

Modifikasi Perencanaan Struktur Apartemen Alessandro Vittorio dengan Metode Beton Pracetak

Zein Farid Vicky Mahendra, Wahyuniarsih Sutrisno, dan Ahmad Basshofi Habieb
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: wahyuniarsih.its@its.ac.id

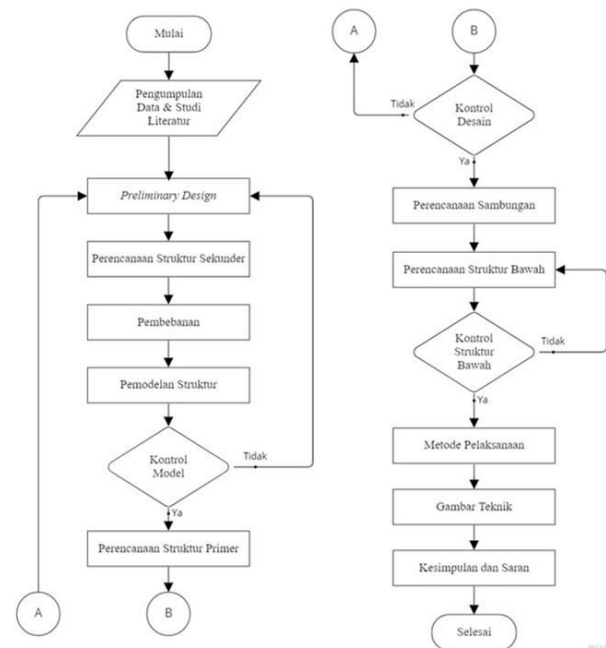
Abstrak—Gedung Apartemen Alessandro Vittorio merupakan gedung yang berlokasi di Surabaya dan memiliki 28 lantai. Dalam pembangunannya, Gedung Apartemen Alessandro Vittorio masih menggunakan metode konvensional berupa metode *cor in situ* pada struktur balok, kolom, dan pelatnya. Atas dasar ini penulis merencanakan ulang gedung Apartemen Alessandro Vittorio, dengan menggunakan metode beton pracetak dengan maksud untuk menghasilkan sebuah rancangan baru yang dapat lebih cepat dan efisien dilaksanakan tanpa mengurangi mutu dari rancangan aslinya. Dalam perencanaan ulang gedung Apartemen Alessandro Vittorio, penulis mengubah denah dari Tower A dimana akan dipisah dengan tower yang lain. Namun, sistem gedung yang digunakan tetap sama, yaitu sistem struktur ganda dengan rangka pemikul khusus momen disertai dengan dinding geser beton bertulang. Hasil dari modifikasi Gedung Apartemen Alessandro Vittorio dengan metode pracetak ini meliputi ukuran balok induk 30/45, 35/60, dan 45/70, ukuran balok anak 25/40 dan 30/45, serta ukuran kolom 110/90, 90/70, 80/60, dan 50/50. Modifikasi gedung ini juga menggunakan shear wall serta sambungan antar elemen pracetak menggunakan sambungan basah dan konsol pendek.

Kata Kunci—Beton Pracetak, Dinding Geser, Modifikasi Perencanaan, SRPMK, Sistem Ganda.

I. PENDAHULUAN

METODE beton pracetak (*precast*) merupakan metode konstruksi yang mengalami perkembangan pesat di Indonesia pada beberapa tahun belakangan ini. Metode beton pracetak dapat diartikan sebagai metode konstruksi struktur beton yang dalam penerapannya elemen-elemen struktur dicetak terlebih dahulu di tempat khusus yang terpisah dengan lokasi dimana elemen-elemen struktur tersebut akan digunakan. Metode beton pracetak memiliki beberapa keunggulan bila diterapkan pada suatu proyek dibanding dengan menggunakan metode beton konvensional (*cor in situ*). Secara umum, metode beton pracetak dianggap lebih ekonomis dibanding pengecoran ditempat dikarenakan adanya pengurangan biaya pemakaian bekisting, mereduksi durasi pengerjaan proyek sehingga biaya overhead yang dikeluarkan akan lebih kecil dari metode konvensional [1].

Kelebihan metode beton pracetak antara lain adalah waktu pengerjaan dan pemasangan yang lebih singkat, proses produksi yang tidak bergantung cuaca, kontrol kualitas yang jauh lebih terjaga, hemat akan penggunaan bekisting, serta pelaksanaan yang membutuhkan lebih sedikit pekerja. Penggunaan metode beton pracetak dalam proyek konstruksi akan lebih efisien bila dilakukan pada bangunan gedung yang memiliki bentuk berulang dan massal [2]. Hal ini dikarenakan dengan bentuk yang sama di tiap lantainya, jumlah tipe elemen-elemen beton yang dibutuhkan akan semakin sedikit, sehingga tidak membutuhkan banyak cetakan yang berbeda dan juga menghemat waktu produksi elemen beton.



Gambar 1. Bagan alir penyelesaian artikel.

Gedung Apartemen Alessandro Vittorio merupakan gedung yang berlokasi di Surabaya dan difungsikan sebagai hunian vertikal. Gedung ini terdiri atas dua tower yaitu Tower A dan Tower B dengan masing-masing tower memiliki 28 lantai. Dalam pembangunannya, Gedung Apartemen Alessandro Vittorio menggunakan metode konvensional berupa metode *cor-in situ* pada struktur balok, kolom, dan pelatnya.

