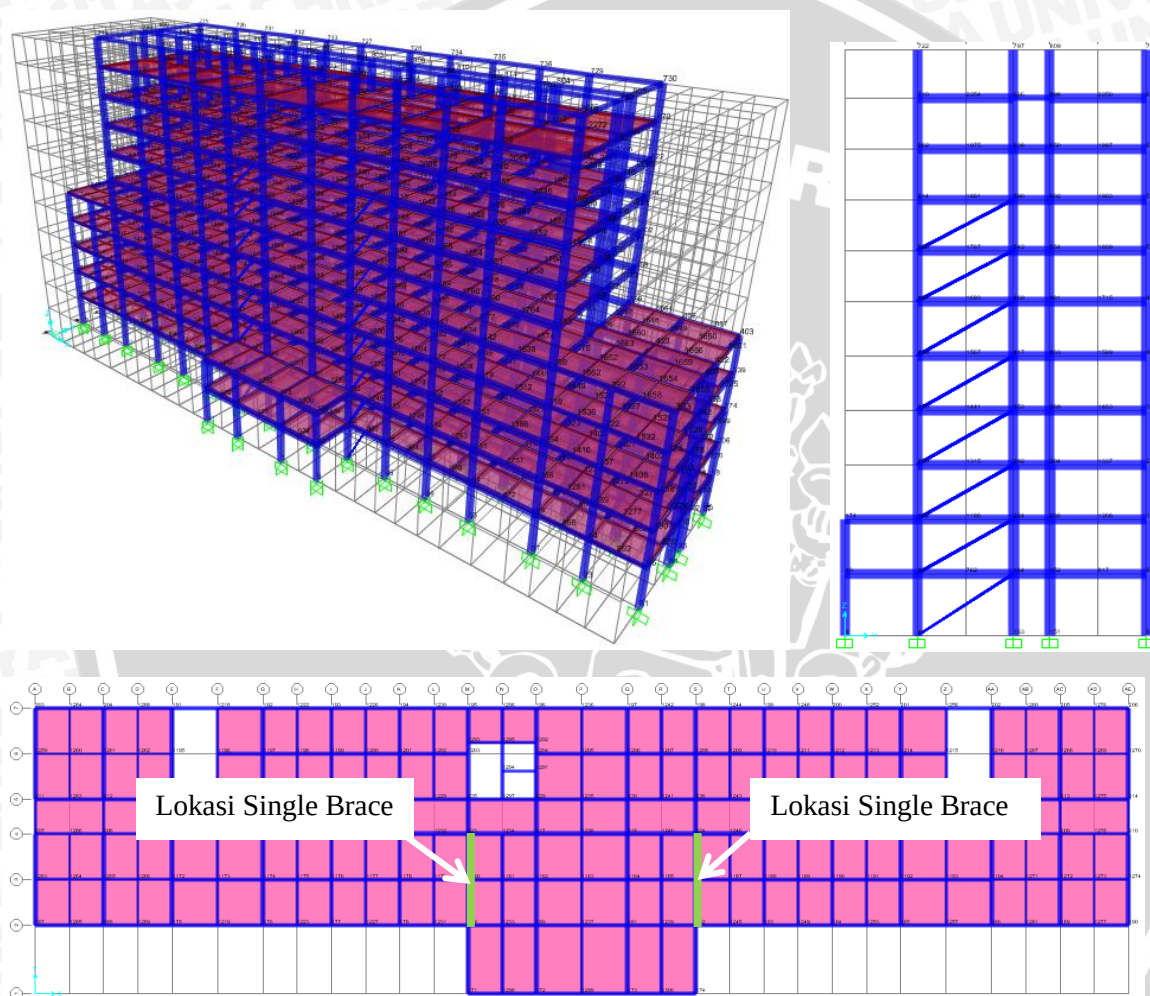


Gambar 4.4 Pemodelan Struktur Alternatif Tanpa Bresing (Tipe A)

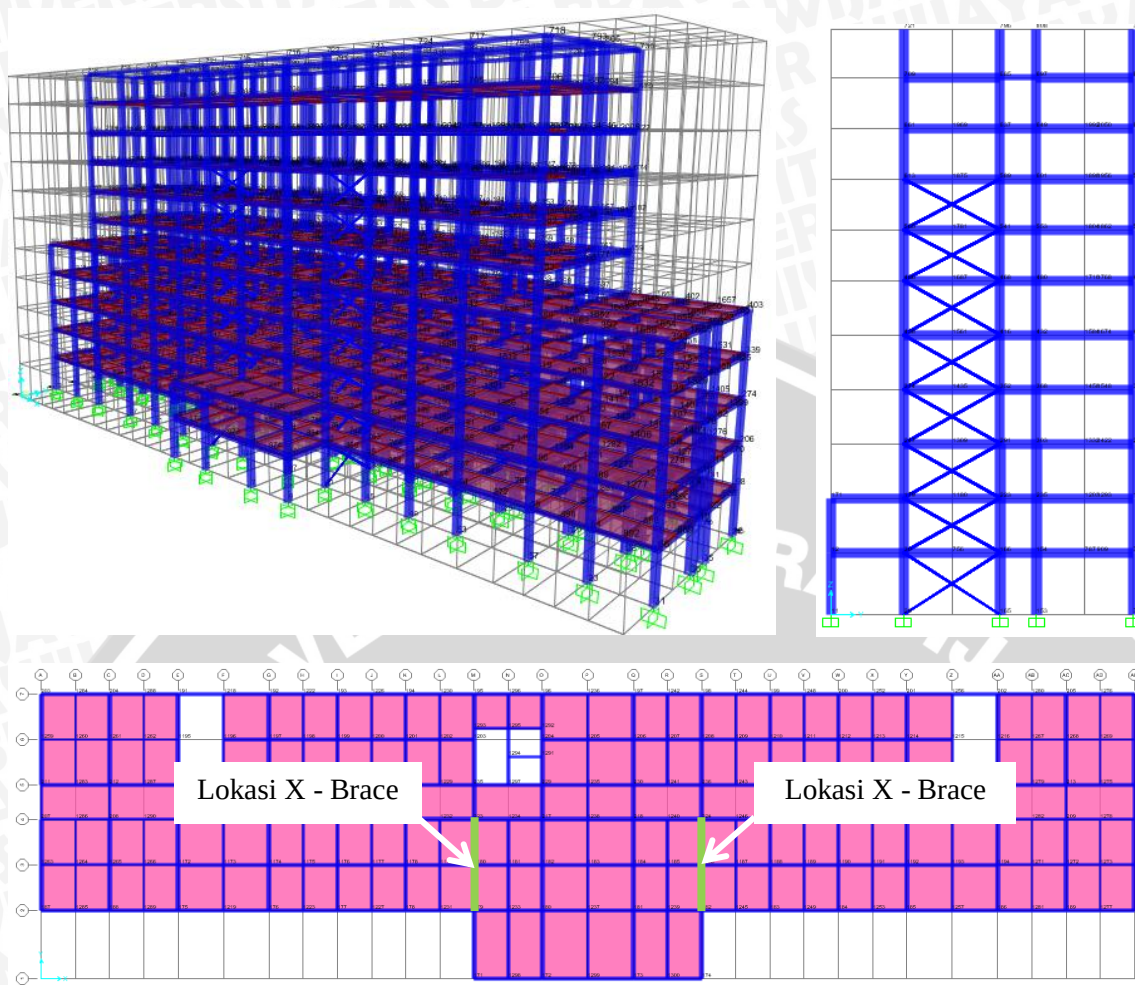
Perubahan portal yang terjadi pada struktur OND kemudian menghasilkan Struktur Alternatif Tanpa Bresing (Tipe A), yang selanjutnya akan di kombinasikan dengan

penambahan bresing baja. Dimana penentuan penempatan bresing baja didasarkan pada munculnya tiga sendi plastis (atau lebih) pada satu join di dalam model struktur.

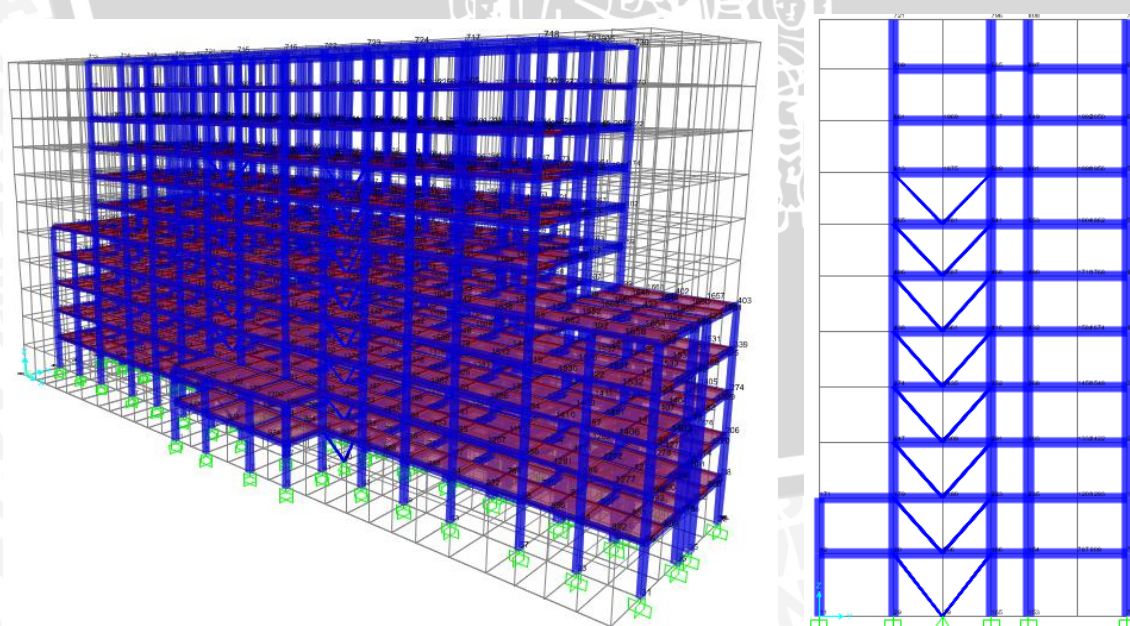
Diambil minimal tiga sendi plastis dikarenakan pada struktur *strong column weak beam* dua sendi plastis awal akan terjadi pada balok, selanjutnya sendi plastis ketiga akan muncul pada kolom yang akan memicu pola keruntuhan *columnsidesway mechanism* dimana pola keruntuhan ini tidak diperbolehkan terjadi pada struktur.

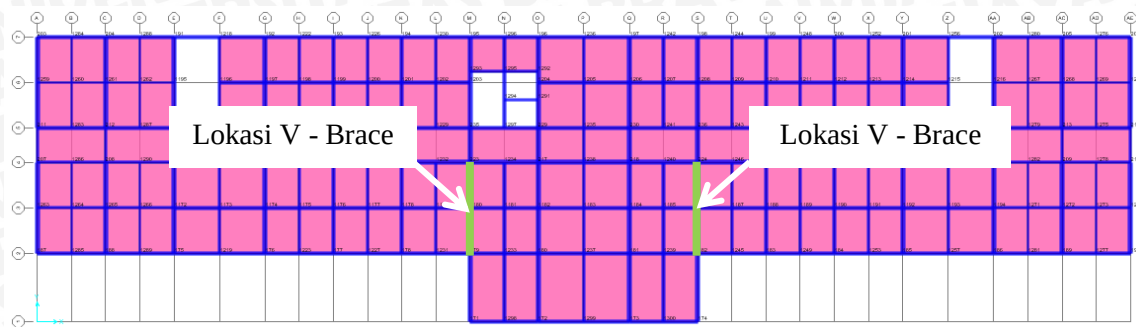


Gambar 4.5 Pemodelan Struktur Alternatif dengan Single Brace (Tipe B)

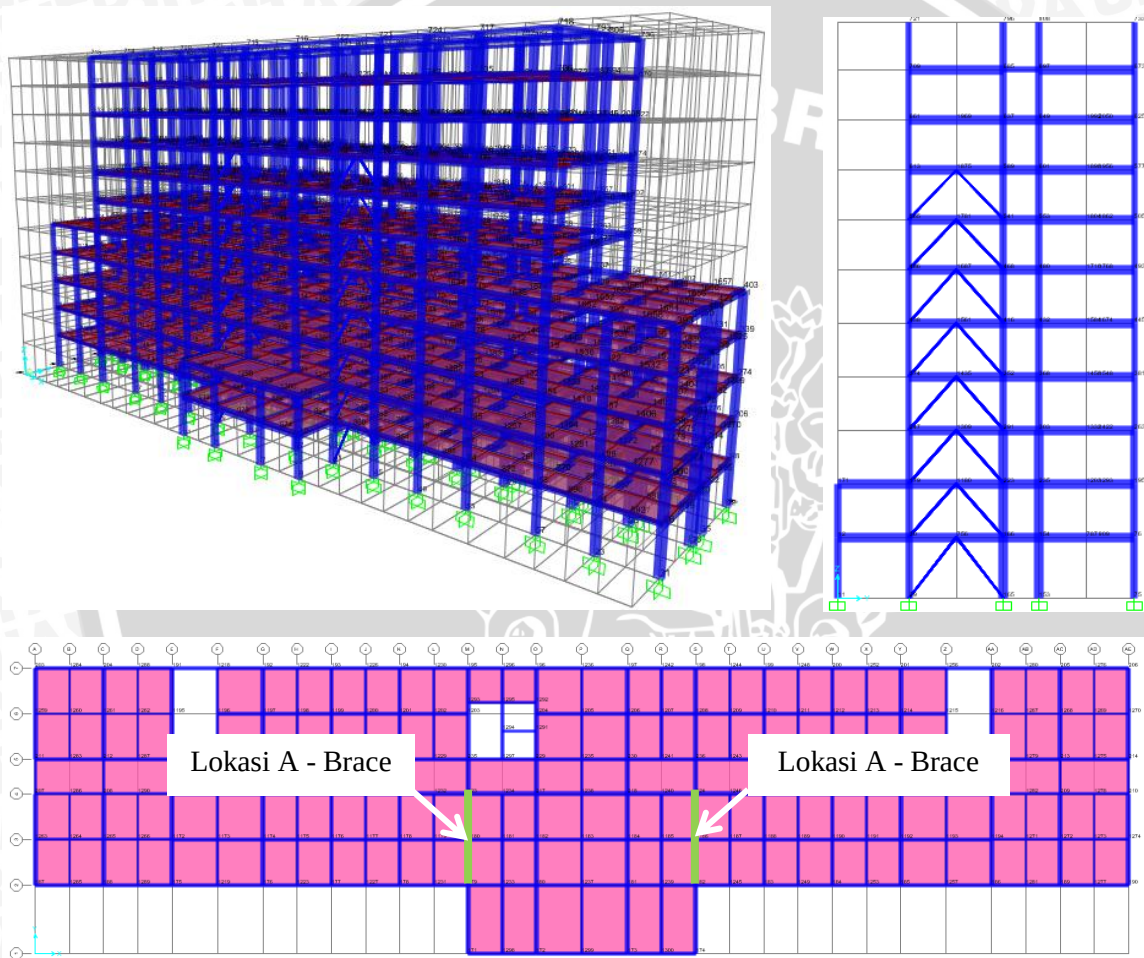


Gambar 4.6 Pemodelan Struktur Alternatif dengan X Brace (Tipe C)





Gambar 4.7 Pemodelan Struktur Alternatif dengan V Brace (Type D)



Gambar 4.8 Pemodelan Struktur Alternatif dengan A Brace (Type E)

4.2 Perhitungan Berat Struktur

4.2.1 Berat Jenis Material

Berdasarkan Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPPURG) 1987 ditentukan berat jenis material sebagai berikut :

Beton bertulang = 2400 kg/m^3

Spesi (tebal = 3 cm) = 63 kg/m^2

Keramik = 24 kg/m^2

Dinding bata ringan = 90 kg/m^2

Plafon = 11 kg/m^2

Penggantung plafon = 7 kg/m^2

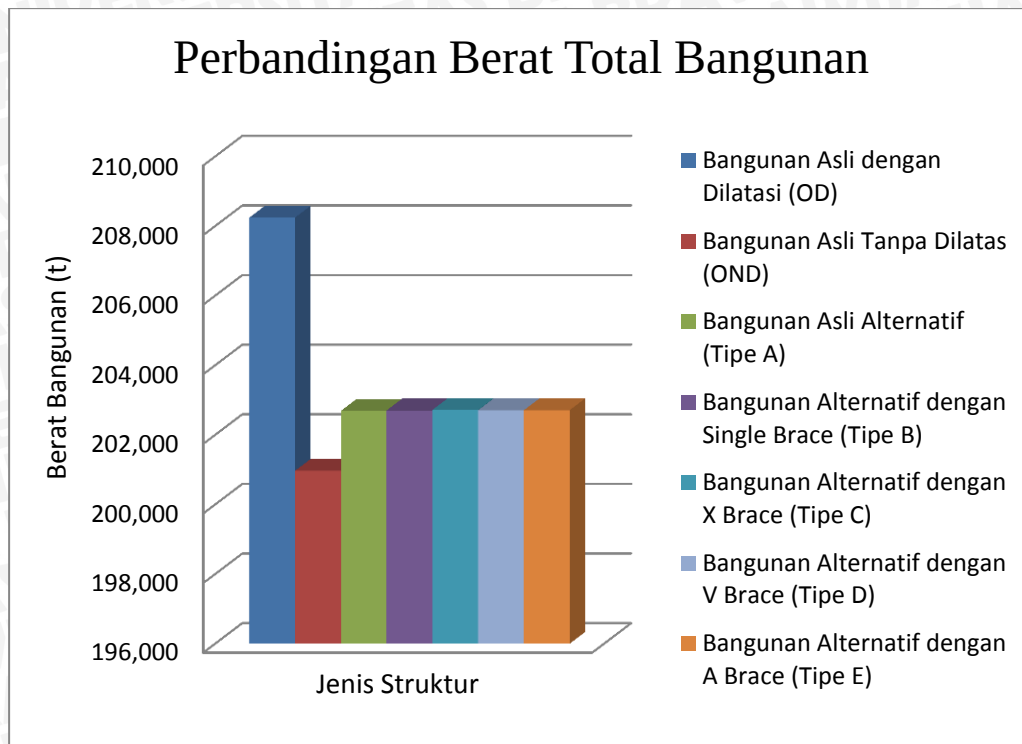
Beban hidup = 250 kg/m^2 (untuk gedung perkuliahan)

4.2.2 Perbandingan Berat Struktur

Berdasarkan berat jenis material diatas kemudian dihitung berat bangunan pada tiap-tiap lantai yang kemudian dijumlahkan sehingga menjadi berat total struktur. Rincian perhitungan berat struktur dapat dilihat pada bagian lampiran. Adapun perbandingan masing-masing berat struktur disajikan sebagai berikut:

Tabel 4.1 *Perbandingan Berat Struktur Masing-masing Tipe Struktur*

Tipe Struktur	Berat Total Struktur (Kg)
OD	20,824,566.80
OND	20,097,222.80
Tipe A	20,269,254.80
Tipe B	20,270,621.72
Tipe C	20,271,988.63
Tipe D	20,271,048.22
Tipe E	20,271,048.22



Gambar 4.9 Perbandingan Berat Bangunan

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat Bangunan Asli dengan Dilatasi Struktur (OD) memiliki berat total bangunan paling besar yaitu sebesar 20.824.566,80 kg, sedangkan Bangunan Asli Tanpa Dilatasi (OND) memiliki berat total bangunan paling kecil yaitu sebesar 20.097.222,80 kg atau memiliki selisih 727.344 kg dengan Bangunan Asli dengan Dilatasi Struktur (OD). Hal ini terjadi karena struktur OD memiliki jumlah kolom lebih banyak dibandingkan struktur OND, dimana struktur OD memiliki kolom sebanyak 702 buah sedangkan struktur OND hanya memiliki 616 buah kolom. Kemudian pada struktur Tipe A terjadi peningkatan berat struktur karena adanya modifikasi yang membuat dimensi kolom pada struktur Tipe A lebih besar dibandingkan struktur OND. Dan juga pada struktur Tipe A, B, C, D, dan E memiliki berat total bangunan yang tidak jauh berbeda yaitu dengan rata-rata selisih sebesar 448,35 kg karena penambahan berat bresing tidak terlalu berpengaruh terhadap berat struktur secara keseluruhan.

Berdasarkan data berat bangunan diatas, maka struktur OND lebih unggul dari struktur jenis lainnya karena memiliki berat struktur paling kecil, dimana dengan berat struktur yang kecil akan menghasilkan beban gempa yang kecil pula terhadap struktur tersebut, sehingga struktur akan lebih mampu untuk menahan beban gempa.

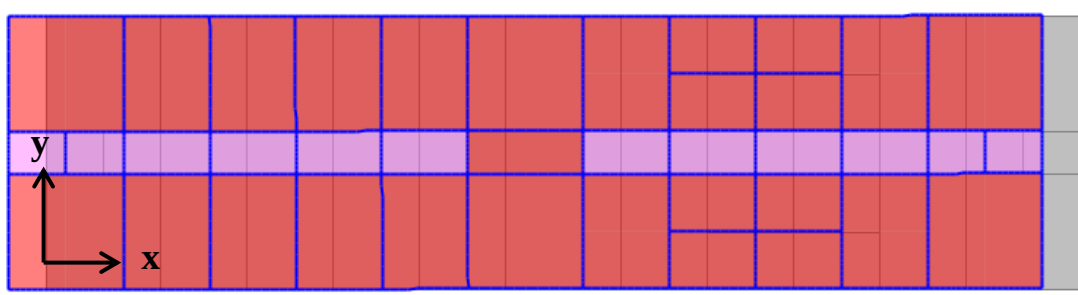
4.3 Performa Struktur Terhadap Beban Gempa

4.3.1 Perbandingan Karakteristik Dinamika Struktur

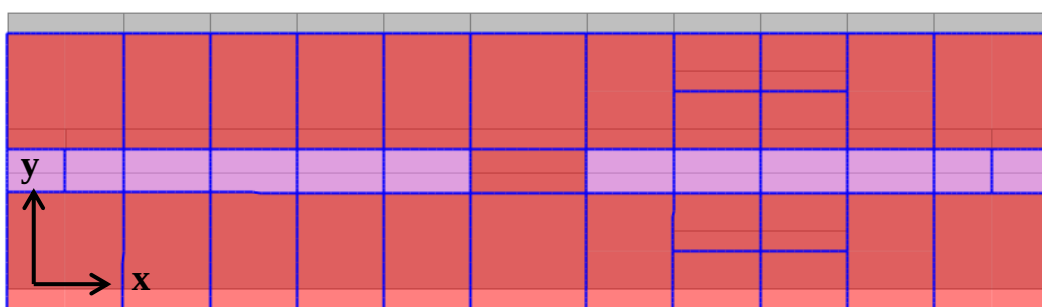
Dalam analisis yang dilakukan dengan program SAP2000 v18 karakteristik dinamika yang ditinjau meliputi periode getar, frekuensi natural dan partisipasi massa. Hasil analisis untuk masing-masing karakteristik disajikan sebagai berikut:

4.3.1.1 Mode Shape

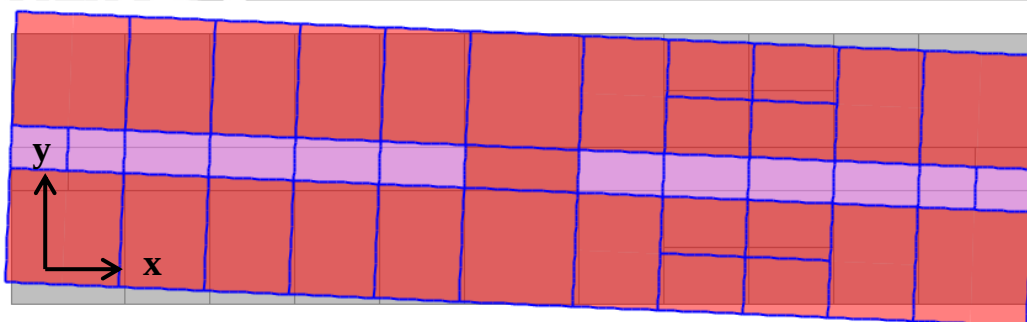
Tipikal *mode shape* 1 sampai 6 untuk setiap jenis struktur disajikan oleh Gambar 4.10, Gambar 4.11, Gambar 4.12, Gambar 4.13, Gambar 4.14, serta Gambar 4.15 dimana gambar dari masing – masing *mode shape* diambil dari tampak atas struktur. Dalam pembahasan ini hanya disajikan *mode shape* 1 sampai 6 karena mode shape 7 sampai 12 memiliki karakteristik dinamika yang sama.



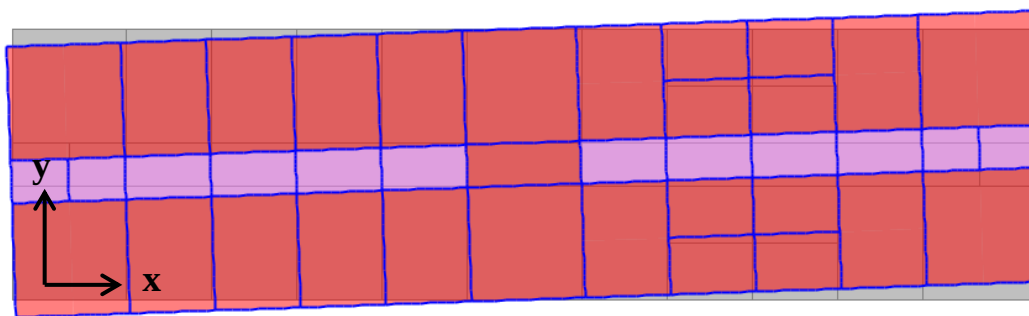
Gambar 4.10 Tipikal Mode Shape ke-1 untuk Setiap Tipe Struktur



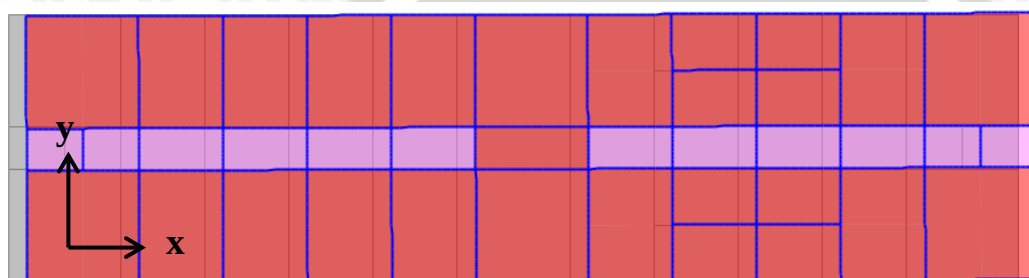
Gambar 4.11 Tipikal Mode Shape ke-2 untuk Setiap Tipe Struktur



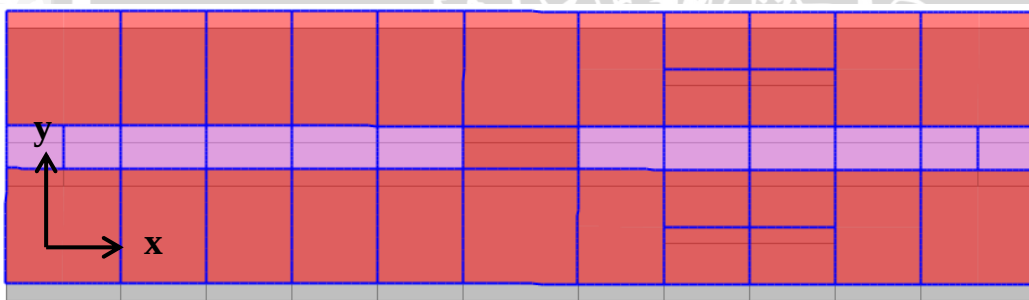
Gambar 4.12 Tipikal Mode Shape ke-3 untuk Setiap Tipe Struktur



Gambar 4.13 Tipikal Mode Shape ke-4 untuk Setiap Tipe Struktur



Gambar 4.14 Tipikal Mode Shape ke-5 untuk Setiap Tipe Struktur



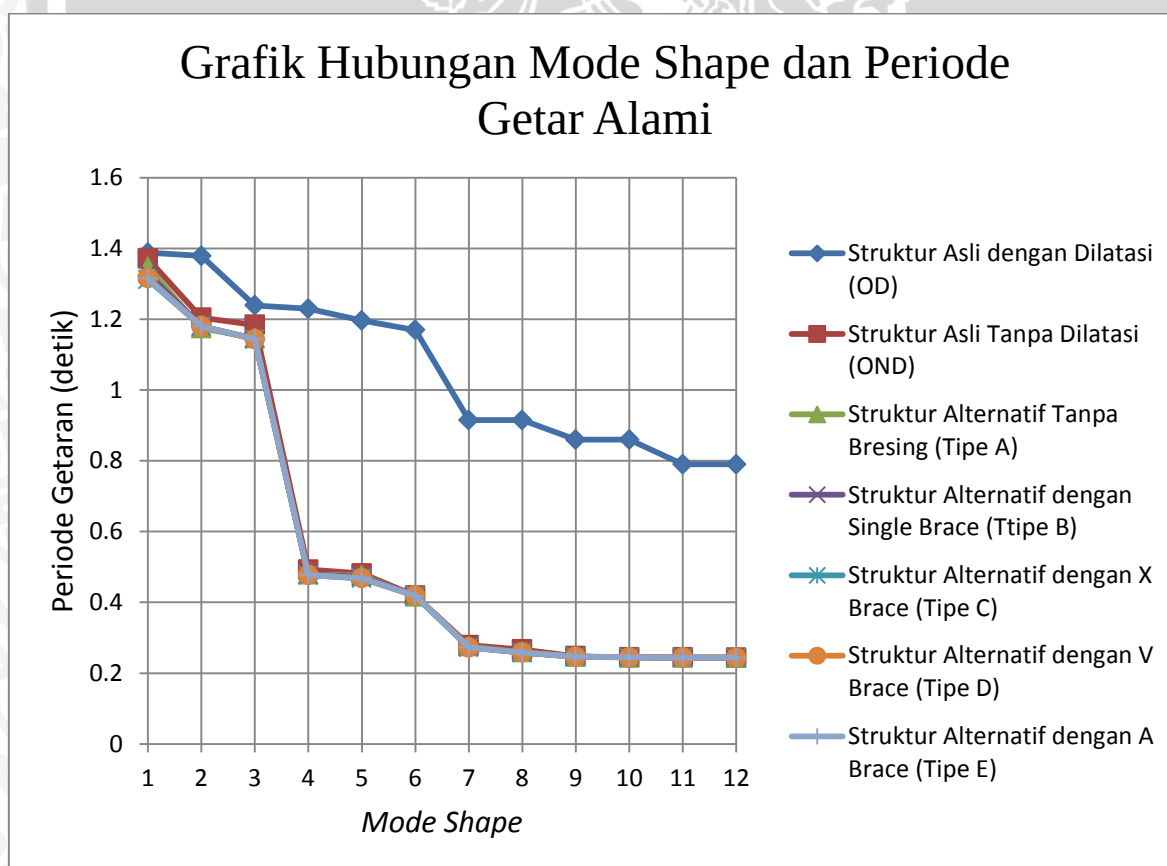
Gambar 4.15 Tipikal Mode Shape ke-6 untuk Setiap Tipe Struktur

4.3.1.2 Perbandingan Periode Getar Alami dan Frekuensi Natural

Perbandingan periode getar alami untuk semua tipe struktur disajikan dalam Tabel 4.2

Tabel 4.2 Perbandingan Periode Getar Alami

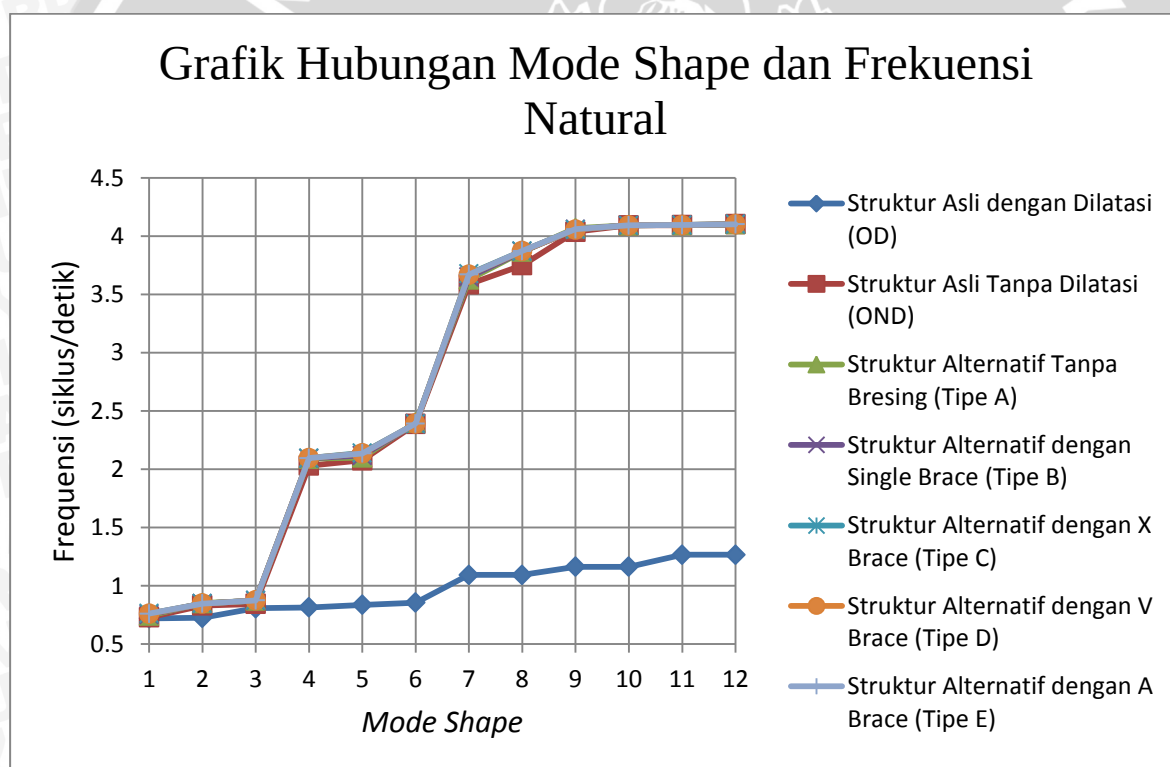
Mode Shape	Periode Getar Alami (dalam detik)						
	OD	OND	Tipe A	Tipe B	Tipe C	Tipe D	Tipe E
1	1.3879	1.3708	1.3473	1.3296	1.3117	1.3163	1.3150
2	1.3786	1.2040	1.1744	1.1799	1.1800	1.1800	1.1798
3	1.2391	1.1840	1.1463	1.1451	1.1430	1.1436	1.1433
4	1.2293	0.4923	0.4785	0.4779	0.4772	0.4773	0.4772
5	1.1962	0.4816	0.4763	0.4722	0.4675	0.4684	0.4683
6	1.1692	0.4189	0.4166	0.4183	0.4185	0.4185	0.4181
7	0.9148	0.2788	0.2758	0.2741	0.2721	0.2726	0.2725
8	0.9148	0.2667	0.2587	0.2585	0.2583	0.2584	0.2583
9	0.8596	0.2477	0.2459	0.2464	0.2465	0.2465	0.2464
10	0.8596	0.2444	0.2444	0.2444	0.2444	0.2444	0.2444
11	0.7901	0.2443	0.2442	0.2443	0.2443	0.2443	0.2443
12	0.7901	0.2438	0.2438	0.2438	0.2438	0.2438	0.2438



Gambar 4.16 Grafik Hubungan Mode Shape dan Periode Getar Alami

Tabel 4.3 Perbandingan Frekuensi Natural

Mode Shape	Frekuensi Natural (dalam siklus/detik)						
	OD	OND	Type A	Type B	Type C	Type D	Type E
1	0.7205	0.7295	0.7422	0.7521	0.7624	0.7597	0.7605
2	0.7253	0.8306	0.8515	0.8475	0.8474	0.8475	0.8476
3	0.8070	0.8446	0.8724	0.8733	0.8749	0.8745	0.8746
4	0.8135	2.0312	2.0897	2.0924	2.0957	2.0951	2.0954
5	0.8360	2.0763	2.0997	2.1176	2.1390	2.1348	2.1353
6	0.8553	2.3874	2.4006	2.3909	2.3897	2.3897	2.3920
7	1.0931	3.5869	3.6255	3.6480	3.6750	3.6687	3.6698
8	1.0931	3.7493	3.8653	3.8678	3.8716	3.8707	3.8712
9	1.1633	4.0367	4.0669	4.0577	4.0562	4.0563	4.0589
10	1.1633	4.0921	4.0921	4.0921	4.0921	4.0921	4.0921
11	1.2657	4.0933	4.0943	4.0939	4.0938	4.0938	4.0939
12	1.2657	4.1017	4.1017	4.1017	4.1017	4.1017	4.1017



Gambar 4.17 Grafik Hubungan Mode Shape dan Frekuensi Natural

Frekuensi natural dan periode getar alami struktur memiliki hubungan yang berbanding terbalik. Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa keenam tipe struktur yaitu; Tipe OND, Tipe A, Tipe B, Tipe C, Tipe D, Tipe E, secara umum memiliki bentuk grafik yang seragam yang berarti perbedaan frekuensi natural dan periode getar alami antara keenam struktur tersebut tidak terlalu jauh. Namun terjadi perbedaan yang

signifikan pada struktur OD, dimana frekuensi natural pada struktur ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan keenam tipe struktur yang lainnya. Ini terjadi akibat struktur OD memiliki berat struktur paling besar diantara struktur jenis lainnya, dimana besarnya berat bangunan berbanding lurus terhadap besarnya periode getar alami struktur dan berbanding terbalik dengan frekuensi naturalnya ($T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$), sehingga semakin besar berat struktur maka semakin besar pula periode getar alaminya dan frekuensi natural struktur akan menjadi lebih kecil. Hal inilah yang menyebabkan frekuensi natural struktur OD menjadi lebih kecil dari struktur jenis lainnya.

