

PERANCANGAN DAN KINERJA SEISMIK STRUKTUR GEDUNG MENGGUNAKAN SISTIM FLAT-SLAB

Inkaana Bi Haqqi^{1,*}, Intan Rismayanti¹, Antonius², M. Rusli Ahyar²

¹Alumni Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang

^{1,2}Jl. Kaligawe Raya No.KM 4 Semarang

*Corresponding author: inkaanabi07@gmail.com

ABSTRAK

Paper ini membahas perencanaan struktur gedung bertingkat yang menggunakan bahan beton bertulang dengan sistem flat slab. Tujuan utama di dalam paper ini adalah untuk mengetahui kinerja seismik hasil dari modifikasi perencanaan struktur gedung dan dapat merencanakan sebuah struktur gedung dengan menggunakan sistim flat slab. Analisis dimulai dari pengumpulan data, tinjauan pustaka terhadap metode flat slab, studi literatur. Selanjutnya tahap preliminary design, analisa pembebanan, perencanaan struktur atas. Pemodelan struktur menggunakan program ETABS V18.1.1. Standar perencanaan mengacu pada standar terbaru, untuk beton adalah SNI-2847-2019 dan untuk analisa gempa menggunakan SNI-1726-2019. Dinding geser dirancang dengan ketebalan 300 mm. Hasil analisis struktur flat-slab diperoleh tebal pelat 200 mm dan dimensi kolom 600x600. Sistem struktur yang dirancang membutuhkan drop panel dengan tebal 120 mm dan lebar 2400 mm ke arah sumbu x maupun sumbu y . Secara umum sistim struktur flat-slab membutuhkan pelat yang lebih tebal dan dimensi kolom yang lebih besar dibandingkan dengan sistim struktur rangka/portal (non flat-slab). Simpangan lateral yang terjadi pada sistim struktur flat slab dengan drop panel yang dirancang masih lebih kecil dari simpangan lateral ijin. Struktur yang ditinjau juga masih aman jika efek P-Delta ditinjau, dan struktur masuk kategori tanpa ketidakberaturan torsi.

Kata-kata kunci: beton bertulang, Flat slab, drop panel, analisa gempa

PERANCANGAN DAN KINERJA SEISMIK STRUKTUR GEDUNG MENGGUNAKAN SISTIM FLAT-SLAB

Inkaana Bi Haqqi¹, Intan Rismayanti¹, Antonius², M. Rusli Ahyar²

¹Alumni Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang

^{1,2}Jl. Kaligawe Raya No.Km. 4 Semarang

*Corresponding author: inkaanaabi07@gmail.com

1 PENDAHULUAN

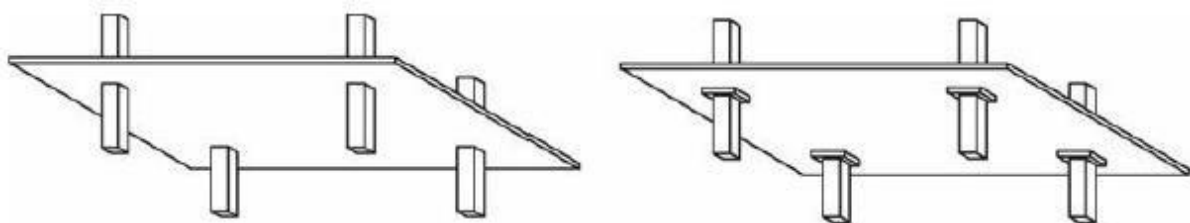
Dunia konstruksi di Indonesia pada saat ini telah mengalami peningkatan yang signifikan pasca tragedi Covid-19 dimana telah melumpuhkan sebagian besar perekonomian nasional, termasuk kegiatan konstruksi. Pembangunan infrastruktur di segala bidang secara simultan mulai bangkit seperti pembangunan jalan, jembatan, bendungan, dan tidak ketinggalan pembangunan gedung bertingkat.

Dalam hal perancangan dan pelaksanaan pembangunan gedung di berbagai kota di Indonesia yang telah berkembang dengan cepat, salah satunya adalah di kota Semarang. Pada umumnya struktur bangunan gedung yang dirancang mengacu kepada sistem struktur sederhana, dimana plat/slab, balok dan kolom dirangkai menjadi satu kesatuan struktur atas yang disebut sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM).

Standar perancangan struktur beton yang terbaru di Indonesia (SNI 2847-2019) telah mengatur beberapa ketentuan termasuk detailing untuk struktur beton bertulang tahan gempa. Salah satu sistem struktur yang diatur dalam SNI tersebut adalah mengenai sistem struktur flat-slab.

Sistem *Flat slab* merupakan konstruksi beton pelat dua arah (*two way slab with drops*) berupa pelat beton tanpa ada struktur balok, dan pelat tersebut ditumpu secara langsung oleh kolom-kolom beton. Hubungan flat slab dengan kolom mencakup daerah pada bagian join dan bagian daerah pelat yang berbatasan langsung dengan struktur kolom. Terdapat penampang kritis yaitu akibat dari adanya transfer beban gravitasi diantara struktur pelat dan kolom yang menimbulkan terjadinya tegangan geser pada pelat di daerah sekeliling kolom.

Contoh struktur flat slab diperlihatkan pada Gambar 1. Gambar 1a adalah bentuk flat slab, dimana plat langsung menjadi satu kesatuan dengan kolom (tanpa balok), dan pada Gambar 1b di daerah permukaan kolom terdapat penebalan dengan dimensi tertentu yang sering disebut sebagai drop panel.