Pada artikel ini akan dilakukan perancangan ulang struktur Gedung Alessandro Vittorio Surabaya dengan menggunakan metode beton pracetak yang akan dibangun di Surabaya. Perancangan ulang ini dimaksudkan untuk menghasilkan sebuah rancangan baru yang lebih cepat dan efisien dalam sisi pengerjaannya tanpa mengurangi mutu dari rancangan aslinya.

Dalam perancangan ulang ini, akan dilakukan modifikasi denah Gedung Alessandro Vittorio Surabaya menjadi lebih sederhana dimana yang akan dipakai dalam modifikasi hanya Tower A. Jumlah lantai dalam gedung tidak akan diubah namun hanya akan dilakukan penyederhanaan bentuk. Untuk sistem sistem gedung yang digunakan tetap sama, yaitu sistem struktur ganda dengan rangka pemikul momen khusus disertai dengan dinding geser beton bertulang.

A. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari pembahasan ini antara lain adalah:

- Menentukan preliminary design, struktur primer dan struktur sekunder bangunan yang sesuai.

Tabel 1.
Rekapitulasi Perencanaan Lift

Lantai	Balok Penggantung	Balok Penumpu
Dimensi (mm)	350 x 500	350 x 550
Bentang (mm)	3000	6000
Tul. Longitudinal	5D22	5D22
Tul. Geser	D10-120	D10-100

Tabel 2.
Rekapitulasi Perencanaan Pelat Pracetak

Tulangan	S1	S2	S3	S4	S5
Lentur X	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200
Lentur Y	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200
Tulangan Angkat	D8 (50mm)	D8 (50mm)	D8 (50mm)	D8 (50mm)	D8 (50mm)

Tabel 3.
Rekapitulasi Perencanaan Balok Pracetak

Tipe	BA 1		BA 2	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Dimensi	250 mm x 400 mm		300 mm x 450 mm	
Bentang	6000 mm		6000 mm	
Selimit	50 mm		50 mm	
Atas	4D16	2D16	4D16	3D16
Bawah	2D16	4D16	3D16	4D16
Senggang	D10-100 mm		D10-100 mm	
Angkur	D10 (100 mm)		D10 (100 mm)	

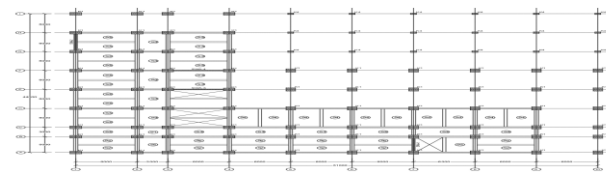
Tabel 4.
Rekapitulasi Perencanaan Tangga

Tipe	P (mm)	L (mm)	Lentur		
			Bagi	Susut	
T1	5000	3000	D16-150 mm	D10 - 300 mm	D10 - 300 mm
T2	6000	3000	D16-100 mm	D10 - 200 mm	D10 - 300 mm

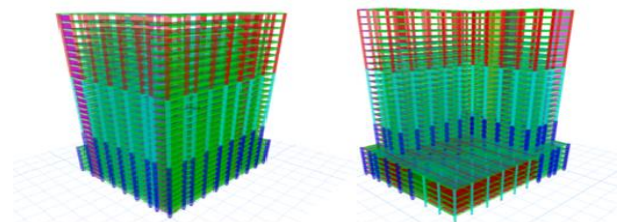
- Menghitung beban pada struktur Gedung Alessandro Vittorio.
- Melakukan analisa permodelan struktur Gedung Alessandro Vittorio dengan menggunakan program komersial analisis.
- Merancang detailing dimensi dan penulangan akhir struktur primer dan struktur sekunder bangunan.
- Merencanakan sambungan antar elemen beton pracetak agar memenuhi syarat tahanan gempa.
- Merencanakan pondasi yang sesuai dan mampu menahan beban yang dipikul sesuai dengan kondisi tanah di lapangan.
- Merancang gambar teknik dari hasil modifikasi perancangan dan perhitungan struktur.

B. Batasan Masalah

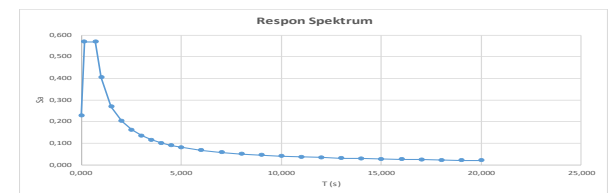
- Pada pembahasan ini, terdapat masalah yang dibatasi antara lain:
- Perencanaan dengan metode beton pracetak hanya diterapkan pada pelat, balok, dan kolom.
 - Perencanaan dinding geser dan tangga menggunakan metode cor *in situ*.
 - Perencanaan *basement* dan pondasi menggunakan metode cor *in situ*.
 - Perencanaan bangunan tidak meninjau segi analisis anggaran biaya dan tidak memperhitungkan utilitas



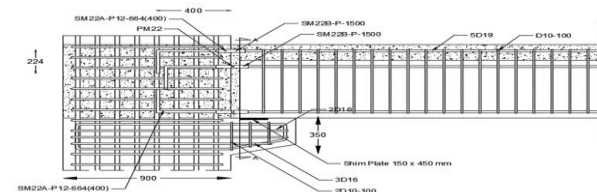
Gambar 2. Denah struktur Apartemen Alessandro Vittorio.