Dengan frekuensi natural yang kecil berarti struktur OD memiliki kekakuan yang kecil (periode getar alami yang besar) sehingga struktur OD akan memiliki simpangan lateral yang besar pada saat menerima beban lateral (beban angin maupun beban gempa), oleh karena itu struktur ini paling tidak diunggulkan dibandingkan keenam struktur lainnya.

4.3.1.3 Perbandingan Partisipasi Massa

Berdasarkan SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, disebutkan bahwa diperlukan analisis dengan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual dari masing-masing arah horizontal orthogonal dari repon yang ditinjau oleh model. Dari analisis yang dilakukan dengan program SAP2000 v18 didapatkan 12 ragam getar (mode shape) yang masing-masing menampilkan partisipasi massa struktur. Tabel berikut menampilkan rasio partisipasi massa arah sumbu Y untuk masing-masing tipe struktur.

Tabel 4.4 Rasio Partisipasi Massa untuk Tipe OD

Modal Participating Mass Ratios					
StepNum	UX	UY	SumUX	SumUY	Keterangan
Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	
1	1.3E-05	0.302	1.339E-05	0.302	
2	4E-05	0.369	0.0000536	0.671	
3	0.365	0.00015	0.365	0.672	
4	0.309	2.8E-06	0.674	0.672	
5	0.017	0.00076	0.692	0.672	
6	0.00332	0.00037	0.695	0.673	
7	0.00597	8.5E-17	0.701	0.673	
8	0.099	1.4E-15	0.8	0.673	
9	1.5E-17	0.047	0.8	0.72	
10	2.3E-16	0.063	0.8	0.783	
11	9.4E-15	1.7E-15	0.8	0.783	
12	1E-17	1.4E-17	0.8	0.783	

Tabel 4.5 Rasio Partisipasi Massa untuk Tipe OND

Modal Participating Mass Ratios					
StepNum	UX	UY	SumUX	SumUY	Keterangan
Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	
1	2E-07	0.755	2.004E-07	0.755	
2	0.036	0.00012	0.036	0.755	
3	0.75	3.8E-06	0.786	0.755	
4	6.4E-06	0.0005	0.786	0.755	
5	6.1E-08	0.144	0.786	0.899	
6	0.116	9.5E-09	0.903	0.899	> 90 % untuk sumbu X
7	6.9E-08	0.043	0.903	0.943	> 90 % untuk sumbu Y
8	0.00011	4.1E-05	0.903	0.943	
9	0.039	4.6E-09	0.942	0.943	
10	1.2E-09	1.1E-05	0.942	0.943	
11	0.00058	1.7E-09	0.943	0.943	
12	1.1E-07	1.5E-10	0.943	0.943	

Tabel 4.6 Rasio Partisipasi Massa untuk Tipe A

Modal Participating Mass Ratios					
StepNum	UX	UY	SumUX	SumUY	Keterangan
Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	
1	1.1E-07	0.744	1.106E-07	0.744	
2	0.77	1.7E-06	0.77	0.744	
3	0.00987	7.6E-05	0.779	0.744	
4	3.2E-06	0.011	0.779	0.755	
5	3.5E-07	0.138	0.779	0.893	
6	0.118	8E-09	0.897	0.893	
7	2.8E-08	0.044	0.897	0.937	> 90 % untuk sumbu Y
8	0.00015	2E-05	0.897	0.937	
9	0.036	1.1E-08	0.933	0.937	> 90 % untuk sumbu X
10	2.8E-10	1.3E-05	0.933	0.937	
11	0.00221	6E-09	0.936	0.937	
12	2.9E-07	1.5E-10	0.936	0.937	

Tabel 4.7 Rasio Partisipasi Massa untuk Tipe B

Modal Participating Mass Ratios					
StepNum	UX	UY	SumUX	SumUY	Keterangan
Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	
1	7.8E-08	0.745	7.837E-08	0.745	
2	0.777	5.6E-07	0.777	0.745	
3	0.00191	9E-05	0.779	0.746	
4	1.9E-05	0.00158	0.779	0.747	
5	3.2E-07	0.146	0.779	0.893	
6	0.118	1.5E-08	0.897	0.893	
7	4.7E-08	0.044	0.897	0.937	> 90 % untuk sumbu Y
8	0.00022	2.3E-05	0.897	0.937	
9	0.038	1.9E-08	0.935	0.937	> 90 % untuk sumbu X
10	1E-10	1.3E-05	0.935	0.937	
11	0.00131	6.9E-09	0.937	0.937	
12	1.8E-07	1.4E-10	0.937	0.937	

Tabel 4.8 Rasio Partisipasi Massa untuk Tipe C

Modal Participating Mass Ratios					
StepNum	UX	UY	SumUX	SumUY	Keterangan
Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	
1	9.5E-08	0.746	9.5E-08	0.746	
2	0.777	5.7E-07	0.777	0.746	
3	0.00149	0.00011	0.779	0.746	
4	2.5E-05	0.00054	0.779	0.747	
5	1.9E-07	0.147	0.779	0.894	
6	0.118	2E-08	0.897	0.894	
7	6.8E-08	0.044	0.897	0.937	> 90 % untuk sumbu Y
8	0.00025	2.8E-05	0.897	0.937	
9	0.038	2.6E-08	0.936	0.937	> 90 % untuk sumbu X
10	1.2E-11	1.4E-05	0.936	0.937	
11	0.00121	8E-09	0.937	0.937	
12	1.6E-07	1.6E-10	0.937	0.937	

Tabel 4.9 Rasio Partisipasi Massa untuk Tipe D

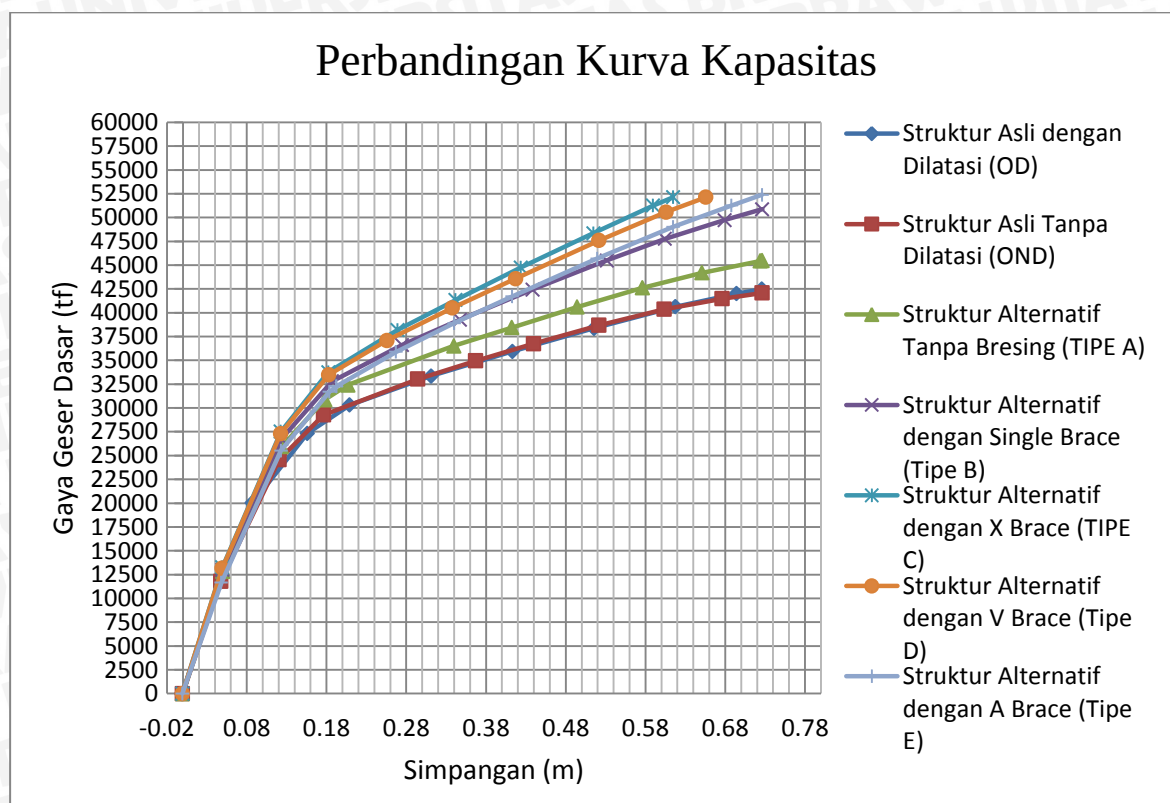
Modal Participating Mass Ratios					
StepNum	UX	UY	SumUX	SumUY	Keterangan
Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	
1	8.7E-08	0.746	8.7E-08	0.746	
2	0.777	5.5E-07	0.777	0.746	
3	0.00155	0.0001	0.779	0.746	
4	2.5E-05	0.00064	0.779	0.747	
5	2.1E-07	0.147	0.779	0.894	
6	0.118	1.9E-08	0.897	0.894	
7	6.3E-08	0.044	0.897	0.937	> 90 % untuk sumbu Y
8	0.00025	2.7E-05	0.897	0.937	
9	0.038	2.4E-08	0.936	0.937	> 90 % untuk sumbu X
10	2.2E-11	1.4E-05	0.936	0.937	
11	0.00121	7.6E-09	0.937	0.937	
12	1.6E-07	1.6E-10	0.937	0.937	

Tabel 4.10 *Rasio Partisipasi Massa untuk Tipe E*

Modal Participating Mass Ratios					
StepNum	UX	UY	SumUX	SumUY	Keterangan
Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	
1	9.7E-08	0.747	9.7E-08	0.747	
2	0.777	6.2E-07	0.777	0.747	
3	0.00175	0.0001	0.779	0.747	
4	1.8E-05	0.00063	0.779	0.747	
5	1.6E-07	0.147	0.779	0.894	
6	0.118	1.7E-08	0.897	0.894	
7	5.5E-08	0.043	0.897	0.937	> 90 % untuk sumbu Y
8	0.00021	2.7E-05	0.897	0.937	
9	0.038	2.2E-08	0.935	0.937	> 90 % untuk sumbu X
10	2.2E-11	1.4E-05	0.935	0.937	
11	0.00139	7.6E-09	0.937	0.937	
12	1.9E-07	1.6E-10	0.937	0.937	

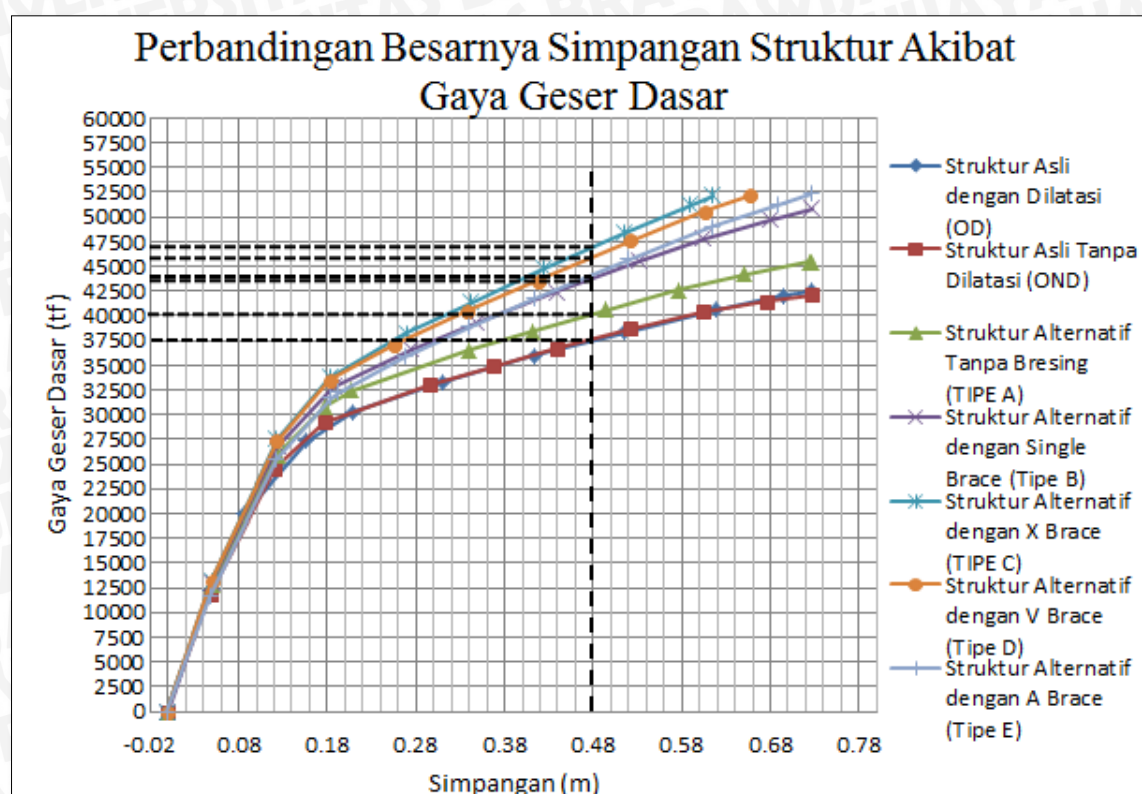
Berdasarkan table diatas struktur Tipe OD belum mencapai partisipasi massa lebih dari 90%. Sedangkan pada struktu Tipe OND partisipasi massa lebih dari 90% muncul pada ragam ke-7 untuk sumbu Y (sebesar 94,3%) dan pada ragam ke-6 untuk arah X (sebesar 90,3%). Untuk struktur Tipe A, B, C, D, dan E secara seragam partisipasi massa lebih dari 90% muncul pada ragam ke-7 untuk sumbu Y dan pada ragam ke-9 untuk sumbu X, dimana selisih dari partisipasi massa masing-masing tipe struktur tidak terlalu besar.

4.3.2 Perbandingan Kurva Kapasitas



Gambar 4.18 Perbandingan Kurva Kapasitas

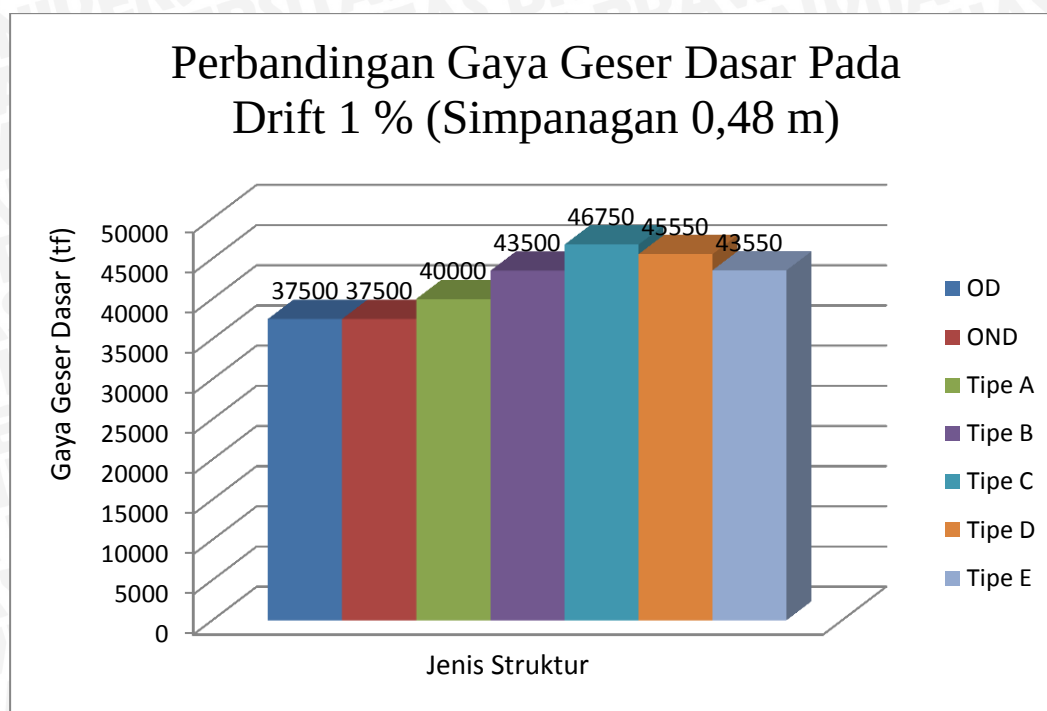
Berdasarkan perbandingan kurva kapasitas diatas dapat dilihat bahwa struktur OD dan OND memiliki kurva kapasitas yang sama, dimana penggunaan bangunan alternatif dapat meningkatkan kemampuan struktur untuk menerima gaya geser dasar. Dapat dilihat pada struktur alternatif (Tipe A) terjadi peningkatan kemampuan struktur untuk menerima gaya geser dasar begitu pula dengan penggunaan bresing pada bangunan alternatif yang dapat lebih meningkatkan kemampuan struktur untuk menerima gaya geser dasar. Peningkatan kemampuan struktur untuk menerima gaya geser dasar dapat dilihat pada Gambar 4.19 berikut:



Gambar 4.19 Perbandingan Besarnya Simpangan Akibat Gaya Geser Dasar

Untuk mengetahui peningkatan kemampuan masing-masing struktur untuk menerima gaya geser dasar, maka diambil simpangan sebesar 0,48 m ($\text{drift} = 1\%$ berdasarkan SNI1726: 2012 untuk bangunan dengan Kategori risiko IV) yang digunakan sebagai patokan simpangan struktur. Dimana untuk menghasilkan simpangan sebesar 0,48 m struktur OD dan OND menerima gaya geser dasar sebesar 37.500 tf, sedangkan pada struktur Tipe A menerima gaya geser dasar sebesar 40.000 tf, struktur Tipe B menerima gaya geser dasar sebesar 43.500 tf, struktur Tipe C menerima gaya geser dasar sebesar 46.750 tf, struktur Tipe D menerima gaya geser dasar sebesar 45.550 tf, serta struktur Tipe E menerima gaya geser dasar sebesar 43.550 tf.

Sehingga berdasarkan uraian diatas struktur Tipe C lebih unggul dibandingkan dengan struktur jenis lainnya karena struktur ini mampu menerima gaya geser dasar paling besar (46.750 tf) untuk menghasilkan *drift* sebesar 1 % atau (simpangan 0,48 m).



Gambar 4.20 Perbandingan Gaya Geser Dasar Pada Simpanan 0,48 m

4.3.3 Perbandingan Simpangan Antar Lantai Struktur

Simpangan antar lantai diperhitungkan berdasarkan SNI 1726: 2012 dimana pada Pasal 7.8.6 disebutkan bahwa penentuan simpangan antar lantai tingkat disain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau.

Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (4-1)$$

dimana:

C_d = faktor amplifikasi defleksi

δ_{xe} = defleksi pada lokasi yang ditinjau

I_e = faktor keutamaan gempa

Sedangkan simpangan antar lantai (Δ_x) ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\Delta_x = \frac{(\delta_x - \delta_{x-1}) C_d}{I_e} \leq \Delta_a \quad (4-2)$$

dimana Δ_a adalah simpangan antar lantai ijin yang disyaratkan sebagai berikut:

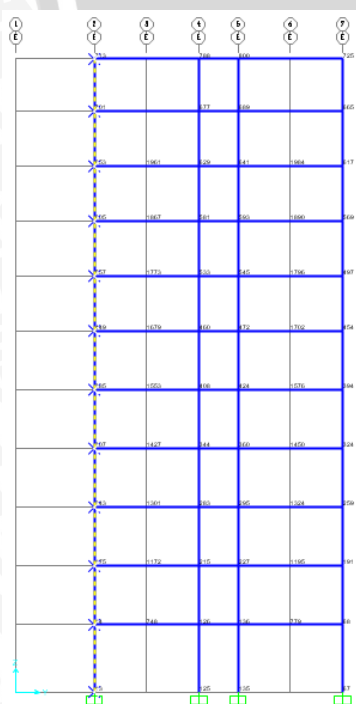
Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^a	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

^a h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat x .

Gambar 4.21 Tabel Simpangan Antar Lantai Ijin

Berdasarkan perhitungan, nilai S_{DS} untuk Kota Malang adalah sebesar 0,6 dimana berdasarkan SNI 1726: 2012 untuk nilai $S_{DS} \geq 0,5$ termasuk dalam kategori desain seismik D. Berdasarkan Pasal 7.12.1.1 untuk struktur dengan kategori desain seismik D, E, atau F disyaratkan simpangan antar lantai tingkat desain harus kurang dari $\Delta a/\rho$ (untuk struktur dengan sistem penahan gaya yang terdiri dari hanya rangka momen) dimana berdasarkan Pasal 7.3.4.2 nilai $\rho = 1,3$. Sedangkan untuk nilai C_d diambil sebesar 2,5 (untuk rangka beton bertulang pemikul momen biasa) dan nilai I_e diambil sebesar 1,5 (gedung perkuliahan termasuk Kategori risiko IV dengan $I_e = 1,5$).

Dalam analisis, simpangan antar lantai hanya ditinjau terhadap portal arah sumbu Y serta hanya satu portal yang akan ditinjau.



Gambar 4.22 Portal Arah Sumbu Y yang Ditinjau

Perhitungan simpangan antar lantai dilakukan pada kondisi diambang runtuh (step terakhir dari analisis *pushover*) pada masing-masing struktur, dimana jumlah step dari masing-masing struktur berbeda-beda. Perhitungan simpangan antar lantai masing-masing struktur disajikan sebagai berikut:

Tabel 4.11 *Simpangan Antar Lantai Struktur OD*

Tingkat	Joint	Tinggi tingkat	Simpangan ijin (Δa)	ρ	$\Delta a/\rho$	Defleksi (δi)	Simpangan (Δx)	Keterangan
		m	m		m	m	m	
11	713	4	0.06	1.3	0.046	0.7261	0.0197	Ok!
10	701	4.2	0.063	1.3	0.048	0.719	0.0231	Ok!
9	653	4.2	0.063	1.3	0.048	0.7107	0.0306	Ok!
8	605	4.2	0.063	1.3	0.048	0.6997	0.0497	Tidak Ok
7	557	4.2	0.063	1.3	0.048	0.6818	0.0858	Tidak Ok
6	449	4.5	0.0675	1.3	0.052	0.6509	0.1528	Tidak Ok
5	385	4.5	0.0675	1.3	0.052	0.5959	0.2272	Tidak Ok
4	307	4.5	0.0675	1.3	0.052	0.5141	0.3017	Tidak Ok
3	243	4.5	0.0675	1.3	0.052	0.4055	0.3436	Tidak Ok
2	175	4.5	0.0675	1.3	0.052	0.2818	0.3692	Tidak Ok
1	14	5.14	0.0771	1.3	0.059	0.1489	0.2482	Tidak Ok

Tabel 4.12 *Simpangan Antar Lantai Struktur OND*

Tingkat	Joint	Tinggi tingkat	Simpangan ijin (Δa)	ρ	$\Delta a/\rho$	Defleksi (δi)	Simpangan (Δx)	Keterangan
		m	m		m	m	m	
11	713	4	0.06	1.3	0.046	0.7265	0.0211	Ok!
10	701	4.2	0.063	1.3	0.048	0.7189	0.0250	Ok!
9	653	4.2	0.063	1.3	0.048	0.7099	0.0328	Ok!
8	605	4.2	0.063	1.3	0.048	0.6981	0.0539	Tidak Ok
7	557	4.2	0.063	1.3	0.048	0.6787	0.0922	Tidak Ok
6	449	4.5	0.0675	1.3	0.052	0.6455	0.1542	Tidak Ok
5	385	4.5	0.0675	1.3	0.052	0.59	0.2047	Tidak Ok
4	307	4.5	0.0675	1.3	0.052	0.5163	0.2853	Tidak Ok
3	243	4.5	0.0675	1.3	0.052	0.4136	0.3372	Tidak Ok
2	175	4.5	0.0675	1.3	0.052	0.2922	0.3750	Tidak Ok
1	14	5.14	0.0771	1.3	0.059	0.1572	0.2620	Tidak Ok

Tabel 4.13 Simpangan Antar Lantai Struktur Tipe A

Tingkat	Joint	Tinggi tingkat	Simpangan ijin (Δa)	ρ	$\Delta a/\rho$	Defleksi (δ_i)	Simpangan (Δx)	Keterangan
		m	m		m	m	m	
11	713	4	0.06	1.3	0.046	0.7265	0.0231	Ok!
10	701	4.2	0.063	1.3	0.048	0.7182	0.0269	Ok!
9	653	4.2	0.063	1.3	0.048	0.7085	0.0364	Ok!
8	605	4.2	0.063	1.3	0.048	0.6954	0.0617	Tidak Ok
7	557	4.2	0.063	1.3	0.048	0.6732	0.1053	Tidak Ok
6	449	4.5	0.0675	1.3	0.052	0.6353	0.1719	Tidak Ok
5	385	4.5	0.0675	1.3	0.052	0.5734	0.2192	Tidak Ok
4	307	4.5	0.0675	1.3	0.052	0.4945	0.2928	Tidak Ok
3	243	4.5	0.0675	1.3	0.052	0.3891	0.3319	Tidak Ok
2	175	4.5	0.0675	1.3	0.052	0.2696	0.3542	Tidak Ok
1	14	5.14	0.0771	1.3	0.059	0.1421	0.2368	Tidak Ok

Tabel 4.14 Simpangan Antar Lantai Struktur Tipe B

Tingkat	Joint	Tinggi tingkat	Simpangan ijin (Δa)	Defleksi (δ_i)	Simpangan (Δx)	Keterangan
		m	m	m	m	
11	713	4	0.06	0.7266	0.0244	Ok!
10	701	4.2	0.063	0.7178	0.0289	Ok!
9	653	4.2	0.063	0.7074	0.0386	Ok!
8	605	4.2	0.063	0.6935	0.0642	Tidak Ok
7	557	4.2	0.063	0.6704	0.1069	Tidak Ok
6	449	4.5	0.0675	0.6319	0.1708	Tidak Ok
5	385	4.5	0.0675	0.5704	0.2144	Tidak Ok
4	307	4.5	0.0675	0.4932	0.2881	Tidak Ok
3	243	4.5	0.0675	0.3895	0.3286	Tidak Ok
2	175	4.5	0.0675	0.2712	0.3544	Tidak Ok
1	14	5.14	0.0771	0.1436	0.2393	Tidak Ok

Tabel 4.15 Simpangan Antar Lantai Struktur Tipe C

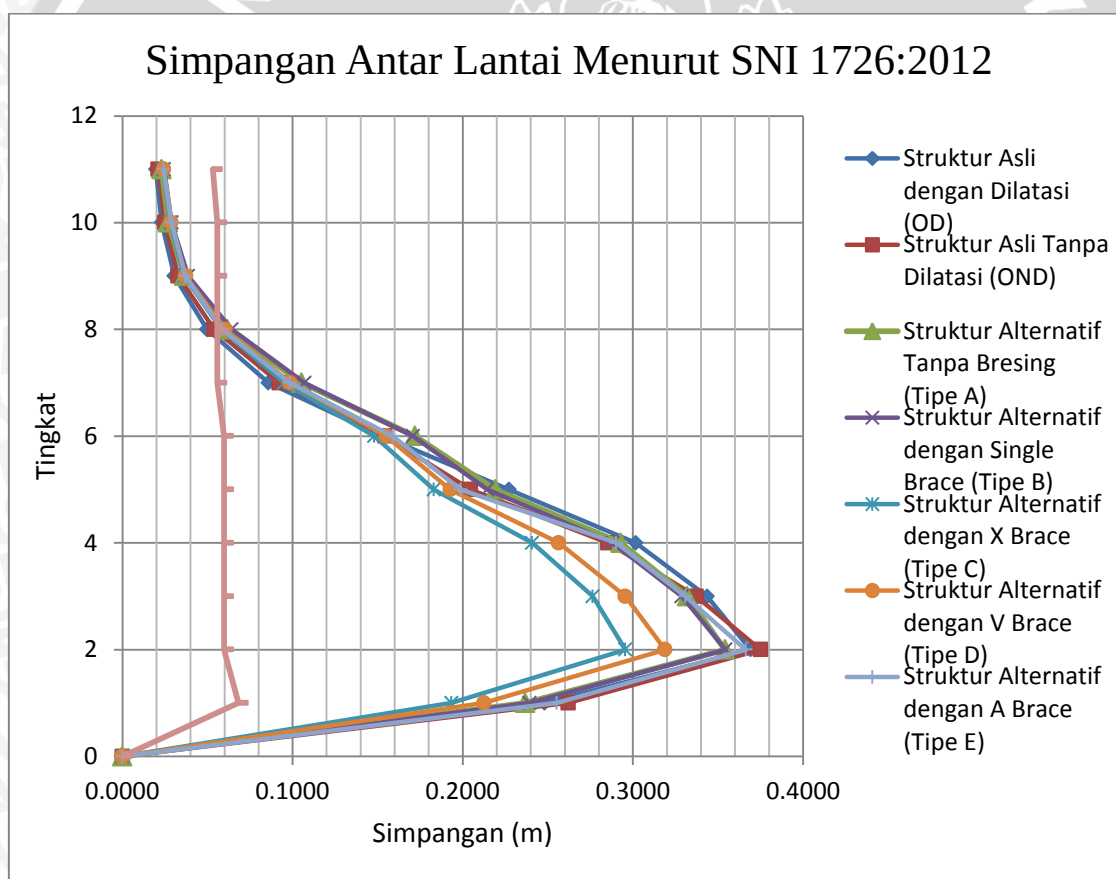
Tingkat	Joint	Tinggi tingkat	Simpangan ijin (Δa)	Defleksi (δ_i)	Simpangan (Δx)	Keterangan
		m	m	m	m	
11	713	4	0.06	0.6147	0.0239	Ok!
10	701	4.2	0.063	0.6061	0.0281	Ok!
9	653	4.2	0.063	0.596	0.0364	Ok!
8	605	4.2	0.063	0.5829	0.0581	Ok!
7	557	4.2	0.063	0.562	0.0950	Tidak Ok
6	449	4.5	0.0675	0.5278	0.1481	Tidak Ok
5	385	4.5	0.0675	0.4745	0.1831	Tidak Ok
4	307	4.5	0.0675	0.4086	0.2408	Tidak Ok
3	243	4.5	0.0675	0.3219	0.2764	Tidak Ok
2	175	4.5	0.0675	0.2224	0.2956	Tidak Ok
1	14	5.14	0.0771	0.116	0.1933	Tidak Ok

Tabel 4.16 Simpangan Antar Lantai Struktur Tipe D

Tingkat	Joint	Tinggi tingkat	Simpangan ijin (Δa)	Defleksi (δ_i)	Simpangan (Δx)	Keterangan
		m	m	m	m	
11	713	4	0.06	0.6558	0.0242	Ok!
10	701	4.2	0.063	0.6471	0.0286	Ok!
9	653	4.2	0.063	0.6368	0.0372	Ok!
8	605	4.2	0.063	0.6234	0.0603	Ok!
7	557	4.2	0.063	0.6017	0.0986	Tidak Ok
6	449	4.5	0.0675	0.5662	0.1550	Tidak Ok
5	385	4.5	0.0675	0.5104	0.1928	Tidak Ok
4	307	4.5	0.0675	0.441	0.2564	Tidak Ok
3	243	4.5	0.0675	0.3487	0.2956	Tidak Ok
2	175	4.5	0.0675	0.2423	0.3189	Tidak Ok
1	14	5.14	0.0771	0.1275	0.2125	Tidak Ok

Tabel 4.17 Simpangan Antar Lantai Struktur Tipe E

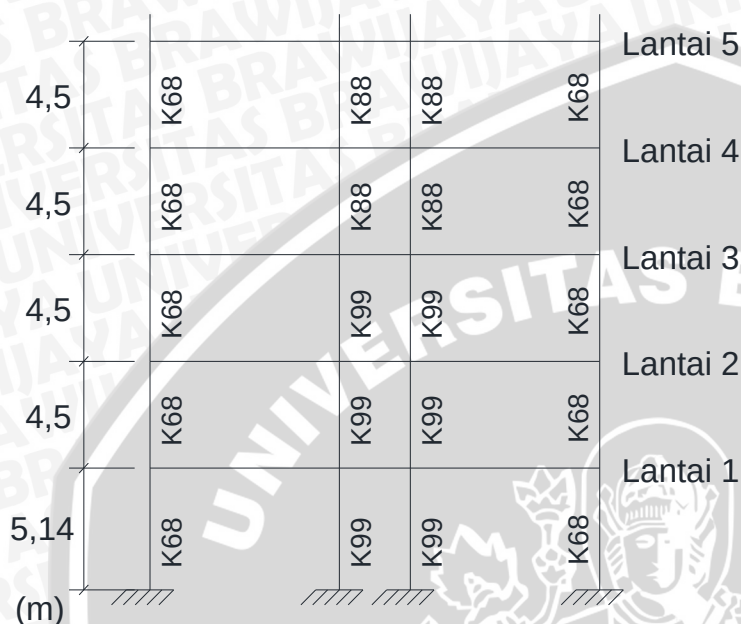
Tingkat	Joint	Tinggi tingkat	Simpangan ijin (Δa)	Defleksi (δ_i)	Simpangan (Δx)	Keterangan
		m	m	m	m	
11	713	4	0.06	0.7264	0.0242	Ok!
10	701	4.2	0.063	0.7177	0.0289	Ok!
9	653	4.2	0.063	0.7073	0.0369	Ok!
8	605	4.2	0.063	0.694	0.0586	Ok!
7	557	4.2	0.063	0.6729	0.0983	Tidak Ok
6	449	4.5	0.0675	0.6375	0.1589	Tidak Ok
5	385	4.5	0.0675	0.5803	0.1989	Tidak Ok
4	307	4.5	0.0675	0.5087	0.2903	Tidak Ok
3	243	4.5	0.0675	0.4042	0.3308	Tidak Ok
2	175	4.5	0.0675	0.2851	0.3664	Tidak Ok
1	14	5.14	0.0771	0.1532	0.2553	Tidak Ok



Gambar 4.23 Perbandingan Simpangan Antar Lantai Menurut SNI 1726: 2012

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa lantai bagian bawah struktur memiliki simpangan antar lantai yang cukup besar sehingga perlu ditinjau kekakuan kolom pada lantai 1 karena lantai 1 memiliki kolom yang paling tinggi dibandingkan lantai yang

lainnya. Kolom pada lantai 1 ditinjau berdasarkan kekakuan lantai lunak (*soft storey*) dengan ketentuan, suatu struktur dikatakan sebagai struktur dengan lantai lunak (*soft storey*) apabila kekakuan kolom lantai yang ditinjau (lantai x) kurang dari 70% kekakuan satu lantai di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan tiga lantai yang ada di atasnya.



