

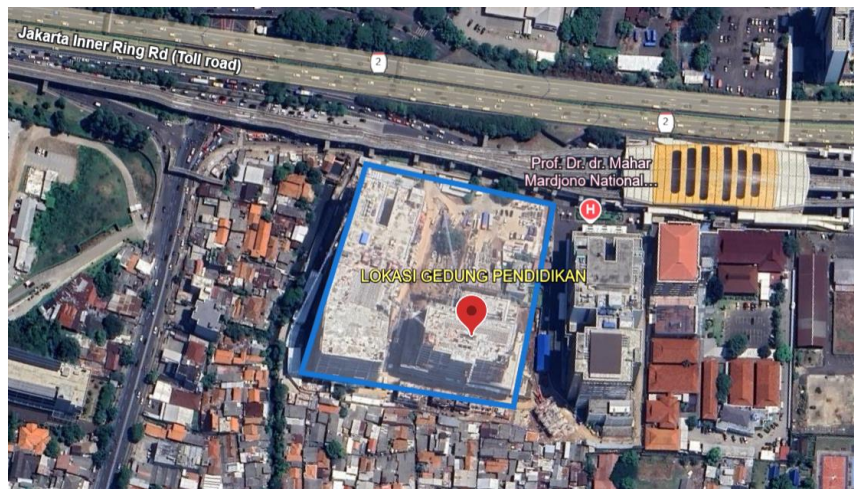
BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang berupa *Detail Engineering Design* (DED) dari proyek Pembangunan Gedung RSPON Prof. Dr. dr Mahar Mardjono Jakarta Sebagai RS Pendidikan Menjadi Institut Neurosains Nasional (INN) yang didapatkan saat pelaksanaan Kerja Praktik.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Gedung Pendidikan Rumah Sakit Pusat Otak Nasional Jakarta Timur yang berlokasi di Kawasan RSPON Prof. Dr. dr Mahar Mardjono Jakarta tepatnya di Jl. Letjen M.T. Haryono No. Kav. 11, Cawang, Kec. Kramat Jati, Kota Jakarta Timur, DKI Jakarta. Berikut merupakan titik lokasi penelitian yang diambil dari Google *Earth* yang disajikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

3.3 Data Penelitian

3.3.1 Data Teknis Bangunan

Berikut merupakan data teknis dari bangunan yang akan menjadi bahan penelitian:

Jenis Bangunan : Gedung Rumah Sakit

Jumlah Lantai : 1 *Semi Basement* dan 11 lantai

Tinggi Bangunan : 52,1 m

Material : Beton Bertulang

Fungsi dan luasan setiap lantai disajikan pada Tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3.1 Fungsi dan Luasan Tiap Lantai

No	Lantai	Fungsi	Luas (m ²)
1	Lantai <i>Semi Basement</i>	Fasilitas Penunjang	3560
2	Lantai 1	<i>Lobby, Retail</i> , UMKM dan Bank	3623
3	Lantai 2	Restoran dan lain-lain	3718
4	Lantai 3	Lab Klinik, Mikrobiologi & patologi Anatomi	3718
5	Lantai 4	Instalasi <i>Central Riset Unit (CRU)</i> , <i>Bio Genome Science Initiative</i>	2258
6	Lantai 5	<i>Project-Project</i> Penelitian	1835
7	Lantai 6	Manajemen Riset	1835
8	Lantai 7	<i>Skill Training</i>	1835
9	Lantai 8	Pendidikan Spesial Bedah Saraf	1835
10	Lantai 9	Pendidikan Spesial Saraf	1835
11	Lantai 10	Ruang Dokter	1835
12	Lantai 11	Direksi dan Manajemen	1835
13	Lantai <i>Roof Top</i>	Gondola, <i>Outdoor AC</i> , Mesin Lift	278
Jumlah Luasan (m²)			30000

3.3.1.1 Mutu Beton

Pada proyek tersebut digunakan mutu beton $f'c$ 40 MPa untuk struktur kolom, sedangkan untuk struktur balok dan pelat lantai digunakan mutu beton $f'c$ 30 MPa.

3.3.1.2 Mutu Baja Tulangan

Terdapat 2 (dua) jenis besi tulangan yaitu besi tulangan ulir dan besi tulangan polos selain memiliki jenis tulangan yang berbeda besi tulangan pun memiliki ukuran yang bervariasi dan pada Proyek Pembangunan Gedung RSPON Prof. Dr. dr. Mahar Mardjono Jakarta sebagai RS Pendidikan Menjadi Institut

Neurosains Nasional (INN) menggunakan mutu besi tulangan yang disajikan pada Tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3.2 Spesifikasi Baja Tulangan

Jenis	Fy (Mpa)	Diameter (mm)	Keterangan
BjTS420B	420	D10	Senggang dan <i>Ties</i>
BjTS420B	420	D13	Senggang dan <i>Ties</i>
BjTS420B	420	D16	Tulangan Utama
BjTS420B	420	D19	Tulangan Utama
BjTS420B	420	D22	Tulangan Utama
BjTS420B	420	D25	Tulangan Utama
BjTS420B	420	D29	Tulangan Utama
BjTS520	520	D10	Senggang dan <i>Ties</i>
BjTS520	520	D13	Senggang dan <i>Ties</i>

3.3.2 Gambar Struktur Bangunan

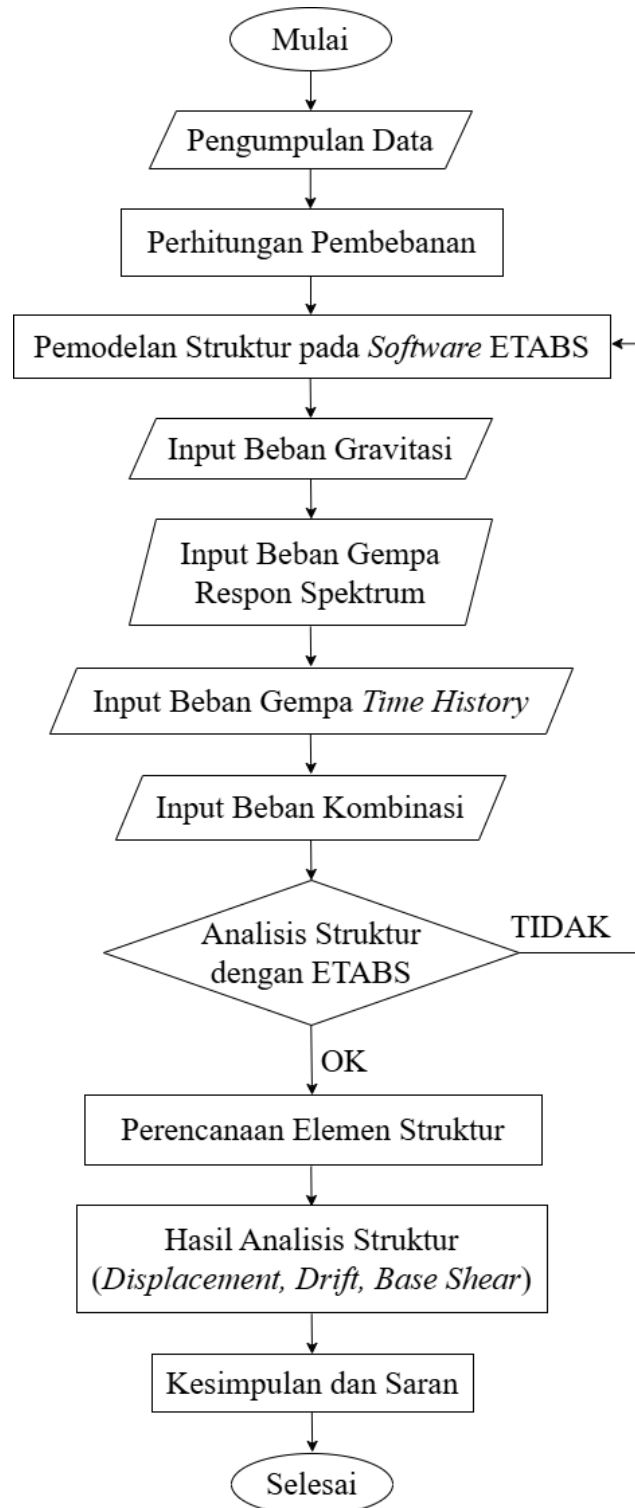
Berikut merupakan gambar Gedung Pendidikan RS PON Jakarta Timur (Gambar 3.2) yang diambil dari *Detail Engineering Design* (DED) dari proyek Pembangunan Gedung RSPON Prof. Dr. dr Mahar Mardjono Jakarta Sebagai RS Pendidikan Menjadi Institut Neurosains Nasional (INN).