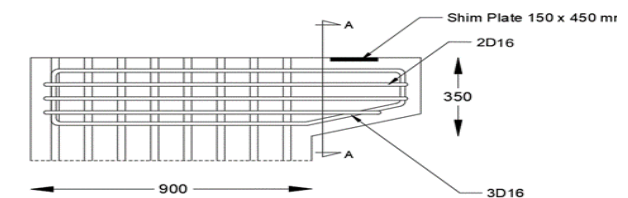
Gambar 3. Pemodelan 3D struktur utama gedung dengan ETABS.



Gambar 4. Grafik respon spektrum Kota Surabaya.



Gambar 6. Detail konsol pendek pada kolom.



Gambar 5. Detail konsol pendek pada kolom.

bangunan, *mechanical, electrical, plumbing,* dan *finishing.*

C. Manfaat

Manfaat dari artikel ini antara lain:

- Manfaat bagi penulis adalah mampu merancang struktur Gedung menggunakan metode beton pracetak dan menambah wawasan mengenai perbandingan antara pembangunan gedung menggunakan metode beton pracetak dengan metode beton konvensional sehingga bermanfaat di masa mendatang ketika memasuki dunia kerja
- Manfaat untuk kontraktor adalah dapat menjadi referensi alternatif perancangan struktur gedung dengan menggunakan metode beton pracetak.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Struktur Gedung

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) adalah sistem rangka ruang di mana komponen-komponen struktur balok, kolom, dan join-joinnya menahan gaya yang bekerja melalui

Tabel 5.
Rekapitulasi Perencanaan Ramp

Elemen	Pelat Ramp	
Tulangan Arah X	D13-100	
Tulangan Arah Y	D13-150	
Elemen	Balok Melintang Ramp	
Dimensi (cm)	40/50	40/50
Tulangan Longitudinal	3D19	3D19
Tulangan Geser	D10-200	D10-200

Tabel 6.
Rekapitulasi Kontrol Perhitungan Manual dengan ETABS

Kombinasi Beban	Manual (ton)	ETABS (ton)
Dead	38.335,46	36.501,02
Live	9.852,20	13.216,26
Total	48.187,66	49.717,28

Tabel 7.
Rekapitulasi Kontrol Partisipasi Massa pada Sumbu X dan Y

Modal	Sum UX	Sum UY
...
13	0,9095	0,8888
14	0,9132	0,9120
15	0,9197	0,9159

aksi lentur, geser, dan aksial [3]. Pada sistem struktur ini beban gravitasi harus mampu dipikul oleh rangka struktur. Selain itu, sambungan balok-kolom harus didesain sebaik mungkin agar mampu menahan gaya lateral.

Sistem Dinding Struktural (SDS) adalah dinding yang direncanakan untuk menahan kombinasi gaya geser, momen, dan gaya aksial yang ditimbulkan gempa [3]. Pada praktik di lapangan, sistem struktur bangunan dapat dibuat sebagai sistem ganda, yaitu kombinasi antara Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) dengan Sistem Dinding Struktural (SDS). Dalam sistem ganda yang diatur dalam SNI 1726-2019, SRPM harus mampu menahan minimum 25% beban lateral total dimana 75% sisanya akan ditahan oleh dinding struktural. Pada sistem struktur ganda diharapkan SRPM dan dinding geser mengalami defleksi lateral yang sama.

B. Bangunan Tahan Gempa

Salah satu permasalahan yang timbul dari suatu bangunan adalah kuat atau tidaknya bangunan tersebut dalam menahan beban gempa yang mungkin terjadi. Menurut Pedoman Teknis Rumah dan Bangunan Gedung Tahan Gempa (2006), terdapat taraf keamanan suatu bangunan dapat dikatakan bangunan tahan gempa, yaitu sebagai berikut: (1) Apabila bangunan terkena gempa bumi ringan, bangunan tidak mengalami kerusakan sedikitpun. (2) Apabila bangunan terkena gempa bumi sedang, elemen-elemen non struktural bangunan diperbolehkan rusak [4]. Namun, elemen-elemen struktur bangunan tidak boleh rusak. (3) Apabila terkena gempa bumi sangat kuat, bangunan tidak boleh runtuh sebagian maupun seluruhnya. Bangunan tidak boleh mengalami kerusakan yang tidak dapat diperbaiki. Namun, apabila mengalami kerusakan, kerusakan yang terjadi harus dapat diperbaiki dengan cepat dan dapat difungsikan kembali.

C. Beton Pracetak

Beton pracetak merupakan beton yang dihasilkan dari proses produksi dimana lokasi pembuatannya berbeda dengan lokasi di mana elemen akan digunakan [3]. Lawan

Tabel 8.
Rekapitulasi Kontrol Partisipasi Massa pada Sumbu X dan Y

Modal	Sum Uξ	Sum Uη
...
13	0,171	0,8869
14	0,17	0,8919
15	0,16	0,9001

Tabel 9.
Gaya Geser Dasar Hasil Analisis Ragam Sumbu ξ dan η

Load Case	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)
Gempa X Max	8407,37	1260,15	8,55E-06
Gempa Y Max	1260,15	8120,79	5,90E-06

Tabel 10.
Rekapitulasi Gaya Geser Statik-Dinamik untuk Sumbu X dan Y

Load Case	FX (kN)	FY (kN)
Statik	11195,50	11195,50
Dinamik	11362,94	11400,85

Tabel 11.
Rekapitulasi Gaya Geser Statik-Dinamik untuk Sumbu ξ dan η

Load Case	Fξ (kN)	Fη (kN)
Statik	11195,50	11195,50
Dinamik	11131,29	11468,07

dari pracetak adalah beton *cast-in place*. Beton tipe ini merupakan beton yang pada umumnya diterapkan di lapangan yang mana proses produksinya berlangsung di tempat elemen tersebut akan difungsikan. Secara perhitungan beton pracetak tidak memiliki perbedaan dengan beton *cast-in place* pada umumnya. Hanya saja, perbedaan yang mendasar antara beton pracetak dengan beton *cast-in place* adalah letak proses produksinya dan penambahan perhitungan pada proses sebelum komposit dan saat pengangkatan.

