

TUGAS AKHIR

**PERANCANGAN STRUKTUR GEDUNG
PERKANTORAN YANG DAPAT DIFUNGSIKAN
SEBAGAI ALTERNATIF TEMPAT EVAKUASI
VERTIKAL TSUNAMI DI KAWASAN *YOGYAKARTA
INTERNATIONAL AIRPORT (YIA)*, KULON PROGO,
DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
*(DESIGN OF OFFICE BUILDING STRUCTURES THAT
CAN BE USED AS AN ALTERNATIVE VERTICAL
TSUNAMI EVACUATION PLACE IN YOGYAKARTA
INTERNATIONAL AIRPORT (YIA) AREA, KULON
PROGO, YOGYAKARTA SPECIAL REGION)***

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



MUHAMMAD ABDUL RIZAL

18511259

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

2022

TUGAS AKHIR

**PERANCANGAN STRUKTUR GEDUNG
PERKANTORAN YANG DAPAT DIFUNGSIKAN
SEBAGAI ALTERNATIF TEMPAT EVAKUASI
VERTIKAL TSUNAMI DI KAWASAN *YOGYAKARTA
INTERNATIONAL AIRPORT (YIA)*, KULON PROGO,
DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
*(DESIGN OF OFFICE BUILDING STRUCTURES THAT
CAN BE USED AS AN ALTERNATIVE VERTICAL
TSUNAMI EVACUATION PLACE IN YOGYAKARTA
INTERNATIONAL AIRPORT (YIA) AREA, KULON
PROGO, YOGYAKARTA SPECIAL REGION)***

Disusun Oleh

MUHAMMAD ABDUL RIZAL

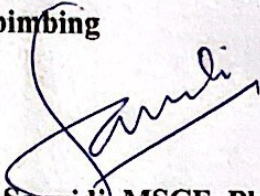
18511259

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 4 November 2022

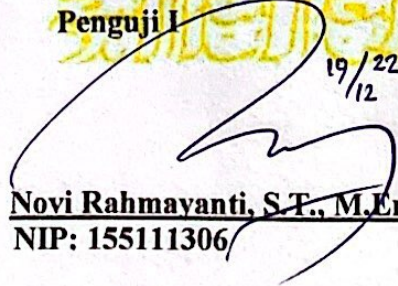
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing



Prof. Ir. H. Sarwidi, MSCE, Ph.D., IP-U.
NIP: 845110101

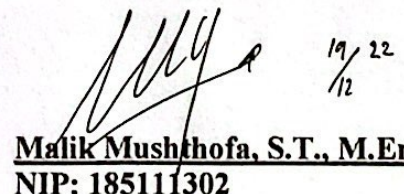
Penguji I



19/12

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.
NIP: 155111306

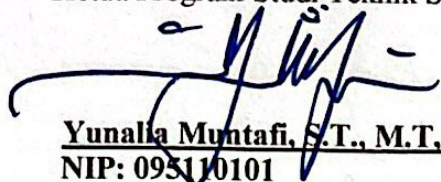
Penguji II



19/12

Malik Mushthofa, S.T., M.Eng.
NIP: 185111302

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Yunalla Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.
NIP: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 12 Desember 2022

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Abdul Rizal

(18511259)

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puja serta puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “*Perancangan Struktur Gedung Perkantoran Yang Dapat Difungsikan Sebagai Alternatif Tempat Evakuasi Vertikal Tsunami di Kawasan Yogyakarta International Airport (YIA), Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta*”, sebagai syarat untuk menyelesaikan program Sarjana (S1) di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan tugas akhir ini banyak hambatan yang dihadapi oleh penulis, namun berkat saran, kritik, dan dorongan semangat dari banyak pihak, tugas akhir ini dapat diselesaikan. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih yang sedalam – dalamnya kepada:

1. Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U, selaku dosen pembimbing I tugas akhir atas segala bimbingan, arahan serta masukan yang diberikan kepada penulis sehingga tugas akhir dapat diselesaikan dengan baik,
2. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng, selaku dosen pembimbing II tugas akhir atas segala bimbingan, arahan serta masukan yang diberikan kepada penulis sehingga tugas akhir dapat diselesaikan dengan baik,
3. Kedua orang tua penulis, Bapak Supardi, S.T. dan Ibu Suntami, yang selalu memberikan kasih sayang, doa, nasehat, serta dukungan yang penuh di sepanjang hidup penulis,
4. Kakak penulis, Alif Angga Risky S.Ars, yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis,
5. Seluruh teman – teman penulis di Teknik Sipil Angkatan 2018, terima kasih atas pertemanan dalam menempuh gelar Sarjana (S1), dan

6. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang dengan tulus memberikan doa dan semangat kepada penulis agar cepat menyelesaikan tugas akhir.

Masih banyak kekurangan serta kesalahan penulisan yang ada pada tugas akhir ini, karena itu segala saran serta kritik yang membangun akan menyempurnakan penulisan tugas akhir ini sehingga dapat memberikan manfaat bagi penulis dan para pembaca.

Yogyakarta, 12 Desember 2022

Penulis,

Muhammad Abdul Rizal
(18511259)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iError! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
ABSTRAK	xviii
<i>ABSTRACT</i>	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Ringkasan Perancangan	6
2.2 Perancangan Sejenis Terdahulu	6
2.3 Keaslian Perancangan	15
BAB III LANDASAN TEORI	16
3.1 Gelombang Tsunami	16
3.2 Konsep Perencanaan Struktur	17
3.3 Elemen Struktur	19
3.4 Sistem Struktur	20
3.4.1 Struktur Bawah	21
3.4.2 Struktur Atas	21
3.5 Analisis Pembebanan Struktur	23
3.6 Kombinasi Pembebanan Struktur	51
3.7 Kinerja Struktur	53

3.8	Perencanaan Elemen Struktur	56
3.8.1	Perencanaan Elemen Struktur Balok	57
3.8.2	Perencanaan Elemen Struktur Kolom	59
3.8.2.1	Persyaratan Elemen Struktur Kolom	61
3.8.2.2	Diagram Interaksi Kolom	63
3.8.2.3	<i>Strong Column Weak Beam (SCWB)</i>	65
3.8.3	Perencanaan Elemen Struktur Pelat	65
3.8.4	Perencanaan Elemen Struktur Tangga	68
3.8.5	Perencanaan Elemen Struktur Dinding Geser	70
3.8.5.1	Persyaratan Tulangan Dinding Geser	70
3.8.5.2	Kuat Geser Dinding Geser	70
3.8.5.3	Perencanaan untuk Torsi Dinding Geser	71
3.8.6	Perencanaan Elemen Struktur Pondasi	72
3.8.6.1	Daya Dukung Ijin Tiang Pondasi	73
3.8.6.2	Daya Dukung Ijin Tekan Tiang Pondasi	73
3.8.6.3	Daya Dukung Ijin Tarik Tiang Pondasi	74
3.8.6.4	Jumlah Tiang yang Dibutuhkan	74
3.8.6.5	Efisiensi Kelompok Tiang	74
3.8.6.6	Beban Maksimum Tiang pada Kelompok Tiang	75
3.8.6.7	Penulangan Pondasi Tiang Bor (<i>Bored Pile</i>)	75
3.8.7	Perencanaan Elemen Struktur <i>Pile Cap</i>	76
3.8.7.1	Penulangan <i>Pile Cap</i>	77
3.8.7.2	Tinjauan Terhadap Geser	77
BAB IV METODE PERANCANGAN		79
4.1	Lokasi Objek Perancangan	79
4.2	Prosedur Perencanaan Struktur	82
4.3	Data Perencanaan Struktur	84
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		88
5.1	Penentuan Jenis Struktur	88
5.2	<i>Preliminary Design</i> Struktur	88
5.2.1	<i>Preliminary Design</i> Balok	88
5.2.2	<i>Preliminary Design</i> Kolom	90

5.2.3	<i>Preliminary Design Pelat</i>	92
5.2.4	Preliminary Design Dinding geser	95
5.3	Pemodelan Struktur	96
5.3.1	<i>Template dan Grid</i>	96
5.3.2	<i>Define Material Properties</i>	98
5.3.3	<i>Section Properties</i>	98
5.3.4	Hasil Pemodelan Struktur	100
5.4	Analisis Pembebanan	101
5.4.1	Beban Mati (<i>Dead Load</i>)	101
5.4.1.1	Beban Mati pada Balok	101
5.4.1.2	Beban Mati pada Pelat	102
5.4.2	Beban Hidup (<i>Live Load</i>)	103
5.4.3	Beban Hidup Pengungsi Tsunami	104
5.4.4	Beban Gempa Respons Spektrum	104
5.4.5	Beban Tsunami (<i>Tsunami Load</i>)	108
5.5	Pengecekan Partisipasi Massa Struktur	116
5.6	Pengecekan Kontribusi Frame Memikul 25% Gaya Lateral	117
5.7	Pengecekan Faktor Skala Gempa	117
5.8	Pengecekan Simpangan antar Tingkat	118
5.9	Pengecekan P-Delta	120
5.10	Pengecekan Torsi Tak Terduga	123
5.11	Ketidakteraturan Horizontal	124
5.12	Ketidakteraturan Vertikal	129
5.13	Perhitungan Kombinasi Pembebanan	131
5.14	Gambar Diagram Gaya Dalam Struktur	136
5.15	Desain Elemen Struktur Bangunan	139
5.15.1	Desain Balok SRPMK	139
5.15.1.1	Tulangan Lentur Balok	139
5.15.1.2	Tulangan Geser Balok	161
5.15.2	Desain Kolom SRPMK	168
5.15.3	Desain Tulangan Pelat	200
5.15.4	Desain Tulangan Tangga dan Bordes	211
5.15.5	Desain Tulangan Dinding Geser	217
5.15.6	Perhitungan <i>Beam Column Joint</i> (BCJ)	221

5.15.7 Perhitungan Desain Pondasi	228
5.15.7.1 Perhitungan Desain Pondasi Tiang	228
5.15.7.2 Daya dukung Ijin Tekan Berdasarkan N-SPT	228
5.15.7.3 Daya dukung Ijin Tekan Berdasarkan Material	232
5.15.7.4 Daya dukung Ijin Tekan Pakai	232
5.15.7.5 Daya dukung Ijin Tarik Berdasarkan N-SPT	232
5.15.7.6 Daya dukung Ijin Tarik Pakai	235
5.15.7.7 Perhitungan Jumlah Tiang yang Dibutuhkan	235
5.15.7.8 Konfigurasi <i>Pile Cap</i>	235
5.15.7.9 Efisiensi Kelompok Tiang	236
5.15.7.10 Daya Dukung Kelompok Tiang	237
5.15.7.11 Beban Maksimum Tiang	238
5.15.7.12 Perhitungan Penulangan <i>Pile</i>	240
5.15.7.13 Perhitungan <i>Pile Cap</i>	241
5.15.7.14 Perhitungan <i>Pile Cap</i> Arah X	246
5.15.7.15 Perhitungan <i>Pile Cap</i> Arah Y	249
5.15.7.16 Perhitungan Tulangan Susut	252
5.15.7.17 Rekapitulasi Perhitungan Desain Pondasi	253
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	255
6.1 Kesimpulan	255
6.2 Saran	258
DAFTAR PUSTAKA	259

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Perancangan dengan Topik Yang Sama	10
Tabel 3.1 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, L_o dan Beban Hidup Terpusat Minimum	25
Tabel 3.2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa	29
Tabel 3.3 Faktor Keutamaan Gempa	32
Tabel 3.4 Koefisien Situs, F_a	33
Tabel 3.5 Koefisien Situs, F_v	34
Tabel 3.6 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	40
Tabel 3.7 Massa dan Kekakuan Hanyutan Debris	48
Tabel 4.1 Data Perencanaan Awal Struktur	84
Tabel 5.1 <i>Preliminary Design</i> Balok	90
Tabel 5.2 <i>Preliminary Design</i> Kolom	92
Tabel 5.3 <i>Preliminary Design</i> Pelat Lantai	95
Tabel 5.4 <i>Preliminary Design</i> Pelat Atap	95
Tabel 5.5 <i>Preliminary Design</i> Dinding Geser	96
Tabel 5.6 Momen Inersia Penampang	100
Tabel 5.7 Beban Mati pada Balok	102
Tabel 5.8 Beban Mati pada Pelat Lantai	102
Tabel 5.9 Beban Mati pada Pelat Atap	103
Tabel 5.10 Beban Hidup	103
Tabel 5.11 Parameter Respons Spektrum	104
Tabel 5.12 Periode Respons Spektrum	106
Tabel 5.13 Pengecekan Partisipasi Massa Struktur	116
Tabel 5.14 Kontribusi <i>Frame</i>	117
Tabel 5.15 Pengecekan Faktor Skala Gempa	118
Tabel 5.16 Simpangan Antar Tingkat Arah X	119
Tabel 5.17 Simpangan Antar Tingkat Arah Y	119

Tabel 5.18 Pengecekan P–Delta Arah X	121
Tabel 5.19 Pengecekan P–Delta Arah Y	122
Tabel 5.20 Pengecekan Torsi Tak Terduga	123
Tabel 5.21 Ketidakberaturan Horizontal Arah X	127
Tabel 5.22 Ketidakberaturan Horizontal Arah Y	128
Tabel 5.23 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a	131
Tabel 5.24 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1b	131
Tabel 5.25 Kombinasi Pembebanan	132
Tabel 5.26 Hasil Kombinasi Beban Pada Momen Ultimit Balok	133
Tabel 5.27 Hasil Kombinasi Beban Pada Gaya Geser Balok	133
Tabel 5.28 Hasil Kombinasi Beban Pada Momen Ultimit dan Gaya Geser	134
Kolom K1	
Tabel 5.29 Hasil Kombinasi Beban Pada Momen Ultimit dan Gaya Geser	135
Kolom K2	
Tabel 5.30 Rekapitulasi Hasil Desain Tulangan Lentur Balok	160
Tabel 5.31 Rekapitulasi Hasil Desain Tulangan Geser pada Balok Induk	167
Tabel 5.32 Rekapitulasi Hasil Desain Tulangan Geser pada Balok Anak	168
Tabel 5.33 Momen Ultimit dan Gaya Ultimit Kolom Hasil Analisa Struktur	169
Tabel 5.34 Rekapitulasi Nilai $M_u - P_u$ Kolom K1 arah X Rasio Tulangan	183
0,4%	
Tabel 5.35 Rekapitulasi Desain Lentur Kolom	186
Tabel 5.36 Nilai $M_u - P_u$ Kolom Pakai	186
Tabel 5.37 Nilai M_u^- dan M_u^+ Pada Balok	187
Tabel 5.38 Rekapitulasi Pengecekan SCWB Kolom K1 Arah X	190
Tabel 5.39 Rekapitulasi Pengecekan SCWB Kolom K1 Arah Y	190
Tabel 5.40 Rekapitulasi Pengecekan SCWB Kolom K2 Arah X	191
Tabel 5.41 Rekapitulasi Pengecekan SCWB Kolom K2 Arah Y	191
Tabel 5.42 Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Geser Kolom	200
Tabel 5.43 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Penulangan Pelat Lantai PL1	209
Tabel 5.44 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Penulangan Pelat Lantai PL2	210
Tabel 5.45 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Penulangan Pelat Lantai PL3	210

Tabel 5.46 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Penulangan Pelat Atap PA	211
Tabel 5.47 Momen Pelat Tangga dan Pelat Bordes	214
Tabel 5.48 Hasil Rekapitulasi Penulangan Pelat Tangga dan Pelat Bordes	217
Tabel 5.49 Hasil Rekapitulasi Penulangan Dinding Geser	221
Tabel 5.50 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Desain <i>Beam Column Joint</i>	227
Tabel 5.51 Data <i>N-SPT</i> Kawasan <i>Yogyakarta International Airport (YIA)</i>	228
Tabel 5.52 Daya Dukung Ijin Tekan Berdasarkan <i>N-SPT</i>	231
Tabel 5.53 Daya Dukung Ijin Tarik Berdasarkan <i>N-SPT</i>	234
Tabel 5.54 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Desain Pondasi dan <i>Pile Cap</i>	254



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Parameter gerak tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5%)	31
Gambar 3.2 Parameter gerak tanah S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5%)	32
Gambar 3.3 C_{RS} , Koefisien risiko terpetakan, periode spektrum respons 0,2-detik	35
Gambar 3.4 C_{R1} , Koefisien risiko terpetakan, periode respons spektral 1 detik	36
Gambar 3.5 Peta transisi periode panjang, T_L , wilayah Indonesia	37
Gambar 3.6 Grafik Spektrum Respons Desain	39
Gambar 3.7 Gaya Hidrostatik Tsunami	43
Gambar 3.8 Gaya Apung Pada Struktur	44
Gambar 3.9 Gaya Hidrodinamik Tsunami Pada Struktur	45
Gambar 3.10 Gaya Tumbukan Debris Tsunami	47
Gambar 3.11 Gaya <i>Uplift</i> Pada Struktur	50
Gambar 3.12 Beban Gravitasi Tambahan Pada Struktur	51
Gambar 3.13 Penentuan Simpangan Antar Tingkat	54
Gambar 3.14 Faktor Pembesaran Torsi	56
Gambar 3.15 Syarat Penulangan Transversal Kolom	63
Gambar 3.16 Diagram Interaksi Kolom	63
Gambar 3.17 <i>Strong Column Weak Beam</i> (SCWB)	65
Gambar 3.18 Ilustrasi Arah Sumbu Global dan Lokal Pada Pelat	66
Gambar 3.19 Ilustrasi Tinggi Efektif Pelat	67

Gambar 3.20 Jenis – Jenis Pondasi	73
Gambar 4.1 Rencana Lokasi Perancangan Gedung	80
Gambar 4.2 Peta Ancaman Tsunami Wilayah Kulon Progo	81
Gambar 4.3 Bagan Alir (<i>Flowchart</i>) Perencanaan Tugas Akhir	82
Gambar 4.4 Denah Bangunan Gedung Tingkat 1 – 8	85
Gambar 4.5 Denah Bangunan Gedung Tingkat 9 (Atap)	86
Gambar 4.6 Portal Tipikal Struktur Gedung (Potongan A-A)	86
Gambar 4.7 Portal Tipikal Struktur Gedung (Potongan B-B)	87
Gambar 4.8 Portal Tipikal Struktur Gedung (Potongan C-C)	87
Gambar 5.1 Pelat Lantai Tipe 1 dan Balok - Balok yang Mengelilinginya	93
Gambar 5.2 <i>New Model</i>	97
Gambar 5.3 <i>Quick Grid Lines</i>	97
Gambar 5.4 <i>Grid Lines</i>	98
Gambar 5.5 <i>Material Properties Data</i>	98
Gambar 5.6 <i>Frame Section</i>	99
Gambar 5.7 <i>Area Section</i>	99
Gambar 5.8 Pemodelan Struktur Tangga	100
Gambar 5.9 Pemodelan Struktur Portal Bangunan	101
Gambar 5.10 Grafik Respons Spektrum Desain	108
Gambar 5.11 Input Beban Gaya Hidrostatik	110
Gambar 5.12 Input Beban Gaya Apung	111
Gambar 5.13 Input Beban Gaya Hidrodinamik	112
Gambar 5.14 Input Beban Gaya akibat Benturan Puing	113
Gambar 5.15 Input Beban Gaya akibat Benturan Puing	114
Gambar 5.16 Input Tambahan Beban Gravitasi	115
Gambar 5.17 Input Gaya Angkat Hidrodinamis	116
Gambar 5.18 Grafik Simpangan Antar Tingkat Arah X dan Arah Y	120
Gambar 5.19 Grafik Simpangan Antar Tingkat Arah X dan Arah Y	122
Gambar 5.20 Penetapan Titik – Titik Pada Denah Struktur	124

Gambar 5.21 Diagram Momen Portal Arah X	136
Gambar 5.22 Diagram Momen Portal Arah Y	137
Gambar 5.23 Diagram Gaya Geser Portal Arah X	137
Gambar 5.24 Diagram Gaya Geser Portal Arah Y	138
Gambar 5.25 Diagram Gaya Normal Portal Arah X	138
Gambar 5.26 Diagram Gaya Normal Portal Arah Y	139
Gambar 5.27 Grafik V_g B1L Tingkat 1 – 3	162
Gambar 5.28 Grafik V_e B1L Tingkat 1 – 3	163
Gambar 5.29 Grafik V_u B1L Tingkat 1 – 3	164
Gambar 5.30 Grafik Nilai V_u Pada Daerah Luar Sendi Plastis	166
Gambar 5.31 Diagram Interaksi $M_u - P_u$ Kolom K1 Tingkat 1-3 Arah X	184
Gambar 5.32 Konfigurasi Tiang Pondasi pada <i>Pile Cap</i>	239
Gambar 5.33 Konfigurasi Tiang Pada <i>pile cap</i>	242

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Perencanaan Struktur	261
Lampiran 2 <i>Preliminary Design</i> Balok	263
Lampiran 3 <i>Preliminary Design</i> Kolom	268
Lampiran 4 <i>Preliminary Design</i> Pelat	270
Lampiran 5 <i>Preliminary Design</i> Dinding Geser	273
Lampiran 6 Perhitungan Beban Pelat dan Beban Dinding	275
Lampiran 7 Perhitungan Beban Gempa	281
Lampiran 8 Perhitungan Beban Tsunami	283
Lampiran 9 Output Kontrol Struktur Berdasarkan SAP2000	285
Lampiran 10 Output Kontrol Struktur Berdasarkan SAP2000	287
Lampiran 11 Redistribusi Momen Balok	289
Lampiran 12 Desain Tulangan Lentur Balok B1L dan B1A (Daerah Tumpuan)	292
Lampiran 13 Desain Tulangan Lentur Balok B1L dan B1A (Daerah Lapangan)	303
Lampiran 14 Desain Tulangan Lentur Balok B2L dan B2A (Daerah Tumpuan)	320
Lampiran 15 Desain Tulangan Lentur Balok B2L dan B2A (Daerah Lapangan)	337
Lampiran 16 Desain Tulangan Lentur Balok BA1L dan BA1A	354
Lampiran 17 Desain Tulangan Geser Balok B1L dan B1A	359
Lampiran 18 Desain Tulangan Geser Balok B2L dan B2A	364
Lampiran 19 Desain Tulangan Geser Balok BA1L dan BA1A	369
Lampiran 20 Rekapitulasi Momen Kolom Berdasarkan SAP2000	382

Lampiran 21 Desain Tulangan Lentur Kolom K1 dan K2 Arah X dan Arah Y	384
Lampiran 22 Rekapitulasi Desain Tulangan Lentur Kolom	417
Lampiran 23 Perhitungan <i>Strong Column Weak Beam</i> (SCWB)	419
Lampiran 24 Perhitungan Geser Kolom K1	421
Lampiran 25 Perhitungan Geser Kolom K2	433
Lampiran 26 Perhitungan <i>Beam Column Joint</i> (BCJ)	442
Lampiran 27 Perhitungan Tulangan Pelat	451
Lampiran 28 Perhitungan Desain dan Tulangan Tangga	456
Lampiran 29 Perhitungan Tulangan Dinding Geser	459
Lampiran 30 Data Tanah <i>Standard Penetration Test</i> (SPT)	461
Lampiran 31 Perhitungan Desain Pondasi	463
Lampiran 32 Gambar Denah Bangunan Gedung	468
Lampiran 33 Gambar Kodefikasi Elemen Struktur Bangunan	473
Lampiran 34 Gambar Detail Penulangan Balok	480
Lampiran 35 Gambar Detail Penulangan Kolom	493
Lampiran 36 Gambar Detail Penulangan Pelat	502
Lampiran 37 Gambar Detail Penulangan Tangga	507
Lampiran 38 Gambar Detail Penulangan Dinding Geser	509
Lampiran 39 Gambar Detail Penulangan <i>Beam Column Joint</i> (BCJ)	511
Lampiran 40 Gambar Detail dan Penulangan Pondasi	520

ABSTRAK

Kawasan *Yogyakarta International Airport* (YIA) terletak di wilayah Kabupaten Kulon Progo yang merupakan salah satu kabupaten yang memiliki risiko tinggi terhadap bencana alam yaitu bencana tsunami karena terletak di bibir pantai. Tingkat kerawanan bencana tsunami dipengaruhi beberapa parameter di antaranya yaitu morfologi pantai, jarak dari sungai, jarak dari sumber gempa, jarak dari garis pantai, topografi daratan, kemiringan lereng maupun pulau penghalang. Sebagai wilayah yang memiliki tingkat kerawanan yang cukup tinggi terhadap bencana tsunami, maka perlu melakukan persiapan – persiapan yang matang seperti melakukan upaya mitigasi terhadap bencana tsunami pada wilayah Kawasan *Yogyakarta International Airport* (YIA).

Tujuan dari tugas akhir ini adalah mendesain struktur gedung perkantoran yang dapat difungsikan sebagai gedung evakuasi vertikal tsunami yang berada di Kawasan *Yogyakarta International Airport* (YIA) dengan menggunakan sistem ganda yaitu gabungan sistem antara portal dan dinding geser. Perencanaan struktur gedung dilakukan dengan menggunakan pedoman SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, dan FEMA P646-2019.

Dari perencanaan struktur yang telah dilakukan, hasil perencanaan menunjukkan mampu memikul beban yang bekerja sesuai dengan perencanaan. Elemen struktur yang direncanakan terisi dari struktur atas serta struktur bawah yaitu kolom, balok, pelat, tangga, dinding geser, join, pile cap, dan pondasi. Perencanaan elemen struktur telah memenuhi persyaratan dan kaidah yang telah ditetapkan dalam peraturan yang berlaku.

Kata Kunci: Tsunami, Mitigasi, Gedung evakuasi, Sistem ganda, Perencanaan, Struktur.

ABSTRACT

The Yogyakarta International Airport (YIA) area is located in the Kulon Progo Regency, which is one of the regencies that has a high risk of natural disasters, namely the tsunami disaster because it is located on the coast. The level of vulnerability to tsunamis is influenced by several parameters including coastal morphology, distance from rivers, distance from earthquake sources, distance from coastlines, land topography, slopes and barrier islands. As an area that has a fairly high level of vulnerability to tsunami disasters, it is necessary to make careful preparations such as making efforts to mitigate the tsunami disaster in the Yogyakarta International Airport (YIA) area.

The purpose of this final project is to design an office building structure that can function as a vertical tsunami evacuation building located in the Yogyakarta International Airport (YIA) area by using a dual system, namely a combination of portal and shear wall systems. The planning of the building structure is carried out using the guidelines of SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, and FEMA P646-2019.

From the structural planning that has been done, the results of the planning show that it is able to carry the load that works in accordance with the plan. The planned structural elements consist of the upper and lower structures, namely columns, beams, pelates, stairs, shear walls, joints, pile caps, and foundations. The planning of structural elements has met the requirements and rules set out in the applicable regulations.

Keywords: *Tsunami, Mitigation, Evacuation building, Dual system, Planning, Structure.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kawasan *Yogyakarta International Airport* (YIA) terletak di wilayah Kabupaten Kulon Progo yang merupakan salah satu kabupaten yang memiliki risiko tinggi terhadap bencana alam yaitu bencana tsunami karena terletak di bibir pantai. Tingkat kerawanan bencana tsunami dipengaruhi beberapa parameter di antaranya yaitu morfologi pantai, jarak dari sungai, jarak dari sumber gempa, jarak dari garis pantai, topografi daratan, kemiringan lereng maupun pulau penghalang. Bencana tsunami merupakan suatu bencana yang terjadi karena adanya gelombang air yang besar dikarenakan adanya gerakan yang berasal dari dasar laut secara tiba – tiba, hal tersebut bisa dikarenakan adanya gempa bumi dan yang lainnya. Akibat adanya gerakan tersebut akan menghasilkan gelombang besar yang dapat menyebar ke berbagai arah dengan kecepatan gelombang yang umumnya sangat cepat atau tinggi. Bencana tsunami adalah suatu peristiwa bencana alam yang dapat menyebabkan berbagai dampak kerugian yang akan dialami oleh manusia di antaranya yaitu banyak yang terjadi korban jiwa akibat bencana tsunami dan terjadi kerusakan sarana dan prasarana sehingga dapat mengganggu aktivitas manusia.

Sebagai wilayah yang memiliki tingkat kerawanan yang cukup tinggi terhadap bencana tsunami, maka perlu melakukan persiapan – persiapan yang matang seperti melakukan upaya mitigasi terhadap bencana tsunami pada wilayah kawasan YIA. Upaya mitigasi merupakan suatu tindakan – tindakan untuk mengurangi atau meminimalkan potensi risiko buruk yang ditimbulkan oleh bencana tsunami khususnya terhadap masyarakat yaitu timbulnya korban jiwa akibat bencana tsunami. Cara untuk meminimalkan risiko korban jiwa saat terjadinya bencana tsunami pada kawasan YIA, maka dibutuhkan suatu strategi penyelamatan yang komprehensif salah satu di antaranya yaitu membuat atau

menyediakan Tempat Evakuasi Vertikal (TES) yang berguna untuk tempat perlindungan ketika suatu waktu bencana tsunami terjadi.

Penyediaan TES merupakan cara atau upaya yang telah sesuai dengan salah satu program pemerintah yaitu kegiatan utama untuk mengurangi risiko bencana tsunami dengan melakukan pembuatan dan peningkatan TES untuk bencana tsunami. Upaya tersebut cukup strategis untuk mitigasi dari bencana tsunami, hal itu dikarenakan penyelamatan mandiri secara vertikal ke suatu tempat evakuasi sementara sangat dibutuhkan ketika waktu yang tersisa untuk penyelamatan diri (*golden time*) sangat singkat.

Kawasan YIA diproyeksikan menjadi kota bandara (*airport city*) sehingga akan menjadi kawasan yang padat dengan fasilitas umum dan aktivitas manusia, mengingat kawasan tersebut merupakan daerah rawan bencana tsunami sehingga fasilitas umum tersebut dapat dijadikan sebagai alternatif tempat evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami. Bentuk dari TES berupa merencanakan atau membangun fasilitas umum seperti gedung perkantoran yang dapat difungsikan sebagai tempat evakuasi vertikal tsunami pada kawasan YIA.

Pada tugas akhir ini, akan dibahas mengenai perencanaan struktur Gedung vvakiasi vertikal yang berfungsi utama sebagai gedung perkantoran yang digunakan sehari – hari dan dapat dialih-fungsikan sebagai tempat evakuasi vertikal ketika suatu waktu bencana tsunami datang pada kawasan YIA. Untuk persyaratan struktur, struktur gedung tersebut direncanakan dengan sistem ganda yaitu gabungan sistem antara portal dan dinding geser, perencanaan dilakukan berdasarkan pada peraturan SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan FEMA P646-2019.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan di atas terdapat dua rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Berapa dimensi elemen struktur yang mampu memikul beban desain dari hasil hitungan dalam perencanaan gedung perkantoran yang dapat difungsikan sebagai tempat evakuasi vertikal tsunami pada Kawasan Yogyakarta International Airport (YIA)?
2. Bagaimana detail gambar elemen struktur pada gedung perkantoran yang dapat difungsikan sebagai tempat evakuasi vertikal tsunami pada Kawasan Yogyakarta International Airport (YIA)?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengacu pada rumusan masalah di atas adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. merencanakan atau mendesain elemen struktur pada gedung perkantoran yang dapat difungsikan sebagai tempat evakuasi vertikal tsunami dengan menggunakan sistem ganda yaitu gabungan sistem antara portal dan dinding geser yang mengacu pada aturan SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan FEMA P646-2019 dan
2. mendesain atau menggambar detail elemen struktur pada gedung perkantoran yang dapat difungsikan sebagai tempat evakuasi vertikal tsunami pada Kawasan *Yogyakarta International Airport* (YIA).

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan dalam pembuatan tugas akhir agar tidak meluasnya topik permasalahan dan pembahasan, sehingga topik permasalahan dan pembahasan akan dibatasi sebagai berikut.

1. *Layout* bangunan gedung perkantoran yang dapat difungsikan sebagai tempat evakuasi vertikal tsunami direncanakan oleh peneliti.
2. Struktur gedung perkantoran yang dapat difungsikan sebagai tempat evakuasi vertikal tsunami berupa struktur beton bertulang dengan jumlah 9 tingkat

dengan tinggi antar tingkat yaitu 4 meter sehingga tinggi total bangunan yaitu 36 meter berlokasi pada Kawasan *Yogyakarta International Airport* (YIA) direncanakan jarak gedung dari pantai ...1260 meter.

3. Kondisi atau jenis tanah berupa tanah keras, karena sesuai dengan hasil N-SPT di lokasi Kawasan *Yogyakarta International Airport* (YIA).
4. Perencanaan struktur gedung menggunakan sistem ganda yaitu gabungan sistem antara portal dan dinding geser, yang kuat atau tahan terhadap beban gempa maupun beban tsunami.
5. Metode analisis struktur yang digunakan berjenis analisis linier, dengan menggunakan beban gempa berjenis beban dinamik yaitu metode respon spektrum.
6. Beban yang diperhitungkan dalam analisis perencanaan gedung evakuasi vertikal di antaranya yaitu:
 - a. Beban Mati atau berat sendiri bangunan (*Dead Load*) berdasarkan pada peraturan SNI 1727:2020,
 - b. Beban Hidup (*Live Load*) berdasarkan pada peraturan SNI 1727:2020,
 - c. Beban Gempa (*Earthquake Load*) berdasarkan pada peraturan SNI 1726:2019, dan
 - d. Beban Tsunami (*Tsunami Load*) berdasarkan pada peraturan FEMA P646-508 Tahun 2019.
7. Tidak diperhitungkan Beban angin, karena rata – rata kecepatan angin di Kawasan YIA lebih kecil dari syarat minimum untuk perhitungan beban angin.
8. Pemodelan struktur bangunan menggunakan pendekatan:
 - a. 3D struktur dengan menggunakan *software* SAP2000 V.22.
 - b. tumpuan diasumsikan sebagai jepit,
 - c. Balok dan kolom diasumsikan sebagai *frame*,
 - d. sistem struktur adalah *dual frame*, dan
 - e. pelat lantai dan dinding struktur dimodelkan sebagai *shell*.
9. Tangga dimodelkan secara terpisah dengan portal 3D.
10. Perencanaan Gedung evakuasi vertikal terdiri dari perencanaan struktur dan penggambaran detail elemen struktur.

11. Pedoman peraturan yang digunakan dalam merencanakan desain struktur gedung evakuasi vertikal di antaranya adalah:
 - a. SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
 - b. SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
 - c. SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain.
 - d. *Federal Emergency Management Agency (FEMA P646-508 Tahun 2019)*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi manfaat untuk orang banyak. Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memperoleh hasil rencana (desain) dari struktur gedung perkantoran yang dapat difungsikan sebagai tempat evakuasi vertikal tsunami yang dapat digunakan sebagai bahan referensi ketika membangun struktur gedung yang dapat dijadikan tempat evakuasi vertikal bencana tsunami pada kawasan Kawasan *Yogyakarta International Airport (YIA)*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada BAB I sebelumnya telah dibahas mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta batasan masalah. Selanjutnya pada BAB II ini akan membahas mengenai kajian perancangan yang berkaitan dengan perencanaan struktur gedung perkantoran yang dapat difungsikan sebagai tempat evakuasi vertikal tsunami.

2.1 Ringkasan Perancangan

Ringkasan perancangan dari berbagai sumber yang terkait dibuat untuk memberikan gambaran maupun masukan terhadap perancangan yang akan dilakukan, serta membandingkan hasil perancangan yang dilakukan dengan perancangan yang telah dilakukan sebelumnya sehingga diperoleh kesimpulan yang berkesinambungan. Berikut merupakan rangkuman perancangan – perancangan terdahulu dan perancangan yang akan dilakukan.

2.2 Perancangan Sejenis Terdahulu

Dalam pelaksanaan tinjauan pustaka perlu dilakukan agar untuk mengetahui perkembangan perancangan yang telah dilakukan sebelumnya mengenai perencanaan struktur gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami untuk menghindari adanya plagiasi. Adapun perancangan yang telah dilakukan sebelumnya.

Perancangan Ratu (2015), membahas tentang desain struktur gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami. Tujuan perancangan ini untuk mendesain gedung yang dapat dijadikan untuk mitigasi tsunami bangunan tersebut yaitu bangunan masjid setinggi 12 meter dengan jumlah lantai sebanyak 3 lantai, untuk lantai 1 dengan elevasi ± 0.00 setinggi 6 meter dan ruang serba guna setinggi 3 m, lantai 2 dengan elevasi + 6.00 setinggi 3 meter, lantai 3 dengan elevasi + 9.00 setinggi 3 meter dan pelat lantai berada pada elevasi + 12.00. Metode yang dipakai

adalah analisis perancangan struktur gedung dengan mengacu pada SNI 1726-2012 dan pembebanan gaya gempa *framing type* yang digunakan adalah *sway special* sedangkan untuk pembebanan gaya tsunami *framing type* yang digunakan adalah *sway ordinary*. Lalu diperoleh hasil perancangan ini adalah pembebanan akibat gaya gempa dan gaya tsunami mempengaruhi banyaknya tulangan yang dipasang pada balok dan kolom, terutama pada jarak tulangan sengkang yang lebih pendek dibanding dengan pembebanan akibat gaya tsunami salah satu contohnya yaitu pada balok dengan tipe B3-40x40 akibat gaya gempa dipasang tulangan tumpuan: atas = 8D19, bawah = 5D19, sengkang = 4D10-75, serta dipasang tulangan lapangan: atas = 5D19, bawah = 6D19, sengkang = 2D10-100, sedangkan akibat gaya tsunami dipasang tulangan tumpuan: atas = 2D19, bawah = 2D19, sengkang = 2D10-100, serta dipasang tulangan lapangan: atas = 2D19, bawah = 2D19, sengkang = 2D10-150. Pada kolom dengan tipe K1-100 akibat gaya gempa dipasang tulangan kolom = 16D25, tulangan sengkang tumpuan = 3D12-100, tulangan sengkang lapangan = 2D12-150, sedangkan akibat gaya tsunami dipasang tulangan kolom = 16D25, tulangan sengkang tumpuan = 2D12-100, tulangan sengkang lapangan = 2D12-150. Diperoleh juga untuk Rencana Anggaran Biaya (RAB) per m² untuk gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami yaitu sebesar Rp. 1.425.746,35.

Perancangan Adityawarman (2014), membahas tentang perencanaan bangunan evakuasi di wilayah rawan gempa dan tsunami. Dalam perancangan ini bangunan yang direncanakan terletak di wilayah Bali dengan jenis struktur yang digunakan berupa struktur baja dengan *bresing* konsentris. Metode yang dipilih pada saat perencanaan beban gempa adalah metode statik ekuivalen serta metode spektrum setelahnya kontrol *drift story* hingga sesuai persyaratan karena kekakuan lantai satu lebih lemah dibanding dengan lantai atasnya. Hasil penelitian ini adalah penggunaan *bresing* konsentris untuk memperkecil nilai drift di setiap lantainya. Perencanaan bangunan menghasilkan profil yaitu balok eksterior menggunakan baja IWF 500x200, balok interior menggunakan baja IWF 400x200, kolom interior serta eksterior menggunakan baja Hs 16x0,5 dan *bresing* menggunakan Hs 9,625x0,5.

Perancangan Ade dkk (2021), membahas tentang desain *shelter* inovatif sebagai tempat evakuasi sementara di Banyuwangi. Perancangan ini memiliki tujuan yaitu untuk merencanakan desain struktur *shelter* inovatif berbasis tempat evakuasi sementara di daerah Banyuwangi. Metode perencanaan yang dipilih ketika mendesain *shelter* ini adalah dengan melakukan tinjauan pada struktur kolom, balok, pelat, serta pondasi rakit. Jenis struktur yang digunakan berupa struktur baja yang dibuat berdasarkan ketentuan Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK) dengan memakai bantuan aplikasi komputer yang mengacu pada SNI 03-1726-2019, SNI 03-1729-2015, SNI 03-1727-2013, serta FEMA P646A. Berdasarkan hasil perencanaan pada *shelter* inovatif berdimensi 16 m x 4 m x 3,5 m, pada struktur balok memakai profil baja yaitu IWF 350,350,19,19 dan pada struktur kolom memakai profil baja yaitu IWF 350,350,19,19 dengan berat keseluruhan struktur *shelter* sebesar 38292,9 kg. hasil perencanaan pada struktur balok dengan kontrol pengecekan interaksi lentur serta geser diperoleh sebesar $1,19 < 1,375$. Pada perencanaan struktur kolom dengan kontrol pemeriksaan kekuatan tekan desain diperoleh sebesar $0,228 < 1$. Pondasi rakit dirancang dengan dimensinya sebesar 16 m x 4 m serta disarankan untuk ketebalan pondasi yaitu sebesar 80 cm, dengan kontrol tekanan pada tanah diperoleh sebesar $0,061 \text{ kg/cm}^2 < 0,188 \text{ kg/cm}^2$.

Perancangan Mirza dkk (2019), tentang rancang bangun *tsunami pods* sebagai Tempat Evakuasi Sementara (TES) untuk mewujudkan wilayah tangguh bencana. Tujuan dari perancangan ini adalah untuk membuat rancang bangun, dimulai dari penentuan desain serta bentuk awal *tsunami pods*. Desain awal *tsunami pods* yaitu berbentuk persegi Panjang yang memiliki akses masuk terletak di atap *pods*. Selanjutnya melakukan penentuan jenis material yang akan diterapkan untuk rangka utama serta penutup atau dinding *tsunami pods*. Metode yang dipakai pada perencanaan ini adalah evaluasi kekuatan struktur berdasarkan kombinasi material serta kombinasi beban dengan menganalisa pembebanan struktur dan pemodelan konstruksi dengan menggunakan bantuan *software*. Berdasarkan hasil analisis struktur, konstruksi struktur *tsunami pods* dimodelkan dengan memakai jenis material yaitu baja IWF 250,125,6,9 sebagai rangka utama dan baja UNP 100,50,5 untuk *bracing* serta pelat baja *corrugated* SS 400 t.6 mm untuk dinding dan atap,

ketebalan yaitu 12 mm untuk *deck* lantai. Hasil analisis yang telah dilakukan menyatakan bahwa rangka serta pelat yang dipakai dapat mampu menopang beban rencana dan desain *pods* mampu menampung 24 orang.

Perancangan Asri dkk (2015), membahas tentang perencanaan struktur gedung *shelter* tsunami di kota Padang. Perancangan memiliki tujuan yaitu untuk merancang struktur bangunan gedung 5 lantai dengan material beton bertulang yang berfungsi sebagai *shelter* tsunami di kota Padang. Gedung memiliki total ketinggian yaitu 20 meter dan perencanaan mengacu pada SNI 03-2847-2013, SNI 1726-2019 serta FEMA P-646. Metode yang ditetapkan adalah menganalisis struktur dengan pemodelan gedung 3D berbasis metode elemen hingga. Hasil perancangan diperoleh yaitu berdasarkan SNI 1726-2012, didapat yaitu kategori risiko gempa IV, dengan kondisi tanah lunak (SE), nilai respons percepatan gempa S_{D_s} sebesar 0,811g dan S_{D_1} sebesar 0,958g. penentuan gaya gempa digunakan metode Analisa statik ekuivalen dengan gaya geser dasar seismik arah X diperoleh sebesar 25335,1 kN dan arah Y sebesar 25335,1 kN. Beban tsunami diikutsertakan dalam perhitungan berupa gaya hidrodinamik, gaya gelombang, serta gaya tumbuk. Berdasarkan perencanaan yang telah dilakukan konsep *strong column weak beam* pada gedung juga ditinjau sehingga diperoleh hasil yang memenuhi persamaan yaitu $\Sigma M_{n_c} > 1,2 \Sigma M_{n_b}$. Diperoleh nilai ΣM_{n_c} sebesar 3451,2 kNm dan ΣM_{n_b} sebesar 3423,77 kNm. Struktur bawah direncanakan dengan menggunakan pondasi tiang pancang kelompok sedalam 22 meter, dan diperoleh daya dukung vertikal tiang sebesar 2558,72 kN.

Perbandingan perancangan dengan topik yang sama dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Perancangan dengan Topik Yang Sama

No.	Perancang	Judul Perancangan	Tujuan Perancangan	Lokasi Perancangan	Metode Perancangan	Hasil
1.	Ratu (2015)	Desain Struktur Gedung Evakuasi Vertikal Untuk Mitigasi Tsunami	Mendesain gedung yang dapat dijadikan untuk mitigasi tsunami bangunan tersebut yaitu bangunan masjid setinggi 12 meter dengan jumlah lantai sebanyak 3 lantai	Daerah Cilacap	Analisis perancangan struktur gedung dengan mengacu pada SNI 1726-2012 dan pembebanan gaya gempa <i>framing type</i> yang digunakan adalah <i>sway special</i> sedangkan untuk pembebanan gaya tsunami <i>framing type</i> yang digunakan adalah <i>sway ordinary</i> .	Pembebanan akibat gaya gempa dan gaya tsunami mempengaruhi banyaknya tulangan yang dipasang pada balok dan kolom, terutama pada jarak tulangan sengkang yang lebih pendek dibanding dengan pembebanan akibat gaya tsunami. Dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) per m ² gedung yaitu sebesar Rp. 1.425.746,35.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Perancangan dengan Topik Yang Sama

No.	Perancang	Judul Perancangan	Tujuan Perancangan	Lokasi Perancangan	Metode Perancangan	Hasil
2.	Adityawarman (2014)	Perencanaan Bangunan Evakuasi Di wilayah Rawan Gempa dan Tsunami	Merancang bangunan evakuasi dengan jenis struktur yaitu struktur baja dengan <i>bresing</i> konsentris	Wilayah Bali	Merancang gedung dengan perencanaan beban gempa menggunakan metode statik ekuivalen serta metode spektrum setelahnya kontrol <i>drift story</i> hingga sesuai persyaratan karena kekakuan lantai satu lebih lemah dibanding dengan lantai atasnya.	Penggunaan <i>bresing</i> konsentris untuk memperkecil nilai drift di setiap lantainya. Perencanaan bangunan menghasilkan profil yaitu balok eksterior menggunakan baja IWF 500x200, balok interior menggunakan baja IWF 400x200, kolom interior serta eksterior menggunakan baja Hs 16x0,5 dan <i>bresing</i> menggunakan Hs 9,625x0,5.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Perancangan dengan Topik Yang Sama

No.	Perancang	Judul Perancangan	Tujuan Perancangan	Lokasi Perancangan	Metode Perancangan	Hasil
3.	Ade dkk (2021)	Desain <i>shelter</i> Inovatif Sebagai Tempat Evakuasi Sementara di Banyuwangi	Merencanakan desain struktur <i>shelter</i> inovatif berbasis tempat evakuasi sementara di daerah Banyuwangi	Daerah Banyuwangi	Melakukan tinjauan pada struktur kolom, balok, pelat, serta pondasi rakit. Jenis struktur yang digunakan berupa struktur baja yang dibuat berdasarkan ketentuan Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK) dengan memakai bantuan aplikasi komputer yang mengacu pada SNI 03-1726-2019, SNI 03-1729-2015, SNI 03-1727-2013, serta FEMA P646A.	Hasil perencanaan struktur balok dengan kontrol pemeriksaan interaksi lentur dan geser sebesar $1,19 < 1,375$, perencanaan struktur kolom dengan kontrol pemeriksaan kekuatan tekan desain sebesar $0,228 < 1$. Pondasi rakit direncanakan dengan dimensi 16 m x 4 m dan disarankan dengan ketebalan 80 cm dengan kontrol tekanan pada tanah sebesar $0,061 \text{ Kg/cm}^2 < 0,188 \text{ Kg/cm}^2$

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Perancangan dengan Topik Yang Sama

No.	Perancang	Judul Perancangan	Tujuan Perancangan	Lokasi Perancangan	Metode Perancangan	Hasil
4.	Mirza dkk (2019)	Rancang Bangun <i>Tsunami Pods</i> Sebagai Tempat Evakuasi Sementara (TES) untuk Mewujudkan Wilayah Tangguh Bencana	Membuat rancang bangun, dimulai dari penentuan desain serta bentuk awal <i>tsunami pods</i> . Desain awal <i>tsunami pods</i> yaitu berbentuk persegi Panjang yang memiliki akses masuk terletak di atap <i>pods</i> .	Daerah Padang	Evaluasi kekuatan struktur berdasarkan kombinasi material serta kombinasi beban dengan menganalisa pembebanan struktur dan pemodelan konstruksi dengan menggunakan bantuan <i>software</i> .	Konstruksi struktur <i>tsunami pods</i> dimodelkan dengan memakai jenis material yaitu baja WF 250,125,6,9 sebagai rangka utama dan baja UNP 100,50,5 untuk <i>bracing</i> serta pelat baja <i>corrugated SS 400</i> t.6 mm untuk dinding dan atap, ketebalan yaitu 12 mm untuk <i>deck</i> lantai. Hasil analisis menyatakan bahwa rangka serta pelat yang dipakai dapat mampu menopang beban rencana dan desain <i>pods</i> mampu menampung 24 orang.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Perancangan dengan Topik Yang Sama

No.	Perancang	Judul Perancangan	Tujuan Perancangan	Lokasi Perancangan	Metode Perancangan	Hasil
5.	Asri dkk (2019)	Perencanaan Struktur Gedung <i>Shelter</i> Tsunami di Kota Padang	Merancang struktur bangunan gedung 5 lantai dengan material beton bertulang yang berfungsi sebagai <i>shelter</i> tsunami di kota Padang	Kota Padang	Menganalisis struktur dengan pemodelan gedung 3D berbasis metode elemen hingga.	Konsep <i>strong column weak beam</i> pada gedung juga ditinjau sehingga diperoleh hasil yang memenuhi persamaan yaitu $\Sigma M_{nc} > 1,2 \Sigma M_{nb}$. Diperoleh nilai ΣM_{nc} sebesar 3451,2 kNm dan ΣM_{nb} sebesar 3423,77 kNm. Struktur bawah direncanakan dengan menggunakan pondasi tiang pancang kelompok sedalam 22 meter, dan diperoleh daya dukung vertikal tiang sebesar 2558,72 KN.

2.3 Keaslian Perancangan

Berdasarkan sumber pada sejumlah perancangan yang telah dicantumkan sebelumnya, perancangan yang akan dilakukan oleh penulis merupakan hasil karya asli dan bukan merupakan plagiasi. Adapun perbedaan perancangan yang dilakukan penulis adalah sebagai berikut.

1. Jarak gedung dari pantai ...1260 meter, lokasi yang akan direncanakan untuk perencanaan struktur gedung perkantoran yang dapat difungsikan sebagai tempat evakuasi vertikal tsunami yaitu berada pada Kawasan *Yogyakarta International Airport (YIA)*, Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Struktur gedung perkantoran yang dapat difungsikan sebagai tempat evakuasi vertikal tsunami, berupa struktur beton bertulang dengan jumlah 9 tingkat dengan tinggi antar tingkat yaitu 4 meter sehingga tinggi total bangunan yaitu 36 meter.
3. Memperhitungkan struktur serta gaya – gaya yang bekerja pada gedung perkantoran yang dapat difungsikan sebagai tempat evakuasi vertikal tsunami dengan sistem ganda yaitu gabungan sistem antara portal dan dinding geser, berlandaskan pada peraturan SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan FEMA P646-2019.
4. Analisis perencanaan struktur gedung evakuasi vertikal akan dimodelkan secara 3D menggunakan program komputer SAP2000 V.22.

BAB III

LANDASAN TEORI

Pada Bab II sebelumnya telah dibahas mengenai kajian perancangan berkaitan dengan perencanaan struktur gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami. Selanjutnya Bab III ini akan membahas teori – teori mengenai gelombang tsunami, konsep perencanaan struktur gedung tahan gempa dan tsunami, elemen struktur, dan sebagainya. Dimana teori perencanaan mengacu pada SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan FEMA P646-508.

3.1 Gelombang Tsunami

Tsunami merupakan bencana alam berupa gelombang yang tercipta akibat adanya gempa bumi maupun gunung api yang terjadi di dasar laut. Gelombang tsunami yang terjadi memiliki ragam variasi ketinggian yaitu mulai dari 0,5 meter hingga mencapai 30 meter dengan periode waktu dari beberapa menit hingga mencapai kurang lebih satu jam. Gelombang tsunami memiliki cepat rambat yang tergantung pada kedalaman laut, semakin dalam kedalaman maka semakin cepat pula kecepatan rambat pada gelombang. Kedalaman laut sebesar 5000 meter memiliki kecepatan rambat tsunami mencapai 230 meter/detik, sedangkan pada kedalaman laut sebesar 4000 meter memiliki cepat rambat yaitu sebesar 200 meter/detik, dan pada kedalaman laut sebesar 40 meter memiliki cepat rambat sebesar 20 meter/detik. Pada daerah episentrum gempa atau lokasi pembentukan tsunami memiliki ketinggian gelombang mencapai antara 1 meter hingga 2 meter. Gelombang tsunami semakin tinggi selama dari pusat terbentuknya tsunami (tengah laut) hingga menuju muka pantai, hal tersebut terjadi karena akibat pengaruh perubahan kedalaman laut. Ketika gelombang telah tiba di muka pantai, gelombang akan naik (*run-up*) ke daratan dengan kecepatan sangat tinggi yang mampu menghancurkan bangunan – bangunan di sekitar pantai. Setelah mencapai puncak gelombang, air akan kembali lagi ke laut (*run-down*). Gelombang tsunami memiliki

dampak buruk yaitu menyebabkan bencana di suatu daerah yang jaraknya terpaut jauh dengan pusat terbentuknya tsunami.

Tiga faktor yang mempengaruhi kejadian bencana tsunami yang diakibatkan oleh gempa bumi di dasar laut di antaranya adalah:

1. Episentrum atau kedalaman pusat gempa yang terjadi di dasar laut, h (kilometer),
2. Kekuatan Gempa (M), dinyatakan dalam skala *richter*,
3. Kedalaman atau tinggi air di atas episentrum, d (meter).

3.2 Konsep Perencanaan Struktur

Penyelamatan yang efektif ketika sebelum tibanya gelombang air (tsunami) yaitu dengan melakukan evakuasi dari area bahaya bencana tsunami, salah satu cara di antaranya adalah dengan membangun konstruksi bangunan gedung secara vertikal maupun horizontal. Evakuasi secara vertikal merupakan upaya yang efektif ketika terjadi tsunami dengan waktu sinyal peringatan yang cepat (singkat), sehingga dengan dibangun atau dirancang bangunan gedung bertingkat yang dikhususkan untuk tempat evakuasi tsunami akan dapat meminimalisasikan risiko buruk yaitu adanya korban jiwa ketika bencana tsunami datang.