Gambar 3.2 Gambar 3D Struktur Bangunan

3.4 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan diagram alir (*flow chart*) penelitian yang disajikan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Diagram Alir Penelitian

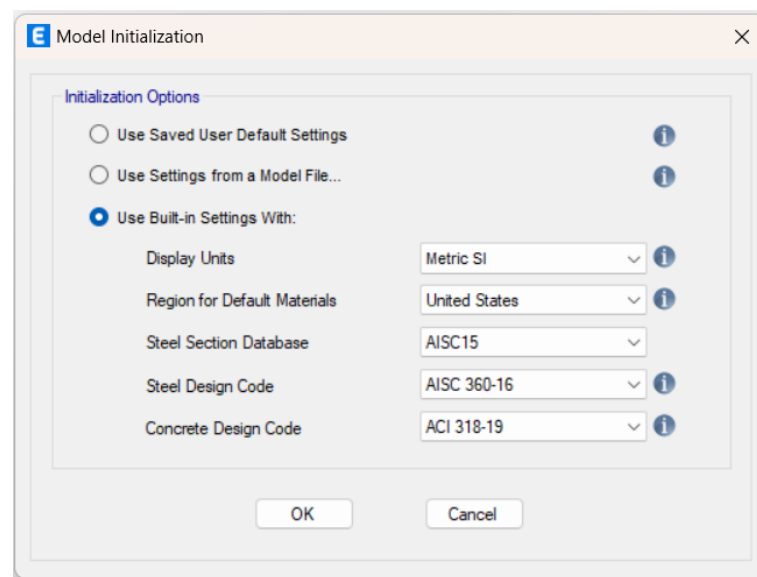
3.5 Teknik Analisis Data

3.5.1 Pemodelan Struktur pada *Software* ETABS

Dari data gambar yang telah didapatkan, dilakukan pemodelan struktur pada *software* ETABS v21 dengan langkah-langkah sebagai berikut:

3.5.1.1 Model *Initialization*

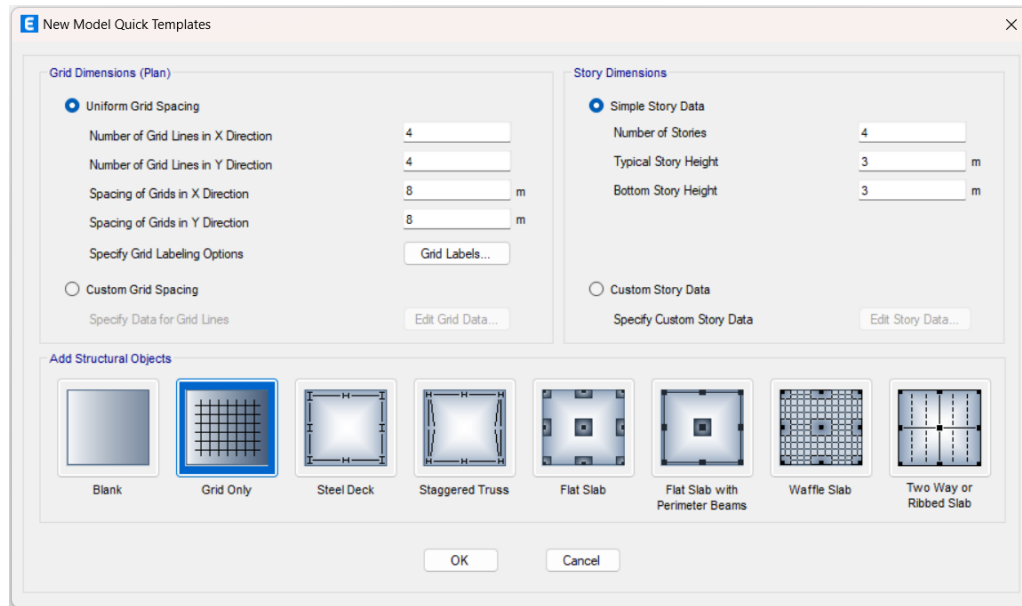
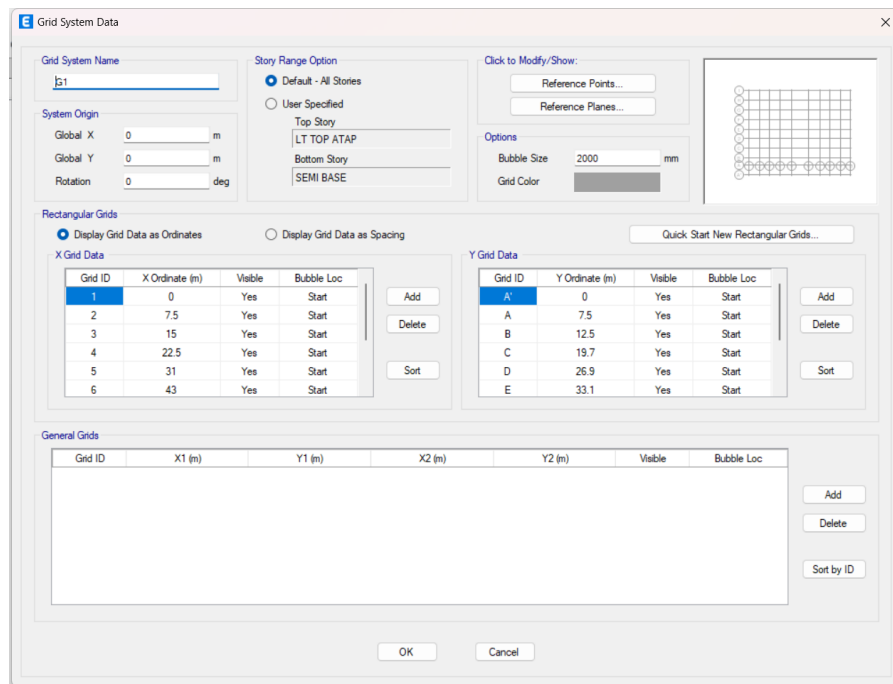
Langkah pertama, terlebih dahulu menentukan peraturan terbaru dalam memodelkan struktur gedung.



Gambar 3.11 Model *Initialization*

3.5.1.2 *Grid System Data*

Pada tahap ini, menentukan dimensi ukuran bangunan meliputi jumlah kolom, luas ruangan, tinggi bangunan, dan jumlah tingkat bangunan yang akan dimodelkan.