III. METODOLOGI

Urutan penyelesaian artikel ini dapat dilihat pada bagan alir Gambar 1. Pada perencanaan ini, gedung akan dimodifikasi dengan kriteria sebagai berikut:

- a. Data Umum Bangunan
 - Nama gedung : Apartemen Alessandro Vittorio
 - Lokasi : Kota Surabaya, Jawa Timur
 - Fungsi : Apartemen
 - Jumlah lantai : 28 Lantai
 - Luas Bangunan : 1891,7 m²
 - Tinggi bangunan : 84 m
 - Material bangunan : Beton Bertulang Pracetak
 - Sistem bangunan : Sistem Ganda
- b. Data Material
 - Kuat tekan beton (f'c) : 45 MPa
 - Tegangan leleh baja (fy) : 420 MPa

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perencanaan Struktur Sekunder

Perencanaan struktur sekunder pada penelitian ini meliputi:

1) Perencanaan Lift

Lift direncanakan menggunakan lift penumpang dengan

Tabel 12.
Pengecekan Struktur terhadap Drift Ijin untuk Sumbu X dan Y

Story	Displacement		Elastic Drift		Inelastic Drift		Cek
	δe_x (mm)	δe_y (mm)	δe_x (mm)	δe_y (mm)	Δ_x (mm)	Δ_y (mm)	
28	37,3	38,977	0,823	1,015	4,527	5,582	OK
27	36,477	37,962	0,914	1,082	5,027	5,951	OK
26	35,563	36,88	0,983	1,141	5,407	6,276	OK
25	34,58	35,739	1,059	1,211	5,824	6,660	OK
24	33,521	34,528	1,139	1,284	6,265	7,062	OK
23	32,382	33,244	1,217	1,357	6,693	7,464	OK
22	31,165	31,887	1,292	1,426	7,106	7,843	OK
21	29,873	30,461	1,362	1,492	7,491	8,206	OK
20	28,511	28,969	1,434	1,559	7,887	8,575	OK
19	27,077	27,41	1,452	1,581	7,986	8,696	OK
18	25,625	25,829	1,506	1,630	8,283	8,965	OK
17	24,119	24,199	1,551	1,669	8,530	9,180	OK
16	22,568	22,53	1,594	1,705	8,767	9,378	OK
15	20,974	20,825	1,631	1,734	8,971	9,537	OK
14	19,343	19,091	1,663	1,756	9,147	9,658	OK
13	17,68	17,335	1,687	1,768	9,279	9,724	OK
12	15,993	15,567	1,700	1,767	9,350	9,719	OK
11	14,293	13,8	1,701	1,750	9,355	9,625	OK
10	12,592	12,05	1,693	1,724	9,312	9,482	OK
9	10,899	10,326	1,604	1,627	8,822	8,949	OK
8	9,295	8,699	1,576	1,577	8,668	8,674	OK
7	7,719	7,122	1,512	1,492	8,316	8,206	OK
6	6,207	5,63	1,649	1,721	9,070	9,466	OK
5	4,558	3,909	1,031	0,960	5,671	5,280	OK
4B	3,527	2,949	1,012	0,841	5,566	4,626	OK
4A	2,515	2,108	0,044	0,085	0,242	0,468	OK
3B	2,471	2,023	0,792	0,630	4,356	3,465	OK
3A	1,679	1,393	0,136	0,142	0,748	0,781	OK
2B	1,543	1,251	0,589	0,462	3,240	2,541	OK
2A	0,954	0,789	0,202	0,180	1,111	0,990	OK
1B	0,752	0,609	0,752	0,609	4,136	3,350	OK
1A	0	0	-0,16	-0,13	-0,91	-0,74	OK
G	0,166	0,137	0,166	0,137	0,913	0,754	OK

spesifikasi sebagai berikut: Merk lift: IRIS, Tipe lift: Duplex, Kapasitas: 24 Orang, Kecepatan: 1 m/s, Lebar pintu: 1100 m.

Dari hasil perhitungan, didapatkan rekapitulasi perencanaan balok lift sebagai pada Tabel 1.

2) Perencanaan Pelat Pracetak

Pelat menggunakan elemen pracetak dengan rekapitulasi penulangan yang disajikan pada Tabel 2.

3) Perencanaan Balok Anak

Balok anak menggunakan elemen pracetak dengan rekapitulasi penulangan yang disajikan pada Tabel 3.