Perencanaan struktur merupakan desain atau rencana untuk membuat suatu kesatuan yang terdiri dari rangkaian dengan sejumlah elemen – elemen pada bangunan sehingga dapat menahan atau menopang berbagai beban yang bekerja, mulai dari berat bangunan itu sendiri dan juga beban yang bekerja dari arah luar tanpa mengalami perubahan fisik berupa bentuk yang melebihi batasan syarat yang ditentukan. Perencanaan struktur berupa gedung yang kuat terhadap tsunami akan mereduksi dampak dari beban tsunami yang datang pada bangunan. Cara untuk mengurangi risiko atau dampak dari bencana tsunami, digunakan pilihan yaitu dengan pencegahan suatu daerah dari genangan sehingga tsunami lewat dengan bebas tanpa menyebabkan kerusakan yang parah (maksimum) penentuan suatu lokasi bangunan dengan merencanakan bangunan berada di elevasi yang lebih tinggi dari elevasi genangan ketika tsunami datang yaitu pada bagian dimensi tiang diperbesar dan memperkuat tiang tersebut.

Desain struktur direncanakan menggunakan konsep *Strong Column Weak Beam* (SCWB), yaitu jenis sistem struktur yang memakai sistem rangka pemikul momen khusus dimana perencanaan kolom lebih kuat dan untuk perencanaan balok tidak sekuat kolom (lemah) serta sendi plastis di rancang berada pada balok, hal ini berguna jika energi gempa datang secara merata. Persyaratan untuk merencanakan suatu struktur agar struktur tersebut ideal di antaranya adalah kekakuan struktur, kekuatan struktur, kestabilan struktur, dan daktilitas struktur dengan penjelasan sebagai berikut.

1. Kekakuan Struktur

Desain struktur harus memperhatikan kekakuan, dimana suatu struktur harus mempunyai kekakuan yang memadai atau melebihi batas persyaratan hal tersebut agar pergerakan sebuah struktur dapat dibatasi. Kekakuan struktur dapat diukur dari besarnya simpangan antar lantai (*drift*) bangunan, semakin kecil simpangan struktur maka bangunan tersebut akan semakin kaku (Smith, B.S. dan Coull, A., 1991). Pengertian antara *drift* serta *displacement* yaitu *drift* merupakan simpangan pada suatu tingkat atau lantai diukur berdasarkan dasar tingkat atau lantai dibawahnya, sedangkan *displacement* merupakan simpangan pada suatu tingkat atau lantai yang diukur berdasarkan dasar tingkat atau lantai. Beberapa faktor yang mempengaruhi suatu kekakuan bahan di antaranya adalah modulus elastisitas bahan serta ukuran elemen. Besarnya modulus elastisitas berbanding lurus pada kekuatan dari suatu bahan, yaitu jika suatu bahan semakin kuat maka bahan tersebut akan semakin kaku, tetapi jika bahan mempunyai sangat kaku maka akan menjadi mudah patah atau getas.

2. Kekuatan Struktur

Komponen suatu struktur yang dapat bekerja pada dua arah, arah horizontal maupun arah vertikal konstruksi yaitu kekuatan struktur sehingga dapat menahan gaya – gaya internal dari bangunan. Kolom merupakan komponen suatu struktur arah vertikal yang dapat menopang beban – beban vertikal kemudian disalurkan ke sub struktur dan terakhir disalurkan ke dalam tanah melalui pondasi dari bangunan, sedangkan pelat lantai serta balok merupakan komponen suatu struktur arah horizontal yang difungsikan sebagai penahan

beban – beban bangunan baik itu beban mati dan beban hidup kemudian beban tersebut diteruskan kepada kolom.

3. Kestabilan Struktur

Kestabilan struktur dari sebuah bangunan adalah kemampuan atau kekuatan sebuah bangunan dalam menghadapi gaya – gaya eksternal, seperti gaya gravitasi bumi, gaya gempa, angin, maupun gaya yang diakibatkan tsunami sehingga sebuah bangunan tetap berdiri tegak tanpa mengalami keruntuhan atau *collapse*. Kekuatan kestabilan struktur harus mencakup pada keseluruhan elemen atau komponen struktur, yaitu struktur bawah maupun struktur atas dari sebuah bangunan.

4. Daktilitas Struktur

Daktilitas struktur merupakan kemampuan keseluruhan bagian struktur bangunan dalam melakukan deformasi ketika melampaui kekuatan paling tinggi (puncak) sehingga tidak mengalami penurunan kekuatan yang cukup besar. Tingkatan daktilitas suatu struktur biasanya diperlukan agar suatu struktur tidak mengalami keruntuhan secara tiba – tiba.

Persyaratan yang dipakai dalam merencanakan struktur Gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami dapat difungsikan sebagai Gedung perkantoran yang digunakan sehari – hari, di antaranya adalah:

1. SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung,
2. SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung,
3. SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain, dan
4. *Federal Emergency Management Agency* (FEMA P646-508 Tahun 2019).

3.3 Elemen Struktur

Elemen struktur adalah suatu komponen struktur yang memiliki fungsi sebagai penerima gaya internal maupun gaya eksternal struktur lalu akan disalurkan ke dalam tanah. Elemen struktur yang digunakan dalam perencanaan Gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami yaitu terbuat dari beton bertulang. Struktur

gedung sangat cocok menggunakan beton bertulang karena elemen yang ada pada struktur beton memiliki sifat monolit, artinya struktur memiliki perilaku yang baik dikarenakan elemen beton bersifat kaku serta kuat dalam menopang beban yang diakibatkan gempa maupun tsunami.

3.4 Sistem Struktur

Menurut SNI-1726-2019, terdapat 4 (empat) jenis sistem struktur dasar yang ditentukan. Penjelasan mengenai jenis sistem struktur tersebut yaitu:

1. Sistem dinding penumpu, merupakan jenis sistem struktur yang tidak mempunyai rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dinding penumpu dapat menumpu hampir keseluruhan beban gravitasi dan beban lateral ditumpu oleh dinding geser.
2. Sistem rangka gedung, merupakan jenis sistem struktur yang mempunyai rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral ditumpu oleh dinding geser.
3. Sistem rangka pemikul momen, merupakan jenis sistem struktur yang mempunyai rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral ditumpu oleh rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur.
4. Sistem ganda, merupakan jenis sistem struktur yang terdiri atas rangka ruang yang menumpu seluruh beban gravitasi, pemikul beban lateral berupa dinding geser dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral, dan kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi sistem ganda.

Selain 4 sistem struktur tersebut, pada SNI-1726-2019 memberitahu bahwa terdapat 3 sistem struktur lain, di antaranya adalah sistem struktur gedung kolom kantilever (sistem struktur yang memanfaatkan kolom kantilever untuk memikul beban lateral), sistem interaksi dinding geser dengan rangka, dan subsistem tunggal (subsistem struktur bidang yang membentuk struktur gedung secara keseluruhan).

3.4.1 Struktur Bawah

Struktur bawah sebuah gedung adalah elemen bagian bawah dari keseluruhan struktur yang menopang beban dari struktur atas kemudian disalurkan ke tanah, terletak pada bawah bangunan dan bersentuhan langsung dengan tanah. Komponen dari struktur bawah dari bangunan adalah pondasi, *pile cap*, dan *tie beam* atau sloof dengan penjelasan sebagai berikut.

1. Pondasi

Pondasi merupakan bagian dari elemen struktur bawah sebuah bangunan yang memiliki fungsi untuk menahan beban – beban keseluruhan bangunan, kemudian beban tersebut diteruskan kepada lapisan tanah yang memiliki daya dukung cukup kuat. Jenis atau tipe pondasi dibagi menjadi dua yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam.

2. *Pile Cap*

Pile cap adalah bagian dari elemen struktur bawah sebuah bangunan yang mempunyai fungsi sebagai penerima beban atau gaya dari satu kolom dan kemudian beban atau gaya yang berasal dari kolom tersebut disebarkan kepada kelompok pondasi. *Pile cap* dipakai ketika jenis pondasi yang digunakan dalam perencanaan Gedung berupa pondasi dalam, karena pondasi dalam memerlukan *pile cap* untuk menyatukan kekuatan pondasi dalam agar pondasi tersebut menahan beban bangunan secara maksimal yang nantinya diteruskan ke tanah.

3. *Tie Beam* atau Sloof

Tie beam atau sloof merupakan bagian dari elemen struktur bawah yang memiliki fungsi sebagai pemikul atau penopang beban dinding sebuah bangunan, fungsi tersebut sama dengan fungsi dari sebuah balok, selain itu *tie beam* atau sloof berguna sebagai pengikat pondasi antara satu dengan yang lain supaya tidak mengalami pergeseran dan dapat meminimalisasikan penurunan yang terjadi pada pondasi.

3.4.2 Struktur Atas

Struktur atas sebuah gedung merupakan elemen bagian atas dari keseluruhan struktur yang menopang beban baik itu beban hidup maupun beban mati berasal

dari bangunan dan nantinya beban tersebut disalurkan ke bagian struktur bawah bangunan. Bagian – bagian dari struktur atas bangunan adalah balok, kolom, pelat lantai, tangga, dan dinding geser dengan penjelasan sebagai berikut.

1. Balok

Balok merupakan salah satu bagian struktur atas yang mempunyai fungsi sebagai penopang beban – beban pelat lantai yang berada di atas balok dan beban tersebut akan disalurkan kepada kolom yang menopang balok tersebut, selain itu balok memiliki fungsi lain sebagai pengunci atau pengekan dari struktur kolom. Sebuah gedung terdapat dua jenis balok berdasarkan letaknya, jika letak balok yang bertumpu dengan kolom secara langsung yaitu disebut balok induk, sedangkan letak balok yang bertumpu dengan balok induk tersebut yaitu disebut balok anak. Secara umum elemen balok yang menggunakan beton bertulang akan dicor yang dilakukan secara monolit dengan pelat lantai.

2. Kolom

Kolom adalah bagian dari struktur atas, dimana elemen struktur memanjang secara vertikal dari rangka (*frame*) yang menopang beban yang diberikan oleh balok secara langsung. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur (Sudarmoko, 1996). Perencanaan suatu kolom harus direncanakan memiliki kekuatan lebih kuat sebesar 20% dibandingkan balok – balok dalam suatu hubungan antara balok dan kolom.

3. Pelat Lantai

Pelat lantai merupakan elemen struktur dari bagian struktur atas yang terletak bukan di atas tanah langsung, pelat lantai berfungsi sebagai pemikul beban atau gaya yang bekerja pada seluruh luas permukaan pelat lantai. Pelat lantai berada di atas balok – balok yang akan mendukung pelat lantai tersebut kemudian balok – balok tersebut ditumpu oleh kolom – kolom pada struktur bangunan. Pelat lantai terdapat dua jenis berdasarkan perilaku pelat lantai pada saat

menopang beban yang bekerja di antaranya adalah pelat satu arah (*one ó way slab*) serta pelat dua arah (*two ó way slab*).

4. Tangga

Tangga adalah bagian dari struktur atas yang terdiri dari bordes, pelat, serta anak tangga yang dapat menghubungkan antara lantai yang satu dengan lantai yang berada di atasnya. Tangga memiliki berbagai macam jenis – jenis tertentu, di antaranya yaitu:

- a. Tangga dengan bentangan secara horizontal
- b. Tangga dengan bentangan secara memanjang
- c. Tangga kantilever
- d. Tangga spiral
- e. Tangga melayang

5. Dinding Geser (*Shear Wall*)

Dinding geser (*shear wall*) adalah bagian dari elemen struktur atas yang mempunyai bentuk pelat lantai berdiri atau vertikal memanjang dan mempunyai fungsi untuk menahan gaya – gaya yang bekerja secara horizontal pada diafragma dari dinding geser tersebut. Dinding geser terbuat dari material beton bertulang dan sering digunakan untuk dinding *lift*, tangga, maupun untuk dinding penahan tanah.

3.5 Analisis Pembebanan Struktur

Pada saat perencanaan suatu struktur dari sebuah bangunan terutama Gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami, perlu dilakukan analisis terhadap beban – beban yang bekerja pada struktur sebuah bangunan tersebut. Berikut merupakan jenis beban – beban yang bekerja pada struktur sebuah bangunan di antaranya yaitu:

1. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup (*live load*) merupakan beban yang terjadi akibat pengguna dari sebuah bangunan gedung, beban hidup tidak termasuk dari beban konstruksi maupun beban lingkungan, contohnya seperti beban hujan, beban angin, beban gempa, maupun beban mati. Penentuan beban hidup (*live load*) dalam perencanaan struktur gedung menggunakan acuan pada SNI 1727:2020 tentang

Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain. Penentuan beban hidup terdistribusi merata minimum berdasarkan SNI 1727:2020 dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.



Tabel 3.1 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, L_o dan Beban Hidup Terpusat Minimum

Hunian atau Penggunaan	Merata, L_o Psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga lihat pasal
Apartemen (lihat rumah tinggal)					
Sistem lantai akses					
Ruang kantor	50 (2,4)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2000 (8,9)	
Ruang computer	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2000 (8,9)	
Gudang persenjataan & ruang latihan	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Ruang pertemuan					
Kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Lobi	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Panggung pertemuan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Lantai podium	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Tribun penonton Stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
Ruang pertemuan lainnya	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	
Koridor					
Lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain				
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Hunian (lihat rumah tinggal)					
Dudukan mesin elevator (pada area 2 in. x 2 in. [50 mm x 50 mm])					
		-	-	300 (1,33)	
Konstruksi pelat lantai finishing ringan (pada area 1 in. x 1 in. [25 mm x 25 mm])					
		-	-	200 (0,89)	

Sumber: Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain (Standar Nasional Indonesia 1727:2020)

**Lanjutan Tabel 3.1 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, Lo dan
Beban Hidup Terpusat Minimum**

Hunian atau Penggunaan	Merata, Lo	Reduksi beban hidup diizinkan?	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan?	Terpusat	Juga lihat pasal
	Psf (kN/m ²)	(No. Pasal)	(No. Pasal)	lb (kN)	
Jalur penyelamatan saat kebakaran	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Tangga Permanen		-	-	Lihat pasal 4.5.4	
Garasi/Parkir (Lihat Pasal 4.10)					
Mobil penumpang saja	40 (1,92)	Ya (4.7.4)	Ya (4.7.4)	Lihat pasal 4.10.1	
Truk dan bus	Lihat pasal 4.10.2	-	-	Lihat pasal 4.10.2	
Pegangan tangga dan pagar pengaman	Lihat 4.5.1	-	-	Lihat 4.5.1	
Batang pegangan				Lihat 4.5.2	
Helipad (Lihat Pasal 4.11)					
Helikopter dengan berat lepas landas sebesar 3000 lb (13,35 kN) atau kurang	40 (1,92)	Tidak (4.11.1)	-	Lihat pasal 4.11.2	
Helikopter dengan berat lepas landas lebih dari 3000 lb (13,35 kN)	60 (2,87)	Tidak (4.11.1)	-	Lihat pasal 4.11.2	
Rumah sakit					
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1000 (4,45)	
Ruang pasien	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1000 (4,45)	
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1000 (4,45)	
Hotel (lihat rumah tinggal)					
Perpustakaan					
Ruang baca	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1000 (4,45)	4.13
Ruang penyimpanan	150 (7,18)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	1000 (4,45)	
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1000 (4,45)	
Pabrik					
Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	2000 (8,90)	
Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	3000 (13,35)	
Gedung perkantoran					
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian					
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2000 (8,90)	
Kantor	50 (2,40)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2000 (8,90)	
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2000 (8,90)	
Lembaga hukum					
Blok sel	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Koridor	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Tempat rekreasi					
Tempat bowling, billiard, dan penggunaan sejenis	75 (3,59)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Ruang dansa dan <i>ballroom</i>	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Gimnasium	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		

Sumber: Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain (Standar Nasional Indonesia 1727:2020)

**Lanjutan Tabel 3.1 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, Lo dan
Beban Hidup Terpusat Minimum**

Hunian atau Penggunaan	Merata, Lo Psf (kN/m²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga lihat pasal
Rumah Tinggal					
Hunian satu dan keluarga					
Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa Gudang	10 (0,48)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.1
Loteng yang tidak dapat dihuni dengan Gudang	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.2
Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur	30 (1,44)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua ruang kecuali tangga	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua hunian rumah tinggal lainnya					
Ruang pribadi dan koridornya	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Ruang public	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Koridor ruang public	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Atap					
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		4.8.1
Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,70)	Ya (4.8.3)	-		
Atap vegetatif dan atap lansekap					
Atap bukan untuk hunian	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk penggunaan lainnya	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
Awning dan kanopi					
Atap konstruksi <i>fabric</i> yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24)	Tidak (4.8.2)	-		
Rangka penumpu layer penutup	5 (0,24)	Tidak (4.8.2)	-	200 (0,89)	
	Berdasarkan area tributary dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka				
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	Ya (4.8.2)			4.8.1
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja					
Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap di atas pabrik, Gudang penyimpanan dan pekerjaannya, dan garasi bengkel				2000 (8,9)	
Semua komponen struktur atap utama lainnya		-	-	300 (1,33)	
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		-	-	300 (1,33)	

Sumber: Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain (Standar Nasional Indonesia 1727:2020)

**Lanjutan Tabel 3.1 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, Lo dan
Beban Hidup Terpusat Minimum**

Hunian atau Penggunaan	Merata, L _o Psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga lihat pasal
Sekolah	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1000 (4,45)	
Ruang kelas	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1000 (4,45)	
Koridor di atas lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1000 (4,45)	
Koridor lantai pertama	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses				200 (0,89)	
Jalan dipinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	8000 (35,6)	4.15
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
Gudang di atas langit-langit	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Gudang penyimpanan dan pekerja (harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan)					
Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)		
Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)		
Toko					
Eceran					
Lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1000 (4,45)	
Lantai di atasnya	75 (3,59)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1000 (4,45)	
Grosir, di semua lantai	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	1000 (4,45)	
Penghalang kendaraan				Lihat pasal 4.5.3	
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		

Sumber: Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain (Standar Nasional Indonesia 1727:2020)

2. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati (*dead load*) adalah berat keseluruhan bahan konstruksi sebuah bangunan gedung yang terpasang, beban mati bangunan di antaranya yaitu berat sendiri elemen struktur, mekanikal, elektrikal, arsitektural, plumbing serta finishing. Beban mati (*dead load*) bekerja karena akibat gaya gravitasi.

3. Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Perencanaan struktur Gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami selain harus tahan terhadap tsunami tetapi juga harus tahan terhadap getaran yang diakibatkan gempa yang umumnya memicu bencana tsunami tersebut. Syarat dari struktur bangunan yang kuat atau tahan terhadap gempa adalah dengan memperhatikan gempa rencana, gempa rencana merupakan gempa yang

memiliki kemungkinan melampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%. Persyaratan untuk melakukan analisis beban gempa dalam mendesain struktur sebuah bangunan yaitu gedung evakuasi vertikal dapat dibedakan menjadi dua analisis di antaranya yaitu analisis secara statis dan analisis secara dinamis. Berikut adalah parameter – parameter yang digunakan dalam melakukan analisis beban gempa di antaranya yaitu:

a. Kategori Risiko Bangunan

Kategori risiko bangunan merupakan cara untuk menentukan seberapa besar pengaruh dan juga pentingnya suatu bangunan terhadap munculnya risiko yaitu korban jiwa karena bangunan tersebut rusak yang diakibatkan oleh gempa. Menentukan kategori risiko bangunan untuk beban gempa dapat ditentukan berdasarkan jenis atau fungsi bangunan dengan melihat ketentuan Tabel 3 pada SNI 1726-2019, Tabel 3 pada SNI 1726-2019 dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan Non Gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II

Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (Standar Nasional Indonesia 1726:2019)

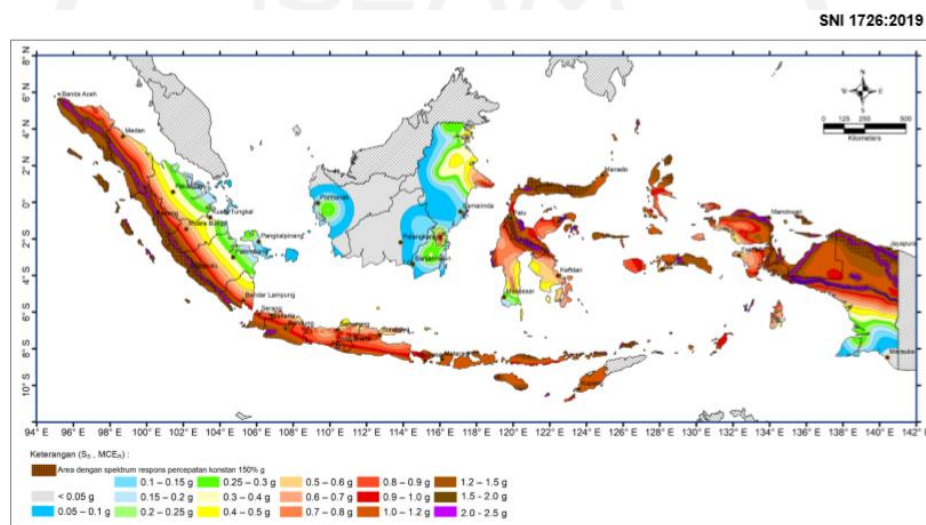
**Lanjutan Tabel 3.2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung
untuk Beban Gempa**

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan Non Gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan Non Gedung, tidak termasuk ke dalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan Non Gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Gedung dan Non Gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan Non Gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (Standar Nasional Indonesia 1726:2019)

b. Parameter Gerak Tanah S_s

Parameter gerak tanah S_s adalah gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5%) dapat ditentukan berdasarkan lokasi daerah bangunan yang akan dibangun dengan melihat ketentuan Gambar 15 pada SNI 1726-2019. Gambar 15 pada SNI 1726-2019 dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut.

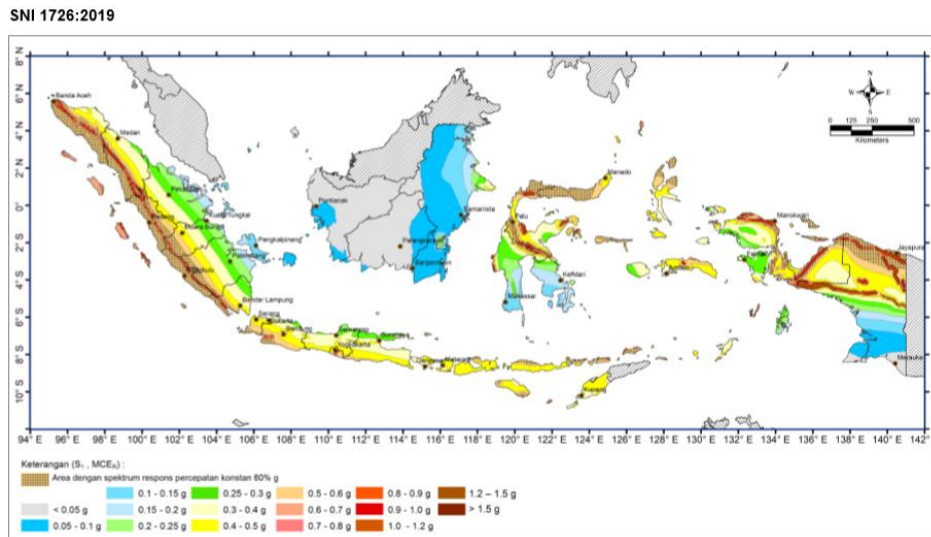


Gambar 3.1 Parameter gerak tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5%)

Sumber: SNI 1726:2019

c. Parameter Gerak Tanah S_1

Parameter gerak tanah S_1 adalah gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5%) dapat ditentukan berdasarkan lokasi daerah bangunan yang akan dibangun dengan melihat ketentuan Gambar 16 pada SNI 1726-2019. Gambar 16 pada SNI 1726-2019 dapat dilihat pada Gambar 3.2 sebagai berikut.



Gambar 3.2 Parameter gerak tanah, S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2- detik (redaman kritis 5%)

Sumber: SNI 1726:2019

d. Faktor keutamaan gempa (I_e)

Faktor keutamaan gempa (I_e) merupakan nilai yang digunakan sebagai faktor pengali pembesaran gempa sesuai dengan tingginya kategori risiko suatu bangunan. Faktor keutamaan gempa dapat ditentukan berdasarkan kategori risiko dengan melihat ketentuan Tabel 4 – Faktor keutamaan gempa pada SNI 1726-2019. Faktor keutamaan gempa pada SNI 1726-2019 dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (Standar Nasional Indonesia 1726:2019)

e. Koefisien Situs (F_a)

Koefisien situs (F_a) dapat ditentukan berdasarkan kelas situs tanah dan juga nilai parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakaan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s dengan melihat ketentuan Tabel 6 – Koefisien situs, F_a pada SNI 1726-2019. Tabel 6 – Koefisien situs, F_a pada SNI 1726-2019 dapat dilihat pada Tabel 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3.4 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakaan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \cup 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \ddagger 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (Standar Nasional Indonesia 1726:2019)

f. Koefisien Situs (F_v)

Koefisien situs (F_v) dapat ditentukan berdasarkan kelas situs tanah dan juga nilai Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakaan pada periode 1 detik, S_1 dengan melihat ketentuan Tabel 7 – Koefisien situs, F_v pada SNI 1726-2019. Koefisien situs, F_v pada SNI 1726-2019 dapat dilihat pada Tabel 3.5 sebagai berikut.

Tabel 3.5 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \cup 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \ddagger 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^{(a)}$					

Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (Standar Nasional Indonesia 1726:2019)

g. Parameter untuk gempa tertimbang maksimum

Parameter respons spektral maksimum terbagi menjadi dua yaitu parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan parameter respons spektral percepatan pada periode 1 detik (S_{MI}), dimana untuk menentukan parameter tersebut harus menyesuaikan atau dikalikan dengan pengaruh klasifikasi situs, penentuan tersebut digunakan dengan persamaan – persamaan sebagai berikut.

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (3.1)$$

$$S_{MI} = F_v \cdot S_1 \quad (3.2)$$

Dimana:

S_{MS} : Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek

S_{MI} : Parameter respons spektral percepatan pada periode 1 detik

S_s : Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek

S_I : Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik

h. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain terbagi menjadi dua di antaranya yaitu parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek (S_{DS}) dan parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik (S_{DI}). Untuk menentukan parameter percepatan spektral desain maka harus digunakan dengan persamaan – persamaan sebagai berikut.

$$S_{DS} = - \cdot S_{MS} \quad (3.3)$$

$$S_{DI} = - \cdot S_{MI} \quad (3.4)$$

Dimana:

S_{MS} : Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek

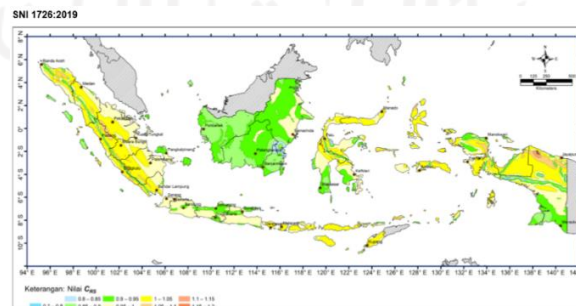
S_{MI} : Parameter respons spektral percepatan pada periode 1 detik

S_{DS} : Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{DI} : Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

i. Koefisien risiko terpetakan, periode spektrum respons 0,2-detik (C_{RS})

Koefisien risiko terpetakan, periode spektrum respons 0,2-detik (C_{RS}) dapat ditentukan berdasarkan lokasi daerah bangunan yang akan dibangun dengan melihat ketentuan Gambar 18 pada SNI 1726-2019. Gambar 18 pada SNI 1726-2019 dapat dilihat pada Gambar 3.3 sebagai berikut.

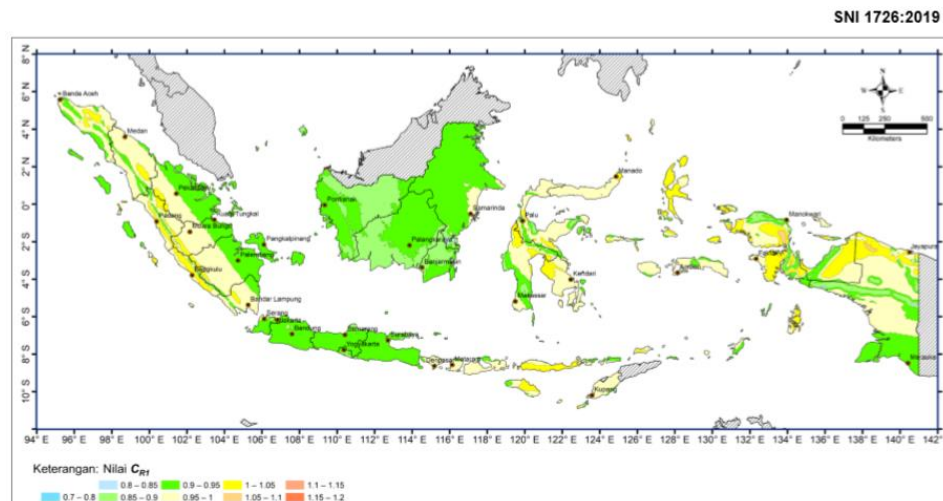


Gambar 3.3 C_{RS} , Koefisien risiko terpetakan, periode spektrum respons 0,2-detik

Sumber: SNI 1726:2019

- j. Koefisien risiko terpetakan, periode respons spektral 1 detik (C_{RI})

Koefisien risiko terpetakan, periode respons spektral 1 detik (C_{RI}) dapat ditentukan berdasarkan lokasi daerah bangunan yang akan dibangun dengan melihat ketentuan Gambar 19 pada SNI 1726-2019. Gambar 19 pada SNI 1726-2019 dapat dilihat pada Gambar 3.4 sebagai berikut.



Gambar 3.4 C_{RI} , Koefisien risiko terpetakan, periode respons spektral 1 detik

Sumber: SNI 1726:2019

- k. Periode getar fundamental struktur (T_0)

Mencari Periode getar fundamental struktur (T_0) dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{S_{DS}}{S_{DI}} \quad (3.5)$$

Dimana:

S_{DS} : Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{DI} : Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

- l. Periode getar fundamental struktur (T_s)

Mencari periode getar fundamental struktur dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$T_S = \text{---} \quad (3.6)$$

Dimana:

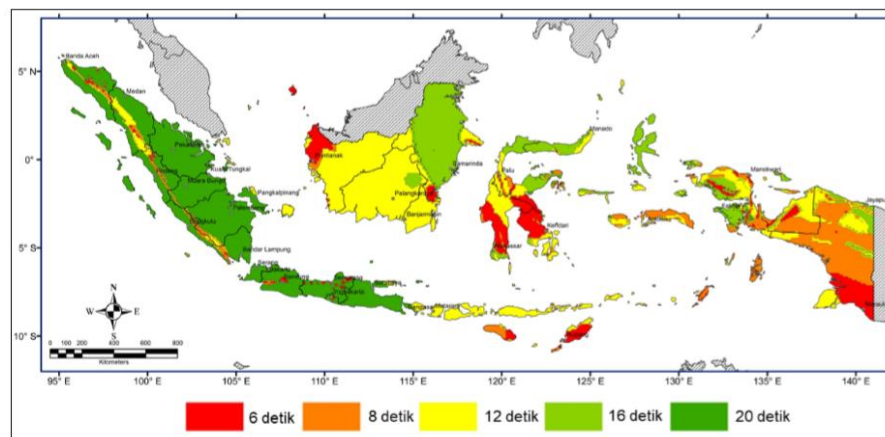
S_{DS} : Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} : Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

m. Transisi periode panjang (T_L)

Transisi periode panjang (T_L) dapat ditentukan berdasarkan lokasi daerah bangunan yang akan dibangun dengan melihat ketentuan Gambar 20 pada SNI 1726-2019. Gambar 20 pada SNI 1726-2019 dapat dilihat pada Gambar 3.5 sebagai berikut.

SNI 1726:2019



Gambar 3.5 Peta transisi periode panjang, T_L , wilayah Indonesia

Sumber: SNI 1726:2019

n. Spektrum Respons Desain

Menentukan spektrum respons desain digunakan untuk melakukan penggambaran mengenai respons spektral yang sesuai pada pasal 6.4 SNI 1726-2019, ketentuan – ketentuan tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

- 1) Ketika periode memiliki nilai yang lebih kecil dibanding T_0 ($T < T_0$), maka persamaan yang digunakan untuk mencari spektrum respons percepatan desain (S_a) yaitu:

$$\text{---} \quad (3.7)$$

- 2) Ketika periode memiliki nilai yang lebih besar dari atau sama dengan nilai T_0 dan nilai periode lebih kecil atau sama dengan nilai T_s ($T_0 \leq T \leq T_s$), maka persamaan yang digunakan untuk mencari spektrum respons percepatan desain (S_a) yaitu:

$$\text{---} \quad (3.8)$$

- 3) Ketika periode memiliki nilai yang lebih besar nilai T_s namun nilai dari periode tersebut lebih kecil dari atau sama dengan T_L ($T > T_s$), maka persamaan yang digunakan untuk mencari spektrum respons percepatan desain (S_a) yaitu:

$$\text{---} \quad (3.9)$$

Dimana:

T_0 : Periode getar fundamental struktur

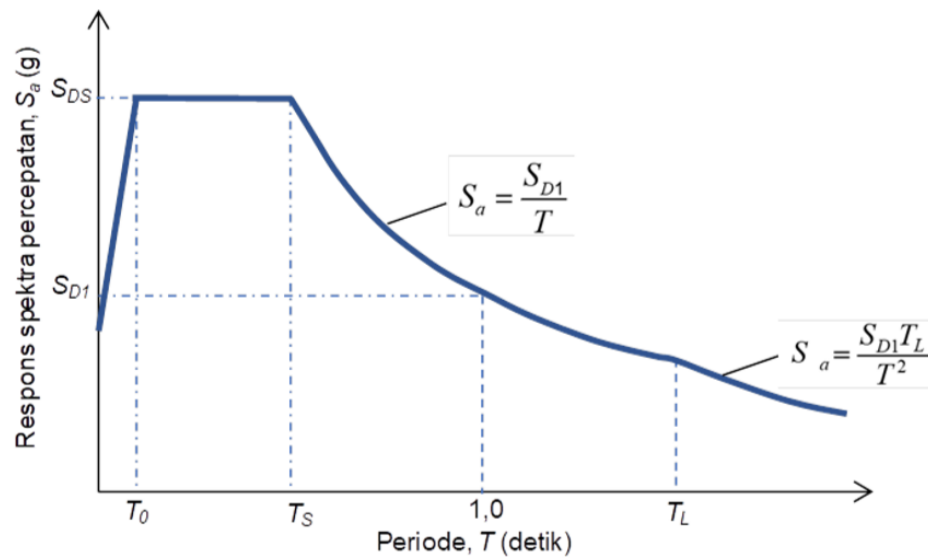
T_s : Periode getar fundamental struktur

S_{DS} : Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{DI} : Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T : Periode getar fundamental struktur

Setelah memperoleh hasil – hasil dari persamaan di atas kemudian, hasil tersebut diplotkan menjadi sebuah grafik spektrum respons desain. Grafik spektrum respons desain dapat dilihat pada Gambar 3.6 sebagai berikut.



Gambar 3.6 Grafik Spektrum Respons Desain

Sumber: SNI 1726:2019

- o. Periode fundamental pendekatan (T_a)

Mencari periode fundamental pendekatan (T_a) dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$T_a = C_t \cdot H_n^x \quad (3.10)$$

Dimana :

T_a : Periode fundamental pendekatan (detik)

H_n : Ketinggian struktur bangunan (meter)

Untuk menentukan nilai C_t dan x dapat dilakukan dengan menggunakan Tabel 18 – Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x pada SNI 1726-2019. Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x pada SNI 1726-2019 dapat dilihat pada Tabel 3.6 sebagai berikut.

Tabel 3.6 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
< Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
< Rangka baja pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (Standar Nasional Indonesia 1726:2019)

p. Koefisien Respons Seismik (C_s)

Besarnya koefisien respons seismik (C_s) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan – persamaan sebagai berikut.

$$= \frac{S_{DS}}{I} \quad (3.11)$$

$$= \frac{S_{D1}}{I} \quad (3.12)$$

$$= \frac{C_{smax}}{C_{smin}} \quad (3.13)$$

Dimana:

S_{DS} : Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} : Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

I : Faktor keutamaan gempa

C_s : Koefisien respons seismik

C_{smax} : Koefisien respons seismik maksimum

C_{smin} : Koefisien respons seismik minimum

S_1 : Parameter respons spectral percepatan gempa MCE_R terpetapaskan

untuk periode 1 detik

T : Periode getar fundamental struktur

q. Gaya Geser Dasar Seismik (V)

Analisis statis ekuivalen digunakan untuk mencari gaya geser dasar seismik pada portal struktur bangunan. Menentukan gaya geser dasar seismik dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$= \dots \quad (3.14)$$

Dimana:

V : Gaya geser dasar seismik

W : Berat seismik efektif

C_s : Koefisien respons seismik

r. Faktor Skala Gempa

Faktor skala gempa digunakan untuk memperhitungkan gaya gempa yang terjadi, dimana gaya gempa adalah perbandingan antara gaya gempa statis dengan gaya gempa dinamis, dan dari perbandingan nilai tersebut harus lebih besar atau sama dengan satu sesuai dengan SNI 1726-2019 pada pasal 7.9.2.5.2, sehingga untuk menentukan faktor skala gempa digunakan persamaan sebagai berikut.

$$= \dots \quad (3.15)$$

Dimana:

V : Gaya geser dasar seismik

W : Berat seismik efektif

C_s : Koefisien respons seismik

4. Beban Tsunami (*Tsunami Load*)

Berdasarkan FEMA P646-508 Tahun 2019, gaya – gaya yang perlu dihitung untuk merencanakan suatu bangunan agar menahan air tsunami di antaranya adalah sebagai berikut.

a. Gaya Hidrostatik

Gaya hidrostatik terjadi ketika air memiliki gerakan yang secara perlahan atau stabil mengenai struktur. Gaya hidrostatik sangat penting bagi suatu jenis struktur panjang contohnya yaitu dinding laut atau bendungan, atau untuk evaluasi dinding atau panel dimana tinggi air pada satu sisi memiliki perbedaan tinggi dengan tinggi air pada sisi lain. Gaya hidrostatik serta gaya apung perlu dilakukan perhitungan ketika lantai dasar dari Gedung terkepung air, di mana dinding sebuah bangunan dapat menahan air agar tidak merembes atau tidak masuk ke lantai dasar. Gaya hidrostatik yang bekerja dapat diperhitungkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$F_h = R_e \cdot C_y = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u \cdot i \cdot d \cdot j_{oc}^2 \quad (3.16)$$

$$j_{oc} = 1,3 \cdot T \cdot \sqrt{y} \quad (3.17)$$

Dimana:

F_h : Gaya hidrostatik

P_c : Tekanan hidrostatik

A_w : Area dinding yang terkena air

f_s : Massa jenis air tsunami termasuk sedimen ($f_s = 1100 \text{ kg/m}^3$)

g : Percepatan gravitasi ($g = 9,81 \text{ m/dt}^2$)

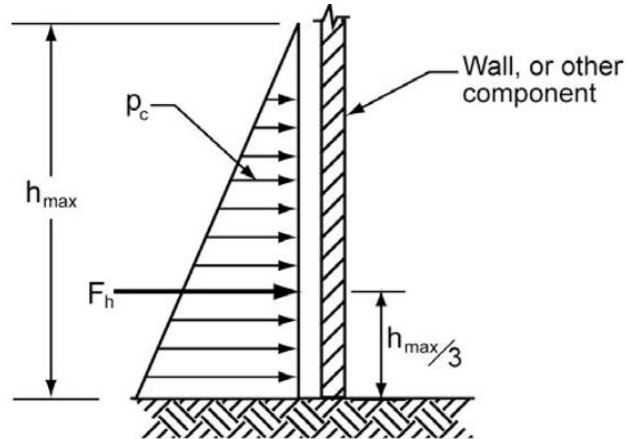
b : Lebar dinding

h_{maks}^2 : Ketinggian air maksimum dari dasar dinding

R^* : Elevasi maksimum *run up* tsunami

Z_w : Elevasi dasar struktur dari permukaan laut

Berikut adalah ilustrasi dari gaya hidrostatis yang bekerja pada komponen struktur dapat dilihat pada Gambar 3.7 sebagai berikut.



Gambar 3.7 Gaya Hidrostatik Tsunami

Sumber: FEMA P646-508

b. Gaya Apung

Gaya apung adalah suatu gaya yang menjadi pertimbangan cukup penting bagi struktur yang memiliki ketahanan yang lemah atau kecil terhadap gaya angkat, contohnya seperti bangunan dengan rangka kayu yang ringan, ruang bawah tanah, serta komponen – komponen yang direncanakan hanya mempertimbangkan gaya berat gravitasi. Suatu bangunan atau struktur yang tergenang / terkepung oleh air, maka gaya apung total yang terjadi dapat diperhitungkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$F_b = \rho_s \cdot V \quad (3.18)$$

Dimana:

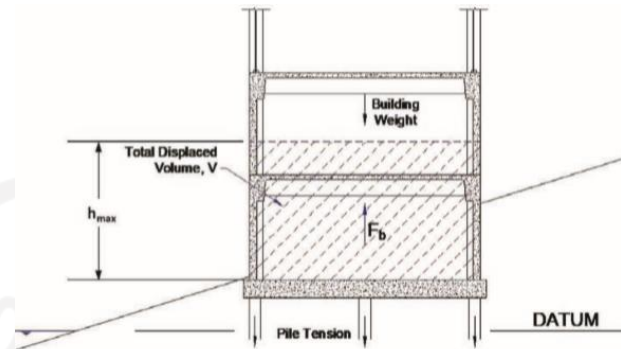
F_b : Gaya apung

ρ_s : Massa jenis air tsunami termasuk sedimen ($\rho_s = 1100 \text{ kg/m}^3$)

g : Percepatan gravitasi ($g = 9,81 \text{ m/dt}^2$)

V : Volume air yang dipindahkan oleh volume bangunan atau struktur yang tergenang

Berikut adalah ilustrasi dari gaya apung yang bekerja pada komponen struktur dapat dilihat pada Gambar 3.8 sebagai berikut.



Gambar 3.8 Gaya Apung Pada Struktur

Sumber: FEMA P646-508

c. Gaya Hidrodinamik

Ketika air bergerak di sekitar struktur sebuah bangunan, maka terjadi gaya hidrodinamik yang bekerja pada keseluruhan komponen struktur sebuah bangunan. Gaya hidrodinamik dapat dipengaruhi oleh beberapa hal di antaranya yaitu massa jenis air, kecepatan aliran serta bentuk dari struktur bangunan. Gaya hidrodinamik dapat diperhitungkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$H_f = \frac{1}{2} \cdot f_s \cdot C_d \cdot B \cdot u^2 \quad (3.19)$$

Dimana:

F_d : Gaya hidrodinamik

f_s : Massa jenis air tsunami termasuk sedimen ($f_s = 1100 \text{ kg/m}^3$)

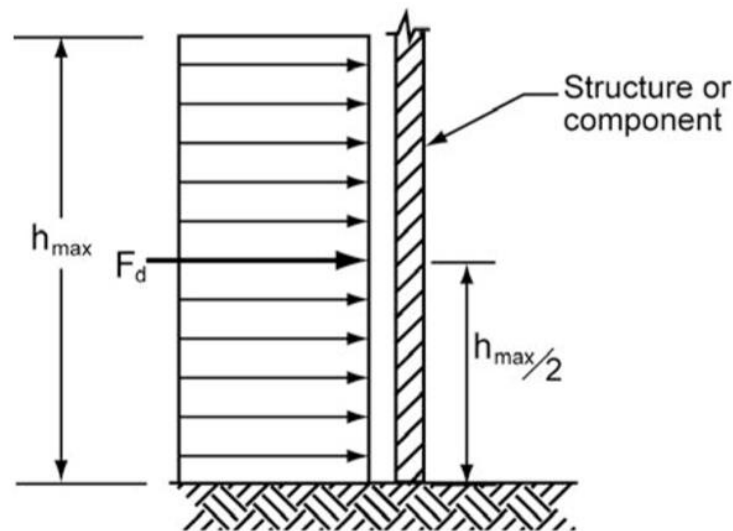
C_d : Koefisien tarik

h : Kedalaman aliran

u : Kecepatan aliran pada lokasi struktur

B : Luasan struktur pada bidang normal arah aliran

Berikut adalah ilustrasi dari gaya hidrodinamik yang bekerja pada struktur sebuah bangunan dapat dilihat pada Gambar 3.9 sebagai berikut.



Gambar 3.9 Gaya Hidrodinamik Tsunami Pada Struktur

Sumber: FEMA P646-508

Gaya di setiap komponen – komponen struktur, nilai luasan struktur pada bidang normal arah aliran (B) diambil berdasarkan lebar komponen. Untuk nilai koefisien tarik (C_d) direkomendasikan sebesar 2,0. Resultan gaya hidrodinamis ditempatkan atau dikenakan di tengah – tengah pada bidang yang terendam dari komponen.

Gaya hidrodinamik didasarkan pada parameter yaitu $(hu^2)_{maks}$, adalah momentum fluks maksimum per unit massa di lokasi pada setiap waktu ketika tsunami datang. Nilai $(hu^2)_{maks}$ dapat ditentukan dengan melakukan perhitungan pada persamaan sebagai berikut.

$$j w^2_{o c m u i} \cdot T^2 \cdot 0,125 - 0,235 \cdot \frac{1}{T} + 0,11 \cdot \frac{1}{T}^2 \quad (3.20)$$

Dimana:

- g : Percepatan gravitasi
- R : Ketinggian *run up* desain
- Z : Elevasi tanah pada dasar struktur

Ketika ingin menggunakan persamaan di atas harus memiliki kondisi yaitu datum muka laut harus konsisten dengan yang digunakan pada peta

genangan tsunami. Akibat ketidakpastian dari pemodelan genangan tsunami, maka nilai h_u^2 yang diprediksi tidak boleh kurang dari 80% nilai perhitungan dengan menggunakan persamaan 2.20 di atas.

d. Gaya Impulsif

Gaya impulsif terjadi karena adanya muka limpasan air yang menabrak struktur sebuah bangunan. Ramsden (1993) dalam FEMA P646 melakukan sejumlah penelitian dimana data yang dihasilkan di laboratorium menunjukkan pada lokasi yang sudah terendam, gaya tersebut dapat mencapai 1,5 kali lipat dari besaran gaya hidrodinamis yang bekerja. Berdasarkan kondisi tersebut maka untuk melakukan perhitungan gaya impulsif direkomendasikan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$F_s = 1,5 \cdot F_d \quad (3.21)$$

Dimana :

F_s : Gaya impulsif

F_d : Gaya hidrodinamik

Gaya impulsif bekerja pada ujung depan gelombang tsunami, sedangkan gaya hidrodinamik bekerja di keseluruhan bagian badan gelombang tsunami yang sudah dilewati oleh ujung depan gelombang.

e. Gaya Tumbukan Debris

Gaya tumbukan debris merupakan gaya tumbukan yang berasal dari puing – puing hanyutan tsunami, misalnya batang pepohonan, kendaraan, dan lain sebagainya, gaya tumbukan tersebut dapat menjadi satu faktor terbesar penyebab kerusakan pada bangunan. Untuk memperkirakan secara akurat gaya tumbukan ini yang terjadi cukup sulit. Gaya tumbukan debris atau tumbukan yang terjadi akibat puing hanyutan dapat diperhitungkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$H_k = 1,3 \cdot W_o \cdot c \cdot m \cdot u \cdot \overline{M''oQ} \cdot 1+e \quad (3.22)$$

Dimana:

F_i : Gaya tumbukan debris atau gaya tumbukan oleh puing hanyutan

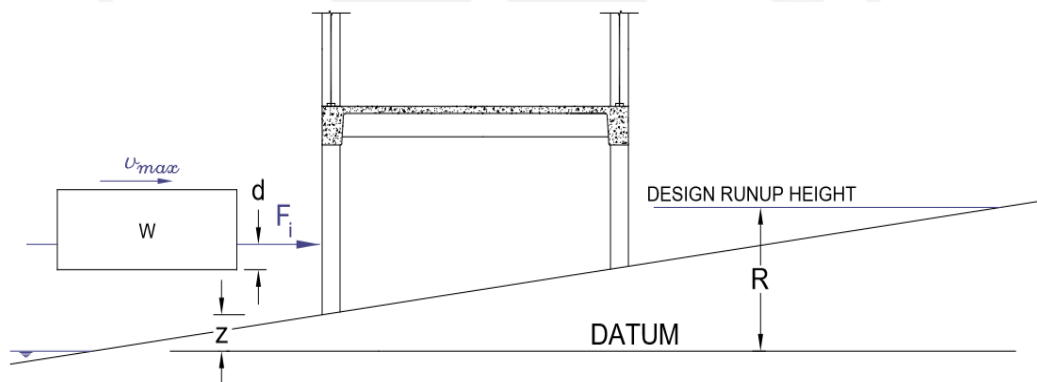
U_{maks} : Kecepatan aliran maksimum

K : kekakuan efektif debris

m_d : massa debris

c : Koefisien massa hidrodinamik

Berikut adalah ilustrasi dari gaya tumbukan yang terjadi pada struktur sebuah bangunan dapat dilihat pada Gambar 3.10 sebagai berikut.



Gambar 3.10 Gaya Tumbukan Debris Tsunami

Sumber: FEMA P646-508

Massa debris dan kekakuan hanyutan debris dapat ditentukan menggunakan Tabel 3.7 sebagai berikut.

Tabel 3.7 Massa dan Kekakuan Hanyutan Debris

<i>Type of Debris</i>	<i>Mass (m_d) In kg</i>	<i>Hydrodynamic Mass Coefft. (c)</i>	<i>Debris Stiffness (k_d) in N/m</i>
Lumber or Wood Log – oriented longitudinally	450	0	$2,4 \times 10^6$
20-ft Standard Shipping Container – oriented longitudinally	2200 (empty)	0,30	85×10^6
20-ft Standard Shipping Container – oriented transverse to flow	2200 (empty)	1,00	80×10^6
20-ft Heavy Shipping Container – oriented longitudinally	2400 (empty)	0,30	93×10^6
20-ft Heavy Shipping Container – oriented transverse to flow	2400 (empty)	1,00	87×10^6
40-ft Standard Shipping Container – oriented longitudinally	3800 (empty)	0,20	60×10^6
40-ft Standard Shipping Container – oriented transverse to flow	3800 (empty)	1,00	40×10^6

Sumber: *Federal Emergency Management Agency (FEMA P646-508 Tahun 2019)*

f. Gaya Tahanan Debris atau Hanyutan Puing

Gaya tahanan debris atau hanyutan puing disebabkan karena akumulasi puing – puing hanyutan yang tertahan pada struktur dan dapat diperlakukan sebagai suatu gaya hidrodinamik tambahan oleh puing yang tertahan struktur. Untuk menghitung gaya tahanan debris atau hanyutan puing digunakan persamaan, dimana persamaan tersebut diperoleh dari memodifikasi dari rumus hidrodinamik yang memasukkan lebar tahanan puing. Persamaan gaya tahan debris atau hanyutan puing dapat dilihat sebagai berikut.

$$H_{fo} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u^2 \cdot E_f \cdot D \cdot j_w^2 \quad (3.23)$$

Dimana:

F_{dm} : Gaya tahanan debris atau hanyutan puing

f_s : Massa jenis air tsunami termasuk sedimen ($f_s = 1100 \text{ kg/m}^3$)

C_d : Koefisien tarik (rekomendasi, $C_d = 2,0$)

h : Kedalaman aliran

u : Kecepatan aliran pada lokasi struktur

B : Luasan struktur pada bidang normal arah aliran

g. Gaya *Uplift*

Gaya *uplift* adalah gaya angkat yang terjadi karena dikenakan terhadap lantai bangunan yang tenggelam akibat genangan air oleh tsunami. Beban gravitasi seperti lantai yang tenggelam harus direncanakan agar kuat terhadap gaya angkat yang berkaitan dengan gaya apung maupun gaya hidrodinamik. Ketika memperhitungkan gaya apung pada sebuah lantai, perlu juga dipertimbangkan potensi gaya apung tambahan yang disebabkan oleh volume udara yang terjebak dibawah lantai. Dinding yang berada di lantai atas akan menopang air mencapai batas kemampuan dinding tersebut, sampai sebelum akhirnya pecah akibat gaya hidrostatik. Hal tersebut dapat mengakibatkan adanya kenaikan secara signifikan terhadap volume air terpindahkan yang mempengaruhi gaya apung. Jumlah keseluruhan gaya apung ke atas yang bekerja pada suatu lantai pada struktur dapat diperhitungkan dengan memakai persamaan sebagai berikut.

$$H_w'' = \frac{1}{2} \cdot E_w \cdot u \cdot C_h'' \cdot W_x^2 \quad (3.24)$$

Dimana:

F_u : Gaya *uplift* per unit luas

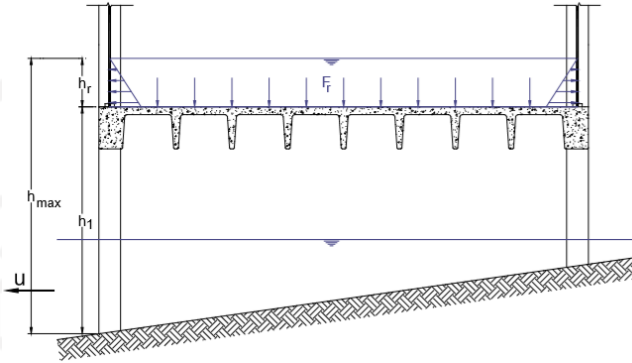
f_s : Massa jenis air tsunami termasuk sedimen ($f_s = 1100 \text{ kg/m}^3$)

C_u : Koefisien *uplift* ($C_u = 3,0$)

A_f : Area lantai

U_v^2 : Estimasi kecepatan vertikal aliran

Berikut adalah ilustrasi dari gaya *uplift* yang terjadi pada lantai struktur sebuah bangunan dapat dilihat pada Gambar 3.11 sebagai berikut.