Gambar 3.12 Penentuan *Template Model*Gambar 3.13 *Grid System Data*

3.5.1.3 Define Material Properties

Material yang diinput pada penelitian ini yaitu beton dengan mutu f'_c 40 MPa, dan mutu f'_c 30 MPa baja tulangan (rebar) dengan tipe BjTS420B dan

BjTS520. Tahapan dalam proses ini yaitu: *Define – Material Properties – Add New Material*.

a) Beton f'_c 40 MPa

b) Beton f'_c 30 MPa

Gambar 3.14 *Define Property Beton*

a) Tulangan BjTS 420B

b) Tulangan BjTS 520

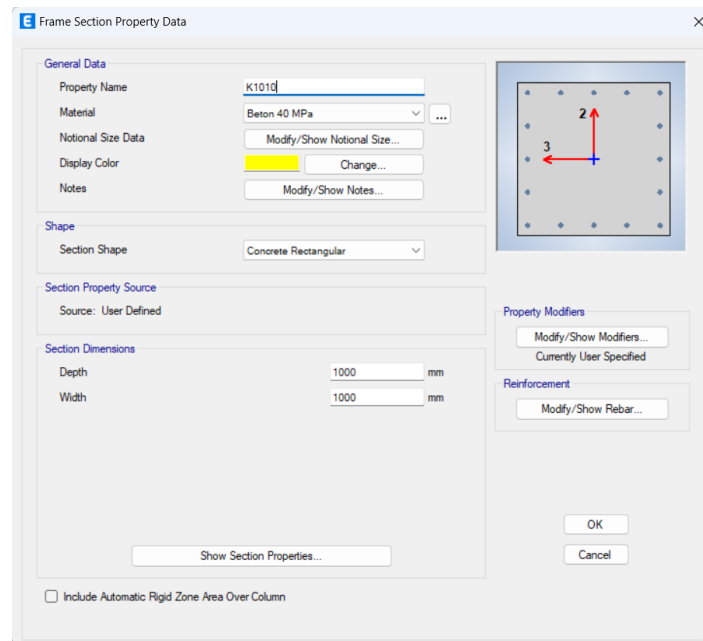
Gambar 3.15 *Define Property Rebar*

3.5.1.4 Define Frame Section

Pada tahapan ini memodelkan elemen yang akan digunakan, seperti kolom, balok, dan pelat.

1. Pemodelan Kolom

Tahapan dalam proses ini yaitu: *Define – Section Properties – Frame Section – Add New Properties – Concrete – Rectangular Section.*



Gambar 3.16 Define Frame Section Kolom

2. Pemodelan Balok

Tahapan dalam proses ini yaitu: *Define – Section Properties – Frame Section – Add New Properties – Concrete – Rectangular Section.*

Gambar 3.17 *Define Frame Section Balok*

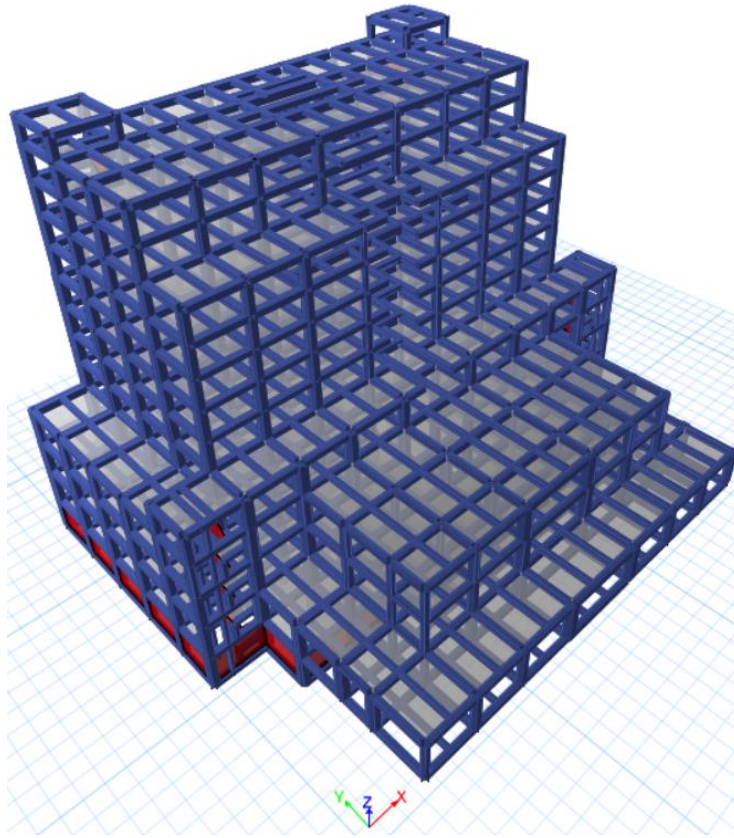
3. Pemodelan Pelat

Tahapan dalam proses ini yaitu: *Define – Section Properties – Slab Section – Add New Properties.*

Gambar 3.18 *Define Frame Section Kolom Pelat*

3.5.1.5 Hasil Pemodelan

Berikut merupakan hasil dari pemodelan pada *software* ETABS yang disajikan pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19 Hasil Pemodelan *Software* ETABS

3.5.2 Pembebanan pada Struktur

3.5.2.1 *Dead Load (DL)*

Dead Load atau Beban Mati merupakan bebat yang diakibatkan oleh berat sendiri elemen struktur. Jenis beban ini akan dihitung secara otomatis oleh *software* ETABS.

3.5.2.2 *Superimposed Dead Load (SIDL)*

Superimposed Dead Load atau Beban Mati Tambahan mengacu pada SNI 1727-2020. Beban ini akan diinputkan pada elemen pelat lantai dan pelat atap, sedangkan untuk beban dinding akan secara langsung disalurkan pada elemen balok.

1. Beban Mati Tambahan pada Pelat

a. Pelat Lantai Office dan Lainnya

Berikut merupakan beban mati tambahan yang akan disalurkan pada pelat lantai *office* dan lainnya disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Beban Mati Tambahan pada Pelat Lantai Office dan Lainnya

No	Jenis Beban	Berat (kN/m ²)
1	<i>Finishing</i> adukan 4 cm	0,82
2	Keramik 1 cm	0,26
3	Plafon + rangka	0,10
4	<i>Ducting</i> / ME	0,15
Total beban		1,33

b. Pelat Lantai Parkir

Berikut merupakan beban mati tambahan yang akan disalurkan pada pelat lantai parkir disajikan pada Tabel 3.10.

Tabel 3.4 Beban Mati Tambahan pada Pelat Lantai Parkir

No	Jenis Beban	Berat (kN/m ²)
1	<i>Finishing</i> adukan 2 cm	0,41
2	<i>Ducting</i> / ME	0,15
Total beban		0,56

c. Pelat Atap Dak Beton

Berikut merupakan beban mati tambahan yang akan disalurkan pada pelat atap disajikan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Beban Mati Tambahan pada Pelat Atap Dak Beton

No	Jenis Beban	Berat (KN/m ²)
1	<i>Finishing</i> adukan 5 cm	1,03
2	Plafon + rangka	0,10
3	<i>Ducting</i> / ME	0,15
Total beban		1,28

2. Beban Dinding pada balok

Berikut merupakan beban mati tambahan yang berupa beban dinding yang akan disalurkan pada balok disajikan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Beban Dinding pada Balok

No	Bahan	Jenis Beban	Berat (KN/m ²)
1	Bata Ringan	Material	0,57
		Plester	0,41
Total			0,98
2	Beton	Material	3,60
3	Kaca	Material	0,30
		Frame	0,20
Total			0,50

3.5.2.3 Live Load (LL)

Live Load atau Beban Hidup yang diperhitungkan berupa beban area yang akan diinputkan pada elemen pelat lantai dan pelat atap. Beban Hidup mengacu pada SNI 1727-2020. Berikut merupakan beban hidup yang akan diinput pada pemodelan struktur yang disajikan pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Beban Hidup pada Pelat