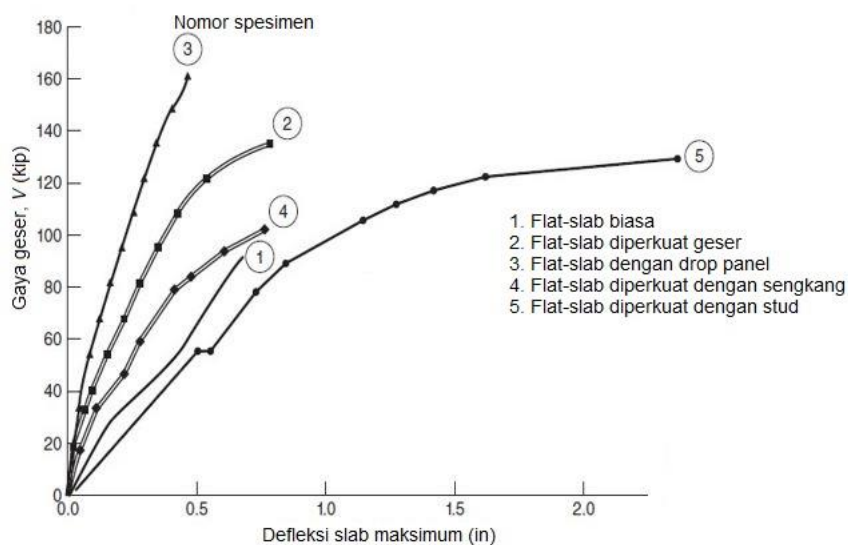
(a) Flat-slab biasa

(b) Flat-slab dengan drop panel

Gambar 1. Struktur flat-slab

Salah satu keuntungan sistem flat slab adalah karena tanpa balok sehingga secara keseluruhan berat struktur menjadi lebih ringan. Selain itu sistem ini lebih mudah dan cepat dalam pelaksanaan karena pembuatan cetakan beton yang bersifat tipikal. Namun demikian struktur flat slab juga mempunyai kelemahan yaitu lemah dalam menyalurkan gaya lateral (karena tidak ada balok sebagai penyalur beban lateral). Dengan demikian sistem flat slab kurang cocok diterapkan untuk bangunan yang berada di daerah gempa kuat, dan lebih aman diterapkan di daerah seismisitas rendah dan menengah. Sifat lain dari sistem flat slab ini adalah lemah dalam menahan gaya geser terutama di daerah sekitar kolom yang menimbulkan geser dua arah.

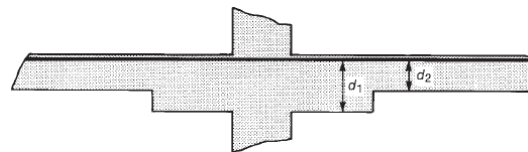
Terdapat beberapa skema untuk meningkatkan kekuatan geser dua arah pada sistem flat slab. Wight & MacGregor (2015) mengungkapkan perbandingan specimen flat slab dengan berbagai variasi perkuatan geser, dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 2 melalui kurva beban-defleksi. Spesimen 1 berupa pelat datar tanpa perkuatan geser, spesimen 2 sistem yang memiliki kekuatan geser memadai, spesimen 3 adalah sistem memiliki drop panel, spesimen 4 berupa sistem yang dipasang sengkang, dan spesimen 5 adalah sistem yang dipasang stud geser.



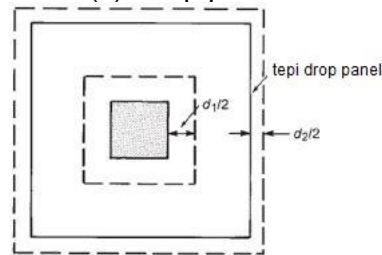
Gambar 2. Perilaku geser vs defleksi sistem flat-slab (Wight & MacGregor, 2015)

SNI 2847-2019 pasal 22.6.4 menjelaskan beberapa hal mengenai penampang kritis pada struktur flat slab yang ditambah drop panel secara detail (Gambar 3). Dijelaskan bahwa pada penampang kritis untuk komponen dua arah, maka penampang kritis tersebut harus ditempatkan sedemikian rupa agar nilai keliling penampang kritis menjadi minimum, tetapi tidak lebih dekat dari $d/2$ antara dua daerah. Daerah pertama adalah pada pojok kolom, beban terpusat, atau daerah reaksi, dan yang kedua adalah pada daerah perubahan pada pelat atau ketebalan pondasi telapak, seperti ujung kepala kolom (capital), panel drop (drop panels).

Di dalam paper ini akan diuraikan perancangan ulang (redesain) bangunan gedung yang telah terbangun di kota Semarang yang menggunakan sistem portal biasa dan dinding geser (terdapat balok) dan mempunyai 8 tingkat, termasuk atap (Gambar 4 dan 5). Denah ukuran bangunan adalah 19x58 meter, tinggi struktur atas adalah 31 meter. Dimensi kolom utama 500x500 dan tebal pelat 120 mm. Struktur menggunakan Shear Wall tebal 300 mm. Redesain gedung tersebut menggunakan sistem flat slab seperti terlihat pada Gambar 6, dengan catatan bahwa tebal dan letak Shear Wall tetap. Uraian yang disajikan di dalam paper ini dibatasi pada kinerja seismik struktur dengan sistem flat slab.