Gambar 3.11 Gaya *Uplift* Pada Struktur

Sumber: FEMA P646-508

h. Beban Gravitasi Tambahan Akibat Genangan Air

Ketika terjadi proses penggenangan, air yang letaknya berada pada lantai di atas akan mempengaruhi gaya gravitasi tambahan yang dapat melebihi kemampuan dari rencana aslinya. Kedalaman air pada lantai atas tersebut tergantung dengan ketinggian maksimum sebuah rendaman tsunami di lokasi (h_{maks}), dan kekuatan lateral dari dinding pada lantai tersebut. Berdasarkan hal tersebut maka diasumsikan bahwa dinding luar struktur menahan air sehingga lantai bawah tenggelam serta lantai di atasnya tergenang oleh air. Oleh karena itu kecepatan naiknya air maka air sementara waktu akan memiliki volume lebih banyak yang berada di lantai atas, sehingga mengakibatkan beban gravitasi tambahan terhadap lantai tersebut. Nilai maksimum yang bekerja berdasarkan gaya tersebut per unit area (F_r) dapat ditentukan dengan memakai persamaan sebagai berikut.

$$H_t'' = u \cdot i \cdot j_t \quad (3.25)$$

Dimana:

F_r : Gaya gravitasi tambahan

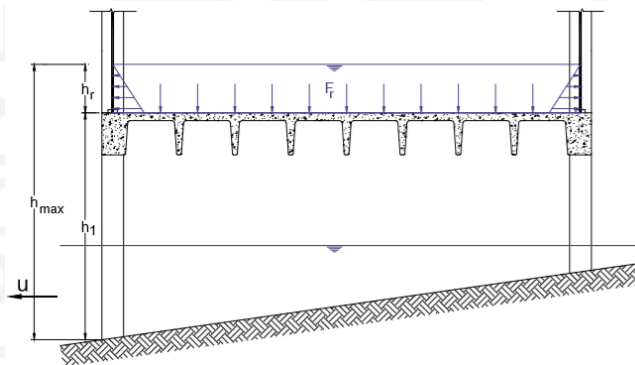
- f_s : Massa jenis air tsunami termasuk sedimen ($f_s = 1100 \text{ kg/m}^3$)
 g : Percepatan gravitasi ($g = 9,81 \text{ m/dt}^2$)
 h_r : Kedalaman potensial maksimum air yang berada pada lantai atas

$$J_t = J_o c \dot{m} d^3 \leq J d y \quad (3.26)$$

Dimana:

- h_r : Kedalaman potensial maksimum air yang berada pada lantai atas
 h_{maks} : Ketinggian genangan maksimum yang diprediksikan di lokasi
 h_{bw} : Ketinggian air maksimum yang dapat ditahan oleh dinding sebelum akhirnya pecah karena gaya hidrostatis
 h_1 : Kedalaman potensial maksimum air yang berada pada lantai atas

Berikut adalah ilustrasi dari beban gravitasi tambahan yang terjadi pada struktur sebuah bangunan dapat dilihat pada Gambar 3.12 sebagai berikut.



Gambar 3.12 Beban Gravitasi Tambahan Pada Struktur

Sumber: FEMA P646-508

3.6 Kombinasi Pembebanan Struktur

Sebuah struktur bangunan yang akan direncanakan yaitu struktur gedung perkantoran yang dapat difungsikan sebagai tempat evakuasi vertikal tsunami dapat bekerja dengan berbagai macam beban, beban tersebut di antaranya yaitu:

1. Beban mati
2. Beban hidup

3. Beban gempa
4. Beban tsunami

Kombinasi yang digunakan untuk masing – masing pembebanan tersebut telah diatur atau ditentukan dalam SNI 1726-2019 yaitu tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Berikut adalah kombinasi – kombinasi yang digunakan untuk beban gempa di antaranya yaitu:

1. $1,4 DL$
2. $1,2 DL + 1,6 LL$
3. $1,2 DL + LL$
4. $0,9 DL$
5. $(1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + LL \dots f (1 Q_{EX}) \dots f (1 Q_{EY})$
6. $(1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + LL \dots f (0,3 Q_{EX}) \dots f (1,0 Q_{EY})$
7. $(0,9 - 0,2 S_{DS}) DL \dots f (1 Q_{EX}) \dots f (0,3 Q_{EY})$
8. $(0,9 - 0,2 S_{DS}) DL \dots f (0,3 Q_{EX}) \dots f (1 Q_{EY})$

Kombinasi yang digunakan untuk beban tsunami telah ditentukan pada pedoman FEMA P646-508, kombinasi tersebut di antaranya yaitu:

1. $1,2 DL + 1,0 T_S + 1,0 L_{REF} + 0,25 LL$
2. $0,9 DL + 1,0 T_S$

Dimana:

DL : Beban mati (*Dead Load*)

LL : Beban hidup (*Live Load*) fungsi ruang

L_{REF} : Beban hidup pengungsi

T_S : Beban tsunami (*Tsunami Load*)

Q_{EX} : Beban gempa arah x

Q_{EY} : Beban gempa arah y

f : Faktor redundansi (terdapat pada SNI 1726-2019, pasal 7.3.4)

S_{DS} : Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

3.7 Kinerja Struktur

Berdasarkan SNI-1726-2019 menyebutkan bahwa kinerja struktur gedung dapat dilihat dari beberapa aspek di antaranya simpangan antar tingkat, pengaruh P-delta, dan torsi. Penjelasan mengenai 3 (tiga) aspek dapat dilihat sebagai berikut.

1. Simpangan

Simpangan (*drift*) merupakan perpindahan lateral relatif antara dua tingkat bangunan yang berdekatan atau simpangan mendatar tiap tiap tingkat bangunan (*horizontal story to story deflection*). Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Bagi struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal Tipe 1a atau 1b, simpangan antar tingkat desain, Δ , harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik di atas dan di bawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris secara vertikal, di sepanjang salah satu bagian tepi struktur, di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Simpangan pusat massa di tingkat-x (δ_x) (mm) harus ditentukan dengan Persamaan 3.27 berikut.

$$z = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (3.27)$$

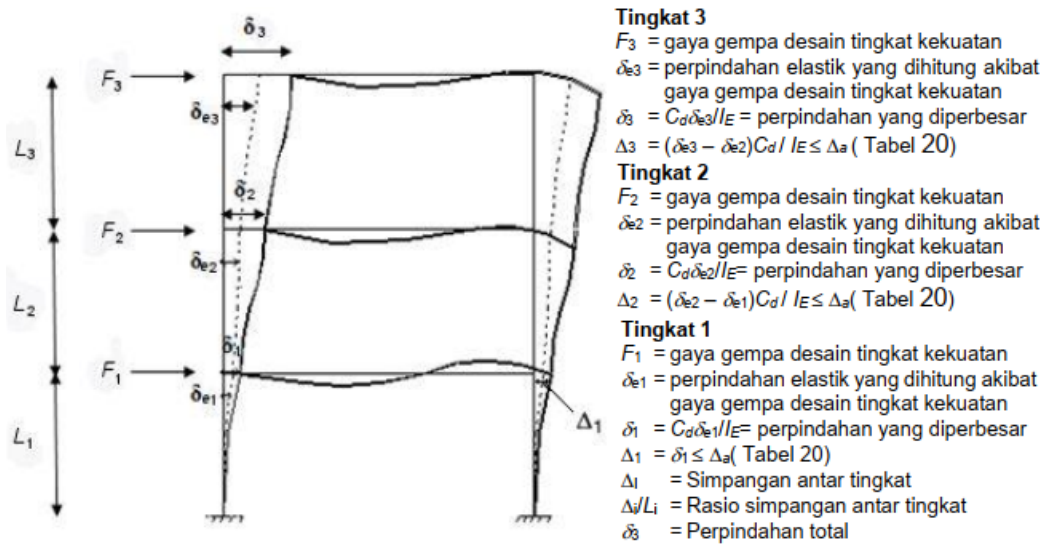
Keterangan:

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral

δ_{xe} = simpangan di tingkat-x yang disyaratkan pada pasal ini, yang ditentukan dengan analisis elastik

I_e = faktor keutamaan gempa

Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan izin digunakan, Δ harus dihitung menggunakan gaya seismik desain yang ditetapkan dalam 0 tanpa reduksi untuk desain tegangan izin. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.13 berikut.



Gambar 3.13 Penentuan Simpangan Antar Tingkat

Sumber: SNI-1726-2019

2. Pengaruh P-Delta

Efek P-delta disebabkan oleh eksentrisitas gaya gravitasi terhadap sumbu vertikal dari model struktur yang besarnya adalah perpindahan Δ . Pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (e) $\leq 0,10$. Koefisien stabilitas (e) dapat ditentukan dengan Persamaan 3.28 berikut.

$$e = \frac{P_x \Delta}{V_x h_{sx}} \quad (3.28)$$

Keterangan:

P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x, (kN); bila menghitung, faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0

Δ = simpangan antar tingkat desain seperti didefinisikan dalam 0, terjadi secara serentak dengan V_x (mm)

I_e = faktor keutamaan gempa

V_x = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat dan $x - 1$ (kN)

h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat (mm)

C_d = faktor pembesaran defleksi

Koefisien stabilitas (e) tidak boleh melebihi e_{max} yang dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3.29 berikut.

$$e_{max} = \frac{1}{2} \leq 0,25 \quad (3.29)$$

Keterangan:

= rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan $x - 1$. Rasio ini diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0

Jika koefisien stabilitas (e) lebih besar dari 0,10 tetapi kurang dari atau sama dengan e_{max} , faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P-delta pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diizinkan untuk mengalikan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan $1,0/(1 - e)$. Jika e lebih besar dari e_{max} , struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang. Jika pengaruh P-delta disertakan dalam analisis otomatis, Persamaan 3.21 tetap harus dipenuhi, akan tetapi, nilai e yang dihitung dari Persamaan 3.20 menggunakan hasil analisis P-delta diizinkan dibagi dengan $(1 + e)$ sebelum diperiksa dengan Persamaan 3.21.

3. Torsi

Torsi merupakan puntiran yang terjadi pada penampang tegak lurus terhadap sumbu utama dari elemen. Beban lateral dapat mengakibatkan torsi pada bangunan ketika beban lateral tersebut cenderung memutar bangunan tersebut dengan arah vertikal. Hal ini terjadi ketika pusat beban tidak tepat dengan pusat kekakuan elemen vertikal beban lateral sistem ketahanan struktur tersebut. Eksentrisitas diantara pusat kekakuan dan massa bangunan dapat menyebabkan gerakan torsi selama terjadinya gempa. Torsi ini dapat meningkatkan displacement pada titik ekstrim bangunan dan menimbulkan masalah pada elemen penahan lateral yang berlokasi pada tepi gedung.

Struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E, atau F, di mana ketidakberaturan torsi tipe 1a atau 1b harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan M_{ta} di masing-masing tingkat dengan faktor

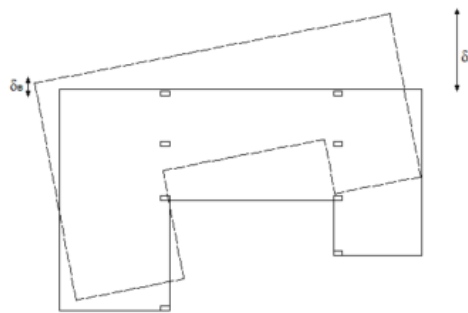
pembesaran torsi (A_x) seperti digambarkan dalam Gambar 3.6 dan ditentukan dari Persamaan 3.22 berikut.

$$e_{max} = \frac{\delta_{max}}{1,2(\delta_{avg})} \quad (3.30)$$

Keterangan:

max = perpindahan maksimum di tingkat x (mm) yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$ (mm)

avg = rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur di tingkat x yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$ (mm)



$$\delta_{avg} = \frac{\delta_A + \delta_B}{2} \quad A_x = \left[\frac{\delta_{max}}{1,2(\delta_{avg})} \right]^2$$

Gambar 3.14 Faktor Pembesaran Torsi

Sumber: SNI-1726-2019

3.8 Perencanaan Elemen Struktur

Perencanaan elemen struktur yaitu gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami pada tugas akhir ini, elemen – elemen struktur yang direncanakan di antaranya dimensi serta penulangan yang akan digunakan pada elemen struktur bangunan tersebut. Dimensi dan penulangan pada elemen struktur perlu dilakukan perencanaan agar struktur yang didesain memenuhi konsep perencanaan *Strong Column Weak Beam* (SCWB). Perencanaan yang akan didesain pada elemen – elemen struktur di antaranya sebagai berikut.

1. Perencanaan desain balok (dimensi serta penulangan)
2. Perencanaan desain kolom (dimensi serta penulangan)
3. Perencanaan desain pelat lantai (dimensi serta penulangan)
4. Perencanaan desain dinding geser / *shear wall* (dimensi serta penulangan)

5. Perencanaan desain pondasi (daya dukung, dimensi serta penulangan)
6. Perencanaan desain *pile cap* (dimensi serta penulangan)

Prosedur perhitungan perencanaan desain pada elemen – elemen struktur menggunakan pedoman perencanaan yaitu SNI 2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.

3.8.1 Perencanaan Elemen Struktur Balok

Dalam Schodek (1998) memaparkan bahwa dalam mendesain balok yang menjadi hal utama adalah bentang dan jarak balok, jenis dan besarnya beban, jenis material yang dipakai, ukuran dan bentuk penampang, dan juga cara penggabungan.

Saat melakukan proses mendesain suatu balok beton bertulang dengan memakai metode kekuatan atau metode ultimit, dengan melakukan pengambilan asumsi di antaranya yaitu:

1. Regangan yang terjadi antara beton serta tulangan baja memiliki nilai yang sama besar.
2. Regangan yang terjadi pada beton nilainya berbanding lurus dengan jarak terhadap sumbu netral penampang.
3. Modulus elastisitas (E_s) sebesar 200000 MPa, tegangan yang terjadi pada tulangan baja saat berada daerah elastis nilainya sama seperti nilai regangan dikali dengan nilai modulus elastisitas.
4. Kuat tarik dari beton diabaikan, dan penampang yang datar tidak akan terpengaruh setelah terjadi lentur.
5. Saat terjadi kondisi keruntuhan, regangan maksimum yang timbul di serat tekan beton terluar nilainya adalah: $\epsilon_{cu} = 0,003$.
6. Pada SNI 2847:2019 mengasumsikan bahwa saat perhitungan kuat rencana, distribusi tegangan tekan beton berbentuk persegi empat.

Perencanaan desain balok yang dilakukan saat merencanakan bangunan gedung evakuasi vertikal terbagi menjadi dua yaitu perencanaan dimensi dan perencanaan penulangan untuk lebih detail penjelasan dapat dilihat sebagai berikut.

1. Perencanaan Dimensi (*preliminary design*)

Perencanaan dimensi (*preliminary design*) pada balok dilakukan dengan mengacu pada pedoman SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Langkah dalam melakukan *preliminary design* balok di antaranya yaitu:

a. Ketinggian Balok Induk (h)

Penentuan tebal minimum balok untuk kondisi perlekatan menerus satu sisi berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 9.3.1.1, diisyaratkan yaitu:

$$j > \frac{L_{pj}}{18,5} \quad (3.31)$$

b. Lebar badan Balok (b_w)

$$\frac{3}{4}j \leq d \leq \frac{4}{5}j \quad (3.32)$$

c. Persyaratan SRPMK

Syarat mengenai batasan dimensi SRPMK diatur pada SNI 2847:2019 pasal 18.6.2 yaitu:

- 1) Bentang bersih (L_n) untuk komponen struktur, dimana nilai L_n tidak boleh lebih dari 4 kali tinggi efektif.

$$(3.33)$$

Lebar komponen (b_w), dimana nilai b_w tidak boleh kurang dari yang terkecil antara $0,3h$ dengan 250 mm.

$$— \quad (3.34)$$

$$\text{© ©} \quad (3.35)$$

- 2) Proyeksi lebar balok (B_{Balok}) yang lebih besar dari lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari c_2 serta $0,75 c_1$ pada masing – masing sisi kolom.

2. Penulangan lentur Balok

Persamaan yang digunakan dalam perencanaan tulangan lentur mengacu pada SNI 2847:2019, Persamaan yang digunakan dapat dilihat sebagai berikut.

$$\frac{M_u}{W_u} \leq \frac{M_{pr}}{W_u} \quad (3.36)$$

Berdasarkan Persamaan di atas, didapatkan nilai rasio (), dan dipilih pada nilai positif terkecil.

$$\frac{M_u}{W_u} \leq \frac{M_{pr}}{W_u} \quad (3.37)$$

$$\frac{M_u}{W_u} \leq \frac{M_{pr}}{W_u} \quad (3.38)$$

$$\frac{M_u}{W_u} \leq \frac{M_{pr}}{W_u} \quad (3.39)$$

$$\frac{M_u}{W_u} \leq \frac{M_{pr}}{W_u} \quad (3.40)$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$

3. Penulangan geser Balok

Agar menjamin nilai kuat geser lebih besar dari nilai kuat lentur sehingga:

$$\frac{V_e}{W_u} \geq \frac{M_{pr}}{W_u} \quad (3.41)$$

$$\frac{V_e}{W_u} \geq \frac{M_{pr}}{W_u} \quad (3.42)$$

Keterangan:

V_e = Gaya geser maksimum

M_{pr} = Momen *probable*

L_n = Panjang bentang

W_u = Beban maksimum

3.8.2 Perencanaan Elemen Struktur Kolom

Kolom merupakan salah satu elemen struktur arah vertikal yang memiliki fungsi khusus untuk memikul beban aksial tekan serta mempunyai rasio tinggi panjang terhadap dimensi terkecilnya adalah 3 (tiga) atau lebih. Secara umum kolom tidak hanya memikul beban aksial tekan tetapi secara bersamaan juga memikul momen lentur. Momen lentur dapat terjadi pada struktur kolom yang merupakan bagian dari portal gedung dikarenakan kolom harus memikul momen lentur dari elemen struktur lain seperti balok, maupun momen lentur yang terjadi karena adanya gaya – gaya lateral.

Secara umum kolom dapat dibedakan menjadi beberapa kategori di antaranya sebagai berikut.

1. Kolom berdasarkan beban yang bekerja

Kolom berdasarkan beban yang bekerja dapat dibedakan menjadi tiga bagian, di antaranya adalah:

- a. Kolom dengan beban aksial, dimana beban yang terjadi pada kolom dianggap bekerja melalui pusat penampang kolom.
- b. Kolom dengan beban eksentris, dimana beban yang terjadi pada kolom dianggap bekerja sejarak e dari pusat penampang kolom. Jarak e diukur berdasarkan pada sumbu x atau sumbu y yang dapat menyebabkan momen diantara kedua sumbu tersebut.
- c. Kolom dengan beban biaksial, dimana beban yang terjadi pada kolom bekerja di sembarang titik pada penampang kolom, maka dapat terjadi momen yang bekerja pada sumbu x dan sumbu y secara bersamaan.

2. Kolom berdasarkan panjangnya

Kolom berdasarkan panjangnya dapat dibedakan menjadi dua bagian, di antaranya adalah:

- a. Kolom pendek merupakan jenis kolom yang memiliki keruntuhan yang diakibatkan oleh hancurnya beton atau tulangan baja mengalami luluh yang berada dibawah kapasitas ultimit dari kolom.
- b. Kolom panjang merupakan jenis kolom yang didesain dengan menyertakan perhitungan rasio kelangsingan serta efek tekuk.

3. Kolom berdasarkan bentuk penampang

Kolom berdasarkan bentuk penampang dibedakan menjadi beberapa bentuk, di antaranya adalah:

- a. Kolom bentuk bujur sangkar
- b. Kolom bentuk persegi panjang
- c. Kolom bentuk lingkaran
- d. Kolom bentuk L
- e. Kolom bentuk segi delapan
- f. dan lain – lain

4. Kolom berdasarkan jenis tulangan geser pakai

Kolom dapat ditentukan bentuknya berdasarkan jenis tulangan geser yang akan digunakan, di antaranya adalah:

- a. Kolom menggunakan tulangan geser bentuk persegi yang dapat mengikat tulangan memanjang pada kolom, kemudian disusun memakai spasi atau jarak tertentu sepanjang bentang kolom.
 - b. Kolom menggunakan tulangan geser bentuk spiral yang dapat mengikat tulangan memanjang pada kolom dan dapat meningkatkan daktilitas pada kolom, kemudian disusun memakai spasi atau jarak tertentu sepanjang bentang kolom.
5. Kolom berdasarkan kekangan dalam arah lateral, kolom dapat menjadi bagian dari keseluruhan portal yang dikekang terhadap goyangan maupun juga dapat menjadi bagian dari portal bergoyang. Kekangan dalam arah lateral untuk structural beton dapat diberikan oleh dinding geser.
6. Kolom berdasarkan material
- Kolom berdasarkan material dibedakan menjadi beberapa bentuk, di antaranya adalah:
- a. Kolom beton prategang
 - b. Kolom beton bertulang biasa
 - c. Kolom komposit (terbuat dari campuran beton dan profil baja)

3.8.2.1 Persyaratan Elemen Struktur Kolom

Persyaratan yang harus dipenuhi oleh kolom agar sesuai SRPMK dengan menggunakan pedoman SNI 2847-2019, di antaranya sebagai berikut.

1. Dimensi minimum

Syarat mengenai dimensi minimum kolom di antaranya yaitu:

- a. Beban aksial (P_u) yang terjadi pada kolom harus lebih dari $0,1.A_g.h \phi e$
- b. Dimensi penampang kolom yang terpendek tidak boleh kurang dari 300 mm
- c. Rasio dimensi penampang yang terpendek terhadap dimensi yang tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4

2. Tulangan memanjang

Syarat mengenai tulangan memanjang kolom di antaranya yaitu:

- a. Luas tulangan memanjang (A_{st}) tidak boleh kurang dari 0,01. A_g atau lebih dari $0,06.A_g$
- b. Kolom dengan tulangan geser tertutup bulat, dimana jumlah tulangan longitudinal minimal berjumlah 6 buah

3. Tulangan transversal

Syarat mengenai tulangan transversal kolom di antaranya yaitu:

- a. Luas penampang dengan total tulangan geser tidak boleh kurang dari yang disyaratkan

$$\frac{A_{sh}}{s} \geq \frac{A_g}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{yt}}{f_c} \quad (3.43)$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \geq \frac{A_g}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{yt}}{f_c} \quad (3.44)$$

Keterangan:

A_{sh} = Luas penampang total tulangan transversal

s = Sengkang

b = lebar penampang beton yang terkekang

h ϕ e = kuat tekan beton

A_g = Luas bruto penampang beton

A_{ch} = Luas penampang dari Sengkang terluar

f_{yt} = Kekuatan leleh tulangan

- b. Luas tulangan terpasang harus lebih besar dari luas penampang total tulangan transversal

$$A_{sh} \geq A_g \cdot \frac{f_{yt}}{f_c} \quad (3.45)$$

4. Spasi tulangan transversal

Spasi tulangan geser atau Sengkang pada daerah sepanjang l_o ditentukan dengan syarat sebagai berikut.

- a. $\frac{1}{4}$ dimensi kolom terkecil
- b. 6 kali diameter tulangan longitudinal
- c. S_o didefinisikan pada Persamaan berikut.

$$S_o = \frac{A_g}{n \cdot A_{st}} \quad (3.46)$$

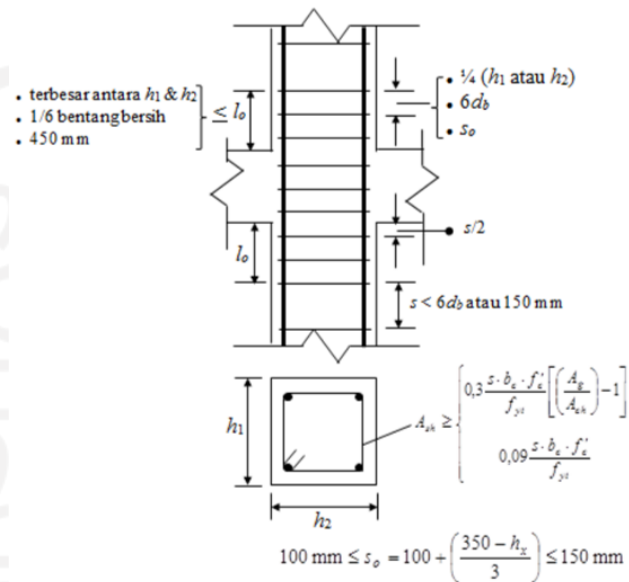
$$\quad (3.47)$$

Keterangan:

S_o = Spasi pusat ke pusat tulangan transversal

h_x = Spasi horizontal kait silang

Detail penulangan transversal kolom dapat dilihat pada Gambar 3.15 berikut.



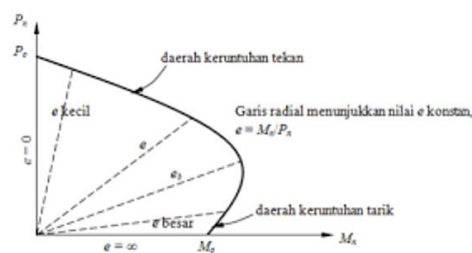
Gambar 3.15 Syarat Penulangan Transversal Kolom

3.8.2.2 Diagram Interaksi Kolom

Diagram interaksi kolom dibuat dengan 6 kondisi di antaranya adalah:

1. Kondisi berimbang (*balance*)
2. Kondisi patah desak (*compression failure*)
3. Kondisi patah tarik (*tension failure*)
4. Kondisi lentur murni ($P_n = 0$)
5. Kondisi tarik murni
6. Kondisi desak sentris ($M_n = 0$)

Ilustrasi diagram interaksi kolom dapat dilihat pada Gambar 3.16 Sebagai berikut.



Gambar 3.16 Diagram Interaksi Kolom

Berdasarkan 6 (enam) kondisi di atas, maka perhitungan yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan berikut.

$$\text{---} \quad (3.48)$$

$$\text{---} \quad (3.49)$$

$$\text{---} \quad (3.50)$$

$$\text{---} \quad (3.51)$$

$$\text{---} \quad (3.52)$$

$$\text{---} \quad (3.53)$$

$$\text{---} \quad (3.54)$$

$$\text{---} \quad (3.55)$$

$$\text{---} \quad (3.56)$$

$$\text{---} \quad (3.57)$$

$$\text{---} \quad (3.58)$$

$$\text{---} \quad (3.59)$$

Keterangan:

a_b = Tinggi blok tegangan

d = Jarak dari serat tekan ke pusat tulangan tarik longitudinal

f_y = Kuat leleh yang disyaratkan

c = Jarak serat tekan ke sumbu netral

ϵ_c = Regangan beton

f_s = Tegangan tarik baja tulangan

ϵ_s = Regangan tulangan baja

E_s = Modulus elastisitas tulangan baja

C_b = Jarak serat tekan beton terluar ke sumbu tinjauan

C_s = Besarnya nilai terkendali tekan baja

C_c = Besarnya nilai terkendali tekan beton

T_s = Besarnya nilai terkendali tarik baja

P_T = Kuat tarik murni

P_{nb} = Kuat desak nominal

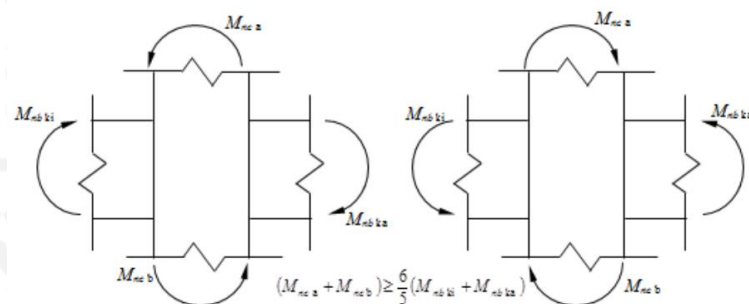
P_o = Beban aksial murni

M_{nb} = Momen nominal

3.8.2.3 Strong Column Weak Beam (SCWB)

Perencanaan elemen struktur kolom memiliki konsep yaitu kuat balok lemah atau biasa disebut dengan *Strong Column Weak Beam* (SCWB) yang merupakan sebuah inovasi perencanaan struktur dengan teknik membuat sistem struktur menjadi fleksibel sehingga dapat berdeformasi ketika gempa terjadi. Konsep SCWB sering digunakan pada saat pengecekan pada kolom agar tidak terjadi sendi plastis selama gempa terjadi serta diharapkan struktur kolom tidak mengalami kegagalan terlebih dahulu sebelum balok.

Berdasarkan SNI 2847-2019 menyatakan bahwa batas minimum yang diizinkan adalah $\Sigma M_c \geq (6/5) \cdot \Sigma M_g$, dimana nilai ΣM_c merupakan jumlah kuat lentur nominal kolom yang merangka pada suatu hubungan balok – kolom sesuai dengan arah gaya lateral yang ditinjau dan menghasilkan nilai Momen nominal (M_n) terkecil, sedangkan nilai ΣM_g merupakan jumlah kuat lentur nominal balok yang merangka. Penjelasan konsep SCWB di detailkan melalui Gambar 3.17 Berikut.



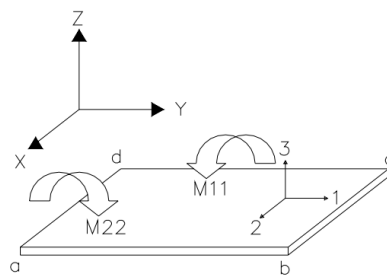
Gambar 3.17 Strong Column Weak Beam (SCWB)

Sumber: SNI-1726-2019

3.8.3 Perencanaan Elemen Struktur Pelat

Pelat merupakan sebuah panel – panel yang terbuat dari material beton bertulang yang dapat bertulangan dua maupun satu arah tergantung pada sistem struktur. Apabila perbandingan bentang panjang terhadap lebar pada struktur pelat nilainya kurang dari 2 maka akan terjadi lendutan pada kedua arah sumbu pelat.

Beban pelat ditumpu dengan kedua arah oleh masing – masing balok pendukung di keempat sisi pelat. Jika panjang pelat sama seperti lebar pelat, maka perilaku yang terjadi adalah keempat balok yang ada di sisi pelat akan menerima beban yang sama dari pelat. Apabila pelat memiliki panjang yang lebih kecil dibanding dengan lebar pelat, maka balok yang memiliki bentang lebih panjang akan menerima beban lebih besar daripada balok bentang pendek atau disebut juga dengan penulangan pelat satu arah. Dimensi bidang pelat L_x dan L_y dapat dilihat pada Gambar 3.15 sebagai berikut.



Gambar 3.18 Ilustrasi Arah Sumbu Global dan Lokal Pada Pelat

Terdapat langkah – Langkah dalam merencanakan penulangan pelat di antaranya yaitu:

1. Melakukan penentuan tentang persyaratan batas, tumpuan serta panjang bentang.
2. Melakukan penentuan tebal pelat lantai dengan mengacu SNI-1726-2019.

$$\frac{L_y}{L_x} \geq 2 \quad (3.60)$$

$$\frac{L_y}{L_x} < 2 \quad (3.61)$$

Tebal pelat tidak boleh kurang dari 90 mm

Keterangan:

$$\beta = L_y/L_x$$

$\beta > 2$, Pelat satu arah

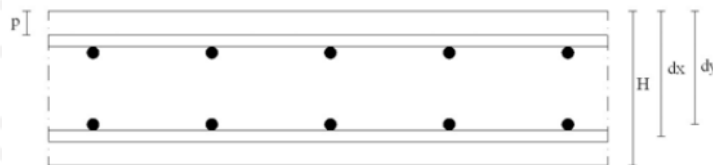
$\beta \leq 2$, Pelat dua arah

L_n = bentang terpanjang pelat

3. Selanjutnya melakukan perhitungan beban yang bekerja pada pelat lantai (q_u), yang terdiri dari beban hidup (LL) serta beban mati (DL). Dengan kombinasi pembebanan: $1,2 DL + 1,6 LL$
4. Menentukan Momen Ultimit (M_u) dengan bantuan *software* SAP2000.
5. Menghitung penulangan pelat baik arah x maupun arah y
Data – data yang dibutuhkan adalah: tebal pelat (h), tebal selimut beton (ρ_b), Momen Ultimit (M_u), diameter tulangan, serta tinggi efektif pelat.
6. Menentukan tinggi efektif pelat arah x dan arah y
Berdasarkan SNI-1726-2019, Persamaan untuk menentukan tinggi efektif dapat dilihat sebagai berikut.

$$d_x = h - \rho_b - \frac{1}{2} \emptyset \quad (3.62)$$

$$d_y = h - \rho_b - \frac{1}{2} \emptyset \quad (3.63)$$



Gambar 3.19 Ilustrasi Tinggi Efektif Pelat

7. Menentukan momen yang menentukan — (3.64)
8. Mengecek syarat rasio penulangan

Nilai rasio penulangan minimum:

$$\rho_{min1} = \frac{—}{—} \quad (3.65)$$

$$\rho_{min2} = \frac{—}{—} \quad (3.66)$$

dipilih nilai terbesar antara dari ρ_{min1} dan ρ_{min2} .

Nilai rasio penulangan:

$$\rho = \frac{—}{—} \quad (3.67)$$

Nilai rasio penulangan pakai diambil terbesar antara $\rho_{min pakai}$ dan ρ .

9. Menghitung luas tulangan (A_s) untuk arah x dan arah y

$$A_s = \rho_b \times b \times d \quad (3.68)$$

10. Menghitung spasi tulangan

$$S = \frac{A_s}{\rho_b} \quad (3.69)$$

3.8.4 Perencanaan Elemen Struktur Tangga

Elemen struktur yang dapat melayani aksesibilitas antar tingkat pada gedung adalah struktur tangga. Tangga adalah elemen struktur yang wajib ada di bangunan bertingkat banyak meskipun terdapat fasilitas transportasi vertikal lainnya, hal tersebut dikarenakan struktur tangga tidak membutuhkan tenaga mesin.

Parameter yang harus menjadi perhatian saat merencanakan struktur tangga di antaranya sebagai berikut.

2. Tinggi antar tingkat
3. Jumlah anak tangga
4. Tebal pelat beton
5. Tebal selimut beton
6. Tebal pelat tangga
7. Tinggi *antrede* (a)
8. Tinggi *optrede* (o)
9. Kemiringan tangga
10. Lebar anak tangga
11. Lebar bordes

Langkah – Langkah dalam merencanakan struktur tangga di antaranya sebagai berikut.

1. Menentukan *optrede* dan *antrede*

Untuk menentukan *optrede* dan *antrede* terdapat syarat yaitu:

- 1) Tinggi antar tingkat bersih (h) sudah diketahui karena terdapat di gambar teknis.
- 2) Syarat lebar bordes (L_b) harus lebih besar dari 1,2 meter.
- 3) Syarat ideal untuk tinggi *optrede* (s) yaitu ≤ 20 cm, sebagai contoh diambil asumsi awal tinggi *optrede* (s) = 16 cm, sehingga jumlah anak tangga adalah:

$$\text{Jumlah anak tangga} = h / s \text{ (dibulatkan ke atas)} \quad (3.70)$$

Sehingga tinggi *optrede* pakai (*Spakai*):

$$Spakai = h / \text{Jumlah anak tangga} \quad (3.71)$$

4) Syarat ideal untuk tinggi *optrede* (*a*) yaitu:

$$a \geq 30 \text{ cm} \quad (3.72)$$

5) Tangga dibagi menjadi dua bagian yaitu anak tangga dan bordes, maka:

$$\text{Panjang anak tangga } (L_{at}) = n \times a \quad (3.73)$$

$$\text{Lebar bordes } (L_b) = L - L_{at} \quad (3.74)$$

Keterangan:

$$s = \textit{optrede} \text{ (cm)}$$

$$Spakai = \textit{optrede} \text{ pakai (cm)}$$

$$a = \textit{antrede} \text{ (cm)}$$

$$L_b = \text{lebar bordes (cm)}$$

2. Menentukan tebal pelat tangga dan lebar tangga

Untuk menentukan tebal pelat tangga dan lebar tangga yang memiliki panjang bentang $\pm 4,5$ meter, terdapat syarat yaitu:

d. Diambil nilai tebal pelat tangga (T_1) sebesar 15 cm, dan untuk nilai tebal bordes (T_3) sama dengan nilai tebal pelat tangga (T_1)

e. Syarat sudut kemiringan yang ideal adalah 30° sampai 35° , sehingga Persamaan untuk mencari sudut kemiringan adalah:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{\text{---}}{\text{---}} \right) \quad (3.75)$$

f. Nilai tebal anak tangga yaitu:

$$T_2 = \text{---} \quad (3.76)$$

Keterangan:

$$\alpha = \text{sudut kemiringan } (^\circ)$$

$$T_1 = \text{tebal pelat tangga (cm)}$$

$$T_2 = \text{tebal anak tangga (cm)}$$

$$T_3 = \text{tebal bordes (cm)}$$

$$s = \textit{optrede} \text{ (cm)}$$

3. Perencanaan tulangan tangga

Perhitungan gaya – gaya dalam yang dialami oleh struktur tangga secara keseluruhan dilakukan dengan memakai bantuan program SAP2000 V.22. Perhitungan penulangan untuk pelat tangga dapat mengikuti prosedur yang sama seperti perhitungan penulangan pelat lantai setelah diperoleh *output* SAP2000 V.22 yaitu gaya – gaya dalam yang dialami oleh struktur tangga.

3.8.5 Perencanaan Elemen Struktur Dinding Geser

3.8.5.1 Persyaratan Tulangan Dinding Geser

Tulangan geser pada dinding geser harus diberikan pada dua arah tegak lurus pada bidang dinding. Rasio tulangan minimum untuk arah vertikal dan arah horizontal digunakan syarat – syarat sebagai berikut.

1. Jika gaya geser desain, $V_u > 0,083 \cdot \lambda \cdot A_{cv}$, rasio penulangan ρ_l dan ρ_t tidak boleh kurang dari 0,0025.

$$\rho_l \geq 0,0025 \quad (3.77)$$

$$\rho_t \geq 0,0025 \quad (3.78)$$

Keterangan:

ρ_l = Rasio luasan tulangan yang tersebar pada bidang yang tegak lurus bidang A_{cv} , terhadap luasan gross beton A_{cv} .

ρ_t = Rasio luasan tulangan yang tersebar pada bidang yang paralel bidang A_{cv} , terhadap luasan gross beton yang tegak lurus terhadap tulangan tersebut.

2. Jika gaya geser desain, $V_u < 0,083 \cdot \lambda \cdot A_{cv}$, maka dapat digunakan rasio tulangan minimum seperti pada dinding struktural
3. Jarak tulangan untuk masing – masing arah pada dinding struktural tidak boleh melebihi 450 mm
4. Paling sedikit harus dipasang tulangan dalam dua lapis apabila $V_u > 0,17 \cdot \lambda \cdot A_{cv}$.

3.8.5.2 Kuat Geser Dinding Geser

Nilai kuat geser pada dinding geser dikatakan mencukupi jika terpenuhi kondisi berikut.

(3.79)

Keterangan:

- V_u = Gaya geser terfaktor
 V_n = Kuat geser nominal dinding geser
 Φ = Faktor reduksi kekuatan

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.9.4.1, kuat geser nominal ditentukan dengan Persamaan berikut.

$$\text{---} \quad (3.80)$$

Keterangan:

- α_c = 0,25 untuk ---
 = 0,17 untuk ---
 = bervariasi secara linier antara 0,25 dan 0,17 untuk --- antara 1,5 dan 2,0
 h_w = Tinggi dinding
 l_w = Tinggi dinding

3.8.5.3 Perencanaan untuk Torsi Dinding Geser

Berdasarkan pasal 11.5.3.1 (b) SNI 2847-2013, kekuatan momen torsi dinyatakan dengan Persamaan berikut.

$$\text{---} \quad (3.81)$$

Keterangan:

- V_u = Gaya geser terfaktor
 T_u = Gaya torsi terfaktor
 b = Tebal dinding geser
 A_{oh} = Luas yang dilingkupi oleh garis pusat tulangan torsi
 d = Jarak dari serat tekan terjauh ke pusa lengan
 $h \phi e$ = Kuat tekan beton
 P_h = Keliling garis pusat tulangan torsi
 Φ = Faktor reduksi kekuatan

Berdasarkan pasal 11.5.3.5 SNI 2847-2013, jika T_u lebih besar dari torsi terkecil yang terdeteksi, sehingga desain penampang harus didasarkan pada:

(3.82)

Berdasarkan pasal 11.5.3.7 SNI 2847-2013, luas tulangan longitudinal untuk menahan torsi, A , tidak boleh dari:

$$\text{_____} \quad (3.83)$$

Keterangan:

T_n = Gaya torsi nominal

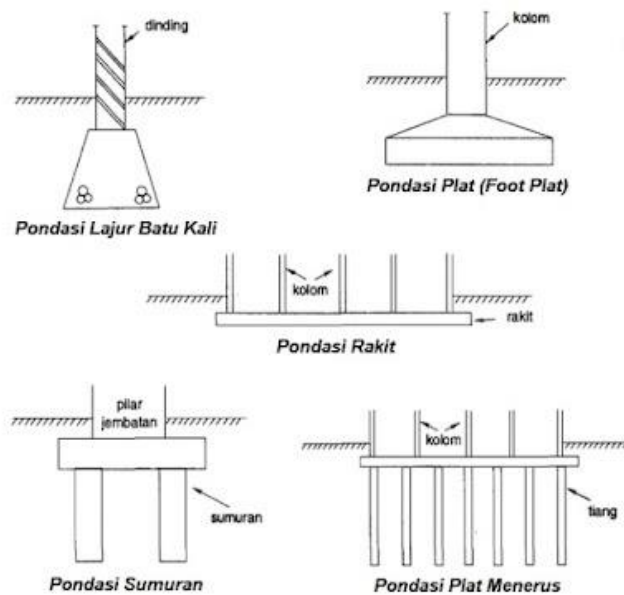
A_0 = Luas *brutto*

s = jarak atau spasi tulangan

θ = Sudut antara sumbu serat

3.8.6 Perencanaan Elemen Struktur Pondasi

Menurut Hardiyatmo, H.C. (1996) pondasi merupakan bagian elemen struktur terendah dari keseluruhan bangunan yang memiliki fungsi meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang berada dibawahnya. Pondasi diklasifikasi menjadi 2 (dua) bagian yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dalam diartikan sebagai pondasi yang mendukung beban secara langsung, seperti pondasi telapak, pondasi rakit dan pondasi memanjang. Sedangkan pondasi dalam diartikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batuan yang relatif jauh dari permukaan tanah, contohnya adalah pondasi sumuran dan pondasi tiang. Detail jenis – jenis pondasi dapat dilihat pada Gambar 3.20 Berikut.



Gambar 3.20 Jenis – Jenis Pondasi

Sumber: Teknik Fondasi 1 (Hardiyatmo, H.C, 1996)

3.8.6.1 Daya Dukung Ijin Tiang Pondasi

Menurut Pamungkas, A., dan Erny, H. (2013), mengungkapkan bahwa daya dukung ijin tiang ditinjau berdasarkan 2 (dua) hal di antaranya adalah kekuatan ijin tekan dan kekuatan ijin tarik. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh berbagai kondisi tanah dan kekuatan material dari tiang itu sendiri.

3.8.6.2 Daya Dukung Ijin Tekan Pondasi

Menurut Pamungkas, A., dan Erny, H. (2013), Daya dukung ijin tekan pondasi tiang terhadap kekuatan tanah dianalisis menggunakan Persamaan berikut. Berdasarkan data N-SPT (Meyerhof)

$$\text{—} \text{—} \text{—} \quad (3.84)$$

Keterangan:

- P_a = Daya dukung ijin tekan tiang
- q_c = Tahanan ujung konus sondir
- A_p = Luas penampang tiang
- T_f = Total friksi atau jumlah hambatan lekat
- A_{st} = Keliling penampang tiang
- FK_1, FK_2 = Daya dukung ijin tekan tiang

3.8.6.3 Daya Dukung Ijin Tarik Pondasi

Daya dukung ijin tarik tiang diperoleh dari nilai terkecil antara daya dukung ijin dengan daya dukung ijin tekan tiang pondasi.

3.8.6.4 Jumlah Tiang yang Dibutuhkan

Menurut Pamungkas, A., dan Erny, H. (2013), penentuan jumlah tiang yang diperlukan harus dihitung pada satu titik kolom menggunakan beban aksial dengan kombinasi beban $DL + LL$ (beban tidak terfaktor). Jumlah tiang yang diperlukan ditentukan dengan cara membagi gaya aksial yang terjadi pada daya dukung tiang atau dapat dilihat pada Persamaan berikut.

$$\text{---} \quad (3.85)$$

Keterangan:

n_p = Jumlah tiang

P = Tahanan ujung konus sondir

P_{all} = Daya dukung ijin tiang

3.8.6.5 Efisiensi Kelompok Tiang

Menurut Pamungkas, A., dan Erny, H. (2013), Perhitungan jumlah tiang pada Persamaan (3.) masih belum sempurna karena belum dikurangi dengan adanya pengurangan daya dukung yang disebabkan oleh tumpang tindih garis – garis tegangan dari tiang yang saling berdekatan (*group action*). Pengurangan daya dukung dinyatakan sebagai 1 (satu) angka efisiensi, perhitungan efisiensi kelompok tiang dapat dilihat pada Persamaan berikut.

$$\text{---} \quad (3.86)$$

Keterangan:

E_g = Efisiensi kelompok tiang

θ = $^{\circ} \check{s}^a$ – (derajat)

s = Jarak antar tiang

D = Diameter atau lebar penampang tiang

n = Jumlah tiang dalam satu baris

m = Jumlah tiang dalam satu kolom

3.8.6.6 Beban Maksimum Tiang pada Kelompok Tiang

Menurut Pamungkas, A., dan Erny, H. (2013), tiang – tiang akan mengalami gaya tekan atau tarik yang diakibatkan karena adanya beban – beban vertikal yang dapat mempengaruhi formasi tiang dalam satu kelompok. Sehingga perlu dilakukan kontrol agar memastikan tiang – tiang masih dapat menahan beban struktur dari atas sesuai dengan daya dukung masing – masing tiang. Momen serta beban aksial yang bekerja akan diteruskan kepada kelompok tiang dan juga pile cap dengan memakai rumus elastisitas dengan asumsi pile cap kondisi kaku sempurna, sehingga pengaruh beban yang bekerja tidak membuat pile cap mengalami deformasi.

$$\dots \dots \dots \quad (3.87)$$

Keterangan:

P_{maks} = Beban maksimum yang dapat dipikul oleh tiang

P_u = Gaya aksial yang terjadi

M_x = Momen yang bekerja tegak lurus sumbu x

M_y = Momen yang bekerja tegak lurus sumbu y

Y_{maks} = Jarak tiang arah sumbu y terjauh

X_{maks} = Jarak tiang arah sumbu x terjauh

ΣX^2 = Jumlah kuadrat X

ΣY^2 = Jumlah kuadrat Y

n_x = Jumlah tiang dalam satu baris arah sumbu x

n_y = Jumlah tiang dalam satu baris arah sumbu y

n_p = Jumlah total tiang

3.8.6.7 Penulangan Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*)

Penulangan pada pondasi tiang bor (*bored pile*) sama seperti penulangan kolom, yang menjadi perbedaan adalah bentuk penampang yang dipakai, dimana untuk pondasi *bored pile* berbentuk lingkaran. Langkah – Langkah dalam penulangan pondasi *bored pile* di antaranya sebagai berikut.

1. Luas tulangan penampang tiang (A_g)

Persamaan yang digunakan untuk mencari luas penampang tiang yaitu:

$$- \quad (3.88)$$

Keterangan:

A_g = Luas penampang tiang (mm^2)

D = Diameter satu buah tiang (mm)

2. Luas tulangan pokok (A_s) (3.89)

Keterangan:

A_g = Luas penampang tiang (mm^2)

A_s = Luas tulangan pokok (mm^2)

ρ = Rasio tulangan (%)

3. Luas satu tulangan (A_{1D}) (3.90)

Keterangan:

A_{1D} = Luas satu tulangan (mm^2)

D = Diameter tulangan (mm)

4. Jumlah tulangan (n) (3.91)

— (hasil dibulatkan ke atas)

Keterangan:

n = Jumlah tulangan (buah)

A_{1D} = Luas satu tulangan (mm^2)

A_s = Luas tulangan pokok (mm^2)

3.8.7 Perencanaan Elemen Struktur *Pile Cap*

Menurut Pamungkas, A., dan Erny, H. (2013), *pile cap* mempunyai fungsi untuk mengikat tiang – tiang pondasi sehingga menjadi satu kesatuan serta dapat menyalurkan beban dari kolom menuju tiang pondasi, *pile cap* umumnya terbuat dari material beton dengan asumsi yaitu:

1. *Pile cap* sangat kaku.
2. Ujung atas tiang menggantung pada *pile cap*, sehingga tidak memiliki momen lentur yang diakibatkan oleh *pile cap* pada tiang.

3. Tiang adalah sebuah kolom pendek bersifat elastis. Sehingga distribusi tegangan serta deformasi membentuk bidang rata.

3.8.7.1 Penulangan *Pile Cap*

Perhitungan penulangan pile cap dilakukan dengan menggunakan persamaan – persamaan sebagai berikut.

1. Momen nominal (M_n)

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} \quad (3.92)$$

Keterangan:

M_n = Momen nominal (kNm)

M_u = Momen ultimit (kNm)

Φ = Faktor reduksi

2. Rasio penulangan

Nilai rasio penulangan minimum:

$$\rho_{min1} = \frac{14}{f_y}$$

$$\rho_{min2} = \frac{200}{f_y}$$

dipilih nilai terbesar antara dari ρ_{min1} dan ρ_{min2} .

Nilai rasio penulangan:

$$\rho = \frac{M_n}{f_y \cdot b \cdot d^2} \quad (3.93)$$

Nilai rasio penulangan pakai diambil terbesar antara $\rho_{min pakai}$ dan ρ .

3. Menghitung luas tulangan (A_s) untuk arah X dan arah Y

$$A_s = \rho \times b \times d \quad (3.94)$$

4. Spasi tulangan

$$S = \frac{A_s}{\rho} \quad (3.95)$$

3.8.7.2 Tinjauan Terhadap Geser

Perilaku pile cap sama seperti perilaku struktur pondasi yang mana terhadap geser tidak berbeda dengan balok dan juga pelat.

1. Kontrol terhadap geser satu arah

Penampang kritis terhadap geser yang terjadi pada sebuah *pile cap* yang terletak sejauh d dari muka reaksi terpusat dan terletak pada bidang yang melintang pada

seluruh lebar pelat. Jika yang bekerja hanya gaya lentur dan gaya geser, maka kekuatan yang diberikan oleh beton dapat diperhitungkan dengan Persamaan berikut.

$$V_n \leq \phi V_c \quad (3.96)$$

Gaya geser nominal penampang jarak d dari muka kolom harus lebih kecil atau sama dengan kekuatan geser beton ($V_n \leq V_c$), Sehingga:

$$V_n \leq V_c \quad (3.97)$$

Keterangan:

V_u = Gaya geser sejarak d dari muka kolom

V_c = Gaya geser beton

b = Lebar pondasi (m)

d = $h - d'$

Φ = Faktor reduksi untuk geser

2. Kontrol terhadap geser dua arah

Penampang kritis tegak lurus yang terjadi pada sebuah *pile cap* yang memiliki keliling dengan setiap sisi sebesar b_o , letak penampang kritis terjadi sejarak $\frac{1}{2} d$ dari muka tumpuan. Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 13.12.2.1, nilai kuat geser beton atau V_c adalah nilai terkecil dari

$$\phi V_{c1} = \phi \times \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right) \times \frac{V_u}{b_o d} \quad (3.98)$$

$$\phi V_{c2} = \phi \times \left(\frac{M_2}{M_1} + 2 \right) \times \frac{V_u}{b_o d} \quad (3.99)$$

$$\phi V_{c3} = \phi \times \frac{V_u}{b_o d} \quad (3.100)$$

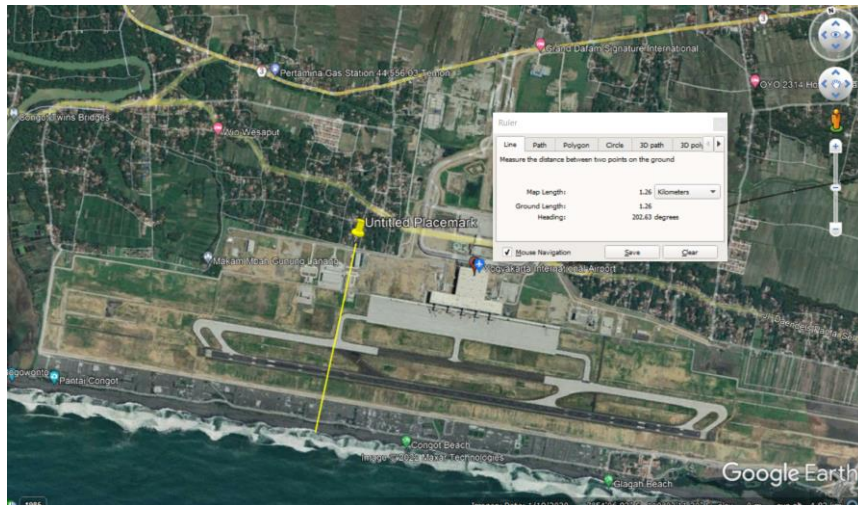
BAB IV METODE PERANCANGAN

Pada Bab III telah dibahas tentang landasan teori yang digunakan dalam perancangan ini untuk acuan dalam pelaksanaan perencanaan struktur gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami. Pada Bab IV akan menjelaskan metode perancangan yang akan dilakukan untuk mencapai tujuan dari perancangan ini yaitu untuk merencanakan struktur gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami berlandaskan peraturan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan FEMA P646-508.

4.1 Lokasi Objek Perancangan

Kawasan *Yogyakarta International Airport* (YIA) merupakan tempat transportasi udara berupa bandar udara (bandara) yang terdapat fasilitas pendukung dibangun dan dikelola oleh PT. Angkasa Pura I (Persero) dengan luas kawasannya yaitu 637 hektar dan menghabiskan anggaran kurang lebih sebesar Rp. 9.000.000.000.000. Kawasan ini selesai dibangun pada tahun 2019, seiring beroperasinya bandara *Yogyakarta International Airport* (YIA) maka dilakukan pengembangan pada kawasan di sekeliling bandara dengan membuat kota bandara (*airport city*).