Gambar 4.24 Skema Dimensi Kolom Lantai 1 – 5 Pada Portal yang Ditinjau

Kekakuan kolom pada lantai 1 ditinjau berdasarkan skema diatas dimana portal yang ditinjau berada pada joint 14, 175, 243, 307, dan 385 (sesuai dengan tabel perhitungan simpangan antar lantai). Perhitungan kekakuan kolom lantai disajikan sebagai berikut:

$$E_{\text{beton}} = 4700 \times \sqrt{29,05} = 25332,0844 \text{ Mpa} = 253321 \text{ kg/cm}^2$$

a. Tinjauan terhadap lantai 1

$$\Rightarrow K1 = \frac{E.I_1}{L_1} = \frac{253321 \times \frac{1}{12} \times 60 \times 80^3}{514} = 1261676576 \text{ kg/cm}$$

$$\Rightarrow K2 = K4 = \frac{E.I_2}{E_2} = \frac{253321 \times \frac{1}{12} \times 60 \times 80^3}{450} = 1441115022 \text{ kg/cm}$$

$$\Rightarrow 0,7K2 = 1008780515 \text{ kg/cm} < K1 (= 1261676576 \text{ kg/cm})$$

$$\Rightarrow 0,8K4 = 1152892018 \text{ kg/cm} < K1 (= 1261676576 \text{ kg/cm})$$

$$\Rightarrow K1 = \frac{E.I_1}{L_1} = \frac{253321 \times \frac{1}{12} \times 90 \times 90^3}{514} = 2694615890 \text{ kg/cm}$$

- $K_2 = \frac{E \cdot I_2}{L_2} = \frac{253321 \times \frac{1}{12} \times 90 \times 90^3}{450} = 3077850150 \text{ kg/cm}$
- $K_4 = \frac{E \cdot I_4}{L_4} = \frac{253321 \times \frac{1}{12} \times 80 \times 80^3}{450} = 1921486696 \text{ kg/cm}$
- $0,7K_2 = 2154495074 \text{ kg/cm} < K_1 (= 2694615890 \text{ kg/cm})$
- $0,8K_4 = 1537189357 \text{ kg/cm} < K_1 (= 2694615890 \text{ kg/cm})$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat diketahui bahwa lantai 1 lebih kaku dari lantai yang ada diatasnya, sehingga struktur bukan merupakan *soft storey building* atau struktur dengan lantai lemah. Pada Gambar 4.23 juga dapat diketahui bahwa struktur Tipe C memiliki keunggulan dibandingkan struktur jenis lainnya karena struktur ini memiliki simpangan antar lantai paling kecil. Serta dapat diketahui pula bahwa semua jenis struktur (OD, OND, Tipe A, Tipe B, Tipe C, Tipe D, dan Tipe E) mengalami keruntuhan dengan pola keruntuhan lantai lunak (*soft storey*).

4.4 Respon Spektrum Rencana

4.4.1 Klasifikasi Situs

Berdasarkan parameter tanah yaitu kecepatan gelombang dasar (v_s), tahanan penetrasi standar lapangan (N), dan kuat geser niralir (s_u), situs dapat diklasifikasi menjadi kelas situs S_A , S_B , S_C , S_D , S_E atau S_F . Bila parameter tanah pada situs tidak teridentifikasi secara jelas sehingga tidak bisa diklasifikasikan situsnya, maka kelas situs S_E dapat digunakan.

Dalam kasus ini, klasifikasi situs akan didasarkan pada hasil uji tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata ($N_{rata-rata}$) untuk profil tanah kedalaman 30 m paling atas dari situs yang dilakukan oleh Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi, Teknik Sipil FTUB. Perhitungan untuk mendapatkan klasifikasi situs sebagai berikut :

- **Titik bor B-1**

Tabel 4.18 Perhitungan untuk Klasifikasi Situs Titik Bor B-1

Kedalaman (m)	Tebal lapisan (m)	N-SPT	
zi	di	Ni	di/Ni
0.0	0.0	0	0.000
1.5	1.5	10	0.150
3.0	1.5	11	0.136
4.5	1.5	12	0.125
6.0	1.5	19	0.079
7.5	1.5	34	0.044
9.0	1.5	41	0.037
10.5	1.5	34	0.044
12.0	1.5	22	0.068
13.5	1.5	30	0.050
15.0	1.5	80	0.019
16.5	1.5	59	0.025
18.0	1.5	80	0.019
19.5	1.5	25	0.060
21.0	1.5	27	0.056
22.5	1.5	28	0.054
24.0	1.5	27	0.056
25.5	1.5	31	0.048
27.0	1.5	56	0.027
28.5	1.5	80	0.019
30.0	1.5	80	0.019
Jumlah	30.0	786	1.134

$$N_{\text{rata-rata}} = \Sigma di / \Sigma di/Ni$$

$$= 30 / 1.134 = \mathbf{26.465} \rightarrow \text{Tanah Sedang } (S_D)$$

- **Titik bor B-2**

Tabel 4.19 *Perhitungan untuk Klasifikasi Situs Titik Bor B-2*

Kedalaman (m)	Tebal lapisan (m)	N-SPT	
zi	di	Ni	di/Ni
0.0	0.0	0	0.000
1.5	1.5	15	0.100
3.0	1.5	8	0.188
4.5	1.5	10	0.150
6.0	1.5	9	0.167
7.5	1.5	16	0.094
9.0	1.5	23	0.065
10.5	1.5	80	0.019
12.0	1.5	37	0.041
13.5	1.5	48	0.031
15.0	1.5	80	0.019
16.5	1.5	80	0.019
18.0	1.5	46	0.033
19.5	1.5	43	0.035
21.0	1.5	59	0.025
22.5	1.5	47	0.032
24.0	1.5	43	0.035
25.5	1.5	38	0.039
27.0	1.5	42	0.036
28.5	1.5	46	0.033
30.0	1.5	52	0.029
Jumlah	30.0	822	1.188

$$N_{\text{rata-rata}} = \Sigma di / \Sigma di/Ni$$

$$= 30 / 1.188 = 25.262 \rightarrow \text{Tanah Sedang } (S_D)$$

- **Titik bor B-3**

Tabel 4.20 Perhitungan untuk Klasifikasi Situs Titik Bor B-3

Kedalaman (m)	Tebal lapisan (m)	N-SPT	
zi	di	Ni	di/Ni
0.0	0.0	0	0.000
1.5	1.5	5	0.300
3.0	1.5	8	0.188
4.5	1.5	9	0.167
6.0	1.5	12	0.125
7.5	1.5	15	0.100
9.0	1.5	17	0.088
10.5	1.5	21	0.071
12.0	1.5	24	0.063
13.5	1.5	42	0.036
15.0	1.5	43	0.035
16.5	1.5	35	0.043
18.0	1.5	49	0.031
19.5	1.5	42	0.036
21.0	1.5	43	0.035
22.5	1.5	56	0.027
24.0	1.5	59	0.025
25.5	1.5	80	0.019
27.0	1.5	80	0.019
28.5	1.5	80	0.019
30.0	1.5	80	0.019
Jumlah	30.0	800	1.443

$$N_{\text{rata-rata}} = \Sigma di / \Sigma di/Ni$$

$$= 30 / 1.443 = \mathbf{20.787} \rightarrow \text{Tanah Sedang } (S_D)$$

- **Titik bor B-4**

Tabel 4.21 *Perhitungan untuk Klasifikasi Situs Titik Bor B-4*

Kedalaman (m)	Tebal lapisan (m)	N-SPT	
zi	di	Ni	di/Ni
0.0	0.0	0	0.000
1.5	1.5	15	0.100
3.0	1.5	16	0.094
4.5	1.5	18	0.083
6.0	1.5	20	0.075
7.5	1.5	24	0.063
9.0	1.5	45	0.033
10.5	1.5	50	0.030
12.0	1.5	50	0.030
13.5	1.5	55	0.027
15.0	1.5	40	0.038
16.5	1.5	45	0.033
18.0	1.5	55	0.027
19.5	1.5	60	0.025
21.0	1.5	45	0.033
22.5	1.5	45	0.033
24.0	1.5	80	0.019
25.5	1.5	80	0.019
27.0	1.5	80	0.019
28.5	1.5	80	0.019
30.0	1.5	80	0.019
Jumlah	30.0	983	0.819

$$N_{\text{rata-rata}} = \Sigma di / \Sigma di/Ni$$

$$= 30 / 0.819 = \mathbf{36.643} \rightarrow \text{Tanah Sedang } (S_D)$$

Dari empat tabel diatas, dihitung nilai tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata ($N_{\text{rata-rata}}$) sehingga dapat ditentukan klasifikasi situs pada masing-masing titik bor. Hasil perhitungan $N_{\text{rata-rata}}$ adalah sebagai berikut :

Tabel 4.22 Rekapitulasi Penentuan Klasifikasi Situs

Titik bor	Σdi	$\Sigma di/Ni$	$N_{rata-rata}$	Klasifikasi Situs
Titik bor B-1	30	1.134	26.465	Tanah Sedang (S_D)
Titik bor B-2	30	1.188	25.262	Tanah Sedang (S_D)
Titik bor B-3	30	1.443	20.787	Tanah Sedang (S_D)
Titik bor B-4	30	0.819	36.643	Tanah Sedang (S_D)

Karena secara keseluruhan titik bor memiliki nilai tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata ($N_{rata-rata}$), $15 < N_{rata-rata} < 50$, maka situs Gedung Pendidikan Bersama Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya tersebut dapat diklasifikasikan menjadi Tanah Sedang (S_D).

4.4.2 Perhitungan Desain Respon Spektrum Kota Malang

Dalam perhitungan Desain Respon Spektrum berdasarkan SNI 1726:2012 diperlukan koefisien-koefisien yang digunakan untuk membuat grafik Respon Spektrum Rencana. Koefisien-koefisien tersebut didapat melalui prosedur yang telah disebutkan pada subbab 2.8.1, dimana koefisien-koefisien tersebut adalah sebagai berikut:

1. $S_s = 0,75$ dan $S_1 = 0,35$

2. Kelas situs : Tanah sedang (SD)

3. Nilai F_a kelas situs :

- Tanah sedang (SD) $F_a = 1,2$

Nilai F_v kelas situs :

- Tanah sedang (SD) $F_v = 1,7$

4. Nilai S_{MS}

- Tanah sedang (SD) $S_{MS} = F_a \cdot S_s = 1,2 \times 0,75 = 0,9$

Nilai S_{M1}

- Tanah sedang (SD) $S_{M1} = F_v \cdot S_1 = 1,7 \times 0,35 = 0,595$

5. Nilai S_{DS} :

- Tanah sedang (SD) $S_{DS} = 0,6$

Nilai S_{D1} :

- Tanah sedang (SD) $S_{D1} = 0,397$

6. Nilai T_0 :

- Tanah sedang (SD) $T_0 = 0,1323$

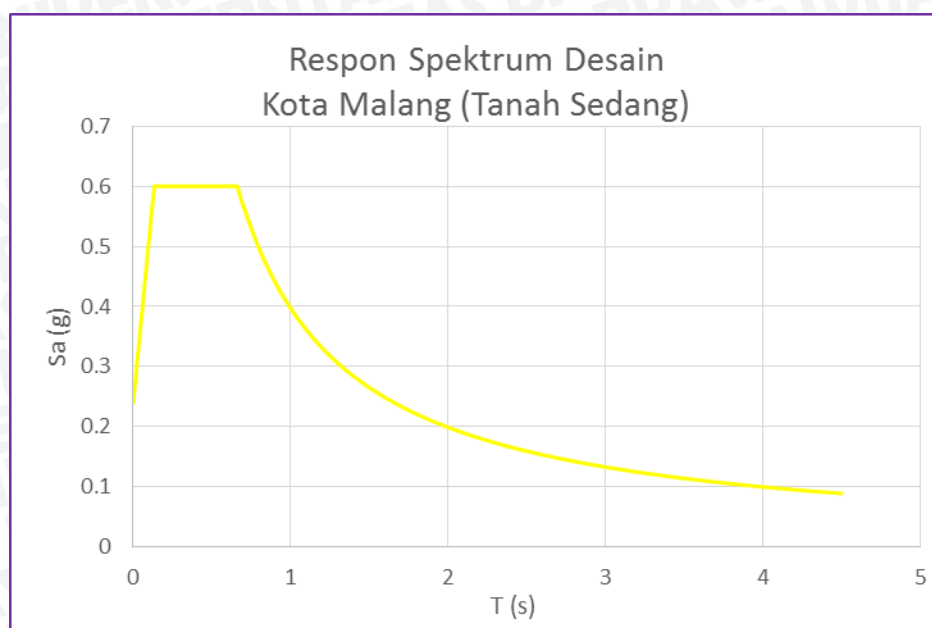
Nilai T_1 :

- Tanah sedang (SD) $T_0 = 0,6617$

Berdasarkan koefisien diatas dapat dibuat grafik Respon Spektrum Rencana sebagai berikut:

Tabel 4.23 *Periode dan Geser Dasar Seismik*

T (s)	Sa (g)	T (s)	Sa (g)	T (s)	Sa (g)
0.00	0.240	1.30	0.305	3.30	0.120
0.01	0.267	1.40	0.283	3.40	0.117
0.03	0.308	1.50	0.264	3.50	0.113
0.04	0.349	1.60	0.248	3.60	0.110
0.06	0.390	1.70	0.233	3.70	0.107
0.07	0.431	1.80	0.220	3.80	0.104
0.09	0.471	1.90	0.209	3.90	0.102
0.13	0.600	2.00	0.198	4.00	0.099
0.13	0.600	2.10	0.189	4.10	0.097
0.15	0.600	2.20	0.180	4.20	0.094
0.30	0.600	2.30	0.172	4.30	0.092
0.60	0.600	2.40	0.165	4.40	0.090
0.66	0.600	2.50	0.159	4.50	0.088
0.66	0.600	2.60	0.153	4.60	0.086
0.70	0.567	2.70	0.147	4.70	0.084
0.80	0.496	2.80	0.142	4.80	0.083
0.90	0.441	2.90	0.137	4.90	0.081
1.00	0.397	3.00	0.132	5.00	0.079
1.10	0.361	3.10	0.128	5.10	0.078
1.20	0.331	3.20	0.124		



Gambar 4.25 Respon Spektrum Desain Kota Malang

4.4.3 Respon Spektrum Elastis Teredam 5%

Untuk mengubah respon spektrum desain menjadi respon spektrum elastis teredam 5% dapat dilakukan dengan mengkonversi format dari respon spektrum dari *standard format response spectrum* menjadi *ADRS format response spectrum*. Yaitu dengan mengubah satuan periode, T (s) menjadi *spectral displacement*, S_d (m). Sehingga diperoleh respon spektrum elastis teredam 5%, seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 4.24 Respon Spektrum Elastis Tereadam 5% untuk Tanah Sedang (S_D)

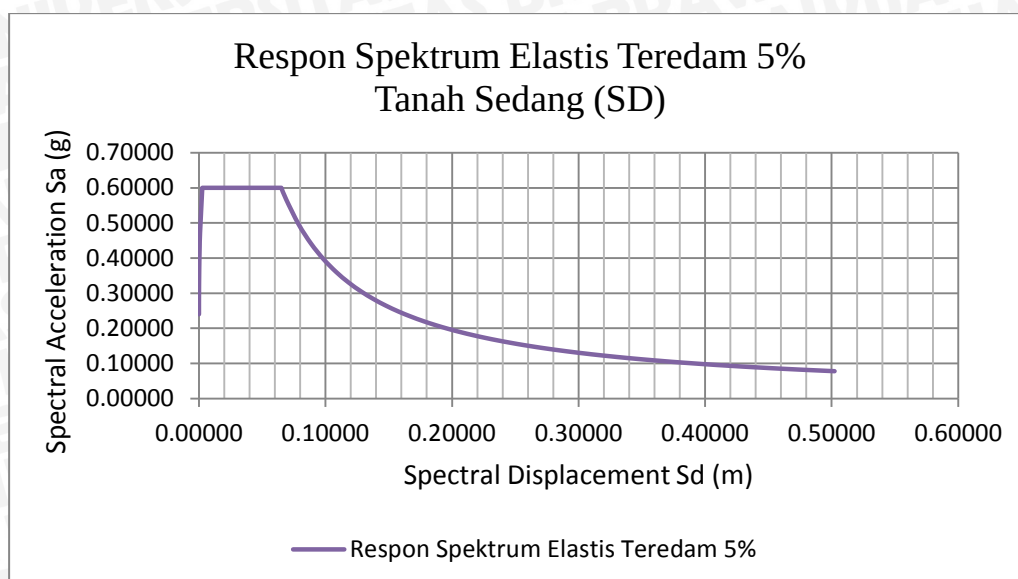
Respon Spektrum Elastis Tereadam 5 %								
T (s)	Sa (g)	Sd (g)	T (s)	Sa (g)	Sd (g)	T (s)	Sa (g)	Sd (g)
0.00	0.24	0.00	1.30	0.30513	0.12804	3.30	0.12020	0.32501
0.01	0.26723	0.00001	1.40	0.28333	0.13788	3.40	0.11667	0.33486
0.03	0.30807	0.00005	1.50	0.26444	0.14773	3.50	0.11333	0.34471
0.04	0.34891	0.00014	1.60	0.24792	0.15758	3.60	0.11019	0.35456
0.06	0.38975	0.00029	1.70	0.23333	0.16743	3.70	0.10721	0.36441
0.07	0.43059	0.00052	1.80	0.22037	0.17728	3.80	0.10439	0.37426
0.09	0.47143	0.00085	1.90	0.20877	0.18713	3.90	0.10171	0.38411
0.13	0.60000	0.00260	2.00	0.19833	0.19698	4.00	0.09917	0.39395
0.13	0.60000	0.00260	2.10	0.18889	0.20683	4.10	0.09675	0.40380
0.15	0.60000	0.00335	2.20	0.18030	0.21667	4.20	0.09444	0.41365
0.30	0.60000	0.01341	2.30	0.17246	0.22652	4.30	0.09225	0.42350
0.60	0.60000	0.05363	2.40	0.16528	0.23637	4.40	0.09015	0.43335
0.66	0.60000	0.06511	2.50	0.15867	0.24622	4.50	0.08815	0.44320
0.66	0.60000	0.06511	2.60	0.15256	0.25607	4.60	0.08623	0.45305
0.70	0.56667	0.06894	2.70	0.14691	0.26592	4.70	0.08440	0.46290
0.80	0.49583	0.07879	2.80	0.14167	0.27577	4.80	0.08264	0.47274
0.90	0.44074	0.08864	2.90	0.13678	0.28562	4.90	0.08095	0.48259
1.00	0.39667	0.09849	3.00	0.13222	0.29547	5.00	0.07933	0.49244
1.10	0.36061	0.10834	3.10	0.12796	0.30531	5.10	0.07778	0.50229
1.20	0.33056	0.11819	3.20	0.12396	0.31516			

Contoh perhitungan untuk $T = 0.01$ s :

$$Sd_i = \left(\frac{T_i}{2\pi}\right)^2 \times Sa_i \times g$$

$$Sd_i = \left(\frac{0.01}{2\left(\frac{22}{7}\right)}\right)^2 \times 0,26723 \times 9,81$$

$$Sd_i = 0.00001 \text{ g}$$



Gambar 4.26 Respon Spektrum Elastis Tereadam 5% Tanah Sedang

4.5 Analisis Statik Non-Linier Pushover Berdasarkan ATC-40

4.5.1 Analisis Statik Non-Linier Pushover Berdasarkan Metode Spektrum Kapasitas Prosedur A - ATC 40

4.5.1.1 Titik Kinerja Struktur Asli dengan Dilatasi Struktur (OD)

Konversi kurva kapasitas menjadi spektrum kapasitas dengan menggunakan faktor partisipasi modal (PF_1) dan koefisien massa modal (α_1) untuk *mode shape* pertama. Faktor partisipasi modal (PF_1) digunakan untuk mengubah *base force* (kg) menjadi *spectral acceleration*, S_a (g) pada ordinat y, sedangkan koefisien massa modal (α_1) digunakan untuk mengubah *displacement* (m) menjadi *spectral displacement* (m) pada ordinat x dari spektrum kapasitas.

Tabel 4.25 Parameter Spektrum Kapasitas Struktur OD

PF_1	969,5392
ϕ_{roof1}	0,0015
$PF_1\phi_{roof1}$	1,4543
α_1	0,7512
W	20.824.567

Tabel 4.26 Spektrum Kapasitas Struktur OD

Step	Displacement (Δ_{roof})	Base Force (V)	Sa	Sd
	m	Kgf	g	m
0	-0.000864	0	0	-0.000594
1	0.047961	1222999	0.07818	0.0329786
2	0.087079	2002480	0.12802	0.0598766
3	0.156099	2733996	0.17478	0.1073355
4	0.209004	3031609	0.19381	0.1437136
5	0.311171	3336053	0.21327	0.2139649
6	0.413338	3595405	0.22985	0.2842161
7	0.515504	3836610	0.24527	0.3544667
8	0.617671	4064191	0.25982	0.4247179
9	0.694296	4201380	0.26859	0.4774062
10	0.726136	4248757	0.27162	0.4992997

Contoh perhitungan untuk Step 10 :

$$S a_i = \frac{V_i / W}{\alpha_1}$$

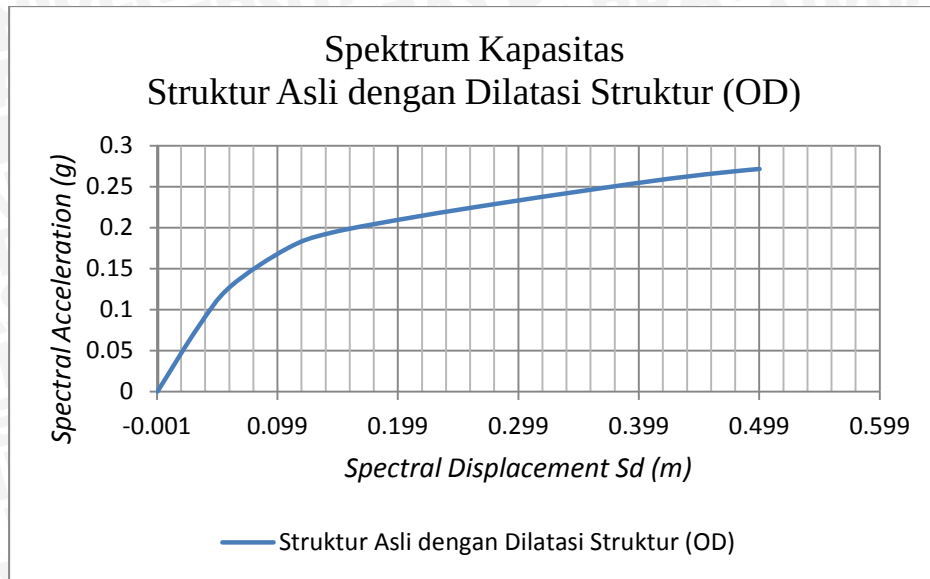
$$S a_i = \frac{4.249.757 / 20.824.567}{0,7512}$$

$$S a_i = 0.27162 \text{ g}$$

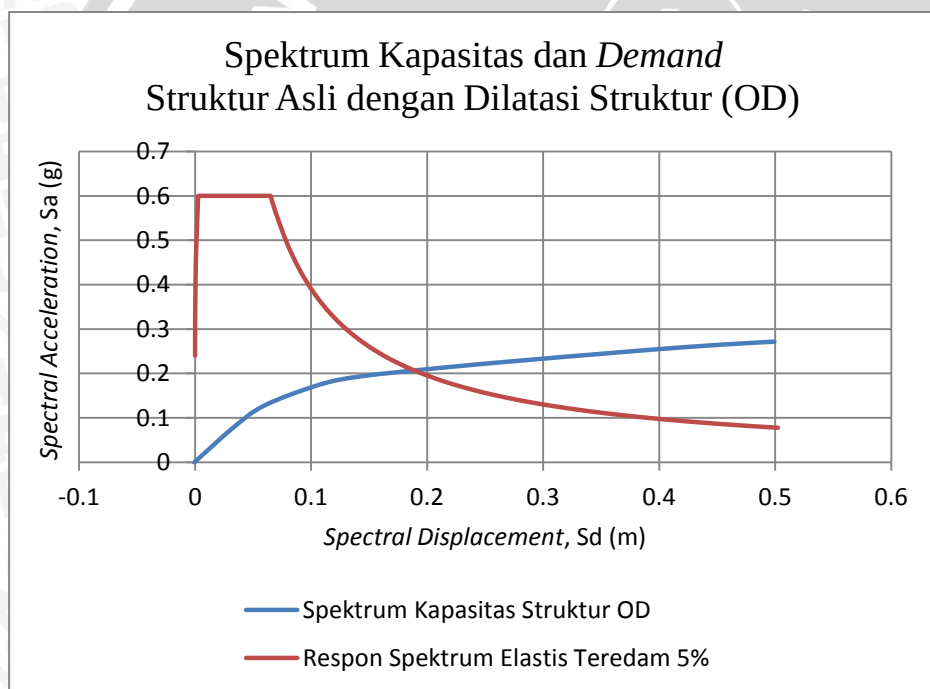
$$S d_i = \frac{\Delta_{roof}}{P F_1 \times \phi_{1,roof}}$$

$$S d_i = \frac{0,726136}{969,5392 \times 0,0015}$$

$$S d_i = 0.4993 \text{ m}$$



Gambar 4.27 Spektrum Kapasitas Struktur Asli dengan Dilatasi (OD)



Gambar 4.28 Spektrum Kapasitas dan Demand Struktur Asli dengan Dilatasi (OD)

Tentukan titik kinerja percobaan, a_{pi} , d_{pi} . Dicoba dengan mengambil titik kinerja :

$$a_{pi} = 0.158$$

$$d_{pi} = 0.09$$

Buatlah representasi bilinear dari spektrum kapasitas dengan garis hitam seperti pada Gambar 4.29. Sehingga didapatkan titik kekakuan awal (*initial stiffness*):

$$a_y = 0.179$$

$$d_y = 0.078$$

Faktor reduksi spektral dihitung sesuai dengan ketentuan pada subbab 2.7.2 yang digambarkan dengan Kurva *Demand* Struktur OD pada Gambar 4.29. Mengenai tipe perilaku struktur, berdasarkan Tabel 2.3, Gedung Pendidikan Bersama FKUB dikategorikan menjadi *Type B* untuk bangunan baru dengan durasi getaran relatif panjang. Perhitungan faktor reduksi spektral sebagai berikut :

$$E_D = 4 \times (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})$$

$$E_D = 4 \times (0,179 \cdot 0,09 - 0,078 \cdot 0,158)$$

$$E_D = \mathbf{0.0151}$$

$$E_{SO} = \frac{a_{pi} \cdot d_{pi}}{2}$$

$$E_{SO} = \frac{0,158 \cdot 0,09}{2}$$

$$E_{SO} = \mathbf{0.0071}$$

$$\beta_0 = \frac{63,7 (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} \cdot d_{pi}}$$

$$\beta_0 = \frac{63,7 (0,179 \cdot 0,09 - 0,078 \cdot 0,158)}{0,158 \cdot 0,09}$$

$$\beta_0 = \mathbf{16,9598}$$

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eq} = \mathbf{21,9598}$$

Sesuai dengan Tabel 2.1 tentang faktor modifikasi redaman (K), apabila untuk tipe perilaku struktur B dengan nilai $\beta_0 \leq 25$, maka diambil nilai :

$$K = \mathbf{0.67}$$

$$\beta_{eff} = K \cdot \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eff} = 0,67 \cdot 16,9598 + 5$$

$$\beta_{eff} = \mathbf{16,36306}$$

$$S_{RA} = \frac{3,21 - 0,68 \ln \beta_{eff}}{2,12}$$

$$S_{RA} = \frac{3,21 - 0,68 \ln 16,36306}{2,12}$$

$$S_{RA} = \mathbf{0.617633} \geq \mathbf{0.44} \text{ (Tabel 2.2) (OK)}$$

$$SR_A = \frac{2,31 - 0,41 \ln \beta_{eff}}{1,65}$$

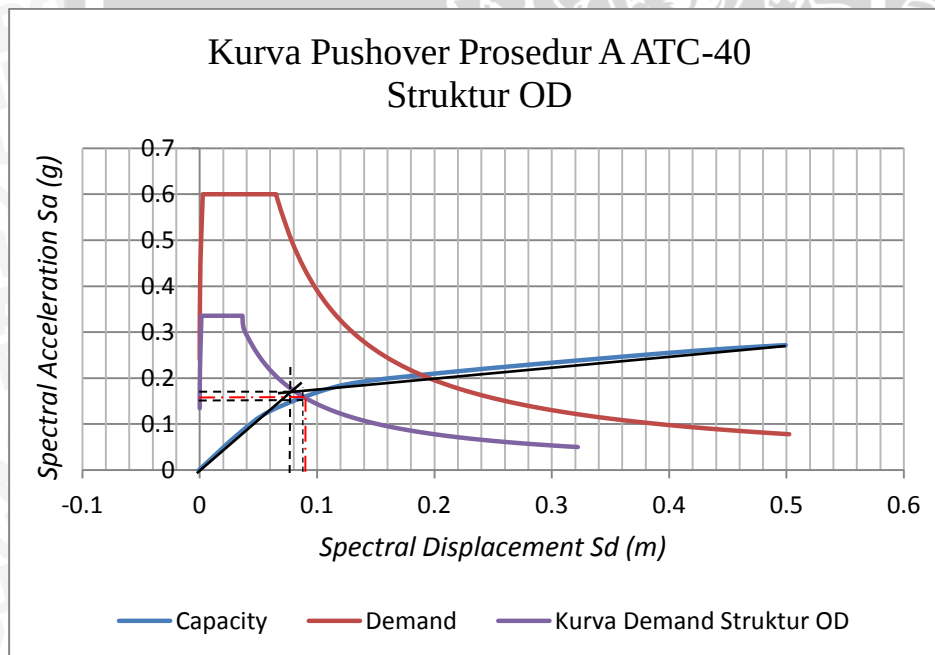
$$SR_A = \frac{2,31 - 0,41 \ln 16,36306}{1,65}$$

$$SR_A = 0.705478 \geq 0.56 \text{ (Tabel 2.2) (OK)}$$

Pastikan bahwa spektrum *demand* berpotongan dengan spektrum kapasitas pada titik kinerja percobaan, a_{pi} , d_{pi} , atau *displacement* dimana spektrum *demand* berpotongan dengan spektrum kapasitas, d_i , masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, yaitu $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi}$. Dalam kasus ini, titik kinerja percobaan, a_{pi} , d_{pi} , masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, yaitu $0,0855 \leq 0,093 \leq 0,0945$, sehingga :

$$a_p = 0.16$$

$$d_p = 0.093$$



Gambar 4.29 Titik Kinerja Struktur Asli dengan Dilatasi (OD)

4.5.1.2 Titik Kinerja Struktur Asli Tanpa Dilatasi Struktur (OND)

Konversi kurva kapasitas menjadi spektrum kapasitas dengan menggunakan faktor partisipasi modal (PF_1) dan koefisien massa modal (α_1) untuk *mode shape* pertama. Faktor partisipasi modal (PF_1) digunakan untuk mengubah *base force* (kg) menjadi *spectral acceleration*, S_a (g) pada ordinat y, sedangkan koefisien massa modal (α_1) digunakan untuk mengubah *displacement* (m) menjadi *spectral displacement* (m) pada ordinat x dari spektrum kapasitas.