No	Jenis Beban	Berat (kN/m ²)
1	Lantai Parkir	4,90
2	<i>Office</i>	2,40
3	Koridor Lt 1	4,79
4	Koridor Lantai Lainnya	3,83
5	Tangga	4,79
6	R. Pasien	2,40
7	R. Laboratorium	2,87
8	R. Operasi	2,87
9	Area Publik	4,79
10	R. <i>Meeting</i>	4,79
11	Gudang	6,00
12	R. Parkir	4,90
13	Resto / Kantin	4,79
14	R. Arsip	7,18
15	<i>Roof Garden</i>	4,79
16	<i>Loading Dock</i>	9,81
17	<i>Gym</i>	4,79
18	Atap <i>Dack Aksesible</i>	1,92

3.5.2.4 Earthquake Load (EL)

Earthquake Load atau Beban Gempa yang diperhitungkan untuk kontrol struktur merupakan metode respon spektrum yang di desain dengan ketentuan pada SNI 1726-2019, Pasal 6.10.2.1. Sedangkan untuk analisis struktur, beban gempa yang digunakan adalah metode *time history analysis*. Berikut merupakan pembebanan gempa dengan metode respon spektrum.

1. Lokasi Penelitian

Lokasi : Jakarta Timur

Lintang Selatan (LS) : -6,2455462

Bujur Timur (BT) : 106,8696698

2. Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko Bangunan : IV

Faktor Keutamaan Gempa : 1,5

3. Parameter Percepatan Gempa Batuan Dasar

Percepatan batuan dasar perioda 0,2 det (Ss) : 0,8178

Percepatan batuan dasar perioda 1,0 det (S1) : 0,3923

4. Faktor Amplifikasi

a. Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs ini dapat ditentukan dari hasil uji N-SPT yang dilakukan hingga kedalaman 30 m dari elevasi muka tanah asli. Berikut merupakan rekap hasil uji N-SPT yang disajikan pada Tabel 3.8 dan Tabel 3.9.

Tabel 3.8 Rekapitulasi hasil uji N-SPT

Layer (i)	Kedalaman (m)	ti	N-SPT					
			BH-01	BH-02	BH-03	BH-04	BH-05	BH-06
1	-2,00	2,00	7	3	7	6	6	5
2	-4,00	2,00	8	8	6	10	15	27
3	-6,00	2,00	9	9	8	11	18	28
4	-8,00	2,00	4	5	11	14	20	22
5	-10,00	2,00	5	8	12	8	15	13
6	-12,00	2,00	48	11	14	7	15	9
7	-14,00	2,00	54	10	9	8	30	10
8	-16,00	2,00	60	51	50	18	43	29
9	-18,00	2,00	60	47	47	41	60	54

Layer (i)	Kedalaman (m)	ti	N-SPT					
			BH-01	BH-02	BH-03	BH-04	BH-05	BH-06
10	-20,00	2,00	60	60	60	60	60	60
11	-22,00	2,00	60	60	60	60	49	60
12	-24,00	2,00	51	51	53	60	36	60
13	-26,00	2,00	42	45	45	35	50	60
14	-28,00	2,00	31	29	28	26	44	34
15	-30,00	2,00	60	29	31	27	47	40
ti		30,00						
ti/Ni			2,05	2,54	1,95	2,11	1,35	1,56
Rata-rata			14,63	11,81	15,38	14,22	22,22	19,23
Jenis Tanah			Tanah Lunak	Tanah Lunak	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Sedang	Tanah Sedang

Tabel 3.9 Rekapitulasi hasil uji N-SPT (lanjutan)

Layer (i)	Kedalaman (m)	ti	N-SPT					
			BH-07	BH-08	BH-09	BH-10	BH-11	BH-12
1	-2,00	2,00	5	10	4	10	10	14
2	-4,00	2,00	18	12	20	12	11	12
3	-6,00	2,00	15	9	21	10	10	10
4	-8,00	2,00	8	12	7	14	12	4
5	-10,00	2,00	6	18	6	8	4	5
6	-12,00	2,00	7	18	7	6	5	5
7	-14,00	2,00	15	31	15	8	6	8
8	-16,00	2,00	20	44	22	24	21	50
9	-18,00	2,00	38	60	41	38	37	60
10	-20,00	2,00	60	60	50	60	34	60
11	-22,00	2,00	60	60	60	60	60	60
12	-24,00	2,00	49	60	60	45	45	60
13	-26,00	2,00	38	56	38	38	40	50
14	-28,00	2,00	34	60	34	40	40	44
15	-30,00	2,00	34	60	32	54	41	41
ti		30,00						
ti/Ni			2,08	1,32	2,15	1,93	2,42	2,37
Rata-rata			14,42	22,73	13,95	15,54	12,40	12,66
Jenis Tanah			Tanah Lunak	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Lunak

Keterangan:

ti : Tebal lapisan tanah i

Ni : Nilai N-SPT pada lapisan ke-i

Berdasarkan tabel tersebut maka klasifikasi situs termasuk Tanah Lunak.

b. Koefisien Situs

Koefisien situs perioda 0,2 det (F_a) : 1,2457

Koefisien situs perioda 1,0 det (F_v) : 2,4307

5. Percepatan Gempa Maksimum

Parameter respon percepatan pada saat perioda 0,2 det (S_{MS}): 1,0188

Parameter respon percepatan pada saat perioda 1,0 det (S_{M1}): 0,9536

6. Gempa Desain Struktur

Periode ulang Gempa : 2500 tahun

Parameter *spectral* percepatan pada saat perioda 0,2 det (S_{DS}) : 0,6792

Parameter *spectral* percepatan pada saat perioda 1,0 det (S_{D1}) : 0,6357

7. Periode Getar Fundamental Struktur

T_0 = 0,1872 detik

T_s = 0,9360 detik

Periode Ulang (T_L) = 20 detik

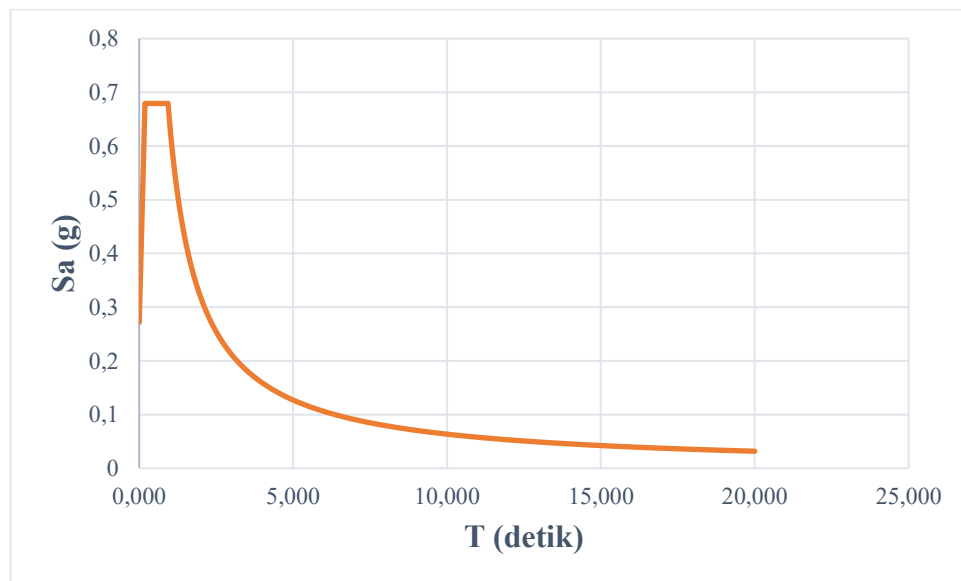
8. Respon Spektrum Desain

Untuk $T < T_0$: $S_a = 0,2716$

Untuk $T = T_0$: $S_a = 0,6791$

Untuk $T_s < T_0 \leq T_L$: $S_a = 0,0317$

Untuk $T > T_L$: $S_a = 0,0317$



Gambar 3.20 Grafik Respon Spektrum Wilayah Jakarta

9. Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik berdasarkan S_{DS} dan $S_{D1} = D$