4) Perencanaan Tangga

Tangga direncanakan dengan spesifikasi berikut (Tabel 4):

- Mutu beton (f'_c) = 35 MPa
- Mutu tulangan (f_y) = 420 MPa
- Bentang tangga = 500 cm
- Tinggi antar lantai = 300 cm
- Elevasi bordes = 150 cm
- Tinggi tahanan (t) = 15 cm
- Lebar injakan (i) = 30 cm
- Tebal pelat tangga (tp) = 14 cm
- Tebal pelat bordes = 14 cm
- Panjang bordes = 300 cm
- Lebar tangga = 150 cm

5) Perencanaan Ramp

Struktur ramp direncanakan dengan metode beton cor *in-situ*. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan rekapitulasi seperti pada Tabel 5.

B. Pembebanan dan Analisis Struktur

Pembebanan dan analisis struktur meliputi:

1) Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur digunakan program bantu ETABS. Untuk denah dari struktur gedung dapat dilihat pada Gambar 2.

Pemodelan dalam program bantu ETABS dapat dilihat pada Gambar 3.

2) Pembebanan Gravitasi

Pembebanan pada struktur Apartemen Alessandro Vittorio Surabaya didasarkan pada SNI 1727:2020 sebagai berikut:

a. Beban Hidup

- Lantai apartemen ruang pribadi = 192 kg/m²
- Lantai apartemen ruang publik = 479 kg/m²
- Pelat lantai parkir dasar = 400 kg/m²
- Pelat lantai parkir tingkat = 800 kg/m²
- Tangga dan jalan keluar = 479 kg/m²
- Beban pekerja = 100 kg/m²
- Pelat atap = 100 kg/m²
- Beban hujan = 20 kg/m²

b. Beban Mati Tambahan

- Dinding hebel = 200 kg/m²
- Spesi (1 cm) = 21 kg/m²
- Tegel = 24 kg/m²
- Homogenius tile = 27 kg/m²
- Calsiboard = 11 kg/m²
- Penggantung Plafon = 7 kg/m²
- Ducting-Plumbing = 30 kg/m²

Tabel 13.
Pengecekan Struktur terhadap Drift Ijin untuk Sumbu ξ dan η

Story	Displacement		Elastic Drift		Inelastic Drift		Cek
	δe_x (mm)	δe_y (mm)	δe_x (mm)	δe_y (mm)	Δ_x (mm)	Δ_y (mm)	
28	38,212	36,796	1,010	0,805	5,555	4,428	OK
27	37,202	35,991	1,071	0,895	5,890	4,923	OK
26	36,131	35,096	1,131	0,963	6,221	5,296	OK
25	35	34,133	1,197	1,040	6,584	5,720	OK
24	33,803	33,093	1,267	1,118	6,968	6,149	OK
23	32,536	31,975	1,336	1,196	7,348	6,578	OK
22	31,2	30,779	1,401	1,271	7,706	6,991	OK
21	29,799	29,508	1,462	1,342	8,041	7,381	OK
20	28,337	28,166	1,525	1,414	8,387	7,777	OK
19	26,812	26,752	1,545	1,434	8,498	7,887	OK
18	25,267	25,318	1,589	1,487	8,739	8,179	OK
17	23,678	23,831	1,627	1,533	8,949	8,432	OK
16	22,051	22,298	1,661	1,575	9,135	8,663	OK
15	20,39	20,723	1,690	1,612	9,295	8,866	OK
14	18,7	19,111	1,712	1,643	9,416	9,037	OK
13	16,988	17,468	1,726	1,665	9,493	9,158	OK
12	15,262	15,803	1,729	1,676	9,510	9,218	OK
11	13,533	14,127	1,714	1,675	9,427	9,213	OK
10	11,819	12,452	1,694	1,666	9,317	9,163	OK
9	10,125	10,786	1,602	1,577	8,811	8,674	OK
8	8,523	9,209	1,553	1,548	8,542	8,514	OK
7	6,97	7,661	1,471	1,488	8,091	8,184	OK
6	5,499	6,173	1,395	1,921	7,673	10,566	OK
5	4,104	4,252	1,102	0,869	6,061	4,780	OK
4B	3,002	3,383	0,463	1,278	2,547	7,029	OK
4A	2,539	2,105	0,463	-0,24	2,547	-1,353	OK
3B	2,076	2,351	0,389	0,947	2,140	5,209	OK
3A	1,687	1,404	0,399	-0,05	2,195	-0,314	OK
2B	1,288	1,461	0,334	0,661	1,837	3,636	OK
2A	0,954	0,8	0,326	0,092	1,793	0,506	OK
1B	0,628	0,708	0,259	0,395	1,425	2,173	OK
1A	0,369	0,313	0,227	0,156	1,249	0,858	OK
G	38,212	36,796	1,010	0,805	5,555	4,428	OK

Railing tangga = 50 kg/m2

3) Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan menggunakan SNI 1727:2020 sebagai berikut:

- U = 1,4D
- U = 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr atau S atau R)
- U = 1,2D + 1,6Lr + 1,0L
- U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr atau S atau R)
- U = 1,2D + 1,0E + 1,0L + 0,2S
- U = 0,9D + 1,0W
- U = 0,9D + 1,0E

4) Pembebanan Gaya Dinamis

Dari perencanaan pembebanan gaya dinamis didapatkan respons spektrum untuk kota Surabaya seperti pada Gambar 4.

5) Kontrol Desain

Pada perencanaan ini, dikarenakan bentuk gedung yang tidak beraturan dan tidak proporsional secara sumbu X dan Y, maka arah gempa yang berpotensi menghasilkan respon maksimum tidak hanya terjadi pada sumbu X dan Y.