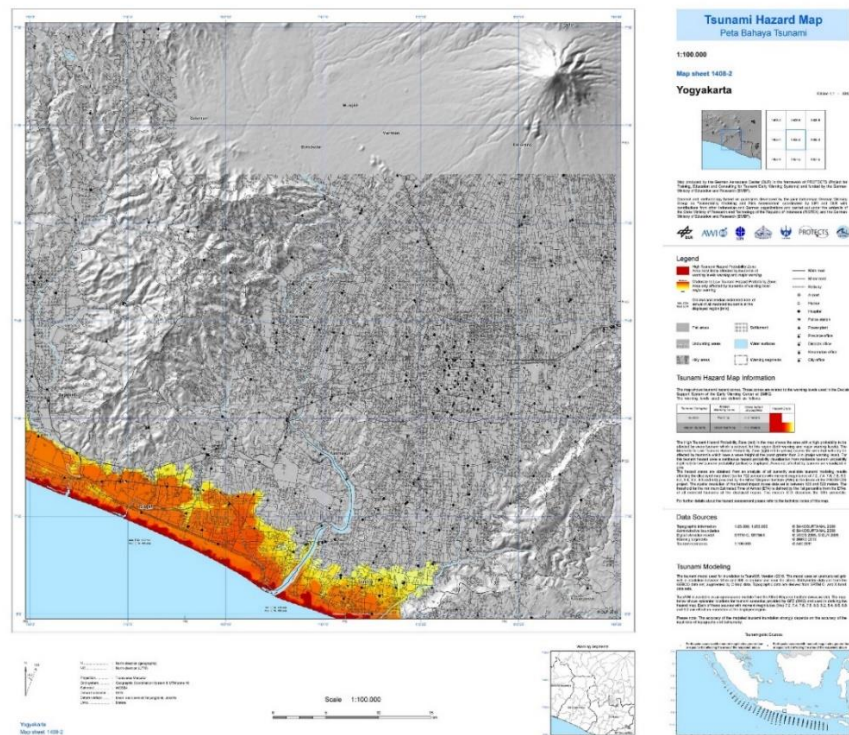
Kota bandara (*airport city*) direncanakan akan dibangun dengan luas lahan sebesar 83 hektar. Kawasan kota bandara (*airport city*) mengusung konsep budaya dan kenyamanan (*cultural and leisure*) bersifat berkembang. Kota bandara (*airport city*) dapat diperuntukkan sebagai area perkantoran, wisata maupun pemukiman yang terintegrasi dengan kawasan bandara YIA. Lokasi rencana dibangunnya gedung dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Rencana Lokasi Perancangan Gedung

Sumber: *Google Earth*

Kawasan YIA terletak di pesisir pantai wilayah Kabupaten Kulon Progo, dimana wilayah Kabupaten Kulon Progo merupakan salah satu kabupaten yang memiliki tingkatan risiko tinggi terhadap bencana alam yaitu bencana tsunami. Jika bencana alam tsunami terjadi di kawasan YIA termasuk kota bandara, dikhawatirkan terjadi risiko cukup parah yang ditimbulkan seperti rusaknya bangunan – bangunan dan yang paling utama adalah terdapatnya korban jiwa tidak terselamatkan akibat adanya bencana tsunami tersebut. Wilayah Kabupaten Kulon Progo merupakan wilayah pertemuan kedua lempeng sehingga dengan adanya pergerakan antar lempeng tersebut akan berpotensi membuat gelombang besar (tsunami) yang terjadi pada lautan pantai selatan. Tingkat potensi tinggi terhadap tsunami di wilayah kabupaten Kabupaten Kulon Progo atau lebih tepatnya pada kawasan YIA dengan ditandainya zona berwarna merah pada daerah tersebut, lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut.

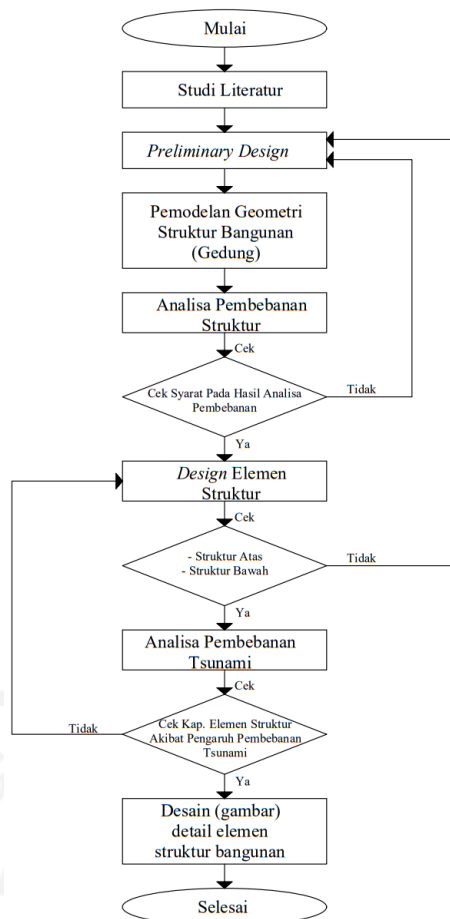


Gambar 4.2 Peta Ancaman Tsunami Wilayah Kulon Progo
 Sumber: BPBD Kulon Progo (2020)

Berdasarkan peta ancaman tsunami wilayah kulon progo yang dikeluarkan oleh BPBD Kulon Progo tahun 2020, kedalaman inundasi pada lokasi Kawasan YIA adalah 3 – 4 meter, kedalaman inundasi adalah ketinggian gelombang tsunami di darat diukur terhadap permukaan tanah. Perkiraan kedalaman inundasi tsunami didasarkan oleh kontur daerah kulon progo serta prediksi gelombang tsunami di daerah kulon progo. Salah satu cara untuk meminimalisir risiko korban jiwa yang diakibatkan oleh tsunami maka diperlukan mitigasi tsunami yaitu dengan cara membangun Tempat Evakuasi Vertikal (TES) berupa merencanakan atau membangun Gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami pada kawasan YIA. Tempat TES yang nantinya akan direncanakan atau dibangun di kota bandara dengan memiliki fungsi utama yaitu gedung perkantoran dan dapat dijadikan sebagai tempat evakuasi vertikal tsunami dengan jumlah 9 tingkat dan direncanakan jarak gedung dari pantai ...1260 meter pada kawasan YIA.

4.2 Prosedur Perencanaan Struktur

Struktur gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami pada kawasan *Yogyakarta International Airport (YIA)* yang akan dibuat pada tugas akhir ini, terdapat prosedur atau tahapan dalam merencanakan keseluruhan struktur dari bangunan tersebut mulai dari bagian struktur atas maupun bagian struktur bawah. Prosedur atau tahapan untuk merencanakan struktur tersebut dapat dilihat pada bagan alir (*flowchart*) yang dapat dilihat pada Gambar 4.3 sebagai berikut.



Gambar 4.3 Bagan Alir (*Flowchart*) Perencanaan Tugas Akhir

Penjelasan prosedur atau tahapan pengerjaan tugas akhir yaitu perencanaan struktur gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami berdasarkan *flowchart* di atas di antaranya adalah sebagai berikut.

1. Tahap pertama yaitu studi literatur, tahap ini memiliki tujuan untuk mendapatkan landasan berpikir dan mencari berbagai sumber – sumber dari buku, jurnal atau pedoman peraturan yang relevan dengan kajian tugas akhir dalam pengerjaan tugas akhir ini.
2. Tahap kedua yaitu *Preliminary design* atau melakukan perhitungan awal yang memiliki tujuan agar dapat mengestimasi mengenai jenis dan mutu material yang akan digunakan maupun mengestimasi dimensi dari penampang elemen struktur yang akan digunakan.
3. Tahap ketiga yaitu melakukan pemodelan geometri struktur, telah ditentukan bahwa bangunan berupa gedung memiliki jumlah tingkat yaitu 9 lantai dengan ketinggian total bangunan yaitu 36 meter dan bangunan dijadikan sebagai perkantoran dan ketika ada indikasi tsunami dapat menjadi tempat evakuasi vertikal, bangunan gedung tersebut terdapat tambahan yaitu sebuah dinding geser (*shear wall*) pada sisi bangunan gedung.
4. Tahap keempat yaitu memasukkan beban – beban yang bekerja pada struktur gedung yaitu beban gravitasi (beban mati, beban hidup, dan beban tambahan), beban gempa dinamis (respons spektrum), serta beban tsunami.
5. Tahap kelima yaitu melakukan *running* program pertama menggunakan *software* SAP2000 V.22, yang memiliki tujuan untuk melakukan pemeriksaan mengenai parameter bangunan aman terhadap gempa yaitu terdiri dari periode natural, partisipasi modal massa 100%, *frame* memikul minimal 25%, dan *base shear*.
6. Memasukkan beban gempa statis dan beban gempa dinamis dengan faktor skala gempa.
7. Melakukan *running* program kedua menggunakan *software* SAP2000 V.22, yang memiliki tujuan untuk melakukan pemeriksaan mengenai parameter bangunan aman terhadap gempa yaitu terdiri dari faktor skala gempa, simpangan antar lantai (*story drift*), pengaruh P-Delta, eksentrisitas dan torsi, serta ketidakberaturan secara vertikal maupun horizontal.
8. Memasukkan kombinasi pembebanan yang dipengaruhi oleh faktor skala gempa yang sudah termodifikasi.

9. Melakukan *running* program ketiga menggunakan *software* SAP2000 V.22, yang memiliki tujuan untuk memperoleh gaya – gaya dalam struktur bangunan gedung karena pengaruh kombinasi beban gempa.
10. Selanjutnya melakukan desain atau perencanaan elemen struktur yang dimana perencanaan tersebut mengacu pada SNI 2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
11. Selanjutnya melakukan *running* program keempat menggunakan *software* SAP2000 V.22, yang memiliki tujuan untuk memperoleh gaya – gaya dalam struktur bangunan gedung karena pengaruh kombinasi beban tsunami (*tsunami load*).
12. Setelah melakukan *running* program keempat, tahapan selanjutnya adalah melakukan pengecekan kapasitas elemen – elemen struktur yang diakibatkan pengaruh beban tsunami (*tsunami load*).
13. Setelah melakukan semua tahapan di atas, tahapan terakhir yaitu mendesain atau menggambar detail seluruh elemen struktur yang telah diperhitungkan.

4.3 Data Perencanaan Struktur

Data – data yang sudah ditentukan di awal untuk perencanaan struktur gedung perkantoran yang dapat difungsikan sebagai tempat evakuasi vertikal tsunami dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

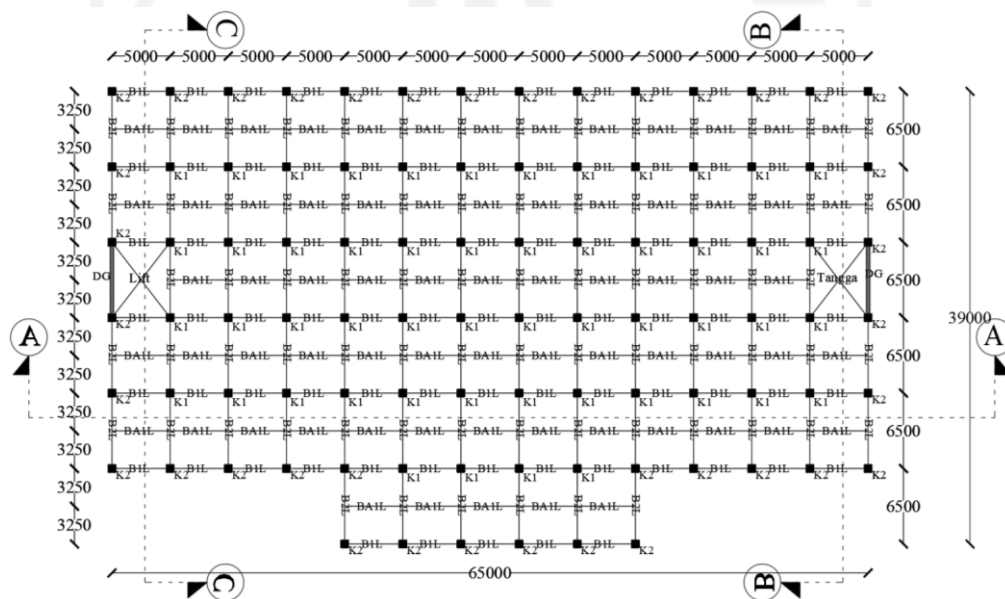
Tabel 4.1 Data Perencanaan Awal Struktur

No.	Uraian	Keterangan
1.	Fungsi bangunan	Gedung perkantoran (untuk sehari – hari) dan atau gedung evakuasi vertikal (ketika terjadi bencana tsunami)

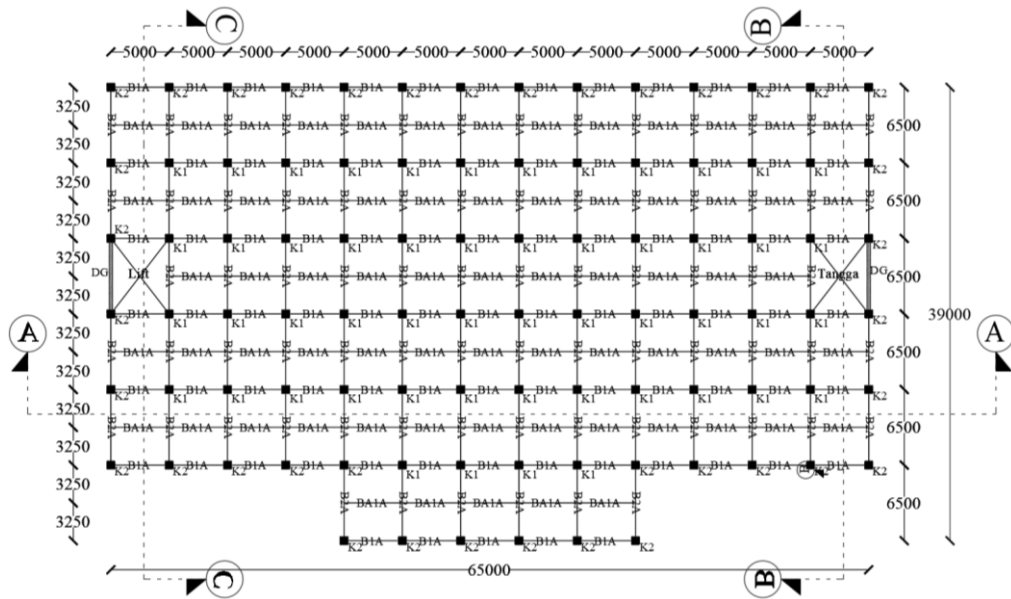
Lanjutan Tabel 4.1 Data Perencanaan Awal Struktur

No.	Uraian	Keterangan
2.	Jenis tanah	Tanah keras
3.	Jumlah tingkat	9 tingkat
4.	Tinggi total bangunan	36 meter (tinggi antar tingkat : 4 meter)
5.	Jenis material struktur	Beton bertulang
6.	Mutu beton ($f'c$)	30 MPa
7.	Mutu baja deform	TS420B
8.	Mutu baja polos	TP280
9.	Berat volume beton	2400 kg/m ³
10.	Jarak gedung dari pantai	1260 meter

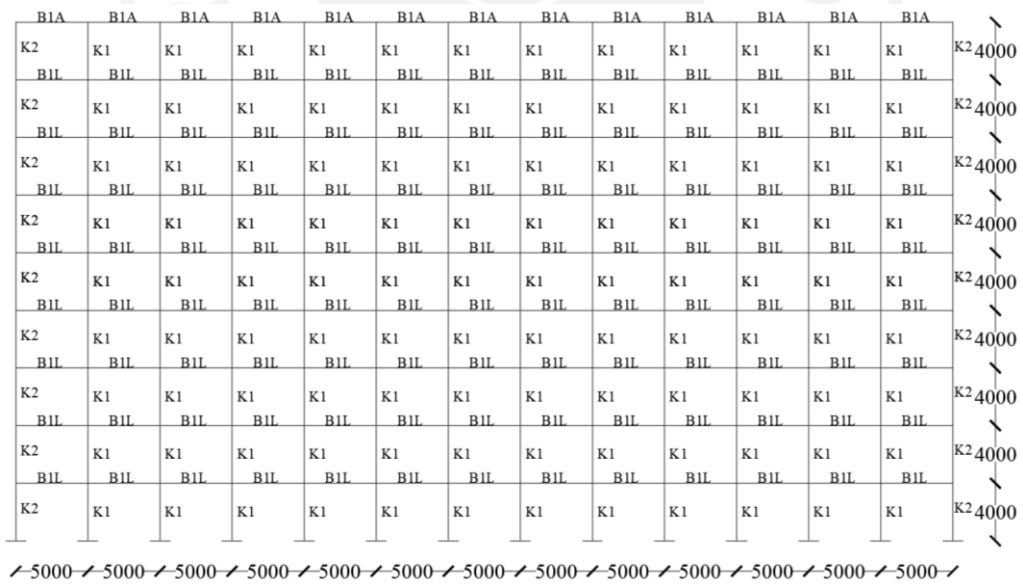
Rencana denah bangunan gedung dan potongan portal tipikal gedung dapat dilihat pada Gambar 4.4 sampai Gambar 4.8 sebagai berikut.



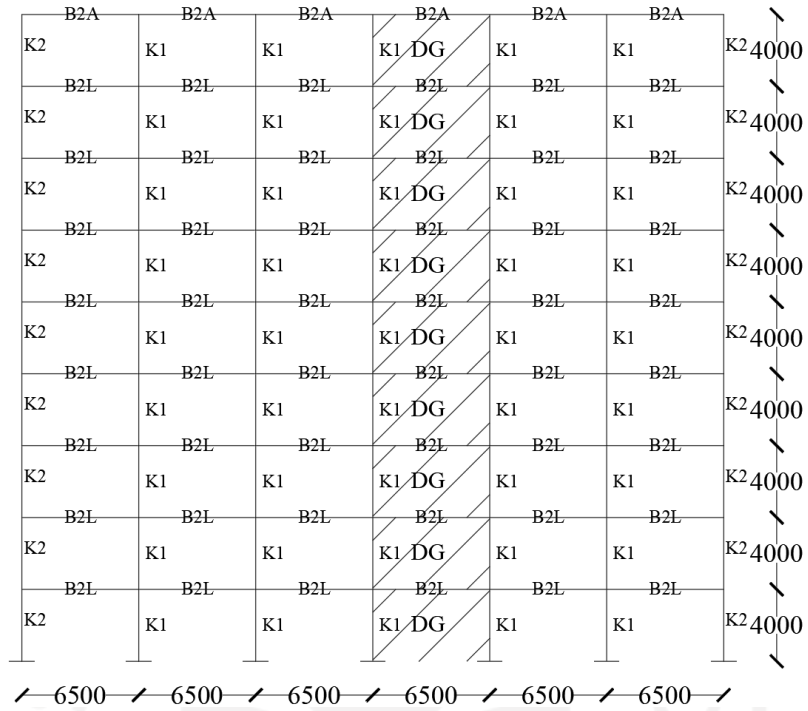
Gambar 4.4 Denah Bangunan Gedung Tingkat 1 – 8



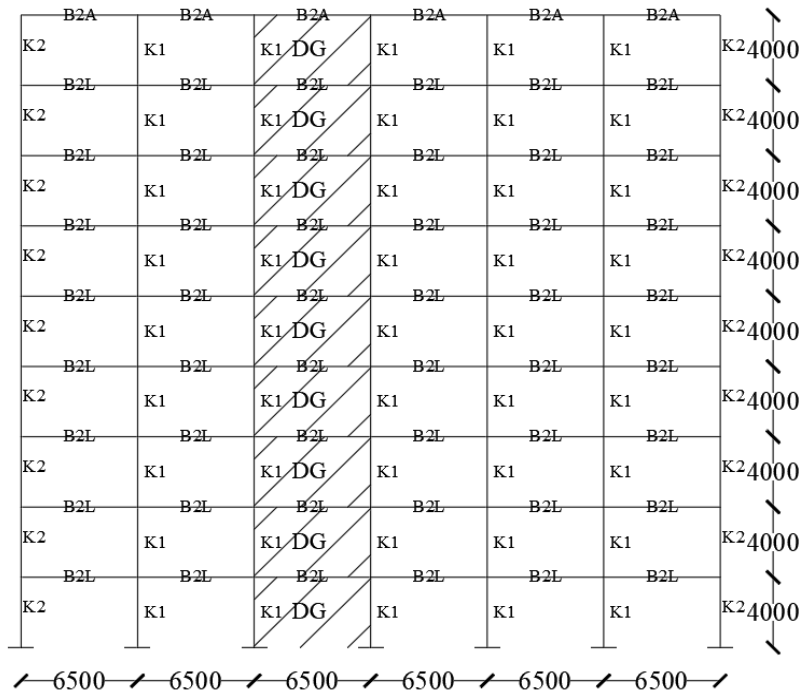
Gambar 4.5 Denah Bangunan Gedung Tingkat 9 (Atap)



Gambar 4.6 Portal Tipikal Struktur Gedung (Potongan A-A)



Gambar 4.7 Portal Tipikal Struktur Gedung (Potongan B-B)



Gambar 4.8 Portal Tipikal Struktur Gedung (Potongan C-C)

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada Bab IV telah dibahas metode perancangan yang akan dilakukan untuk mencapai tujuan dari perancangan ini yaitu untuk merencanakan struktur gedung perkantoran yang dapat difungsikan sebagai tempat evakuasi vertikal tsunami berlandaskan peraturan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan FEMA P646-508. Pada Bab V akan menjelaskan analisis perencanaan struktur berupa dimensi serta penulangannya, dengan elemen struktur seperti balok, kolom, pelat, tangga, joint, dinding geser dan pondasi dengan peraturan yang telah ditentukan.

5.1 Penentuan Jenis Struktur

Perencanaan struktur gedung memerlukan penentuan jenis struktur yang akan digunakan, penentuan tersebut berpengaruh kepada dimensi struktur serta beban – beban yang bekerja pada struktur. Sebelum menentukan jenis struktur, harus diketahui terlebih dahulu mengenai Kategori Desain Seismik (KDS) pada kawasan yang akan dirancang. Pada pedoman SNI 1726:2019 yang memuat Tabel 8 dan Tabel 9 mengenai peraturan Kategori Desain Seismik (KDS). Jenis struktur diklasifikasikan atas dasar jenis Kategori Desain Seismik (KDS) yang telah diatur pada tabel 12 dalam SNI 1726:2019. Berdasarkan nilai KDS dari lokasi atau kawasan yang akan direncanakan pada proyek akhir ini, digunakan jenis struktur dalam perencanaan yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

5.2 Preliminary Design Struktur

Preliminary design merupakan tahapan awal yang dilakukan untuk penentuan dimensi awal dari perencanaan elemen struktur. Pedoman dalam mendesain atau merencanakan didasarkan pada SNI 2847:2019 untuk jenis struktur SRPMK.

5.2.1 Preliminary Design Balok

Balok adalah suatu elemen struktur pemikul momen yang berfungsi untuk memindahkan beban dari elemen struktur pelat ke elemen struktur kolom. Jenis

balok dibagi menjadi dua yaitu balok induk seta balok anak. Salah satu contoh perhitungan *preliminary design* Balok B1L dapat dilihat sebagai berikut.

1. Diketahui Data B1L:

$$\text{Panjang Balok } (L) = 5000 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu beton } (F'c) = 30 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu baja } (Fy) = 420 \text{ MPa}$$

2. Menghitung Tinggi Balok (h_{pakai})

Berdasarkan SNI 2847:2019 syarat untuk mendesain tinggi balok yaitu:

$$\text{Balok Induk} : \quad \text{---}$$

$$\text{Balok Anak} : \quad \text{---}$$

Karena B1L merupakan balok induk, maka digunakan

$$\begin{aligned} h &= 1/12 \times L \\ &= 1/12 \times 5000 \\ &= 416,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$h_{pakai} = 500 \text{ mm}$$

3. Menghitung Lebar Balok (b_{pakai})

Berdasarkan SNI 2847:2019 syarat untuk mendesain lebar balok yaitu:

$$1/2.h \leq b \leq 2/3.h$$

$$250 \text{ mm} \leq b \leq 333,33 \text{ mm}$$

Maka digunakan, $b_{pakai} = 300 \text{ mm}$

4. Persyaratan Balok SRPMK

$$\begin{aligned} 1) \quad Ln &\geq 4d \\ 4700 \text{ mm} &\geq 1800 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \quad b_{pakai} &\geq 0,3h \\ 300 \text{ mm} &\geq 150 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \quad b_{pakai} &\geq 250 \text{ mm} \\ 300 \text{ mm} &\geq 250 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4) \quad b_{pakai} &\leq c_2 \\ 300 \text{ mm} &\leq 1150 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

$$5) \quad b_{pakai} \leq 0,75c_2$$

$$300 \text{ mm} \leq 862,5 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Seluruh perhitungan *preliminary design* balok dapat dilihat pada Lampiran 2. Hasil keseluruhan *preliminary design* balok dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5.1 Preliminary Design Balok

No.	Kode	Keterangan	L_{Balok} (mm)	H (mm)	B (mm)
1.	B1L	Balok Induk 1 Lantai	5000	500	300
2.	B2L	Balok Induk 2 Lantai	6500	700	400
3.	BA1L	Balok Anak 1 Lantai	5000	450	300
4.	B1A	Balok Induk 1 Atap	5000	500	300
5.	B2A	Balok Induk 2 Atap	6500	600	400
6.	BA1A	Balok Anak 1 Atap	5000	450	300

5.2.2 Preliminary Design Kolom

Berikut merupakan contoh perhitungan untuk memperoleh *preliminary design* kolom dan akan menggunakan kolom K1 sebagai contoh perhitungan. Sebelum melakukan perhitungan estimasi dimensi kolom perlu menghitung pembebanan ultimit pada pelat, baik pada pelat lantai maupun pada pelat atap.

1. Beban Ultimit Pelat

a. Lantai 1-8

$$A_{pelat} = 130 \text{ m}^2$$

$$Q_d = 6,335 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_l = 2,4 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2 \times Q_d + 1,6 \times Q_l \\
 &= 1,2 \times 6,335 + 1,6 \times 2,4 \\
 &= 11,442 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_u &= A_{\text{pelat}} \times Q_u \\
 &= 130 \times 11,442 \\
 &= 1487,416 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Lantai 9 (Atap)

$$\begin{aligned}
 A_{\text{pelat}} &= 130 \text{ m}^2 \\
 Q_d &= 5,899 \text{ kN/m}^2 \\
 Q_l &= 0,96 \text{ kN/m}^2 \\
 Q_u &= 1,2 \times Q_d + 1,6 \times Q_l \\
 &= 1,2 \times 5,899 + 1,6 \times 0,96 \\
 &= 8,615 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_u &= A_{\text{pelat}} \times Q_u \\
 &= 130 \times 8,615 \\
 &= 1119,968 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2. Estimasi Dimensi Kolom K1

a. Diketahui:

$$\begin{aligned}
 Q_u \text{ Lantai} &= 11,442 \text{ kN/m}^2 \\
 Q_u \text{ Atap} &= 8,615 \text{ kN/m}^2 \\
 A_{\text{pelat}} &= 130 \text{ m}^2 \\
 F'_c &= 30 \text{ MPa} \\
 P_u \text{ Lantai} &= 1487,416 \text{ kN} \\
 P_u \text{ Atap} &= 1119,968 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Mencari Luas Kolom (A_g)

$$\begin{aligned}
 A_g &= \text{————} \\
 &= \text{————} \\
 &= 1084941,52 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

c. Mencari Lebar dan Tinggi Kolom (B dan H)

Dikarenakan kolom berbentuk segiempat, maka tinggi kolom sama dengan lebar kolom ($H = B$)

$$\begin{aligned} H_{min} &= D_{tulangan\ rencana} \times 20 \\ &= 32 \times 20 \\ &= 640 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H = B &= (A_g)^{0,5} \\ &= (1084941,52)^{0,5} \\ &= 1041,605 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{pakai} = B_{pakai} &= \text{dibulatkan ke atas nilai } H = B \geq H_{min} \\ &= 1150 \text{ mm} \geq 640 \text{ mm (OK)} \end{aligned}$$

Seluruh perhitungan *preliminary design* kolom dapat dilihat pada Lampiran

3. Hasil *preliminary design* kolom yang termuat pada Tabel 5.2 sebagai berikut.

Tabel 5.2 Preliminary Design Kolom

No.	Kode	Keterangan	L_{Kolom} (mm)	H (mm)	B (mm)
1.	K1	Kolom bagian dalam	4000	1150	1150
2.	K2	Kolom bagian luar	4000	850	850

5.2.3 Preliminary Design Pelat

Berikut merupakan perhitungan untuk memperoleh estimasi dimensi pelat dan kami menggunakan pelat lantai tipe 1 sebagai contoh perhitungan.

1. Pelat Lantai 1 (PL1)

a. Menentukan jenis pelat

$$L_y = 6500 \text{ mm (bentang panjang)}$$

$$L_x = 5000 \text{ mm (bentang pendek)}$$

Maka, tipe pelat lantai

$$- = \text{---} = 1,3$$

Karena hasil L_y/L_x yang diperoleh adalah 1,3, maka tipe pelat lantai tipikal adalah pelat dua arah.

b. Menghitung panjang bentang bersih (netto)

$$\begin{aligned} L_{ny} &= L_y - (-b_{B2L}) - (-b_{B2L}) \\ &= 6500 - (-x \ 400) - (-x \ 400) \\ &= 6100 \text{ mm} \end{aligned}$$

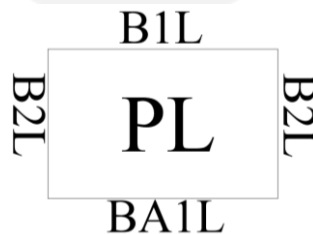
$$\begin{aligned} L_{nx} &= L_x - (-b_{B2L}) - (-b_{BA1L}) \\ &= 5000 - (-x \ 400) - (-x \ 300) \\ &= 4650 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= L_{ny}/L_{nx} \\ &= 1,312 \end{aligned}$$

c. Momen Inersia (I)

$$\begin{aligned} I &= L \times b \times h^3 \\ &= -x \ b \times h^3 \end{aligned}$$

Momen Inersia per batang dimulai dari balok di kiri pelat memutar searah jarum jam yang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5.1 Pelat Lantai Tipe 1 dan Balok - Balok yang Mengelilinginya

$$I_{B2L} = -x \ 400 \times 700^3 = 11433333333,333 \text{ mm}^4$$

$$I_{B1L} = -x \ 300 \times 500^3 = 3125000000 \text{ mm}^4$$

$$I_{B2L} = -x \ 400 \times 700^3 = 11433333333,333 \text{ mm}^4$$

$$I_{BA1L} = -x \ 300 \times 450^3 = 2278125000 \text{ mm}^4$$

Momen Inersia pertemuan balok dan pelat.

$$I_{P1} = -x \ 6100 \times 125^3 = 992838541,667 \text{ mm}^4$$

$$I_{P2} = -x \ 4650 \times 125^3 = 756835937,500 \text{ mm}^4$$

d. Modulus Elastisitas (E)

$$E = 4700 \times \text{---}$$

Semua batang mempunyai modulus elastisitas sama

$$E = 4700 \times \text{---} = 25742,96 \text{ MPa}$$

e. Menghitung kekakuan (α_m)

$$\alpha_m = \frac{\text{---}}{\text{---}}$$

$$\alpha_m \text{ B2Y} = \frac{\text{---}}{\text{---}} = 11,516$$

$$\alpha_m \text{ B1X} = \frac{\text{---}}{\text{---}} = 3,148$$

$$\alpha_m \text{ B2Y} = \frac{\text{---}}{\text{---}} = 15,107$$

$$\alpha_m \text{ BA1X} = \frac{\text{---}}{\text{---}} = 3,010$$

Maka α_m rata-rata adalah

$$\alpha_m \text{ rata-rata} = \frac{\text{---}}{\text{---}} = 8,195$$

f. Menghitung tebal pelat minimum (h_{min})

Dari hasil kekakuan rerata (α_m) diperoleh lebih dari 2, sehingga rumus yang digunakan untuk menghitung tebal pelat minimum lantai tipikal 1 adalah sebagai berikut.

$$H_{min} = \frac{\text{---}}{\text{---}}$$

$$= \frac{\text{---}}{\text{---}}$$

$$= 127,598 \text{ mm}$$

$$H_{max} = \frac{\text{---}}{\text{---}}$$

$$= \frac{\text{---}}{\text{---}}$$

$$= 169,444 \text{ mm}$$

Dipakai tebal pelat sebesar = 130 mm.

Pelat lantai 1 merupakan Pelat tipikal (semua ukuran pelat pada denah bangunan sama di setiap lantai), sehingga perhitungan dan tebal pelat di semua

lantai sama. Untuk pelat atap didesain dengan ukuran balok yang sama dengan ukuran balok tiap lantai, sehingga perhitungan pelat atap sama dengan pelat lantai

1. Hasil perhitungan perencanaan *preliminary design* secara detail pelat lantai dan pelat atap dapat dilihat pada Lampiran 4. Rekapitulasi *preliminary design* pelat lantai dan pelat atap dapat dilihat masing – masing pada Tabel 5.3 dan Tabel 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5.3 Preliminary Design Pelat Lantai

No.	Kode	Keterangan	Uk. Pelat (mm)	Tebal Pelat H (mm)
1.	PL1	Lobi dan Koridor Lantai Pertama	5000 x 3250	130
2.	PL2	Ruang Kantor	5000 x 3250	130
3.	PL3	Koridor di atas lantai pertama	5000 x 3250	130

Tabel 5.4 Preliminary Design Pelat Atap

No.	Kode	Keterangan	Uk. Pelat (mm)	Tebal Pelat H (mm)
1.	PA	Atap	5000 x 3250	120

5.2.4 Preliminary Design Dinding geser

Perhitungan *preliminary design* dinding geser sebagai berikut.

1. Diketahui:

$$\text{Tinggi dinding } (H) = 4000 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang dinding geser } (L) = 6500 \text{ mm}$$

2. Tebal Dinding Geser (t)

$$\text{Diasumsikan, } t = 300 \text{ mm}$$

Syarat tebal dinding geser minimum yang tertumpu di antaranya:

a. $t \geq 100 \text{ mm}$

$$300 \text{ mm} \geq 100 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

b. $t \geq 1/25 \times H$

$$300 \text{ mm} \geq 160 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

c. $t \geq 190 \text{ mm}$

$$300 \text{ mm} \geq 190 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Berdasarkan persyaratan di atas, maka dengan tebal dinding geser (t) = 300 mm, memenuhi syarat dan dapat dipakai

Hasil perhitungan perencanaan *preliminary design* secara detail dinding geser dapat dilihat pada Lampiran 5. Rekapitulasi *preliminary design* dinding geser Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5.5 Preliminary Design Dinding Geser

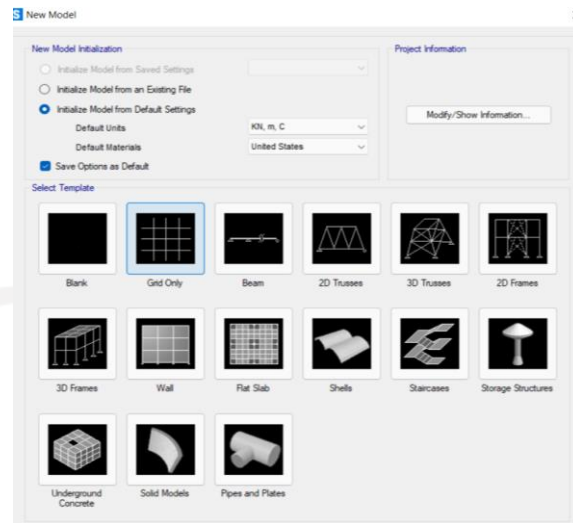
No.	Kode	Keterangan	Panjang L (mm)	Tinggi H (mm)	Tebal t (mm)
1.	DG	Dinding Geser	6500	4000	300

5.3 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dilakukan berdasarkan denah bangunan serta *preliminary design* yang telah dilakukan sebelumnya. Pemodelan menggunakan *software* SAP2000 V.22. Setelah melakukan pemodelan pada *software* analisis struktur akan menghasilkan output berupa respons struktur terhadap beban yang ditahannya. Berikut langkah – langkah pemodelan struktur menggunakan SAP2000 V.22 :

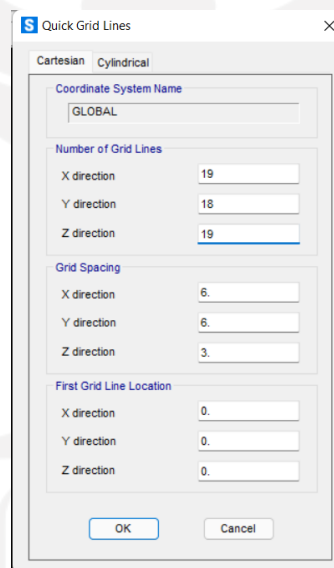
5.3.1 *Template* dan *Grid*

Template dan *grid* merupakan Langkah awal saat memodelkan struktur bangunan agar sesuai dengan denah. Saat membuka program SAP2000 V.22 pilih pemodelan baru dengan cara klik “New”, Pilih satuan “KN, m, C”, lalu pilih pada *template* “Grid Only”.



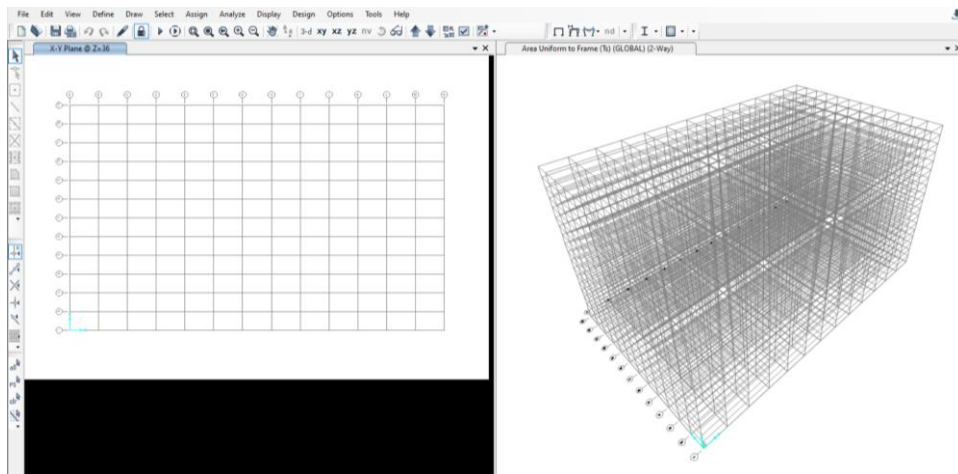
Gambar 5.2 New Model

Kemudian akan muncul kotak menu “Quick Grid Line”. Isi model menggunakan koordinat X ,Y dan Z sesuai desain denah lalu klik “OK”.



Gambar 5.3 Quick Grid Lines

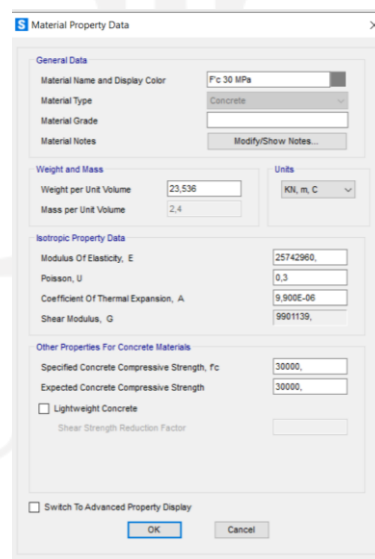
Kemudian akan muncul *grid* yang dimodelkan sesuai dengan denah struktur bangunan.



Gambar 5.4 Grid Lines

5.3.2 Define Material Properties

Define Material Properties dipakai untuk mendefinisikan material yang akan dipakai saat melakukan pemodelan, dimana material tersebut telah ditentukan sebelumnya.

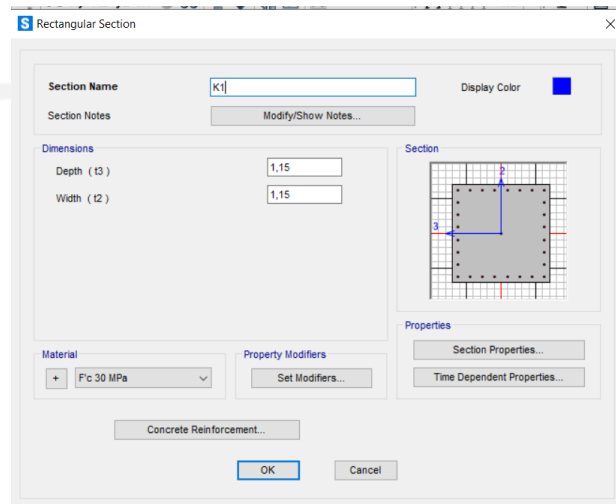


Gambar 5.5 Material Properties Data

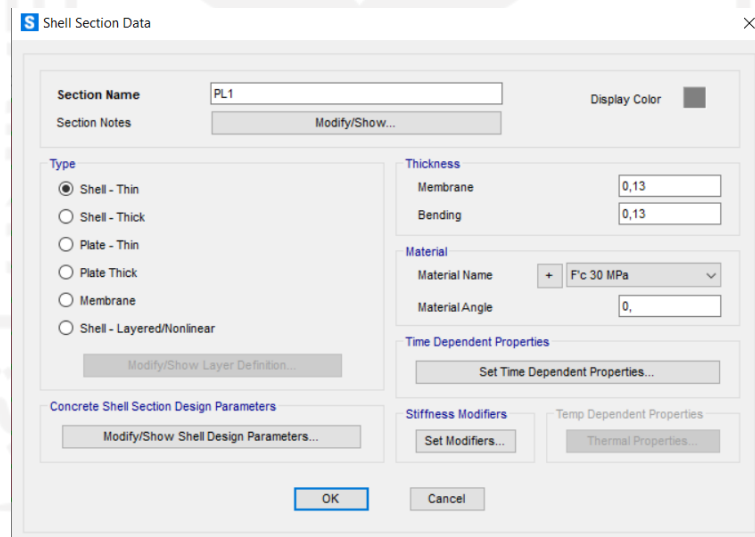
5.3.3 Section Properties

Section Properties dipakai untuk pemodelan elemen struktur yang sebelumnya telah diperoleh saat melakukan *preliminary design*. Elemen struktur

akan dimodelkan dengan memakai “Frame Sections” untuk kolom dan balok, sedangkan untuk memodelkan pelat lantai, tangga dan *shear wall* menggunakan “Area Sections”.



Gambar 5.6 Frame Section



Gambar 5.7 Area Section

Property Modifiers setiap penampang menggunakan momen inersia berbeda – beda sesuai tabel 6.6.3.1.1.(a) pada SNI 2847:2019, seperti pada Tabel 5.6 berikut.

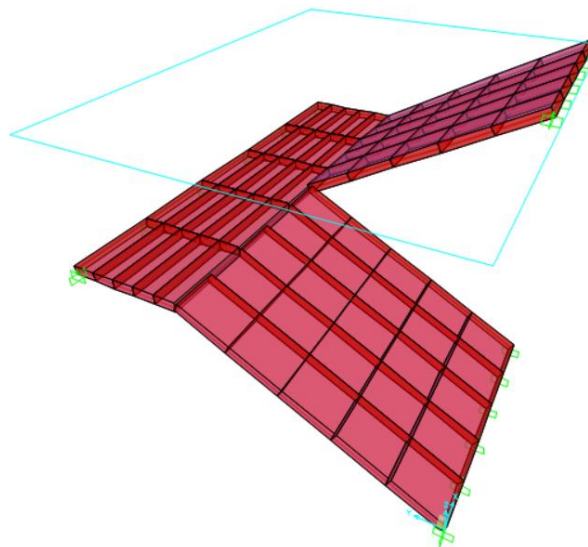
Tabel 5.6 Momen Inersia Penampang

Bagian dan Kondisi		Momen Inersia	Luas Penampang
Kolom		$0,70 I_g$	1,0.A _g
Dinding	Tidak retak	$0,70 I_g$	
	Retak	$0,35 I_g$	
Balok		$0,35 I_g$	
Pelat datar dan slab datar		$0,25 I_g$	

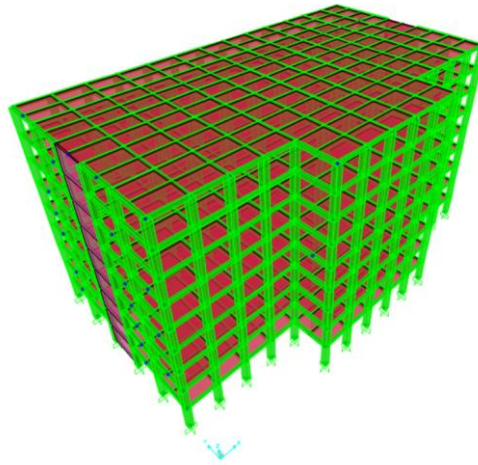
Sumber: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (Standar Nasional Indonesia 2847:2019)

5.3.4 Hasil Pemodelan Struktur

Elemen struktur secara keseluruhan akan dimodelkan, struktur tangga dimodelkan secara terpisah dari struktur balok, kolom, pelat lantai serta *shear wall* pada *software* SAP200 V.22. Setelah dilakukan pemodelan akan memperoleh hasil yang dapat dilihat pada Gambar 5.8 dan Gambar 5.9 sebagai berikut.



Gambar 5.8 Pemodelan Struktur Tangga



Gambar 5.9 Pemodelan Struktur Portal Bangunan

5.4 Analisis Pembebanan

Perencanaan struktur yang dilakukan saat analisis menggunakan beban – beban di antaranya yaitu:

1. Beban Mati (*DL*)
2. Beban Hidup (*LL*)
3. Beban Gempa (*EQ*)
4. Beban Tsunami (*Ts*)

5.4.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati yang bekerja pada elemen struktur yaitu beban mati pada balok serta beban mati pada pelat.

5.4.1.1 Beban Mati pada Balok

Beban mati yang bekerja pada struktur balok dapat dilihat lebih detail pada Tabel 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5.7 Beban Mati pada Balok

Balok	H tingkat (m)	H_{Balok} (m)	H Dinding (m)	Tebal Dinding (m)	BV Dinding (KN/m ³)	Berat Dinding (KN/m)
B1L	4	0,50	3,5	0,1	6,3765	1,116
B2L	4	0,70	3,3	0,1	6,3765	1,052
B1A	4	0,50	3,5	0,1	6,3765	1,116
B2A	4	0,60	3,4	0,1	6,3765	1,084

5.4.1.2 Beban Mati pada Pelat

Beban mati yang bekerja pada struktur pelat lantai dapat dilihat lebih detail pada Tabel 5.8 dan untuk pelat atap pada Tabel 5.9 sebagai berikut.

Tabel 5.8 Beban Mati pada Pelat Lantai

No.	Data	Nilai	Satuan	Tebal (mm)	q_u (kN/m ²)
I.	Elemen Non struktural datar, beban mati minimum: Langit – langit				
a.	Papan <i>Gypsum</i> (3 mm)	0,008	kN/m ² /m	3	0,024
b.	Saluran Mekanikal	0,2	kN/m ²	-	0,2
c.	Sistem Sprinkler	0,3	kN/m ²	-	0,3
d.	Bagian penting dan sistem elektrikal	0,05	kN/m ²	-	0,05
e.	Plester pada ubin atau beton	0,25	kN/m ²	-	0,25
f.	Reng logam dan plester gipsum yang digantung	0,5	kN/m ²	-	0,5
g.	Sistem saluran baja yang digantung	0,1	kN/m ²	-	0,1
h.	Sistem penggantung dari kayu	0,15	kN/m ²	-	0,15
II.	Elemen non struktural datar, beban mati minimum: isian lantai				
a.	Pasir (40 mm)	0,015	kN/m ² /m	40	0,6
III.	Elemen non struktural datar, beban mati minimum: lantai				
a.	Ubin keramik atau kuari (3/4 in. [20 mm]) pada 1 in. (25 mm) mortar	1,1	kN/m ²	-	1,1
Total					3,274

Tabel 5.9 Beban Mati pada Pelat Atap

No.	Data	Nilai	Satuan	Tebal (mm)	q_u (kN/m ²)
I.	Elemen Non struktural datar, beban mati minimum: Langit – langit				
a.	Papan <i>Gypsum</i> (3 mm)	0,008	kN/m ² /m	3	0,024
b.	Saluran Mekanikal	0,2	kN/m ²	-	0,2
c.	Sistem Sprinkler	0,3	kN/m ²	-	0,3
d.	Bagian penting dan sistem elektrikal	0,05	kN/m ²	-	0,05
e.	Plester pada ubin atau beton	0,25	kN/m ²	-	0,25
f.	Reng logam dan plester gipsum yang digantung	0,5	kN/m ²	-	0,5
g.	Sistem saluran baja yang digantung	0,1	kN/m ²	-	0,1
h.	Sistem penggantung dari kayu	0,15	kN/m ²	-	0,15
II.	Elemen non struktural datar, beban mati minimum: isian lantai				
	-				
III.	Elemen non struktural datar, beban mati minimum: lantai				
a.	Blok aspal (2 in. [50 mm]), 1/2 in. (12 mm) mortar	1,5	kN/m ²	-	1,5
Total					3,074

5.4.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup yang bekerja pada elemen struktur yaitu beban hidup pada pelat lantai dan pelat atap, dapat dilihat lebih detail pada Tabel 5.10 sebagai berikut.

Tabel 5.10 Beban Hidup

No.	Jenis Beban	Nilai	Satuan	Tebal (mm)	q_u (kN/m ²)
1.	Lobi dan Koridor Lantai Pertama	4,79	kN/m ²	-	4,79
2.	Kantor	2,4	kN/m ²	-	2,4
3.	Koridor di atas Lantai Pertama	3,83	kN/m ²	-	3,83
4.	Atap	0,96	kN/m ²	-	0,96

5.4.3 Beban Hidup Pengungsi Tsunami

Beban hidup pengungsi tsunami yang digunakan dalam perencanaan mengacu pada SNI 1727:2020 Pasal 6.14.2, beban hidup pengungsi tsunami ditetapkan sebesar $4,8 \text{ kN/m}^2$. Beban hidup pengungsi diberikan pada area lantai evakuasi yang direncanakan.

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 6.14.1 yaitu lantai pengungsian tsunami berlokasi tidak kurang dari 10 ft (3,05 m) atau satu tingkat ketinggian di atas 1,3 kali elevasi rendaman tsunami yang dipertimbangkan maksimum. Sehingga lantai yang dijadikan sebagai tempat pengungsian adalah lantai 2 – 9.

5.4.4 Beban Gempa Respons Spektrum

Jenis beban gempa yang dipakai dalam perencanaan struktur bangunan ini berupa beban dinamik, dimana beban dinamik yang dipakai pada struktur adalah respons spektrum. Perhitungan beban gempa akan dilakukan sesuai dengan persyaratan dalam SNI 1726:2019, sehingga diperoleh hasil perhitungan beban gempa yaitu pada Tabel 5.11 Parameter Respons Spektrum, Tabel 5.12 Periode Respons Spektrum, dan Gambar 5.10 Grafik Respons Spektrum Desain sebagai berikut.