10. Sistem Struktur Berdasarkan KDS

Sistem struktur berdasarkan KDS D, maka digunakan struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

3.5.2.5 Wind Load (WL)

Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain tercantum dalam SNI 1727-2020. Penentuan tekanan angin desain (P) ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$P = qGC_p - q_i(qGC_{pi}) \quad (3.1)$$

1. Parameter Beban Angin Desain

a. Kecepatan Angin Dasar (V)

Desain kondisi batas sesuai LRFD, maka:

$$V = 40 \text{ m/s}$$

b. Koefisien Faktor Arah Angin (K_d)

Berdasarkan Tabel 2.2, faktor arah angin (K_d) bangunan termasuk ke dalam tipe Sistem Penahan Beban Angin Utama, maka:

$$K_d = 0,85$$

c. Kategori Eksposur

Sesuai peraturan pada SNI 1727-2020, Pasal 36.7.3, gedung yang direncanakan termasuk ke dalam kategori eksposur B.

d. Koefisien Faktor Topografi (K_{zt})

Efek peningkatan kecepatan angin pada daerah perkotaan secara umum tidak menimbulkan perubahan secara mendadak pada topografi, maka:

$$K_{zt} = 1$$

e. Koefisien Faktor Hembusan Angin (G)

Berdasarkan SNI 1727-2020, Pasal 26.11.1, faktor efek hembusan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar:

$$G = 0,85$$

f. Koefisien Tekanan Internal ($q_{GC_{pi}}$)

Berdasarkan Tabel 2.5, gedung yang direncanakan termasuk ke dalam klasifikasi gedung tertutup maka:

$$GC_{pi} = 0,18$$

g. Tekanan Velositas (q_z)

Berdasarkan SNI 1727-2020, Pasal 26.10.1, dengan perkiraan konservatif, nilai K_z boleh diambil sebesar 1. Dalam pasal yang sama, nilai K_z dapat dihitung dengan persamaan:

$$K_z = 2,01 \left(\frac{z}{Z_g} \right)^{\frac{2}{\alpha}} \quad (3.2)$$

Berdasarkan SNI 1727-2020 pada Tabel 26.11-1, nilai α dan Z_g untuk kategori eksposur B yaitu sebesar:

$$\alpha = 7$$

$$Z_g = 365,76 \text{ m}$$

Sesuai Pasal 26.10.2, nilai q_z dapat dicari dengan persamaan:

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d K_e V^2 \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (3.3)$$

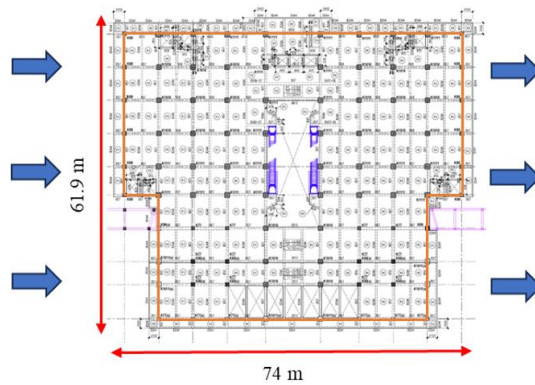
Perhitungan untuk setiap parameter disajikan dalam Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Perhitungan Nilai K_z dan q_z pada Setiap Lantai

Elevasi, z (m)	α	Z_g (m)	K_z	q_z (N/m ²)
5,5	7	365,76	0,61	505,11
10,5	7	365,76	0,73	607,61
15,5	7	365,76	0,81	679,12
19,7	7	365,76	0,87	727,28
23,9	7	365,76	0,92	768,57
28,1	7	365,76	0,97	804,95
32,3	7	365,76	1,00	837,63
36,5	7	365,76	1,04	867,41
40,7	7	365,76	1,07	894,82
44,9	7	365,76	1,10	920,29
49,1	7	365,76	1,13	944,10
52,1	7	365,76	1,15	960,24

h. Koefisien Tekanan Eksternal (C_p)

1) Arah sumbu x



Gambar 3.21 Angin Arah Sumbu x

Dimensi denah gedung paralel ke arah angin, $L = 74 \text{ m}$

Dimensi denah gedung paralel ke arah angin, $B = 61,9 \text{ m}$

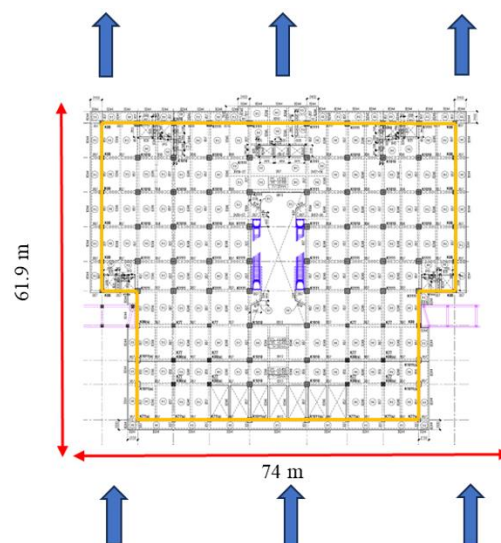
Maka, $L/B = 1,195$

Berdasarkan Gambar 27.3-1 pada SNI 1727-2020, dari nilai L/B yang didapat, maka diperoleh:

Tabel 3.11 Nilai C_p Arah Sumbu x

Permukaan	C_p
Dinding di sisi angin datang	0,8
Dinding di sisi angin pergi	-0,46

2) Arah sumbu y



Gambar 3.22 Angin Arah Sumbu y

Dimensi denah gedung paralel ke arah angin, $L = 61,9$ m

Dimensi denah gedung paralel ke arah angin, $B = 74$ m

Maka, $L/B = 0,84$

Berdasarkan Gambar 27.3-1 pada SNI 1727-2020, dari nilai L/B yang didapat, maka diperoleh:

Tabel 3.12 Nilai C_p Arah Sumbu y

Permukaan	C_p
Dinding di sisi angin datang	0,80
Dinding di sisi angin pergi	-0,50

i. Tekanan Angin Desain (P)

Dari beberapa parameter yang sudah didapatkan, maka besarnya tekanan angin desain dapat dihitung dengan persamaan:

$$P = qG C_p - q_i (qG C_{pi}) \quad (3.4)$$

Perhitungan dilakukan dengan MS. Excel, lalu disajikan dalam Tabel 3.13 berikut.