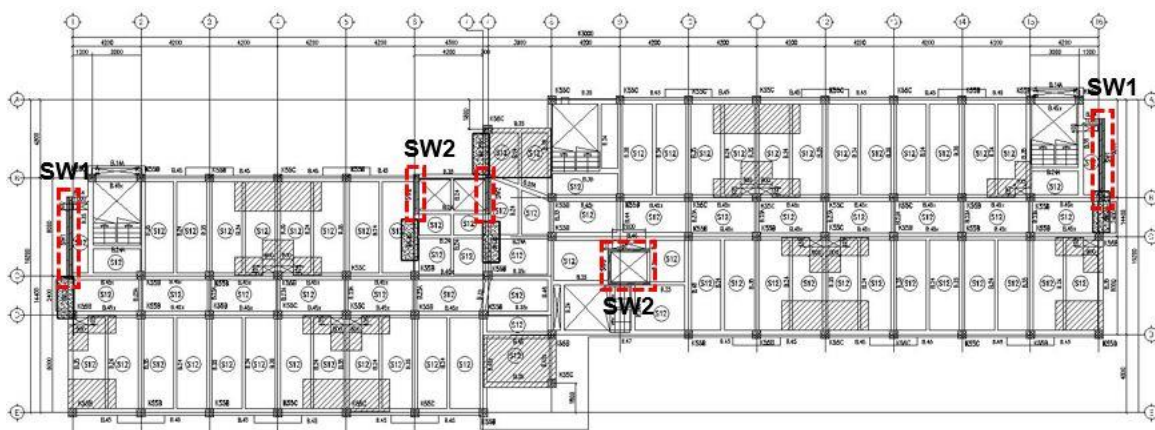


(a) Drop panel



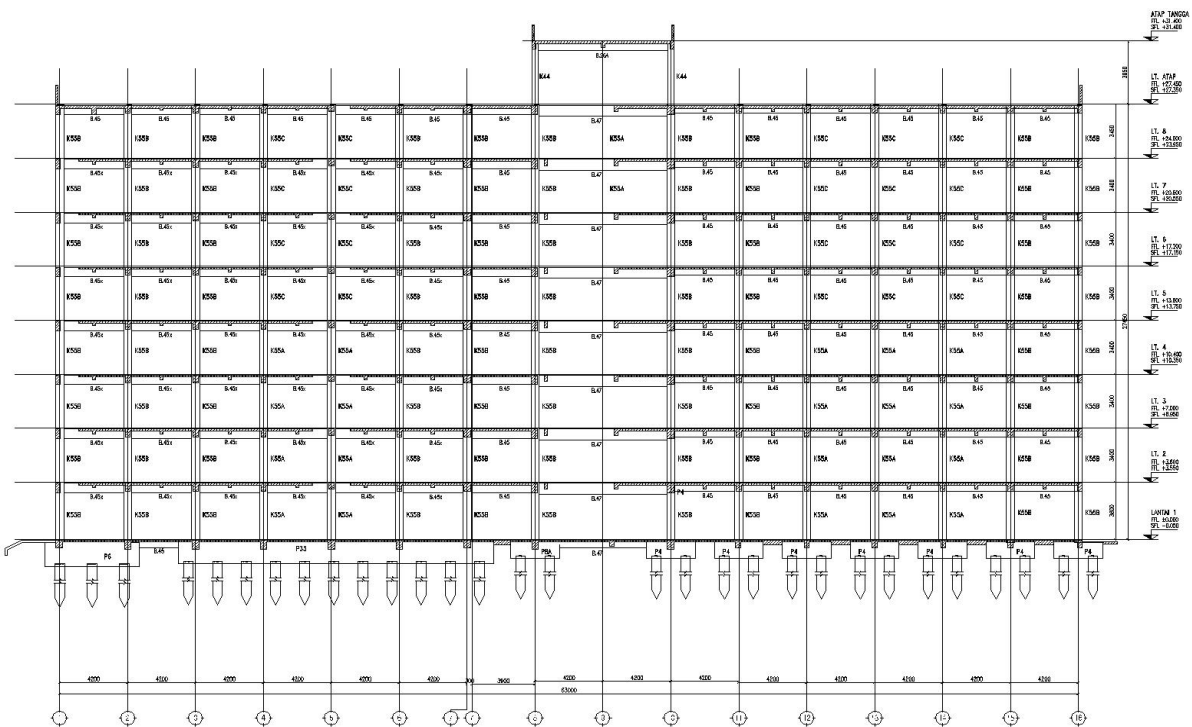
(b) Daerah kritis flat slab

Gambar 3. Flat-slab dengan drop panel

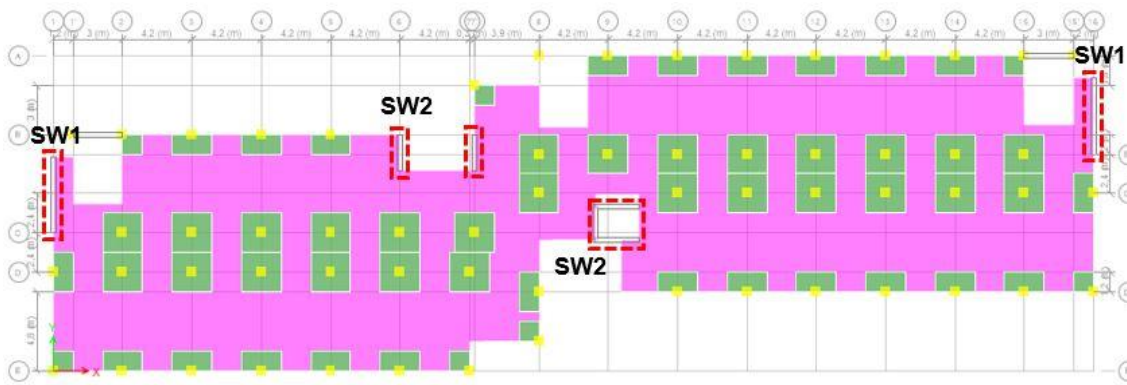


Gambar 4. Denah struktur gedung rumah susun

Keterangan: SW=Shear Wall



Gambar 5. Tampak depan struktur gedung rumah susun



Gambar 6. Denah struktur gedung rumah susun sistim flat slab

3 Preliminary Desain

3.1. Dimensi Kolom

Dengan menggunakan mutu baja (f_y) 420 MPa dan beban rencana (P_u) sebesar 3196,486 kN, maka perencanaan dimensi kolom dapat ditentukan sebagai berikut:

$$A = \frac{P_u}{\phi f'_c} \quad (1)$$

Nilai ϕ untuk komponen kolom berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 21.2.2.2 (b) ditentukan sebesar 0,65 (terkontrol tekan).

$$A = \frac{3196,486 \times 1000}{0,65 \times 35} = 140504,883 \text{ mm}^2$$

Maka:

$$b = h = \sqrt{140504,883} = 374,84 \text{ mm} \approx 600 \text{ mm}$$

Jadi, dimensi kolom yang digunakan yaitu 600x600 mm.

3.2. Desain Pelat

Tebal pelat minimum mengacu SNI 2847-2019 pasal 8.3.1.1 dimana untuk plat tanpa balok interior yang membentang diantara tumpuan pada semua sisinya dengan $f_y = 420$ MPa adalah sebesar $l_n/33$ (l_n merupakan jarak arah memanjang pada pelat). Bentang pelat $l_x = 4200$ mm dan $l_y = 6000$ mm maka diperoleh tebal pelat:

$$h_{pelat} = \frac{l_n}{33} = \frac{6000}{33} = 181,82 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm} \quad (2)$$

Sehingga digunakan desain pelat dengan dimensi ketebalan sebesar 200 mm.