Tabel 4.27 Parameter Spektrum Kapasitas Struktur OND

PF_1	965,7519
ϕ_{roof_1}	0,0015
$PF_1\phi_{roof_1}$	1,4486
α_1	0,7553
W	20.097.223

Tabel 4.28 Spektrum Kapasitas Struktur OND

Step	Displacement (Δ_{roof})	Base Force (V)	S_a	S_d
	m	Kgf	g	m
0	-0.000468	0	0	-0.000323
1	0.047588	1180297.14	0.07775	0.0328504
2	0.120837	2459118.57	0.162	0.0834148
3	0.176309	2926590.48	0.19279	0.1217076
4	0.29454	3303710.03	0.21763	0.2033234
5	0.36724	3495636.87	0.23028	0.2535089
6	0.43994	3674560.7	0.24206	0.3036943
7	0.521727	3868277.74	0.25482	0.3601525
8	0.603515	4037377.88	0.26596	0.4166115
9	0.676215	4147688.28	0.27323	0.4667969
10	0.726532	4208891.78	0.27726	0.5015312

Contoh perhitungan untuk Step 10 :

$$S_{a_i} = \frac{V_i/W}{\alpha_1}$$

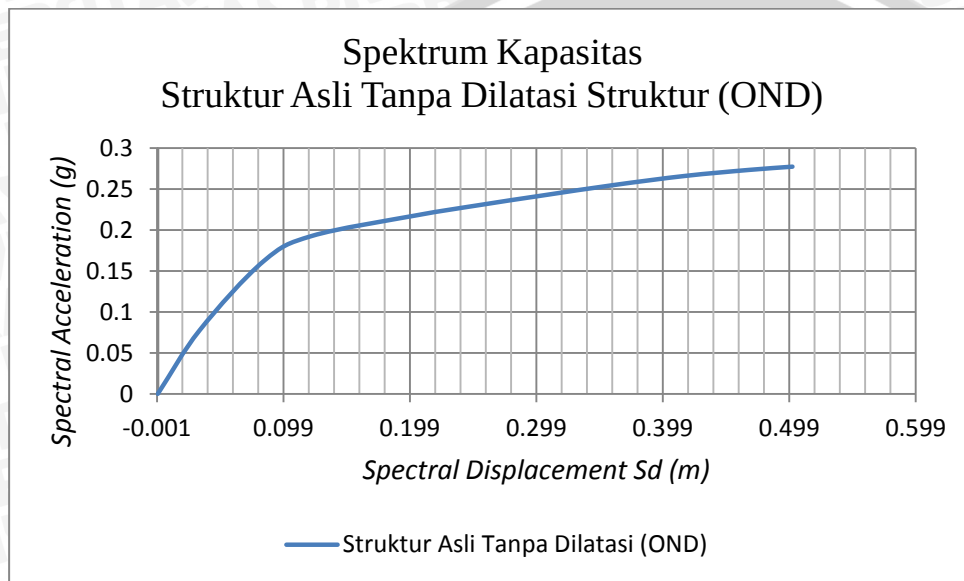
$$S_{a_i} = \frac{4.208.891,78/20.097.233}{0,7553}$$

$$Sa_i = 0.27726 \text{ g}$$

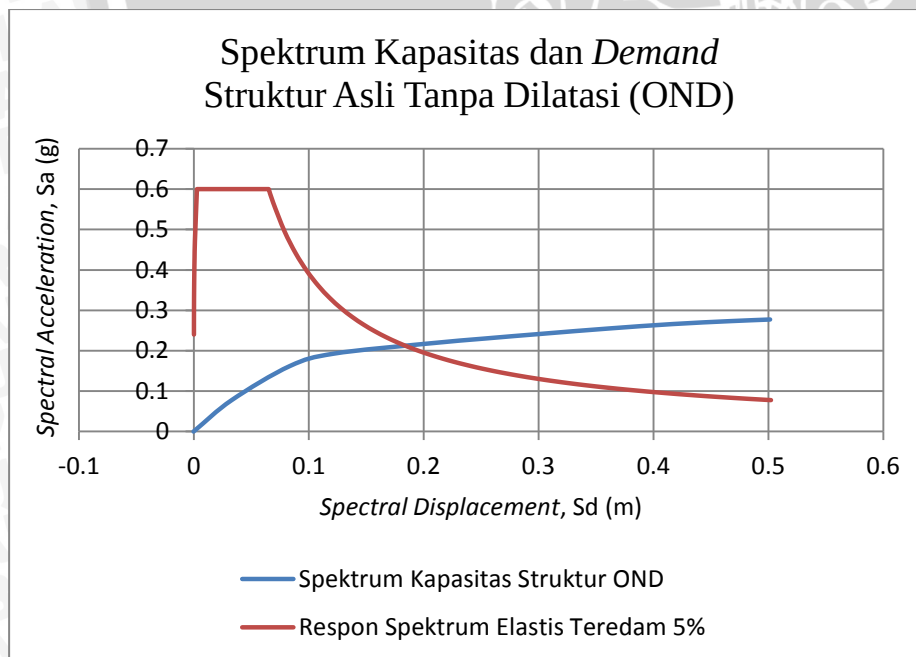
$$Sd_i = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \times \phi_{1,roof}}$$

$$Sd_i = \frac{0.726532}{965,7519 \times 0,0015}$$

$$Sd_i = 0.50153 \text{ m}$$



Gambar 4.30 Spektrum Kapasitas Struktur Asli Tanpa Dilatasi (OND)



Gambar 4.31 Spektrum Kapasitas dan Demand Struktur Asli Tanpa Dilatasi (OND)

Tentukan titik kinerja percobaan, a_{pi} , d_{pi} . Dicoba dengan mengambil titik kinerja :

$$a_{pi} = 0.16$$

$$d_{pi} = 0.09$$

Buatlah representasi bilinear dari spektrum kapasitas dengan garis hitam seperti pada Gambar 4.32. Sehingga didapatkan titik kekakuan awal (*initial stiffness*):

$$a_y = 0.18$$

$$d_y = 0.078$$

Faktor reduksi spektral dihitung sesuai dengan ketentuan pada subbab 2.7.2 yang digambarkan dengan Kurva *Demand Struktur* OND pada Gambar 4.32. Mengenai tipe perilaku struktur, berdasarkan Tabel 2.3, Gedung Pendidikan Bersama FKUB dikategorikan menjadi *Type B* untuk bangunan baru dengan durasi getaran relatif panjang.

Perhitungan faktor reduksi spektral sebagai berikut :

$$E_D = 4 \times (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})$$

$$E_D = 4 \times (0,18 \cdot 0,09 - 0,078 \cdot 0,16)$$

$$E_D = \mathbf{0.01491}$$

$$E_{SO} = \frac{a_{pi} \cdot d_{pi}}{2}$$

$$E_{SO} = \frac{0,16 \cdot 0,09}{2}$$

$$E_{SO} = \mathbf{0.0072}$$

$$\beta_0 = \frac{63,7 (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} \cdot d_{pi}}$$

$$\beta_0 = \frac{63,7 (0,18 \cdot 0,09 - 0,078 \cdot 0,16)}{0,16 \cdot 0,09}$$

$$\beta_0 = \mathbf{16,4558}$$

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eq} = \mathbf{21,4558}$$

Sesuai dengan Tabel 2.1 tentang faktor modifikasi redaman (K), apabila untuk tipe perilaku struktur B dengan nilai $\beta_0 \leq 25$, maka diambil nilai :

$$K = \mathbf{0.67}$$

$$\beta_{eff} = K \cdot \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eff} = 0,67 \cdot 16,4558 + 5$$

$$\beta_{eff} = \mathbf{16,0254}$$

$$SR_A = \frac{3,21 - 0,68 \ln \beta_{eff}}{2,12}$$

$$SR_A = \frac{3,21 - 0,68 \ln 16,0254}{2,12}$$

$$SR_A = 0.62432 \geq 0.44 \text{ (Tabel 2.2) (OK)}$$

$$SR_A = \frac{2,31 - 0,41 \ln \beta_{eff}}{1,65}$$

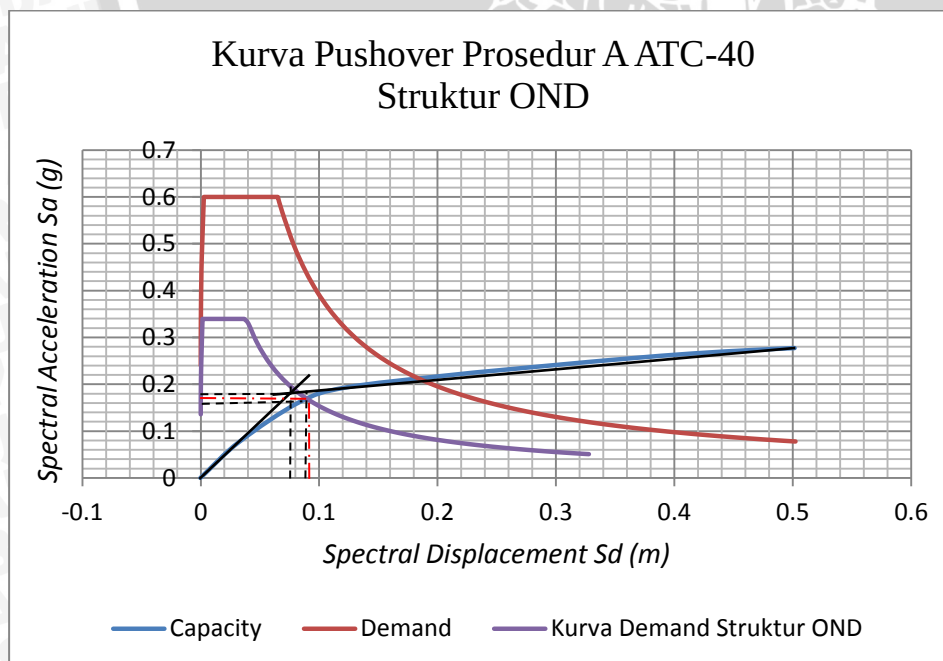
$$SR_A = \frac{2,31 - 0,41 \ln 16,0254}{1,65}$$

$$SR_A = 0.71066 \geq 0.56 \text{ (Tabel 2.2) (OK)}$$

Pastikan bahwa spektrum *demand* berpotongan dengan spektrum kapasitas pada titik kinerja percobaan, a_{pi} , d_{pi} , atau *displacement* dimana spektrum *demand* berpotongan dengan spektrum kapasitas, d_i , masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, yaitu $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi}$. Dalam kasus ini, titik kinerja percobaan, a_{pi} , d_{pi} , masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, yaitu $0,0855 \leq 0.094 \leq 0,0945$, sehingga :

$$a_p = 0.172$$

$$d_p = 0.094$$



Gambar 4.32 Titik Kinerja Struktur Asli Tanpa Dilatasi (OND)

4.5.1.3 Titik Kinerja Struktur Alternatif Tanpa Bresing (Tipe A)

Konversi kurva kapasitas menjadi spektrum kapasitas dengan menggunakan faktor partisipasi modal (PF_1) dan koefisien massa modal (α_1) untuk *mode shape* pertama. Faktor partisipasi modal (PF_1) digunakan untuk mengubah *base force* (kg) menjadi *spectral acceleration*, S_a (g) pada ordinat y, sedangkan koefisien massa modal (α_1) digunakan untuk mengubah *displacement* (m) menjadi *spectral displacement* (m) pada ordinat x dari spektrum kapasitas.

Tabel 4.29 Parameter Spektrum Kapasitas Struktur Tipe A

PF_1	967,6779
ϕ_{roof_1}	0,0015
$PF_1\phi_{roof_1}$	1,4515
α_1	0,7522
W	20.269.255

Tabel 4.30 Spektrum Kapasitas Struktur Tipe A

Step	Displacement (Δ_{roof})	Base Force (V)	S_a	S_d
	m	Kgf	g	m
0	-0.000467	0	0	-0.000322
1	0.050146	1284760.7	0.08427	0.0345473
2	0.123674	2594904.3	0.1702	0.0852033
3	0.177951	3087477.7	0.2025	0.1225966
4	0.206931	3241972.4	0.21264	0.1425619
5	0.339821	3651143.4	0.23947	0.2341144
6	0.412521	3845099.1	0.25219	0.2841999
7	0.494309	4060259.6	0.26631	0.3405465
8	0.576096	4262133.6	0.27955	0.3968924
9	0.651068	4420201.9	0.28991	0.4485432
10	0.724015	4543642.7	0.29801	0.4987989
11	0.726533	4547430.2	0.29826	0.5005336

Contoh perhitungan untuk Step 11 :

$$S a_i = \frac{V_i / W}{\alpha_1}$$

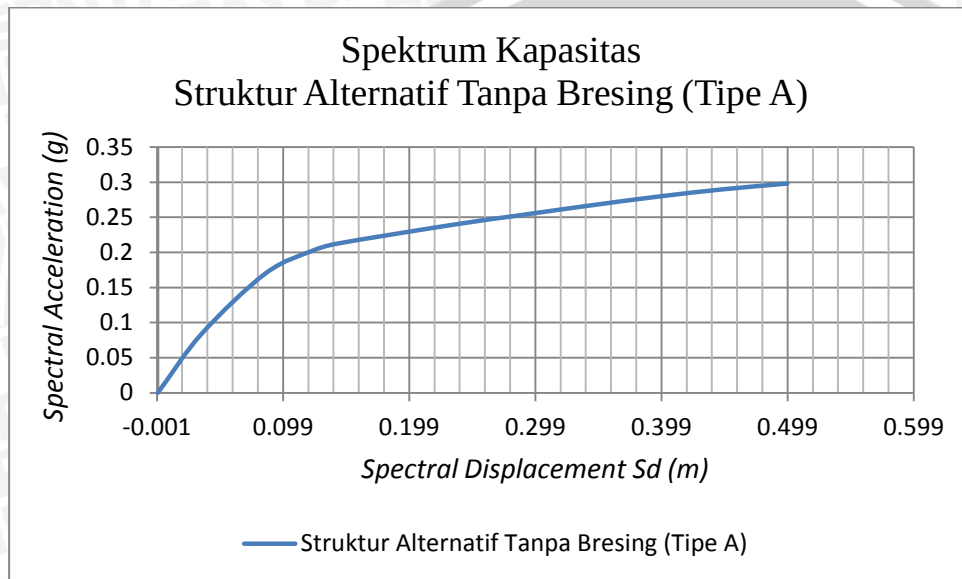
$$S a_i = \frac{4.547.430,2 / 20.269.255}{0,7522}$$

$$Sa_i = 0.29826 \text{ g}$$

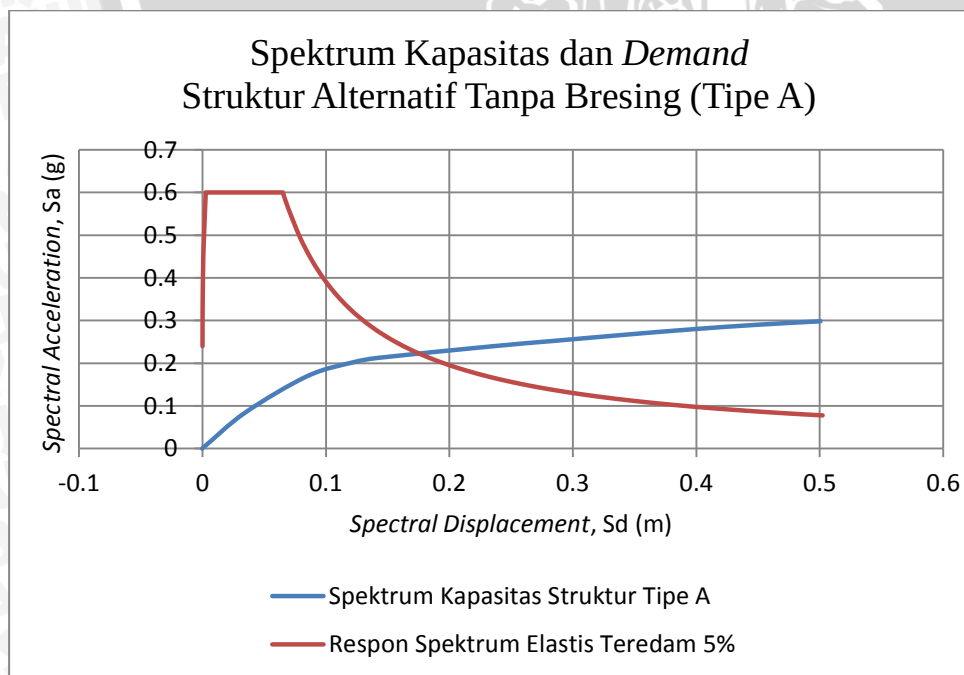
$$Sd_i = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \times \phi_{1,roof}}$$

$$Sd_i = \frac{0,726533}{967,6779 \times 0,0015}$$

$$Sd_i = 0.50053 \text{ m}$$



Gambar 4.33 Spektrum Kapasitas Struktur Alternatif Tanpa Bresing (Tipe A)



Gambar 4.34 Spektrum Kapasitas dan Demand Struktur Alternatif Tanpa Bresing (Tipe A)

Tentukan titik kinerja percobaan, a_{pi} , d_{pi} . Dicoba dengan mengambil titik kinerja :

$$a_{pi} = 0.18$$

$$d_{pi} = 0.098$$

Buatlah representasi bilinear dari spektrum kapasitas dengan garis hitam seperti pada Gambar 4.35. Sehingga didapatkan titik kekakuan awal (*initial stiffness*):

$$a_y = 0.188$$

$$d_y = 0.079$$

Faktor reduksi spektral dihitung sesuai dengan ketentuan pada subbab 2.7.2 yang digambarkan dengan Kurva *Demand Struktur Tipe A* pada Gambar 4.35. Mengenai tipe perilaku struktur, berdasarkan Tabel 2.3, Gedung Pendidikan Bersama FKUB dikategorikan menjadi *Type B* untuk bangunan baru dengan durasi getaran relatif panjang.

Perhitungan faktor reduksi spektral sebagai berikut :

$$E_D = 4 \times (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})$$

$$E_D = 4 \times (0,188 \cdot 0,098 - 0,079 \cdot 0,18)$$

$$E_D = \mathbf{0.0168}$$

$$E_{SO} = \frac{a_{pi} \cdot d_{pi}}{2}$$

$$E_{SO} = \frac{0,18 \cdot 0,098}{2}$$

$$E_{SO} = \mathbf{0.00882}$$

$$\beta_0 = \frac{63,7 (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} \cdot d_{pi}}$$

$$\beta_0 = \frac{63,7 (0,188 \cdot 0,098 - 0,079 \cdot 0,18)}{0,18 \cdot 0,098}$$

$$\beta_0 = \mathbf{15,1811}$$

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eq} = \mathbf{20,1811}$$

Sesuai dengan Tabel 2.1 tentang faktor modifikasi redaman (K), apabila untuk tipe perilaku struktur B dengan nilai $\beta_0 \leq 25$, maka diambil nilai :

$$K = \mathbf{0.67}$$

$$\beta_{eff} = K \cdot \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eff} = 0,67 \cdot 15,1811 + 5$$

$$\beta_{eff} = \mathbf{15,17134}$$

$$SR_A = \frac{3,21 - 0,68 \ln \beta_{eff}}{2,12}$$

$$SR_A = \frac{3,21 - 0,68 \ln 15,17134}{2,12}$$

$$SR_A = 0.6419 \geq 0.44 \text{ (Tabel 2.2) (OK)}$$

$$SR_A = \frac{2,31 - 0,41 \ln \beta_{eff}}{1,65}$$

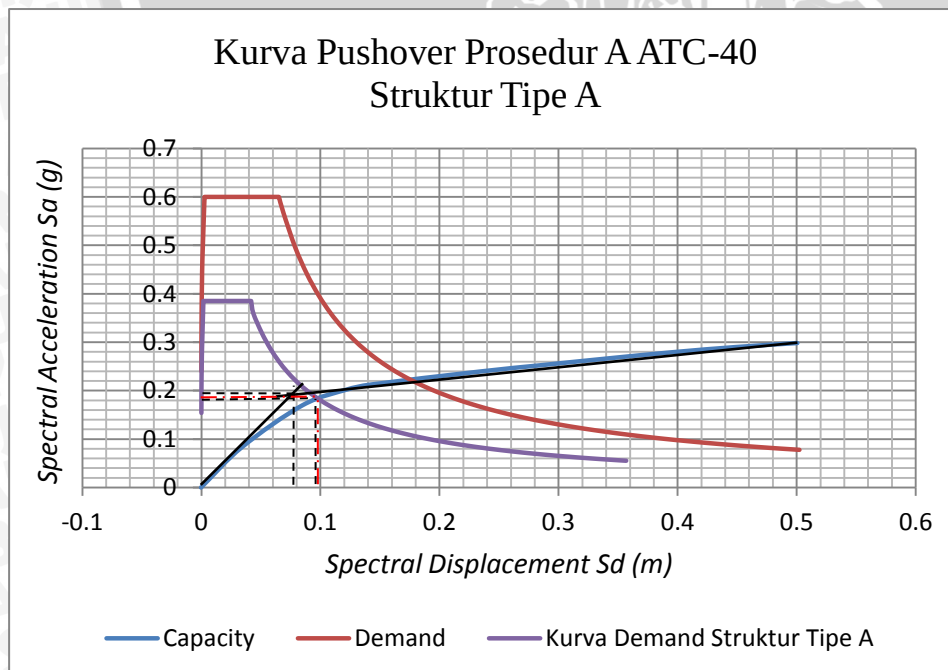
$$SR_A = \frac{2,31 - 0,41 \ln 15,17134}{1,65}$$

$$SR_A = 0.7243 \geq 0.56 \text{ (Tabel 2.2) (OK)}$$

Pastikan bahwa spektrum *demand* berpotongan dengan spektrum kapasitas pada titik kinerja percobaan, a_{pi} , d_{pi} , atau *displacement* dimana spektrum *demand* berpotongan dengan spektrum kapasitas, d_i , masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, yaitu $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi}$. Dalam kasus ini, titik kinerja percobaan, a_{pi} , d_{pi} , masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, yaitu $0,0931 \leq 0.099 \leq 0,1029$, sehingga :

$$a_p = 0.181$$

$$d_p = 0.099$$



Gambar 4.35 Titik Kinerja Struktur Alternatif Tanpa Bresing (Tipe A)

4.5.1.4 Titik Kinerja Struktur Alternatif dengan Single Brace (Tipe B)

Konversi kurva kapasitas menjadi spektrum kapasitas dengan menggunakan faktor partisipasi modal (PF_1) dan koefisien massa modal (α_1) untuk *mode shape* pertama. Faktor partisipasi modal (PF_1) digunakan untuk mengubah *base force* (kg) menjadi *spectral acceleration*, S_a (g) pada ordinat y, sedangkan koefisien massa modal (α_1) digunakan untuk mengubah *displacement* (m) menjadi *spectral displacement* (m) pada ordinat x dari spektrum kapasitas.

Tabel 4.31 Parameter Spektrum Kapasitas Struktur Tipe B

PF_1	967,6858
ϕ_{roof_1}	0,0015
$PF_1\phi_{roof_1}$	1,4515
α_1	0,7522
W	20.270.622

Tabel 4.32 Spektrum Kapasitas Struktur Tipe B

Step	Displacement (Δ_{roof})	Base Force (V)	S_a	S_d
	m	Kgf	g	m
0	-0.000439	0	0	-0.000302
1	0.049708	1301100.03	0.08533	0.0342453
2	0.123319	2674804.73	0.17542	0.084958
3	0.186913	3280576.47	0.21515	0.1287698
4	0.274943	3662124.22	0.24018	0.1894162
5	0.347643	3927934.78	0.25761	0.2395013
6	0.438518	4243262.06	0.27829	0.3021077
7	0.531665	4549532.41	0.29838	0.3662794
8	0.604365	4776665.13	0.31327	0.4163645
9	0.679337	4973768.52	0.3262	0.4680149
10	0.726561	5087051.36	0.33363	0.5005488

Contoh perhitungan untuk Step 10 :

$$S a_i = \frac{V_i / W}{\alpha_1}$$

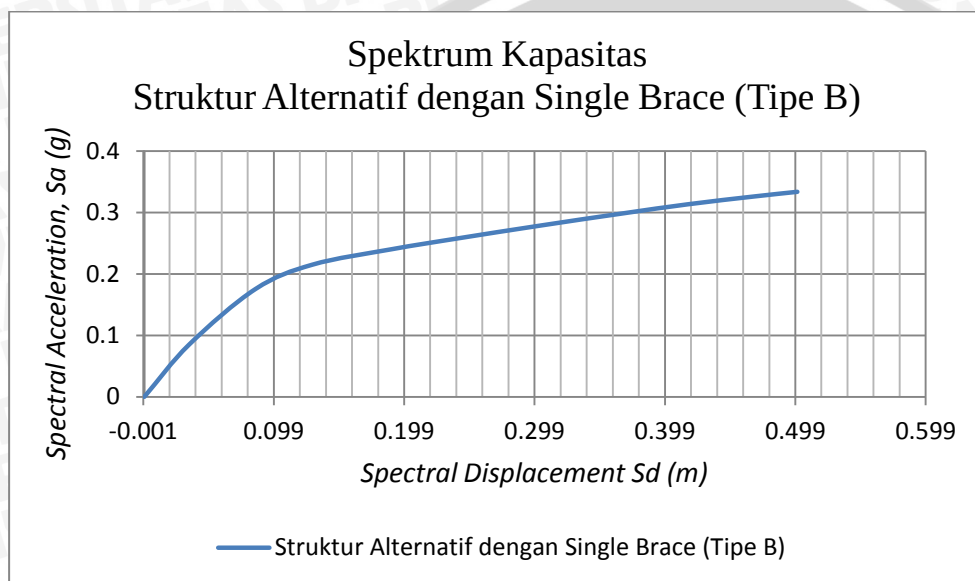
$$S a_i = \frac{5.087.051,36 / 20.270.622}{0,7522}$$

$$Sa_i = 0.33363 \text{ g}$$

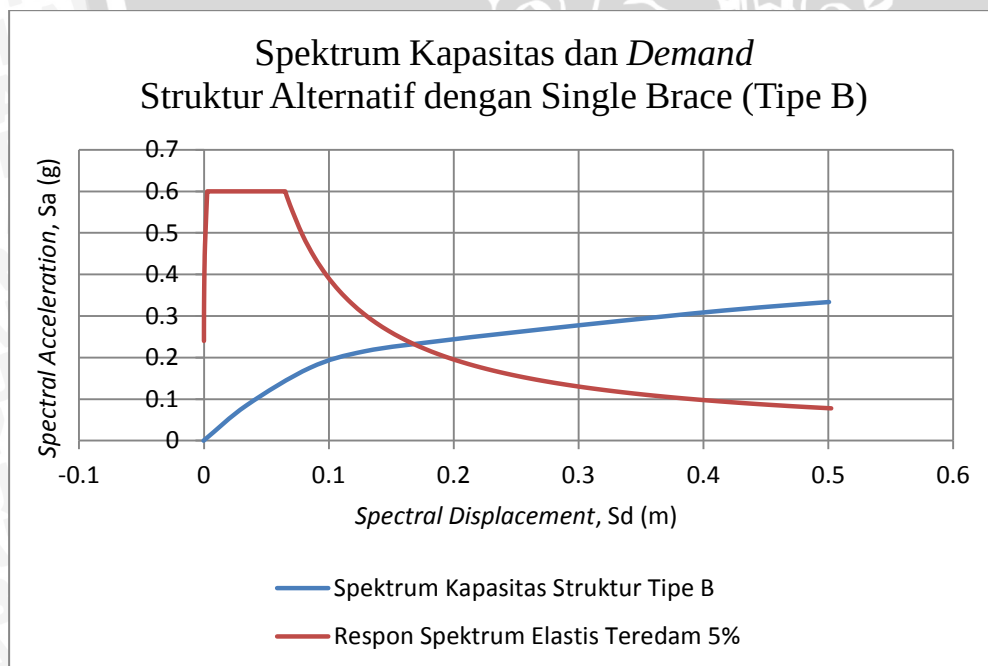
$$Sd_i = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \times \phi_{1,roof}}$$

$$Sd_i = \frac{0,726561}{967,6858 \times 0,0015}$$

$$Sd_i = 0.50055 \text{ m}$$



Gambar 4.36 Spektrum Kapasitas Struktur Alternatif dengan Single Brace (Tipe B)



Gambar 4.37 Spektrum Kapasitas dan Demand Struktur Alternatif dengan Single Brace (Tipe B)

Tentukan titik kinerja percobaan, a_{pi} , d_{pi} . Dicoba dengan mengambil titik kinerja :

$$a_{pi} = 0.198$$

$$d_{pi} = 0.1$$

Buatlah representasi bilinear dari spektrum kapasitas dengan garis hitam seperti pada Gambar 4.38. Sehingga didapatkan titik kekakuan awal (*initial stiffness*):

$$a_y = 0.2$$

$$d_y = 0.081$$

Faktor reduksi spektral dihitung sesuai dengan ketentuan pada subbab 2.7.2 yang digambarkan dengan Kurva *Demand Struktur Tipe B* pada Gambar 4.38. Mengenai tipe perilaku struktur, berdasarkan Tabel 2.3, Gedung Pendidikan Bersama FKUB dikategorikan menjadi *Type B* untuk bangunan baru dengan durasi getaran relatif panjang.

Perhitungan faktor reduksi spektral sebagai berikut :

$$E_D = 4 \times (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})$$

$$E_D = 4 \times (0,2 \cdot 0,1 - 0,081 \cdot 0,198)$$

$$E_D = \mathbf{0.01585}$$

$$E_{SO} = \frac{a_{pi} \cdot d_{pi}}{2}$$

$$E_{SO} = \frac{0,198 \cdot 0,1}{2}$$

$$E_{SO} = \mathbf{0.0099}$$

$$\beta_0 = \frac{63,7 (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} \cdot d_{pi}}$$

$$\beta_0 = \frac{63,7 (0,2 \cdot 0,1 - 0,081 \cdot 0,198)}{0,198 \cdot 0,1}$$

$$\beta_0 = \mathbf{12,7464}$$

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eq} = \mathbf{17,7464}$$

Sesuai dengan Tabel 2.1 tentang faktor modifikasi redaman (K), apabila untuk tipe perilaku struktur B dengan nilai $\beta_0 \leq 25$, maka diambil nilai :

$$K = \mathbf{0.67}$$

$$\beta_{eff} = K \cdot \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eff} = 0,67 \cdot 12,7464 + 5$$

$$\beta_{eff} = \mathbf{13,5401}$$

$$SR_A = \frac{3,21 - 0,68 \ln \beta_{eff}}{2,12}$$

$$SR_A = \frac{3,21 - 0,68 \ln 13,5401}{2,12}$$

$$SR_A = 0.6784 \geq 0.44 \text{ (Tabel 2.2) (OK)}$$

$$SR_A = \frac{2,31 - 0,41 \ln \beta_{eff}}{1,65}$$

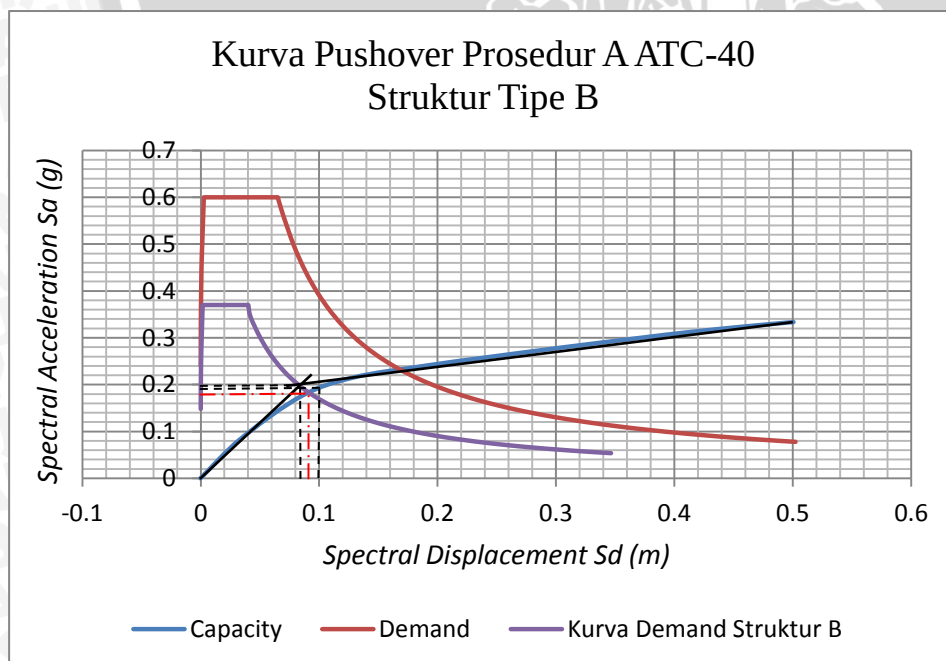
$$SR_A = \frac{2,31 - 0,41 \ln 13,5401}{1,65}$$

$$SR_A = 0.7525 \geq 0.56 \text{ (Tabel 2.2) (OK)}$$

Pastikan bahwa spektrum *demand* berpotongan dengan spektrum kapasitas pada titik kinerja percobaan, a_{pi} , d_{pi} , atau *displacement* dimana spektrum *demand* berpotongan dengan spektrum kapasitas, d_i , masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, yaitu $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi}$. Dalam kasus ini, titik kinerja percobaan, a_{pi} , d_{pi} , masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, yaitu $0,095 \leq 0,096 \leq 0,105$, sehingga :

$$a_p = 0.18$$

$$d_p = 0.096$$



Gambar 4.38 Titik Kinerja Struktur Alternatif dengan Single Brace (Tipe B)

4.5.1.5 Titik Kinerja Struktur Alternatif dengan X - Brace (Tipe C)

Konversi kurva kapasitas menjadi spektrum kapasitas dengan menggunakan faktor partisipasi modal (PF_1) dan koefisien massa modal (α_1) untuk *mode shape* pertama. Faktor partisipasi modal (PF_1) digunakan untuk mengubah *base force* (kg) menjadi *spectral acceleration*, S_a (g) pada ordinat y, sedangkan koefisien massa modal (α_1) digunakan untuk mengubah *displacement* (m) menjadi *spectral displacement* (m) pada ordinat x dari spektrum kapasitas.