Oleh karena itu, pada kontrol desain ini, beban gempa tidak hanya diasumsikan bekerja pada sumbu X dan sumbu Y, melainkan juga bekerja pada sumbu ξ dan η .

Sumbu ξ dan η tersebut merupakan sumbu X dan sumbu Y yang telah dirotasi sebesar 57,64° dari titik pusat sumbu.

a. Kontrol Berat Hitungan Manual

Rekapitulasi kontrol perhitungan manual dengan ETABS disajikan pada Tabel 6. Dari hasil perhitungan, didapatkan

selisih sebesar 3,08% dimana kurang dari 5%.

Sehingga permodelan sesuai dengan asumsi yang direncanakan.

b. Kontrol Partisipasi Massa

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1, perhitungan respons dinamika struktur harus memiliki massa terkombinasi minimal 90% dari massa aktual masing masing arah.

Untuk rekapitulasi perhitungan dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8. Dari Tabel 7 dan Tabel 8 dapat disimpulkan bahwa struktur memenuhi persyaratan partisipasi massa.

c. Kontrol Periode Fundamental

Periode fundamental struktur merupakan waktu yang dibutuhkan oleh struktur untuk menempuh masa satu siklus Gerakan yang nilainya dipengaruhi oleh fungsi massa dan kekakuan dari struktur tersebut.

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2.1, periode struktur untuk rangka pemikul momen khusus digunakan sebagai berikut:

$$T_a = C_t h_n^x = 0,0488 \times 84^{0,75} = 1,354 \text{ detik}$$

Dari nilai $S_{d1} = 0.4042$, didapatkan $C_u = 1.4$. Sehingga $C_u \cdot T_a$ dapat dihitung dengan nilai sebagai berikut.

$$C_u \cdot T_a = 1.4 \times 1,354 = 1,898 \text{ detik}$$

Dari program bantu ETABS, didapatkan T struktur sebesar 1,861 untuk sumbu X dan Y, serta 1,873 untuk sumbu ξ dan η . Sehingga dapat disimpulkan struktur memenuhi persyaratan.

d. Kontrol Gaya Dasar (Base Shear)

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.4.1 apabila

Tabel 14.

Kontrol Sistem Ganda untuk Gempa Sumbu X dan Y

Pemikul Gaya Geser	Arah X	Presentase	Arah Y	Presentase
Dinding Geser	7974,56	71,23	8384,78	72,56
Sistem Rangka	3220,95	28,77	3170,87	27,44
Total	11195,50	100,00	11555,65	100,00

Tabel 15.

Kontrol Sistem Ganda untuk Gempa Sumbu X dan Y

Pemikul Gaya Geser	Arah X	Presentase	Arah Y	Presentase
Dinding Geser	7847,83	70,55	8055,45	68,46
Sistem Rangka	3275,95	29,45	3404,86	29,71
Total	11123,78	100,00	11460,30	100,00

Tabel 16.

Rekapitulasi Penulangan Balok Induk

Tipe	BI-1		BI-2		BI-3	
	Tum	Lap	Tum	Lap	Tum	Lap
Tulangan Dimensi	300 x 450		350 x 600		450 x 700	
Bentang	3 m		5 m		6 m	
Atas	4D19	3D19	5D19	3D19	6D25	3D25
Tengah	2D19	2D19	2D19	2D19	2D25	2D25
Bawah	3D19	3D19	4D19	3D19	4D25	3D25
Sengkang	D10-100	D10-200	D10-100	D10-200	D10-100	D10-200
Angkur	D16		D16		D16	

kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari 100% dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode static ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan $\frac{V}{V_t}$.

Setelah dilakukan perhitungan didapatkan nilai $V = 11195,5$ kN. Hasil analisis program bantu ETABS berupa gaya geser dasar hasil analisis ragam yang disajikan dalam Tabel 8 dan Tabel 9.

Dikarenakan kurang dari 100% gaya geser, maka harus dilakukan penskalaan sebagai berikut.

$$\text{Faktor skala arah X} = \frac{8562,57}{11195,50} = 1,326$$

$$\text{Faktor skala arah Y} = \frac{8442,04}{11195,50} = 1,350$$

$$\text{Faktor skala arah } \xi = \frac{8407,37}{11195,50} = 1,323$$

$$\text{Faktor skala arah } \eta = \frac{8120,79}{11195,50} = 1,411$$

Setelah dilakukan penskalaan didapatkan rekapitulasi hasil pada Tabel 10 dan Tabel 11. Dari hasil running ulang tersebut didapatkan hasil yang sudah memenuhi SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1.

e. Kontrol Drift

Dalam SNI 1726:2012 Pasal 7.9.3, simpangan antar lantai ditentukan dengan tujuan untuk mencegah kerusakan non-struktural dan menjaga kenyamanan.

Berdasarkan perhitungan, didapatkan nilai drift limit sebesar 46,154 mm. Rekapitulasi simpangan antar lantai dapat dilihat pada Tabel 12 dan Tabel 13.

Tabel 17.

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Tipe	K1		K2	
Tulangan Dimensi	Tum	Lap	Tum	Lap
Cover	1100 mm x 900 mm		900 mm x 700 mm	
Tulangan	50 mm		50 mm	
Sengkang	28D25		28D22	
Tulangan Dimensi	6D16-100	4D16-150	5D16-100	4D16-100
Cover	Tum	Lap	Tum	Lap
Tulangan	800 mm x 600 mm		500 mm x 500 mm	
Cover	50 mm		50 mm	
Tulangan	24D22		20D16	
Sengkang	5D13-100	2D13-100	5D13-100	4D13-100

Tabel 18.