3.3. Desain Drop Panel

Pada struktur *flat slab* ini digunakan struktur *drop panel* yang berfungsi sebagai pengganti balok dan membantu mencegah terjadinya geser pons pada kolom. Oleh sebab itu dalam desain *drop panel* mengacu persyaratan pada SNI 2847-2019 pasal 8.2.4.

3.3.1. Lebar Drop Panel

- Untuk arah sumbu x:

$$L_{drop\ panel} \geq \frac{1}{6} L_x \quad (3)$$

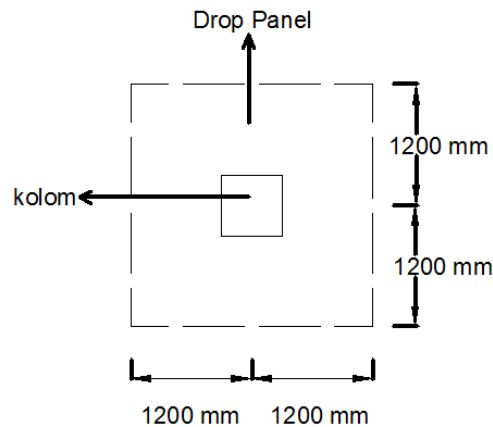
$$L_x \geq \frac{1}{6} \times 4200 = 700 \text{ mm}$$

- Untuk arah sumbu y:

$$L_{drop\ panel} \geq \frac{1}{6} L_x \quad (4)$$

$$L_y \geq \frac{1}{6} \times 6000 = 1000\ mm$$

Digunakan lebar *drop panel* pada arah x maupun arah y sebesar 1200 mm, sehingga didapatkan lebar total *drop panel* sebesar 2400 mm baik arah x maupun arah y (Gambar 7).



Gambar 7. Lebar Drop Panel

3.3.2. Tebal Drop Panel

Tebal *drop panel* :

$$h_{drop\ panel} \geq \frac{1}{4} h_{pelat} \quad (5)$$

$$h_{drop\ panel} \geq \frac{1}{4} \times 200\ mm = 50\ mm \approx 50\ mm$$

Tebal *drop panel* dari hasil perhitungan yang didapatkan di atas harus memenuhi persyaratan berikut:

$$h_{drop\ panel} \leq \frac{1}{4} \times S_e \quad (6)$$

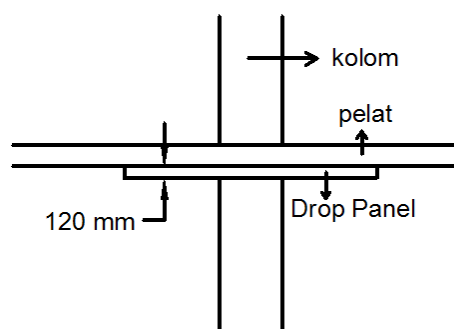
Dimana S_e merupakan jarak antara tepi kolom ekuivalen dengan tepi *drop panel*. Untuk mendapatkan nilai S_e ini digunakan dimensi kolom yang direncanakan sebesar 600 x 600 mm dengan lebar *drop panel* arah x sebesar 1200 mm, sehingga didapatkan:

$$S_e = 1200 - 0,5 \times 600 = 900\ mm$$

Maka:

$$h_{drop\ panel} \leq \frac{1}{4} \times 900\ mm = 225\ mm$$

Sehingga tebal drop panel yang digunakan sebesar 120 mm (Gambar 8).



Gambar 8. Tebal Drop Panel

3.4. Dinding Geser (*Shear Wall*)

Dalam perencanaan dimensi dinding geser sesuai SNI 2847-2019 Tabel 11.3.1.1 disebutkan bahwa dinding dengan tipe dinding tumpu harus memiliki ketebalan tidak boleh kurang dari 1/25 dari panjang dan tinggi tidak tertumpu, yang mana yang lebih pendek atau tidak boleh kurang dari 140 mm.

Untuk dinding geser ini direncanakan awal menggunakan tebal 300 mm dengan tinggi dinding 3600 mm dan lebar dinding 6000 mm, maka dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$t_{min} = \frac{1}{25} \times 3600 = 144 \text{ mm}$$
$$t_{min} = \frac{1}{25} \times 6000 = 240 \text{ mm}$$

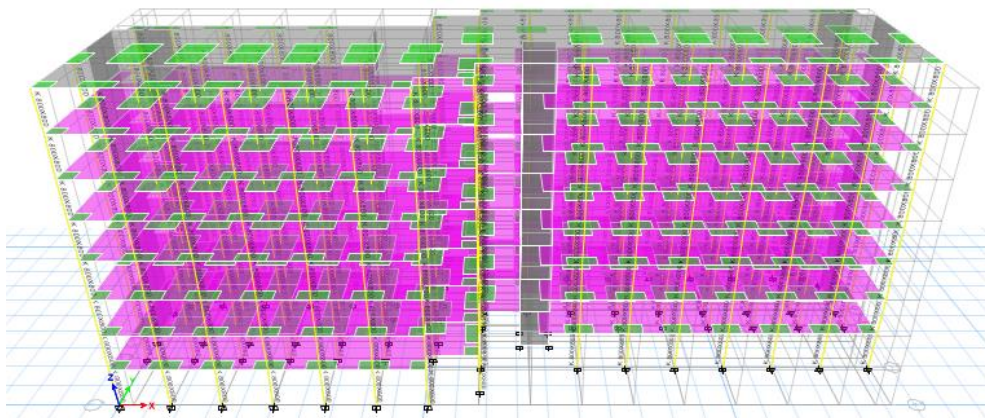
Dari perhitungan di atas diambil nilai terkecilnya yaitu 144 mm, dengan demikian:

$$t_{rencana} = 300 > 144 \text{ mm (Ok)}$$

Maka tebal dinding pendukung menggunakan tebal 300 mm.

3.5. Pemodelan Struktur

Struktur yang ditinjau adalah bangunan gedung 8 (delapan lantai) yang berlokasi di kota Semarang, yang difungsikan sebagai rumah susun. Pemodelan struktur dan penempatan drop panel ditampilkan pada Gambar 6 dan 9.