Tabel 4.33 Parameter Spektrum Kapasitas Struktur Tipe C

PF_1	967,6937
ϕ_{roof_1}	0,0015
$PF_1\phi_{roof_1}$	1,4515
α_1	0,7522
W	20.271.989

Tabel 4.34 Spektrum Kapasitas Struktur Tipe C

Step	Displacement (Δ_{roof})	Base Force (V)	S_a	Sd
	m	Kgf	g	m
0	-0.000579	0	0	-0.000399
1	0.049399	1326872.42	0.08702	0.0340321
2	0.122812	2752344.31	0.1805	0.084608
3	0.182367	3376617.52	0.22144	0.1256369
4	0.269329	3820552.54	0.25055	0.185547
5	0.342029	4133811.47	0.27109	0.2356317
6	0.423817	4474760.7	0.29345	0.2919774
7	0.514692	4835957.04	0.31714	0.3545833
8	0.589663	5125919.88	0.33616	0.4062325
9	0.614654	5213923.97	0.34193	0.4234494

Contoh perhitungan untuk Step 9 :

$$S_{a_i} = \frac{V_i/W}{\alpha_1}$$

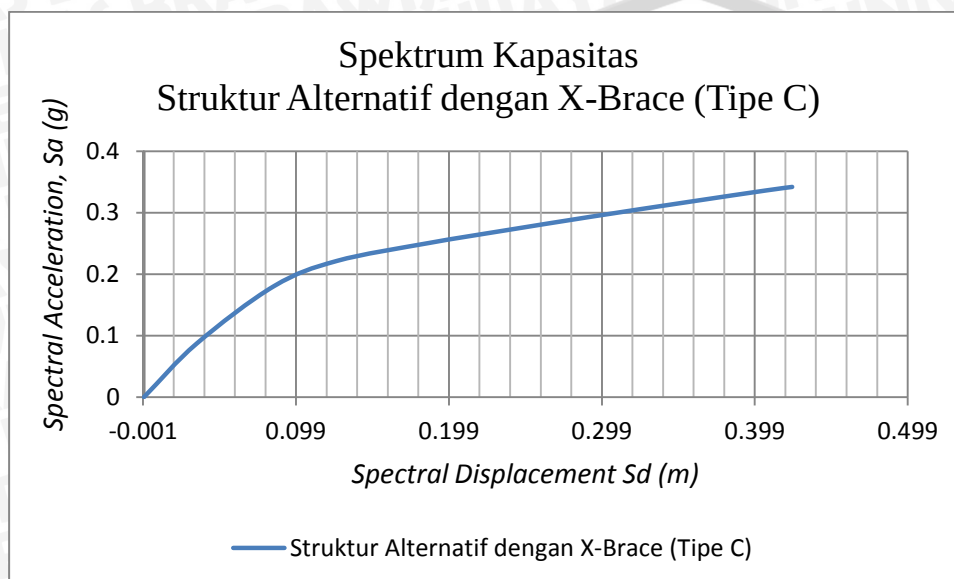
$$S_{a_i} = \frac{5.213.923,97/20.271.989}{0,7522}$$

$$S_{a_i} = 0.34193 \text{ g}$$

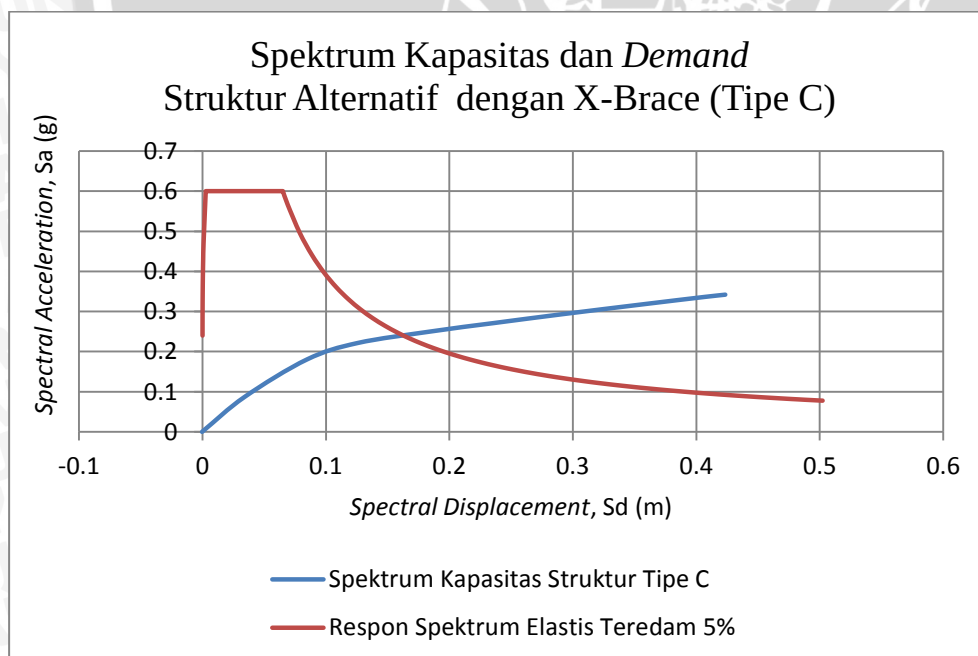
$$Sd_i = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \times \phi_{1,roof}}$$

$$Sd_i = \frac{0,614654}{967,6937 \times 0,0015}$$

$$Sd_i = 0.42345 \text{ m}$$



Gambar 4.39 Spektrum Kapasitas Struktur Alternatif dengan X- Brace (Tipe C)



Gambar 4.40 Kapasitas dan Demand Struktur Alternatif dengan X – Brace (Tipe C)

Tentukan titik kinerja percobaan, a_{pi} , d_{pi} . Dicoba dengan mengambil titik kinerja :

$$a_{pi} = 0.18$$

$$d_{pi} = 0.094$$

Buatlah representasi bilinear dari spektrum kapasitas dengan garis hitam seperti pada Gambar 4.41. Sehingga didapatkan titik kekakuan awal (*initial stiffness*):

$$a_y = 0.198$$

$$d_y = 0.078$$

Faktor reduksi spektral dihitung sesuai dengan ketentuan pada subbab 2.7.2 yang digambarkan dengan Kurva *Demand* Struktur Tipe C pada Gambar 4.41. Mengenai tipe perilaku struktur, berdasarkan Tabel 2.3, Gedung Pendidikan Bersama FKUB dikategorikan menjadi *Type B* untuk bangunan baru dengan durasi getaran relatif panjang. Perhitungan faktor reduksi spektral sebagai berikut :

$$E_D = 4 \times (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})$$

$$E_D = 4 \times (0,198 \cdot 0,094 - 0,078 \cdot 0,18)$$

$$E_D = \mathbf{0.01829}$$

$$E_{SO} = \frac{a_{pi} \cdot d_{pi}}{2}$$

$$E_{SO} = \frac{0,18 \cdot 0,094}{2}$$

$$E_{SO} = \mathbf{0.00846}$$

$$\beta_0 = \frac{63,7 (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} \cdot d_{pi}}$$

$$\beta_0 = \frac{63,7 (0,198 \cdot 0,094 - 0,078 \cdot 0,18)}{0,18 \cdot 0,094}$$

$$\beta_0 = \mathbf{17,2125}$$

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eq} = \mathbf{22,2125}$$

Sesuai dengan Tabel 2.1 tentang faktor modifikasi redaman (*K*), apabila untuk tipe perilaku struktur B dengan nilai $\beta_0 \leq 25$, maka diambil nilai :

$$K = \mathbf{0.67}$$

$$\beta_{eff} = K \cdot \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eff} = 0,67 \cdot 17,2125 + 5$$

$$\beta_{eff} = \mathbf{16,5324}$$

$$SR_A = \frac{3,21 - 0,68 \ln \beta_{eff}}{2,12}$$

$$SR_A = \frac{3,21 - 0,68 \ln 16,5324}{2,12}$$

$$SR_A = 0,61433 \geq 0,44 \text{ (Tabel 2.2) (OK)}$$

$$SR_A = \frac{2,31 - 0,41 \ln \beta_{eff}}{1,65}$$

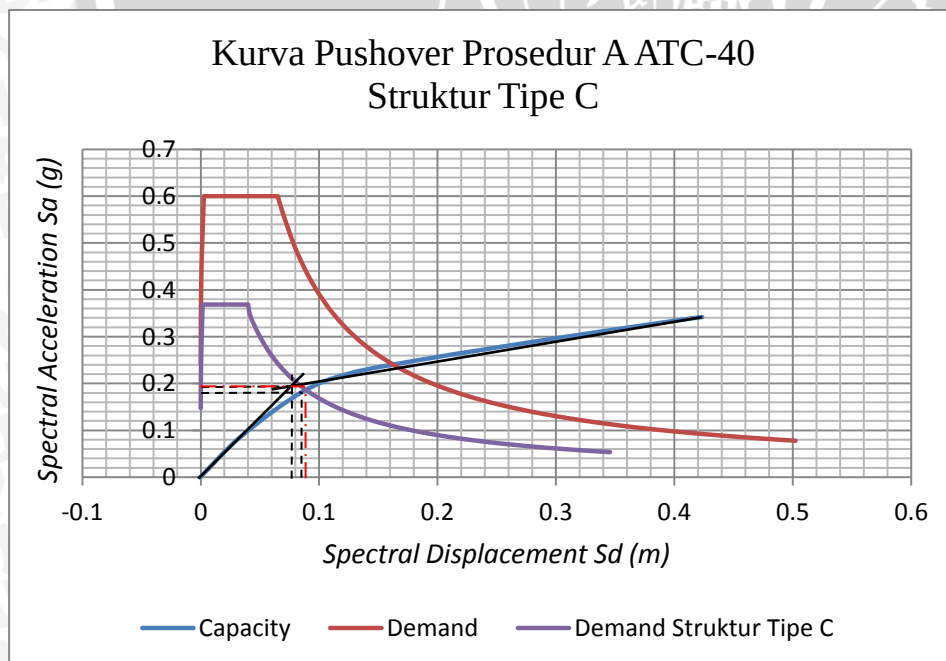
$$SR_A = \frac{2,31 - 0,41 \ln 16,5324}{1,65}$$

$$SR_A = 0,70292 \geq 0,56 \text{ (Tabel 2.2) (OK)}$$

Pastikan bahwa spektrum *demand* berpotongan dengan spektrum kapasitas pada titik kinerja percobaan, a_{pi} , d_{pi} , atau *displacement* dimana spektrum *demand* berpotongan dengan spektrum kapasitas, d_i , masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, yaitu $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi}$. Dalam kasus ini, titik kinerja percobaan, a_{pi} , d_{pi} , masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, yaitu $0,0893 \leq 0,095 \leq 0,0987$, sehingga :

$$a_p = 0.199$$

$$d_p = 0.095$$



Gambar 4.41 Titik Kinerja Struktur Alternatif dengan X-Brace (Tipe C)

4.5.1.6 Titik Kinerja Struktur Alternatif dengan V - Brace (Tipe D)

Konversi kurva kapasitas menjadi spektrum kapasitas dengan menggunakan faktor partisipasi modal (PF_1) dan koefisien massa modal (α_1) untuk *mode shape* pertama. Faktor partisipasi modal (PF_1) digunakan untuk mengubah *base force* (kg) menjadi *spectral acceleration*, S_a (g) pada ordinat y, sedangkan koefisien massa modal (α_1) digunakan untuk mengubah *displacement* (m) menjadi *spectral displacement* (m) pada ordinat x dari spektrum kapasitas.

Tabel 4.35 Parameter Spektrum Kapasitas Struktur Tipe D

PF_1	967,6884
ϕ_{roof_1}	0,0015
$PF_1\phi_{roof_1}$	1,4515
α_1	0,7522
W	20.271.048

Tabel 4.36 Spektrum Kapasitas Struktur Tipe D

Step	Displacement (Δ_{roof})	Base Force (V)	S_a	S_d
	m	Kgf	g	m
0	-0.000583	0	0	-0.000402
1	0.049392	1318900.14	0.0865	0.0340275
2	0.122615	2731029.64	0.17911	0.0844728
3	0.183011	3348374.89	0.2196	0.1260812
4	0.255904	3708891.49	0.24324	0.1762992
5	0.337692	4050416.17	0.26564	0.2326451
6	0.417207	4357956.35	0.28581	0.2874252
7	0.521714	4758837.68	0.3121	0.3594229
8	0.605773	5057807.7	0.3317	0.4173334
9	0.655754	5214092.26	0.34195	0.4517666

Contoh perhitungan untuk Step 9 :

$$S_{a_i} = \frac{V_i/W}{\alpha_1}$$

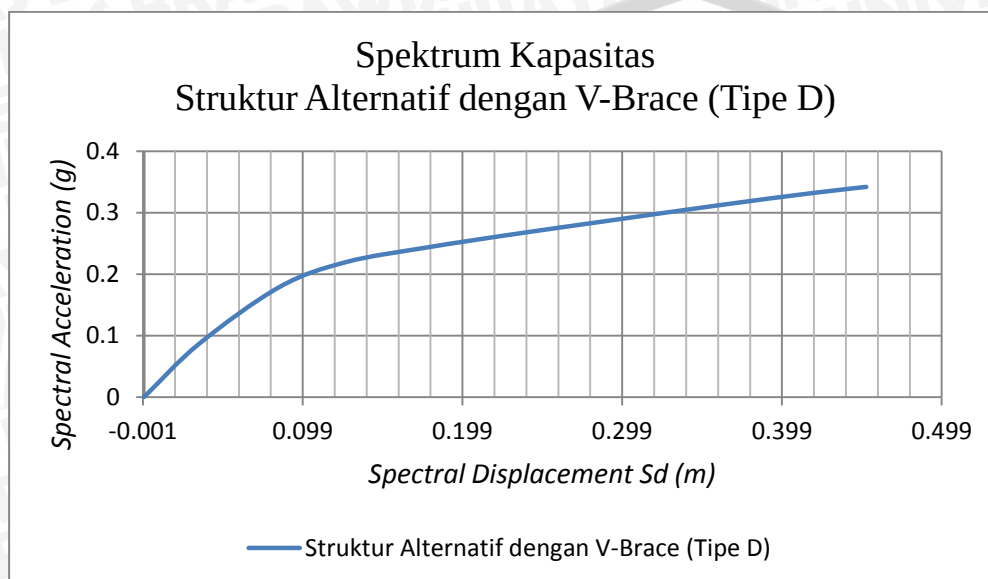
$$S_{a_i} = \frac{5.214.092,26/20.271.048}{0,7522}$$

$$S_{a_i} = 0.34195 \text{ g}$$

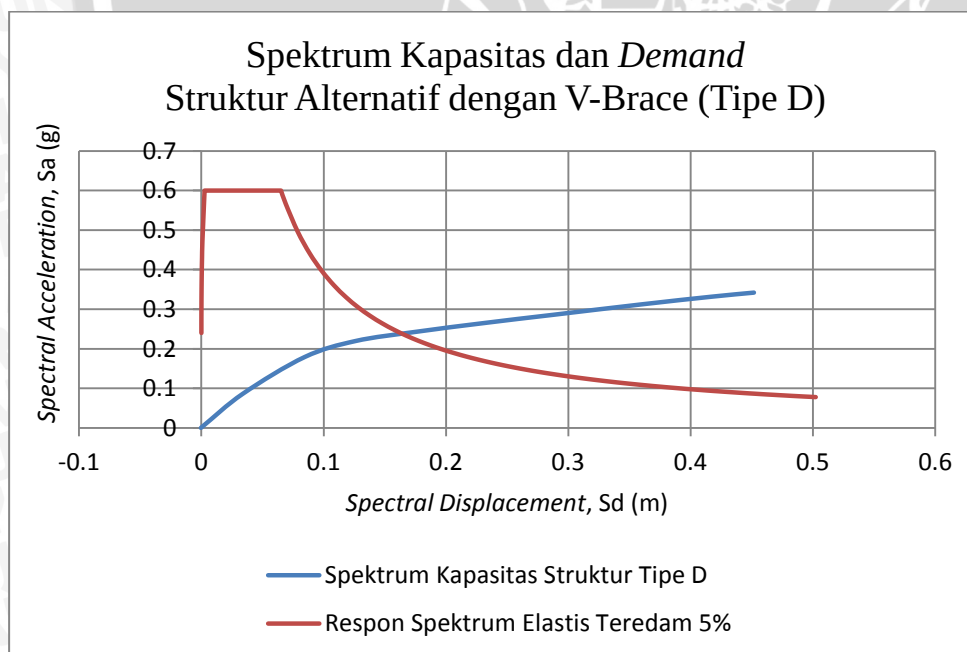
$$Sd_i = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \times \phi_{1,roof}}$$

$$Sd_i = \frac{0,655754}{967,6884 \times 0,0015}$$

$$Sd_i = 0.45176 \text{ m}$$



Gambar 4.42 Spektrum Kapasitas Struktur Alternatif dengan V- Brace (Tipe D)



Gambar 4.43 Spektrum Kapasitas dan Demand Struktur Alternatif dengan V - Brace (Tipe D)

Tentukan titik kinerja percobaan, a_{pi} , d_{pi} . Dicoba dengan mengambil titik kinerja :

$$a_{pi} = 0.181$$

$$d_{pi} = 0.096$$

Buatlah representasi bilinear dari spektrum kapasitas dengan garis hitam seperti pada Gambar 4.44. Sehingga didapatkan titik kekakuan awal (*initial stiffness*):

$$a_y = 0.2$$

$$d_y = 0.084$$

Faktor reduksi spektral dihitung sesuai dengan ketentuan pada subbab 2.7.2 yang digambarkan dengan Kurva *Demand* Struktur Tipe D pada Gambar 4.44. Mengenai tipe perilaku struktur, berdasarkan Tabel 2.3, Gedung Pendidikan Bersama FKUB dikategorikan menjadi *Type B* untuk bangunan baru dengan durasi getaran relatif panjang. Perhitungan faktor reduksi spektral sebagai berikut :

$$E_D = 4 \times (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})$$

$$E_D = 4 \times (0,2 \cdot 0,096 - 0,084 \cdot 0,181)$$

$$E_D = \mathbf{0.015984}$$

$$E_{SO} = \frac{a_{pi} \cdot d_{pi}}{2}$$

$$E_{SO} = \frac{0,181 \cdot 0,096}{2}$$

$$E_{SO} = \mathbf{0.008688}$$

$$\beta_0 = \frac{63,7 (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} \cdot d_{pi}}$$

$$\beta_0 = \frac{63,7 (0,2 \cdot 0,096 - 0,084 \cdot 0,181)}{0,181 \cdot 0,096}$$

$$\beta_0 = \mathbf{14,64924}$$

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eq} = \mathbf{19,64924}$$

Sesuai dengan Tabel 2.1 tentang faktor modifikasi redaman (*K*), apabila untuk tipe perilaku struktur B dengan nilai $\beta_0 \leq 25$, maka diambil nilai :

$$K = \mathbf{0.67}$$

$$\beta_{eff} = K \cdot \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eff} = 0,67 \cdot 19,64924 + 5$$

$$\beta_{eff} = \mathbf{14,81499}$$

$$SR_A = \frac{3,21 - 0,68 \ln \beta_{eff}}{2,12}$$

$$SR_A = \frac{3,21 - 0,68 \ln 14,81499}{2,12}$$

$$SR_A = 0,649512 \geq 0,44 \text{ (Tabel 2.2) (OK)}$$

$$SR_A = \frac{2,31 - 0,41 \ln \beta_{eff}}{1,65}$$

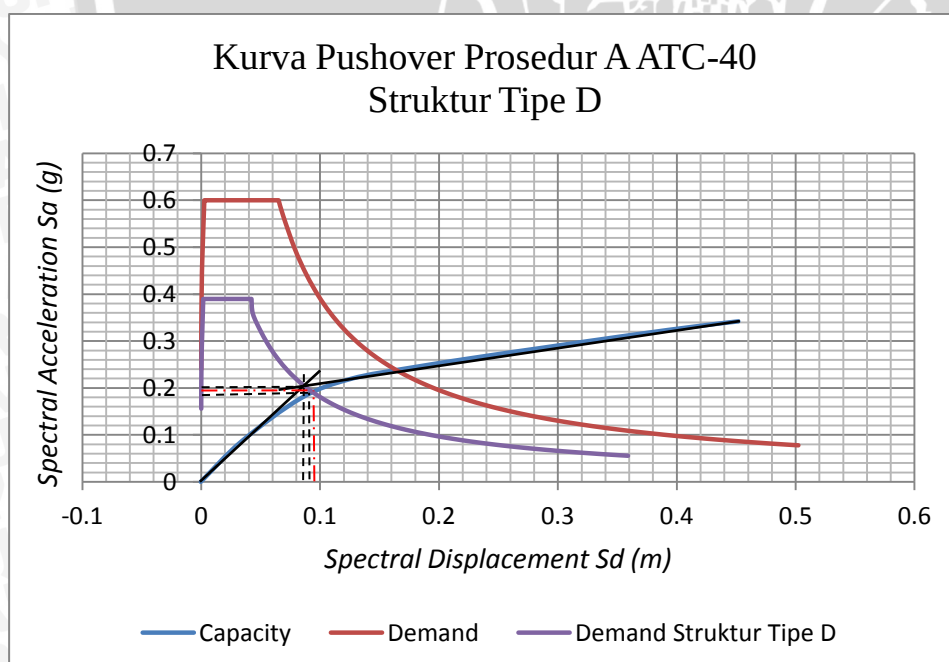
$$SR_A = \frac{2,31 - 0,41 \ln 14,81499}{1,65}$$

$$SR_A = 0,730174 \geq 0,56 \text{ (Tabel 2.2) (OK)}$$

Pastikan bahwa spektrum *demand* berpotongan dengan spektrum kapasitas pada titik kinerja percobaan, a_{pi} , d_{pi} , atau *displacement* dimana spektrum *demand* berpotongan dengan spektrum kapasitas, d_i , masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, yaitu $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi}$. Dalam kasus ini, titik kinerja percobaan, a_{pi} , d_{pi} , masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, yaitu $0,0912 \leq 0,098 \leq 0,1008$, sehingga :

$$a_p = 0.198$$

$$d_p = 0.098$$



Gambar 4.44 Titik Kinerja Struktur Alternatif dengan V-Brace (Tipe D)

4.5.1.7 Titik Kinerja Struktur Alternatif dengan A - Brace (Tipe E)

Konversi kurva kapasitas menjadi spektrum kapasitas dengan menggunakan faktor partisipasi modal (PF_1) dan koefisien massa modal (α_1) untuk *mode shape* pertama. Faktor partisipasi modal (PF_1) digunakan untuk mengubah *base force* (kg) menjadi *spectral acceleration*, S_a (g) pada ordinat y, sedangkan koefisien massa modal (α_1) digunakan untuk mengubah *displacement* (m) menjadi *spectral displacement* (m) pada ordinat x dari spektrum kapasitas.

Tabel 4.37 Parameter Spektrum Kapasitas Struktur Tipe E

PF_1	967,6884
ϕ_{roof_1}	0,0015
$PF_1\phi_{roof_1}$	1,4515
α_1	0,7522
W	20.271.048

Tabel 4.38 Spektrum Kapasitas Struktur Tipe E

Step	Displacement (Δ_{roof})	Base Force (V)	S_a	S_d
	m	Kgf	g	m
0	-0.000632	0	0	-0.000435
1	0.048126	1166131.44	0.07648	0.0331553
2	0.122902	2551734.59	0.16735	0.0846705
3	0.183731	3171790.68	0.20801	0.1265772
4	0.192576	3227283	0.21165	0.1326708
5	0.192586	3227480.51	0.21167	0.1326777
6	0.267354	3589009.03	0.23538	0.1841874
7	0.340054	3889810.99	0.2551	0.2342724
8	0.412754	4171889.92	0.2736	0.2843574
9	0.519532	4569628.16	0.29969	0.3579196
10	0.614951	4903200.61	0.32157	0.4236563
11	0.687651	5126328	0.3362	0.4737413
12	0.726371	5237867.05	0.34351	0.5004166

Contoh perhitungan untuk Step 12 :

$$S a_i = \frac{V_i / W}{\alpha_1}$$

$$5.237.867,05 / 20.271.048$$

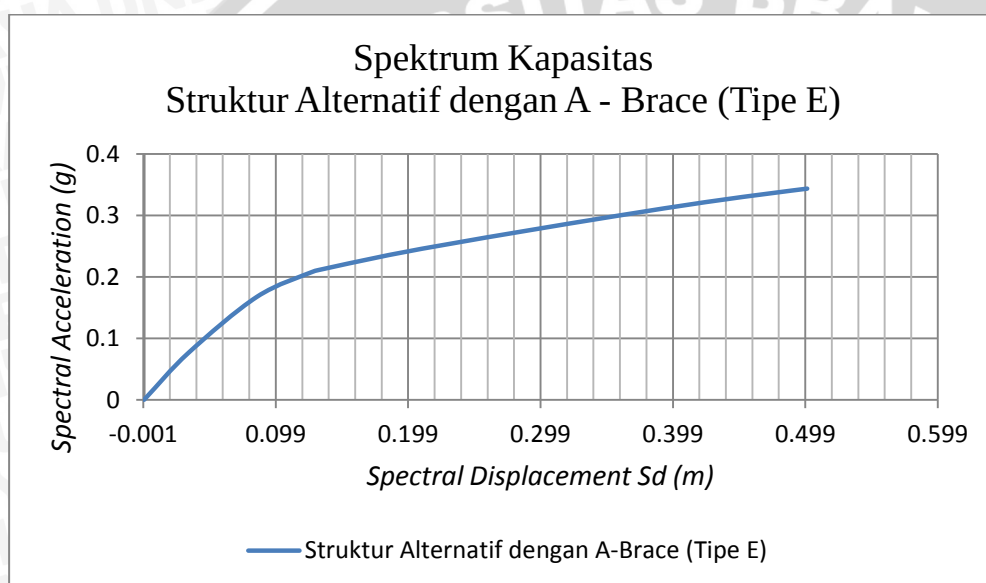
$$Sa_i = \frac{5.237.867,05}{0,7522}$$

$$Sa_i = 0.34351 \text{ g}$$

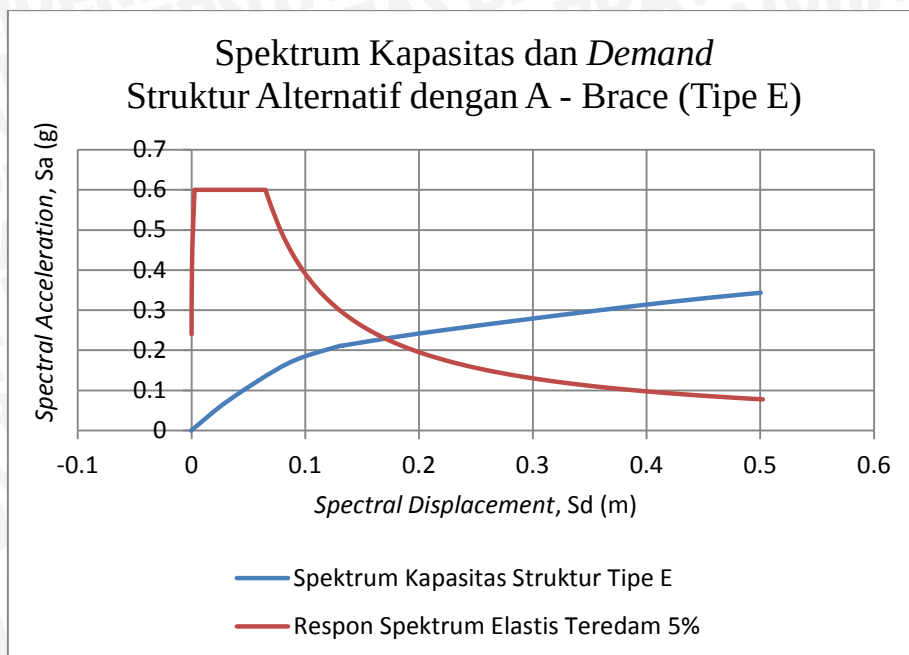
$$Sd_i = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \times \phi_{1,roof}}$$

$$Sd_i = \frac{0,726371}{967,6884 \times 0,0015}$$

$$Sd_i = 0.50041 \text{ m}$$



Gambar 4.45 Spektrum Kapasitas Struktur Alternatif dengan A- Brace (Tipe E)



Gambar 4.46 Spektrum Kapasitas dan Demand Struktur Alternatif dengan A – Brace (Tipe E)

Tentukan titik kinerja percobaan, a_{pi} , d_{pi} . Dicoba dengan mengambil titik kinerja :

$$a_{pi} = 0.199$$

$$d_{pi} = 0.114$$

Buatlah representasi bilinear dari spektrum kapasitas dengan garis hitam seperti pada Gambar 4.47. Sehingga didapatkan titik kekakuan awal (*initial stiffness*):

$$a_y = 0.2$$

$$d_y = 0.094$$

Faktor reduksi spektral dihitung sesuai dengan ketentuan pada subbab 2.7.2 yang digambarkan dengan Kurva *Demand* Struktur Tipe E pada Gambar 4.47. Mengenai tipe perilaku struktur, berdasarkan Tabel 2.3, Gedung Pendidikan Bersama FKUB dikategorikan menjadi *Type B* untuk bangunan baru dengan durasi getaran relatif panjang.

Perhitungan faktor reduksi spektral sebagai berikut :

$$E_D = 4 \times (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})$$

$$E_D = 4 \times (0.2 \cdot 0.114 - 0.094 \cdot 0.199)$$

$$E_D = 0.016376$$

$$E_{So} = \frac{a_{pi} \cdot d_{pi}}{2}$$

$$E_{So} = \frac{0.199 \cdot 0.114}{2}$$

$$E_{So} = 0.011343$$

$$\beta_0 = \frac{63,7 (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} \cdot d_{pi}}$$

$$\beta_0 = \frac{63,7 (0,2 \cdot 0,114 - 0,094 \cdot 0,199)}{0,199 \cdot 0,114}$$

$$\beta_0 = 11,4955$$

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eq} = 16,4955$$

Sesuai dengan Tabel 2.1 tentang faktor modifikasi redaman (K), apabila untuk tipe perilaku struktur B dengan nilai $\beta_0 \leq 25$, maka diambil nilai :

$$K = 0.67$$

$$\beta_{eff} = K \cdot \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eff} = 0,67 \cdot 11,4955 + 5$$

$$\beta_{eff} = 12,702$$

$$SR_A = \frac{3,21 - 0,68 \ln \beta_{eff}}{2,12}$$

$$SR_A = \frac{3,21 - 0,68 \ln 12,702}{2,12}$$

$$SR_A = 0,6988 \geq 0.44 \text{ (Tabel 2.2) (OK)}$$

$$SR_A = \frac{2,31 - 0,41 \ln \beta_{eff}}{1,65}$$

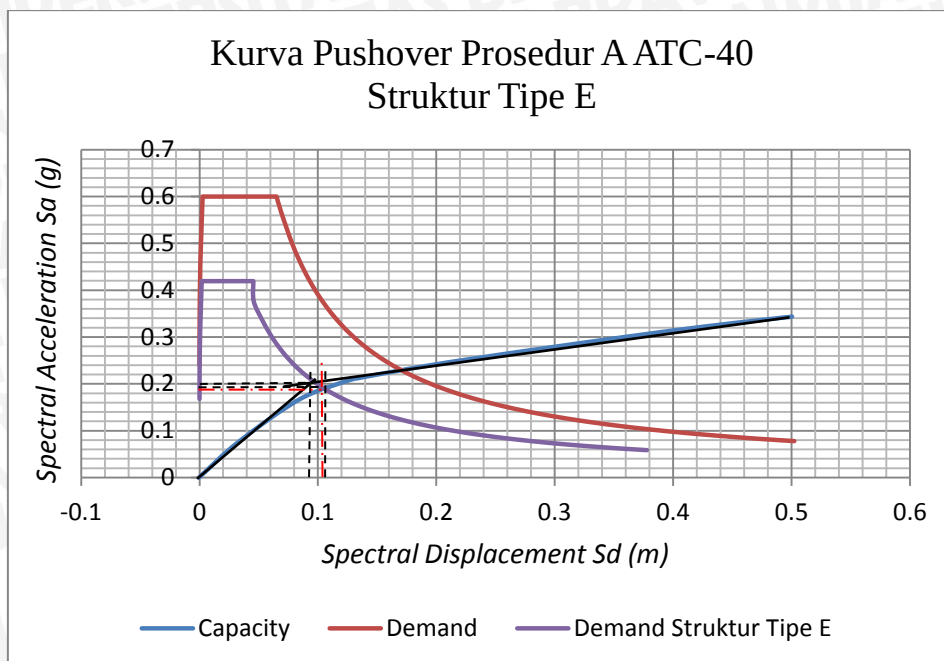
$$SR_A = \frac{2,31 - 0,41 \ln 12,702}{1,65}$$

$$SR_A = 0,7684 \geq 0.56 \text{ (Tabel 2.2) (OK)}$$

Pastikan bahwa spektrum *demand* berpotongan dengan spektrum kapasitas pada titik kinerja percobaan, a_{pi} , d_{pi} , atau *displacement* dimana spektrum *demand* berpotongan dengan spektrum kapasitas, d_i , masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, yaitu $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi}$. Dalam kasus ini, titik kinerja percobaan, a_{pi} , d_{pi} , masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, yaitu $0,1083 \leq 0,113 \leq 0,1197$, sehingga :

$$a_p = 0.198$$

$$d_p = 0.113$$



Gambar 4.47 Titik Kinerja Struktur Alternatif dengan A-Brace (Tipe E)

Tabel 4.39 Rekapitulasi Titik Kinerja Struktur Berdasarkan Prosedur A – ATC 40

Rekapitulasi Titik Kinerja Struktur Berdasarkan Prosedur A - ATC 40		
Jenis Struktur	Titik Kinerja	
	Sa (g)	Sd (m)
OD	0.16	0.093
OND	0.172	0.094
Tipe A	0.181	0.099
Tipe B	0.18	0.096
Tipe C	0.181	0.095
Tipe D	0.199	0.098
Tipe E	0.198	0.113

4.5.2 Analisis Statik Non-Linier Pushover Berdasarkan Metode Spektrum Kapasitas Prosedur B - ATC 40

Penentuan titik kinerja struktur (*Performance Point*) masing-masing tipe struktur dilakukan berdasarkan ATC-40 dengan Metode Spektrum Kapasitas Prosedur B. Dimana metode ini sudah tersedia dalam program SAP2000 v18. Dalam menentukan *Performance Point* digunakan Kurva *Demand* dengan kelas situs tanah lunak (SD). Berikut disajikan *Performance Point* dari masing-masing tipe struktur.

4.5.2.1 Titik Kinerja Struktur Asli dengan Dilatasi Struktur (OD)

Parameters For ATC-40 Capacity Spectrum

Pushover Parameters Name
 Name: A40PO1 Units: Kgf, m, C

Plot Axes
☒ Sa - Sd ☐ Sa - T ☐ Sd - T

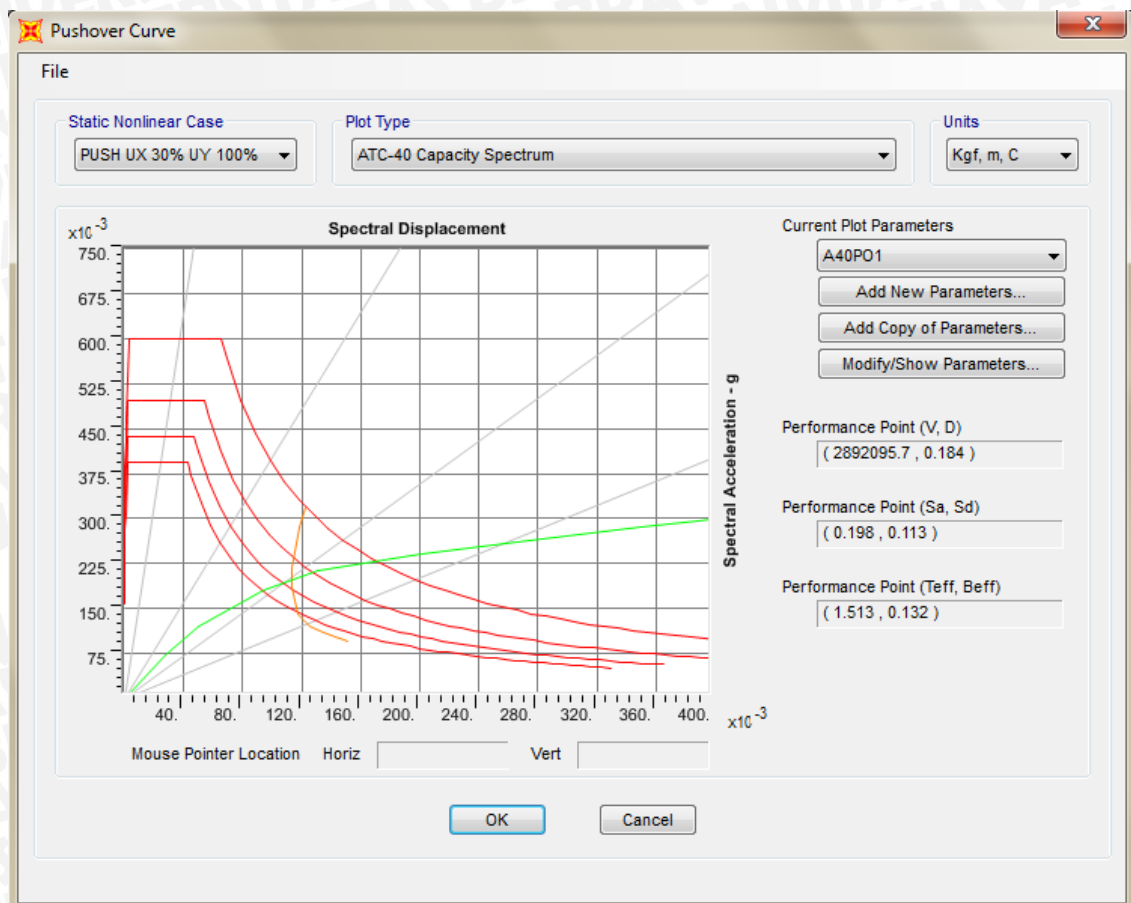
Demand Spectrum Definition
☒ Function ☐ User Coeffs
 MALANG (Sd) SF: 9.81
 Ca: Cv:

Damping Parameters Definition
 Inherent + Additional Damping: 0.05
 Structural Behavior Type: ☐ A ☒ B ☐ C ☐ User

Items Visible On Plot

☒ Show Capacity Curve	Color: ■
☒ Show Family of Demand Spectra	Color: ■
Damping Ratios: 0.05 0.1 0.15 0.2	
☒ Show Single Demand Spectrum (ADRS) (Variable Damping)	Color: ■
☒ Show Constant Period Lines at	Color: ■
0.5 1. 1.5 2.	