Tabel 5.11 Parameter Respons Spektrum

No.	Data	Variabel	Nilai
1.	Fungsi Bangunan		Gedung perkantoran (untuk sehari – hari) dan atau gedung evakuasi vertikal (ketika terjadi bencana tsunami)
2.	Kategori Risiko	<i>I</i>	II

Lanjutan Tabel 5.11 Parameter Respons Spektrum

No.	Data	Variabel	Nilai
3.	Parameter Percepatan Tanah (S _s , S ₁)		
	a. Percepatan Respons Spektral MCE dari Peta Gempa pada Periode Pendek	S _s	0,865
	b. Percepatan Respons Spektral MCE dari Peta Gempa pada Periode 1 detik	S ₁	0,357
4.	Kelas Situs	K _s	Tanah Keras (SC)
5.	Faktor Koefisien Situs (F _a , F _v)		
	a. Koefisien Situs untuk periode pendek	F _a	1,154
	b. Koefisien Situs untuk periode panjang	F _v	1,685
6.	Parameter Respons Spektrum Percepatan (S _M S dan S _M 1)		
	a. Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap kelas situs	$S_{Ms} = F_a \cdot S_s$	0,998
	b. Parameter respons spektral percepatan pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap kelas situs	$S_{M1} = F_v \cdot S_1$	0,602
7.	Parameter Percepatan Spektrum Desain (S _D s dan S _D 1)		
	a. Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek	$S_{Ds} = 2/3 S_{Ms}$	0,665
	b. Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik	$S_{D1} = 2/3 S_{M1}$	0,401
8.	Waktu Spektrum Respons Desain		
	a. T ₀ = 0,2 . (S _D 1/S _D s)	T ₀	0,107
	b. T _s = S _D 1/S _D s	T _s	0,535
9.	Kategori Desain Seismik	KDS	D
10.	Koefisien Modifikasi Respons	R	7
11.	Faktor Keutamaan Gempa	I _e	1

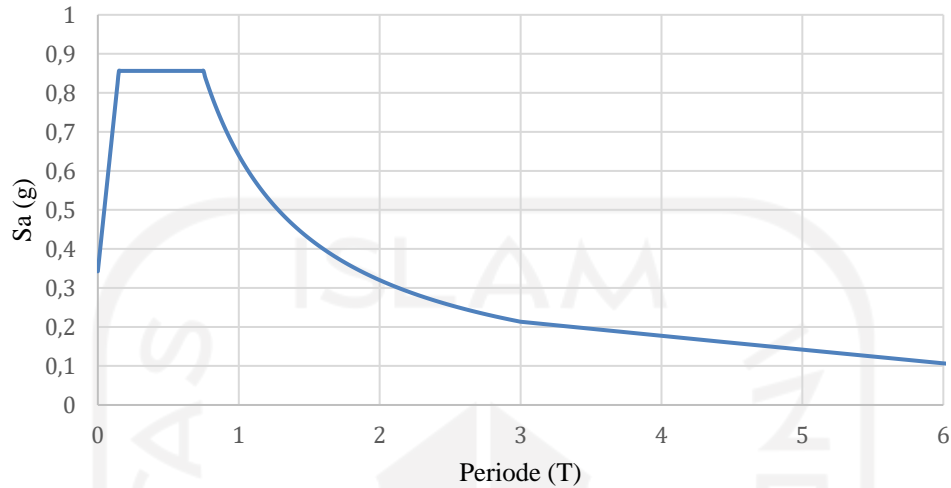
Tabel 5.12 Periode Respons Spektrum

Periode (T)	$S_a(g)$	Periode (T)	$S_a(g)$	Periode (T)	$S_a(g)$	Periode (T)	$S_a(g)$	Periode (T)	$S_a(g)$
0	0,2662	0,41	0,7141	0,82	0,4401	1,23	0,2934	1,64	0,2201
0,01	0,3035	0,42	0,7141	0,83	0,4348	1,24	0,2910	1,65	0,2187
0,02	0,3408	0,43	0,7141	0,84	0,4296	1,25	0,2887	1,66	0,2174
0,03	0,3782	0,44	0,7141	0,85	0,4246	1,26	0,2864	1,67	0,2161
0,04	0,4155	0,45	0,7141	0,86	0,4197	1,27	0,2842	1,68	0,2148
0,05	0,4528	0,46	0,7141	0,87	0,4148	1,28	0,2820	1,69	0,2136
0,06	0,4902	0,47	0,7141	0,88	0,4101	1,29	0,2798	1,7	0,2123
0,07	0,5275	0,48	0,7141	0,89	0,4055	1,3	0,2776	1,71	0,2111
0,08	0,5648	0,49	0,7141	0,9	0,4010	1,31	0,2755	1,72	0,2098
0,09	0,6021	0,5	0,7141	0,91	0,3966	1,32	0,2734	1,73	0,2086
0,1	0,6395	0,51	0,7141	0,92	0,3923	1,33	0,2714	1,74	0,2074
0,11	0,6768	0,52	0,7141	0,93	0,3881	1,34	0,2693	1,75	0,2062
0,12	0,7141	0,53	0,7141	0,94	0,3839	1,35	0,2673	1,76	0,2051
0,13	0,7141	0,54	0,7141	0,95	0,3799	1,36	0,2654	1,77	0,2039
0,14	0,7141	0,55	0,6562	0,96	0,3759	1,37	0,2634	1,78	0,2028
0,15	0,7141	0,56	0,6445	0,97	0,3721	1,38	0,2615	1,79	0,2016
0,16	0,7141	0,57	0,6332	0,98	0,3683	1,39	0,2596	1,8	0,2005
0,17	0,7141	0,58	0,6222	0,99	0,3645	1,4	0,2578	1,81	0,1994
0,18	0,7141	0,59	0,6117	1	0,3609	1,41	0,2560	1,82	0,1983
0,19	0,7141	0,6	0,6015	1,01	0,3573	1,42	0,2542	1,83	0,1972
0,2	0,7141	0,61	0,5916	1,02	0,3538	1,43	0,2524	1,84	0,1961
0,21	0,7141	0,62	0,5821	1,03	0,3504	1,44	0,2506	1,85	0,1951
0,22	0,7141	0,63	0,5729	1,04	0,3470	1,45	0,2489	1,86	0,1940
0,23	0,7141	0,64	0,5639	1,05	0,3437	1,46	0,2472	1,87	0,1930
0,24	0,7141	0,65	0,5552	1,06	0,3405	1,47	0,2455	1,88	0,1920
0,25	0,7141	0,66	0,5468	1,07	0,3373	1,48	0,2439	1,89	0,1910
0,26	0,7141	0,67	0,5387	1,08	0,3342	1,49	0,2422	1,9	0,1899
0,27	0,7141	0,68	0,5307	1,09	0,3311	1,5	0,2406	1,91	0,1890
0,28	0,7141	0,69	0,5230	1,1	0,3281	1,51	0,2390	1,92	0,1880
0,29	0,7141	0,7	0,5156	1,11	0,3251	1,52	0,2374	1,93	0,1870
0,3	0,7141	0,71	0,5083	1,12	0,3222	1,53	0,2359	1,94	0,1860
0,31	0,7141	0,72	0,5013	1,13	0,3194	1,54	0,2344	1,95	0,1851
0,32	0,7141	0,73	0,4944	1,14	0,3166	1,55	0,2328	1,96	0,1841
0,33	0,7141	0,74	0,4877	1,15	0,3138	1,56	0,2313	1,97	0,1832
0,34	0,7141	0,75	0,4812	1,16	0,3111	1,57	0,2299	1,98	0,1823
0,35	0,7141	0,76	0,4749	1,17	0,3085	1,58	0,2284	1,99	0,1814
0,36	0,7141	0,77	0,4687	1,18	0,3058	1,59	0,2270	2	0,1805
0,37	0,7141	0,78	0,4627	1,19	0,3033	1,6	0,2256	2,01	0,1796
0,38	0,7141	0,79	0,4568	1,2	0,3008	1,61	0,2242	2,02	0,1787
0,39	0,7141	0,8	0,4511	1,21	0,2983	1,62	0,2228	2,03	0,1778
0,4	0,7141	0,81	0,4456	1,22	0,2958	1,63	0,2214	2,04	0,1769

Lanjutan Tabel 5.12 Periode Respons Spektrum

Periode (T)	$S_a(g)$	Periode (T)	$S_a(g)$	Periode (T)	$S_a(g)$	Periode (T)	$S_a(g)$
2,05	0,1760	2,31	0,1562	2,57	0,1404	2,83	0,1275
2,06	0,1752	2,32	0,1556	2,58	0,1399	2,84	0,1271
2,07	0,1743	2,33	0,1549	2,59	0,1393	2,85	0,1266
2,08	0,1735	2,34	0,1542	2,6	0,1388	2,86	0,1262
2,09	0,1727	2,35	0,1536	2,61	0,1383	2,87	0,1257
2,1	0,1719	2,36	0,1529	2,62	0,1377	2,88	0,1253
2,11	0,1710	2,37	0,1523	2,63	0,1372	2,89	0,1249
2,12	0,1702	2,38	0,1516	2,64	0,1367	2,9	0,1244
2,13	0,1694	2,39	0,1510	2,65	0,1362	2,91	0,1240
2,14	0,1686	2,4	0,1504	2,66	0,1357	2,92	0,1236
2,15	0,1679	2,41	0,1498	2,67	0,1352	2,93	0,1232
2,16	0,1671	2,42	0,1491	2,68	0,1347	2,94	0,1228
2,17	0,1663	2,43	0,1485	2,69	0,1342	2,95	0,1223
2,18	0,1656	2,44	0,1479	2,7	0,1337	2,96	0,1219
2,19	0,1648	2,45	0,1473	2,71	0,1332	2,97	0,1215
2,2	0,1640	2,46	0,1467	2,72	0,1327	2,98	0,1211
2,21	0,1633	2,47	0,1461	2,73	0,1322	2,99	0,1207
2,22	0,1626	2,48	0,1455	2,74	0,1317	3	0,1203
2,23	0,1618	2,49	0,1449	2,75	0,1312	6	0,0602
2,24	0,1611	2,5	0,1444	2,76	0,1308		
2,25	0,1604	2,51	0,1438	2,77	0,1303		
2,26	0,1597	2,52	0,1432	2,78	0,1298		
2,27	0,1590	2,53	0,1426	2,79	0,1294		
2,28	0,1583	2,54	0,1421	2,8	0,1289		
2,29	0,1576	2,55	0,1415	2,81	0,1284		
2,3	0,1569	2,56	0,1410	2,82	0,1280		

Respons Spektrum Desain



Gambar 5.10 Grafik Respons Spektrum Desain

Berdasarkan hasil analisis respons spektrum di atas, diperoleh Kriteria Desain Seismik kelas D (KDS D) untuk kategori desain seismik berdasar parameter respons percepatan pada periode pendek dan kategori desain seismik sesuai parameter respons percepatan pada periode 1 detik sesuai dengan tabel 8 dan tabel 9 SNI 1726:2019. Setelah diperoleh data respons spektrum desain maka dapat dimasukkan ke dalam *software* analisis struktur (SAP2000 V.22) terhadap pemodelan yang sebelumnya telah dibuat.

5.4.5 Beban Tsunami (*Tsunami Load*)

Beban tsunami dihitung menggunakan prinsip pada FEMA P646-2019. Perhitungan nilai beban tsunami didasarkan pada prediksi tinggi gelombang tsunami yang akan terjadi pada struktur serta dipengaruhi dengan elevasi tanah, elevasi dasar Gedung, jarak Gedung dari tepi pantai dan asumsi lainnya.

Langkah awal untuk menentukan beban tsunami adalah menentukan tinggi runup tsunami yang didapat dari peta Inundasi daerah Kulon Progo yang dikeluarkan oleh BPBD Kulon Progo tahun 2020.

Perhitungan dari jenis – jenis beban tsunami dapat dilihat sebagai berikut.

1. Beban Hidrostatik (F_h)

Tahapan perhitungan beban hidrostatik dilakukan sebagai berikut.

- a. Elevasi dasar struktur dari permukaan air (Z_w)

$$Z_w = 2 \text{ m}$$

- b. Elevasi maksimum runup tsunami (R^*)

$$\begin{aligned} R^* &= Z_w + \text{Kedalaman pada peta inundasi} \\ &= 2 + 3 \\ &= 5 \text{ m} \end{aligned}$$

- c. Elevasi desain runup tsunami (R)

$$\begin{aligned} R &= 1,3 \cdot R^* \\ &= 6,5 \text{ m} \end{aligned}$$

- d. Tinggi maksimum air (h_{maks})

$$\begin{aligned} h_{maks} &= 1,3 \cdot R^* - Z_w \\ &= 4,5 \text{ m} \end{aligned}$$

- e. Berat volume tsunami (f_s) = 1100 Kg/m³

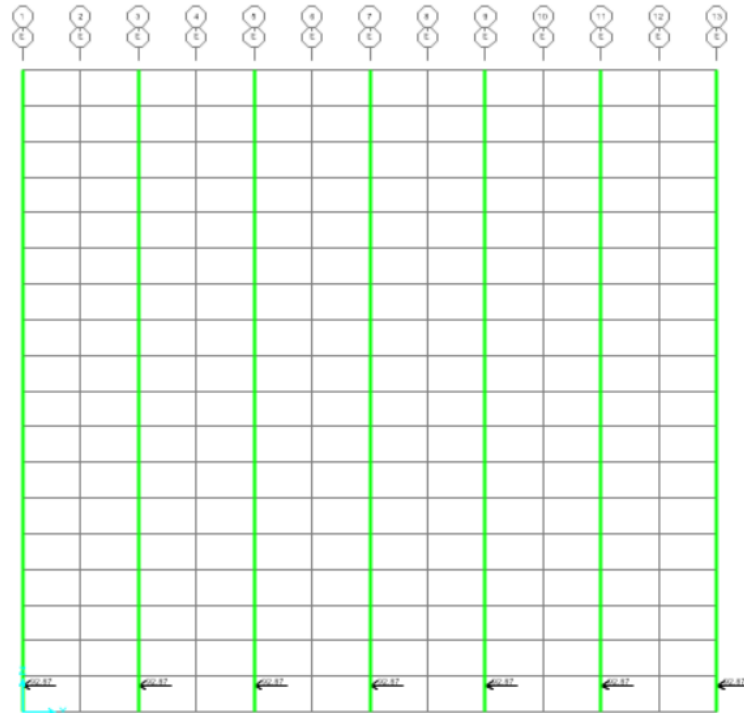
- f. Percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/s²

- g. Lebar bidang tertekan (B) = 0,85 m

- h. Beban hidrostatik (F_h)

$$\begin{aligned} F_h &= \frac{1}{2} \cdot f_s \cdot g \cdot B \cdot h_{maks}^2 / 1000 \\ &= 92,87 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban hidrostatik diberikan merata segitiga di daerah yang terendam tsunami (setinggi h_{maks}) atau beban terpusat setinggi $1/3 \cdot h_{maks}$, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.11 sebagai berikut.



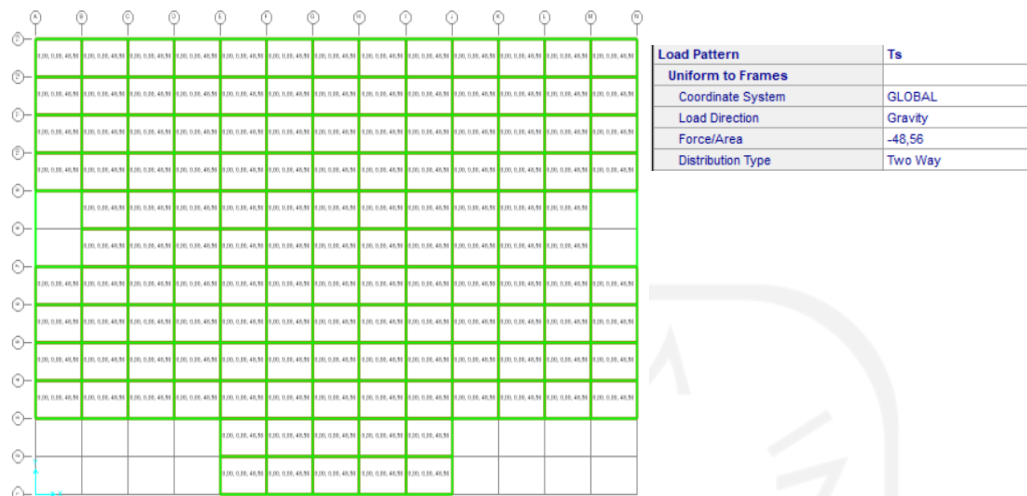
Gambar 5.11 Input Beban Gaya Hidrostatik

2. Gaya Apung (F_b)

Tahapan perhitungan gaya apung dapat dilihat sebagai berikut.

- a. Luas area apung (A) $= 1 \text{ m}^2$
- b. Volume genangan (V) $= h_{maks} \cdot A$
 $= 4,5 \cdot 1$
 $= 4,5 \text{ m}^3$
- c. Percepatan gravitasi (g) $= 9,81 \text{ m/s}^2$
- d. Berat volume tsunami (f_s) $= 1100 \text{ Kg/m}^3$
- e. Gaya apung (F_b) $= f_s \cdot g \cdot V$
 $= 1100 \cdot 9,81 \cdot 4,5 / 1000$
 $= 48,56 \text{ kN}$

Gaya apung diberikan merata pada lantai teratas yang tergenang oleh tsunami, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.12 sebagai berikut.



Gambar 5.12 Input Beban Gaya Apung

3. Gaya Hidrodinamik (F_d)

Tahapan perhitungan gaya hidrodinamik dapat dilihat sebagai berikut.

- Koefisien geser (C_d) = 2
- Berat volume tsunami (f_s) = 1100 Kg/m³
- Lebar struktur (B) = 0,85 m
- Momentum maksimum ($(hu)^2_{maks}$)

$$j w^2_{o c \bar{m} \bar{u} i} \cdot T^2 \cdot 0,125 - 0,235 \cdot \frac{1}{T} + 0,11 \cdot \frac{1}{T}^2$$

$$= 26,156 \text{ m}^2$$

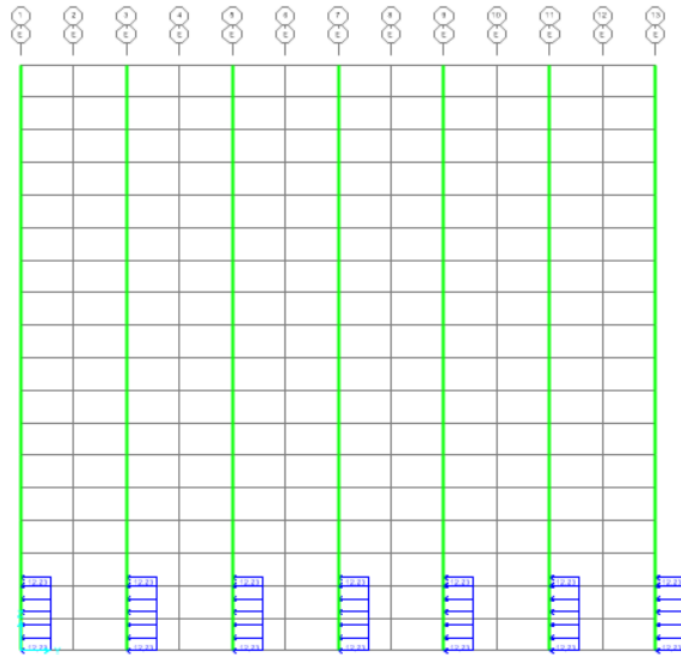
- Gaya hidrodinamik (F_d)

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot f_s \cdot C_d \cdot B \cdot (hu)^2_{maks}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 1100 \cdot 2 \cdot 0,85 \cdot 26,156 / 1000$$

$$= 12,228 \text{ kN}$$

Beban hidrodinamik diberikan merata pada struktur kolom yang tergenang air (setinggi h_{maks}) atau beban terpusat setinggi $1/2 \cdot h_{maks}$, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.13 sebagai berikut.



Gambar 5.13 Input Beban Gaya Hidrodinamik

4. Gaya Impuls (F_s)

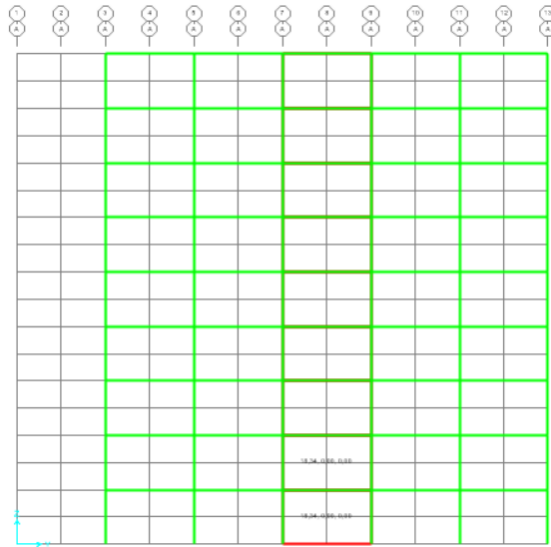
Tahapan perhitungan gaya impuls dapat dilihat sebagai berikut.

a. Gaya hidrodinamik (F_d) = 12,228 kN

b. Gaya impuls (F_s)

$$\begin{aligned} F_s &= 1,5 \cdot F_d \\ &= 1,5 \cdot 12,228 \\ &= 18,342 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya impuls diberikan merata pada dinding geser, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.14 sebagai berikut.



Gambar 5.14 Input Beban Gaya Impuls

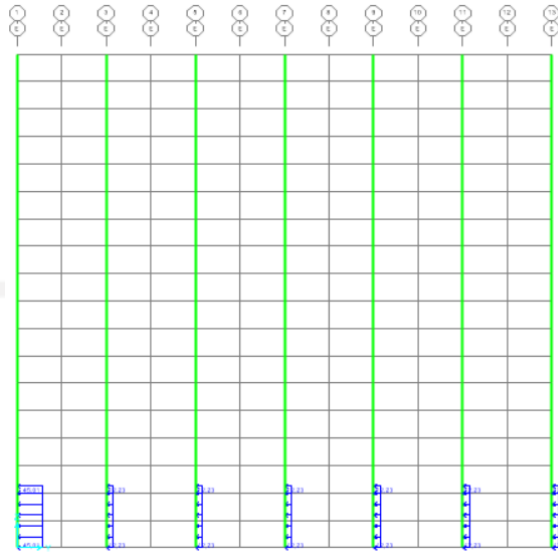
5. Gaya akibat Benturan Puing – Puing (F_i)

Tahapan perhitungan gaya akibat benturan puing – puing dapat dilihat sebagai berikut.

- Kecepatan aliran maksimum (u_{maks}) = $(2 \cdot g \cdot R \cdot (1 - z/R))^{0,5}$
= 9,396 m/s
- Kekakuan efektif bending (k) = 2400000 N/m
- Massa dari puing – puing (m_d) = 450 Kg
- Koefisien massa tambahan (c) = 2
- Gaya akibat benturan puing – puing (F_i)

$$\begin{aligned}
 F_i &= 1,3 \cdot u_{maks} \cdot [k \cdot m_d \cdot (1+c)]^{0,5} \\
 &= 1,3 \cdot 9,396 \cdot [2400000 \cdot 450 \cdot (1+2)]^{0,5} \\
 &= 32,777 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Gaya akibat benturan puing – puing diberikan merata pada elemen struktur yang pertama kali terkena hantaman tsunami (setinggi h_{maks}), untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.15 sebagai berikut.



Gambar 5.15 Input Beban Gaya akibat Benturan Puing

6. Gaya Tahanan Debris atau Hanyutan Puing

Gaya tahanan debris diletakkan secara merata pada elemen struktur yang memiliki lebar minimal 12 meter. Sehingga pada perencanaan gedung evakuasi vertikal ini, gaya tahanan debris tidak perlu diperhitungkan.

7. Gaya Tambahan Beban Gravitasi (F_r)

Tahapan perhitungan gaya tambahan beban gravitasi dapat dilihat sebagai berikut.

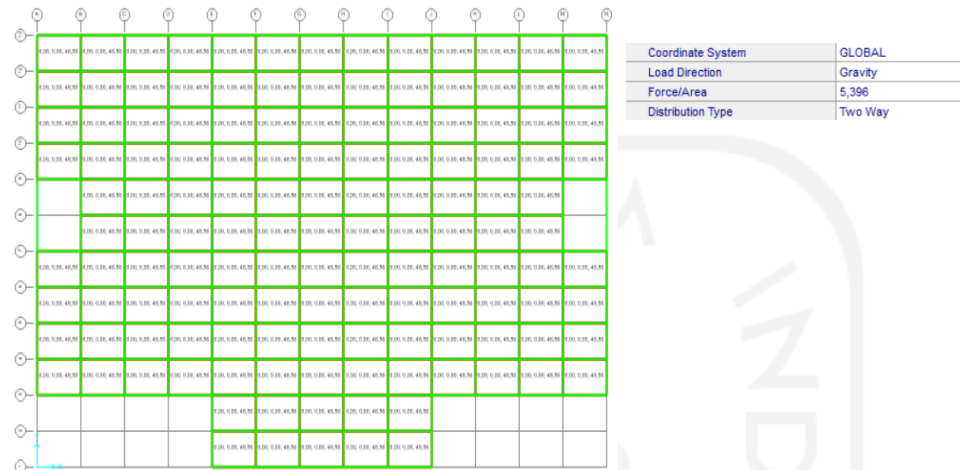
- Tinggi maksimum air (h_{maks}) = 4,5 m
- Tinggi lantai (h_1) = 4 m
- Berat volume tsunami (f_s) = 1100 Kg/m³
- Percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/s²
- Kedalaman maksimum air tertahan di lantai (h_r)

$$\begin{aligned} h_r &= h_{maks} - h_1 \leq h_{bw} \\ &= 4,5 - 4 \leq 4,5 \\ &= 0,5 \text{ m} \leq 4,5 \text{ m} \end{aligned}$$

f. Gaya tambahan beban gravitasi (F_r)

$$\begin{aligned} F_r &= f_s \cdot g \cdot h_r \\ &= 1100 \cdot 9,81 \cdot 0,5 / 1000 \\ &= 5,396 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Gaya tambahan beban gravitasi diberikan pada lantai teratas yang tergenang oleh tsunami, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.16 sebagai berikut.



Gambar 5.16 Input Tambahan Beban Gravitasi

8. Gaya Angkat Hidrodinamis (F_u)

Tahapan perhitungan gaya angkat hidrodinamis dapat dilihat sebagai berikut.

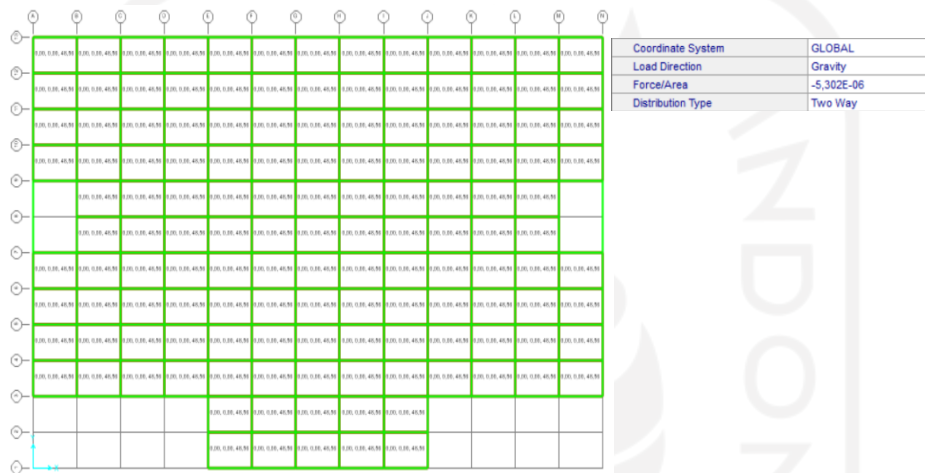
- Koefisien angkat (C_u) = 3
- Berat volume tsunami (f_s) = 1100 Kg/m^3
- Percepatan gravitasi (g) = $9,81 \text{ m/s}^2$
- Elevasi desain runup tsunami (R) = $6,5 \text{ m}$
- Luas genangan (A_f) = 1 m^2
- Kecepatan aliran maksimum (u_{maks}) = $0,1 \cdot (2 \cdot g \cdot R)^{0,5}$
 $= 0,1 \cdot (2 \cdot 9,81 \cdot 6,5)^{0,5}$
 $= 1,129 \text{ m/s}$
- Jarak dari bibir pantai (s) = 1260 m
- Elevasi dasar struktur dari permukaan air (Z_w) = 2 m
- Ketinggian lereng rata – rata () = Z_w/s
 $= 2/1260$
 $= 0,002$
- Kecepatan Vertikal (U_v) = $u \tan \alpha$
 $= 0,00179 \text{ m/s}$

k. Gaya angkat hidrodinamis (F_u)

$$F_u = \frac{1}{2} \cdot f_s \cdot C_u \cdot A_f \cdot U_v^2$$

$$= 5,302 \times 10^{-6} \text{ kN/m}^2$$

Gaya angkat hidrodinamis diberikan pada lantai teratas yang tergenang oleh tsunami, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.17 sebagai berikut.



Gambar 5.17 Input Gaya Angkat Hidrodinamis

5.5 Pengecekan Partisipasi Massa Struktur

Pada SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.1 menyatakan bahwa partisipasi massa ragam terkombinasi paling minimal yaitu 100% dari massa struktur, dan terdapat pengecualian sebagai alternatif diizinkan 90% dari massa aktual dalam setiap arah horizontal dari respons yang ditinjau oleh model, hasil pengecekan partisipasi massa struktur dapat dilihat pada Tabel 5.13 sebagai berikut.

Tabel 5.13 Pengecekan Partisipasi Massa Struktur

Case	Mode	Period	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
		Sec			
Modal	1	2,073	72,616%	0%	0%
Modal	2	1,281	72,616%	69,244%	0%
Modal	3	1,032	72,616%	69,244%	67,818%
Modal	4	0,582	86,248%	69,244%	67,818%
Modal	5	0,331	86,248%	87,594%	67,818%
Modal	6	0,273	92,619%	87,594%	67,818%
Modal	7	0,156	92,619%	94,165%	67,818%

Lanjutan Tabel 5.13 Pengecekan Partisipasi Massa Struktur

<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Period</i>	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
		<i>Sec</i>			
<i>Modal</i>	8	0,153	95,816%	94,165%	67,819%
<i>Modal</i>	9	0,096	95,816%	96,609%	67,819%
<i>Modal</i>	10	0,076	99,356%	96,609%	67,822%
<i>Modal</i>	11	0,065	99,356%	98,008%	67,822%
<i>Modal</i>	12	0,042	99,356%	99,964%	67,822%

Berdasarkan pengecekan dapat disimpulkan bahwa struktur bangunan ini telah memenuhi persyaratan partisipasi massa struktur.

5.6 Pengecekan Kontribusi *Frame* Memikul 25% Gaya Lateral

Pada SNI 1726:2019 pasal 7.2.5.1 untuk struktur sistem ganda mensyaratkan bahwa rangka pemikul momen harus dapat menahan minimal 25% gaya gempa desain. Hasil pengecekan dapat dilihat pada Tabel 5.14 sebagai berikut.

Tabel 5.14 Kontribusi *Frame*

Arah	Lokasi	Gaya	Persentase
		kN	%
X	<i>Frame</i>	2438,290	25
	<i>Total</i>	9753,158	
Y	<i>Frame</i>	2436,974	25
	<i>Total</i>	9747,895	

Berdasarkan pengecekan dapat disimpulkan bahwa struktur bangunan ini telah memenuhi persyaratan kontribusi frame memikul 25% gaya lateral.

5.7 Pengecekan Faktor Skala Gempa

Pada SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.4 menyatakan bahwa perbandingan gempa dinamis dan gempa statis harus lebih besar atau sama dengan 1. Hasil pengecekan dapat dilihat pada Tabel 5.15 sebagai berikut.

Tabel 5.15 Pengecekan Faktor Skala Gempa

Gaya Gempa	E_x	E_y
	kN	kN
Statik	9747,841	9747,841
Dinamik	9753,158	9748,895
Cek	OK	OK

Berdasarkan pengecekan dapat disimpulkan bahwa struktur bangunan ini telah memenuhi persyaratan faktor skala gempa.

5.8 Pengecekan Simpangan antar Tingkat

Perhitungan pada pengecekan simpangan antar tingkat akan diambil contoh arah X pada lantai 1 dilakukan dengan langkah – langkah berikut.

1. Menghitung δ (contoh perhitungan pada lantai 1)

$$= 5,5$$

$$= 283824,797 \text{ KN}$$

$$= 1$$

$$U_1 = 1,682 \text{ mm}$$

$$= 9713,596 \text{ KN}$$

$$= 4000 \text{ mm}$$

$$\delta = \frac{U_1}{\dots}$$

$$\delta = \frac{\dots}{\dots}$$

$$\delta = \delta_{xe} = 9,251$$

2. Menghitung δ

$$= \frac{\dots}{\dots}$$

$$= \frac{\dots}{\dots}$$

$$= 61,538$$

3. Cek $\delta <$

Pengecekan $\delta <$ dapat dilihat di bawah ini dan kami menggunakan pengecekan pada lantai 1 sebagai contoh.

$$\delta <$$

$$9,251 < 61,538 \text{ (OK)}$$

Hasil perhitungan simpangan antar tingkat arah x dan arah y dari struktur yang direncanakan dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan Tabel 5.17 sebagai berikut.

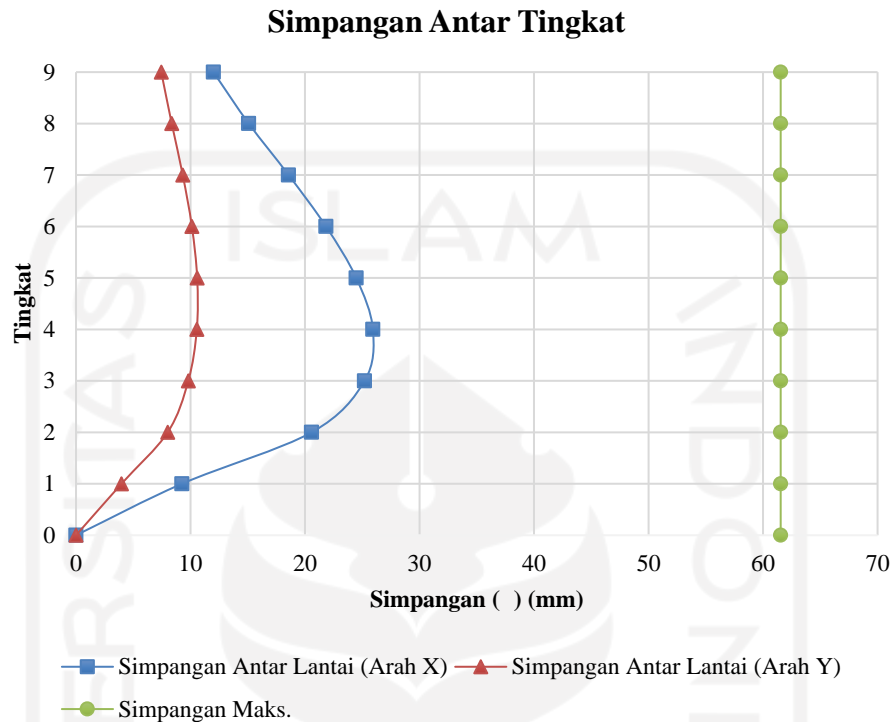
Tabel 5.16 Simpangan Antar Tingkat Arah X

Tingkat	C_d	I_e	h_{sx}	U_1	U_1	δ	δ_{xe}	δ_{izin}	$\delta_{xe} < \delta_{izin}$
			mm	m	mm	mm	mm	mm	mm
Pondasi	5,5	1	4000	0	0	0	0	61,538	OK
1	5,5	1	4000	0,0017	1,682	9,251	9,251	61,538	OK
2	5,5	1	4000	0,0054	5,424	29,832	20,581	61,538	OK
3	5,5	1	4000	0,01	10,006	55,033	25,201	61,538	OK
4	5,5	1	4000	0,0147	14,72	80,96	25,927	61,538	OK
5	5,5	1	4000	0,0192	19,17	105,44	24,475	61,538	OK
6	5,5	1	4000	0,0231	23,14	127,27	21,835	61,538	OK
7	5,5	1	4000	0,0265	26,516	145,84	18,568	61,538	OK
8	5,5	1	4000	0,0293	29,259	160,92	15,087	61,538	OK
9	5,5	1	4000	0,0314	31,441	172,93	12,001	61,538	OK

Tabel 5.17 Simpangan Antar Tingkat Arah Y

Tingkat	C_d	I_e	h_{sx}	U_2	U_2	δ	δ_{xe}	δ_{izin}	$\delta_{xe} < \delta_{izin}$
			mm	m	mm	mm	mm	mm	mm
Pondasi	5,5	1	4000	0	0	0	0	61,538	OK
1	5,5	1	4000	0,0007	0,722	3,971	3,971	61,538	OK
2	5,5	1	4000	0,0022	2,178	11,979	8,008	61,538	OK
3	5,5	1	4000	0,004	3,961	21,786	9,8065	61,538	OK
4	5,5	1	4000	0,0059	5,879	32,335	10,549	61,538	OK
5	5,5	1	4000	0,0078	7,803	42,917	10,582	61,538	OK
6	5,5	1	4000	0,0096	9,643	53,037	10,12	61,538	OK
7	5,5	1	4000	0,0113	11,338	62,359	9,3225	61,538	OK
8	5,5	1	4000	0,0129	12,858	70,719	8,36	61,538	OK
9	5,5	1	4000	0,0142	14,212	78,166	7,447	61,538	OK

Hasil perhitungan simpangan antar tingkat dijadikan dalam bentuk grafik, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.18 sebagai berikut.



Gambar 5.18 Grafik Simpangan Antar Tingkat Arah X dan Arah Y

5.9 Pengecekan P-Delta

Perhitungan pada pengecekan P-Delta akan diambil contoh arah X pada lantai 1 dilakukan dengan langkah – langkah berikut.

1. Menghitung δ (contoh perhitungan pada lantai 1)

$$= 5,5$$

$$= 283824,797 \text{ KN}$$

$$= 1$$

$$\delta = \delta_{xe} = 9,251$$

$$= 9713,596 \text{ KN}$$

$$= 4000 \text{ mm}$$

$$\theta = \frac{\dots}{\dots}$$

$$\theta = \frac{\dots}{\dots}$$

$$\theta = 0,012$$

2. Menghitung θ_{max}

$$\begin{aligned}\theta_1 &= 0,5 / C_d \\ &= 0,5 \times 5,5 \\ &= 0,0909\end{aligned}$$

$$\theta_2 = 0,25$$

$$\begin{aligned}\theta_{max} &= \text{diambil nilai terkecil antara } \theta_1 \text{ dan } \theta_2 \\ &= 0,0909\end{aligned}$$

3. Cek $\theta < \theta_{max}$

Pengecekan $\theta < \theta_{max}$ dapat dilihat di bawah ini dan kami menggunakan pengecekan pada lantai 1 sebagai contoh.

$$\theta < \theta_{max}$$

$$0,012 < 0,0909 \text{ (OK)}$$

Hasil perhitungan P-Delta arah x dan arah y dari struktur yang direncanakan dapat dilihat pada Tabel 5.18 dan Tabel 5.19 sebagai berikut.

Tabel 5.18 Pengecekan P-Delta Arah X

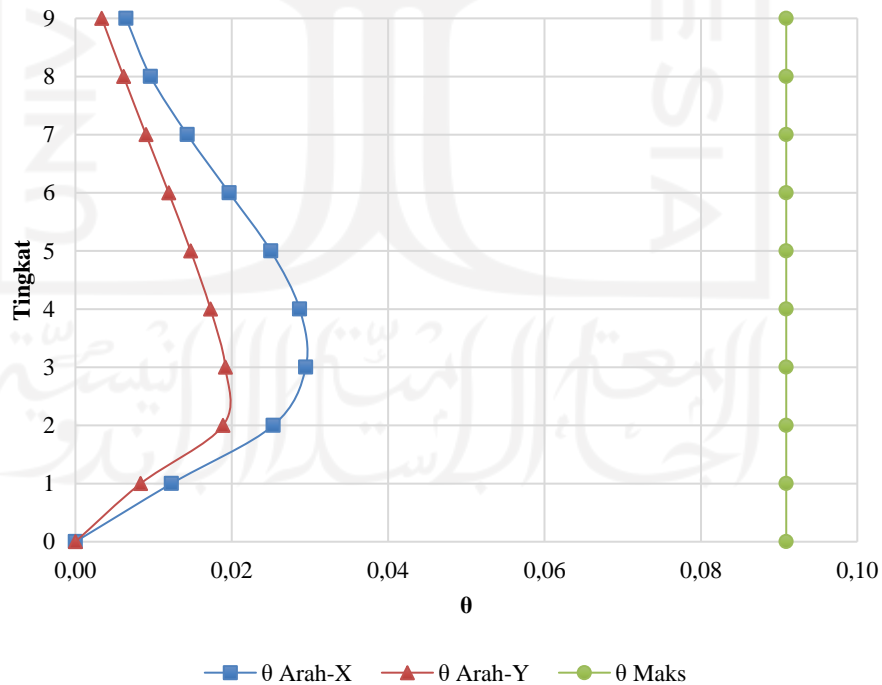
Lantai	P_x	V_x	C_d	I_e	h_{sx}	δ_{xe}	θ	θ_{max}	$\theta < \theta_{max}$
	F_3	F_1			mm	mm			
	kN	kN							
Pondasi	283824,797	9713,596	5,5	1	4000	0	0	0,0909	OK
1	283824,797	9713,596	5,5	1	4000	9,251	0,012	0,0909	OK
2	251594,919	9303,88	5,5	1	4000	20,581	0,025	0,0909	OK
3	219821,437	8545,835	5,5	1	4000	25,201	0,029	0,0909	OK
4	188055,737	7727,783	5,5	1	4000	25,927	0,029	0,0909	OK
5	156296,82	6956,593	5,5	1	4000	24,475	0,025	0,0909	OK
6	124543,497	6282,104	5,5	1	4000	21,835	0,020	0,0909	OK
7	92794,381	5470,649	5,5	1	4000	18,568	0,014	0,0909	OK
8	61048,696	4357,167	5,5	1	4000	15,087	0,010	0,0909	OK
9	29305,036	2470,66	5,5	1	4000	12,001	0,006	0,0909	OK

Tabel 5.19 Pengecekan P-Delta Arah Y

Lantai	P_y	V_y	C_d	I_e	h_{sx}	δ_{xe}	θ	θ_{max}	$\theta < \theta_{max}$
	F_3	F_1			mm	mm			
	kN	kN							
Pondasi	283824,797	6140,115	5,5	1	4000	0	0	0,0909	OK
1	283824,797	6140,115	5,5	1	4000	3,971	0,008	0,0909	OK
2	251594,919	4849,179	5,5	1	4000	8,008	0,019	0,0909	OK
3	219821,437	5107,423	5,5	1	4000	9,8065	0,019	0,0909	OK
4	188055,737	5219,036	5,5	1	4000	10,549	0,017	0,0909	OK
5	156296,82	5102,041	5,5	1	4000	10,582	0,015	0,0909	OK
6	124543,497	4802,098	5,5	1	4000	10,12	0,012	0,0909	OK
7	92794,381	4356,113	5,5	1	4000	9,3225	0,009	0,0909	OK
8	61048,696	3765,95	5,5	1	4000	8,36	0,006	0,0909	OK
9	29305,036	2940,347	5,5	1	4000	7,447	0,003	0,0909	OK

Hasil pengecekan P-Delta dijadikan dalam bentuk grafik, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.19 sebagai berikut.

Pengaruh P-Delta



Gambar 5.19 Grafik Simpangan Antar Tingkat Arah X dan Arah Y

5.10 Pengecekan Torsi Tak Terduga

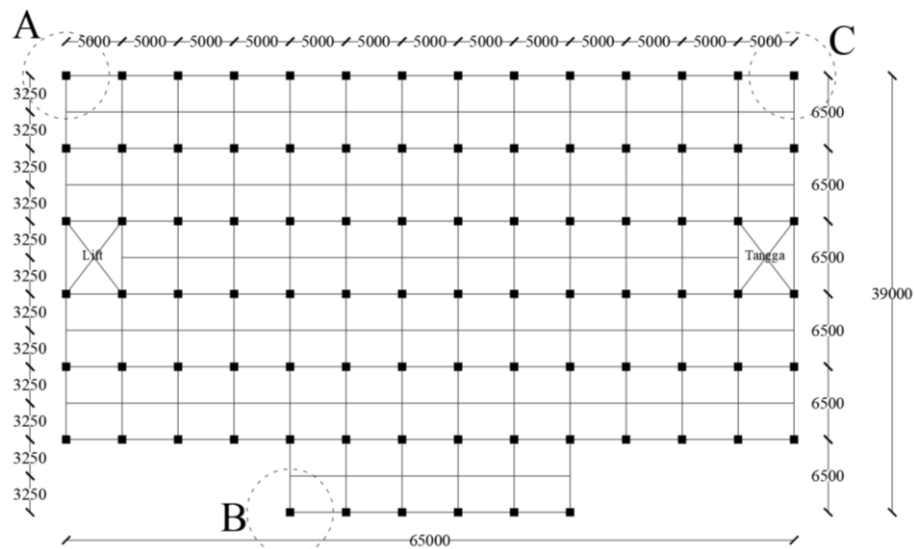
Torsi tak terduga dari sebuah bangunan berasal dari adanya eksentrisitas antara pusat massa lantai dengan pusat kekakuan lantai. Hal ini terjadi karena diperkirakan jika terjadi goyangan struktur akibat gempa, maka struktur penahan gaya *seismic* (penampang kolom) akan mengalami keretakan sehingga akan terjadi perubahan pusat kekakuan lantai. Hal ini menyebabkan pusat kekakuan lantai tidak satu titik dengan pusat massa lantai. Untuk mengakomodirnya, maka pusat gaya gempa tiap lantai perlu digeser sejauh Δ_x atau Δ_y . Jika ditemui ketidak-reguleran simpangan ke arah X (artinya beban gempa ke arah X), memiliki eksentrisitas ke arah Δ_y , maka yang diperbesar adalah Δ_y , dan jika ditemui ketidak-reguleran simpangan ke arah arah Y (artinya beban gempa ke arah Y), memiliki eksentrisitas ke arah Δ_x , maka yang diperbesar adalah Δ_x . Hasil pengecekan torsi tak terduga pada struktur dapat dilihat pada Tabel 5.20 sebagai berikut.

Tabel 5.20 Pengecekan Torsi Tak Terduga

Lantai	Pusat Massa		Δ_x	Δ_y	F_x (kN)	F_y (kN)	Torsi X (kNm)	Torsi Y (kNm)
	X	Y	5% Δ_x	5% Δ_y			$F_x \cdot \Delta_y$	$F_y \cdot \Delta_x$
1	32,500	21,295	1,625	1,065	409,716	1290,936	436,250	2097,771
2	32,500	21,307	1,625	1,065	758,045	258,244	807,583	419,646
3	32,500	21,307	1,625	1,065	818,052	111,613	871,511	181,371
4	32,500	21,307	1,625	1,065	771,19	116,995	821,587	190,117
5	32,500	21,307	1,625	1,065	674,489	299,943	718,566	487,407
6	32,500	21,307	1,625	1,065	811,455	445,985	864,483	724,726
7	32,500	21,307	1,625	1,065	1113,482	590,163	1186,247	959,015
8	32,500	21,307	1,625	1,065	1886,507	825,603	2009,789	1341,605
9	32,500	21,343	1,625	1,067	2470,66	2940,347	2636,597	4778,064
Jumlah							10352,61256	11179,72213
Torsi Tak Terduga Pakai								11179,72213

5.11 Ketidakberaturan Horizontal

Ketidakberaturan horizontal yang terjadi pada struktur arah x dan arah y, titik – titik yang ditinjau pada denah struktur dapat dilihat pada Gambar 5.20 sebagai berikut.



Gambar 5.20 Penetapan Titik – Titik Pada Denah Struktur

1. Menghitung Ketidakberaturan Horizontal

Adapun penghitungan irregularitas adalah sebagai berikut dan kami menggunakan titik 1-2 sebagai contoh perhitungan.

a. Perhitungan simpangan arah X (Tingkat 1)

Diketahui:

$$= 0,0017 \text{ (joint A/Atas)}$$

$$= 0,00171 \text{ (joint B/Bawah)}$$

$$= 0,00171 \text{ m}$$

$$= \text{—————}$$

$$= \text{—————} = 0,001705 \text{ m}$$

$$= 1,2 \times$$

$$= 1,2 \times 0,001705$$

$$= 0,00205$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,4 \times \\
 &= 1,4 \times 0,001705 \\
 &= 0,00239
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan bahwa nilai:

$$< <$$

Maka dapat disimpulkan tak terjadi ketidakberaturan horizontal.

b. Perhitungan simpangan arah Y (Tingkat 1)

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 &= 0,00076 \text{ (joint A/Kiri)} \\
 &= 0,000762 \text{ (joint C/Kanan)} \\
 &= 0,000762 \text{ m} \\
 &= \text{---} \\
 &= \text{---} = 0,000762 \text{ m} \\
 &= 1,2 \times \\
 &= 1,2 \times 0,000762 \\
 &= 0,000914 \\
 &= 1,4 \times \\
 &= 1,4 \times 0,000762 \\
 &= 0,00107
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan bahwa nilai:

$$< <$$

Maka dapat disimpulkan tak terjadi ketidakberaturan horizontal.

Hasil analisa ketidakberaturan horizontal arah x dan arah y dapat dilihat pada Tabel 5.21 dan Tabel 5.22 sebagai berikut.

Tabel 5.21 Ketidakberaturan Horizontal Arah X

Gempa Arah X								
Joint A	U_1 (m)	Joint B	U_1 (m)	δ_{max}	$\Delta_{average}$	$1,2 \cdot \delta_{average}$	$1,4 \cdot \delta_{average}$	Keterangan
1	0,0017	1	0,00171	0,001708	0,0017045	0,0020454	0,0023863	Tak Terjadi KetidakBeraturan Horizontal
2	0,00548	2	0,0055	0,005501	0,00549	0,006588	0,007686	Tak Terjadi KetidakBeraturan Horizontal
3	0,01011	3	0,01015	0,010149	0,0101295	0,0121554	0,0141813	Tak Terjadi KetidakBeraturan Horizontal
4	0,01488	4	0,01494	0,014941	0,0149115	0,0178938	0,0208761	Tak Terjadi KetidakBeraturan Horizontal
5	0,0194	5	0,01948	0,019475	0,0194355	0,0233226	0,0272097	Tak Terjadi KetidakBeraturan Horizontal
6	0,02343	6	0,02353	0,023533	0,023483	0,0281796	0,0328762	Tak Terjadi KetidakBeraturan Horizontal
7	0,02688	7	0,027	0,026998	0,026938	0,0323256	0,0377132	Tak Terjadi KetidakBeraturan Horizontal
8	0,02969	8	0,02983	0,029829	0,029759	0,0357108	0,0416626	Tak Terjadi KetidakBeraturan Horizontal
9	0,03194	9	0,0321	0,032095	0,032016	0,0384192	0,0448224	Tak Terjadi KetidakBeraturan Horizontal

Tabel 5.22 Ketidakberaturan Horizontal Arah Y

Gempa Arah Y								
Joint A	U_2 (m)	Joint C	U_2 (m)	δ_{max}	$\Delta_{average}$	$1,2 \cdot \delta_{average}$	$1,4 \cdot \delta_{average}$	Keterangan
1	0,00076	1	0,000762	0,000762	0,000762	0,0009144	0,0010668	Tak Terjadi KetidakBeraturan Horizontal
2	0,0023	2	0,002297	0,002297	0,002297	0,0027564	0,0032158	Tak Terjadi KetidakBeraturan Horizontal
3	0,00418	3	0,004182	0,004182	0,004182	0,0050184	0,0058548	Tak Terjadi KetidakBeraturan Horizontal
4	0,00622	4	0,006219	0,006219	0,006219	0,0074628	0,0087066	Tak Terjadi KetidakBeraturan Horizontal
5	0,00827	5	0,008274	0,008274	0,008274	0,0099288	0,0115836	Tak Terjadi KetidakBeraturan Horizontal
6	0,01025	6	0,010249	0,010249	0,010249	0,0122988	0,0143486	Tak Terjadi KetidakBeraturan Horizontal
7	0,01208	7	0,012081	0,012081	0,012081	0,0144972	0,0169134	Tak Terjadi KetidakBeraturan Horizontal
8	0,01374	8	0,013736	0,013736	0,013736	0,0164832	0,0192304	Tak Terjadi KetidakBeraturan Horizontal
9	0,01522	9	0,015219	0,015219	0,015219	0,0182628	0,0213066	Tak Terjadi KetidakBeraturan Horizontal

5.12 Ketidakberaturan Vertikal

Analisis ketidakberaturan vertikal dilakukan dengan syarat 2 tipe yaitu:

1. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (tipe 1a)
2. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebih (tipe 1b)

Contoh perhitungan untuk pengecekan ketidakberaturan vertikal pada kolom dalam (K1) dan kolom luar (K2) pada lantai 1 adalah sebagai berikut.

1. Menghitung Kekakuan Lateral Kolom Dalam (K1)

Diketahui:

a. $B = 1150 \text{ mm}$

b. $H = 1150 \text{ mm}$

c. $L = 4000 \text{ mm}$

d. $E = 1$

e. $I = \dots$

$$= 1,458 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

f. $K_i = \dots$

$$= 27,328 \text{ mm}$$

g. $n = 52 \text{ buah}$

h. $\Sigma K_{iK1} = K_i \times n$
 $= 27,328 \times 52$
 $= 1421,07 \text{ mm}$

2. Menghitung Kekakuan Lateral Kolom Luar (K2)

Diketahui:

a. $B = 850 \text{ mm}$

b. $H = 850 \text{ mm}$

c. $L = 4000 \text{ mm}$

d. $E = 1$

e. $I = \dots$

$$= \dots$$

$$= 4,35 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

f. K_i

$$= \dots$$

$$= \dots$$

$$= 8,156 \text{ mm}$$

g. n

$$= 38 \text{ buah}$$

h. $\Sigma K_{i \ K2}$

$$= K_i \times n$$

$$= 8,156 \times 38$$

$$= 309,941 \text{ mm}$$

3. Menjumlahkan Kekakuan Lateral Kolom Dalam dan Kolom Luar pada lantai 1

$$\Sigma K_i = K_{i \ K1} + K_{i \ K2}$$

$$= 1421,07 + 309,941$$

$$= 1731,01 \text{ mm}$$

4. Menghitung 70% ΣK_i

$$70\% \Sigma K_i = 70\% \times \Sigma K_i$$

$$= 70\% \times 1731,01$$

$$= 1211,706 \text{ mm}$$

5. Menghitung 60% ΣK_i

$$60\% \Sigma K_i = 60\% \times \Sigma K_i$$

$$= 60\% \times 1731,01$$

$$= 1038,605$$

Hasil analisis ketidakberaturan vertikal berdasarkan tipe 1a dan tipe 1b dapat dilihat pada Tabel 5.23 dan Tabel 5.24 sebagai berikut.

Tabel 5.23 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a

1a Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak				
Tingkat	<i>Story Stiffness</i>	<i>Story Stiffness > 70% Above</i>	<i>Story Stiffness > 80% 3 Story Above</i>	<i>Vertical Irregular</i>
1	1731,009	OK	OK	Reg.
2	1731,009	OK	OK	Reg.
3	1731,009	OK	OK	Reg.
4	1731,009	OK	OK	Reg.
5	1731,009	OK	OK	Reg.
6	1731,009	OK	OK	Reg.
7	1731,009	OK	OK	Reg.
8	1731,009	OK	OK	Reg.
9	1731,009	OK	OK	Reg.

Tabel 5.24 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1b

1b Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebih				
Tingkat	<i>Story Stiffness</i>	<i>Story Stiffness > 60% Above</i>	<i>Story Stiffness > 70% 3 Story Above</i>	<i>Vertical Irregular</i>
1	1731,009	OK	OK	Reg.
2	1731,009	OK	OK	Reg.
3	1731,009	OK	OK	Reg.
4	1731,009	OK	OK	Reg.
5	1731,009	OK	OK	Reg.
6	1731,009	OK	OK	Reg.
7	1731,009	OK	OK	Reg.
8	1731,009	OK	OK	Reg.
9	1731,009	OK	OK	Reg.

5.13 Perhitungan Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang akan diperhitungkan pada struktur mengacu pasal 4.2.2.1 dan pasal 8.3.2.3 dalam pedoman SNI 1726:2019. Kombinasi pembebanan struktur yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.26 sebagai berikut.

Tabel 5.25 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Beban (Umum)										
1.	1,2	<i>DL</i>	+	1	<i>LL</i>					
2.	1,2	<i>DL</i>	+	1,6	<i>LL</i>					
Kombinasi Beban (Gempa)										
1.	$1.3E_x + 0.39E_y$		+	1	<i>T</i>	+	1,333	<i>DL</i>	+	1 <i>LL</i>
2.	$-1.3E_x + 0.39E_y$		+	1	<i>T</i>	+	1,333	<i>DL</i>	+	1 <i>LL</i>
3.	$1.3E_x - 0.39E_y$		+	1	<i>T</i>	+	1,333	<i>DL</i>	+	1 <i>LL</i>
4.	$-1.3E_x - 0.39E_y$		+	1	<i>T</i>	+	1,333	<i>DL</i>	+	1 <i>LL</i>
5.	$1.3E_y + 0.39E_x$		+	1	<i>T</i>	+	1,333	<i>DL</i>	+	1 <i>LL</i>
6.	$-1.3E_y + 0.39E_x$		+	1	<i>T</i>	+	1,333	<i>DL</i>	+	1 <i>LL</i>
7.	$1.3E_y - 0.39E_x$		+	1	<i>T</i>	+	1,333	<i>DL</i>	+	1 <i>LL</i>
8.	$-1.3E_y - 0.39E_x$		+	1	<i>T</i>	+	1,333	<i>DL</i>	+	1 <i>LL</i>
9.	$1.3E_x + 0.39E_y$		+	1	<i>T</i>	+	0,767	<i>DL</i>		
10.	$-1.3E_x + 0.39E_y$		+	1	<i>T</i>	+	0,767	<i>DL</i>		
11.	$1.3E_x - 0.39E_y$		+	1	<i>T</i>	+	0,767	<i>DL</i>		
12.	$-1.3E_x - 0.39E_y$		+	1	<i>T</i>	+	0,767	<i>DL</i>		
13.	$1.3E_y + 0.39E_x$		+	1	<i>T</i>	+	0,767	<i>DL</i>		
14.	$-1.3E_y + 0.39E_x$		+	1	<i>T</i>	+	0,767	<i>DL</i>		
15.	$1.3E_y - 0.39E_x$		+	1	<i>T</i>	+	0,767	<i>DL</i>		
16.	$-1.3E_y - 0.39E_x$		+	1	<i>T</i>	+	0,767	<i>DL</i>		
Kombinasi Beban (Tsunami)										
1.	1,2	<i>DL</i>	+	0,25	<i>LL</i>	+	1	<i>Ts</i>	+	1 <i>Lref</i>
2.	0,9	<i>DL</i>	+	1	<i>Ts</i>					

Berdasarkan kombinasi beban pada Tabel 5.25 yang diinputkan pada bangunan menggunakan *software* SAP2000 V.22, maka diperoleh hasil pembebanan di tiap elemen struktur seperti pada balok dan kolom. Hasil pembebanan dari kombinasi beban dapat dilihat pada Tabel 5.26 sampai Tabel 5.29 berikut.