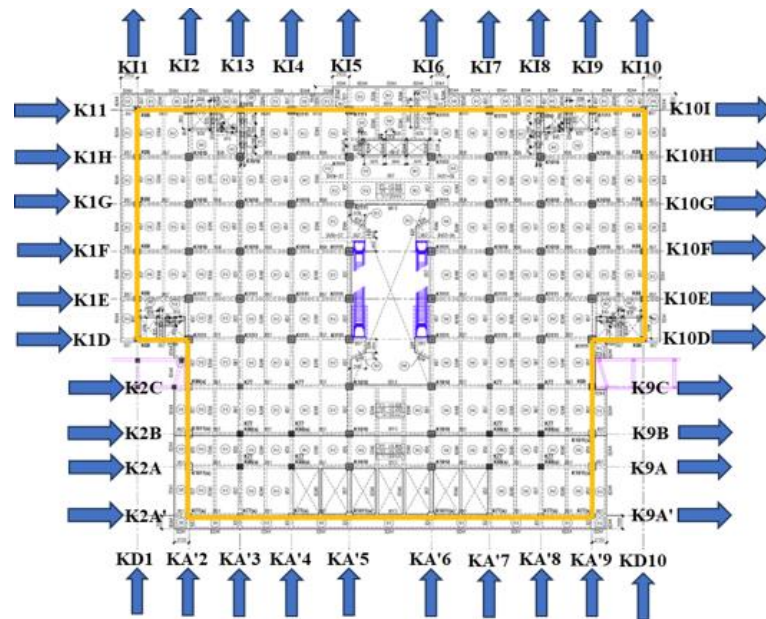
Tabel 3.13 Rekapitulasi Tekanan Angin (P) pada Dinding

Elevasi, h (m)	Sumbu x		Sumbu y	
	Angin Datang (kN/m ²)	Angin Pergi (kN/m ²)	Angin Datang (kN/m ²)	Angin Pergi (kN/m ²)
5,5	0,253	0,107	0,253	0,124
10,5	0,304	0,129	0,304	0,149
15,5	0,340	0,144	0,340	0,166
19,7	0,364	0,154	0,364	0,178
23,9	0,384	0,163	0,384	0,188
28,1	0,402	0,170	0,402	0,197
32,3	0,419	0,177	0,419	0,205
36,5	0,434	0,184	0,434	0,213
40,7	0,447	0,189	0,447	0,219
44,9	0,460	0,195	0,460	0,225
49,1	0,472	0,200	0,472	0,231
52,1	0,479	0,203	0,479	0,235

2. Konversi Beban Angin pada Kolom

Nilai tekanan (beban) angin yang telah dihitung sebelumnya merupakan beban luasan (kN/m²) yang akan mengenai permukaan dinding.

Lalu, beban angin tersebut akan didistribusikan pada permukaan kolom sehingga menjadi beban garis (kN/m^2).



Gambar 3.23 Beban Angin pada Permukaan Kolom Arah x dan y

a. Beban Angin pada Kolom arah x

1) Beban angin datang

Contoh perhitungan, pada kolom K2A' dengan:

$$\text{Ketinggian elevasi (h)} = 5,5 \text{ m}$$

$$\text{Jarak antar kolom maksimum (Lk)} = 7,5 \text{ m}$$

$$P^{(+)} = 0,253 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{WL}^{(+)} = P^{(+)} \cdot Lk$$

$$= 0,253 \cdot 7,5$$

$$= 1,89 \text{ kN/m}^2$$

Dilakukan perhitungan dengan cara yang sama untuk setiap elevasi ketinggian kolom.

Tabel 3.14 Rekapitulasi Beban Angin Datang pada Kolom Arah x

Elevasi, h (m)	K2A'		K2A		K2B		K2C	
	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)
5,5	7,5	1,89	5	1,26	7,2	1,82	7,2	1,82

Elevasi, h (m)	K2A'		K2A		K2B		K2C	
	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)
10,5	7,5	2,28	5	1,52	7,2	2,19	7,2	2,19
15,5	7,5	2,55	5	1,70	7,2	2,44	7,2	2,44
19,7	7,5	2,73	5	1,82	7,2	2,62	7,2	2,62
23,9	7,5	2,88	5	1,92	7,2	2,77	7,2	2,77
28,1	7,5	3,02	5	2,01	7,2	2,90	7,2	2,90
32,3	7,5	3,14	5	2,09	7,2	3,02	7,2	3,02
36,5	7,5	3,25	5	2,17	7,2	3,12	7,2	3,12
40,7	7,5	3,36	5	2,24	7,2	3,22	7,2	3,22
44,9	7,5	3,45	5	2,30	7,2	3,31	7,2	3,31
49,1	7,5	3,54	5	2,36	7,2	3,40	7,2	3,40
52,1	7,5	3,60	5	2,40	7,2	3,45	7,2	3,45

Tabel 3.15 Rekapitulasi Beban Angin Datang pada Kolom Arah x (lanjutan)

Elevasi, h (m)	K1D		K1E		K1F	
	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)
5,5	6,2	1,57	7,2	1,82	7,2	1,82
10,5	6,2	1,88	7,2	2,19	7,2	2,19
15,5	6,2	2,11	7,2	2,44	7,2	2,44
19,7	6,2	2,25	7,2	2,62	7,2	2,62
23,9	6,2	2,38	7,2	2,77	7,2	2,77
28,1	6,2	2,50	7,2	2,90	7,2	2,90
32,3	6,2	2,60	7,2	3,02	7,2	3,02
36,5	6,2	2,69	7,2	3,12	7,2	3,12
40,7	6,2	2,77	7,2	3,22	7,2	3,22
44,9	6,2	2,85	7,2	3,31	7,2	3,31
49,1	6,2	2,92	7,2	3,40	7,2	3,40
52,1	6,2	2,97	7,2	3,45	7,2	3,45

Tabel 3.16 Rekapitulasi Beban Angin Datang pada Kolom Arah x (lanjutan)

Elevasi, h (m)	K1G		K1H		K1I	
	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)
5,5	7,2	1,82	7,2	1,82	7,2	1,82
10,5	7,2	2,19	7,2	2,19	7,2	2,19

Elevasi, h (m)	K1G		K1H		K1I	
	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)
15,5	7,2	2,44	7,2	2,44	7,2	2,44
19,7	7,2	2,62	7,2	2,62	7,2	2,62
23,9	7,2	2,77	7,2	2,77	7,2	2,77
28,1	7,2	2,90	7,2	2,90	7,2	2,90
32,3	7,2	3,02	7,2	3,02	7,2	3,02
36,5	7,2	3,12	7,2	3,12	7,2	3,12
40,7	7,2	3,22	7,2	3,22	7,2	3,22
44,9	7,2	3,31	7,2	3,31	7,2	3,31
49,1	7,2	3,40	7,2	3,40	7,2	3,40
52,1	7,2	3,45	7,2	3,45	7,2	3,45

2) Beban angin pergi

Contoh perhitungan, pada kolom K9A' dengan:

Ketinggian elevasi (h) = 5,5 m

Jarak antar kolom maksimum (Lk) = 7,5 m

$P^{(-)}$ = 0,107 kN/m²

$qWL^{(-)}$ = $P^{(-)} \cdot Lk$

= 0,107 · 7,5

= 0,80 kN/m²

Dilakukan perhitungan dengan cara yang sama untuk setiap elevasi ketinggian kolom.