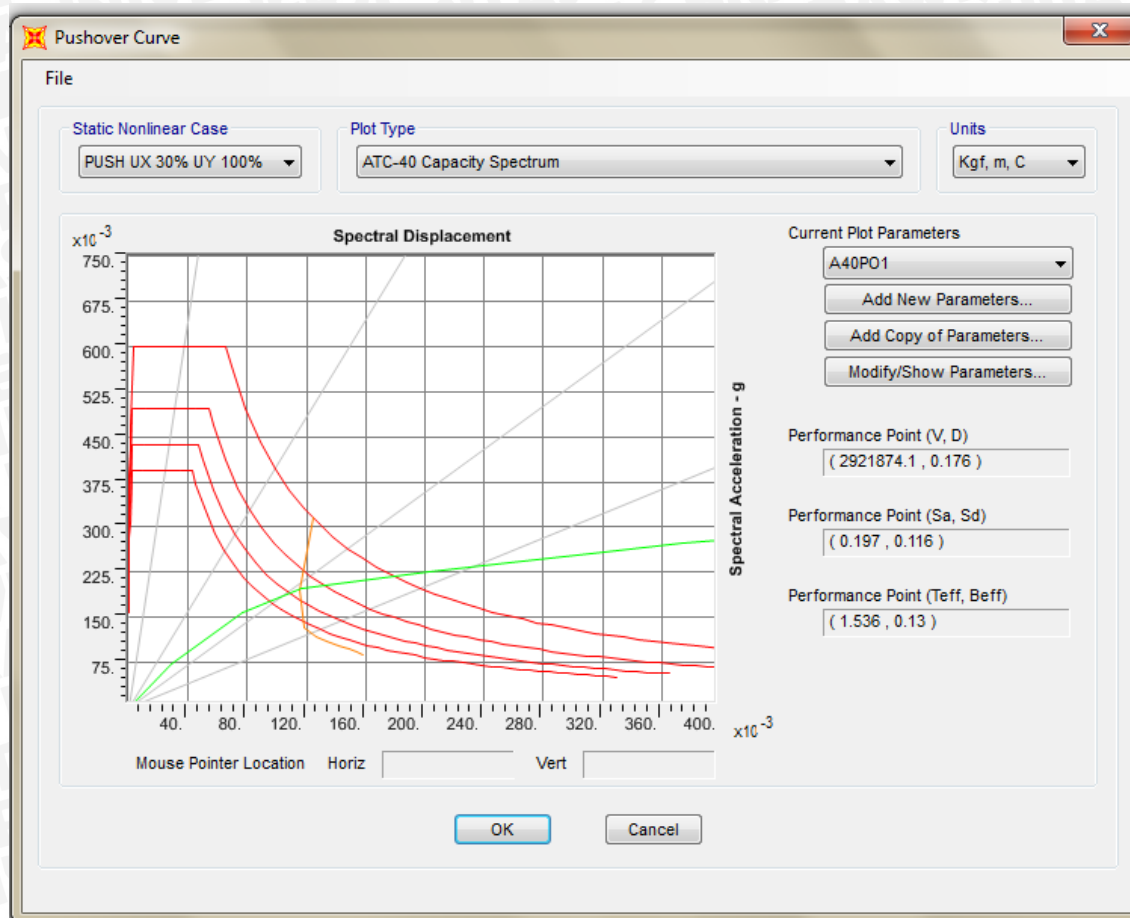
Gambar 4.48 Penentuan Parameter untuk Mendapatkan Titik Kinerja Struktur



Gambar 4.49 Titik Kinerja Struktur Asli dengan Dilatasi (OD)

Pada Gambar 4.49 dapat dilihat bahwa titik kinerja struktur pada Struktur Asli dengan Dilatasi (OD) adalah pada koordinat $S_a = 0.198$ dan $S_d = 0.113$.

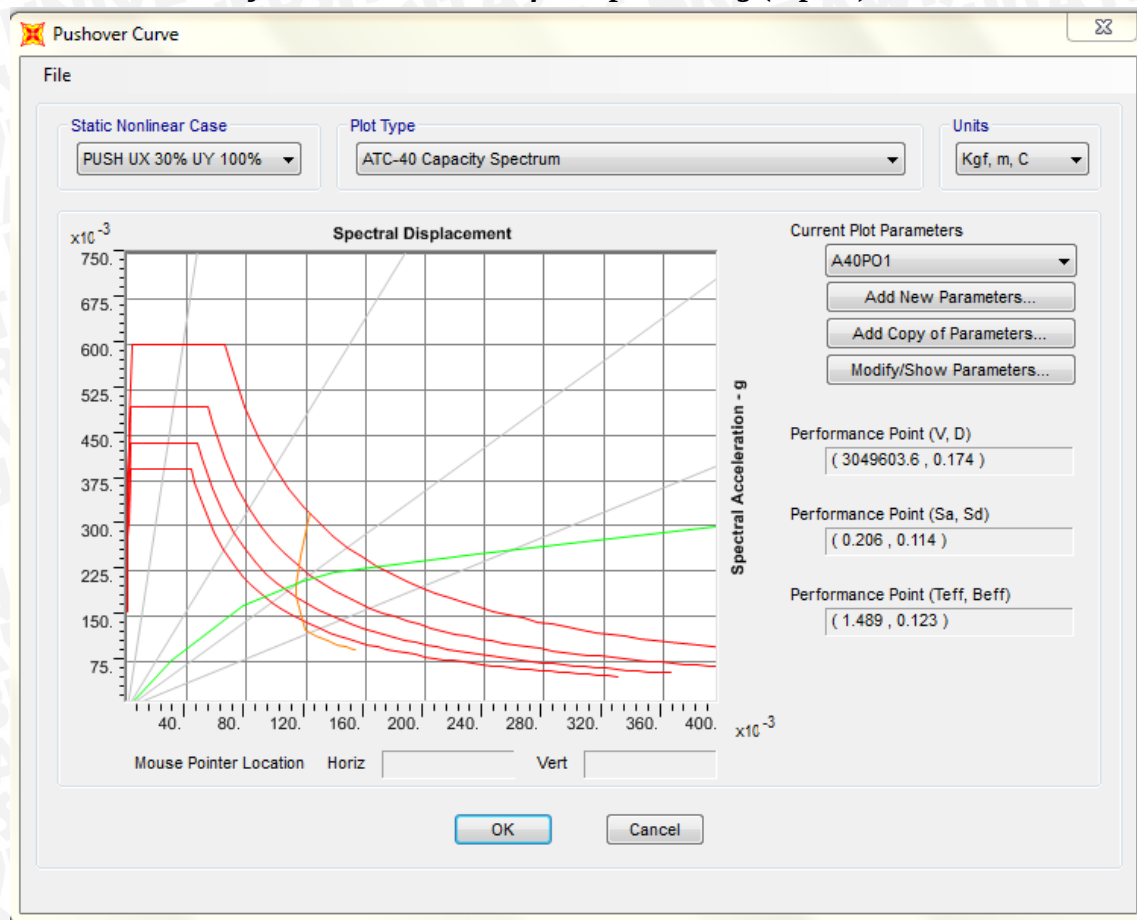
4.5.2 Titik Kinerja Struktur Asli Tanpa Dilatasi Struktur (OND)



Gambar 4.50 Titik Kinerja Struktur Asli Tanpa Dilatasi (OND)

Pada Gambar 4.50 dapat dilihat bahwa titik kinerja struktur pada Struktur Asli Tanpa Dilatasi (OND) adalah pada koordinat $S_a = 0,197$ dan $S_d = 0,116$.

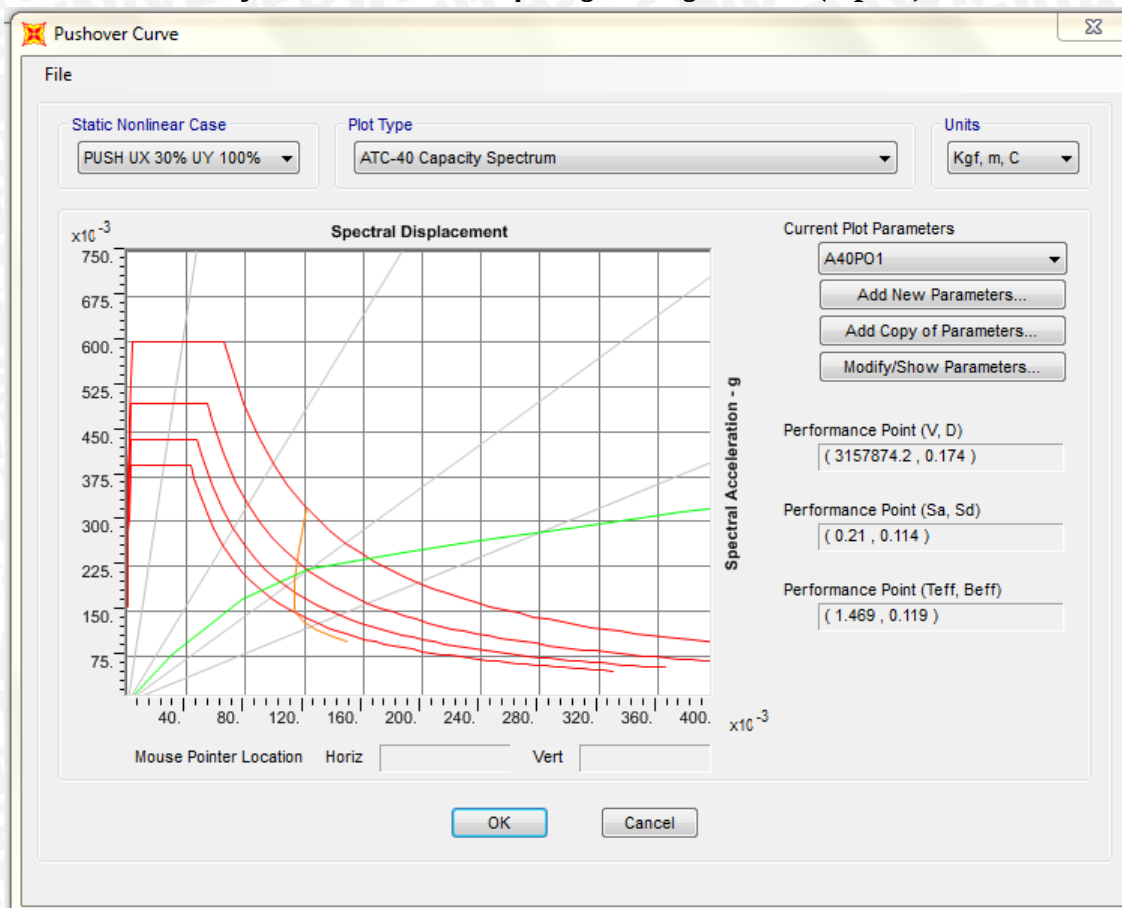
4.5.2.3 Titik Kinerja Struktur Alternatif Tanpa Bresing (Tipe A)



Gambar 4.51 Titik Kinerja Struktur Alternatif Tanpa Bresing (Tipe A)

Pada Gambar 4.51 dapat dilihat bahwa titik kinerja struktur pada Struktur Alternatif Tanpa Bresing (Tipe A) adalah pada koordinat $S_a = 0.206$ dan $S_d = 0.114$.

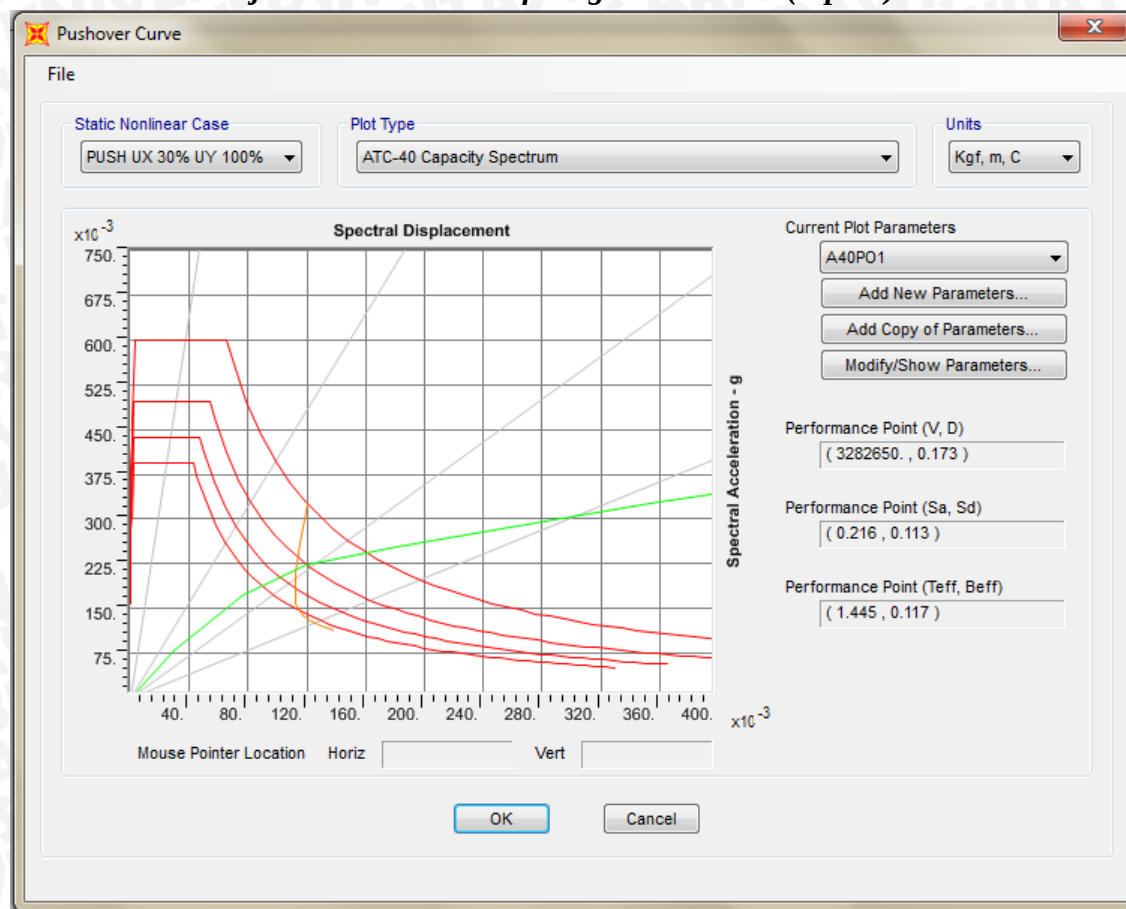
4.5.2.4 Titik Kinerja Struktur Alternatif dengan Single Brace (Tipe B)



Gambar 4.52 Titik Kinerja Struktur Alternatif dengan Single Brace (Tipe B)

Pada Gambar 4.52 dapat dilihat bahwa titik kinerja struktur pada Struktur Alternatif dengan Single Brace (Tipe B) adalah pada koordinat $S_a = 0,21$ dan $S_d = 0,114$.

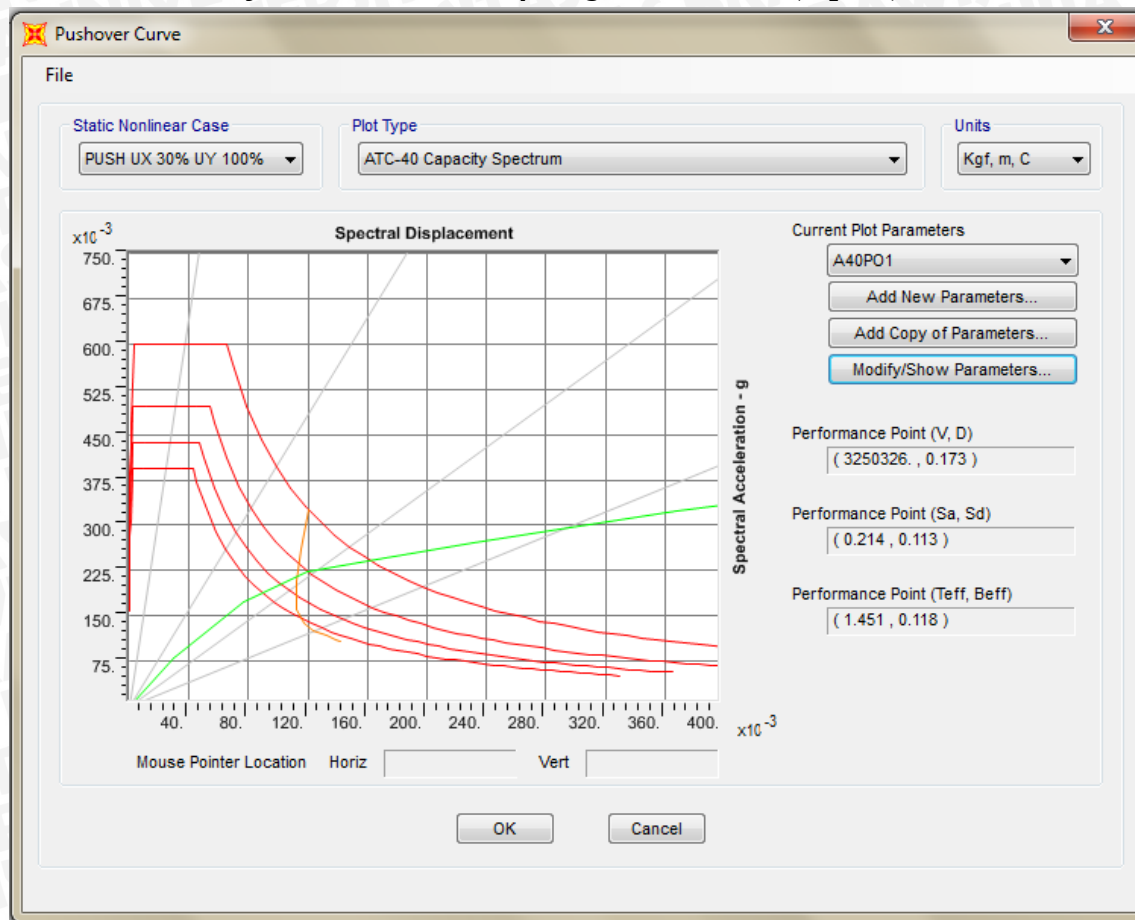
4.5.2.5 Titik Kinerja Struktur Alternatif dengan X – Brace (Tipe C)



Gambar 4.53 Titik Kinerja Struktur Alternatif dengan X Brace (Tipe C)

Pada Gambar 4.53 dapat dilihat bahwa titik kinerja struktur pada Struktur Alternatif dengan X Brace (Tipe C) adalah pada koordinat $S_a = 0,216$ dan $S_d = 0,113$.

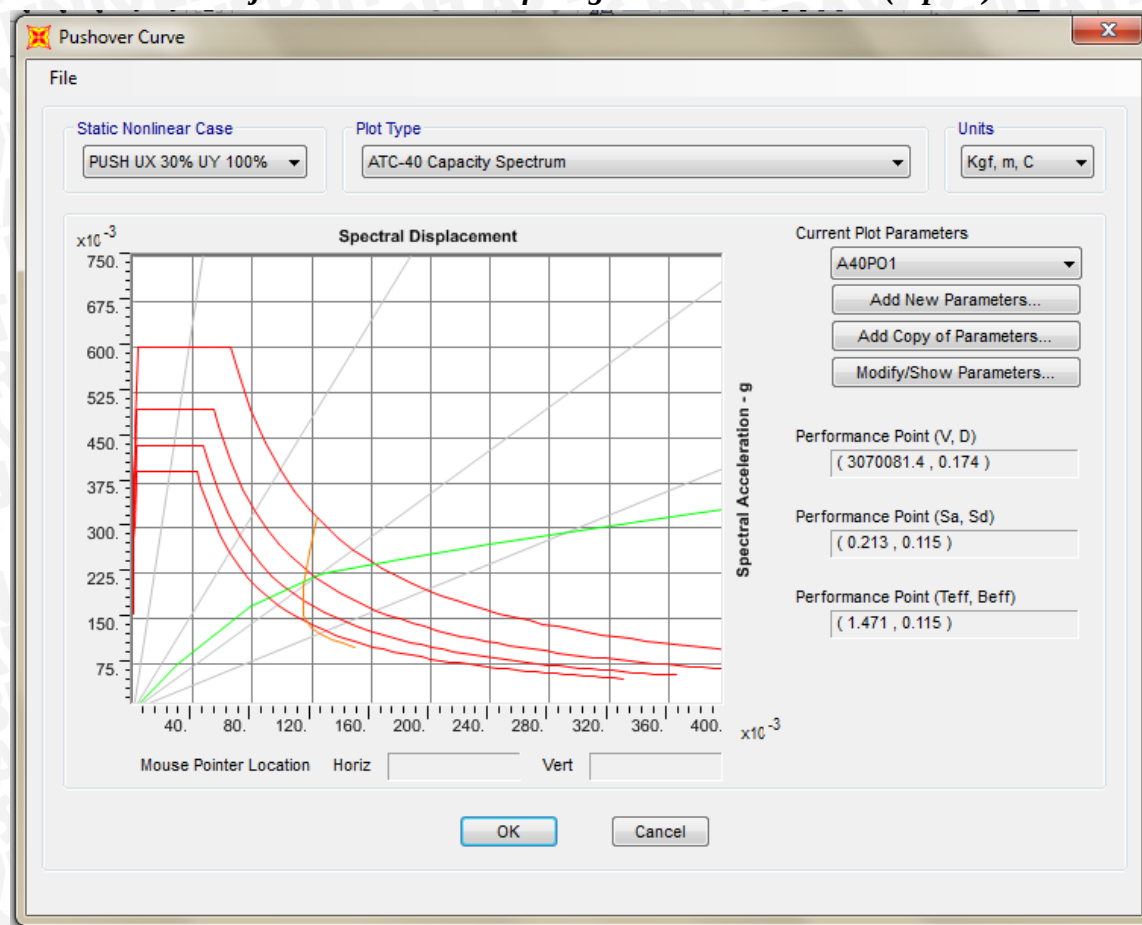
4.5.2.6 Titik Kinerja Struktur Alternatif dengan V – Brace (Tipe D)



Gambar 4.54 Titik Kinerja Struktur Alternatif dengan V Brace (Tipe D)

Pada Gambar 4.54 dapat dilihat bahwa titik kinerja struktur pada Struktur Alternatif dengan V Brace (Tipe D) adalah pada koordinat $S_a = 0,214$ dan $S_d = 0,113$.

4.5.2.7 Titik Kinerja Struktur Alternatif dengan A/Chevron Brace (Tipe E)



Gambar 4.55 Titik Kinerja Struktur Alternatif dengan A Brace (Tipe E)

Pada Gambar 4.55 dapat dilihat bahwa titik kinerja struktur pada Struktur Alternatif dengan A Brace (Tipe E) adalah pada koordinat $S_a = 0,213$ dan $S_d = 0,115$.

4.6 Penentuan Tingkat Kinerja

4.6.1 Tingkat Kinerja Struktur Asli dengan Dilatasi Struktur (OD)

Tingkat kinerja untuk Prosedur A ditentukan berdasarkan pada titik kinerja dari hasil analisis yang sudah dilakukan sebelumnya, yaitu :

$$S_a = 0.16$$

$$S_d = 0.093$$

Kemudian untuk mendapatkan tingkat kinerja yang sesuai dengan titik kinerja diatas, gunakan Tabel 4.41 untuk mengetahui posisi titik tersebut pada spektrum kapasitas. Sehingga diperoleh posisi titik kinerja struktur OD berada diantara *step* 2 dan *step* 3 seperti terlihat pada Tabel 4.40.

Tabel 4.40 Titik Kinerja Struktur OD

Step	Displacement (Δ_{roof})	Base Force (V)	Sa	Sd
	m	Kgf	g	m
0	-0.000864	0	0	-0.000594
1	0.047961	1222999	0.07818	0.0329786
2	0.087079	2002480	0.12802	0.0598766
3	0.156099	2733996	0.17478	0.1073355
4	0.209004	3031609	0.19381	0.1437136
5	0.311171	3336053	0.21327	0.2139649
6	0.413338	3595405	0.22985	0.2842161
7	0.515504	3836610	0.24527	0.3544667
8	0.617671	4064191	0.25982	0.4247179
9	0.694296	4201380	0.26859	0.4774062
10	0.726136	4248757	0.27162	0.4992997

Tabel 4.41 Sendi Plastis yang Terjadi Pada Struktur OD

Step	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE
	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
0	5512	0	0	0	0	0	0	0
1	5511	1	0	0	0	0	0	0
2	5338	174	0	0	0	0	0	0
3	5143	369	0	0	0	0	0	0
4	5036	476	0	0	0	0	0	0
5	4955	520	37	0	0	0	0	0
6	4862	386	264	0	0	0	0	0
7	4769	379	358	6	0	0	0	0
8	4661	439	293	109	0	10	0	0
9	4600	486	179	176	0	71	0	0
10	4574	505	157	179	0	97	0	0

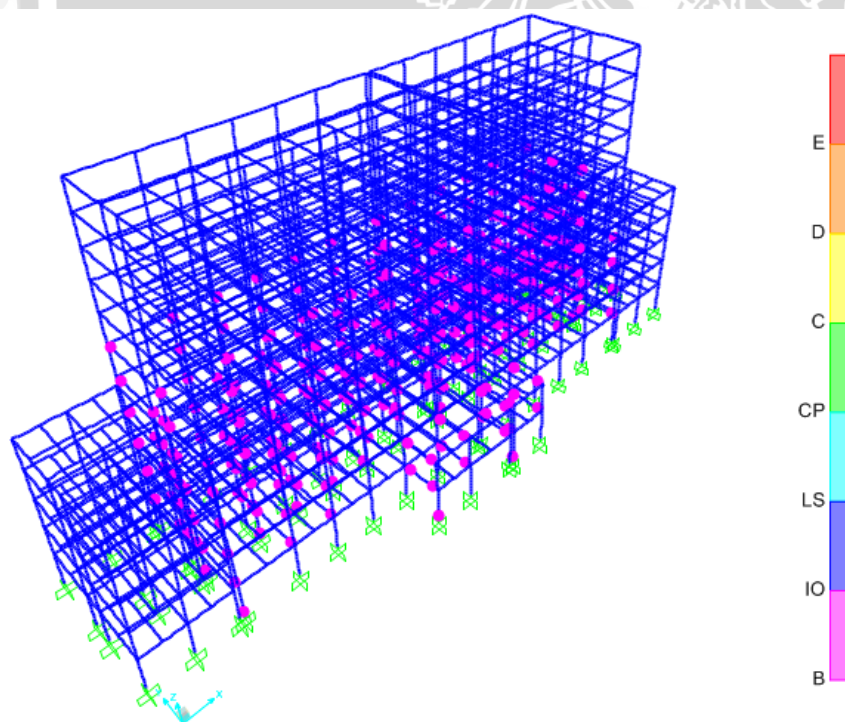
Berdasarkan Tabel 4.41 dapat diketahui tingkat kinerja struktur OD berada pada kategori B-IO.

Sedangkan berdasarkan prosedur B tingkat kinerja struktur ditentukan berdasarkan titik kinerja (*performance point*) dari struktur. Pada program SAP2000 v18 dalam analisis statik non-linier pushover akan menghasilkan sendi plastis pada setiap stepnya dimana

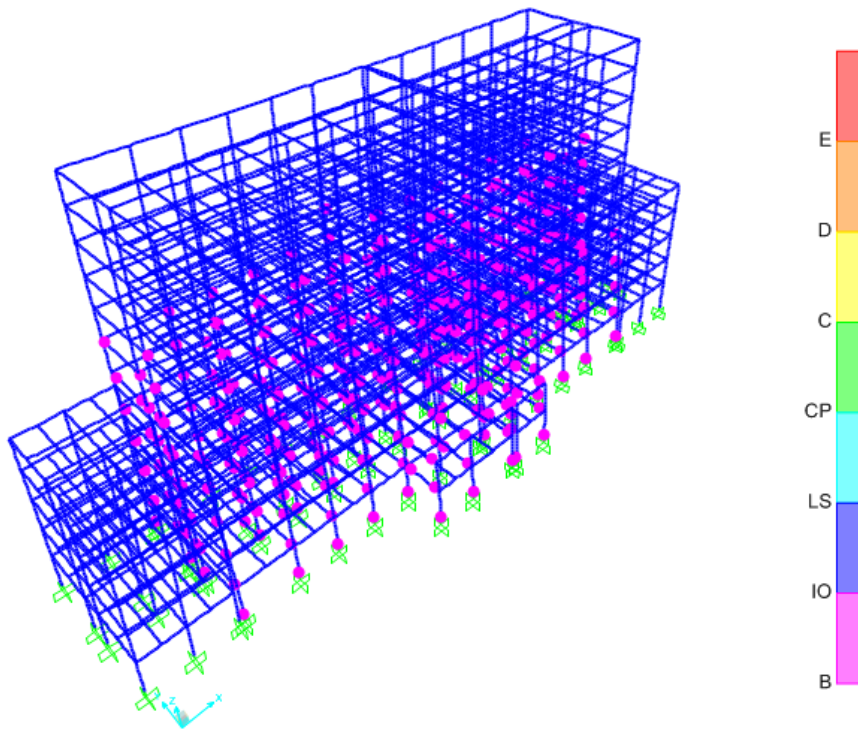
performance point akan muncul pada salah satu step yang akan menampilkan sendi plastis dengan tingkat kinerja tertentu seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4.42 Data Hasil Analisis Statik Non-Linier Pushover Struktur OD

Pushover Curve Demand Capacity - ATC40						
Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand
Unitless	Sec	Unitless	m	Unitless	m	Unitless
0	1.245	0.05	0	0	0.122884	0.319292
1	1.245	0.05	0.027869	0.072412	0.122884	0.319292
2	1.287	0.066	0.049922	0.121366	0.117992	0.286854
3	1.446	0.115	0.094346	0.181608	0.113122	0.217751
4	1.572	0.147	0.130186	0.212048	0.113617	0.18506
5	1.829	0.204	0.199747	0.24047	0.117399	0.141333
6	2.042	0.226	0.273277	0.263936	0.125889	0.121586
7	2.214	0.232	0.348641	0.286289	0.134983	0.110842
8	2.365	0.236	0.425618	0.30629	0.143367	0.103172
9	2.47	0.239	0.482532	0.318437	0.148923	0.098279
10	2.515	0.241	0.506897	0.322668	0.151132	0.096204



Gambar 4.56 Sendi Plastis pada Step 3



Gambar 4.57 Sendi Plastis pada Step 4

Berdasarkan Gambar 4.49 dapat dilihat *performance point* Struktur Tipe OD berada pada koordinat $S_a = 0.198$ g dan $S_d = 0,113$ m dimana koordinat ini berada diantara step 3 dan step 4 (seperti yang ditampilkan Tabel 4.42) dengan tingkat kinerja B-IO.

4.6.2 Tingkat Kinerja Struktur Asli Tanpa Dilatasi Struktur (OND)

Tingkat kinerja untuk Prosedur A ditentukan berdasarkan pada titik kinerja dari hasil analisis yang sudah dilakukan sebelumnya, yaitu :

$$S_a = 0.172$$

$$S_d = 0.094$$

Kemudian untuk mendapatkan tingkat kinerja yang sesuai dengan titik kinerja diatas, gunakan Tabel 4.44 untuk mengetahui posisi titik tersebut pada spektrum kapasitas. Sehingga diperoleh posisi titik kinerja struktur OND berada diantara *step 2* dan *step 3* seperti terlihat pada Tabel 4.43.

Tabel 4.43 Titik Kinerja Struktur OND

Step	Displacement (Δ_{roof})	Base Force (V)	Sa	Sd
	m	Kgf	g	m
0	-0.000468	0	0	-0.000323
1	0.047588	1180297.14	0.07775	0.0328504
2	0.120837	2459118.57	0.162	0.0834148
3	0.176309	2926590.48	0.19279	0.1217076
4	0.29454	3303710.03	0.21763	0.2033234
5	0.36724	3495636.87	0.23028	0.2535089
6	0.43994	3674560.7	0.24206	0.3036943
7	0.521727	3868277.74	0.25482	0.3601525
8	0.603515	4037377.88	0.26596	0.4166115
9	0.676215	4147688.28	0.27323	0.4667969
10	0.726532	4208891.78	0.27726	0.5015312

Tabel 4.44 Sendi Plastis yang Terjadi Pada Struktur OND

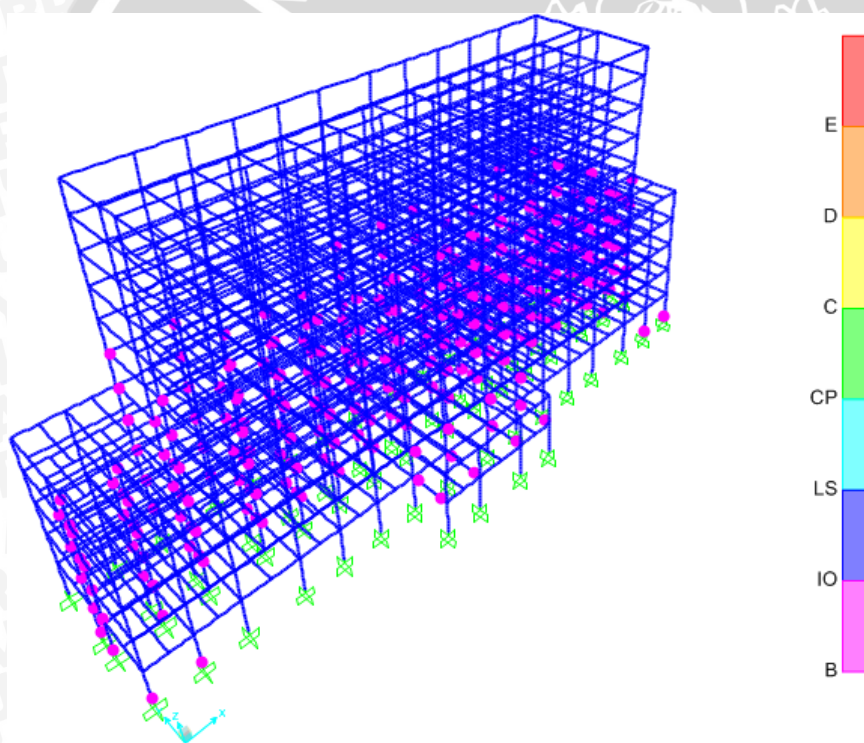
Step	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE
	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
0	5204	0	0	0	0	0	0	0
1	5201	3	0	0	0	0	0	0
2	4888	316	0	0	0	0	0	0
3	4634	570	0	0	0	0	0	0
4	4497	594	113	0	0	0	0	0
5	4444	505	255	0	0	0	0	0
6	4387	415	401	1	0	0	0	0
7	4314	442	371	77	0	0	0	0
8	4227	468	313	126	0	70	0	0
9	4149	516	250	160	0	129	0	0
10	4104	538	236	130	0	196	0	0

Berdasarkan Tabel 4.44 dapat diketahui tingkat kinerja struktur OND berada pada kategori B-IO.