Tabel 5.26 Hasil Kombinasi Beban Pada Momen Ultimit Balok

Kode Balok	Lantai	Kode Frame	Kombinasi Beban	Tumpuan (kNm)		Lapangan (kNm)	
				M^-	M^+	M^-	M^+
B1L	1-3	107	$-1,3E_x + 0,39E_y + 1T + 1,333DL + 1LL$	153,482	41,603	21,045	56,396
	4-6	690	$-1,3E_x + 0,39E_y + 1T + 1,333DL + 1LL$	130,892	42,551	29,506	44,439
	7-8	1368	$-1,3E_x + 0,39E_y + 1T + 1,333DL + 1LL$	119,460	36,919	23,762	41,051
B1A	9	1872	$-1,3E_x + 0,39E_y + 1T + 1,333DL + 1LL$	106,644	38,137	26,561	38,167
B2L	1-3	264	$1,3E_y - 0,39E_x + 1T + 1,333DL + 1LL$	325,336	45,963	41,774	197,015
	4-6	1282	$-1,3E_y + 0,39E_x + 1T + 1,333DL + 1LL$	271,921	57,402	62,931	145,449
	7-8	1508	$-1,3E_y + 0,39E_x + 1T + 1,333DL + 1LL$	269,978	56,474	61,898	145,232
B2A	9	1923	$-1,3E_y + 0,39E_x + 1T + 1,333DL + 1LL$	187,185	25,208	24,373	102,771
BA1L	1-3	387	$0,9DL + 1Ts$	104,101	226,566	138,656	28,864
	4-6	898	$0,9DL + 1Ts$	73,320	23,282	2,670	36,911
	7-8	1559	$0,9DL + 1Ts$	69,572	14,573	1,012	31,351
BA1A	9	2035	$0,9DL + 1Ts$	47,989	13,742	0,462	24,885

Tabel 5.27 Hasil Kombinasi Beban Pada Gaya Geser Balok

Kode Balok	Lantai	Kode Frame	Kombinasi Beban	V_g (kN) (1,2DL+1LL)	
				Tengah Kiri	Tengah Kanan
B1L	1-3	107	$1,2DL + 1LL$	0	0
	4-6	690	$1,2DL + 1LL$	0	0
	7-8	1368	$1,2DL + 1LL$	0	0
B1A	9	1872	$1,2DL + 1LL$	0	0
B2L	1-3	264	$1,2DL + 1LL$	80,78	80,78
	4-6	1282	$1,2DL + 1LL$	59,453	59,453
	7-8	1508	$1,2DL + 1LL$	59,483	59,483
B2A	9	1923	$1,2DL + 1LL$	43,592	43,592
BA1L	1-3	387	$1,2DL + 1LL$	0	0
	4-6	898	$1,2DL + 1LL$	0	0
	7-8	1559	$1,2DL + 1LL$	0	0
BA1A	9	2035	$1,2DL + 1LL$	0	0

Tabel 5.28 Hasil Kombinasi Beban Pada Momen Ultimit dan Gaya Geser Kolom K1

Kolom	Keadaan Kritis	Lantai	Frame Label	Kombinasi Beban	P_u (kN)	M_{ux} (M_2) (kNm)	M_{uy} (M_3) (kNm)	V_{ux} (V_2) (kN)	V_{uy} (V_3) (kN)	
K1 (Kolom Dalam)	$P_{ux Max}$	1 - 3	2182	$1,2DL + 1,6LL$	6396,314	1,732	1,334	0,478	0,777	
		4 - 6	2185	$1,3E_x - 0,39E_y + 1T + 1,333DL + 1LL$	4085,486	1,713	3,494	1,683	0,646	
		7 - 8	2215	$-1,3E_y + 0,39E_x + 1T + 1,333DL + 1LL$	1960,091	125,083	101,031	27,586	52,832	
		9	2524	$-1,3E_y + 0,39E_x + 1T + 1,333DL + 1LL$	579,689	108,489	96,742	33,138	47,176	
	$M_{ux Max}$	1 - 3	2642		$1,2DL + 0,25LL + 1Ts + 1Lref$	5431,604	487,437		56,167	
		4 - 6	2645		$1,3E_x - 0,39E_y + 1T + 1,333DL + 1LL$	3513,366	214,005		48,496	
		7 - 8	2424		$-1,3E_y + 0,39E_x + 1T + 1,333DL + 1LL$	1152,655	183,183		42,234	
		9	2299		$-1,3E_x + 0,39E_y + 1T + 1,333DL + 1LL$	571,315	128,138		15,586	
	$M_{uy Max}$	1 - 3	2741		$-1,3E_x + 0,39E_y + 1T + 1,333DL + 1LL$	6177,720		1120,641		26,919
		4 - 6	2421		$1,3E_x - 0,39E_y + 1T + 1,333DL + 1LL$	2884,962		375,488		45,996
		7 - 8	2423		$1,3E_x - 0,39E_y + 1T + 1,333DL + 1LL$	1723,73		342,183		43,989
		9	2425		$1,3E_x - 0,39E_y + 1T + 1,333DL + 1LL$	569,458		201,159		26,449

Tabel 5.29 Hasil Kombinasi Beban Pada Momen Ultimit dan Gaya Geser Kolom K2

Kolom	Keadaan Kritis	Lantai	Frame Label	Kombinasi Beban	P_u (kN)	M_{ux} (M_2) (kNm)	M_{uy} (M_3) (kNm)	V_{ux} (V_2) (kN)	V_{uy} (V_3) (kN)	
K2 (Kolom Luar)	$P_{ux Max}$	1 - 3	2525	$-1,3E_y + 0,39E_x + 1T + 1,333DL + 1LL$	6150,379	166,292	109,768	22,552	45,461	
		4 - 6	2176	$-1,3E_x + 0,39E_y + 1T + 1,333DL + 1LL$	2821,239	75,200	185,859	84,233	36,910	
		7 - 8	2179	$1,3E_x - 0,39E_y + 1T + 1,333DL + 1LL$	1362,712	81,188	182,964	71,546	39,622	
		9	2181	$1,3E_x - 0,39E_y + 1T + 1,333DL + 1LL$	404,054	105,110	174,831	62,715	46,104	
	$M_{ux Max}$	1 - 3	2849		$1,2DL + 0,25LL + 1Ts + 1Lref$	2282,318	411,180		7,609	
		4 - 6	2843		$1,2DL + 0,25LL + 1Ts + 1Lref$	1939,051	189,183		0,338	
		7 - 8	2125		$1,3E_y - 0,39E_x + 1T + 1,333DL + 1LL$	1097,426	169,948		15,752	
		9	2803		$-1,3E_y + 0,39E_x + 1T + 1,333DL + 1LL$	324,468	221,821		13,113	
	$M_{uy Max}$	1 - 3	2661		$1,3E_y - 0,39E_x + 1T + 1,333DL + 1LL$	4467,557		366,470		21,545
		4 - 6	2285		$-1,3E_x + 0,39E_y + 1T + 1,333DL + 1LL$	2332,275		192,609		39,720
		7 - 8	2179		$-1,3E_y + 0,39E_x + 1T + 1,333DL + 1LL$	1362,712		182,964		39,622
		9	2181		$-1,3E_x + 0,39E_y + 1T + 1,333DL + 1LL$	404,054		174,831		46,104

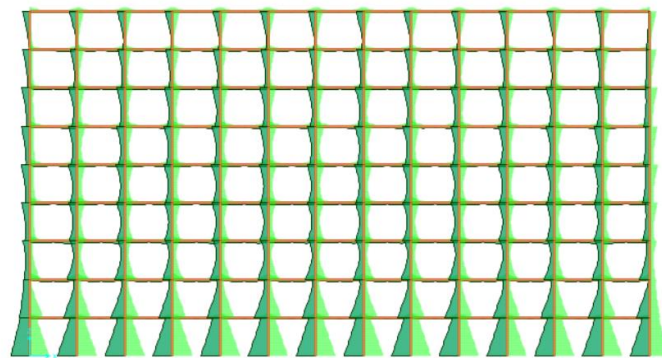
Berdasarkan tabel di atas dapat dikatakan bahwa pembebanan yang berpengaruh paling besar adalah pembebanan gempa namun terdapat juga kombinasi beban tsunami yang mendapatkan momen ultimit seperti pada Tabel 5.26 pada balok anak BA1L tingkat 1 – 9 yaitu kombinasi beban $0,9DL + 1Ts$, untuk kolom beban tsunami yang berpengaruh pada keadaan momen ultimit arah x pada kolom K1 tingkat 1 – 3 yaitu kombinasi beban $1,2DL + 0,25LL + 1Ts + 1Lref$, serta beban tsunami yang berpengaruh pada keadaan momen ultimit arah x pada kolom K2 tingkat 1 – 6 yaitu $1,2DL + 0,25LL + 1Ts + 1Lref$. Selain elemen struktur tersebut, kombinasi yang menjadi ultimit tidak terdapat beban tsunami sehingga dapat dikatakan beban tsunami cukup berpengaruh pada Sebagian elemen di dua kombinasi tsunami.

5.14 Gambar Diagram Gaya Dalam Struktur

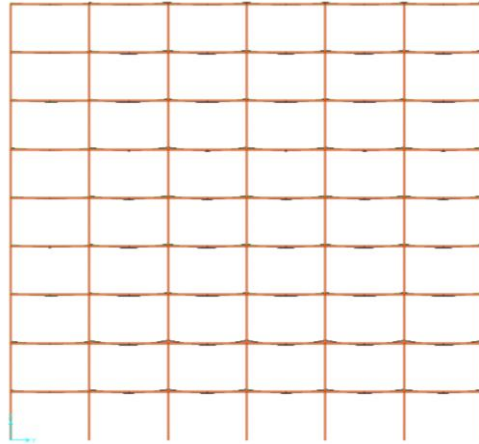
Diagram gaya dalam struktur di antaranya yaitu:

1. Momen

Hasil diagram momen pada struktur portal arah x dan arah y dapat dilihat pada Gambar 5.21 dan Gambar 5.22 sebagai berikut.



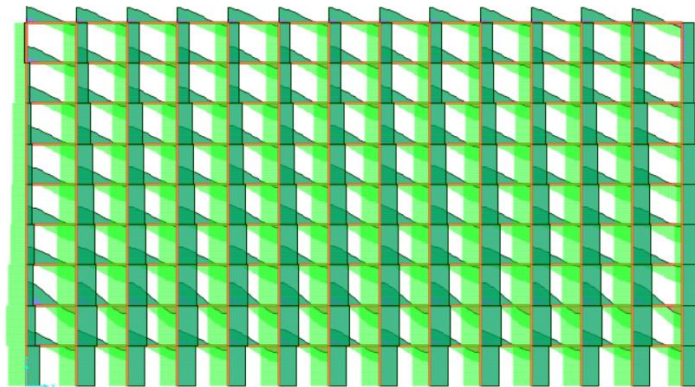
Gambar 5.21 Diagram Momen Portal Arah X



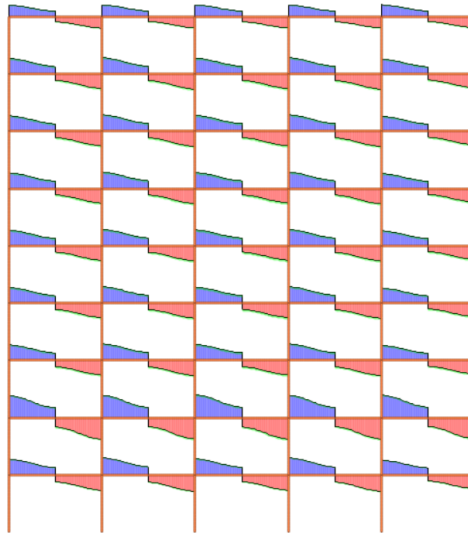
Gambar 5.22 Diagram Momen Portal Arah Y

2. Geser

Hasil diagram gaya geser pada struktur portal arah x dan arah y dapat dilihat pada Gambar 5.23 dan Gambar 5.24 sebagai berikut.



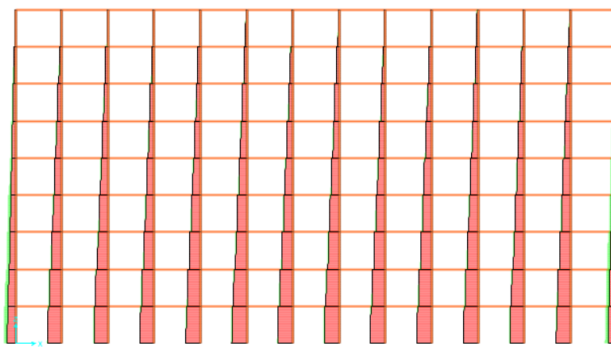
Gambar 5.23 Diagram Gaya Geser Portal Arah X



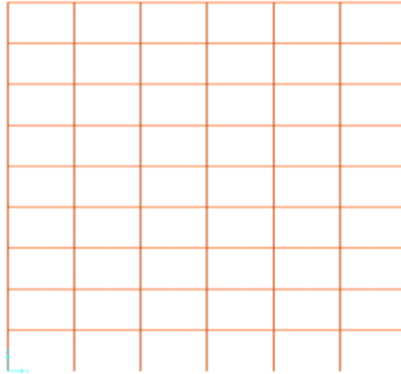
Gambar 5.24 Diagram Gaya Geser Portal Arah Y

3. Normal

Hasil diagram gaya normal pada struktur portal arah x dan arah y dapat dilihat pada Gambar 5.25 dan Gambar 5.26 sebagai berikut.



Gambar 5.25 Diagram Gaya Normal Portal Arah X



Gambar 5.26 Diagram Gaya Normal Portal Arah Y

5.15 Desain Elemen Struktur Bangunan

Setelah semua syarat telah memenuhi pada ketentuan SNI 1726:2019, maka selanjutnya adalah melakukan analisis struktur meliputi perencanaan penulangan balok, kolom, pelat, dan tangga serta melakukan pemeriksaan *Strong Column Weak Beam* (SCWB), hubungan balok kolom, dan pondasi.

5.15.1 Desain Balok SRPMK

Elemen balok yang sesuai dengan SRPMK harus direncanakan kuat terhadap lentur dan juga kuat terhadap geser sesuai dengan pasal 18.6 pada SNI beton 2847:2019. Perencanaan penulangan balok terdiri dari perencanaan untuk tulangan lentur dan untuk tulangan geser.

5.15.1.1 Tulangan Lentur Balok

Perhitungan penulangan lentur balok menggunakan Balok B1L tingkat 1-3 sebagai contoh perhitungan. Adapun untuk perhitungan balok lainnya sama, hanya berbeda pada nilai momen, penentuan dimensi, dan penggunaan jumlah tulangan yang dipakai. Dan momen yang dipakai pada perhitungan desain lentur sendiri merupakan hasil redistribusi dan desain momen.

1. Perhitungan Desain Tulangan Lentur Daerah Tumpuan (B1L Tingkat 1 – 3)

Diketahui data - data sebagai berikut.

$$F_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$H \phi = 30 \text{ Mpa}$$

$$M_u^+ = 65,230 \text{ KNm}$$

$$M_u^- = 130,460 \text{ KNm}$$

$$\begin{aligned}
 E_s &= 200000 \\
 \varepsilon_c &= 0,003 \\
 \Phi &= 0,9 \\
 \text{Pokok} &= 25 \text{ mm} \\
 \text{Senggang} &= 12 \text{ mm} \\
 \text{Penutup Beton} &= 40 \text{ mm} \\
 \text{Jarak Vertikal Tulangan} &= 25 \text{ mm} \\
 \text{Overstrength Factor} &= 1.25
 \end{aligned}$$

Karena yang akan dihitung adalah balok pada daerah tumpuan maka yang ditinjau adalah momen negatif.

a. Estimasi Dimensi Balok

Penentuan dimensi balok dilakukan dengan perhitungan - perhitungan di bawah ini.

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{1}{16} \times 100 \times 10^3 \times 10^3 \\
 &= 6250000 \text{ KNm} \\
 &= 144,956 \text{ KNm} \\
 \varepsilon_y &= \frac{1}{16} \times 100 \times 10^3 \times 10^3 \\
 &= 6250000 \\
 &= 0.00210
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{1}{16} \times 100 \times 10^3 \times 10^3 \\
 &= 6250000 \\
 &= 16.471
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0.85 - \left(\frac{1}{16} \times 100 \times 10^3 \times 10^3 \right) \times 0.05 \\
 &= 0.85 - \left(\frac{1}{16} \times 100 \times 10^3 \times 10^3 \right) \times 0.05 \\
 &= 0,836
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b &= \frac{1}{16} \times 100 \times 10^3 \times 10^3 \\
 &= \frac{1}{16} \times 100 \times 10^3 \times 10^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.0298 \\
 R_b &= b \times F_y \times (1 - (0,5 \times b \times m)) \\
 &= 0.0298 \times 420 \times (1 - (0.5 \times 0.0298 \times 16,471)) \\
 &= 9,454 \text{ MPa} \\
 R_m &= 0.75 \times R_b \\
 &= 0,5 \times 9,454 \\
 &= 7,091 \text{ MPa} \\
 b_{\text{perlu}} &= \frac{M}{R_m} \\
 &= \frac{130,460}{7,091} \\
 &= 172,250 \text{ mm} \\
 h_{\text{perlu}} &= 2 \cdot b_{\text{perlu}} \\
 &= 2 \times 172,250 \\
 &= 344,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Adapun untuk syarat b dan h pakai adalah harus lebih besar dari B dan H perlu. Maka diambil dimensi untuk balok Induk Interior Lantai 1-3 adalah sebagai berikut.

$$B_{\text{pakai}} = 300 \text{ mm}$$

$$H_{\text{pakai}} = 500 \text{ mm}$$

b. Komponen Tulangan Sebelah

Langkah selanjutnya adalah menghitung kebutuhan tulangan sebelah. Adapun kebutuhan tulangan sebelah dapat diketahui melalui perhitungan - perhitungan berikut.

1) Cek syarat M_u^+

Pada balok induk interior lantai 1-3 diketahui bahwasanya nilai momen negatif dan positif sebagai berikut.

$$M_u^- = 130,460 \text{ kNm}$$

$$50\% M_u^- = 50\% \times 130,460$$

$$= 65,23 \text{ kNm}$$

$$M_u^+ = 65,23 \text{ kNm}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa $M_u^+ = 50\% M_u^-$ dan sudah memenuhi persyaratan SRPMK pada daerah tumpuan dan diambil nilai c sebesar 0,2.

2) Kontrol Tegangan Baja

$$c_{pakai} = 0.2$$

$$\begin{aligned} R_1 &= c \times R_b \\ &= 0,2 \times 9,454 \\ &= 1,891 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_1 &= R_1 \times B_{pakai} \times H_{pakai}^2 \\ &= 1,891 \times 350 \times \\ &= 141816851,7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{s \text{ asumsi}} &= P_b + \text{Senggang} + \text{Pokok} + (0,5 \times \text{Jar. Vertikal Tul.}) \\ &= 40 + 12 + 25 + \\ &= 89,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - d_s \\ &= 500 - 89,5 \\ &= 410,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Selanjutnya adalah mencari nilai a dengan persamaan di bawah ini.

$$M_n = C_c \times (d - (0.5 \times a))$$

$$M_n = 0.85 \times H \phi \times e a \times b \times (d - (0.5 \times a))$$

$$141816851,7 = 0.85 \times 30 \times a \times 300 \times (410,5 - (0,5 \times a))$$

$$141816851,7 = 2175468.75a - 2656.25a^2$$

$$3825 - 3140325a + 141816851,7 = 0$$

Maka dengan persamaan kuadrat rumus ABC kita dapat mencari

nilai a .

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-(-3140325) \pm \sqrt{(-3140325)^2 - 4(3825)(141816851,7)}}{2(3825)} \\ &= 773,038 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_2 &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-(-3140325) \pm \sqrt{(-3140325)^2 - 4(3825)(141816851,7)}}{2(3825)} \\ &= 47,962 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari dua perhitungan di atas didapat nilai a pakai sebesar 51.311 mm.

$$a_{pakai} = 47,962 \text{ mm}$$

$$c = \text{---}$$

$$= \text{---}$$

$$= 57.390 \text{ mm}$$

Cek syarat regangan baja desak

$$\varepsilon_s = \text{---} \times 0,003$$

$$= \text{---} \times 0,003$$

$$= 0.0185$$

$$\varepsilon_y = 0.00210$$

Didapat nilai $\varepsilon_s > \varepsilon_y$, maka baja tarik sudah leleh.

$$F_s = \varepsilon_s \times E_s$$

$$F_s = 0.00210 \times 200000$$

$$F_s = 3691,675 \text{ MPa}$$

Tegangan baja yang dipakai adalah 420 MPa atau sama dengan nilai F_y dikarenakan baja tarik sudah leleh. Selanjutnya untuk mengetahui jumlah tulangan maka dapat menggunakan perhitungan di bawah ini.

$$T_s = C_c$$

$$T_s = 0.85 \times H \phi \times a \times b$$

$$A_s \times F_y = 0.85 \times H \phi \times a \times b$$

$$A_s \text{ perlu} = \text{---}$$

$$A_s \text{ perlu} = \text{---}$$

$$A_s \text{ perlu} = 873,590 \text{ } \odot \odot$$

$$A_1 \text{ Tulangan} = -x \times \phi_{pokok}^2$$

$$A_1 \text{ Tulangan} = -x \times x$$

$$A_1 \text{ Tulangan} = 490.874 \text{ } \odot \odot$$

Jumlah Tulangan Perlu

$$n = \frac{M_n}{\phi F_y A_s} = \frac{144,955 \times 10^6}{0,9 \times 345 \times 490,874} = 1,780 \text{ buah} = 2 \text{ buah (dibulatkan ke atas)}$$

$$n = 2$$

$$n = 1,780 \text{ buah} = 2 \text{ buah (dibulatkan ke atas)}$$

$$A_s \text{ baru} = n \times A_1 \text{ Tulangan}$$

$$= 2 \times 490,874$$

$$= 981,748 \text{ cm}^2$$

$$T_s \text{ baru} = A_s \text{ baru} \times F_y$$

$$= 981,748 \times 345$$

$$= 338702,958 \text{ N}$$

$$= 0,85 \times F'_c \times a \times b$$

$$a_{\text{baru}} = \frac{T_s \text{ baru}}{0,85 \times F'_c \times b}$$

$$= \frac{338702,958}{0,85 \times 30 \times 30}$$

$$= 53,90 \text{ mm}$$

$$c_{\text{baru}} = \frac{a_{\text{baru}}}{\beta_1}$$

$$= \frac{53,90}{0,85}$$

$$= 64,496 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s \text{ baru} = \frac{c_{\text{baru}}}{d} \times \epsilon_{yk}$$

$$= \frac{64,496}{410,5} \times 0,003$$

$$= 0,0161 > \epsilon_y \text{ (OK baja tarik sudah leleh)}$$

$$M_{n1} = c_c \times (d - (0,5 \times a))$$

$$= 0,85 \times 30 \times 53,90 \times 30 \times (410,5 - (0,5 \times 53,90))$$

$$= 158150745,4 \text{ Nmm}$$

c. Komponen Tulangan Rangkap

Langkah selanjutnya adalah menghitung kebutuhan tulangan rangkap. Adapun kebutuhan tulangan rangkap dapat diketahui melalui perhitungan - perhitungan berikut

$$M_{n2} = M_n - M_{n1}$$

$$= (144,955 \times 10^6) - 12158150745,4$$

$$= -13195712,08 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} d_s' \text{ asumsi} &= P_b + \text{Sengkang} + 0,5 \times \text{Pokok} \\ &= 40 + 12 + 12,5 \\ &= 64,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - d_s' \\ &= 500 - 64,5 \\ &= 435,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{n2} = c_c \times (d - d_s')$$

$$A_s' \times F_y = \frac{M_{n2}}{F_y \times (d - d_s')}$$

$$A_s' \text{ perlu} = \frac{M_{n2}}{F_y \times (d - d_s')}$$

$$= \frac{-13195712,08}{240 \times (435,5 - 64,5)}$$

$$= -84,686 \text{ cm}^2$$

$$A_1 \text{ Tulangan} = -x \times \text{Ø}_{\text{pokok}}^2$$

$$= -x \times x$$

$$= 490,874$$

$$\text{Jumlah Tul.} = \frac{A_s' \text{ perlu}}{A_1 \text{ Tulangan}}$$

$$n = \frac{-84,686}{490,874}$$

$$n = -0,1725 \text{ buah} = 2 \text{ buah (tulangan pakai minimum)}$$

Jadi untuk jumlah tulangan sebelah adalah 2 buah dan jumlah tulangan rangkap adalah 2 buah.

d. Cek Momen Nominal Negatif

Untuk mengecek nilai momen negatif sendiri perlu dilakukan beberapa langkah perhitungan yang dapat dilihat di bawah ini.

Konfigurasi tulangan yang dipakai:

$$\begin{aligned} \text{Atas (tarik)} &= \text{komponen tulangan sebelah} + \text{rangkap} \\ &= 2 + 2 \\ &= 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Bawah (tekan) = komponen tulangan rangkap

= 2 buah

Lalu selanjutnya menentukan titik berat tulangan tarik atau d_s

Konfigurasi tulangan tarik:

Jumlah pada baris 1 = 4 buah

Jarak antar baris = Jarak Vertikal Tulangan + *Pokok*

$$= 25 + 25$$

$$= 50 \text{ mm}$$

x_1 = $P_b + \text{Senggang} + 0.5 \times \text{Pokok}$

$$= 40 + 12 + 12,5$$

$$= 64,5 \text{ mm}$$

A_{s1} = jumlah tulangan pada baris 1 x

$$A_{1\text{tulangan}}$$

$$= 4 \times x - x \quad x$$

$$= 1963,495 \text{ } \odot \odot$$

$A_{s1} \cdot x_1$ = $1963,495 \times 64,5$

$$= 126645,454 \text{ } \odot \odot$$

d_s

$$= \text{-----}$$

$$= \text{-----}$$

$$= 64,5 \text{ mm}$$

Cek Jarak Tulangan Horizontal:

S

$$= \text{-----}$$

$$= \text{-----}$$

$$= 32 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$$

Lalu selanjutnya menentukan titik berat tulangan tekan atau d_s'

Konfigurasi tulangan tarik:

Jumlah pada baris 1 = 2 buah

Jarak antar baris = Jarak Vertikal Tulangan + *Pokok*

$$= 25 + 25$$

$$\begin{aligned}
 &= 50 \text{ mm} \\
 x_1 &= P_b + \text{Senggang} + 0.5 \times \text{Pokok} \\
 &= 40 + 12 + 12,5 \\
 &= 64,5 \text{ mm} \\
 x_2 &= x_1 + \text{jarak antar baris} \\
 &= 64,5 + 50 \\
 &= 115,5 \text{ mm} \\
 A_{s1} &= \text{jumlah tulangan pada baris 1} \times \\
 &\quad A_{1\text{tulangan}} \\
 &= 2 \times \frac{\pi}{4} \times x^2 \\
 &= 981,748 \text{ } \odot \odot \\
 A_{s1} \cdot x_1 &= 981,748 \times 64,5 \\
 &= 63322,727 \text{ } \odot \odot \\
 d_s' &= \text{---} \\
 &= \text{---} \\
 &= 64,5 \text{ mm} \\
 \text{Cek Jarak Tulangan Horizontal:} \\
 S &= \text{---} \\
 &= \text{---} \\
 &= 146 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}
 \end{aligned}$$

Lalu selanjutnya masuk ke perhitungan momen nominal negatif (M_n^-)

$$\begin{aligned}
 d_s &= 64,5 \text{ mm} \\
 d_s' &= 64,5 \text{ mm} \\
 d &= h - d_s \\
 &= 500 - 64,5 \\
 &= 435,5 \text{ mm} \\
 A_s \text{ pakai} &= \text{Jumlah tulangan tarik} \times A_1 \text{ Tulangan} \\
 &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times x^2 \\
 &= 1963,495 \text{ } \odot \odot
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s'_{pakai} &= \text{Jumlah tulangan tekan} \times A_1_{Tulangan} \\
 &= 2 \times \dots \times \dots \\
 &= 981,748 \text{ } \odot \odot
 \end{aligned}$$

Persamaan Keseimbangan gaya - gaya horizontal ($\Sigma H = 0$)

$$\begin{aligned}
 T_s &= c_c + c_s \\
 A_s \times F_y &= (0,85 \times F_c \times c \times \beta_1 \times b_{pakai}) + (A_s' \times (c \times \dots) \times E_s) \\
 1963,495 \times 420 &= (0,85 \times 30 \times c \times 0,836 \times 300) + (981,748 \times (0,003 \\
 &\quad \times \dots) \times 200000)
 \end{aligned}$$

Sama seperti cara sebelumnya, nilai c atau garis netral dihitung dengan persamaan kuadrat rumus ABC. Maka didapat nilai c sebesar 97,689 mm.

$$\begin{aligned}
 c &= 97,689 \text{ mm} \\
 a &= c \times \beta_1 \\
 &= 97,689 \times 0,836 \\
 &= 81,640 \text{ mm} \\
 F_s &= c \times \dots \times E_s \\
 &= 0,003 \times \dots \times 200000 \\
 &= 203,844 \text{ MPa} \\
 M_n &= c_c \times (d - (0,5xa)) + c_s (d - d_s') \\
 c_c &= 0,85 \times F_c \times a \times b \\
 &= 0,85 \times 30 \times 81,640 \times 500 \\
 &= 624544,95 \text{ N} \\
 c_s &= A_s' \times F_s \\
 &= 981,748 \times 203,844 \\
 &= 200123,122 \text{ N} \\
 Lengan_1 &= d - (0,5 \times a) \\
 &= 435,5 - (0,5 \times 81,640) \\
 &= 394,680 \text{ mm} \\
 Lengan_2 &= d - d_s' \\
 &= 435,5 - 64,5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 371 \text{ mm} \\
 M_n &= (624544,95 \times 394,680) + (200123,122 \times 371) \\
 &= 320741121,8 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Lalu selanjutnya menentukan nilai reduksi yaitu dengan syarat $t > 0,005$.

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{\dots}{\dots} - 0,003 \\
 &= 0,0104 > 0,005, \text{ maka reduksi atau } \phi \text{ adalah } 0.9
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \phi \times M_n \\
 &= 0.9 \times 320741121,8 \\
 &= 288667009,6 \text{ Nmm} \\
 &= 288,667 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$M_n > M_u^-$$

$$288,667 \text{ kNm} > 130,460 \text{ kNm (OK)}$$

e. Cek Momen Kapasitas Negatif

Untuk mengecek nilai momen kapasitas negatif sendiri perlu dilakukan beberapa langkah perhitungan yang dapat dilihat di bawah ini.

$$\begin{aligned}
 d_s &= 64,5 \text{ mm} \\
 d_s' &= 64,5 \text{ mm} \\
 d &= h - d_s \\
 &= 500 - 64,5 \\
 &= 435,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pakai} &= \text{Jumlah tulangan tarik} \times A_1 \text{ Tulangan} \\
 &= 4 \times \dots \times \dots \\
 &= 1963,495 \text{ } \odot \odot
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \phi \text{ pakai} &= \text{Jumlah tulangan tekan} \times A_1 \text{ Tulangan} \\
 &= 2 \times \dots \times \dots \\
 &= 981,748 \text{ } \odot \odot
 \end{aligned}$$

Persamaan Keseimbangan gaya - gaya horizontal ($\Sigma H = 0$)

$$T_s = c_c + c_s$$

$$A_s \times F_y \times \text{Overstrength Factor} = (0.85 \times F'_c \times c \times \beta_1 \times b_{\text{pakai}}) + (A_s' \times \dots)$$

$$\left(c \times \left(\frac{1}{2} \right) \times E_s \right)$$

$$1963,495 \times 420 \times 1,25 = (0,85 \times 30 \times c \times 0,85 \times 300) + (981,748 \times (0,003 \times \left(\frac{1}{2} \right) \times 200000))$$

Sama seperti cara sebelumnya, nilai c atau garis netral dihitung dengan persamaan kuadrat rumus ABC. Maka didapat nilai c sebesar 119,030 mm.

$$c = 119,030 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} a &= c \times \beta_1 \\ &= 119,030 \times 0,836 \\ &= 99,475 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_s &= c \times \left(\frac{1}{2} \right) \times E_s \\ &= 0,003 \times \left(\frac{1}{2} \right) \times 200000 \\ &= 274,871 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$M_n = c_c \times (d - (0,5xa)) + c_s (d-d_s')$$

$$\begin{aligned} c_c &= 0,85 \times F_c \times a \times b \\ &= 0,85 \times 30 \times 99,475 \times 300 \\ &= 760981,447 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_s &= A_s' \times F_s \\ &= 981,748 \times 274,871 \\ &= 269853,643 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lengan}_1 &= d - (0,5 \times a) \\ &= 435,5 - (0,5 \times 99,475) \\ &= 385,763 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lengan}_2 &= d-d_s' \\ &= 435,5 - 64,5 \\ &= 371 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Kap} &= (760981,447 \times 385,763) + (269853,643 \times 371) \\ &= 393673921,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Lalu selanjutnya menentukan nilai reduksi yaitu dengan syarat $t > 0,005$.

$$t = \frac{\dots}{\dots} - 0,003$$

= 0,008 > 0.005, maka reduksi atau adalah 0,9

$$\begin{aligned}
 M_{Kap} &= \phi \times M_{Kap} \\
 &= 0,9 \times 393673921,4 \\
 &= 354306529,2 \text{ Nmm} \\
 &= 354,307 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

f. Cek Momen Nominal Positif

Untuk mengecek nilai momen positif sendiri perlu dilakukan beberapa langkah perhitungan yang dapat dilihat di bawah ini.

Konfigurasi tulangan yang dipakai:

$$\begin{aligned}
 \text{Atas (tekan)} &= \text{komponen tulangan sebelah} + \text{rangkap} \\
 &= 2 + 2 \\
 &= 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bawah (tarik)} &= \text{Komponen tulangan rangkap} \\
 &= 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Lalu selanjutnya menentukan titik tarik tulangan tarik atau ds

Konfigurasi tulangan tarik :

$$\text{Jumlah pada baris 1} = 2 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak antar baris} &= \text{Jarak Vertikal Tulangan} + \text{Pokok} \\
 &= 25 + 25 \\
 &= 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_1 &= P_b + \text{Senggang} + 0.5 \times \text{Pokok} \\
 &= 40 + 12 + 12,5 \\
 &= 64,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_2 &= x_1 + \text{jarak antar baris} \\
 &= 64,5 + 50 \\
 &= 114,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s1} &= \text{jumlah tulangan pada baris 1} \times A_{1tulangan} \\
 &= 2 \times \phi \times \phi \\
 &= 981,748 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{s1} \cdot x_1 = 981.748 \times 64,5$$

$$A_{s2} \cdot x_2 = 63322,727 \text{ © ©}$$

$$= 0 \times 112,5$$

$$d_s = \frac{\dots}{\dots}$$

$$= \frac{\dots}{\dots}$$

$$= 64,5 \text{ mm}$$

Cek Jarak Tulangan Horizontal :

$$S = \frac{\dots}{\dots}$$

$$= \frac{\dots}{\dots}$$

$$= 146 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$$

Lalu selanjutnya menentukan titik berat tulangan tekan atau d_s'

Konfigurasi tulangan tekan :

$$\text{Jumlah pada baris 1} = 4 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak antar baris} = \text{Jarak Vertikal Tulangan} + \text{Pokok}$$

$$= 25 + 25$$

$$= 50 \text{ mm}$$

$$x_1 = P_b + \text{Sengkan} + 0,5 \times \text{Pokok}$$

$$= 40 + 12 + 12,5$$

$$= 64,5 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = \text{jumlah tulangan pada baris 1} \times A_{1\text{tulangan}}$$

$$= 4 \times \dots \times \dots$$

$$= 1963,495 \text{ © ©}$$

$$A_{s1} \cdot x_1 = 1963,495 \times 64,5$$

$$= 126645,454 \text{ © ©}$$

$$d_s' = \frac{\dots}{\dots}$$

$$= \frac{\dots}{\dots}$$

$$= 64,5 \text{ mm}$$

Cek Jarak Tulangan Horizontal :

$$S = \frac{h}{4} = \frac{500}{4} = 125 \text{ mm}$$

$$= 32 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$$

Lalu selanjutnya masuk ke perhitungan momen nominal negatif atau mn-.

$$d_s = 64,5 \text{ mm}$$

$$d_s' = 64,5 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s = 500 - 64,5 = 435,5 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = \text{Jumlah tulangan tekan} \times A_1 \text{ Tulangan}$$

$$= 2 \times 20 \times 100 = 4000 \text{ mm}^2$$

$$= 981,748 \text{ cm}^2$$

$$A_{s \phi \text{ pakai}} = \text{Jumlah tulangan tarik} \times A_1 \text{ Tulangan}$$

$$= 4 \times 20 \times 100 = 8000 \text{ mm}^2$$

$$= 1963,495 \text{ cm}^2$$

Persamaan Keseimbangan gaya - gaya horizontal ($\Sigma H = 0$)

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s \times F_y = (0,85 \times F'_c \times c \times \beta_1 \times b_{\text{pakai}}) + (A_s' \times c \times E_s)$$

$$981,748 \times 420 = (0,85 \times 30 \times c \times 0,85 \times 300) + (1963,495 \times (0,003 \times c \times 200000))$$

Sama seperti cara sebelumnya, nilai c atau garis netral dihitung dengan persamaan kuadrat rumus ABC. Maka didapat nilai c sebesar 64,499 mm.

$$c = 64,499 \text{ mm}$$

$$a = c \times \beta_1 = 64,499 \times 0,836 = 53,903 \text{ mm}$$

$$F_s = c \times E_s$$

$$= 0.003 \times \left(\frac{200000}{200000} \right) \times 200000$$

$$= 0,0107 \text{ MPa}$$

$$M_n = c_c \times (d - (0.5xa)) + c_s (d-d_s')$$

$$c_c = 0,85 \times F'_c \times a \times b$$

$$= 0,85 \times 30 \times 53,903 \times 300$$

$$= 412354,988 \text{ N}$$

$$c_s = A_s' \times F_s$$

$$= 1963,495 \times 0,0107$$

$$= 20,952 \text{ N}$$

$$Lengan_1 = d - (0.5 \times a)$$

$$= 435,5 - (0,5 \times 53,903)$$

$$= 408,549 \text{ mm}$$

$$Lengan_2 = d-d_s'$$

$$= 435,5 - 64,5$$

$$= 371 \text{ mm}$$

$$M_n = (412354,988 \times 408,549) + (20,9952 \times 371)$$

$$= 168474864,8 \text{ Nmm}$$

Lalu selanjutnya menentukan nilai reduksi yaitu dengan syarat $t > 0,005$

$$t = \frac{168474864,8}{200000} - 0,003$$

$$t = 0.013 > 0.005, \text{ maka reduksi atau } \phi \text{ adalah } 0,9$$

$$M_n = \phi \times M_n$$

$$= 0,9 \times 168474864,8$$

$$= 151627378,3 \text{ Nmm}$$

$$= 151,627 \text{ kNm}$$

$$M_n > 50\% .M_n'$$

$$151,627 \text{ kNm} > 144,333 \text{ kNm (OK)}$$

g. Cek Momen Kapasitas Positif

Untuk mengecek nilai momen kapasitas positif sendiri perlu dilakukan beberapa langkah perhitungan yang dapat dilihat di bawah ini.

$$\begin{aligned}
 d_s &= 64,5 \text{ mm} \\
 d_s' &= 64,5 \text{ mm} \\
 d &= h - d_s \\
 &= 500 - 64,5 \\
 &= 435,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pakai}} &= \text{Jumlah tulangan tekan} \times A_{1 \text{ tulangan}} \\
 &= 2 \times 459,725 \\
 &= 919,45 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \phi \text{ pakai}} &= \text{Jumlah tulangan tarik} \times A_{1 \text{ tulangan}} \\
 &= 4 \times 459,725 \\
 &= 1838,9 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Persamaan Keseimbangan gaya - gaya horizontal ($\Sigma H = 0$)

$$\begin{aligned}
 T_s &= c_c + c_s \\
 A_s \times F_y \times \text{Overstrength Factor} &= (0,85 \times F'_c \times c \times \beta_1 \times b_{\text{pakai}}) + (A_s' \times \\
 &\quad (c \times \frac{d-d_s'}{d}) \times E_s) \\
 981,748 \times 420 \times 1,25 &= (0,85 \times 30 \times c \times 0,85 \times 300) + \\
 &\quad (1963,495 \times (0,003 \times \frac{d-d_s'}{d}) \times 200000)
 \end{aligned}$$

Sama seperti cara sebelumnya, nilai c atau garis netral dihitung dengan persamaan kuadrat rumus ABC. Maka didapat nilai c sebesar 68,886 mm.

$$\begin{aligned}
 c &= 68,886 \text{ mm} \\
 a &= c \times \beta_1 \\
 &= 68,886 \times 0,836 \\
 &= 57,569 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_s &= c \times \frac{d-d_s'}{d} \times E_s \\
 &= 0,003 \times \frac{d-d_s'}{d} \times 200000 \\
 &= 38,204 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$M_n = c_c \times (d - (0,5xa)) + c_s (d - d_s')$$

$$\begin{aligned}
 c_c &= 0,85 \times F'_c \times a \times b \\
 &= 0,85 \times 30 \times 57,569 \times 300
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_s &= 440404,286 \text{ N} \\
 &= A_s' \times F_s \\
 &= 1963,495 \times 38,204 \\
 &= 75013,259 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lengan}_1 &= d - (0.5 \times a) \\
 &= 435,5 - (0,5 \times 57,569) \\
 &= 406,715 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lengan}_2 &= d - d_s' \\
 &= 435,5 - 64,5 \\
 &= 371 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Kap} &= (440404,286 \times 406,715) + (75013,259 \times 371) \\
 &= 206949127 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Lalu selanjutnya menentukan nilai reduksi yaitu dengan syarat $t > 0.005$

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{M_{Kap}}{f_y \times S_x} - 0,003 \\
 t &= 0.0121 > 0.005, \text{ maka reduksi atau } \phi & \text{ adalah } 0.9 \\
 M_{Kap} &= \phi \times M_{Kap} \\
 &= 0,9 \times 206949127 \\
 &= 186254214,3 \text{ Nmm} \\
 &= 186,254 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

h. Cek Rasio Tulangan

Untuk mengecek apakah jumlah tulangan yang digunakan berlebih atau tidak maka dapat dilakukan perhitungan cek rasio tulangan. Adapun perhitungannya dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

1) Cek Rasio Tulangan Atas

$$\begin{aligned}
 \rho_{max} &= 0,364 \times \beta_1 \times \frac{f_c}{f_y} \\
 &= 0,364 \times 0,836 \times \frac{30}{420} \\
 &= 0,0218
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{pakai} &= \frac{A_s}{b \times d} \\
 &= \frac{1963,495}{300 \times 435,5}
 \end{aligned}$$

$$= 0,0150$$

$$\text{min1} = \frac{0,0150}{0,0033}$$

$$= 4,5454$$

$$= 0,0033$$

$$\text{min2} = \frac{0,0033}{0,00326}$$

$$= 1,0122$$

$$= 0,00326$$

$$\text{min} = 0,0033 \text{ (diambil nilai terbesar dari } \text{min1} \text{ dan } \text{min2)}$$

Maka rasio tulangan OK karena $\text{min} < \text{pakai} < \text{max}$.

2) Cek Rasio Tulangan Bawah

$$\text{max} = 0,364 \times \beta_1 \times \frac{f_c}{f_y}$$

$$= 0,364 \times 0,836 \times \frac{30}{240}$$

$$= 0,0218$$

$$\text{pakai} = \frac{0,0075}{0,0033}$$

$$= 2,2727$$

$$= 0,0075$$

$$\text{min1} = \frac{0,0075}{0,0033}$$

$$= 2,2727$$

$$= 0,0033$$

$$\text{min2} = \frac{0,0033}{0,00326}$$

$$= 1,0122$$

$$= 0,00326$$

$$\text{min} = 0,0033 \text{ (diambil nilai terbesar dari } \text{min1} \text{ dan } \text{min2)}$$

Maka rasio tulangan OK karena $\text{min} < \text{pakai} < \text{max}$.

i. Tulangan Susut

Berikut merupakan analisis perhitungan tulangan susut pada B1L tingkat 1 – 3 daerah tumpuan:

- 1) $\rho = 0,002$
- 2) $A_{sst} = \rho \times b \times h$
 $= 0,002 \times 300 \times 500$
 $= 300 \text{ mm}^2$
- 3) $D_{susut} = 16 \text{ mm}$
- 4) $A_{1tul.} = -x \pi \times D_{susut}^2$
 $= -x \pi \times 16^2$
 $= 201,062 \text{ mm}^2$
- 5) Jml. Tulangan susut Perlu $= A_{sst} / A_{1tul.}$
 $= \frac{300}{201,062}$
 $= 1,492 \text{ buah}$
- 6) Jml. Tulangan Susut Pakai = 2 buah (Dibuat genap, agar seimbang)

Sehingga tulangan susut pada B1L tingkat 1 – 3 daerah tumpuan adalah 2D16.

j. Tulangan Pakai

Maka dari beberapa perhitungan di atas, didapat untuk daerah atas atau momen negatif memakai tulangan dengan jumlah 4 tulangan berdiameter 25 atau 4D25 dan daerah bawah atau momen positif memakai tulangan dengan jumlah 2 tulangan berdiameter 25 atau 2D25, dengan jumlah tulangan susut yaitu 2 tulangan berdiameter 16 atau 2D16.

2. Perhitungan Desain Tulangan Lentur Daerah Lapangan (B1L Tingkat 1 – 3)

Adapun untuk daerah lapangan sendiri perhitungannya sama seperti pada perhitungan desain tulangan lentur daerah tumpuan. Hanya saja ketika menginput nilai momen dari hasil redistribusi dan desain momen, nilai momen positif menjadi nilai momen negatif dan sebaliknya. Untuk jumlah tulangan B1L

tingkat 1 – 3 pada daerah lapangan sendiri kami dapatkan daerah bawah 4D25 dan daerah atas 2D25.

3. Perhitungan Desain Tulangan Lentur Balok Anak

Adapun untuk balok anak sendiri perhitungannya sama seperti pada perhitungan desain tulangan lentur pada balok induk. Hanya saja untuk Balok anak kami menggunakan hanya tulangan sebelah dengan pertimbangan bahwa penumpuan beban lebih dipusatkan ke balok induk. Sehingga untuk balok anak pada BA1L tingkat 1 – 3 digunakan jumlah tulangan sebanyak 3 buah tulangan berdiameter 19 atau 3D19 pada daerah tumpuan dan 2 buah tulangan berdiameter 19 atau 2D19.

Hasil desain dan analisis pada elemen balok perancangan ini memenuhi persyaratan keamanan yaitu $\phi M_n > M_u$, tetapi secara rasio M_n/M_u memberikan nilai yang cukup besar. Contohnya pada balok B1L tingkat 1-3, rasio M_n terhadap M_u didapat rasio tulangan tarik sebesar 1,50% dan rasio tulangan tekan sebesar 0,75%, berdasarkan hasil tersebut menunjukkan hasil desain masih bisa diefektifkan kembali untuk mendapatkan rasio yang lebih kecil sehingga tidak boros, hasil yang boros disebabkan oleh dimensi yang dipakai, oleh karena itu untuk mendapatkan hasil desain yang tidak boros adalah dengan melakukan percobaan dengan menggunakan dimensi lain yang lebih kecil dari yang dipakai.

Keseluruhan perhitungan penulangan lentur pada balok induk dan balok anak dan desain atau gambar penulangan lentur untuk keseluruhan balok dapat dilihat pada Lampiran 12 sampai Lampiran 16. Hasil gambar detail penulangan lentur pada balok dapat dilihat pada Lampiran 32. Rekapitulasi hasil desain tulangan lentur pada balok induk dan balok anak dapat dilihat pada Tabel 5.30 berikut.

Tabel 5.30 Rekapitulasi Hasil Desain Tulangan Lentur Balok

No.	Kode Balok	Lantai	Tul.Lentur Tumpuan		Tul. Lentur Lapangan		Tul. Susut Tumpuan	Tul. Susut Lapangan	Dimensi Pakai	
			Atas	Bawah	Bawah	Atas			<i>B</i>	<i>H</i>
1	B1L	1-3	4D25	2D25	4D25	2D25	2D16	2D16	300	500
2		4-6	4D25	2D25	4D25	2D25	2D16	2D16	300	500
3		7-8	4D25	2D25	4D25	2D25	2D16	2D16	300	500
4	B1A	9	4D25	2D25	4D25	2D25	2D16	2D16	300	500
5	B2L	1-3	6D25	2D25	6D25	2D25	4D16	4D16	400	700
6		4-6	6D25	2D25	6D25	2D25	4D16	4D16	400	700
7		7-8	6D25	2D25	6D25	2D25	4D16	4D16	400	700
8	B2A	9	5D25	2D25	5D25	2D25	4D16	4D16	400	600
9	BA1L	1-3	4D19	2D19	2D19	2D19	-	-	300	450
10		4-6	2D19	2D19	2D19	2D19	-	-	300	450
11		7-8	2D19	2D19	2D19	2D19	-	-	300	450
12	BA1A	9	2D19	2D19	2D19	2D19	-	-	300	450

No.	Kode Balok	Lantai	Tul.Lentur Tumpuan		Tul. Lentur Lapangan		Tul. Susut Tumpuan	Tul. Susut Lapangan	Dimensi Pakai	
			Atas	Bawah	Bawah	Atas			<i>B</i>	<i>H</i>
1	B1L	1-3	4D25	2D25	4D25	2D25	2D16	2D16	300	500
2		4-6	4D25	2D25	4D25	2D25	2D16	2D16	300	500
3		7-8	4D25	2D25	4D25	2D25	2D16	2D16	300	500
4	B1A	9	4D25	2D25	4D25	2D25	2D16	2D16	300	500
5	B2L	1-3	6D25	2D25	6D25	2D25	4D16	4D16	400	700
6		4-6	6D25	2D25	6D25	2D25	4D16	4D16	400	700
7		7-8	6D25	2D25	6D25	2D25	4D16	4D16	400	700
8	B2A	9	5D25	2D25	5D25	2D25	4D16	4D16	400	600
9	BA1L	1-3	4D19	2D19	2D19	2D19	-	-	300	450
10		4-6	2D19	2D19	2D19	2D19	-	-	300	450
11		7-8	2D19	2D19	2D19	2D19	-	-	300	450
12	BA1A	9	2D19	2D19	2D19	2D19	-	-	300	450

5.15.1.2 Tulangan Geser Balok

Perhitungan tulangan geser menggunakan contoh perhitungan pada Balok B1L tingkat 1 – 3. Berdasarkan hasil desain lentur balok diketahui data sebagai berikut.

1. Data Properties Penampang Balok (B1L Tingkat 1 – 3)

Data perhitungan tulangan geser Balok B1L tingkat 1 – 3 dapat dilihat di antaranya yaitu:

- | | |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| a. b | = 300 mm |
| b. h | = 500 mm |
| c. d | = 409,5 mm |
| d. L_{Balok} | = 5000 mm |
| e. $B_{kolom\ kanan}$ | = 850 mm |
| f. $B_{kolom\ kiri}$ | = 1150 mm |
| g. L_h | = $L_{Balok} - (\text{---} - (\text{---})$
$= 5000 - (\text{---} - (\text{---})$
$= 4000 \text{ mm}$ |
| h. D_{Pokok} | = 25 mm |
| i. $D_{Sengkang}$ | = 12 mm |
| j. F'_c | = 30 Mpa |
| k. F_{ys} | = 280 Mpa |
| l. | = 0.75 |
| m. M_{Pr^-} | = 331,113 KNm |
| n. M_{Pr^+} | = 211,122 KNm |

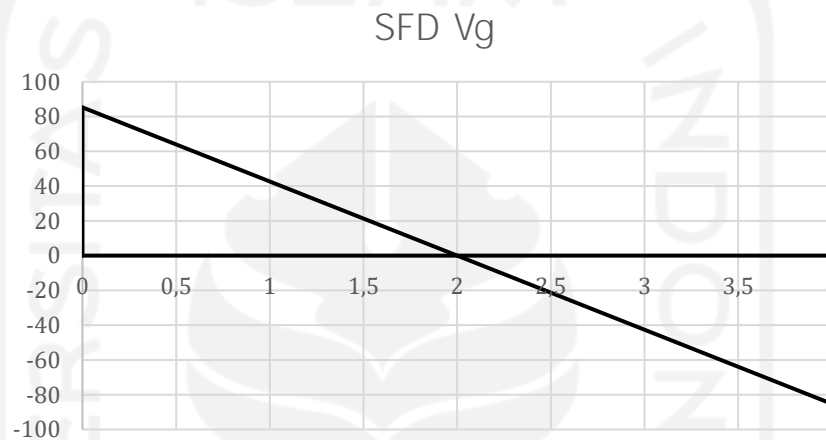
2. Menghitung V_u

Diagram gaya geser hasil dari analisa struktur disuperposisikan dengan gaya geser hasil momen kapasitas dibagi dengan bentang balok. Dari hasil analisis struktur yang telah kami lakukan dengan menggunakan SAP2000 V.22, maka didapatkan data sebagai berikut.

a. Data V_g

- 1) V_g kiri = 85,261 KN
- 2) V_g tengah kiri = -85,261 KN
- 3) V_g kanan = 0 KN
- 4) V_g tengah kiri = 0 KN

Nilai V_g diilustrasikan melalui Gambar 5.27 sebagai berikut.

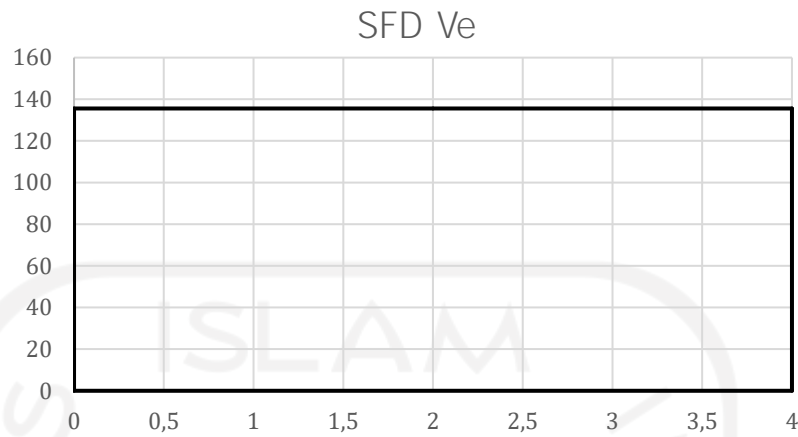


Gambar 5.27 Grafik V_g B1L Tingkat 1 – 3

b. Menghitung V_e

- 1) M_{Pr}^- = 331,113 KNm
- 2) M_{Pr}^+ = 211,122 KNm
- 3) V_e = _____
 = _____
 = 135,559 KN

Nilai V_e diilustrasikan melalui Gambar 5.28 sebagai berikut.