Tabel 3.17 Rekapitulasi Beban Angin Pergi pada Kolom Arah x

Elevasi, h (m)	K9A'		K9A		K9B		K9C	
	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)
5,5	7,5	0,80	5	0,53	7,2	0,77	7,2	0,77
10,5	7,5	0,97	5	0,64	7,2	0,93	7,2	0,93
15,5	7,5	1,08	5	0,72	7,2	1,04	7,2	1,04
19,7	7,5	1,16	5	0,77	7,2	1,11	7,2	1,11
23,9	7,5	1,22	5	0,81	7,2	1,17	7,2	1,17
28,1	7,5	1,28	5	0,85	7,2	1,23	7,2	1,23
32,3	7,5	1,33	5	0,89	7,2	1,28	7,2	1,28
36,5	7,5	1,38	5	0,92	7,2	1,32	7,2	1,32

Elevasi, h (m)	K9A'		K9A		K9B		K9C	
	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)
40,7	7,5	1,42	5	0,95	7,2	1,36	7,2	1,36
44,9	7,5	1,46	5	0,97	7,2	1,40	7,2	1,40
49,1	7,5	1,50	5	1,00	7,2	1,44	7,2	1,44
52,1	7,5	1,52	5	1,02	7,2	1,46	7,2	1,46

Tabel 3.18 Rekapitulasi Beban Angin Pergi pada Kolom Arah x (lanjutan)

Elevasi, h (m)	K10D		K10E		K10F	
	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)
5,5	6,2	0,66	7,2	0,77	7,2	0,77
10,5	6,2	0,80	7,2	0,93	7,2	0,93
15,5	6,2	0,89	7,2	1,04	7,2	1,04
19,7	6,2	0,95	7,2	1,11	7,2	1,11
23,9	6,2	1,01	7,2	1,17	7,2	1,17
28,1	6,2	1,06	7,2	1,23	7,2	1,23
32,3	6,2	1,10	7,2	1,28	7,2	1,28
36,5	6,2	1,14	7,2	1,32	7,2	1,32
40,7	6,2	1,17	7,2	1,36	7,2	1,36
44,9	6,2	1,21	7,2	1,40	7,2	1,40
49,1	6,2	1,24	7,2	1,44	7,2	1,44
52,1	6,2	1,26	7,2	1,46	7,2	1,46

Tabel 3.19 Rekapitulasi Beban Angin Pergi pada Kolom Arah x (lanjutan)

Elevasi, h (m)	K10G		K10H		K10I	
	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)
5,5	7,2	0,77	7,2	0,77	7,2	0,77
10,5	7,2	0,93	7,2	0,93	7,2	0,93
15,5	7,2	1,04	7,2	1,04	7,2	1,04
19,7	7,2	1,11	7,2	1,11	7,2	1,11
23,9	7,2	1,17	7,2	1,17	7,2	1,17
28,1	7,2	1,23	7,2	1,23	7,2	1,23
32,3	7,2	1,28	7,2	1,28	7,2	1,28
36,5	7,2	1,32	7,2	1,32	7,2	1,32
40,7	7,2	1,36	7,2	1,36	7,2	1,36
44,9	7,2	1,40	7,2	1,40	7,2	1,40

Elevasi, h (m)	K10G		K10H		K10I	
	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)
49,1	7,2	1,44	7,2	1,44	7,2	1,44
52,1	7,2	1,46	7,2	1,46	7,2	1,46

b. Beban Angin pada Kolom arah y

1) Beban angin datang

Contoh perhitungan, pada kolom KA'2 dengan:

Ketinggian elevasi (h) = 5,5 m

Jarak antar kolom maksimum (Lk) = 7,5 m

$P^{(+)} = 0,253 \text{ kN/m}^2$

$qWL^{(+)} = P^{(+)} \cdot Lk$
 $= 0,253 \cdot 7,5$
 $= 1,89 \text{ kN/m}$

Dilakukan perhitungan dengan cara yang sama untuk setiap elevasi ketinggian kolom

Tabel 3.20 Rekapitulasi Beban Angin Datang pada Kolom Arah y

Elevasi, h (m)	KD1		KA'2		KA'3		KA'4	
	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)
5,5	7,5	1,89	7,5	1,89	7,5	1,89	8,5	2,15
10,5	7,5	2,28	7,5	2,28	7,5	2,28	8,5	2,58
15,5	7,5	2,55	7,5	2,55	7,5	2,55	8,5	2,89
19,7	7,5	2,73	7,5	2,73	7,5	2,73	8,5	3,09
23,9	7,5	2,88	7,5	2,88	7,5	2,88	8,5	3,27
28,1	7,5	3,02	7,5	3,02	7,5	3,02	8,5	3,42
32,3	7,5	3,14	7,5	3,14	7,5	3,14	8,5	3,56
36,5	7,5	3,25	7,5	3,25	7,5	3,25	8,5	3,69
40,7	7,5	3,36	7,5	3,36	7,5	3,36	8,5	3,80
44,9	7,5	3,45	7,5	3,45	7,5	3,45	8,5	3,91
49,1	7,5	3,54	7,5	3,54	7,5	3,54	8,5	4,01
52,1	7,5	3,60	7,5	3,60	7,5	3,60	8,5	4,07

Tabel 3.21 Rekapitulasi Beban Angin Datang pada Kolom Arah y (lanjutan)

Elevasi, h (m)	KA'5		KA'6		KA'7	
	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)
5,5	12	3,03	12	3,03	8,5	2,15
10,5	12	3,65	12	3,65	8,5	2,58
15,5	12	4,07	12	4,07	8,5	2,89
19,7	12	4,36	12	4,36	8,5	3,09
23,9	12	4,61	12	4,61	8,5	3,27
28,1	12	4,83	12	4,83	8,5	3,42
32,3	12	5,03	12	5,03	8,5	3,56
36,5	12	5,20	12	5,20	8,5	3,69
40,7	12	5,37	12	5,37	8,5	3,80
44,9	12	5,52	12	5,52	8,5	3,91
49,1	12	5,66	12	5,66	8,5	4,01
52,1	12	5,75	12	5,75	8,5	4,07

Tabel 3.22 Rekapitulasi Beban Angin Datang pada Kolom Arah y (lanjutan)

Elevasi, h (m)	KA'8		KA'9		KD10	
	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)	Lk (m)	qWL (+) (kN/m)
5,5	7,5	1,89	7,5	1,89	7,5	1,89
10,5	7,5	2,28	7,5	2,28	7,5	2,28
15,5	7,5	2,55	7,5	2,55	7,5	2,55
19,7	7,5	2,73	7,5	2,73	7,5	2,73
23,9	7,5	2,88	7,5	2,88	7,5	2,88
28,1	7,5	3,02	7,5	3,02	7,5	3,02
32,3	7,5	3,14	7,5	3,14	7,5	3,14
36,5	7,5	3,25	7,5	3,25	7,5	3,25
40,7	7,5	3,36	7,5	3,36	7,5	3,36
44,9	7,5	3,45	7,5	3,45	7,5	3,45
49,1	7,5	3,54	7,5	3,54	7,5	3,54
52,1	7,5	3,60	7,5	3,60	7,5	3,60

2) Beban angin pergi

Contoh perhitungan, pada kolom dengan:

Ketinggian elevasi (h) = 5.5 m

Jarak antar kolom maksimum (Lk) = 7.5 m

$$P^{(-)} = 0,124 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} q_{WL}^{(-)} &= P^{(-)} \cdot L_k \\ &= 0,124 \cdot 7,5 \\ &= 0,93 \end{aligned}$$

Dilakukan perhitungan dengan cara yang sama untuk setiap elevasi ketinggian kolom.