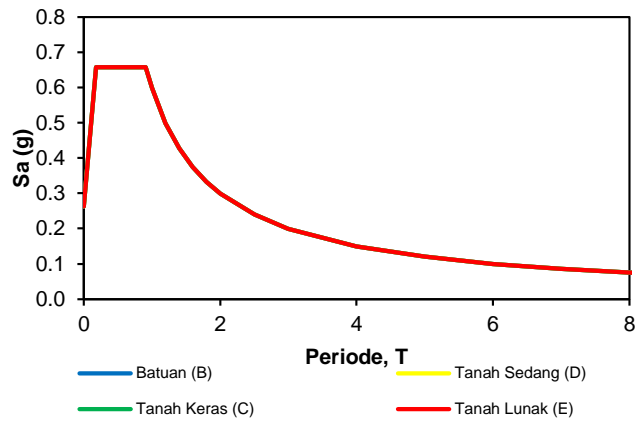


Gambar 9. Tampak Depan 3D Struktur Gedung

4 PERANCANGAN TERHADAP GEMPA

Respon spektrum rencana dihitung berdasarkan ketentuan SNI 1726-2019, yang ditampilkan pada Tabel 1 dan Gambar 10.

S_s	0,7674
S_1	0,3402
F_a	1,28608
F_v	2,6392
SMS	0,987
$SM1$	0,898
SDS	0,658
$SD1$	0,599
T_0	0,182
T_s	0,910
T_L	20



Gambar 10. Respon spektrum

4.1. Berat Struktur

Dengan menggunakan bantuan software, berat total struktur adalah sebesar 44903,441 kN. Gaya geser dasar seismik, V dihitung berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.1 sebagai berikut:

$$V = C_s \cdot W_t \quad (7)$$

dimana C_s adalah koefisien respons seismik yang ditentukan dan W adalah berat seismik efektif. Sehingga:

$$V_x = 0,094 \times 44903,441 \text{ kN} = 4220,657 \text{ kN}$$

$$V_y = 0,094 \times 44903,441 \text{ kN} = 4220,657 \text{ kN}$$

4.2. Distribusi Gaya Gempa

Distribusi vertikal gaya gempa menurut SNI 1726-2019 pasal 7.8.3 adalah:

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (8)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (9)$$

Hasil distribusi vertikal gaya gempa pada tiap lantai ditampilkan pada Tabel 2.

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.4 untuk menentukan distribusi horizontal gaya gempa dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (10)$$

Dimana F_i adalah bagian dari geser dasar gempa (V) pada tingkat ke- i (kN).

Tabel 2. Distribusi vertikal gaya gempa pada tiap lantai

Lantai	tinggi/ h_i (m)	Berat lantai/ w_i (kN)	K	$W_i h_i^k$	C_v	$F_x = F_y$
Lt. Atap	27,4	4966,999	1,15	230458,382	0,212	895,569
Lt. 8	24,0	5695,707		226648,162	0,209	880,762
Lt. 7	20,6	5695,707		189868,433	0,175	737,835
Lt. 6	17,2	5695,707		154045,919	0,142	598,627
Lt. 5	13,8	5695,707		119339,140	0,110	463,756
Lt. 4	10,4	5695,707		85978,972	0,079	334,117
Lt. 3	7	5695,707		54337,773	0,050	211,158
Lt. 2	3,6	5762,199		25433,093	0,023	98,834
Jumlah		44903,441			1086109,873	1

Tabel 3. Distribusi horizontal gaya gempa pada tiap lantai

Lantai	F_x (kN)	V_x (kN)	F_y (kN)	V_y (kN)
Lt. Atap	895,569	895,569	895,569	895,569
Lt. 8	880,762	1776,331	880,762	1776,331
Lt. 7	737,835	2514,165	737,835	2514,165
Lt. 6	598,627	3112,793	598,627	3112,793
Lt. 5	463,756	3576,548	463,756	3576,548
Lt. 4	334,117	3910,665	334,117	3910,665
Lt. 3	211,158	4121,824	211,158	4121,824
Lt. 2	98,834	4220,657	98,834	4220,657

4.3. Gaya Geser Dinamik

Sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.4.1, nilai beban gempa dinamik tidak boleh kurang 100% dari beban gempa statik, atau artinya $V_{DINAMIK} \geq 1V_{STATIK}$. Sehingga apabila kombinasi respon untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V) kurang dari 100% dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_s . Perbandingan antara gaya geser statik dengan gaya geser dinamik dan korelasi keduanya dipelihatkan pada Tabel 4. Berdasarkan Tabel 5 nilai $V_{DINAMIK} < 100\% V_{STATIK}$, maka digunakan nilai faktor skala gaya dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Faktor skala gaya arah } x = \frac{4220,657}{2436,910} = 1,732$$

$$\text{Faktor skala gaya arah } y = \frac{4220,657}{2745,300} = 1,537$$

Tabel 4. Gaya geser statik dan dinamik pada tiap lantai

Story	Statik		Dinamik	
	V_x kN	V_y kN	V_{SPEC-X} kN	V_{SPEC-Y} kN
Lt. Atap	895,569	895,569	622,795	686,722
Lt. 8	1776,331	1776,331	1146,124	1286,346
Lt. 7	2514,165	2514,165	1525,453	1730,847
Lt. 6	3112,793	3112,793	1822,541	2075,410
Lt. 5	3576,548	3576,548	2065,751	2351,420
Lt. 4	3910,665	3910,665	2258,345	2562,672
Lt. 3	4121,824	4121,824	2386,621	2695,930
Lt. 2	4220,657	4220,657	2436,910	2745,300

Selanjutnya nilai faktor skala gaya yang terdapat pada *ETABS* diubah dengan hasil sebagai berikut berikut.

$$\text{Faktor skala gaya arah } x = 1401,43 \times 1,752 = 2455,173$$

$$\text{Faktor skala gaya arah } y = 1401,43 \times 1,551 = 2174,061$$

Tabel 5. Relasi gaya gempa statik-dinamik

Gaya Gempa	V_x kN	V_y kN
Statik	4220,657	4220,657
100% Statik	4220,657	4220,657
Dinamik	2436,910	2745,300

Tabel 6 menampilkan hasil gaya geser dinamik yang telah disesuaikan dengan factor skala gaya yang baru.