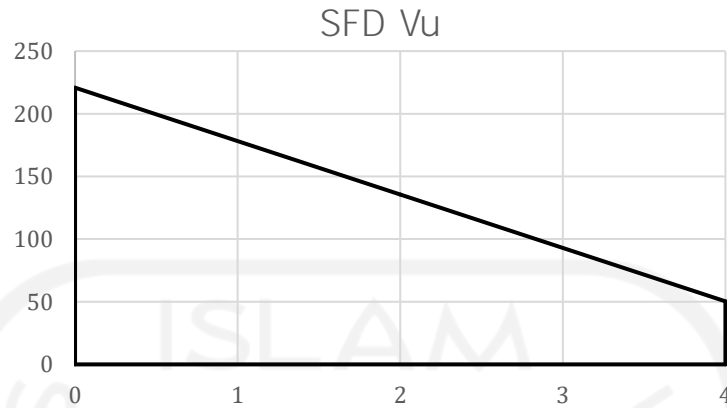


Gambar 5.28 Grafik V_e B1L Tingkat 1 – 3

c. Menghitung V_u

- 1) $V_{u \text{ kiri}} = V_{g \text{ kiri}} + V_e$
 $= 85,261 + 135,559$
 $= 220,82 \text{ kN}$
- 2) $V_{u \text{ kanan}} = V_{g \text{ kanan}} + V_e$
 $= -85,261 + 135,559$
 $= 50,298 \text{ kN}$
- 3) $V_{u \text{ tengah kiri}} = V_{g \text{ tengah kiri}} + V_e$
 $= 0 + 135,559$
 $= 135,559 \text{ kN}$
- 4) $V_{u \text{ kiri kanan}} = V_{g \text{ tengah kanan}} + V_e$
 $= 0 + 135,559$
 $= 135,559 \text{ kN}$

Sehingga diperoleh nilai V_u yang diilustrasikan grafik SFD V_u pada Gambar 5.29 sebagai berikut.



Gambar 5.29 Grafik V_u B1L Tingkat 1 – 3

d. Desain Daerah Sendi Plastis

Diketahui data sebagai berikut:

$$S_h = 2 \times h_{Balok} = 2 \times 500 = 1000 \text{ mm}$$

$$D_{sengkang} = 12 \text{ mm}$$

$$A_{1D} = n \times \pi \times D_{sengkang}^2 = 2 \times \pi \times 12^2 = 132.732 \text{ mm}^2$$

$$n = 2 \text{ kaki}$$

$$V_c = 0 \text{ kN}$$

Maka perhitungan desain sendi plastis sebagai berikut:

$$V_u = 220,82 \text{ kN}$$

$$V_n = V_u + V_c = 220,82 + 0 = 220,82 \text{ kN}$$

$$V_s = \phi V_n = 0,75 \times 220,82 = 165,615 \text{ kN}$$

$$S_{perlu} = \frac{V_s}{\phi \times f_y \times A_{1D}}$$

$$= \frac{165,615}{0,75 \times 250 \times 132,732} = 0,83 \text{ mm}$$

$$= 88,088 \text{ mm}$$

Syarat - Syarat jarak sengkang (S) pada daerah sendi plastis adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} 1) \text{ Syarat 1} &= - \\ &= \text{—} \\ &= 102,375 \text{ mm} \\ 2) \text{ Syarat 2} &= 6 \times D_{\text{Pokok}} \\ &= 6 \times 25 \\ &= 150 \text{ mm} \\ 3) \text{ Syarat 3} &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

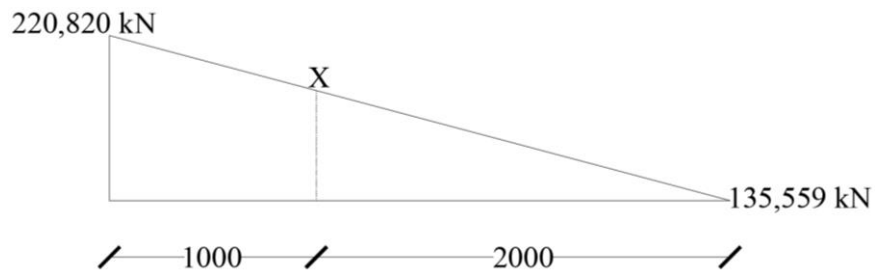
Jarak Maksimum Pakai yang akan digunakan dapat ditentukan dari ketiga syarat tersebut adalah dipilih syarat yang nilainya paling besar yaitu Syarat 1 = 102,375 mm.

Dari perhitungan jarak sengkang perlu dan jarak sengkang maksimum, diambil nilai yang paling terkecil dari jarak pakai maksimum dan jarak perlu, maka diambil nilai 88,088 mm dan dibulatkan ke bawah menjadi 80 mm. Dapat disimpulkan bahwa tulangan menggunakan tulangan sengkang 2P12 - 80 mm.

e. Desain Daerah Luar Sendi Plastis

Pada prinsipnya, perhitungan tulangan geser daerah luar sendi plastis sama saja dengan daerah plastis. Akan tetapi, pada daerah non-plastis, beton dianggap tidak hancur sehingga beton masih mampu menahan gaya geser sebesar V_c . Maka perhitungan desain tulangan geser daerah luar sendi plastis adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} L_h - 2S_h &= 4000 - (2 \times 1000) \\ &= 3000 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 5.30 Grafik Nilai V_u Pada Daerah Luar Sendi Plastis

V_u = nilai V_u didapatkan dari nilai V_u tengah kiri + nilai x

x = _____

= 42,6305 kN

V_u = 135,559 + 42,6305

= 178,189 kN

— = _____

= 237,586 kN

V_c = _____

= _____

= 112,146 kN

V_s = — - V_c

= 237,586 - 112,146

= 125,439 kN

A_v = $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_{sengkang}^2$

= $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (12)^2$

= 113,097 mm²

n = 2 kaki

S_{perlu} = _____

= _____

= 206,757 mm

$$\begin{aligned} \text{Jarak Maksimum Pakai} &= - \\ &= \text{---} \\ &= 204,750 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari perhitungan jarak sengkang perlu dan jarak sengkang maksimum, diambil nilai yang paling terkecil dari jarak pakai maksimum dan jarak perlu, maka diambil nilai 204,750 mm dan dibulatkan ke bawah menjadi 200 mm. Dapat disimpulkan bahwa tulangan menggunakan tulangan sengkang P12-200 mm.

Desain tulangan geser pada balok - balok induk lain sama seperti perhitungan di atas. Hal yang membedakan hanya nilai dimensi lebar dan tinggi balok, panjang bentang balok, dan nilai momen kapasitas negatif dan momen kapasitas positif dari balok tersebut. Adapun untuk balok anak, perhitungannya hampir sama seperti perhitungan tulangan geser pada balok induk dan hal yang membedakan adalah syarat-syarat perhitungan yang akan menentukan perhitungan tulangan geser pada balok anak. Perhitungan tulangan geser untuk keseluruhan balok dan desain atau gambar penulangan geser untuk keseluruhan balok dapat dilihat pada Lampiran 17 sampai Lampiran 19. Hasil gambar detail penulangan geser balok dapat dilihat pada Lampiran 32. Rekapitulasi hasil perhitungan tulangan geser pada balok induk dan balok anak dapat dilihat pada Tabel 5.31 dan Tabel 5.32 sebagai berikut.

Tabel 5.31 Rekapitulasi Hasil Desain Tulangan Geser pada Balok Induk

Kode Balok	Lantai	Kebutuhan Tulangan Geser	
		Daerah Sendi Plastis	Daerah Luar Sendi Plastis
B1L	1-3	2P12-80	2P12-200
	4-6	2P12-100	2P12-200
	7-8	2P12-100	2P12-200
B1A	9	2P12-100	2P12-200
B2L	1-3	2P12-70	2P12-200
	4-6	2P12-90	2P12-300
	7-9	2P12-90	2P12-300
B2A	9	2P12-100	2P12-250

Tabel 5.32 Rekapitulasi Hasil Desain Tulangan Geser pada Balok Anak

Kode Balok	Lantai	Tulangan Geser		
		Daerah I	Daerah II	Daerah III
BA1L	1-3	2P8-190	2P8-190	2P8-190
	4-6	2P8-190	2P8-190	2P8-190
	7-8	2P8-190	2P8-190	2P8-190
BA1A	9	2P8-190	2P8-190	2P8-190

5.15.2 Desain Kolom SRPMK

Sebelum melakukan perencanaan penulangan struktur kolom sesuai SRPMK, diperlukan data – data seperti momen ultimit dan gaya ultimit yang diperoleh setelah melakukan analisa struktur. Hasil analisa yang telah dilakukan menggunakan *software* SAP2000 V.22 diperoleh momen ultimit dan gaya ultimit yang terjadi pada elemen struktur kolom yang dapat dilihat pada Tabel 5.33 sebagai berikut.

Tabel 5.33 Momen Ultimit dan Gaya Ultimit Kolom Hasil Analisa Struktur

Kolom	Keadaan Kritis	Lantai	Frame Label	P_u (kN)	M_{ux} (M_2) (kNm)	M_{uy} (M_3) (kNm)	V_{ux} (V_2) (kN)	V_{uy} (V_3) (kN)
K1 (Kolom Dalam)	$P_{ux Max}$	1 - 3	2182	6396,314	1,732	1,334	0,478	0,777
		4 - 6	2185	4085,486	1,713	3,494	1,683	0,646
		7 - 8	2215	1960,091	125,083	101,031	27,586	52,832
		9	2524	579,689	108,489	96,742	33,138	47,176
	$M_{ux Max}$	1 - 3	2642	5431,604	487,437		56,167	
		4 - 6	2645	3513,366	214,005		48,496	
		7 - 8	2424	1152,655	183,183		42,234	
		9	2299	571,315	128,138		15,586	
	$M_{uy Max}$	1 - 3	2741	6177,720		1120,641		26,919
		4 - 6	2421	2884,962		375,488		45,996
		7 - 8	2423	1723,73		342,183		43,989
		9	2425	569,458		201,159		26,449

Lanjutan Tabel 5.33 Momen Ultimit dan Gaya Ultimit Kolom Hasil Analisa Struktur

Kolom	Keadaan Kritis	Lantai	Frame Label	P_u (kN)	M_{ux} (M_2) (kNm)	M_{uy} (M_3) (kNm)	V_{ux} (V_2) (kN)	V_{uy} (V_3) (kN)
K2 (Kolom Luar)	$P_{ux Max}$	1 - 3	2525	6150,379	166,292	109,768	22,552	45,461
		4 - 6	2176	2821,239	75,200	185,859	84,233	36,910
		7 - 8	2179	1362,712	81,188	182,964	71,546	39,622
		9	2181	404,054	105,110	174,831	62,715	46,104
	$M_{ux Max}$	1 - 3	2849	2282,318	411,180		7,609	
		4 - 6	2843	1939,051	189,183		0,338	
		7 - 8	2125	1097,426	169,948		15,752	
		9	2803	324,468	221,821		13,113	
	$M_{uy Max}$	1 - 3	2661	4467,557		366,470		21,545
		4 - 6	2285	2332,275		192,609		39,720
		7 - 8	2179	1362,712		182,964		39,622
		9	2181	404,054		174,831		46,104

Desain atau perencanaan kolom didasarkan pada SNI 2847:2019, perencanaan penulangan elemen struktur kolom terdiri dari perencanaan tulangan lentur dan perencanaan tulangan geser, perhitungan perencanaan penulangan struktur elemen kolom dapat dilihat sebagai berikut.

1. Perhitungan Tulangan Lentur Kolom

Adapun pembuatan diagram momen ultimit dan gaya aksial kolom ultimit dapat dilakukan dengan perhitungan – perhitungan di bawah ini dengan menggunakan perhitungan pada kolom tipe Kolom Dalam (K1) tingkat 1 – 3 arah X sebagai contoh perhitungan.

a. Data yang diperlukan

Diketahui data sebagai berikut.

- 1) Lebar penampang kolom (b) = 1150 mm
- 2) Tinggi penampang Kolom (h) = 1150 mm
- 3) Kuat tekan beton (F'_c) = 30 MPa
- 4) Tegangan leleh baja (F_y) = 420 MPa
- 5) Diameter tulangan pokok kolom = 32 mm
- 6) Diameter sengkang kolom = 13 mm
- 7) Selimut beton = 40 mm
- 8) $d_s(x)$ = $S_b + \quad + \quad -x$
 $= 40 + 13 + \quad -x \quad 32$
 $= 69 \text{ mm}$
- 9) $d_s(x)$ = $S_b + \quad + \quad -x$
 $= 40 + 13 + \quad -x \quad 32$
 $= 69 \text{ mm}$
- 10) $d_s(y)$ = $S_b + \quad + \quad -x$
 $= 40 + 13 + \quad -x \quad 32$
 $= 69 \text{ mm}$
- 11) $d_s(y)$ = $S_b + \quad + \quad -x$

$$\begin{aligned}
 &= 40 + 13 + 2 \times 32 \\
 &= 69 \text{ mm} \\
 12) \ d(x) &= b - d_s(x) \\
 &= 1150 - 69 \\
 &= 1081 \text{ mm} \\
 13) \ d(y) &= h - d_s(y) \\
 &= 1150 - 69 \\
 &= 1081 \text{ mm} \\
 14) \ A_g &= b \times h \\
 &= 1150 \times 1150 \\
 &= 1322500 \text{ mm}^2 \\
 15) \ \beta_1 &= 0,85 - \left(\frac{h - d_s}{h} \times 0,05 \right) \\
 &= 0,85 - \left(\frac{1081}{1150} \times 0,05 \right) \\
 &= 0,836
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Tulangan Rencana

Perhitungan rasio tulangan rencana dilakukan untuk menentukan jumlah tulangan yang akan digunakan dengan ketentuan rasio minimal sebesar 1% dan maksimal sebesar 6%. Selanjutnya dilakukan perhitungan sebagai berikut.

1) Menentukan Nilai Rasio Tulangan

Rasio tulangan satu sisi kolom yang dipakai adalah sebesar 0,4%.

2) Menghitung luasan tulangan rasio

Luasan tulangan rasio dapat diketahui dengan perhitungan berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Luasan tulangan Rasio 0,4\%} &= \text{nilai rasio} \times A_g \\
 &= 0,4\% \times 1322500 \\
 &= 5290 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

3) Menghitung jumlah tulangan perlu

Jumlah tulangan yang diperlukan dapat diketahui dengan perhitungan berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan Rasio } 0,4\% &= \frac{A_s}{A_g} \\
 &= \frac{5629,734}{86400} \\
 &= 6,578 \text{ buah} \approx 7 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

4) Menghitung luasan tulangan yang akan dipakai

Luasan tulangan yang akan dipakai dapat diketahui dengan perhitungan berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan Rasio } 0,4\% &= n \times \\
 &= 7 \times \pi \times 32^2 \\
 &= 5629,734 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Diagram $M_u - P_u$ Kolom

Adapun untuk perhitungan diagram $M_u - P_u$ kolom, menggunakan contoh perhitungan pada kolom tipe Kolom Dalam (K1) lantai 1-3 arah X dengan rasio tulangan 0,4% dan langkah perhitungannya dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 \rho &= 0,4\% \\
 A_s \text{ Pakai} &= 5629,734 \text{ mm}^2 \\
 A_s \phi \text{ Pakai} &= 5629,734 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

1) Kondisi Patah Berimbang (*Balance*)

$$\begin{aligned}
 \text{a) } C_b &= \frac{A_s \phi}{\rho \times A_g} \\
 &= \frac{5629,734}{0,004 \times 86400} \\
 &= 635,882 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) } a &= \beta_1 \times C_b \\
 &= 0,836 \times 635,882 \\
 &= 531,416 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c) } \epsilon_s' &= \frac{a}{C_b} \times \epsilon_c \\
 &= \frac{531,416}{635,882} \times 0,003 \\
 &= 0,002674 > \epsilon_y = 0,0021, \text{ maka baja desak sudah leleh.}
 \end{aligned}$$

Karena baja desak sudah leleh, $F_s' = F_y = 420$ MPa.

$$\begin{aligned} \text{d) } \varepsilon_s &= \frac{F_s'}{E_s} \times \varepsilon_c \\ &= \frac{420}{200000} \times 0,003 \\ &= 0,0021 = \varepsilon_y = 0,0021, \text{ maka baja tarik sudah leleh.} \end{aligned}$$

Karena baja desak sudah leleh, $F_s = F_y = 420$ MPa.

$$\begin{aligned} \text{e) } C_{cb} &= 0,85 \times F_{\phi} \times a \times b \\ &= 0,85 \times 30 \times (531,416) \times 1150 \\ &= 15583773,214 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f) } C_{sb} &= A_s' \times (F_s' - 0,85 \times F_{\phi}) \\ &= 5629,734 \times (420 - 0,85 \times 30) \\ &= 2220930,077 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g) } T_{sb} &= A_s \times F_s \\ &= 5629,734 \times 420 \\ &= 2364488,295 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{h) } X_1 &= y - \frac{C_{cb}}{T_{sb}} \\ &= 1081 - \frac{15583773,214}{2364488,295} \\ &= 309,292 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{i) } X_2 &= y - d_s' \\ &= 1081 - 69 \\ &= 506 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{j) } X_3 &= d - y \\ &= 1081 - 506 \\ &= 506 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{k) } M_n &= C_{cb} \times X_1 + C_{sb} \times X_2 + T_{sb} \times X_3 \\ &= (15583773,214 \times 309,292 + 2220930,077 \times 506 \\ &\quad + 2364488,295 \times 506) \times 10^{-6} \\ &= 7140,158 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\text{l) } P_n = C_{cb} + C_{sb} - T_{sb}$$

$$= (15583773,214 + 2220930,077 - 2364488,295) \times 10^{-3}$$

$$= 15440,215 \text{ kN}$$

m) Adapun untuk nilai reduksi atau ϕ ditentukan dengan persyaratan berikut.

(1) Apabila nilai $\varepsilon_s \leq \varepsilon_y$, maka nilai $\phi = 0,65$

(2) Apabila nilai $\varepsilon_s \geq \varepsilon_t$, maka nilai $\phi = 0,9$

(3) Apabila nilai $\varepsilon_s \leq \varepsilon_y$ dan $\varepsilon_s \geq \varepsilon_t$, maka nilai ϕ didapatkan dengan rumus:

$$\phi = 0,65 + ((\varepsilon_s - \varepsilon_y) \times \frac{250}{3})$$

Karena pada kondisi seimbang nilai $\varepsilon_s \leq \varepsilon_y$, maka nilai $\phi = 0,65$.

$$\begin{aligned} \text{n) } M_u &= \phi \times M_n \\ &= 0,65 \times 7140,158 \\ &= 4700,604 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{o) } P_u &= \phi \times P_n \\ &= 0,65 \times 15440,215 \\ &= 10164,808 \text{ kN} \end{aligned}$$

2) Kondisi Patah Desak

Agar terjadi patah desak, maka diambil faktor pengali $C_b > 1$. Misal dipakai faktor pengali = 1,1.

$$\begin{aligned} \text{a) } c &= 1,1 \times C_b \\ &= 1,1 \times 953,824 \\ &= 699,471 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } a &= \beta_1 \times c \\ &= 0,836 \times 699,471 \\ &= 584,558 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } \varepsilon_s' &= \frac{a}{c} \times \varepsilon_c \\ &= \frac{584,558}{699,471} \times 0,003 \end{aligned}$$

$$= 0,002704 > \varepsilon_y = 0,0021, \text{ maka baja desak sudah leleh.}$$

Karena baja desak sudah leleh, $F_s' = F_y = 420 \text{ MPa}$.

$$\begin{aligned}
 \text{d) } \varepsilon_s &= \frac{y}{x} \times \varepsilon_c \\
 &= \frac{282,721}{1081} \times 0,003 \\
 &= 0,00164 < \varepsilon_y = 0,0021, \text{ maka baja tarik belum leleh.}
 \end{aligned}$$

Karena baja desak belum leleh, maka F_s dapat dilihat pada poin e.

$$\begin{aligned}
 \text{e) } F_s &= \varepsilon_s \times E_s \\
 &= 0,00164 \times 200000 \\
 &= 327,273 \text{ MPa} \\
 \text{f) } C_{cb} &= 0,85 \times H \phi \times a \times b \\
 &= 0,85 \times 30 \times 584,558 \times 1150 \\
 &= 17142150,536 \text{ N} \\
 \text{g) } C_{sb} &= A_s' \times (F_s' - 0,85 \times F_{\phi}) \\
 &= 5629,734 \times (420 - 0,85 \times 30) \\
 &= 2220930,077 \text{ N} \\
 \text{h) } T_{sb} &= A_s \times F_s \\
 &= 5629,734 \times 327,273 \\
 &= 1842458,412 \text{ N} \\
 \text{i) } X_1 &= y - \frac{C_{cb}}{C_{sb}} \\
 &= 282,721 - \frac{17142150,536}{2220930,077} \\
 &= 282,721 \text{ mm} \\
 \text{j) } X_2 &= y - d_s' \\
 &= 282,721 - 69 \\
 &= 506 \text{ mm} \\
 \text{k) } X_3 &= d - y \\
 &= 1081 - 282,721 \\
 &= 506 \text{ mm} \\
 \text{l) } M_n &= C_{cb} \times X_1 + C_{sb} \times X_2 + T_{sb} \times X_3 \\
 &= (17142150,536 \times 282,721 + 2220930,077 \times 506 \\
 &\quad + 1842458,412 \times 506) \times 10^{-6} \\
 &= 6902,524 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{m) } P_n &= C_{cb} + C_{sb} - T_{sb} \\
 &= (17142150,536 + 2220930,077 - 1842458,412) \times 10^{-6} \\
 &= 17520,622 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

n) Adapun untuk nilai reduksi atau ϕ ditentukan dengan persyaratan berikut.

(1) Apabila nilai $\varepsilon_s \leq \varepsilon_y$, maka nilai $\phi = 0,65$

(2) Apabila nilai $\varepsilon_s \geq \varepsilon_t$, maka nilai $\phi = 0,9$

(3) Apabila nilai $\varepsilon_s \leq \varepsilon_y$ dan $\varepsilon_s \geq \varepsilon_t$, maka nilai ϕ didapatkan dengan rumus:

$$\phi = 0,65 + ((\varepsilon_s - \varepsilon_y) \times \frac{250}{3})$$

Karena pada kondisi patah desak nilai $\varepsilon_s < \varepsilon_y$, maka nilai $\phi = 0,65$.

$$\begin{aligned}
 \text{o) } M_u &= \phi \times M_n \\
 &= 0,65 \times 6902,524 \\
 &= 4486,641 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{p) } P_u &= \phi \times P_n \\
 &= 0,65 \times 17520,622 \\
 &= 11388,404 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3) Kondisi Patah Tarik

Agar terjadi patah desak, maka diambil faktor pengali $C_b < 1$. Misal dipakai faktor pengali = 0,9.

$$\begin{aligned}
 \text{a) } c &= 0,9 \times C_b \\
 &= 0,9 \times 635,882 \\
 &= 572,294 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) } a &= \beta_1 \times c \\
 &= 0,836 \times 572,294 \\
 &= 478,274 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c) } \varepsilon_s' &= \frac{a}{d} \times \varepsilon_c \\
 &= \frac{478,274}{500} \times 0,003
 \end{aligned}$$

$$= 0,00264 > \varepsilon_y = 0,0021, \text{ maka baja desak sudah leleh.}$$

Karena baja desak sudah leleh, $F_s' = F_y = 420 \text{ MPa}$.

$$\begin{aligned} \text{d) } \varepsilon_s &= \frac{F_s'}{E_s} \times \varepsilon_c \\ &= \frac{420}{200000} \times 0,003 \\ &= 0,00267 = \varepsilon_y = 0,0021, \text{ maka baja tarik sudah leleh.} \end{aligned}$$

Karena baja desak sudah leleh, $F_s = F_y = 420 \text{ MPa}$.

$$\begin{aligned} \text{e) } C_{cb} &= 0,85 \times F_{\phi} \times a \times b \\ &= 0,85 \times 30 \times (478,274) \times 1150 \\ &= 14025395,893 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f) } C_{sb} &= A_s' \times (F_s' - 0,85 \times F_{\phi}) \\ &= 5629,734 \times (420 - 0,85 \times 30) \\ &= 2220930,077 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g) } T_{sb} &= A_s \times F_s \\ &= 5629,734 \times 420 \\ &= 2364488,295 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{h) } X_1 &= y - \frac{C_{cb}}{T_{sb}} \\ &= 1081 - \frac{14025395,893}{2364488,295} \\ &= 335,863 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{i) } X_2 &= y - d_s' \\ &= 1081 - 69 \end{aligned}$$

$$= 506 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{j) } X_3 &= d - y \\ &= 1081 - 1081 \end{aligned}$$

$$= 506 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{k) } M_n &= C_{cb} \times X_1 + C_{sb} \times X_2 + T_{sb} \times X_3 \\ &= (14025395,893 \times 335,863 + 2220930,077 \times 506 \\ &\quad + 2364488,295 \times 506) \times 10^{-6} \\ &= 7030,831 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\text{l) } P_n = C_{cb} + C_{sb} - T_{sb}$$

$$= (14025395,893 + 2220930,077 - 2364488,295) \times 10^{-3}$$

$$= 13881,838 \text{ kN}$$

m) Adapun untuk nilai reduksi atau ϕ ditentukan dengan persyaratan berikut.

(1) Apabila nilai $\varepsilon_s \leq \varepsilon_y$, maka nilai $\phi = 0,65$

(2) Apabila nilai $\varepsilon_s \geq \varepsilon_t$, maka nilai $\phi = 0,9$

(3) Apabila nilai $\varepsilon_s \leq \varepsilon_y$ dan $\varepsilon_s \geq \varepsilon_t$, maka nilai ϕ didapatkan dengan rumus:

$$\phi = 0,65 + ((\varepsilon_s - \varepsilon_y) \times \frac{250}{3})$$

nilai $\varepsilon_s \leq \varepsilon_y$ dan $\varepsilon_s \geq \varepsilon_t$, maka nilai ϕ :

$$\phi = 0,65 + ((0,00267 - 0,0021) \times \frac{250}{3})$$

$$\phi = 0,706$$

$$\begin{aligned} \text{n) } M_u &= \phi \times M_n \\ &= 0,706 \times 7030,831 \\ &= 4960,642 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{o) } P_u &= \phi \times P_n \\ &= 0,706 \times 13881,838 \\ &= 9794,408 \text{ kN} \end{aligned}$$

4) Kondisi Desak Sentris

Kondisi ini adalah kondisi dimana beban bekerja tepat pada titik berat potongan kolom (beban aksial murni), sehingga tidak ada momen.

$$\begin{aligned} \text{a) } P_n &= (0,8 \times (0,85 \times H \phi \times (A_g - (A_s + A_s'))) + ((A_s + A_s') \times F_y)) \\ &= (0,8 \times (0,85 \times 30 \times (1322500 - (5629,734 + 5629,734))) + \\ &\quad ((5629,734 + 5629,734) \times 420)) \\ &= 30532,488 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } P_u &= \phi \times P_n \\ &= 0,65 \times 30532,488 \\ &= 19846,117 \text{ KN} \end{aligned}$$

5) Kondisi Lentur Murni

Kondisi ini adalah kondisi dimana beban yang terjadi hanyalah momen, beban aksial = 0, sehingga perhitungannya seperti analisis balok tulangan rangkap dengan tulangan desak belum leleh.

$$a) P_n = C_{cb} + C_{sb} - T_{sb}$$

$$T_s = C_{cb} + C_{sb}$$

$$\begin{aligned} b) T_{sb}(B) &= A_s \times F_y \\ &= (5629,734 \times 420) - (5629,734 \times 200000 \times 0,003) \\ &= -1013352,126 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c) C_{sb}(C) &= A_s' \times \frac{f_y}{E_s} \times 0,003 \\ &= 5629,734 \times \frac{200000}{200000} \times 0,003 \\ &= \text{-----} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d) C_{cb}(A) &= 0,85 \times H \phi \times \beta_1 \times c \times h \\ &= 0,85 \times 30 \times 0,836 \times c \times 1150 \\ &= -24507,32 \cdot c \text{ N} \end{aligned}$$

Maka nilai c dapat dicari dengan menggunakan persamaan kuadrat rumus ABC.

$$c = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

$$= -120,362 \text{ mm}$$

$$= 79,014 \text{ mm}$$

Maka diambil nilai $c = 79,014 \text{ mm}$.

$$\begin{aligned} e) a &= \beta_1 \times c \\ &= 0,836 \times 79,014 \\ &= 66,033 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f) \epsilon_s' &= \frac{c - a}{c} \times \epsilon_c \\ &= \frac{79,014 - 66,033}{79,014} \times 0,003 \end{aligned}$$

$= 0,000381 < \varepsilon_y = 0,0021$, maka baja desak belum leleh.

Karena baja desak belum leleh, maka F_s' dapat dilihat pada poin g.

$$\begin{aligned} \text{g) } F_s' &= \varepsilon_s \times E_s \\ &= 0,000381 \times 200000 \\ &= 76,039 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{h) } \varepsilon_s &= \frac{F_s'}{E_s} \times \varepsilon_c \\ &= \frac{76,039}{200000} \times 0,003 \\ &= 0,038 > \varepsilon_y = 0,002, \text{ maka baja tarik sudah leleh.} \end{aligned}$$

Karena baja tarik sudah leleh, $F_s = F_y = 420 \text{ MPa}$.

$$\begin{aligned} \text{i) } C_{cb} &= 0,85 \times F_{\phi} \times a \times b \\ &= 0,85 \times 30 \times (66,033) \times 1150 \\ &= 1936409,338 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{j) } C_{sb} &= A_s' \times F_s' \\ &= 5629,734 \times 420 \\ &= 428078,957 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{k) } T_{sb} &= A_s \times F_s \\ &= 5629,734 \times 420 \\ &= 2364488,295 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{l) } X_1 &= y - d_s' \\ &= 69 - 69 \\ &= 541,984 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{m) } X_2 &= y - d_s' \\ &= 69 - 69 \\ &= 506 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{n) } X_3 &= d - y \\ &= 1081 - 69 \\ &= 506 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{o) } M_n &= C_{cb} \times X_1 + C_{sb} \times X_2 + T_{sb} \times X_3 \\ &= (1936409,338 \times 541,984 + 428078,957 \times 506) \end{aligned}$$

$$+ 2364488,295 \times 506) \times 10^{-6}$$

$$= 2462,541 \text{ kNm}$$

$$\text{p) } P_n = C_b + C_{sb} - T_{sb}$$

$$= (1936409,338 + 428078,957 - 2364488,295) \times 10^{-3}$$

$$= 0 \text{ kN}$$

q) Adapun untuk nilai reduksi atau ϕ ditentukan dengan persyaratan berikut.

(1) Apabila nilai $\varepsilon_s \leq \varepsilon_y$, maka nilai $\phi = 0,65$

(2) Apabila nilai $\varepsilon_s \geq \varepsilon_t$, maka nilai $\phi = 0,9$

(3) Apabila nilai $\varepsilon_s \leq \varepsilon_y$ dan $\varepsilon_s \geq \varepsilon_t$, maka nilai ϕ didapatkan dengan rumus:

$$\phi = 0,65 + ((\varepsilon_s - \varepsilon_y) \times \frac{250}{3})$$

Karena pada kondisi lentur murni nilai $\varepsilon_s \geq \varepsilon_t$, maka nilai $\phi = 0,9$.

$$\text{r) } M_u = \phi \times M_n$$

$$= 0,9 \times 2462,541$$

$$= 2216,287 \text{ kNm}$$

$$\text{s) } P_u = \phi \times P_n$$

$$= 0,9 \times 0$$

$$= 0 \text{ KN}$$

6) Kondisi Tarik Murni

Kondisi ini adalah kondisi dimana beban yang terjadi hanyalah beban aksial tarik murni.

$$\text{a) } P_n = - (A_s + A_s') \times F_y$$

$$= - ((5629,734 + 5629,734) \times 420) \times 10^{-3}$$

$$= -4728,977 \text{ KN}$$

$$\text{b) } P_u = \phi \times P_n$$

$$= 0,9 \times -4728,977$$

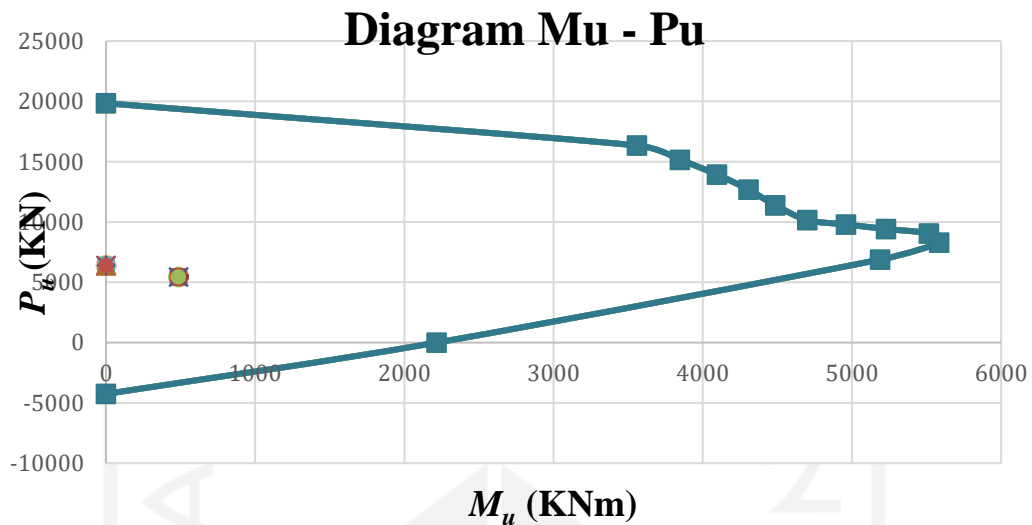
$$= -4256,079 \text{ KN}$$

Dalam perhitungan diagram $M_u - P_u$, digunakan rasio tulangan yaitu 0,4%. Rekapitulasi perhitungan semua kondisi kolom (K1 arah X) di setiap pada rasio 0,4% dapat dilihat pada Tabel 5.34 sebagai berikut.

Tabel 5.34 Rekapitulasi Nilai $M_u - P_u$ Kolom K1 arah X Rasio Tulangan 0,4%

Kondisi	Koef c	c	M_n	P_n (kN)	ϕ	ϕM_n (M_u) (kNm)	ϕP_n (P_u) (kN)
Desak sentris			0.000	30532,488	0,650	0	19846,117
Patah Desak	1.5	953,824	5476,038	25146,211	0,650	3559,424	16345,037
	1.4	890,235	5919,146	23314,390	0,650	3847,445	15154,353
	1.3	826,647	6300,726	21440,500	0,650	4095,472	13936,325
	1.2	763,059	6626,100	19514,024	0,650	4306,965	12684,116
	1.1	699,471	6902,524	17520,622	0,650	4486,641	11388,404
<i>Balance</i>	1	635,882	7140,158	15440,215	0,658	4700,604	10164,808
Patah Tarik	0.9	572,294	7030,831	13881,838	0,706	4960,642	9794,408
	0.8	508,706	6838,688	12323,460	0,765	5228,747	9422,312
	0.7	445,118	6563,731	10765,083	0,840	5516,660	9047,796
	0.6	381,529	6205,960	9206,706	0,900	5585,364	8286,035
	0.5	317,941	5765,373	7648,328	0,900	5188,836	6883,496
Lentur Murni		79,014	2462,541	0,000	0,900	2216,287	0,000
Tarik Murni			0,000	-4728,977	0,900	0	-4256,079

Grafik Mu-Pu Kolom Dalam (K1) tingkat 1 – 3 arah X yang diinput dengan data P_u dan M_u (berupa titik) Kolom Dalam (K1) tingkat 1 – 3 arah X yang didapat dari SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.31 sebagai berikut.



Gambar 5.31 Diagram Interaksi $M_u - P_u$ Kolom K1 Tingkat 1-3 Arah X

Dari Grafik di atas, dapat disimpulkan bahwa kolom K1 tingkat 1 – 3 arah X memakai konfigurasi tulangan sebagai berikut.

$$A_s = 7D32$$

$$A_s' = 7D32$$

Selanjutnya untuk menentukan tulangan lentur pakai pada semua tipe kolom di setiap tingkatannya, caranya sama seperti pada penentuan tulangan lentur pakai pada kolom K1 tingkat 1 – 3 arah X dan rekapitulasinya dapat dilihat pada Lampiran 21.

2. Desain Tulangan Lentur Kolom Pakai

Desain lentur kolom dilakukan untuk menentukan dimensi kolom, jumlah tulangan yang digunakan pada kolom, rasio total pada kolom serta momen ultimit dan beban ultimit kapasitas pada kolom. Berikut salah satu contoh perhitungan desain kolom yaitu kolom K1 pada tingkat 1-3 yaitu:

a. Kolom K1 tingkat 1-3

1) Dimensi: Lebar kolom (B) = 1150 mm

Tinggi kolom (H) = 1150 mm

2) Tulangan lentur pakai

Arah X : digunakan jumlah tulangan (n_s) = 7 buah

Arah Y : digunakan jumlah tulangan (n_s) = 5 buah

3) Rasio tulangan total

Rasio tul. total = _____

Rasio tul. total = _____

Rasio tul. total =

4) Nilai M_{ux}

M_{ux} diperoleh dari diagram $M_u - P_u$ kolom berdasarkan rasio, maka:

$$M_{ux\ pakai} = 4561,860 \text{ kNm}$$

5) Nilai P_{ux}

P_{ux} diperoleh dari hasil analisis struktur kolom pada program SAP2000 V.22, maka:

$$P_{ux\ pakai} = 6396,314 \text{ kN}$$

6) Nilai M_{uy}

M_{uy} diperoleh dari diagram $M_u - P_u$ kolom berdasarkan rasio, maka:

$$M_{uy\ pakai} = 4271,020 \text{ kNm}$$

7) Nilai P_{uy}

P_{uy} diperoleh dari hasil analisis struktur kolom pada program SAP2000 V.22, maka:

$$P_{uy\ pakai} = 6396,314 \text{ kN}$$

Setelah dilakukan analisis perhitungan desain lentur pada kolom maka diperoleh dimensi kolom, jumlah tulangan yang digunakan pada kolom, rasio total pada kolom serta momen ultimit dan beban ultimit kapasitas pada kolom.

Perhitungan seluruh desain lentur kolom di setiap tingkat dapat dilihat pada Lampiran 22 dan hasil gambar detail penulangan lentur kolom dapat dilihat pada Lampiran 33. Rekapitulasi desain lentur kolom di setiap lantai atau tingkat dapat dilihat pada Tabel 5.35 sebagai berikut.

Tabel 5.35 Rekapitulasi Desain Lentur Kolom

Kolom	Lantai	Dimensi (mm)		D_{pokok} (mm)	Jumlah Tulangan		Rasio Tulangan Total
		H	B		Arah X	Arah Y	
K1	1-3	1150	1150	32	14	10	1,22%
	4-7	1150	1150	32	14	10	1,22%
	7-8	1150	1150	32	14	10	1,22%
	9	1150	1150	32	14	10	1,22%
K2	1-3	850	850	32	12	10	2,00%
	4-7	850	850	32	12	10	2,00%
	7-8	850	850	32	12	10	2,00%
	9	850	850	32	12	10	2,00%

3. Perhitungan Pemeriksaan *Strong Coloumn Weak Beam* (SCWB)

Data yang digunakan untuk pemeriksaan syarat SCWB adalah data $M_u - P_u$ kolom pakai dan M_u balok pada daerah tumpuan yang dapat dilihat pada Tabel 5.36 dan Tabel 5.37 berikut.

Tabel 5.36 Nilai $M_u - P_u$ Kolom Pakai

Kolom	Lantai	$M_{ux pakai}$ (kNm)	$P_{ux pakai}$ (kN)	$M_{uy pakai}$ (kNm)	$P_{uy pakai}$ (kN)
K1	1-3	4561,860	6396,314	4271,020	6396,314
	4-7	3733,490	4085,486	2847,030	4085,486
	7-8	2714,050	1960,091	2344,840	1960,091
	9	2463	579,689	1845,660	579,689
K2	1-3	2065	6150,379	2435,390	6150,379
	4-7	1956,730	2821,239	1864,740	2821,239
	7-8	1691,280	1362,712	1558,690	1362,712
	9	1447,480	404,054	1256,090	404,054

Tabel 5.37 Nilai M_u^- dan M_u^+ Pada Balok

No.	Kode Balok	Lantai	ϕM_n Lapangan (kNm)		ϕM_{kap} Tumpuan (kNm)		ϕM_{kap} Lapangan (kNm)	
			ϕM_n^-	ϕM_n^+	ϕM_{kap}^-	ϕM_{kap}^+	ϕM_{kap}^-	ϕM_{kap}^+
1	B1L	1-3	223,388	270,112	331,113	211,122	211,122	331,113
2		4-6	223,388	270,112	331,113	211,122	211,122	331,113
3		7-8	223,388	270,112	331,113	211,122	211,122	331,113
4	B1A	9	223,388	270,112	331,113	211,122	211,122	331,113
5	B2L	1-3	486,875	622,415	764,876	462,628	462,628	764,876
6		4-6	486,875	622,415	764,876	211,122	462,628	764,876
7		7-8	486,875	622,415	764,876	211,122	462,628	764,876
8	B2A	9	372,979	436,184	536,403	355,139	355,139	536,403

Selanjutnya adalah melakukan pengecekan *Strong Column Weak Beam* (SCWB) dengan perhitungan di bawah ini. Adapun untuk contoh perhitungan, kami menggunakan contoh perhitungan pengecekan *Strong Column Weak Beam* (SCWB) pada Kolom K1 lantai 1-3 arah X. Karena mengambil contoh perhitungan Kolom K1 arah X, maka momen yang mengitari arah X adalah momen kolom ultimate arah Y.

a. Pengecekan SCWB Kolom K1 Arah X Lantai 1

1) Diketahui data sebagai berikut:

a) M_{uy} kolom atas = 4271,020 kNm

b) M_{uy} kolom bawah = 4271,020 kNm

c) M_u^- Balok yang merangka (B1L) = 288,667 kNm

d) M_u^+ Balok yang merangka (B1L) = 151,627 kNm

2) ΣM_u Kolom

$$\Sigma M_u \text{ Kolom} = M_{uy} \text{ kolom atas} + M_{uy} \text{ kolom bawah}$$

$$= 4271,020 + 4271,020$$

$$= 8542,040 \text{ kNm}$$

3) ΣM_u Balok

$$\Sigma M_u \text{ Balok} = M_u^- \text{ (kanan)} + M_u^+ \text{ (kiri)}$$

$$= 288,667 + 151,627$$

$$= 440,294 \text{ kNm}$$

$$4) -x \Sigma M_u \text{ Balok}$$

$$-x \Sigma M_u \text{ Balok} = -x 440,294$$

$$= 528,353 \text{ kNm}$$

$$5) \text{ Cek SCWB}$$

$$\Sigma M_u \text{ kolom} \geq \frac{6}{5} \Sigma M_u \text{ Balok}$$

$$8542,040 \text{ kNm} \geq 528,353 \text{ kNm (OK)}$$

Maka untuk Kolom K1 arah X Lantai 1 sudah memenuhi syarat SCWB.

b. Pengecekan SCWB Kolom K1 Arah X Lantai 2

$$1) \text{ Diketahui data sebagai berikut:}$$

$$a) M_{uy} \text{ kolom atas} = 4271,020 \text{ kNm}$$

$$b) M_{uy} \text{ kolom bawah} = 4271,020 \text{ kNm}$$

$$c) M_u^- \text{ Balok yang merangka (B1L)} = 288,667 \text{ kNm}$$

$$d) M_u^+ \text{ Balok yang merangka (B1L)} = 151,627 \text{ kNm}$$

$$2) \Sigma M_u \text{ Kolom}$$

$$\Sigma M_u \text{ Kolom} = M_{uy} \text{ kolom atas} + M_{uy} \text{ kolom bawah}$$

$$= 4271,020 + 4271,020$$

$$= 8542,040 \text{ kNm}$$

$$3) \Sigma M_u \text{ Balok}$$

$$\Sigma M_u \text{ Balok} = M_u^- \text{ (kanan)} + M_u^+ \text{ (kiri)}$$

$$= 288,667 + 151,627$$

$$= 440,294 \text{ kNm}$$

$$4) -x \Sigma M_u \text{ Balok}$$

$$-x \Sigma M_u \text{ Balok} = -x 440,294$$

$$= 528,353 \text{ kNm}$$

$$5) \text{ Cek SCWB}$$

$$\Sigma M_u \text{ kolom} \geq \frac{6}{5} \Sigma M_u \text{ Balok}$$

$$8542,040 \text{ kNm} \geq 528,353 \text{ kNm (OK)}$$

Maka untuk Kolom K1 arah X Lantai 2 sudah memenuhi syarat SCWB.

c. Pengecekan SCWB Kolom K1 Arah X Lantai 3

1) Diketahui data sebagai berikut:

- a) M_{uy} kolom atas = 2847,030 kNm
- b) M_{uy} kolom bawah = 4271,020 kNm
- c) M_u^- Balok yang merangka (B1L) = 288,667 kNm
- d) M_u^+ Balok yang merangka (B1L) = 151,627 kNm

2) ΣM_u Kolom

$$\begin{aligned}\Sigma M_u \text{ Kolom} &= M_{uy} \text{ kolom atas} + M_{uy} \text{ kolom bawah} \\ &= 2847,030 + 4271,020 \\ &= 7118,050 \text{ kNm}\end{aligned}$$

3) ΣM_u Balok

$$\begin{aligned}\Sigma M_u \text{ Balok} &= M_u^- \text{ (kanan)} + M_u^+ \text{ (kiri)} \\ &= 288,667 + 151,627 \\ &= 440,294 \text{ kNm}\end{aligned}$$

4) $-x \Sigma M_u$ Balok

$$\begin{aligned}-x \Sigma M_u \text{ Balok} &= -x 440,294 \\ &= 528,353 \text{ kNm}\end{aligned}$$

5) Cek SCWB

$$\Sigma M_u \text{ kolom} \geq \frac{6}{5} \Sigma M_u \text{ Balok}$$

$$7118,050 \text{ kNm} \geq 528,353 \text{ kNm (OK)}$$

Maka untuk Kolom K1 arah X Lantai 3 sudah memenuhi syarat SCWB.

Selanjutnya untuk pemeriksaan SCWB pada setiap kolom di setiap lantai atau tingkatannya sama seperti pada contoh perhitungan pemeriksaan SCWB di atas dan untuk rekapitulasi hasil pemeriksaan SCWB dapat dilihat pada Lampiran 23. Adapun untuk rekapitulasi hasil perhitungan pemeriksaan SCWB semua kolom arah X dan Y dapat dilihat pada tabel – tabel berikut.

Tabel 5.38 Rekapitulasi Pengecekan SCWB Kolom K1 Arah X

Lantai	ΣM_u Kolom (kNm)	ΣM_u Balok (kNm)	$6/5 \Sigma M_u$ Balok (kNm)	Syarat : $\Sigma M_{uk} \geq (6/5) \Sigma M_{ub}$ (kNm)
1	8542,040	440,294	528,353	OK
2	8542,040	440,294	528,353	OK
3	7118,050	440,294	528,353	OK
4	5694,060	440,294	528,353	OK
5	5191,870	440,294	528,353	OK
6	4689,680	440,294	528,353	OK
7	4190,500	440,294	528,353	OK
8	3691,320	440,294	528,353	OK
9	3691,320	440,294	528,353	OK

Tabel 5.39 Rekapitulasi Pengecekan SCWB Kolom K1 Arah Y

Lantai	ΣM_u Kolom (kNm)	ΣM_u Balok (kNm)	$6/5 \Sigma M_u$ Balok (kNm)	Syarat : $\Sigma M_{uk} \geq (6/5) \Sigma M_{ub}$ (kNm)
1	9123,720	1072,274	1286,729	OK
2	9123,720	1072,274	1286,729	OK
3	8295,350	1072,274	1286,729	OK
4	8295,350	1072,274	1286,729	OK
5	6447,540	1072,274	1286,729	OK
6	5428,100	1072,274	1286,729	OK
7	5177,050	1072,274	1286,729	OK
8	4926,000	1072,274	1286,729	OK
9	4926,000	734,103	880,924	OK

Tabel 5.40 Rekapitulasi Pengecekan SCWB Kolom K2 Arah X

Lantai	$\Sigma M_u \text{ Kolom}$ (kNm)	$\Sigma M_u \text{ Balok}$ (kNm)	$6/5 \Sigma M_u \text{ Balok}$ (kNm)	Syarat : $\Sigma M_{uk} \geq$ $(6/5) \Sigma M_{ub}$ (kNm)
1	4870,780	440,294	528,353	OK
2	4870,780	440,294	528,353	OK
3	4300,130	440,294	528,353	OK
4	3729,480	440,294	528,353	OK
5	3423,430	440,294	528,353	OK
6	3423,430	440,294	528,353	OK
7	2814,780	440,294	528,353	OK
8	2512,180	440,294	528,353	OK
9	2512,180	440,294	528,353	OK

Tabel 5.41 Rekapitulasi Pengecekan SCWB Kolom K2 Arah Y

Lantai	$\Sigma M_u \text{ Kolom}$ (kNm)	$\Sigma M_u \text{ Balok}$ (kNm)	$6/5 \Sigma M_u \text{ Balok}$ (kNm)	Syarat : $\Sigma M_{uk} \geq$ $(6/5) \Sigma M_{ub}$ (kNm)
1	4130,000	864,254	1037,1052	OK
2	4130,000	864,254	1037,1052	OK
3	4021,730	864,254	1037,1052	OK
4	3913,460	864,254	1037,1052	OK
5	3648,010	864,254	1037,1052	OK
6	3382,560	864,254	1037,1052	OK
7	3138,760	709,773	851,727	OK
8	2894,960	709,773	851,727	OK
9	2894,960	709,773	851,727	OK

4. Perhitungan Tulangan Geser Kolom

Untuk perhitungan desain tulangan geser kolom sendiri terdiri dari dua perhitungan, yaitu perhitungan berdasarkan analisa struktur menggunakan *software* SAP2000 dan perhitungan berdasarkan persyaratan *confinement*. Adapun untuk contoh perhitungan, kami menggunakan perhitungan desain tulangan geser Kolom K1 Lantai 1-3 sebagai contoh perhitungan. Diketahui data sebagai berikut.

- a. Lebar Kolom (B) = 1150 mm

- b. Tinggi Kolom (H) = 1150 mm
- c. Panjang Kolom Atas (L_{Top}) = 4000 mm
- d. Panjang Kolom Bawah (L_{Bottom}) = 4000 mm
- e. Tinggi Balok Atas Arah X = 500 mm (tinggi B1L)
- f. Tinggi Balok Bawah Arah X = 500 mm (tinggi B1L)
- g. Tinggi Balok Atas Arah Y = 700 mm (tinggi B2L)
- h. Tinggi Balok Bawah Arah Y = 700 mm (tinggi B2L)
- i. Jumlah Tulangan Lentur (n) = 24 Buah
- j. Panjang Bersih Kolom Atas Arah X = $L - (\frac{1}{2} \times \text{Tinggi Balok Atas Arah}) - (\frac{1}{2} \times \text{Tinggi Balok Bawah Arah X})$
 $= 4000 - (\frac{1}{2} \times 500) - (\frac{1}{2} \times 500)$
 $= 3500 \text{ mm}$
- k. Panjang Bersih Kolom Bawah Arah X = $L - (\frac{1}{2} \times \text{Tinggi Balok Atas Arah}) - (\frac{1}{2} \times \text{Tinggi Balok Bawah Arah X})$
 $= 4000 - (\frac{1}{2} \times 500) - (\frac{1}{2} \times 500)$
 $= 3500 \text{ mm}$
- l. Panjang Bersih Kolom Atas Arah Y = $L - (\frac{1}{2} \times \text{Tinggi Balok Atas Arah}) - (\frac{1}{2} \times \text{Tinggi Balok Bawah Arah X})$
 $= 4000 - (\frac{1}{2} \times 700) - (\frac{1}{2} \times 700)$
 $= 3300 \text{ mm}$

- m. Panjang Bersih Kolom Bawah Arah Y = $L - (\frac{1}{2} \times \text{Tinggi Balok Atas Arah}) - (\frac{1}{2} \times \text{Tinggi Balok Bawah Arah X})$
 $= 4000 - (\frac{1}{2} \times 700) - (\frac{1}{2} \times 700)$
 $= 3300 \text{ mm}$
- n. ΣM_{pr} Balok Atas Arah X = $(M_{kap}^- \cdot B1L) + (M_{kap}^+ \cdot B1L)$
 $= 331,113 + 211,122$
 $= 493,5 \text{ kNm}$
- o. ΣM_{pr} Balok Bawah Arah X = $(M_{kap}^- \cdot B1L) + (M_{kap}^+ \cdot B1L)$
 $= 331,113 + 211,122$
 $= 493,5 \text{ kNm}$
- p. ΣM_{pr} Balok Atas Arah Y = $(M_{kap}^- \cdot B2L) + (M_{kap}^+ \cdot B2L)$
 $= 462,628 + 764,876$
 $= 1109,289 \text{ kNm}$
- q. ΣM_{pr} Balok Bawah Arah Y = $(M_{kap}^- \cdot B2L) + (M_{kap}^+ \cdot B2L)$
 $= 462,628 + 764,876$
 $= 1109,289 \text{ kNm}$
- r. P_{ux} = 6396,314 kN
- s. P_{uy} = 6396,314 kN
- t. A_g = $B \times H$
 $= 1150 \times 1150$
 $= 1322500 \text{ mm}^2$
- u. F'_c = 30 MPa
- v. F_y = 420 MPa
- w. F_{ys} = 420 MPa (karena $D_{seng} = 13\text{mm}$)
- x. Penutup Beton (P_b) = 40 mm
- y. Diameter Tulangan Pokok = 32 mm
- z. Diameter Sengkang = 13 mm

$$\begin{aligned}
 \text{aa. } d_s \text{ Arah X} &= P_b + D_{senggang} + \left(\frac{1}{2} \times D_{pokok}\right) \\
 &= 40 + 13 + \left(\frac{1}{2} \times 32\right) \\
 &= 69 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{bb. } d_s \text{ Arah Y} &= P_b + D_{senggang} + \left(\frac{1}{2} \times D_{pokok}\right) \\
 &= 40 + 13 + \left(\frac{1}{2} \times 32\right) \\
 &= 69 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{cc. } d_s' \text{ Arah X} &= P_b + D_{senggang} + \left(\frac{1}{2} \times D_{pokok}\right) \\
 &= 40 + 13 + \left(\frac{1}{2} \times 32\right) \\
 &= 69 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{dd. } d_s' \text{ Arah Y} &= P_b + D_{senggang} + \left(\frac{1}{2} \times D_{pokok}\right) \\
 &= 40 + 13 + \left(\frac{1}{2} \times 32\right) \\
 &= 69 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ee. } d \text{ Arah X} &= b - d_s' \text{ Arah X} \\
 &= 1150 - 69 \\
 &= 1081 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ff. } d \text{ Arah Y} &= h - d_s' \text{ Arah Y} \\
 &= 1150 - 69 \\
 &= 1081 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

5. Perhitungan Desain Tulangan Geser Pada Daerah Sendi Plastis

Untuk perhitungan desain tulangan geser daerah sendi plastis dilakukan perhitungan yang dapat dilihat di bawah ini dan menggunakan contoh perhitungan pada Kolom K1 Lantai 1-3 Tinjauan Arah X.

a. Panjang Daerah Sendi Plastis (I_o)

Berdasarkan SNI 2847:2019 memiliki syarat untuk panjang daerah sendi plastis (I_o) yaitu tidak boleh kurang dari nilai terbesar:

- 1) $B = 1150 \text{ mm}$
- 2) $1/6 \times L_{Top} = 666,67 \text{ mm}$
- 3) 450 mm

Sehingga diperoleh nilai panjang daerah sendi plastis (I_o) = 1150 mm

b. Menghitung Parameter Properti Penampang

- 1) $h_c = H - 2 \times [P_b + (1/2 \times D_{sengkan})]$
 $= 1150 - 2 \times [40 + (1/2 \times 13)]$
 $= 1057 \text{ mm}$
- 2) $F'_c = 30 \text{ MPa}$
- 3) $F_{ys} = 420 \text{ MPa}$
- 4) $A_g = B \times H$
 $= 1150 \times 1150$
 $= 1322500 \text{ mm}^2$
- 5) $A_{ch} = H - (2 \times P_b)^2$
 $= 1150 - (2 \times 40)^2$
 $= 1144900 \text{ mm}^2$

c. Menghitung Tulangan Geser Daerah Sendi Plastis

Untuk perhitungan tulangan geser daerah sendi plastis dilakukan beberapa perhitungan yang dapat dilihat di bawah ini.