Tabel 3.23 Rekapitulasi Beban Angin Pergi pada Kolom Arah y

Elevasi, h (m)	KI1		KI2		KI3		KI4	
	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)
5,5	7,5	0,93	7,5	0,93	7,5	0,93	8,5	1,05
10,5	7,5	1,12	7,5	1,12	7,5	1,12	8,5	1,27
15,5	7,5	1,25	7,5	1,25	7,5	1,25	8,5	1,41
19,7	7,5	1,34	7,5	1,34	7,5	1,34	8,5	1,51
23,9	7,5	1,41	7,5	1,41	7,5	1,41	8,5	1,60
28,1	7,5	1,48	7,5	1,48	7,5	1,48	8,5	1,68
32,3	7,5	1,54	7,5	1,54	7,5	1,54	8,5	1,74
36,5	7,5	1,59	7,5	1,59	7,5	1,59	8,5	1,81
40,7	7,5	1,64	7,5	1,64	7,5	1,64	8,5	1,86
44,9	7,5	1,69	7,5	1,69	7,5	1,69	8,5	1,92
49,1	7,5	1,73	7,5	1,73	7,5	1,73	8,5	1,96
52,1	7,5	1,76	7,5	1,76	7,5	1,76	8,5	2,00

Tabel 3.24 Rekapitulasi Beban Angin Pergi pada Kolom Arah y (lanjutan)

Elevasi, h (m)	KI5		KI6		KI7	
	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)
5,5	12	1,49	12	1,49	8,5	1,05
10,5	12	1,79	12	1,79	8,5	1,27
15,5	12	2,00	12	2,00	8,5	1,41
19,7	12	2,14	12	2,14	8,5	1,51
23,9	12	2,26	12	2,26	8,5	1,60
28,1	12	2,37	12	2,37	8,5	1,68
32,3	12	2,46	12	2,46	8,5	1,74
36,5	12	2,55	12	2,55	8,5	1,81
40,7	12	2,63	12	2,63	8,5	1,86
44,9	12	2,71	12	2,71	8,5	1,92

Elevasi, h (m)	KI5		KI6		KI7	
	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)
49,1	12	2,77	12	2,77	8,5	1,96
52,1	12	2,82	12	2,82	8,5	2,00

Tabel 3.25 Rekapitulasi Beban Angin Pergi pada Kolom Arah y (lanjutan)

Elevasi, h (m)	KI8		KI9		KI10	
	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)	Lk (m)	qWL (-) (kN/m)
5,5	7,5	0,93	7,5	0,93	7,5	0,93
10,5	7,5	1,12	7,5	1,12	7,5	1,12
15,5	7,5	1,25	7,5	1,25	7,5	1,25
19,7	7,5	1,34	7,5	1,34	7,5	1,34
23,9	7,5	1,41	7,5	1,41	7,5	1,41
28,1	7,5	1,48	7,5	1,48	7,5	1,48
32,3	7,5	1,54	7,5	1,54	7,5	1,54
36,5	7,5	1,59	7,5	1,59	7,5	1,59
40,7	7,5	1,64	7,5	1,64	7,5	1,64
44,9	7,5	1,69	7,5	1,69	7,5	1,69
49,1	7,5	1,73	7,5	1,73	7,5	1,73
52,1	7,5	1,76	7,5	1,76	7,5	1,76

3.5.2.6 Beban Gempa *Time History* (TH)

Dalam analisis beban gempa *time history* terdapat dua metode, yaitu metode linear dan non-linear. Berdasarkan SNI 1726-2019, pada analisis *time history* linear membutuhkan 3 data gempa berupa *ground motion* dari masing-masing sumber gempa, yang diambil dari suatu lokasi dengan keadaan geologi, topografi, serta seismotektoniknya hampir menyerupai dengan lokasi yang akan diteliti. Sedangkan untuk analisis non-linear sedikitnya membutuhkan 11 data *ground motion* dari ketiga sumber gempa.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis *time history* linear. Parameter yang diperlukan untuk memperoleh data *ground motion* berdasarkan ketiga sumber gempa yang diambil dari Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia yaitu sebagai berikut:

Kelas Situs : Tanah Lunak (SE)

V_s (m/s) : 0-175

T : 2.289 m/s

Tabel 3.26 Magnitudo dan Jarak pada Lokasi Perencanaan

Sumber	Magnitudo			Jarak		
	PGA	0,2 detik	3 detik	PGA	0,2 detik	3 detik
<i>Shallow Crustal</i>		5,2 - 6,2			40 - 50	
<i>Benioff</i>		7,2 - 7,4			120 - 150	
<i>Megathrust</i>		8,6 - 8,8			200 - 250	

Data sumber gempa yang digunakan berdasarkan magnitudo dan jarak pada lokasi yang ditinjau disajikan pada Tabel 3.27.

Tabel 3.27 Data Sumber Gempa

Sumber	RSN	Event	Lokasi	Tahun	M	R (km)	V_s (m/s)
<i>Shallow Crustal</i>	2743	Chi-Chi	Taiwan	1999	6,20	46,17	169,52
<i>Benioff</i>	40330913	Miyagi-Eq	Japan	2005	7,22	120,44	137,30
<i>Megathrust</i>	4022861	Tokachi-oki	Japan	2003	8,29	171,96	127,7

Data gempa yang telah diperoleh, selanjutnya diolah menggunakan *software* SeismoMatch untuk dilakukan pencocokan spektra (*spectral matching*) dengan grafik respon spektrum yang sebelumnya telah didapatkan pada lokasi yang ditinjau.

3.5.3 Kombinasi Pembebanan

Metode kombinasi pembebanan yang digunakan untuk analisis struktur atas adalah kombinasi metode ultimit (LRFD). Kombinasi ini mengacu pada SNI 1726-2019, Pasal 4.2.2, yang terdiri dari pembebanan dasar (poin 1-5) dan kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik (poin 6). Kombinasi metode ultimit disajikan pada Tabel 3.28.

Tabel 3.28 Kombinasi Pembebanan Metode Ultimit

Combination		DL	SIDL	LL	ELx	ELy	WLx	Wly
1	Combo 1	1,40	1,40					
2	Combo 2	1,20	1,20	1,60				

Combination		DL	SIDL	LL	ELx	ELy	WLx	Wly
3	Combo 3	1,20	1,20	1,00				
	Combo 4	1,20	1,20				0,50	
	Combo 5	1,20	1,20					0,50
	Combo 6	1,20	1,20				0,38	0,37
4	Combo 7	1,20	1,20	1,00			1,00	
	Combo 8	1,20	1,20	1,00				1,00
	Combo 9	1,20	1,20	1,00			0,75	0,75
5	Combo 10	0,90	0,90				1,00	
	Combo 11	0,90	0,90					1,00
	Combo 12	0,90	0,90				0,75	0,75
6	Combo 13	1,34	1,34	1,00	1,30	0,39		
	Combo 14	1,34	1,34	1,00	1,30	-0,39		
	Combo 15	1,34	1,34	1,00	-1,30	0,39		
	Combo 16	1,34	1,34	1,00	-1,30	-0,39		
	Combo 17	1,34	1,34	1,00	0,39	1,30		
	Combo 18	1,34	1,34	1,00	0,39	-1,30		
	Combo 19	1,34	1,34	1,00	-0,39	1,30		
	Combo 20	1,34	1,34	1,00	-0,39	-1,30		
7	Combo 21	0,76	0,76		1,30	0,39		
	Combo 22	0,76	0,76		1,30	-0,39		
	Combo 23	0,76	0,76		-1,30	0,39		
	Combo 24	0,76	0,76		-1,30	-0,39		
	Combo 25	0,76	0,76		0,39	1,30		
	Combo 26	0,76	0,76		0,39	-1,30		
	Combo 27	0,76	0,76		-0,39	1,30		
	Combo 28	0,76	0,76		-0,39	-1,30		

3.5.4 Kontrol Struktur Hasil Pemodelan

Tahapan ini mengacu pada SNI 1726-2019. Pada tahapan ini terdiri dari beberapa pengecekan, yaitu kontrol periode fundamental struktur (T), kontrol ketidakberaturan struktur, kontrol perilaku struktur, perhitungan *base shear*, kontrol simpangan antar lantai, dan kontrol pengaruh P-Delta.

3.5.5 Hasil dan Pembahasan

Pada tahapan ini akan menjelaskan tentang hasil dan pembahasan yang telah dilakukan selama penelitian.