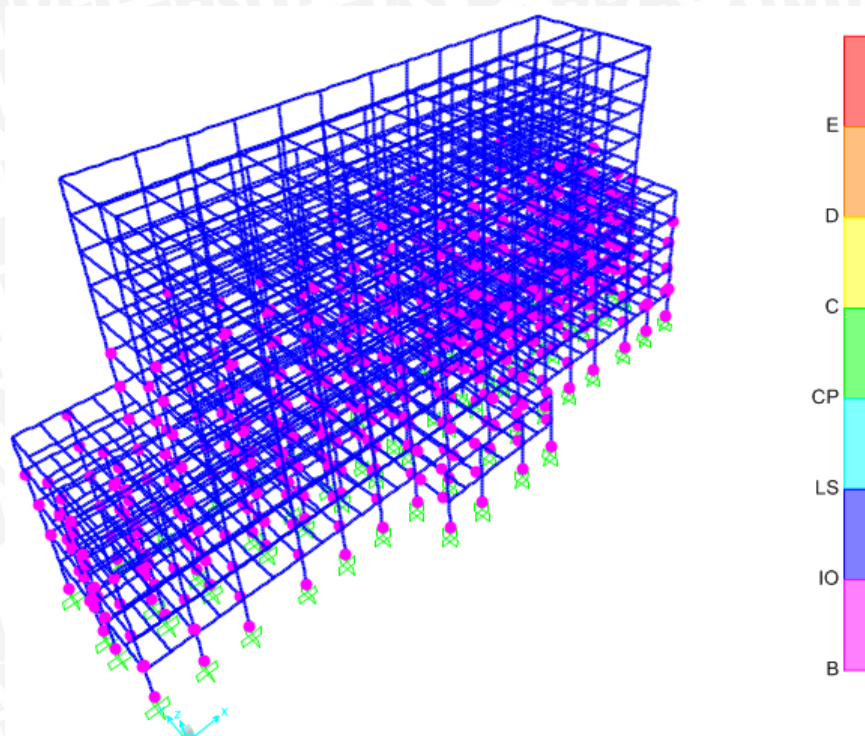
Sedangkan berdasarkan prosedur B tingkat kinerja struktur ditentukan berdasarkan titik kinerja (*performance point*) dari struktur. Pada program SAP2000 v18 dalam analisis statik non-linier pushover akan menghasilkan sendi plastis pada setiap stepnya dimana *performance point* akan muncul pada salah satu step yang akan menampilkan sendi plastis dengan tingkat kinerja tertentu seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4.45 Data Hasil Analisis Statik Non-Linier Pushover Struktur OND

Pushover Curve Demand Capacity - ATC40						
Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand
Unitless	Sec	Unitless	m	Unitless	m	Unitless
0	1.261	0.05	0	0	0.12445	0.31524
1	1.261	0.05	0.028587	0.072413	0.12445	0.31524
2	1.391	0.085	0.076318	0.158696	0.119165	0.247791
3	1.538	0.131	0.115964	0.197478	0.115527	0.196735
4	1.898	0.219	0.201576	0.225373	0.118483	0.13247
5	2.066	0.231	0.255893	0.24136	0.126254	0.119084
6	2.208	0.236	0.311054	0.256793	0.133709	0.110385
7	2.347	0.239	0.373923	0.273279	0.14159	0.10348
8	2.475	0.241	0.436592	0.286987	0.148574	0.097663
9	2.592	0.246	0.493535	0.295661	0.154293	0.092432
10	2.679	0.251	0.534366	0.299819	0.158214	0.08877



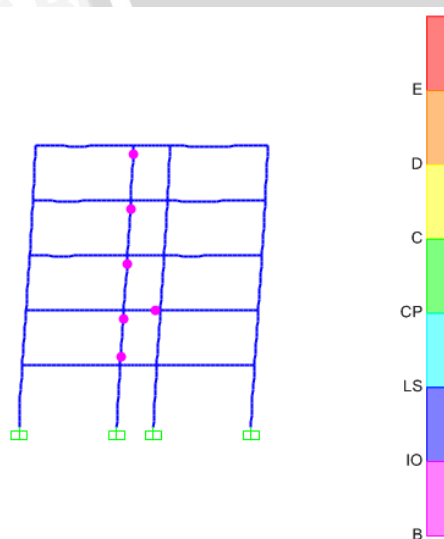
Gambar 4.58 Sendi Plastis pada Step 2



Gambar 4.59 Sendi Plastis pada Step 3

Berdasarkan Gambar 4.50 dapat dilihat *performance point* Struktur Tipe OND berada pada koordinat $S_a = 0,197$ dan $S_d = 0,116$ dimana koordinat ini berada diantara step 2 dan step 3 (seperti yang ditampilkan Tabel 4.45) dengan tingkat kinerja B-IO.

Pada Struktur Tipe OND terjadi sendi plastis yang muncul pada kolom yang muncul sebelum struktur mencapai *performance point*, dimana sendi plastis muncul pada step 2. Sendi plastis muncul pada portal bagian sayap seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.60.



Gambar 4.60 Sendi Plastis yang Terjadi pada Kolom

Hal ini menunjukkan bahwa struktur kolom lebih lemah dari balok yang diakibatkan oleh dihilangkannya pengaruh dilatasi yang pada mulanya terdapat pada Struktur Tipe OD. Dihilangkannya dilatasi mengakibatkan kekakuan balok meningkat karena pengaruh dari bangunan inti yang memiliki kekakuan lebih besar, sehingga menjadikan struktur balok lebih kaku dari struktur kolom. Munculnya sendi plastis pada struktur kolom tidak diperbolehkan terjadi karena akan mengakibatkan terjadinya *coloum sidesway mechanism* yaitu mekanisme kelelahan pada kolom yang akan mengakibatkan keruntuhan kolom pada struktur.

Untuk menghindari hal tersebut maka dilakukan modifikasi pada Struktur Tipe OND dengan memperbesar dimensi kolom pada portal bagian sayap. Dimana dimensi kolom pada portal bagian sayap disamakan dengan dimensi kolom pada portal bangunan utama. Performa struktur modifikasi tersebut ditunjukkan oleh Struktur Tipe A.

4.6.3 Tingkat Kinerja Struktur Alternatif Tanpa Bresing (Tipe A)

Tingkat kinerja untuk Prosedur A ditentukan berdasarkan pada titik kinerja dari hasil analisis yang sudah dilakukan sebelumnya, yaitu :

$$Sa = 0.181$$

$$Sd = 0.099$$

Kemudian untuk mendapatkan tingkat kinerja yang sesuai dengan titik kinerja diatas, gunakan Tabel 4.47 untuk mengetahui posisi titik tersebut pada spektrum kapasitas. Sehingga diperoleh posisi titik kinerja struktur Tipe A berada diantara *step 2* dan *step 3* seperti terlihat pada Tabel 4.46.

Tabel 4.46 Titik Kinerja Struktur Tipe A

Step	Displacement (Δ roof)	Base Force (V)	Sa	Sd
	m	Kgf	g	m
0	-0.000467	0	0	-0.000322
1	0.050146	1284760.7	0.08427	0.0345473
2	0.123674	2594904.3	0.1702	0.0852033
3	0.177951	3087477.7	0.2025	0.1225966
4	0.206931	3241972.4	0.21264	0.1425619
5	0.339821	3651143.4	0.23947	0.2341144
6	0.412521	3845099.1	0.25219	0.2841999
7	0.494309	4060259.6	0.26631	0.3405465
8	0.576096	4262133.6	0.27955	0.3968924
9	0.651068	4420201.9	0.28991	0.4485432
10	0.724015	4543642.7	0.29801	0.4987989
11	0.726533	4547430.2	0.29826	0.5005336

Tabel 4.47 Sendi Plastis yang Terjadi Pada Struktur Tipe A

Step	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE
	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
0	5204	0	0	0	0	0	0	0
1	5200	4	0	0	0	0	0	0
2	4885	319	0	0	0	0	0	0
3	4652	552	0	0	0	0	0	0
4	4603	601	0	0	0	0	0	0
5	4494	527	183	0	0	0	0	0
6	4457	406	341	0	0	0	0	0
7	4394	380	430	0	0	0	0	0
8	4296	413	392	102	0	1	0	0
9	4233	457	278	171	0	65	0	0
10	4176	480	200	206	0	142	0	0
11	4173	483	195	204	0	149	0	0

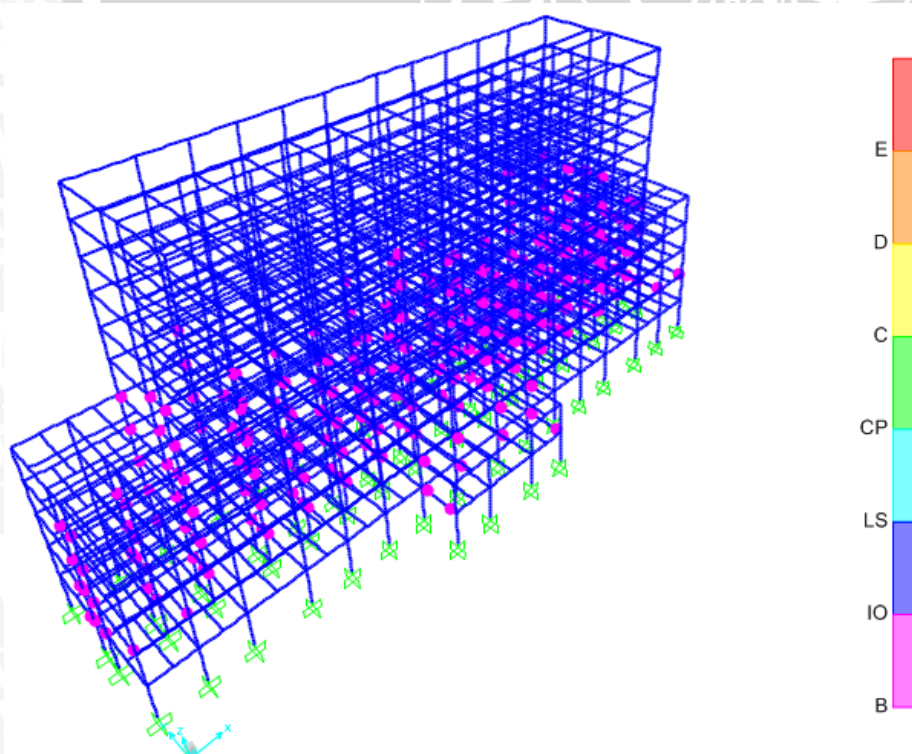
Berdasarkan Tabel 4.45 dapat diketahui tingkat kinerja struktur Tipe A berada pada kategori B–IO.

Sedangkan berdasarkan prosedur B tingkat kinerja struktur ditentukan berdasarkan titik kinerja (*performance point*) dari struktur. Pada program SAP2000 v18 dalam analisis statik non-linier pushover akan menghasilkan sendi plastis pada setiap stepnya dimana

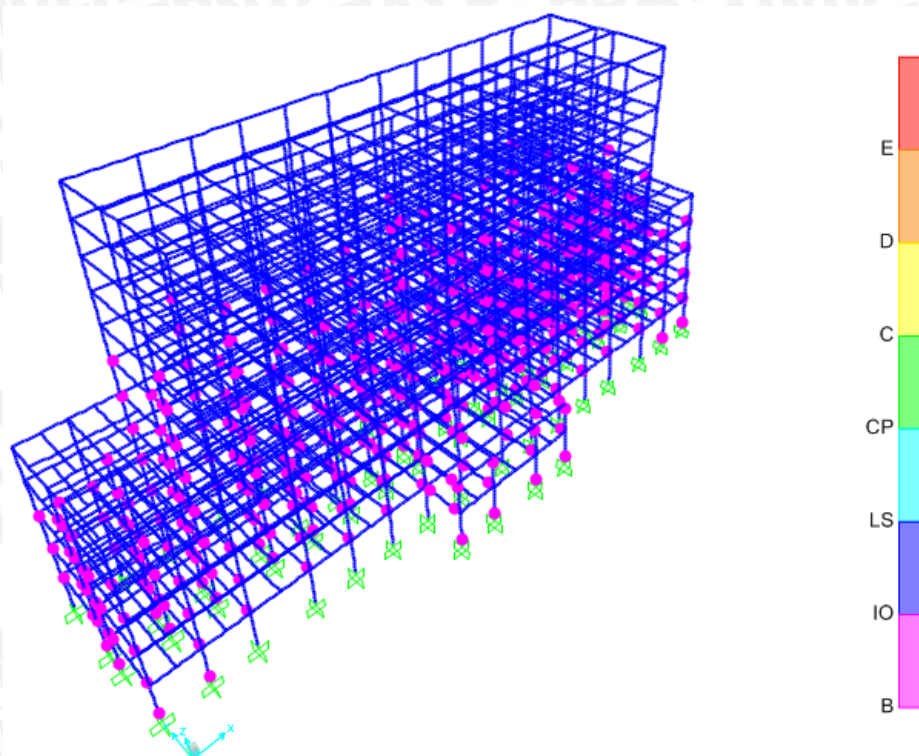
performance point akan muncul pada salah satu step yang akan menampilkan sendi plastis dengan tingkat kinerja tertentu seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4.48 *Data Hasil Analisis Statik Non-Linier Pushover Struktur Tipe A*

Pushover Curve Demand Capacity - ATC40						
Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand
Unitless	Sec	Unitless	m	Unitless	m	Unitless
0	1.238	0.05	0	0	0.122222	0.320975
1	1.238	0.05	0.029963	0.078689	0.122222	0.320975
2	1.367	0.086	0.077881	0.16767	0.116727	0.251303
3	1.499	0.127	0.116889	0.209422	0.113653	0.203625
4	1.581	0.151	0.138339	0.222772	0.113008	0.18198
5	1.936	0.225	0.234757	0.252132	0.119512	0.128357
6	2.081	0.234	0.288156	0.267915	0.126543	0.117654
7	2.219	0.237	0.35014	0.286322	0.134274	0.1098
8	2.34	0.238	0.412449	0.30333	0.141322	0.103934
9	2.443	0.24	0.46928	0.316442	0.147101	0.099192
10	2.549	0.244	0.527131	0.326524	0.152462	0.094441
11	2.553	0.244	0.529157	0.326807	0.152641	0.094271



Gambar 4.61 Sendi Plastis pada Step 2



Gambar 4.62 Sendi Plastis pada Step 3

Berdasarkan Gambar 4.51 dapat dilihat *performance point* Struktur Tipe A berada pada koordinat $S_a = 0.206$ dan $S_d = 0,114$ dimana koordinat ini berada diantara step 2 dan step 3 (seperti yang ditampilkan Tabel 4.48) dengan tingkat kinerja B-IO.

4.6.4 Tingkat Kinerja Struktur Alternatif dengan Single Brace (Tipe B)

Tingkat kinerja untuk Prosedur A ditentukan berdasarkan pada titik kinerja dari hasil analisis yang sudah dilakukan sebelumnya, yaitu :

$$S_a = 0.18$$

$$S_d = 0.096$$

Kemudian untuk mendapatkan tingkat kinerja yang sesuai dengan titik kinerja diatas, gunakan Tabel 4.50 untuk mengetahui posisi titik tersebut pada spektrum kapasitas. Sehingga diperoleh posisi titik kinerja struktur Tipe B berada diantara *step 2* dan *step 3* seperti terlihat pada Tabel 4.49.

Tabel 4.49 Titik Kinerja Struktur Tipe B

Step	Displacement (Δ_{roof})	Base Force (V)	Sa	Sd
	m	Kgf	g	m
0	-0.000439	0	0	-0.000302
1	0.049708	1301100.03	0.08533	0.0342453
2	0.123319	2674804.73	0.17542	0.084958
3	0.186913	3280576.47	0.21515	0.1287698
4	0.274943	3662124.22	0.24018	0.1894162
5	0.347643	3927934.78	0.25761	0.2395013
6	0.438518	4243262.06	0.27829	0.3021077
7	0.531665	4549532.41	0.29838	0.3662794
8	0.604365	4776665.13	0.31327	0.4163645
9	0.679337	4973768.52	0.3262	0.4680149
10	0.726561	5087051.36	0.33363	0.5005488

Tabel 4.50 Sendi Plastis yang Terjadi Pada Struktur Tipe B

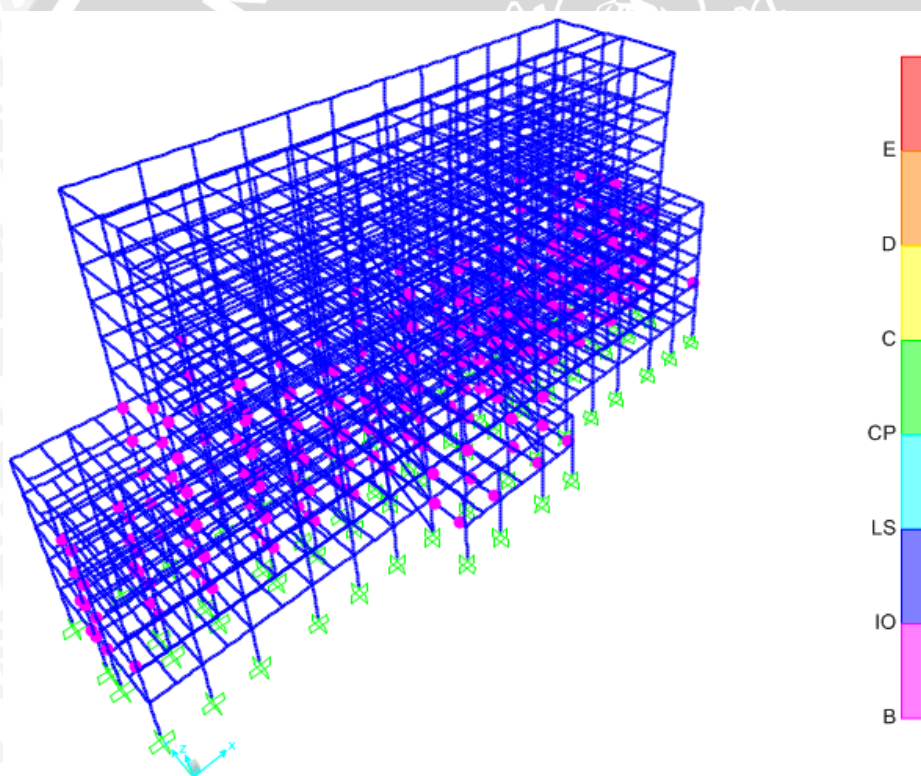
Step	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE
	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
0	5204	0	0	0	0	0	0	0
1	5199	5	0	0	0	0	0	0
2	4891	313	0	0	0	0	0	0
3	4639	565	0	0	0	0	0	0
4	4544	658	2	0	0	0	0	0
5	4486	517	201	0	0	0	0	0
6	4420	402	382	0	0	0	0	0
7	4317	419	410	58	0	0	0	0
8	4243	459	349	111	0	42	0	0
9	4167	512	221	223	0	81	0	0
10	4126	526	218	171	0	163	0	0

Berdasarkan Tabel 4.50 dapat diketahui tingkat kinerja struktur Tipe B berada pada kategori B–IO.

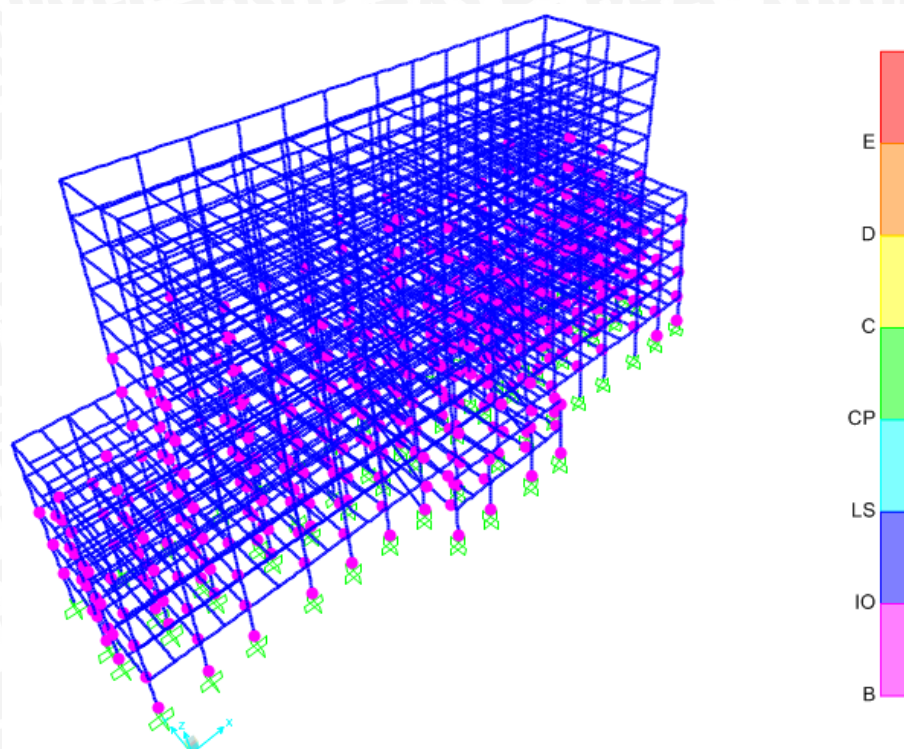
Sedangkan berdasarkan prosedur B tingkat kinerja struktur ditentukan berdasarkan titik kinerja (*performance point*) dari struktur. Pada program SAP2000 v18 dalam analisis statik non-linier pushover akan menghasilkan sendi plastis pada setiap stepnya dimana *performance point* akan muncul pada salah satu step yang akan menampilkan sendi plastis dengan tingkat kinerja tertentu seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4.51 Data Hasil Analisis Statik Non-Linier Pushover Struktur Tipe B

Pushover Curve Demand Capacity - ATC40						
Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand
Unitless	Sec	Unitless	m	Unitless	m	Unitless
0	1.23	0.05	0	0	0.121369	0.323119
1	1.23	0.05	0.02964	0.078909	0.121369	0.323119
2	1.35	0.084	0.07729	0.170645	0.116224	0.256603
3	1.499	0.129	0.122953	0.220405	0.113064	0.202678
4	1.742	0.195	0.1864	0.247217	0.113709	0.15081
5	1.897	0.217	0.239029	0.26733	0.118907	0.132986
6	2.056	0.224	0.306379	0.291746	0.127118	0.121046
7	2.191	0.227	0.375659	0.315003	0.134763	0.113003
8	2.284	0.228	0.430198	0.33211	0.140288	0.108301
9	2.383	0.231	0.489161	0.346817	0.14558	0.103217
10	2.446	0.234	0.527293	0.354709	0.148784	0.100087



Gambar 4.63 Sendi Plastis pada Step 2



Gambar 4.64 Sendi Plastis pada Step 3

Berdasarkan Gambar 4.52 dapat dilihat *performance point* Struktur Tipe B berada pada koordinat $S_a = 0,21$ dan $S_d = 0,114$ dimana koordinat ini berada diantara step 2 dan step 3 (seperti yang ditampilkan Tabel 4.51) dengan tingkat kinerja B-IO.

4.6.5 Tingkat Kinerja Struktur Alternatif dengan X – Brace (Tipe C)

Tingkat kinerja untuk Prosedur A ditentukan berdasarkan pada titik kinerja dari hasil analisis yang sudah dilakukan sebelumnya, yaitu :

$$S_a = 0.199$$

$$S_d = 0.095$$

Kemudian untuk mendapatkan tingkat kinerja yang sesuai dengan titik kinerja diatas, gunakan Tabel 4.53 untuk mengetahui posisi titik tersebut pada spektrum kapasitas. Sehingga diperoleh posisi titik kinerja struktur Tipe C berada diantara *step 2* dan *step 3* seperti terlihat pada Tabel 4.52.

Tabel 4.52 Titik Kinerja Struktur Tipe C

Step	Displacement (Δ_{roof})	Base Force (V)	Sa	Sd
	m	Kgf	g	m
0	-0.000579	0	0	-0.000399
1	0.049399	1326872.42	0.08702	0.0340321
2	0.122812	2752344.31	0.1805	0.084608
3	0.182367	3376617.52	0.22144	0.1256369
4	0.269329	3820552.54	0.25055	0.185547
5	0.342029	4133811.47	0.27109	0.2356317
6	0.423817	4474760.7	0.29345	0.2919774
7	0.514692	4835957.04	0.31714	0.3545833
8	0.589663	5125919.88	0.33616	0.4062325
9	0.614654	5213923.97	0.34193	0.4234494

Tabel 4.53 Sendi Plastis yang Terjadi Pada Struktur Tipe C

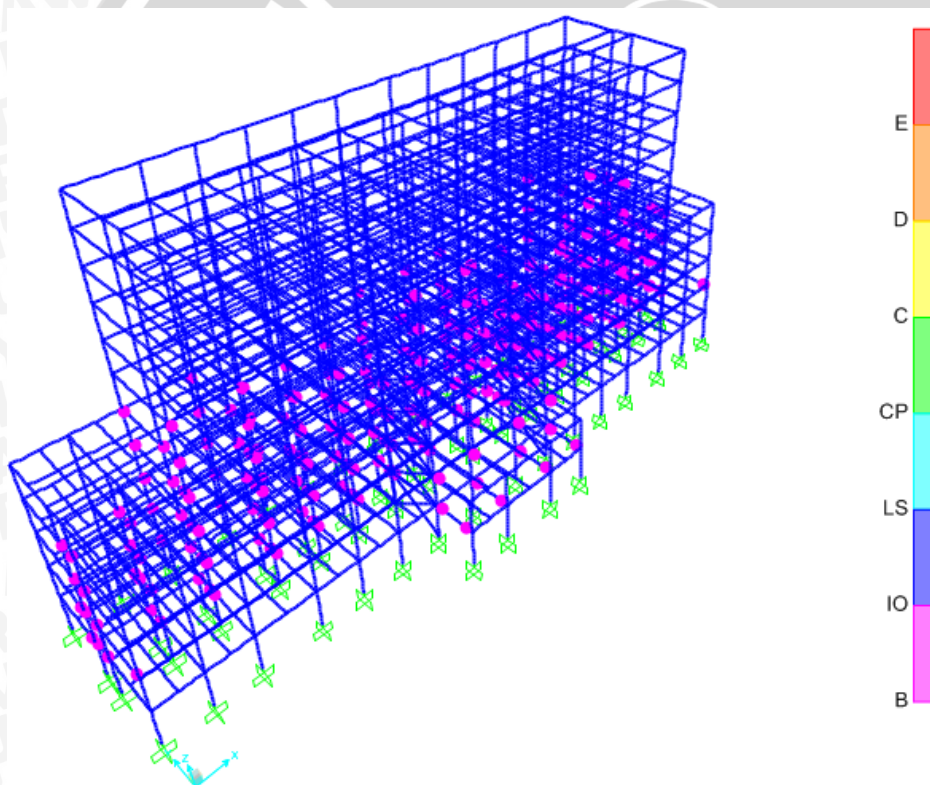
Step	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE
	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
0	5204	0	0	0	0	0	0	0
1	5200	4	0	0	0	0	0	0
2	4892	312	0	0	0	0	0	0
3	4642	562	0	0	0	0	0	0
4	4534	668	2	0	0	0	0	0
5	4467	550	187	0	0	0	0	0
6	4404	443	357	0	0	0	0	0
7	4290	477	397	40	0	0	0	0
8	4210	501	358	104	0	31	0	0
9	4182	526	305	124	0	67	0	0

Berdasarkan Tabel 4.53 dapat diketahui tingkat kinerja struktur Tipe C berada pada kategori B–IO.

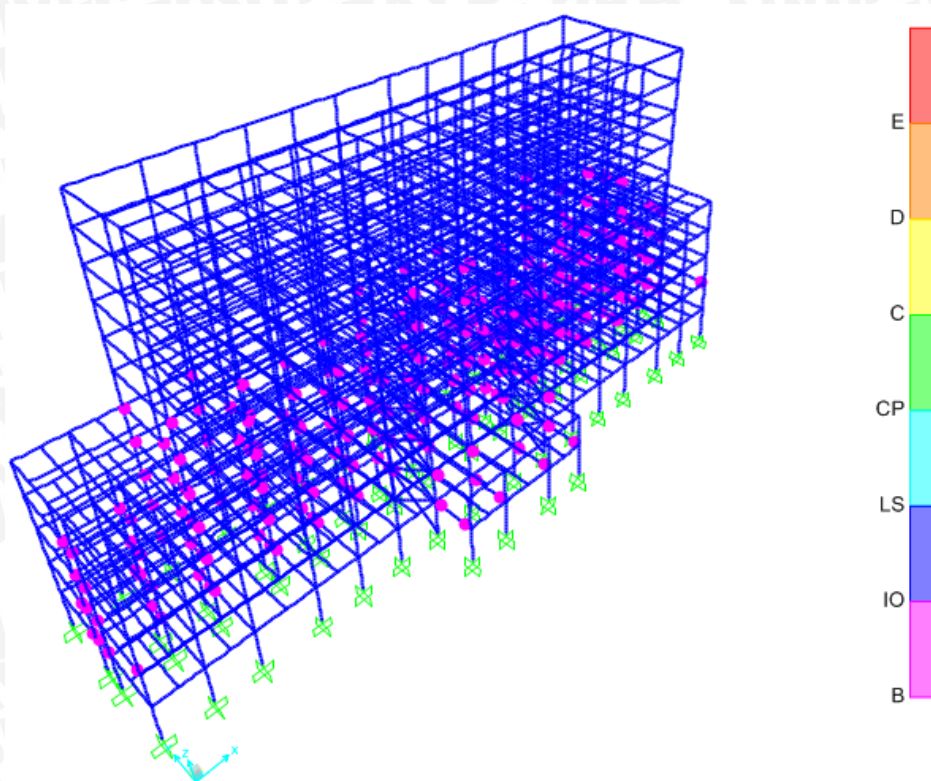
Sedangkan berdasarkan prosedur B tingkat kinerja struktur ditentukan berdasarkan titik kinerja (*performance point*) dari struktur. Pada program SAP2000 v18 dalam analisis statik non-linier pushover akan menghasilkan sendi plastis pada setiap stepnya dimana *performance point* akan muncul pada salah satu step yang akan menampilkan sendi plastis dengan tingkat kinerja tertentu seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4.54 Data Hasil Analisis Statik Non-Linier Pushover Struktur Tipe C

Pushover Curve Demand Capacity - ATC40						
Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand
Unitless	Sec	Unitless	m	Unitless	m	Unitless
0	1.219	0.05	0	0	0.120265	0.325854
1	1.219	0.05	0.029461	0.079823	0.120265	0.325854
2	1.333	0.082	0.07672	0.173794	0.115335	0.261266
3	1.465	0.123	0.119003	0.223289	0.112161	0.210451
4	1.694	0.187	0.181009	0.253911	0.112269	0.157486
5	1.845	0.209	0.233523	0.276284	0.117283	0.138759
6	1.979	0.218	0.293004	0.301125	0.123841	0.127273
7	2.103	0.22	0.359664	0.327532	0.131061	0.119352
8	2.194	0.221	0.415497	0.34756	0.136514	0.114193
9	2.225	0.221	0.434591	0.353504	0.138243	0.112449



Gambar 4.65 Sendi Plastis pada Step 2



Gambar 4.66 Sendi Plastis pada Step 3

Berdasarkan Gambar 4.53 dapat dilihat *performance point* Struktur Tipe C berada pada koordinat $S_a = 0,216$ dan $S_d = 0,113$ dimana koordinat ini berada diantara step 2 dan step 3 (seperti yang ditampilkan Tabel 4.54) dengan tingkat kinerja B-IO.

4.6.6 Tingkat Kinerja Struktur Alternatif dengan V – Brace (Tipe D)

Tingkat kinerja untuk Prosedur A ditentukan berdasarkan pada titik kinerja dari hasil analisis yang sudah dilakukan sebelumnya, yaitu :

$$S_a = 0.198$$

$$S_d = 0.098$$

Kemudian untuk mendapatkan tingkat kinerja yang sesuai dengan titik kinerja diatas, gunakan Tabel 4.56 untuk mengetahui posisi titik tersebut pada spektrum kapasitas. Sehingga diperoleh posisi titik kinerja struktur Tipe D berada diantara *step 2* dan *step 3* seperti terlihat pada Tabel 4.55.