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Tipe	Longitudinal X	Longitudinal Y	Transversal
SWA-1	D16-100	D16-100	D13-100
SWA-2	D16-100	D16-100	D13-200
SWA-3	D16-100	D16-100	D13-200
SWA-4	D16-100	D16-100	D13-200

Tabel 19.

Rekapitulasi Penulangan Poer

Tipe	Tulangan	Tulangan Arah X	Pakai	Tulangan Arah Y	Pakai
1	Tarik (bawah)	D29-100 mm		D29-100 mm	
	Tekan (atas)	D29-100 mm		D29-100 mm	
2	Tarik (bawah)	D29-100 mm		D29-100 mm	
	Tekan (atas)	D29-100 mm		D29-100 mm	
3	Tarik (bawah)	D29-100 mm		D29-100 mm	
	Tekan (atas)	D29-100 mm		D29-100 mm	
4	Tarik (bawah)	D32-100 mm		D32-100 mm	
	Tekan (atas)	D32-100 mm		D32-100 mm	
5	Tarik (bawah)	D32-100 mm		D32-100 mm	
	Tekan (atas)	D32-100 mm		D32-100 mm	

f. Kontrol P-delta

Dalam perencanaan sebuah gedung bertingkat, pengaruh P-Delta terlebih dahulu perlu dianalisis. Analisis ini diperlukan untuk mengetahui apakah pengaruh P-Delta ini perlu diperhitungkan dengan batasan koefisien stabilitas θ kurang dari sama dengan 10%.

Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan bahwa pengaruh P-Delta pada struktur tidak lebih dari 0,1 untuk seluruh tingkat lantai. Oleh karena itu, pada perencanaan ini pengaruh P-Delta tidak dilakukan perhitungan.

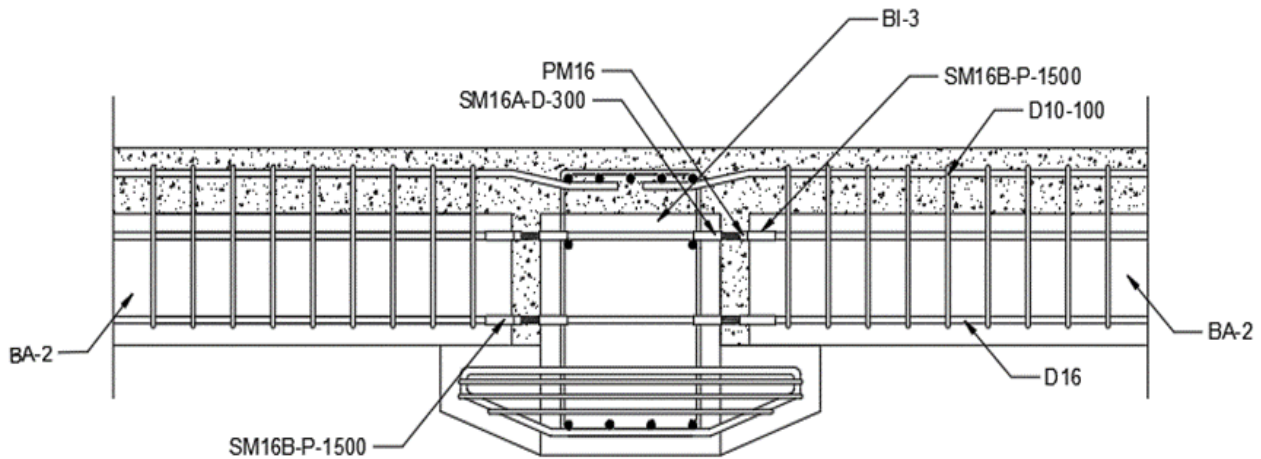
g. Kontrol Sistem Ganda

Dalam SNI 1726:2019, disebutkan bahwa dalam bangunan yang menerapkan sistem ganda yaitu gabungan antara Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) dan Dinding Geser, elemen SRPMK harus memikul beban minimum 25% dari beban geser nominal yang bekerja dalam arah kerja beban gempa tersebut. Rekapitulasi kontrol sistem ganda ditunjukkan pada Tabel 14 dan Tabel 15.

Dari hasil perhitungan Tabel 15, dapat dilihat bahwa presentase total dari SRPM memiliki nilai lebih besar dari 25%, sehingga konfigurasi struktur gedung telah memenuhi syarat sebagai struktur Dual System.

C. Perencanaan Struktur Primer

Struktur Primer direncanakan meliputi balok induk, kolom,



Gambar 7. Detail konsol pendek pada kolom.

dan dinding geser.

1) Perencanaan Balok Induk

Dalam perencanaan ini, balok induk pracetak akan direncanakan tulangnya dengan meninjau keadaan balok induk saat sebelum komposit dan setelah komposit. Dari hasil perhitungan didapatkan dimensi balok induk pada Tabel 16.

2) Perencanaan Kolom

Kolom direncanakan dalam kondisi pracetak yang setelah dilakukan perhitungan didapatkan rekapitulasi penulangan sebagai pada Tabel 17.

3) Perencanaan Dinding Geser

Dinding geser direncanakan dengan metode beton cor *in-situ* dengan rekapitulasi penulangan pada Tabel 18.