Tabel 6. Gaya geser dinamik terkoreksi (*Dinamik Correction*)

Story	Statik		Dinamik		Skala Gaya		Dinamik Correction	
	V_x kN	V_y kN	V_{SPEC-X} kN	V_{SPEC-Y} kN	<i>X-Dir</i>	<i>Y-Dir</i>	V_{SPEC-X} kN	V_{SPEC-Y} kN
Lt. Atap	895,56	895,56	622,79	686,72			1078,66	1055,77
Lt. 8	1776,33	1776,33	1146,12	1286,34			1985,05	1977,64
Lt. 7	2514,16	2514,16	1525,45	1730,84			2642,04	2661,02
Lt. 6	3112,79	3112,79	1822,54	2075,41	1,732	1,537	3156,58	3190,76
Lt. 5	3576,54	3576,54	2065,75	2351,42			3577,82	3615,10
Lt. 4	3910,66	3910,66	2258,34	2562,67			3911,38	3939,88
Lt. 3	4121,82	4121,82	2386,62	2695,93			4133,55	4144,75
Lt. 2	4220,65	4220,65	2436,91	2745,30			4220,65	4220,65

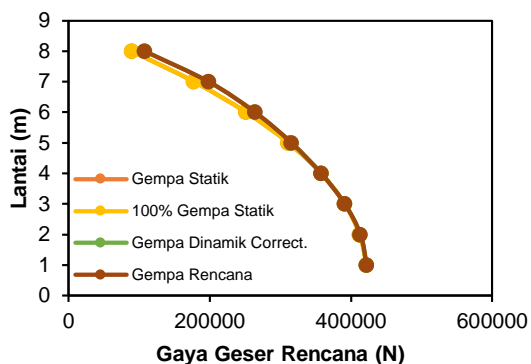
4.4. Gaya Gempa Rencana

Gaya gempa rencana ditentukan melalui kesesuaian tinggi gedung. Gaya gempa rencana yang digunakan mempertimbangkan antara nilai gaya geser statik dengan syarat minimal 100% dengan gaya gempa hasil dari perhitungan dinamik respon spektra yang kemudian hasilnya dapat dilihat pada Tabel 7.

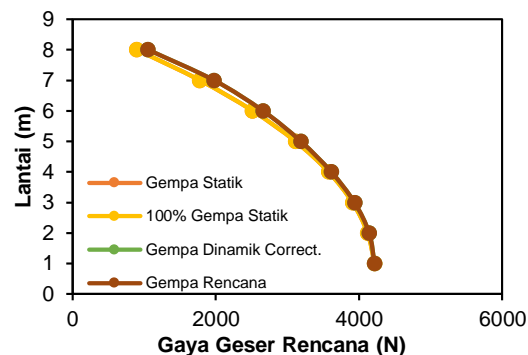
Tabel 7. Gaya geser rencana pada setiap lantai

Story	Statik		100% Statik		Dinamik Correction		Gaya Geser Rencana	
	V_x kN	V_y kN	V_x kN	V_y kN	V_{SPEC-X} kN	V_{SPEC-Y} kN	V_x kN	V_y kN
Lt. Atap	895,56	895,56	895,56	895,56	1078,66	1055,77	1078,66	1055,77
Lt. 8	1776,33	1776,33	1776,33	1776,33	1985,05	1977,64	1985,05	1977,64
Lt. 7	2514,16	2514,16	2514,16	2514,16	2642,04	2661,02	2642,04	2661,02
Lt. 6	3112,79	3112,79	3112,79	3112,79	3156,58	3190,76	3156,58	3190,76
Lt. 5	3576,54	3576,54	3576,54	3576,54	3577,82	3615,10	3576,54	3615,10
Lt. 4	3910,66	3910,66	3910,66	3910,66	3911,38	3939,88	3911,38	3939,88
Lt. 3	4121,82	4121,82	4121,82	4121,82	4133,55	4144,75	4133,55	4144,75
Lt. 2	4220,65	4220,65	4220,65	4220,65	4220,65	4220,65	4220,65	4220,65

Berdasarkan Gambar 11 dan 12, distribusi gaya geser dinamik desain sudah sesuai dengan syarat 100% static baik untuk arah x dan arah y. Sehingga gaya geser kumulatif tersebut dapat digunakan sebagai desain gaya lateral.



Gambar 11. Distribusi gaya geser nominal kumulatif arah x



Gambar 12. Distribusi gaya geser nominal kumulatif arah y

5 KONTROL KINERJA SEISMIK

5.1. Simpangan Antar Lantai

Kontrol desain dilakukan dengan cara pengecekan terhadap batas simpangan antar lantai sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 7.8.6 dan 7.12.1 serta pengecekan terhadap kestabilan akibat efek P-Delta sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 7.8.7. Hasil pengecekan tersebut dapat dilihat pada tabel 8 dan tabel 9.

Tabel 8. Simpangan antar lantai ijin x-Dir

Story	h_{sx} (mm)	δ_e (mm)	Δ (mm)	Δ_i (mm)	Δ_{ijin} (mm)	Ket.
Lt. Atap	3400	64,681	355,746	56,133	68	OK
Lt. 8	3400	54,475	299,613	57,173	68	OK
Lt. 7	3400	44,080	242,440	56,711	68	OK
Lt. 6	3400	33,769	185,730	54,307	68	OK
Lt. 5	3400	23,895	131,423	49,258	68	OK
Lt. 4	3400	14,939	82,165	40,975	68	OK
Lt. 3	3400	7,489	41,190	28,908	68	OK
Lt. 2	3600	2,233	12,282	12,282	72	OK