Tabel 4.55 Titik Kinerja Struktur Tipe D

Step	Displacement (Δ_{roof})	Base Force (V)	Sa	Sd
	m	Kgf	g	m
0	-0.000583	0	0	-0.000402
1	0.049392	1318900.14	0.0865	0.0340275
2	0.122615	2731029.64	0.17911	0.0844728
3	0.183011	3348374.89	0.2196	0.1260812
4	0.255904	3708891.49	0.24324	0.1762992
5	0.337692	4050416.17	0.26564	0.2326451
6	0.417207	4357956.35	0.28581	0.2874252
7	0.521714	4758837.68	0.3121	0.3594229
8	0.605773	5057807.7	0.3317	0.4173334
9	0.655754	5214092.26	0.34195	0.4517666

Tabel 4.56 Sendi Plastis yang Terjadi Pada Struktur Tipe D

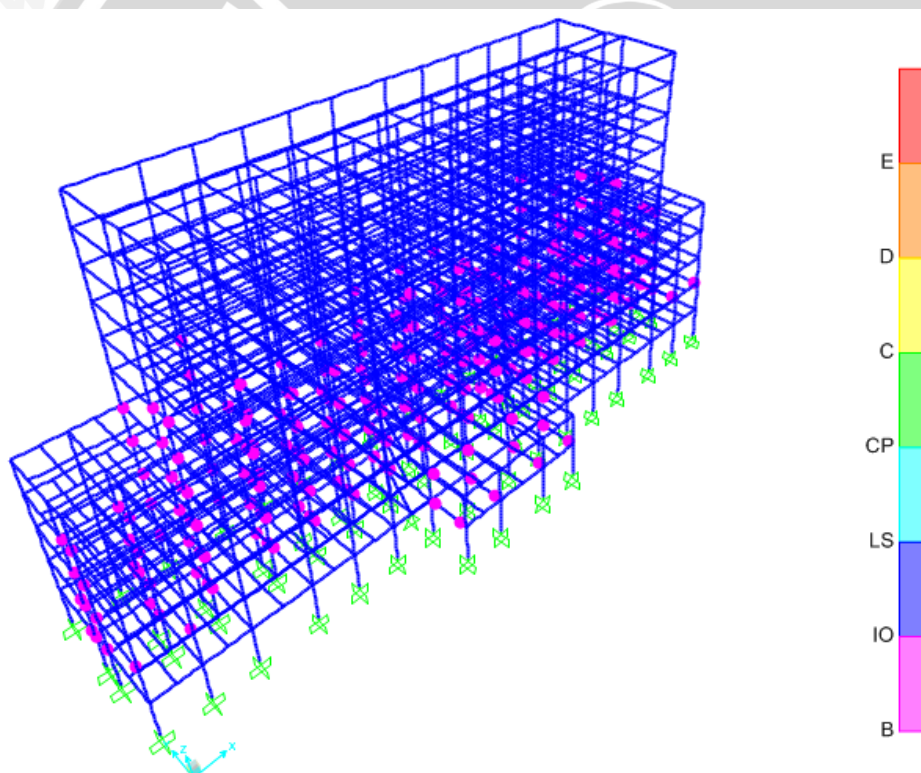
Step	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE
	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
0	5204	0	0	0	0	0	0	0
1	5200	4	0	0	0	0	0	0
2	4894	310	0	0	0	0	0	0
3	4641	563	0	0	0	0	0	0
4	4550	652	2	0	0	0	0	0
5	4481	545	178	0	0	0	0	0
6	4421	430	353	0	0	0	0	0
7	4297	463	384	60	0	0	0	0
8	4196	512	317	120	0	59	0	0
9	4140	553	246	184	0	81	0	0

Berdasarkan Tabel 4.56 dapat diketahui tingkat kinerja struktur Tipe D berada pada kategori B–IO.

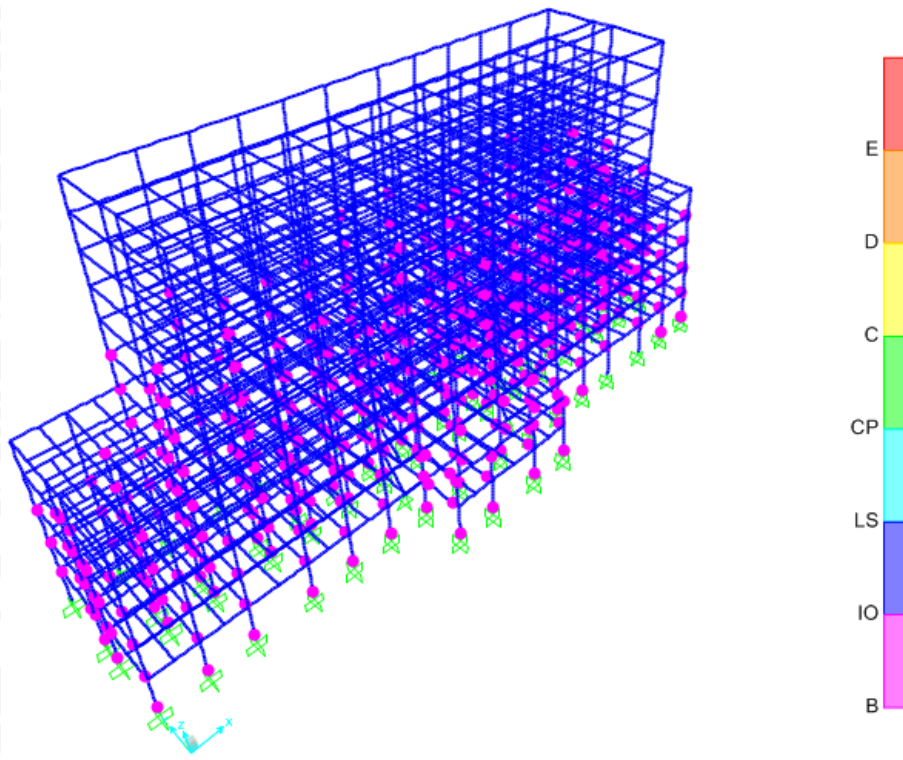
Sedangkan berdasarkan prosedur B tingkat kinerja struktur ditentukan berdasarkan titik kinerja (*performance point*) dari struktur. Pada program SAP2000 v18 dalam analisis statik non-linier pushover akan menghasilkan sendi plastis pada setiap stepnya dimana *performance point* akan muncul pada salah satu step yang akan menampilkan sendi plastis dengan tingkat kinerja tertentu seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4.57 Data Hasil Analisis Statik Non-Linier Pushover Struktur Tipe D

Pushover Curve Demand Capacity - ATC40						
Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand
Unitless	Sec	Unitless	m	Unitless	m	Unitless
0	1.222	0.05	0	0	0.120566	0.325114
1	1.222	0.05	0.029482	0.079501	0.120566	0.325114
2	1.336	0.082	0.076648	0.172771	0.115591	0.260552
3	1.473	0.125	0.11966	0.222067	0.112307	0.208421
4	1.674	0.184	0.171635	0.246713	0.111745	0.160625
5	1.851	0.211	0.230945	0.271214	0.117229	0.137669
6	1.989	0.22	0.289033	0.294109	0.123835	0.12601
7	2.137	0.223	0.367202	0.323683	0.132564	0.116853
8	2.242	0.224	0.430194	0.344585	0.138705	0.111102
9	2.307	0.226	0.469827	0.355478	0.142116	0.107527



Gambar 4.67 Sendi Plastis pada Step 2



Gambar 4.68 Sendi Plastis pada Step 3

Berdasarkan Gambar 4.54 dapat dilihat *performance point* Struktur Tipe D berada pada koordinat $T_{eff} = S_a = 0,214$ dan $S_d = 0,113$ dimana koordinat ini berada diantara step 2 dan step 3 (seperti yang ditampilkan Tabel 4.57) dengan tingkat kinerja B-IO.

4.6.7 Tingkat Kinerja Struktur Alternatif dengan A/Chevron Brace (Tipe E)

Tingkat kinerja untuk Prosedur A ditentukan berdasarkan pada titik kinerja dari hasil analisis yang sudah dilakukan sebelumnya, yaitu :

$$S_a = 0.198$$

$$S_d = 0.113$$

Kemudian untuk mendapatkan tingkat kinerja yang sesuai dengan titik kinerja diatas, gunakan Tabel 4.59 untuk mengetahui posisi titik tersebut pada spektrum kapasitas. Sehingga diperoleh posisi titik kinerja struktur Tipe E berada diantara *step 2* dan *step 3* seperti terlihat pada Tabel 4.58.

Tabel 4.58 Titik Kinerja Struktur Tipe E

Step	Displacement (Δ_{roof})	Base Force (V)	Sa	Sd
	m	Kgf	g	m
0	-0.000632	0	0	-0.000435
1	0.048126	1166131.44	0.07648	0.0331553
2	0.122902	2551734.59	0.16735	0.0846705
3	0.183731	3171790.68	0.20801	0.1265772
4	0.192576	3227283	0.21165	0.1326708
5	0.192586	3227480.51	0.21167	0.1326777
6	0.267354	3589009.03	0.23538	0.1841874
7	0.340054	3889810.99	0.2551	0.2342724
8	0.412754	4171889.92	0.2736	0.2843574
9	0.519532	4569628.16	0.29969	0.3579196
10	0.614951	4903200.61	0.32157	0.4236563
11	0.687651	5126328	0.3362	0.4737413
12	0.726371	5237867.05	0.34351	0.5004166

Tabel 4.59 Sendi Plastis yang Terjadi Pada Struktur Tipe E

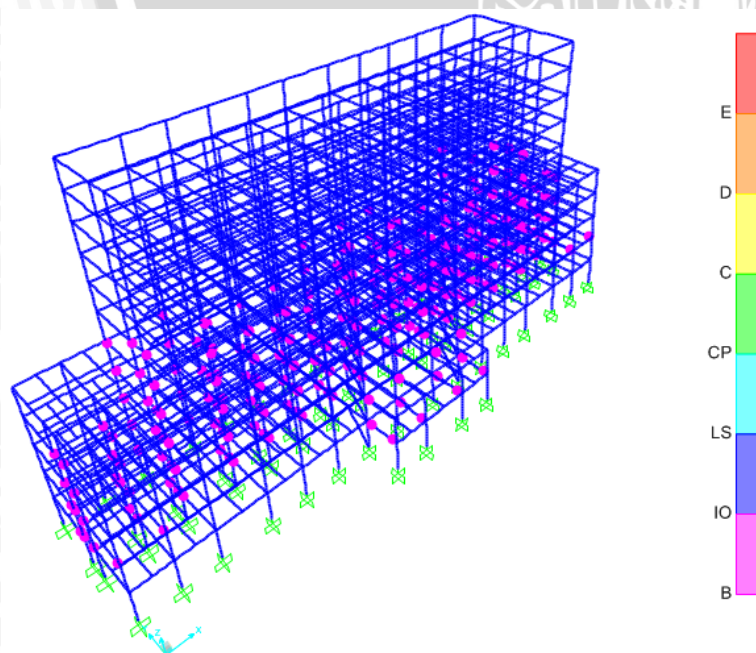
Step	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE
	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
0	5204	0	0	0	0	0	0	0
1	5199	5	0	0	0	0	0	0
2	4934	270	0	0	0	0	0	0
3	4694	510	0	0	0	0	0	0
4	4673	531	0	0	0	0	0	0
5	4673	531	0	0	0	0	0	0
6	4575	619	10	0	0	0	0	0
7	4500	502	202	0	0	0	0	0
8	4438	431	335	0	0	0	0	0
9	4326	463	358	57	0	0	0	0
10	4216	501	277	145	0	65	0	0
11	4129	561	202	185	0	127	0	0
12	4094	582	190	137	0	201	0	0

Berdasarkan Tabel 4.59 dapat diketahui tingkat kinerja struktur Tipe E berada pada kategori B–IO.

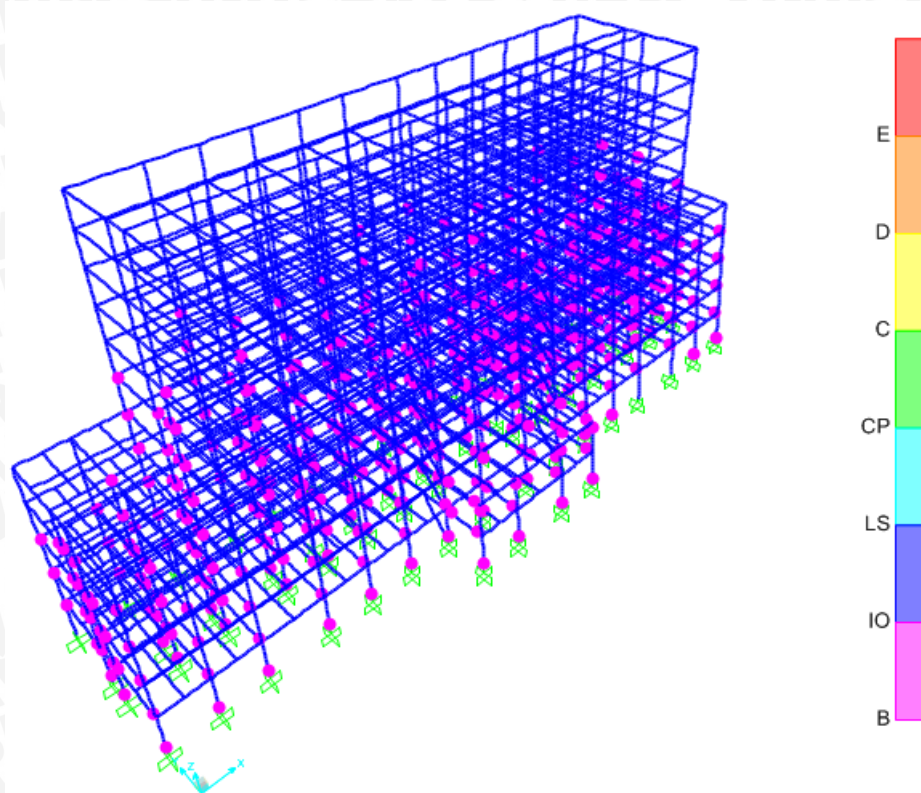
Sedangkan berdasarkan prosedur B tingkat kinerja struktur ditentukan berdasarkan titik kinerja (*performance point*) dari struktur. Pada program SAP2000 v18 dalam analisis statik non-linier pushover akan menghasilkan sendi plastis pada setiap stepnya dimana *performance point* akan muncul pada salah satu step yang akan menampilkan sendi plastis dengan tingkat kinerja tertentu seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4.60 Data Hasil Analisis Statik Non-Linier Pushover Struktur Tipe E

Pushover Curve Demand Capacity - ATC40						
Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand
Unitless	Sec	Unitless	m	Unitless	m	Unitless
0	1.249	0.05	0	0	0.123324	0.318166
1	1.249	0.05	0.029412	0.07588	0.123324	0.318166
2	1.356	0.079	0.07834	0.171513	0.118803	0.2601
3	1.494	0.123	0.122403	0.220764	0.114463	0.206445
4	1.519	0.132	0.129018	0.224957	0.113846	0.198504
5	1.519	0.132	0.129024	0.22497	0.113849	0.198511
6	1.723	0.186	0.18476	0.250556	0.114392	0.155129
7	1.879	0.209	0.238857	0.272419	0.119349	0.136119
8	2.005	0.218	0.293264	0.293598	0.12525	0.125392
9	2.156	0.221	0.374087	0.323907	0.134136	0.116143
10	2.275	0.222	0.447768	0.348183	0.141141	0.109751
11	2.369	0.226	0.506937	0.363781	0.146087	0.104833
12	2.417	0.228	0.538885	0.371271	0.148579	0.102365



Gambar 4.69 Sendi Plastis pada Step 2



Gambar 4.70 Sendi Plastis pada Step 3

Berdasarkan Gambar 4.55 dapat dilihat *performance point* Struktur Tipe E berada pada koordinat $S_a = 0,213$ dan $S_d = 0,115$ dimana koordinat ini berada diantara step 2 dan step 3 (seperti yang ditampilkan Tabel 4.60) dengan tingkat kinerja B-IO.

4.6.8 Perbandingan Tingkat Kinerja Antara Prosedur A dan B - ATC 40

Tabel 4.61 Perbandingan Tingkat Kinerja Struktur Antara Prosedur A dan B- ATC 40

Jenis Struktur	Prosedur A			Prosedur B		
	S_a	S_d	Tingkat Kinerja	S_a	S_d	Tingkat Kinerja
	g	m		g	m	
OD	0.16	0.093	B-IO	0.198	0.113	B-IO
OND	0.172	0.094	B-IO	0.197	0.116	B-IO
Tipe A	0.181	0.099	B-IO	0.206	0.114	B-IO
Tipe B	0.18	0.096	B-IO	0.21	0.114	B-IO
Tipe C	0.199	0.095	B-IO	0.216	0.113	B-IO
Tipe D	0.198	0.098	B-IO	0.214	0.113	B-IO
Tipe E	0.198	0.113	B-IO	0.213	0.115	B-IO

Berdasarkan data perbandingan diatas, dapat dilihat bahwa prosedur A dan B memiliki hasil analisis dengan karakteristik yang hampir sama. Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa berdasarkan analisis prosedur A dan B semua jenis struktur memiliki tingkat kinerja

B-IO (*Immedite Occupancy*) atau segera huni. Dimana struktur Tipe C memiliki tingkat kinerja paling tinggi.

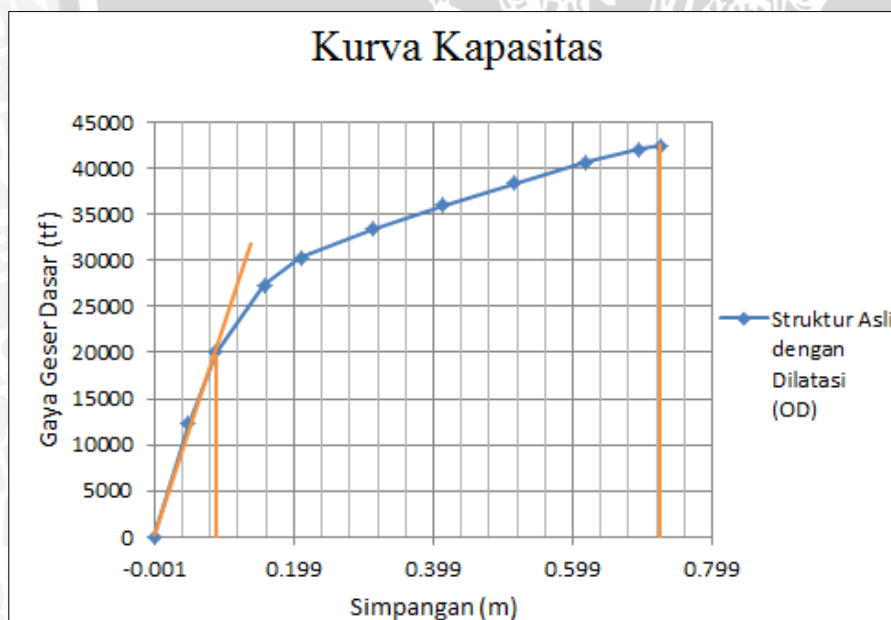
4.7 Daktilitas Struktur

Daktilitas merupakan kemampuan suatu komponen struktur untuk mengalami deformasi sebesar-besarnya tanpa menyebabkan kegagalan daya layan, walaupun telah berada dalam kondisi plastis. Besaran daktilitas dinyatakan dalam suatu faktor, yang merupakan rasio antara defleksi pada kondisi maksimum/ runtuh terhadap defleksi pada saat terjadi kelelahan awal, yang dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \dots \dots \dots (4-3)$$

Untuk mendapatkan daktilitas masing-masing tipe struktur digunakan analisis daktilitas berdasarkan defleksi, dimana untuk memperoleh defleksi pada kondisi leleh digunakan metode A, sebagaimana ditunjukkan dalam pembahasan pada subbab 2.11.3. Berikut merupakan penentuan defleksi kondisi leleh dan defleksi kondisi runtuh dari masing-masing tipe struktur.

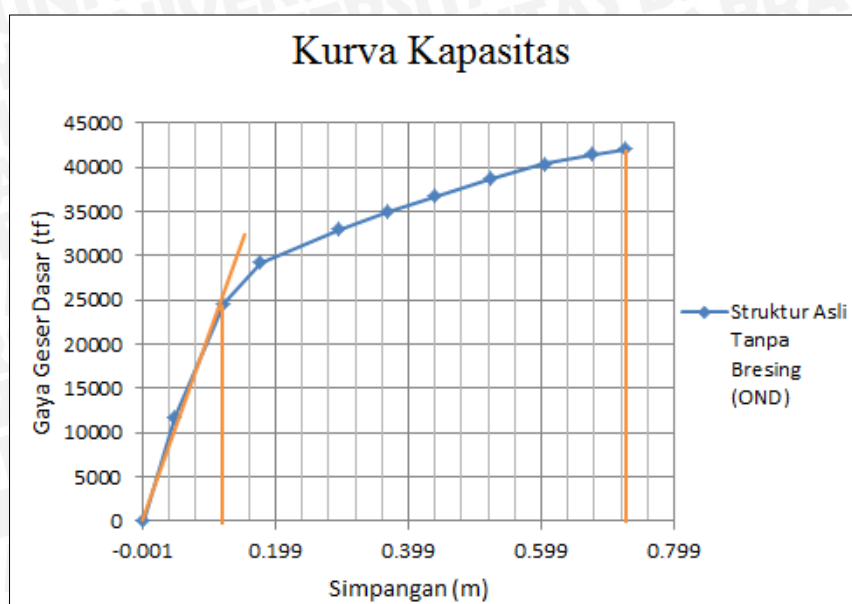
4.7.1 Daktilitas Struktur Asli dengan Dilatasi Struktur (OD)



Gambar 4.71 Simpangan Kondisi Leleh dan Simpangan Kondisi Runtuh struktur OD

Berdasarkan Gambar 4.71 didapatkan defleksi kondisi leleh sebesar 0,0871 m ($\Delta_y = 0,0871$ m) dan defleksi kondisi runtuh sebesar 0,7261 m ($\Delta_u = 0,7261$ m).

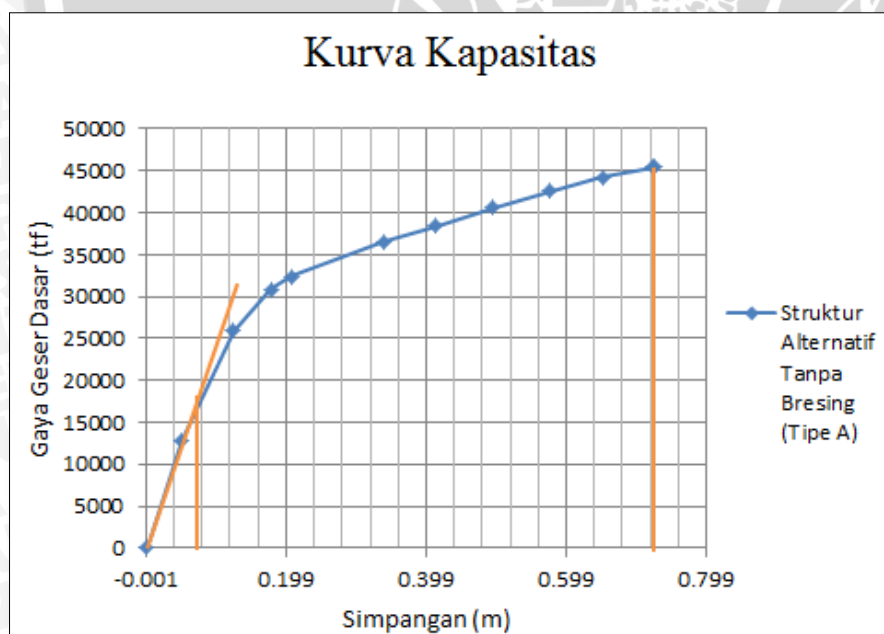
4.7.2 Daktilitas Struktur Asli Tanpa Dilatasi Struktur (OND)



Gambar 4.72 Simpangan Kondisi Leleh dan Simpangan Kondisi Runtuh struktur OND

Berdasarkan Gambar 4.72 didapatkan defleksi kondisi leleh sebesar 0,1208 m ($\Delta y = 0,1208$ m) dan defleksi kondisi runtuh sebesar 0,7265 m ($\Delta u = 0,7265$ m).

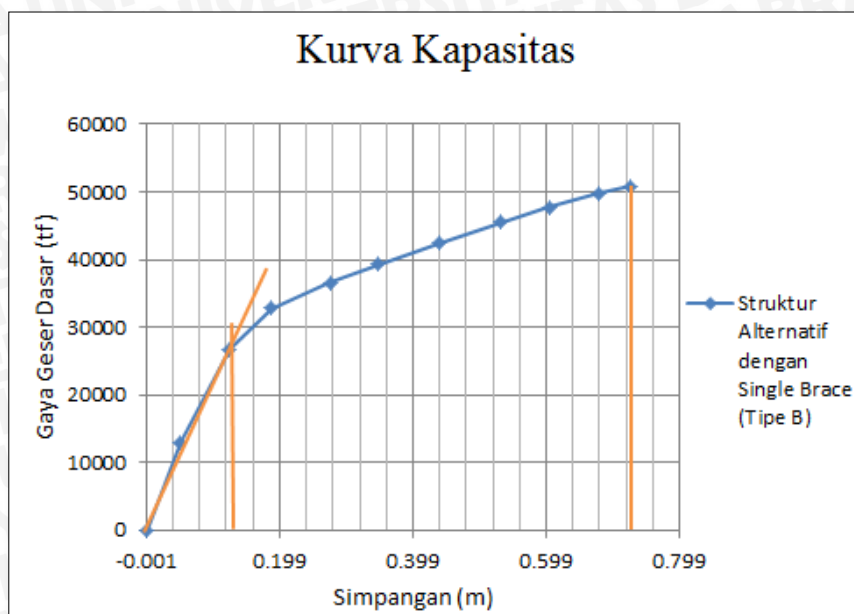
4.7.3 Daktilitas Struktur Alternatif Tanpa Bresing (Type A)



Gambar 4.73 Simpangan Kondisi Leleh dan Simpangan Kondisi Runtuh Struktur Tipe A

Berdasarkan Gambar 4.73 didapatkan defleksi kondisi leleh sebesar 0,078 m ($\Delta y = 0,078$ m) dan defleksi kondisi runtuh sebesar 0,72653 m ($\Delta u = 0,72653$ m).

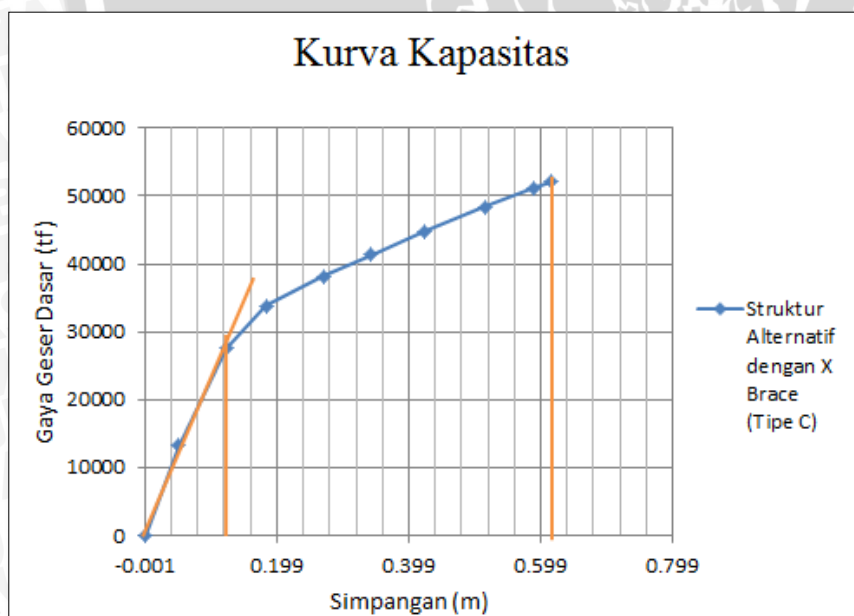
4.7.4 Daktilitas Struktur Alternatif dengan Single Brace (Tipe B)



Gambar 4.74 Simpangan Kondisi Leleh dan Simpangan Kondisi Runtuh Struktur Tipe B

Berdasarkan Gambar 4.74 didapatkan defleksi kondisi leleh sebesar 0,1233 m ($\Delta y = 0,1233$ m) dan defleksi kondisi runtuh sebesar 0,72656 m ($\Delta u = 0,72656$ m).

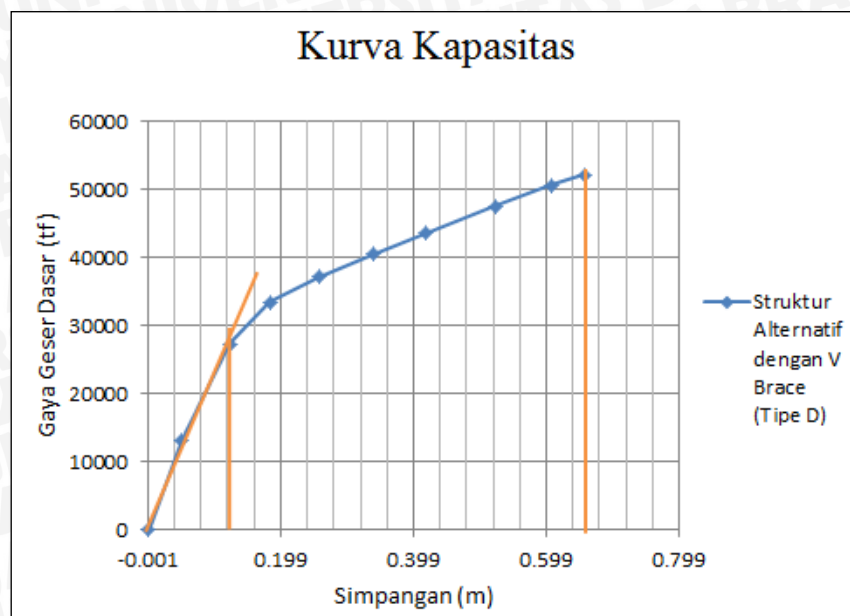
4.7.5 Daktilitas Struktur Alternatif dengan X Brace (Tipe C)



Gambar 4.75 Simpangan Kondisi Leleh dan Simpangan Kondisi Runtuh Struktur Tipe C

Berdasarkan Gambar 4.75 didapatkan defleksi kondisi leleh sebesar 0,1228 m ($\Delta y = 0,1228$ m) dan defleksi kondisi runtuh sebesar 0,61465 m ($\Delta u = 0,61465$ m).

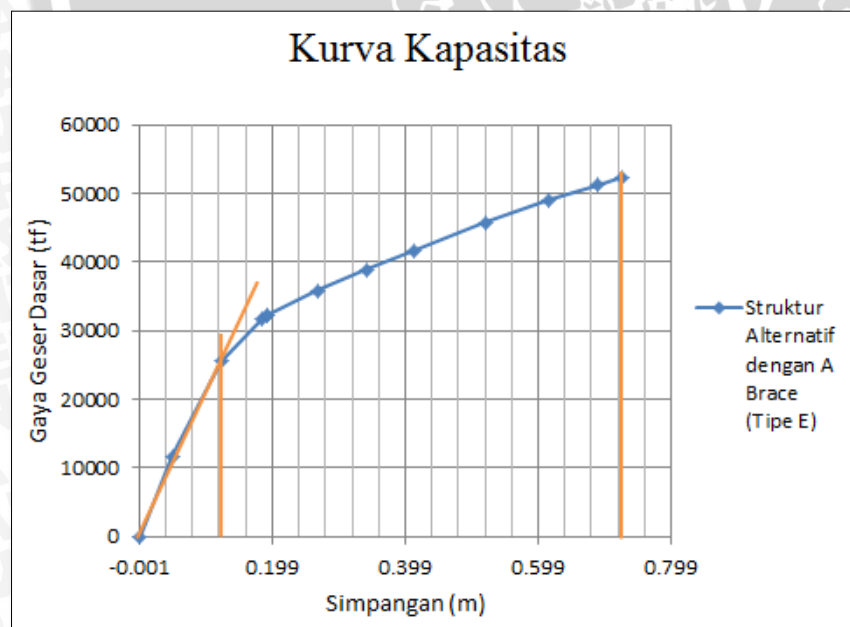
4.7.6 Daktilitas Struktur Alternatif dengan V Brace (Tipe D)



Gambar 4.76 Simpangan Kondisi Leleh dan Simpangan Kondisi Runtuh Struktur Tipe D

Berdasarkan Gambar 4.76 didapatkan defleksi kondisi leleh sebesar 0,122615 m ($\Delta y = 0,122615$ m) dan defleksi kondisi runtuh sebesar 0,655754 m ($\Delta u = 0,655754$ m).

4.7.7 Daktilitas Struktur Alternatif dengan A Brace (Tipe E)



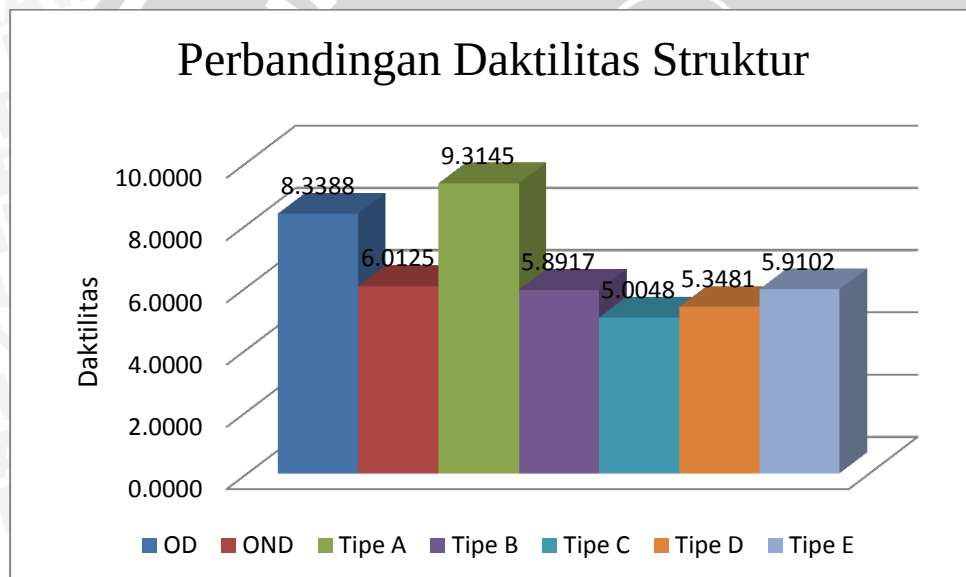
Gambar 4.77 Defleksi Kondisi Leleh dan Simpangan Kondisi Runtuh Struktur Tipe E

Berdasarkan Gambar 4.77 didapatkan defleksi kondisi leleh sebesar 0,122902 m ($\Delta y = 0,122902$ m) dan defleksi kondisi runtuh sebesar 0,726371 m ($\Delta u = 0,726371$ m).

4.7.8 Perbandingan Daktilitas Struktur

Tabel 4.62 Perbandingan Daktilitas Struktur

Jenis Struktur	Δy	Δu	μ
	m	m	
OD	0.08708	0.72614	8.33882
OND	0.12084	0.72653	6.0125
Tipe A	0.078	0.72653	9.31453
Tipe B	0.12332	0.72656	5.89172
Tipe C	0.12281	0.61465	5.00484
Tipe D	0.12262	0.65575	5.34807
Tipe E	0.1229	0.72637	5.91016



Gambar 4.78 Perbandingan Daktilitas Struktur

Berdasarkan Gambar 4.78 dapat dilihat bahwa struktur Tipe A (Struktur Alternatif Tanpa Bresing) lebih unggul dibandingkan struktur jenis lain karena struktur Tipe A memiliki daktilitas paling tinggi diantara struktur jenis lain, dimana struktur ini memiliki daktilitas sebesar 9,3145 sehingga dapat dipilih sebagai struktur yang paling tahan terhadap gempa pada wilayah gempa kota malang dengan kelas situs tanah lunak. Dibawah struktur Tipe A adalah struktur OD dengan daktilitas sebesar 8,3388. Berdasarkan SNI 1726: 2002 struktur ini dapat dikategorikan sebagai struktur dengan daktilitas penuh karena mampu mencapai faktor daktilitas sebesar 5,3. Sedangkan struktur dengan faktor daktilitas struktur diantara 1,0 sampai 5,3 dapat dikategorikan sebagai struktur dengan daktilitas parsial.