D. Perencanaan Sambungan

Perencanaan sambungan meliputi:

1) Perencanaan Konsol Pendek

Perencanaan konsol tersebut mengikuti persyaratan yang diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 16.5. Detail konsol pendek yang digunakan sesuai dengan Gambar 5.

2) Perencanaan Sambungan Balok-Kolom

Perencanaan sambungan balok dengan kolom memanfaatkan panjang penyaluran pada tulangan balok. Dalam perencanaan sambungan ini akan digunakan produk sambungan dari Peikko group yaitu dengan menggunakan Modix Rebar Couplers. Detail konsol pendek yang digunakan sesuai dengan Gambar 6.

3) Perencanaan Sambungan Balok Induk-Balok Anak

Sambungan balok anak dan balok induk ini memanfaatkan panjang penyaluran tulangan. Pada sambungan ini digunakan produk Modix Rebar Coupler dengan kekuatan leleh sambungan sebesar 550 MPa. Detail konsol pendek yang digunakan sesuai dengan Gambar 7.

4) Perencanaan Sambungan Pelat-Balok

Sambungan antara balok dengan pelat mengandalkan adanya tulangan tumpuan yang dipasang memanjang melintas tegak lurus diatas balok (menghubungkan stud – stud pelat). Selanjutnya pelat pracetak yang sudah dihubungkan tersebut diberi *overtopping* dengan metode *cast in-situ* (Gambar 5).

E. Perencanaan Struktur Bawah

Perencanaan struktur bawah meliputi:

1) Perencanaan Pondasi

Pondasi direncanakan menggunakan *Spun Pile* PT. Wijaya Karya dengan diameter 80 cm dengan kedalaman 24 m. Pondasi dikontrol sebagai berikut: Kontrol P_{group} 1 tiang maksimum, Kontrol defleksi, Kontrol momen maksimum.

2) Perencanaan Poer (Pilecap)

Poer berfungsi untuk menyalurkan beban dari kolom menuju ke pondasi, sehingga dibutuhkan penulangan. Penulangan poer dimodelkan sebagai perletakan jepit di kolom. Dan pondasi tiang pancang dimodelkan sebagai beban terpusat. Rekapitulasi perhitungan poer disajikan dalam Tabel 19 dan Gambar 7.

3) Perencanaan Tusuk Konde

Dalam merencanakan tulangan tusuk konde mengambil rasio tulangan minimum menurut ACI 318-19M yaitu sebesar 2% dari diameter dalam tiang pancang. Dari hasil perhitungan didapatkan tulangan konde sebesar 8D29.

4) Perencanaan Sloof

Struktur sloof digunakan untuk membuat penurunan secara bersamaan pada pondasi atau sebagai pengaku yang menghubungkan antar pondasi yang satu dengan yang lainnya. Dari hasil perhitungan didapatkan sebagai berikut:

Dimensi	= 350 x 550 mm
Tul. Utama Tarik	= 3D22
Tul. Utama Tekan	= 2D22
Senggang	= D10-150

F. Metode Pelaksanaan

Elemen pracerak berupa balok dan pelat akan diproduksi dalam bentuk *Half Slab* dan *Half Beam*. Proses produksi elemen pracetak berupa balok dan pelat dilakukan di area proyek. Pengangkatan beton pracetak dari area produksi ke titik akhir elemen dilakukan pada umur yang telah ditentukan. Untuk pelat pengangkatan dilakukan pada umur ke 14 hari atau saat beton sudah mencapai nilai kuat tekan 30,8 MPa. Sedangkan untuk balok pracetak, pengangkatan dilakukan saat umur 7 hari atau saat beton sudah mencapai nilai kuat tekan 25 MPa. Dalam pengangkatan ini digunakan jenis Crane POTAIN MD 265C J12 yang memiliki kapasitas untuk

mengangkat elemen pracetak

Metode yang digunakan pada perencanaan ini adalah metode horizontal, dimana proses erection dilaksanakan tiap satu lantai. Pada sambungan balok, digunakan sambungan coupler untuk menyambungkan tulangan yang sudah ditanam pada elemen pracetak. Sambungan yang digunakan merupakan sambungan mekanis coupler dari Peikko Group.

V. KESIMPULAN

Sesuai perhitungan yang mengacu pada peraturan SNI 2847:2019 diperoleh dimensi untuk struktur sekunder, primer, dan struktur bawah. Sistem sambungan pada elemen balok menggunakan produk sambungan Modix Rebar Coupler dari PEIKKO dan sambungan pada elemen kolom menggunakan panjang penyaluran dari kolom itu sendiri.

Pada elemen non-pracetak seperti tangga, shear wall, dan pelat menggunakan sambungan konvensional dengan tulangan menerus. Hasil perencanaan yang telah dilakukan pada gedung Apartemen Alessandro Vittorio akan digambarkan pada gambar teknik yang terdapat di lampiran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Ervianto, Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi, 1st ed. Yogyakarta: CV. Andi Offset, 2006.
- [2] E. Tjahjono and H. Purnomo, "Pengaruh penempatan penyambungan pada perilaku rangkaian balok-kolom beton pracetak bagian sisi luar," *Makara J. Technol.*, vol. 8, no. 3, p. 147800, 2004.
- [3] I. Imran and F. Hendrik, *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*, 1st ed. Bandung: ITB Press, 2016.
- [4] Dep. PU Dirjen Cipta Karya, *Pedoman Teknis Rumah dan Bangunan Gedung Tahan Gempa*, 1st ed. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, 2006.