Tabel 9. Simpangan antar lantai ijin y-Dir

Story	h_{sx} (mm)	δ_e (mm)	Δ (mm)	Δ_i (mm)	Δ_{ijin} (mm)	Ket.
Lt. Atap	3400	62,480	343,640	54,197	68	OK
Lt. 8	3400	52,626	289,443	55,149	68	OK
Lt. 7	3400	42,599	234,295	54,802	68	OK
Lt. 6	3400	32,635	179,493	52,503	68	OK
Lt. 5	3400	23,089	126,990	47,614	68	OK
Lt. 4	3400	14,432	79,376	39,584	68	OK
Lt. 3	3400	7,235	39,793	27,907	68	OK
Lt. 2	3600	2,161	11,886	11,886	72	OK

5.2. Efek P-Delta

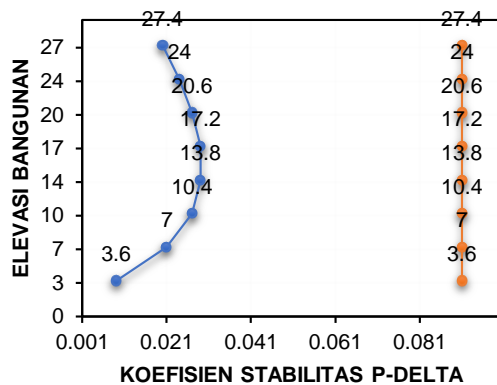
Pada analisis kontrol desain selanjutnya adalah pengecekan terhadap kestabilan bangunan atau efek dari P-Delta. Kombinasi pengecekan yang digunakan yaitu:

$$\text{Comb}_{P\text{-delta}} = 1,0 \text{ DL} + 0,3 \text{ LL} \quad (11)$$

Tabel 10. Beban P (*Gravity*) Kumulatif

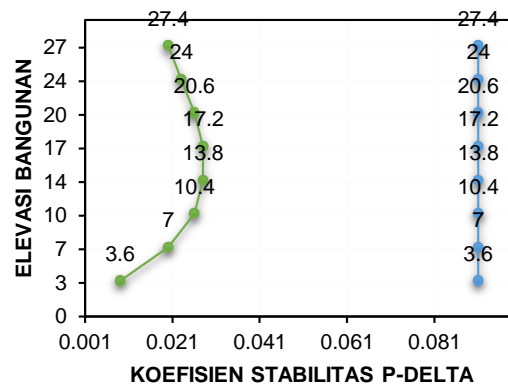
Story	Load Case/Combo	Location	P (kN)
Lt. Atap	Comb P-delta	Bottom	7342,904
Lt. 8	Comb P-delta	Bottom	15467,570
Lt. 7	Comb P-delta	Bottom	23592,236
Lt. 6	Comb P-delta	Bottom	31716,902
Lt. 5	Comb P-delta	Bottom	39841,568
Lt. 4	Comb P-delta	Bottom	47966,234
Lt. 3	Comb P-delta	Bottom	56090,900
Lt. 2	Comb P-delta	Bottom	64355,299

Berdasarkan Gambar 13 dan 14, dapat dilihat bahwa nilai $\theta < 0,091$ (θ_{\max}), maka akibat pengaruh dari P-delta struktur masih dalam keadaan stabil.



—●— P-DELTA —●— P-DELTA MAKSIMUM

Gambar 13. Cek kestabilan efek P-Delta akibat gempa arah x (SNI 1726-2019 pasal 7.8.7).



—●— P-DELTA —●— P-DELTA MAKSIMUM

Gambar 14. Cek kestabilan efek P-Delta akibat gempa arah y (SNI 1726-2019 pasal 7.8.7).

5.3. Pengaruh Eksentrisitas dan Torsi

Sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 7.8.4.1 dan 7.8.4.2 bahwa torsi yang diperhitungkan ada dua yaitu torsi bawaan dan torsi tak terduga. Eksentrisitas dari torsi bawaan dapat dilihat dari hasil analisa program *ETABS*. Tabel 11 menunjukkan data eksentrisitas dari torsi bawaan untuk arah x dan y.

Tabel 11. Data eksentrisitas torsi bawaan

Story	Pusat Massa		Pusat Rotasi		Eksentrisitas (e)	
	x_{CM} (m)	y_{CM} (m)	y_{CR} (m)	y_{CR} (m)	x (m)	y (m)
Lt. Atap	31,415	10,068	30,797	12,603	0,618	-2,535
Lt. 8	31,470	9,856	30,800	12,645	0,670	-2,789
Lt. 7	31,470	9,856	30,808	12,745	0,662	-2,890
Lt. 6	31,470	9,856	30,820	12,890	0,650	-3,035
Lt. 5	31,470	9,856	30,830	13,069	0,640	-3,214
Lt. 4	31,470	9,856	30,830	13,256	0,640	-3,400
Lt. 3	31,470	9,856	30,789	13,366	0,682	-3,510
Lt. 2	31,469	9,859	30,437	12,985	1,033	-3,126

Nilai eksentrisitas dari torsi tak terduga ditentukan dengan menghitung eksentrisitas tambahan sebesar 5% dari dimensi arah tegak lurus panjang bentang struktur bangunan tersebut dimana gaya gempa bekerja. Tabel 12 adalah nilai eksentrisitas tak terduga.

Tabel 12. Data eksentrisitas torsi tak terduga

Story	Panjang bentang total sumbu-y (L_y) (mm)	Panjang bentang total sumbu-x (L_x) (mm)	0,05 L_y (mm)	0,05 L_x (mm)
Lt. Atap	14400	63000	720	3150
Lt. 8	14400	63000	720	3150
Lt. 7	14400	63000	720	3150
Lt. 6	14400	63000	720	3150
Lt. 5	14400	63000	720	3150
Lt. 4	14400	63000	720	3150
Lt. 3	14400	63000	720	3150
Lt. 2	14400	63000	720	3150

Sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 7.8.4.2, apabila gaya gempa digunakan secara bersamaan dalam dua arah ortogonal, maka perpindahan pusat massa sebesar 5% sebagai syarat tidak perlu diterapkan dalam kedua arah ortogonal pada saat yang sama, sehingga nilai n beban hidup harus diterapkan dalam arah yang memberikan hasil pengaruh yang lebih besar.

Nilai eksentrisitas torsi tak terduga harus dikalikan dengan faktor pembesaran momen torsi tak terduga (A_x) dengan persamaan sebagai berikut.

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2\delta_{avg}} \right)^2 \quad (12)$$

Nilai dari δ_{max} dan δ_{avg} diambil dari kombinasi yang terbesar. Nilai tersebut didapatkan dari hasil analisa program ETABS. Tabel 13 menampilkan nilai-nilai untuk pembebanan gempa arah x.

Tabel 13. Nilai dari δ_{max} , δ_{avg} dan A_x untuk gempa arah x

Story	δ_{max} (mm)	δ_{avg} (mm)	$1,2\delta_{avg}$ (mm)	$A_x (\delta_{max}/1,2\delta_{avg})^2$	Kontrol torsi
Lt. Atap	66,177	62,172	74,6064	0,787	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt. 8	55,808	52,421	62,9052	0,787	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt. 7	45,227	42,468	50,9616	0,788	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt. 6	34,701	32,572	39,0864	0,788	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt. 5	24,588	23,07	27,684	0,789	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt. 4	15,392	14,436	17,3232	0,789	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt. 3	7,729	7,247	8,6964	0,790	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt. 2	2,312	2,168	2,6016	0,790	Tanpa ketidakberaturan torsi

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa $\delta_{max} < 1,2 \delta_{avg}$ yang artinya struktur bangunan tersebut termasuk ke dalam kategori tanpa ketidakberaturan torsi dengan nilai faktor amplifikasi (A_x) kurang dari satu sehingga untuk menghitung nilai eksentrisitas desain searah sumbu y (e_{dy}) dapat menggunakan nilai faktor amplifikasi (A_x) sebesar 1.

$$e_{dy} = e_{dy} + (0,05 L_y) A_x = e_{0y} + (0,05 L_y) \quad (13)$$

$$e_{dy} = e_{0y} - (0,05 L_y) A_x = e_{0y} - (0,05 L_y) \quad (14)$$

Maka, dengan memasukkan nilai eksentrisitas sebesar 0,05 pada awal analisa program ETABS sudah sesuai.

Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai dari δ_{max} , δ_{avg} dan A_y untuk pembebanan gempa arah y. Berdasarkan Tabel 14 dapat dilihat bahwa $\delta_{max} < 1,2 \delta_{avg}$ yang artinya struktur bangunan tersebut termasuk ke dalam kategori tanpa ketidakberaturan torsi dengan nilai faktor amplifikasi (A_y) kurang dari satu sehingga untuk menghitung nilai eksentrisitas desain searah sumbu x (e_{dx}) dapat menggunakan nilai faktor amplifikasi (A_x) sebesar 1.

$$e_{dx} = e_{dx} + (0,05 L_x) A_x = e_{0x} + (0,05 L_x) \quad (15)$$

$$e_{dx} = e_{0x} - (0,05 L_x) A_x = e_{0x} - (0,05 L_x) \quad (16)$$

Tabel 14. Nilai dari δ_{max} , δ_{avg} dan A_y untuk gempa arah y

Story	δ_{max} (mm)	δ_{avg} (mm)	$1,2\delta_{avg}$ (mm)	$A_x (\delta_{max}/1,2\delta_{avg})^2$	Kontrol torsi
Lt. Atap	54,522	50,919	61,1028	0,796	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt. 8	45,99	42,976	51,5712	0,795	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt. 7	37,289	34,868	41,8416	0,794	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt. 6	28,615	26,777	32,1324	0,793	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt. 5	20,277	18,988	22,7856	0,792	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt. 4	12,693	11,894	14,2728	0,791	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt. 3	6,375	5,977	7,1724	0,790	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt. 2	1,911	1,788	2,1456	0,793	Tanpa ketidakberaturan torsi

6 KESIMPULAN

Telah diuraikan perencanaan struktur dengan menggunakan sistim flat slab, dimana penyajian dibatasi pada kinerja struktur terhadap beban gempa di kota Semarang. Struktur flat-slab mempunyai tebal pelat 200 mm dan dimensi kolom 600x600. Hasil tersebut menunjukkan bahwa terdapat penebalan pelat dan perbesaran ukuran kolom dibandingkan dengan struktur portal yang menggunakan balok (non flat slab). Letak dan tebal dinding geser tidak mengalami perubahan dari kedua sistim struktur tersebut. Secara umum sistim struktur flat slab pada gedung rumah susun delapan lantai ini yang didesain berdasarkan SNI 2847-2019 masih memenuhi kriteria seismik sesuai SNI 1726-2019. Simpangan lateral yang terjadi pada sistim struktur flat slab dengan drop panel yang dirancang masih lebih kecil dari simpangan lateral ijin. Struktur yang ditinjau juga masih aman jika dikenakan efek P-Delta, dan struktur masuk kategori tanpa ketidakberaturan torsi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Sdr. Lintang Enggartiasto, ST, MT, yang telah membantu dalam detail perencanaan struktur flat slab dan penggunaan software secara komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- ✚ ACI 318-14 (2014). “*Building Code Requirements for Structural Concrete*”.
- ✚ Bi Haqqi, Inkaana, Rismayanti, Intan (2022). “*Re-Desain Struktur Gedung Bertingkat dengan Sistem Flat-Slab*”. Tugas Akhir, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA).
- ✚ Budiono, B. et al. (2017). “*Contoh Desain bangunan Tahan Gempa, Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Dinding Struktur Khusus di Jakarta*”, ITB Press.
- ✚ Imran, I. & Hendrik, F. (2014). “*Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*”, ITB Press.
- ✚ Lim, Erwin (2022). “*Beam-Column dan Slab-Column Connections*”, Bimbingan Teknis SNI 2847-2019, Kementerian PUPR.
- ✚ Mosleh, A., Rodrigues, H., Varum, H., and Costa, A. (2016). “*Seismic Behavior of RC Building Structures Designed According to Current Codes*, Structures, 7,1-13.
- ✚ SNI 2847-2019 (2019). “*Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*”, Badan Standardisasi Nasional.
- ✚ SNI 1726-2019 (2019). “*Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*”, Badan Standardisasi Nasional.
- ✚ SNI 1727-2020 (2019). “*Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*”, Badan Standardisasi Nasional.
- ✚ Wight, J. K. and MacGregor, J.G. (2015) – *Reinforced Concrete – Mechanics and Design*.