1) Menghitung V_s

Diketahui:

- a) $V_u = 141000 \text{ N}$
- b) $V_c = 0 \text{ KN}$ (karena daerah sendi plastis, $V_c = 0$)
- c) $\phi = 0,75$

Maka V_s dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$V_s = (V_u / \phi) - V_c$$

$$= \frac{141000}{0,75} - 0$$

$$= 188000 \text{ N}$$

2) Menghitung Luas Penampang Tulangan Sengkan

$$\begin{aligned}
 A_{1D} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{Sengkang}^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\
 &= 132,732 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

3) Menghitung Spasi Pakai (S_{pakai})

Syarat:

$$\begin{aligned}
 S(a) &= \frac{1}{4} \times B \\
 &= \frac{1}{4} \times 1150 \\
 &= 287,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S(b) &= 6 \times D_{pokok} \\
 &= 6 \times 32 \\
 &= 192 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_o &= \text{—————} \\
 &= \text{—————} \\
 &= -135,67 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S(c) = 100 \text{ mm (diambil minimum antara } S(a), S(b) \text{ dan } S_o)$$

$$\begin{aligned}
 S_{pakai} &= S(c) \\
 &= 100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4) Menghitung Jumlah Kaki Sengkang (n_{pakai})

$$\begin{aligned}
 A_{sh}(a) &= S_{pakai} \times 0,3 \times ((A_g/A_{ch})-1) \times (F'_c/F_{ys}) / H \\
 &= 100 \times 0,3 \times ((1322500/1144900)-1) \times (30/420) / 1150 \\
 &= 382,267 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sh}(b) &= S_{pakai} \times 0,09 \times (F'_c/F_{ys}) / H \\
 &= 100 \times 0,09 \times (30/420) / 1150 \\
 &= 739,286 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sh}(c) &= S_{pakai} \times K_f \times K_n \times (F'_c/F_{ys}) / H \\
 &= 100 \times 1 \times (\text{—————}) \times (30/4200) / 1150 \\
 &= 333,756 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{sh_{pakai}} = \text{diambil terbesar nilai antara } A_{sh}(a), A_{sh}(b), \text{ dan } A_{sh}(c)$$

$$\begin{aligned}
 A_{sh \text{ pakai}} &= 739,286 \text{ mm}^2 \\
 A_{smin} &= 1/3 \times B \times S_{pakai} / F_{ys} \\
 &= 1/3 \times 1150 \times 100 / 420 \\
 &= 91,270 \text{ mm}^2 \\
 A_{s \text{ pakai}} &= \text{diambil terbesar nilai antara } A_{sh \text{ pakai}} \text{ dan } A_{smin} \\
 &= 739,286 \text{ mm}^2 \\
 A_{1Dv} &= 1/4 \times \pi \times D_{sejajar}^2 \\
 &= 1/4 \times \pi \times (13)^2 \\
 &= 132,732 \text{ mm}^2 \\
 n_{perlu} &= A_{s \text{ pakai}} / A_{1Dv} \\
 &= 739,286 / 132,732 \\
 &= 5,57 \text{ kaki} \\
 n_{pakai} &= \text{nilai } n_{perlu} \text{ dibulatkan ke atas} \\
 &= 6 \text{ kaki}
 \end{aligned}$$

5) Pengecekan Jarak Kaki Sejajar (H_x)

Syarat pakai: $H_x < 350 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 H_x &= [H - (2 \times P_b) - (n_{pakai} \times D_{sejajar})] / (n_{pakai} - 1) < 350 \text{ mm} \\
 &= [1150 - (2 \times 40) - (6 \times 13)] / (6 - 1) < 350 \text{ mm} \\
 &= 198,40 \text{ mm} < 350 \text{ mm} \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

6) Tulangan Geser Pakai Daerah Sendi Plastis = 6D13 – 100mm

6. Perhitungan Desain Tulangan Geser Pada Daerah Luar Sendi Plastis

Untuk perhitungan desain tulangan geser daerah luar sendi plastis dilakukan perhitungan yang dapat dilihat di bawah ini dan menggunakan contoh perhitungan pada Kolom K1 Lantai 1-3 Tinjauan Arah X.

a. Menghitung $V_u \text{ Kolom}$

Perhitungan $V_u \text{ Kolom}$ dilakukan dengan beberapa perhitungan yang dapat dilihat di bawah ini.

1) Menghitung $D_f \text{ Atas}$

$$D_f \text{ Atas} = \frac{\text{---}}{\text{---}}$$

$$= \frac{0,5}{1} = 0,5$$

2) Menghitung D_f Bawah

$$D_f \text{ Bawah} = \frac{0,5}{1} = 0,5$$

3) Menghitung V_{sway}

$$V_{sway} = \frac{0,5 \times 141000}{1} = 141 \text{ kN} = 141000 \text{ N}$$

4) Mengambil Nilai V_{ux} dari *Software* SAP2000

Nilai V_{ux} yang diambil adalah V_{ux} dengan kombinasi pembebanan $1,2DL + 1LL$. Maka diperoleh nilai $V_{ux} = 56,167 \text{ kN}$.

5) Menentukan Nilai V_{ux} pakai

Untuk nilai V_{ux} pakai adalah nilai V_{ux} terbesar antara V_{ux} perhitungan atau V_{sway} dan V_{ux} dari *Software* SAP2000. Maka nilai V_{ux} pakai adalah 141 kN atau 141000 N .

6) Menghitung Nilai V_c Kolom

$$V_c = (1 + \frac{30}{100}) \times (30)^{0,5} \times 1150 \times 69 = 97460,633 \text{ N}$$

7) Jarak Spasi Tulangan Maksimum Senggang (S_{maks})

$$S_1 = 6 \times D_{pokok} = 6 \times 32 = 192 \text{ mm}$$

$$S_2 = 150 \text{ mm}$$

$$S_{maks\ pakai} = \text{diambil minimum antara } S_1 \text{ dan } S_2 \\ = 150 \text{ mm}$$

8) Jarak Spasi Tulangan Sengkang Pakai (S_{pakai})

$$S_{pakai} \leq S_{maks\ pakai}$$

$$S_{pakai} = 150 \text{ mm}$$

9) Kebutuhan Tulangan Geser Daerah Luar Sendi Plastis

$$V_u = 141000 \text{ N}$$

$$V_c = 97460,633 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_u / \phi = 188000 \text{ N}$$

$$V_s = V_u / \phi - V_c$$

$$= 188000 - 97460,633$$

$$= 90539,367 \text{ N}$$

$$A_{perlu} = (S_{pakai} \times V_s) / (F_{ys} \times d)$$

$$= (150 \times 90539,367) / (420 \times 1081)$$

$$= 29,913 \text{ mm}^2$$

$$n_{perlu} = A_{perlu} / A_{1Dv}$$

$$= 29,913 / 132,732$$

$$= 0,225 \text{ kaki}$$

$$n_{pakai} = \text{nilai } n_{perlu} \text{ dibulatkan ke atas}$$

$$= 2 \text{ kaki}$$

Tulangan Geser Pakai Daerah Luar Sendi Plastis = 2D13 – 100mm

Selanjutnya untuk perhitungan tulangan geser kolom pada setiap kolom di setiap lantai atau tingkatannya sama seperti pada contoh perhitungan tulangan geser kolom di atas dan untuk rekapitulasi hasil tulangan geser kolom dapat dilihat pada Lampiran 24 dan Lampiran 25. Hasil gambar detail penulangan geser kolom dapat dilihat pada Lampiran 33.

Adapun untuk rekapitulasi hasil perhitungan tulangan geser semua kolom daerah sendi plastis dan luar sendi plastis dapat dilihat pada Tabel 5.42 berikut.

Tabel 5.42 Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Geser Kolom

Kolom	Lantai	Dimensi (mm)		D Sengkang	Daerah Sendi Plastis	Daerah Luar Sendi Plastis
		H	B	(mm)		
K1	1-3	1150	1150	13	6D13-100mm	2D13-150mm
	4-6	1150	1150	13	6D13-100mm	2D13-150mm
	7-8	1150	1150	13	6D13-100mm	2D13-150mm
	9	1150	1150	13	6D13-100mm	2D13-150mm
K2	1-3	850	850	13	5D13-100mm	2D13-150mm
	4-6	850	850	13	5D13-100mm	2D13-150mm
	7-8	850	850	13	5D13-100mm	2D13-150mm
	9	850	850	13	5D13-100mm	2D13-150mm

5.15.3 Desain Tulangan Pelat

Perencanaan tulangan pelat, seluruh pelat lantai dan atap berjenis pelat dua arah. Adapun untuk contoh perhitungan, menggunakan perhitungan desain tulangan pelat lantai tipe 1 (PL1) sebagai contoh perhitungan. Diketahui data sebagai berikut.

1. Data Pelat Lantai Tipe 1 (PL1)

- Kuat tekan beton (F'_c) = 30 MPa
- Kuat tarik baja (F_y) = 280 MPa
- Bentang panjang pelat (L_y) = 6,5 m
- Bentang pendek pelat (L_x) = 5 m
- Jenis arah pelat = —

= —

= 1,3

(karena nilai perbandingan L_y dengan L_x adalah 1,3, maka pelat lantai PL1 berjenis pelat dua arah)

- Q_u pelat lantai = 15,266 kN/°
- Nilai koefisien momen yang didapat dari Tabel Momen Pelat

Karena nilai — , maka nilai koefisien momen adalah sebagai berikut.

- C_{lx} = 31
- C_{ly} = 19
- C_{tx} = 69

$$\begin{aligned}
 4) C_{ty} &= 57 \\
 \text{h. } M_{tx} &= 0,001 \times Q_u \times \quad \times C_{tx} \\
 &= 0,001 \times 15,266 \times \quad \times 31 \\
 &= 11,83 \text{ kNm} \\
 \text{i. } M_{ty} &= 0,001 \times Q_u \times \quad \times C_{ty} \\
 &= 0,001 \times 15,266 \times \quad \times 19 \\
 &= 7,25 \text{ kNm} \\
 \text{j. } M_{tx} &= -0,001 \times Q_u \times \quad \times C_{tx} \\
 &= -0,001 \times 15,266 \times \quad \times 69 \\
 &= -26,33 \text{ kNm} \\
 \text{k. } M_{ty} &= -0,001 \times Q_u \times \quad \times C_{ty} \\
 &= -0,001 \times 15,266 \times \quad \times 57 \\
 &= -21,75 \text{ kNm} \\
 \text{l. } D_{pokok} &= 12 P \\
 \text{m. } D_{bagi} &= 8 P \\
 \text{n. } P_b &= 20 \text{ mm} \\
 \text{o. Tebal Pelat} &= 130 \text{ mm} \\
 \text{p. } d_s &= P_b + \text{---} \\
 &= 20 + \text{---} \\
 &= 26 \text{ mm} \\
 \text{q. } d &= h - d_s \\
 &= 130 - 26 \\
 &= 104 \text{ mm} \\
 \text{r. } b &= 1000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Pelat Lantai Tipe 1 (PL1)

Perhitungan penulangan pada pelat lantai dibagi menjadi 5 bagian, yaitu penulangan lapangan arah x, penulangan lapangan arah y, penulangan tumpuan arah x, penulangan tumpuan arah y, dan penulangan tulangan bagi. Adapun langkah – langkah perhitungan dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

a. Penulangan Lapangan Arah X

$$1) M_u = M_{lx} = 11,83 \text{ kNm}$$

$$2) \phi = 0,9$$

$$3) M_n = \frac{\quad}{n}$$

$$= \text{---}$$

$$= 13,145 \text{ kNm}$$

$$4) m = \frac{\quad}{\quad}$$

$$= \text{---}$$

$$= 10,98$$

$$5) R_n = \frac{\quad}{\quad}$$

$$= \text{---}$$

$$= 1,215 \text{ MPa}$$

$$6) \rho = \frac{\quad}{\quad}$$

$$= \text{---}$$

$$= 0,00445$$

$$7) \rho_{min1} = \frac{\quad}{\quad}$$

$$= \text{---}$$

$$= 0,005$$

$$8) \rho_{min2} = \frac{\quad}{\quad}$$

$$= \text{---}$$

$$= 0,00489$$

$$9) \rho_{min \text{ pakai}}$$

Nilai $\rho_{min \text{ pakai}}$ merupakan nilai terbesar dari ρ_{min1} dan ρ_{min2} . Maka nilai $\rho_{min \text{ pakai}}$ adalah 0,005.

$$10) \rho_{pakai}$$

Nilai ρ_{pakai} merupakan nilai terbesar dari $\rho_{min\ pakai}$ dan ρ . Maka nilai ρ_{pakai} adalah 0,005.

$$\begin{aligned} 11) A_s &= \rho_{pakai} \times b \times d \\ &= 0,005 \times 1000 \times 104 \\ &= 520 \text{ } \odot \odot \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 12) S &= \frac{M_u}{\phi \times R_n} \\ &= \frac{7,25}{0,9 \times 8,057} \\ &= 217,495 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$13) S_{pakai} = 200 \text{ mm (nilai } < S)$$

$$\begin{aligned} 14) A_s' &= \frac{M_u}{\phi \times R_n} \\ &= \frac{7,25}{0,9 \times 8,057} \\ &= 565,487 \text{ } \odot \odot \end{aligned}$$

$$15) \text{ Cek syarat}$$

Karena nilai $A_s' > A_s$ yaitu $565,487 \text{ } \odot \odot > 520 \text{ } \odot \odot$, maka perhitungan penulangan pada daerah lapangan arah X pelat lantai dua arah PL 1 sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah P12 – 200 mm.

b. Penulangan Lapangan Arah Y

$$1) M_u = M_{ly} = 7,25 \text{ kNm}$$

$$2) \phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} 3) M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{7,25}{0,9} \\ &= 8,057 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4) m &= \frac{d}{a} \\ &= \frac{104}{10} \\ &= 10,98 \end{aligned}$$

$$5) R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

- $$= \frac{1}{1000} \times 745$$

$$= 0,745 \text{ MPa}$$
- 6) ρ
- $$= \frac{1}{1000} \times \frac{1000}{1000}$$

$$= 0,0027$$
- 7) ρ_{min1}
- $$= \frac{1}{1000} \times \frac{1000}{1000}$$

$$= 0,005$$
- 8) ρ_{min2}
- $$= \frac{1}{1000} \times \frac{1000}{1000}$$

$$= 0,00489$$
- 9) $\rho_{min pakai}$
 Nilai $\rho_{min pakai}$ merupakan nilai terbesar dari ρ_{min1} dan ρ_{min2} . Maka nilai $\rho_{min pakai}$ adalah 0,005.
- 10) ρ_{pakai}
 Nilai ρ_{pakai} merupakan nilai terbesar dari $\rho_{min pakai}$ dan ρ . Maka nilai ρ_{pakai} adalah 0,005.
- 11) A_s
- $$= \rho_{pakai} \times b \times d$$

$$= 0,005 \times 1000 \times 104$$

$$= 520 \text{ cm}^2$$
- 12) S
- $$= \frac{1}{1000} \times \frac{1000}{1000}$$

$$= 217,495 \text{ mm}$$
- 13) S_{pakai}
- $$= 200 \text{ mm (nilai } < S)$$
- 14) A_s'
- $$= \frac{1}{1000} \times \frac{1000}{1000}$$

$$= \frac{120000}{200} \\ = 565,487 \text{ } \textcircled{\text{c}} \textcircled{\text{c}}$$

15) Cek syarat

Karena nilai $A_s' > A_s$ yaitu $565,487 \text{ } \textcircled{\text{c}} \textcircled{\text{c}} > 520 \text{ } \textcircled{\text{c}} \textcircled{\text{c}}$, maka perhitungan penulangan pada daerah lapangan arah Y pelat lantai dua arah PL1 sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah P12 – 200 mm.

c. Penulangan Tumpuan Arah X

1) $M_u = M_{tx} = 26,33 \text{ kNm}$

2) $\phi = 0,9$

3) $M_n = \frac{M_u}{\phi}$
= —

= 29,259 kNm

4) $m = \frac{M_n}{b \cdot d^2}$
= —

= 10,98

5) $R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2}$
= —

= 2,705 MPa

6) $\rho = \frac{R_n}{f_y \cdot (1 - \frac{R_n}{f_c})}$
= —

= 0,01024

7) $\rho_{min1} = \frac{1,4}{f_y}$
= —

= 0,005

8) $\rho_{min2} = \frac{20}{f_y}$
= —

$$= \frac{\dots}{\dots}$$

$$= 0,00489$$

9) $\rho_{min\ pakai}$

Nilai $\rho_{min\ pakai}$ merupakan nilai terbesar dari ρ_{min1} dan ρ_{min2} . Maka nilai $\rho_{min\ pakai}$ adalah 0,005.

10) ρ_{pakai}

Nilai ρ_{pakai} merupakan nilai terbesar dari $\rho_{min\ pakai}$ dan ρ . Maka nilai ρ_{pakai} adalah 0,01024.

11) A_s $= \rho_{pakai} \times b \times d$

$$= 0,01024 \times 1000 \times 104$$

$$= 1064,612 \text{ } \textcircled{\textcircled{}}$$

12) S $= \frac{\dots}{\dots}$

$$= \frac{\dots}{\dots}$$

$$= 106,233 \text{ mm}$$

13) S_{pakai} $= 100 \text{ mm}$ (nilai $< S$)

14) A_s' $= \frac{\dots}{\dots}$

$$= \frac{\dots}{\dots}$$

$$= 1130,973 \text{ } \textcircled{\textcircled{}}$$

15) Cek syarat

Karena nilai $A_s' > A_s$ yaitu $1130,973 \text{ } \textcircled{\textcircled{}} > 1064,612 \text{ } \textcircled{\textcircled{}}$, maka perhitungan penulangan pada daerah tumpuan arah X pelat lantai dua arah PL 1 sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah P12 – 100 mm.

d. Penulangan Tumpuan Arah Y

1) $M_u = M_{ty} = 21,754 \text{ kNm}$

2) $\emptyset = 0,9$

3) $M_n = \frac{\dots}{n}$

$$= \frac{\dots}{\dots}$$

$$= 24,171 \text{ kNm}$$

$$4) m = \frac{M}{R_n}$$

$$= \frac{24,171}{2,235}$$

$$= 10,98$$

$$5) R_n = \frac{M}{m}$$

$$= \frac{24,171}{10,98}$$

$$= 2,235 \text{ MPa}$$

$$6) \rho = \frac{R_n}{f_y}$$

$$= \frac{2,235}{270}$$

$$= 0,00837$$

$$7) \rho_{min1} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$= \frac{1,4}{270}$$

$$= 0,005$$

$$8) \rho_{min2} = \frac{200}{f_y}$$

$$= \frac{200}{270}$$

$$= 0,00489$$

9) $\rho_{min \text{ pakai}}$
 Nilai $\rho_{min \text{ pakai}}$ merupakan nilai terbesar dari ρ_{min1} dan ρ_{min2} . Maka nilai $\rho_{min \text{ pakai}}$ adalah 0,005.

10) ρ_{pakai}
 Nilai ρ_{pakai} merupakan nilai terbesar dari $\rho_{min \text{ pakai}}$ dan ρ . Maka nilai ρ_{pakai} adalah 0,00837.

$$11) A_s = \rho_{pakai} \times b \times d$$

$$= 0,00837 \times 1000 \times 104$$

$$= 869,992 \text{ cm}^2$$

$$12) S = \frac{M_u}{\phi M_n}$$

$$= \frac{12000}{95000}$$

$$= 129,99 \text{ mm}$$

$$13) S_{pakai} = 120 \text{ mm (nilai } < S)$$

$$14) A_s' = \frac{M_u}{\phi f_y d}$$

$$= \frac{12000}{0,9 \times 420 \times 130}$$

$$= 942,478 \text{ } \odot \odot$$

15) Cek syarat

Karena nilai $A_s' > A_s$ yaitu $942,478 \text{ } \odot \odot > 869,992 \text{ } \odot \odot$, maka perhitungan penulangan pada daerah lapangan arah Y pelat lantai dua arah PL 1 sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah P12 – 120 mm.

e. Penulangan Tulangan Bagi (pada daerah tumpuan)

1) ρ_{pakai}

Nilai ρ_{pakai} pada tulangan bagi adalah 0,002.

$$2) A_{sst} = \rho_{pakai} \times b \times d$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 130$$

$$= 260 \text{ } \odot \odot$$

$$3) S = \frac{M_u}{\phi M_n}$$

$$= \frac{12000}{95000}$$

$$= 193,329 \text{ mm}$$

$$4) = 180 \text{ mm (nilai } < S)$$

$$5) A_{sst}' = \frac{M_u}{\phi f_y d}$$

$$= \frac{12000}{0,9 \times 420 \times 130}$$

$$= 279,252 \text{ } \odot \odot$$

6) Cek syarat

Karena nilai $A_{sst}' > A_{sst}$ yaitu $279,252 > 260$, maka perhitungan penulangan bagi pada daerah tumpuan baik arah X maupun arah Y pada pelat lantai dua arah PL1 sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah P8 – 180 mm.

Adapun perhitungan penulangan pada pelat dua arah tipe lainnya, langkah perhitungannya sama dengan seperti langkah perhitungan penulangan pelat dua arah tipe PL 1 dapat dilihat pada Lampiran 27 dan hasil detail gambar penulangan pelat dapat dilihat pada Lampiran 36.

Langkah perhitungan penulangan pada pelat atap baik pada pelat atap satu arah maupun dua arah sama seperti pada perhitungan penulangan pelat lantai. Hal yang membedakan adalah perbedaan nilai beban ultimit (Q_u) pada pembebanan lantai dan pelat atap. Hasil Rekapitulasi perhitungan tulangan pelat lantai dan pelat atap dapat dilihat pada tabel – tabel berikut.

Tabel 5.43 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Penulangan Pelat Lantai PL1

Uraian	Arah X		Arah Y	
	L_x	T_x	L_y	T_y
M_u (kNm)	11,831	26,333	7,251	21,754
M_n (kNm)	13,145	29,259	8,057	24,171
h (mm)	130	130	130	130
P_b (mm)	20	20	20	20
d (mm)	104	104	104	104
R_n (Mpa)	1,215	2,705	0,745	2,235
ρ	0,004	0,010	0,003	0,008
ρ_{pakai}	0,005	0,010	0,005	0,008
$A_{s\ perlu}$ (mm ²)	520,000	1064,612	520,000	869,992
$A_{s\ pakai}$ (mm ²)	565,487	1130,973	565,487	942,478
A_{sst} (mm ²)	279,253	279,253	279,253	279,253
Tulangan Pokok	P12-200mm	P12-100mm	P12-200mm	P12-120mm
Tulangan Susut	P8-180mm	P8-180mm	P8-180mm	P8-180mm

Tabel 5.44 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Penulangan Pelat Lantai PL2

Uraian	Arah X		Arah Y	
	L_x	T_x	L_y	T_y
M_u (kNm)	8,867	19,737	5,435	16,304
M_n (kNm)	9,853	21,930	6,039	18,116
h (mm)	130	130	130	130
P_b (mm)	20	20	20	20
d (mm)	104	104	104	104
R_n (Mpa)	0,911	2,028	0,558	1,675
ρ	0,003	0,008	0,002	0,006
ρ_{pakai}	0,005	0,008	0,005	0,006
A_s perlu (mm ²)	520,000	785,672	520,000	644,009
A_s pakai (mm ²)	565,487	837,758	565,487	665,278
A_{sst} (mm ²)	279,253	279,253	279,253	279,253
Tulangan Pokok	P12-200mm	P12-135mm	P12-200mm	P12-170mm
Tulangan Susut	P8-180mm	P8-180mm	P8-180mm	P8-180mm

Tabel 5.45 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Penulangan Pelat Lantai PL3

Uraian	Arah X		Arah Y	
	L_x	T_x	L_y	T_y
M_u (kNm)	10,640	23,684	6,522	19,565
M_n (kNm)	11,823	26,315	7,246	21,739
h (mm)	130	130	130	130
P_b (mm)	20	20	20	20
d (mm)	104	104	104	104
R_n (Mpa)	1,093	2,433	0,670	2,010
ρ	0,004	0,009	0,002	0,007
ρ_{pakai}	0,005	0,009	0,005	0,007
A_s perlu (mm ²)	520,000	951,472	520,000	778,514
A_s pakai (mm ²)	565,487	1028,158	565,487	807,838
A_{sst} (mm ²)	279,253	279,253	279,253	279,253
Tulangan Pokok	P12-200mm	P12-110mm	P12-200mm	P12-140mm
Tulangan Susut	P8-180mm	P8-180mm	P8-180mm	P8-180mm

Tabel 5.46 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Penulangan Pelat Atap PA

Uraian	Arah X		Arah Y	
	L_x	T_x	L_y	T_y
M_u (kNm)	6,677	14,861	4,092	12,277
M_n (kNm)	7,419	16,512	4,547	13,641
h (mm)	120	120	120	120
P_b (mm)	20	20	20	20
d (mm)	94	94	94	94
R_n (Mpa)	0,840	1,869	0,515	1,544
ρ	0,003	0,007	0,002	0,006
ρ_{pakai}	0,005	0,007	0,005	0,006
$A_{s\ perlu}$ (mm ²)	470,000	652,214	470,000	534,977
$A_{s\ pakai}$ (mm ²)	514,079	628,319	514,079	538,559
A_{sst} (mm ²)	264,555	264,555	264,555	264,555
Tulangan Pokok	P12-220mm	P12-180mm	P12-220mm	P12-210mm
Tulangan Susut	P8-190mm	P8-190mm	P8-190mm	P8-190mm

5.15.4 Desain Tulangan Tangga dan Bordes

Perhitungan tangga dan bordes, diketahui data sebagai berikut.

1. Data Perencanaan Tangga

- a. Kuat tekan beton ($H \phi$) = 30 MPa
- b. Modulus elastis beton (E_c) = 25742,96 MPa
- c. Modulus elastis baja = 200000 MPa
- d. Kuat tarik baja (F_y) = 280 MPa
- e. Panjang total (L) = 650 cm
- f. Elevasi tangga pertama = 0 cm
- g. Elevasi tangga kedua = 200 cm
- h. Elevasi tangga ketiga = 400 cm
- i. Antrede (a) = 30 cm
- j. Optrede (s) = 16 cm
- k. Jumlah anak tangga = Elv. Tangga kedua / s
= 200/16
= 12 buah
- l. Antrede (a) pakai = 30 cm

- m. Optrede (s) pakai = Elv. Tangga kedua / Jml. Anak Tangga
 = $200/12$
 = $16,67$ cm
- n. Cek syarat = $59 \text{ cm} \leq ((2 \times s) + a) \leq 65 \text{ cm}$
 = $59 \text{ cm} \leq ((2 \times 16,67) + 30) \leq 65 \text{ cm}$
 = $59 \text{ cm} \leq 63,34 \text{ cm} \leq 65 \text{ cm}$ (OK)
- o. Beda tinggi antar lantai = 400 cm
- p. Panjang anak tangga (L) = $n \times a_{pakai}$
 = 12×30
 = 360 mm
- q. Lebar bordes = panjang total – panjang anak tangga
 = $650 - 360$
 = 290 cm
- r. Sudut kemiringan tangga (α) = $\arctan (-)$
 = $\arctan \left(\frac{\text{---}}{\text{---}} \right)$
 = $29,055^\circ$
- s. Tebal pelat tangga (T_1) = 15 cm
- t. Tebal anak tangga (T_2) = $-$
 = $\frac{\text{---}}{\text{---}}$
 = $8,33$ cm
- u. Tebal pelat bordes (T_3) = T_1
 = 15 cm
- v. Tebal anak tangga + pelat arah gravitasi (T_4) = $T_2 + \frac{\text{---}}{\text{---}}$
 = $8,33 + \frac{\text{---}}{\text{---}}$
 = $25,493$ cm
- w. Berat isi beton (γ) = $23,544$ kN/©

2. Pembebanan Tangga

Adapun untuk perhitungan pembebanan pada tangga adalah sebagai berikut ini.

- a. Berat anak tangga + pelat tangga (Q_{d1}) = $\text{---} \times \gamma$
 $= \text{---} \times 23,544$
 $= 1,962 \text{ kN/}\odot$
- b. Berat railing tangga (Q_{d2}) = $0,1 \text{ kN/}\odot$
- c. Berat pelat bordes (Q_{d3}) = $\text{---} \times \gamma$
 $= \text{---} \times 23,544$
 $= 3,532 \text{ kN/}\odot$
- d. Berat spesi + pasir + keramik (Q_{d4}) = $\text{---} \text{ KN/}\odot$
 (hasil didapat dari bagian pembebanan pelat)
- e. Beban mati pelat tangga (Q_{dt}) = $Q_{d1} + Q_{d2} + Q_{d4}$
 $= 1,962 + 0,1 + 1,467$
 $= 3,529 \text{ kN/}\odot$
- f. Beban mati pelat bordes (Q_{db}) = $Q_{d2} + Q_{d4}$
 $= 0,1 + 1,467$
 $= 1,567 \text{ kN/}\odot$
- g. Beban hidup pelat tangga (Q_{lt}) = $3 \text{ kN/}\odot$
- h. Beban hidup pelat bordes (Q_{lb}) = $3 \text{ kN/}\odot$
- i. Beban tambahan pelat tangga (Q_{addt}) = $Q_{dt} - \text{---} \times \gamma$
 $= 3,529 - \text{---} \times 23,544$
 $= -0,11 \text{ kN/}\odot$
- j. Beban tambahan pelat bordes (Q_{addb}) = $Q_{db} - Q_{d3}$
 $= 1,567 - 3,532$
 $= -1,965 \text{ KN/}\odot$

3. Analisis Struktur

Analisis struktur pada tangga dan bordes dilakukan dengan menggunakan aplikasi SAP2000. Dari hasil analisis struktur tersebut, diambil nilai momennya

baik pada pelat tangga maupun pada pelat bordes. Nilai momen hasil analisis struktur dapat dilihat pada Tabel 5.47 sebagai berikut.

Tabel 5.47 Momen Pelat Tangga dan Pelat Bordes

Uraian	M_u Tumpuan (kNm)	M_u Lapangan (kNm)	$M_{maksimum}$ (kNm)
Pelat Tangga	26,347	26,347	26,347
Pelat Bordes	61,208	30,604	61,208

Momen yang dipakai saat mendesain tulangan pada pelat tangga dan pelat bordes merupakan momen maksimum antara M_u Tumpuan dan M_u Lapangan.

4. Perhitungan Penulangan Pelat Tangga

Setelah mengambil output momen pada pelat tangga yang merupakan hasil analisis struktur menggunakan program SAP2000 V.22, maka selanjutnya adalah melakukan perhitungan penulangan pelat tangga, langkah – langkah perhitungannya adalah sebagai berikut.

a. Data Pelat Tangga

- 1) M_{Ix} = 6,286 kNm
- 2) M_{Iy} = 26,347 kNm
- 3) ϕ = 0,9
- 4) $H \phi$ = 30 MPa
- 5) F_y = 280 MPa
- 6) β_1 = 0,836
- 7) D_{pokok} = 12 mm
- 8) D_{susut} = 8 mm
- 9) H_{pelat} = 150 mm
- 10) b_{pelat} = 1000 mm
- 11) P_b = 20 mm
- 12) d_s = $P_b + \frac{1}{4} H_{pelat}$
 $= 20 + \frac{1}{4} \cdot 150$
 $= 26 \text{ mm}$
- 13) d = $h - d_s$

$$= 150 - 26$$

$$= 124 \text{ mm}$$

b. Penulangan Pelat Tangga pada Arah X

1) $M_u = M_{lx} = 6,286 \text{ kNm}$

2) $\emptyset = 0,9$

3) $M_n = \frac{M_u}{\emptyset}$

$$= \frac{6,286}{0,9}$$

$$= 6,985 \text{ kNm}$$

4) $m = \frac{M_n}{R_n \cdot b \cdot d^2}$

$$= \frac{6,985}{0,454 \cdot 1,0 \cdot 0,124^2}$$

$$= 10,98$$

5) $R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2}$

$$= \frac{6,985}{1,0 \cdot 0,124^2}$$

$$= 0,454 \text{ MPa}$$

6) $\rho = \frac{m}{f_y}$

$$= \frac{10,98}{600}$$

$$= 0,0016$$

7) $\rho_{min1} = \frac{14}{f_y}$

$$= \frac{14}{600}$$

$$= 0,005$$

8) $\rho_{min2} = \frac{20}{f_y}$

$$= \frac{20}{600}$$

$$= 0,0049$$

9) $\rho_{min\ pakai}$

Nilai $\rho_{min\ pakai}$ merupakan nilai terbesar dari ρ_{min1} dan ρ_{min2} . Maka nilai $\rho_{min\ pakai}$ adalah 0,005.

10) ρ_{pakai}

Nilai ρ_{pakai} merupakan nilai terbesar dari $\rho_{min\ pakai}$ dan ρ . Maka nilai ρ_{pakai} adalah 0,005.

11) $A_s = \rho_{pakai} \times b \times d$
 $=$
 $= 620 \text{ } \odot \odot$

12) $S_{perlu} =$
 $=$
 $= 182,415 \text{ mm}$

13) $S_{pakai} = 180 \text{ mm}$

14) $A_s' =$
 $=$
 $= 628,319 \text{ } \odot \odot$

15) Cek syarat

Karena nilai $A_s' > A_s$ yaitu $628,319 \text{ } \odot \odot > 620 \text{ } \odot \odot$, maka perhitungan penulangan pada pelat tangga arah X telah memenuhi syarat, sehingga penulangan yang digunakan adalah P12 – 180 mm.

Perhitungan penulangan pelat tangga arah Y dan langkah – langkah perhitungan pelat tangga arah Y dilakukan sesuai dengan pelat tangga arah X dapat dilihat pada Lampiran. Penulangan tangga arah Y yang digunakan adalah P12 – 125 mm.

c. Penulangan Tulangan Bagi (pada daerah tumpuan)

1) ρ_{pakai}

Nilai ρ_{pakai} pada tulangan bagi adalah 0,002.

2) $A_{sst} = \rho_{pakai} \times b \times d$
 $= 0,002 \times 1000 \times 124$

$$= 248 \text{ © ©}$$

$$3) S_{perlu} = \frac{\dots}{\dots}$$

$$= \frac{\dots}{\dots}$$

$$= 202,683 \text{ mm}$$

$$4) S_{pakai} = 200 \text{ mm}$$

$$5) A_{sst}' = \frac{\dots}{\dots}$$

$$= \frac{\dots}{\dots}$$

$$= 251,327 \text{ © ©}$$

6) Cek syarat

Karena nilai $A_{sst}' > A_{sst}$ yaitu $251,327 \text{ © ©} > 248 \text{ © ©}$, maka perhitungan penulangan bagi pada pelat tangga telah memenuhi syarat, sehingga penulangan yang digunakan adalah P8 – 200 mm.

5. Perhitungan Penulangan Pelat Bordes

Perhitungan penulangan pada pelat bordes memiliki cara atau Langkah yang sama seperti penulangan pelat tangga, yang membedakan hanya pada nilai momen maksimum yang terjadi pada pelat bordes dengan nilai momen maksimum yang terjadi pada pelat tangga. Perhitungan penulangan pelat bordes dan gambar detail penulangan secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 28 dan Lampiran 37.

Hasil rekapitulasi perhitungan tulangan pada pelat tangga serta pelat bordes dapat dilihat pada Tabel 5.48 sebagai berikut.

Tabel 5.48 Hasil Rekapitulasi Penulangan Pelat Tangga dan Pelat Bordes

Pelat Tangga		Pelat Bordes		
Tul. Arah X	Tul. Arah Y	Tul. Arah X	Tul. Arah Y	Tul. Susut
P12-180mm	P12-125mm	P12-180mm	P12-180mm	P8-200mm

5.15.5 Desain Tulangan Dinding Geser

Desain penulangan dinding geser dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut.

1. Data Dinding Geser

a. Momen Maksimum (M_u)

Nilai momen maksimum untuk perhitungan dinding geser diperoleh dari momen maksimum yang terbesar pada kolom yang menempel di dinding geser, sehingga:

$$M_u = 4561,860 \text{ kNm}$$

b. Gaya Geser Maksimum (V_u)

Nilai gaya geser maksimum untuk perhitungan dinding geser diperoleh dari gaya geser maksimum yang terbesar pada kolom yang menempel di dinding geser, sehingga:

$$V_u = 151,957 \text{ kNm}$$

c. Gaya Aksial Maksimum (P_u)

Nilai gaya aksial maksimum untuk perhitungan dinding geser diperoleh dari gaya aksial maksimum yang terbesar pada kolom yang menempel di dinding geser, sehingga:

$$P_u = 6396,314 \text{ kNm}$$

d. Tinggi Dinding Geser Total (h_w)

Tinggi dinding geser total dihitung berdasarkan tinggi dinding geser yang menempel pada badan bangunan, sehingga:

$$h_w = 36000 \text{ mm}$$

e. Lebar Dinding Geser (I_w)

Lebar dinding geser telah ditentukan di awal saat mendesain bangunan, sehingga:

$$I_w = 6500 \text{ mm}$$

f. Tebal Dinding Geser (t_w)

Tebal dinding geser telah ditentukan saat dilakukan *preliminary design*, sehingga:

$$t_w = 300 \text{ mm}$$

g. Tinggi Efektif Penampang (d)

$$\begin{aligned} d &= 0,8 \times I_w \\ &= 0,8 \times 6500 \end{aligned}$$

$$= 5200 \text{ mm}$$

h. Luas *Bruto* Dinding Geser (A_{cv})

$$\begin{aligned} A_{cv} &= tw \times Iw \\ &= 300 \times 6500 \\ &= 1950000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

i. Faktor Modifikasi Properti (λ)

$$\lambda = 1$$

j. Kuat Tekan Beton (F'_c)

$$F'_c = 30 \text{ MPa}$$

k. Tegangan Leleh Baja Tulangan (F_y)

$$F_y = 420 \text{ MPa}$$

2. Perhitungan Tulangan Geser

a. Perhitungan V_{c1}

$$\begin{aligned} V_{c1} &= \dots \\ &= \dots \\ &= 54051160307,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Perhitungan V_{c2}

$$\begin{aligned} V_{c2} &= \dots \\ &= \dots \\ &= -187656139,7 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Nilai V_c

Diambil nilai terkecil antara V_{c1} dan V_{c2} , sehingga:

$$V_c = 54051160307,4 \text{ kN}$$

3. Pengecekan Kebutuhan Lapis Tulangan

a. Gaya Geser Bidang Terfaktor (V_u)

$$V_u \geq 0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot (F'_c)^{0,5}$$

$$V_u = 0,17 \cdot 1950000 \cdot 1 \cdot (30)^{0,5}$$

$$V_u = 1815700,278 \text{ kN}$$

b. Gaya Geser Bidang Terfaktor

$$H_w/I_w \geq 2$$

$$36000/6500 \geq 2$$

$$5,538 \geq 2 \quad (\text{OK})$$

Maka kebutuhan lapis tulangan = 2 buah

4. Persyaratan Rasio Tulangan

a. Syarat Tulangan Minimum

$$V_u \geq 0,83 \cdot A_{cv} \cdot (F'_c)^{0,5}$$

$$V_u = 0,83 \cdot 1950000 \cdot (30)^{0,5}$$

$$V_u = 8864889,593 \text{ kN}$$

b. Rasio Tulangan Longitudinal Minimum (ρ_{min})

$$\rho_{min} = 0,000025$$

c. Perhitungan Tulangan

1) Diameter *Confinement* (D)

$$D = 32 \text{ mm}$$

2) Luas Tulangan (A_s)

$$A_s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 32^2$$

$$= 804,248 \text{ mm}^2$$

3) Luas Tulangan Longitudinal Minimum (A_{sv})

$$A_{sv} = \rho_{min} \cdot A_{cv}$$

$$= 0,000025 \cdot 1950000$$

$$= 48,75 \text{ mm}^2/\text{m}$$

4) Jarak Tulangan Longitudinal Minimum (s)

$$s = 2 \cdot A_s / A_{sv}$$

$$= 2 \cdot 804,248 / 48,75$$

$$= 32,995 \text{ mm}$$

$$s_{min} = 450 \text{ mm}$$

$$s_{rencana} = 320 \text{ mm}$$

5. Perhitungan Kapasitas Geser

a. Perbandingan Tinggi dan Lebar (r)

$$\begin{aligned}
 r &= h_w / I_w \\
 &= 36000 / 6500 \\
 &= 5,538
 \end{aligned}$$

b. Koefisien Dinding (α)

$$\alpha = 0,17 \text{ (karena } h_w / I_w \geq 2)$$

c. Rasio Tulangan Transversal (ρ_t)

$$\begin{aligned}
 \rho_t &= 2 \cdot A_s / (t_w \cdot s) \\
 &= 2 \cdot 804,248 / (300 \cdot 320) \\
 &= 0,0168
 \end{aligned}$$

d. Kuat geser Nominal

$$\begin{aligned}
 \Phi V_n &= 0,75 \cdot A_{cv} \cdot [\alpha \cdot \lambda \cdot (F'_c)^{0,5} + \rho_t \cdot F_y] \\
 &= 0,75 \cdot 1950000 \cdot [0,17 \cdot 1 \cdot (30)^{0,5} + 0,0168 \cdot 420] \\
 &= 11653632,74 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

e. Cek Kekuatan Geser

$$\Phi V_n \geq V_u$$

$$11653632,74 \text{ kN} \geq 8864889,593 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

Berdasarkan hasil perhitungan maka tulangan yang dipakai untuk dinding geser yaitu 2D32 – 320 mm, Detail perhitungan dan Gambar dapat dilihat pada Lampiran 29 dan Lampiran 38. Hasil Rekapitulasi dapat dilihat pada Tabel 5.49 sebagai berikut.

Tabel 5.49 Hasil Rekapitulasi Penulangan Dinding Geser

Tebal Dinding Geser (mm)	Diameter Tulangan (mm)	Lapis Tulangan (buah)	Jarak Tulangan (mm)	Tulangan Dinding Geser Pakai
300	32	2	320	2D32 – 320 mm

5.15.6 Perhitungan *Beam Column Joint* (BCJ)

Perhitungan desain *beam column joint* dilakukan pada setiap kolom dengan dua perhitungan, yaitu perhitungan dengan tinjauan arah X dan arah Y. Adapun desain *beam column joint* dapat dilakukan melalui perhitungan dibawah ini

dan pada perhitungan ini menggunakan langkah perhitungan kolom K1 tingkat 1 – 3 arah X sebagai contoh perhitungan.

1. Data Perhitungan

- a. Lebar Balok (B_{Balok}) = 300 mm (B2L)
- b. Tinggi Balok (H_{Balok}) = 500 mm (B2L)
- c. Tulangan pokok Balok = 25 mm
- d. Lebar kolom (B_{kolom}) = 1150 mm (K1)
- e. Tinggi kolom (H_{kolom}) = 1150 mm (K1)

2. Penulangan (Arah X)

- a. Jarak terkecil tepi

$$\begin{aligned} \text{kolom ke tepi Balok } (x) &= \text{—————} \\ &= \text{—————} \\ &= 325 \text{ mm} \end{aligned}$$

- b. $B_{Balok} + H_{kolom}$ = 500 + 1150
= 1650 mm
- c. $B_{Balok} + 2x$ = 500 + 2 x 325
= 1150 mm
- d. Lebar *Joint* (B_{joint}) = nilai minimum antara $B_{Balok} + H_{kolom}$
dengan $B_{Balok} + 2x$
= 1150 mm
- e. Tinggi *Joint* (H_{joint}) = H_{kolom}
= 1150 mm
- f. Luas *Joint* (A_{joint}) = $B_{joint} \times H_{joint}$
= 1150 x 1150
= 1322500 mm²
- g. Panjang *Joint* diukur parallel = 20 x diameter tulangan pokok
= 20 x 25
= 500 mm
- h. — daerah sendi plastis kolom = 7,393 mm²/mm
(didapatkan pada perhitungan desain tulangan geser kolom)

i. Cek syarat $B_{Balok} \geq \frac{3}{4} B_{kolom}$

Diketahui $B_{Balok} = 300$ mm dan $B_{kolom} = 1150$ mm, maka:

$$B_{Balok} \geq \frac{3}{4} B_{kolom}$$

$$300 \text{ mm} \geq \frac{3}{4} \times 1150$$

$$300 \text{ mm} \leq 862,5 \text{ mm, maka } B_{Balok} \text{ tidak lebih besar dari } \frac{3}{4} B_{kolom}.$$

j. —Perlu Joint

Diketahui $B_{Balok} \leq \frac{3}{4} B_{kolom}$, maka —Perlu Joint bernilai sama dengan — daerah sendi plastis kolom yaitu sebesar $7,393 \text{ mm}^2/\text{mm}$.

k. Jarak Pakai (s) = 100 mm

(sama seperti pada perhitungan desain tulangan geser kolom)

l. $A_{sh \text{ Perlu}} = \text{—} \times s$

$$= 7,393 \times 100$$

$$= 739,285 \text{ mm}^2$$

m. Diameter Sengkang = 13 mm

(sama seperti pada perhitungan desain tulangan geser kolom)

n. $A_{ITulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D_{sengkang}^2$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2$$

$$= 132,372 \text{ mm}^2$$

o. Jumlah kaki perlu = _____

$$= \text{—}$$

$$= 5,570 \text{ kaki}$$

p. Jumlah kaki pakai = 6 kaki

(hasil dari jumlah kaki perlu dibulatkan ke atas)

q. Sengkang pakai = 3D13-100mm

3. Cek Kekuatan Geser Di *Joint* (Arah X)

a. $H \phi = 30 \text{ MPa}$

b. $B_{kolom \text{ kanan}} = 300 \text{ mm}$
 $= 0,3 \text{ m}$

c. $B_{kolom \text{ kiri}} = 300 \text{ mm}$
 $= 0,3 \text{ m}$

d. Panjang bentang Balok kanan ($L_b \text{ kanan}$)

Panjang bentang balok kanan adalah 5 m

(karena merupakan perhitungan kolom K1 arah Y dan kolom disambungkan dengan Balok B1L arah Y)

e. Panjang bentang

$$\begin{aligned} \text{bersih Balok } (L_b')_{\text{kanan}} &= L_b \text{ kanan} - \frac{1}{2} \cdot B_{kolom \text{ kanan}} \\ &= 5 - \text{---} \\ &= 4,85 \text{ m} \end{aligned}$$

f. Panjang bentang Balok kiri ($L_b \text{ kiri}$)

Panjang bentang Balok kiri adalah 5 m

(karena merupakan perhitungan kolom K1 arah Y dan kolom disambungkan dengan Balok B1L arah Y)

g. Panjang bentang

$$\begin{aligned} \text{bersih Balok } (L_b')_{\text{kiri}} &= L_b \text{ kiri} - \frac{1}{2} \cdot B_{kolom \text{ kiri}} \\ &= 5 - \text{---} \\ &= 4,85 \text{ m} \end{aligned}$$

h. Tinggi kolom atas (h_1) = 4 m

i. Tinggi kolom bawah (h_2) = 4 m

j. M_{kap}^+ Balok kanan = 211,122 KNm

k. M_{kap}^- Balok kiri = 331,113 KNm

l. Faktor reduksi (ϕ) = 1

m. Faktor c kuat geser *joint* = 1,7

(sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 21.7.4 tentang kuat geser, yang menyatakan bahwa untuk hubungan balok kolom yang terkekang pada keempat sisinya, maka $c = 1,7$)

n. $d_{Balok\ kanan} = 435,5\text{ mm}$
 $= 0,4355\text{ m}$

o. $d_s'_{Balok\ kanan} = 89,5\text{ mm}$
 $= 0,0895\text{ m}$

p. $d_{Balok\ kiri} = 410,5\text{ mm}$
 $= 0,4105\text{ m}$

q. $d_s'_{Balok\ kiri} = 64,5\text{ mm}$
 $= 0,0645\text{ m}$

r. $V_{kolom} = \frac{1}{2} \times (139,751 + 610,179)$
 $= 139,751\text{ kN}$

s. $C = 610,179\text{ kN}$

t. $T = 956,973\text{ kN}$

u. $V_u = V_{kolom} - T - C$
 $= |139,751 - 956,973 - 610,179|$
 $= 1427,400\text{ kN}$

v. $= \phi \times c \times \sqrt{F'_c} \times$
 $= 1 \times 1,7 \times \sqrt{25} \times 1322500$
 $= 7671250\text{ N}$

$$= 12314,172 \text{ kN}$$

w. Cek syarat $> V_u$

Diketahui $= 12314,172 \text{ kN}$ dan $V_u = 1427,400 \text{ kN}$, maka $> V_u$

karena $12314,172 \text{ kN} > 1427,400 \text{ kN}$ dan berarti bahwa beton sendiri sudah mampu menahan gaya geser.

4. Cek Kekuatan Sengkang Terpasang (Arah X)

a. $A_{ITulangan} = 132,732 \text{ mm}^2$

(berdasarkan perhitungan sebelumnya)

b. Jumlah kaki pakai (n) = 6 buah

(berdasarkan perhitungan sebelumnya)

c. $F_{ys} = 420 \text{ MPa}$

d. Lebar kolom (B_{kolom}) = 1150 mm

e. Tinggi kolom (H_{kolom}) = 1150 mm

f. Selimut beton (S_b) = 40 mm

g. $D_{pokok \text{ kolom}} = 32 \text{ mm}$

h. $D_{sengkang \text{ kolom}} = 13 \text{ mm}$

i. $d_{kolom} = B - S_b - d_{sengkang} - \frac{D_{pokok \text{ kolom}}}{2}$

$$= 1150 - 40 - 13 - \frac{32}{2}$$

$$= 1081 \text{ mm}$$

j. Jarak Vertikal sengkang = 100 mm

k. $V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$

$$= \frac{1427,400 - 0,75 \times 12314,172}{0,75}$$

$$= 3615,787 \text{ kN}$$

l. Faktor reduksi (ϕ) = 0,75

m. $\phi V_s = \phi \times V_s$

$$= 0,75 \times 3615,787$$

$$= 2531,051 \text{ kN}$$

n. $\phi V_n = \phi (V_c + V_s)$

$$= 0,75 \times (12314,172 + 3615,787)$$

$$= 11947,469 \text{ kN}$$

o. $\phantom{= 1427,400 \text{ KN}}$

(berdasarkan perhitungan sebelumnya)

p. Cek syarat $\phi V_n >$

Diketahui $\phi V_n = 11947,469 \text{ kN}$ dan $\phantom{= 1427,400 \text{ KN}}$, maka ϕV_n

$>$ karena $11947,469 \text{ kN} > 1427,400 \text{ kN}$ dan berarti tulangan

geser yang didesain pada daerah hubungan kolom dan balok mampu menahan gaya yang bekerja. Maka, didapatkan tulangan geser *beam column joint* yang dipakai pada kolom K1 tingkat 1 – 3 arah X adalah 6D13-100mm.

Untuk perhitungan desain tulangan geser kolom K1 tingkat 1 – 3 arah Y, langkah - langkah perhitungannya sama seperti perhitungan desain tulangan geser kolom K1 tingkat 1 – 3 arah X, namun hal yang membedakan adalah kolom disambung pada Balok B1L arah Y dan didapatkan tulangan geser *beam column joint* yang dipakai pada kolom K1 tingkat 1 – 3 arah Y adalah 6D13-100mm. Adapun untuk perhitungan tingkat – tingkat selanjutnya dan pada kolom – kolom lainnya, langkah - langkah perhitungannya sama seperti pada perhitungan BCJ kolom K1 tingkat 1 – 3 dapat dilihat pada Lampiran 26 dan hasil gambar detail BCJ dapat dilihat pada Lampiran 39.

Rekapitulasi hasil perhitungan desain *beam column joint* dapat dilihat pada Tabel 5.50 berikut.

Tabel 5.50 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Desain *Beam Column Joint*

Kolom	Lantai	Dimensi (mm)		$D_{Senggang}$ (mm)	Tulangan Pakai
		H	B		
K1	1-3	1150	1150	13	6D13-100mm
	4-6	1150	1150	13	6D13-100mm
	7-8	1150	1150	13	6D13-100mm
	9	1150	1150	13	6D13-100mm
K2	1-3	850	850	13	5D13-100mm
	4-6	850	850	13	5D13-100mm
	7-8	850	850	13	5D13-100mm
	9	850	850	13	5D13-100mm

5.15.7 Perhitungan Desain Pondasi

Perhitungan desain pondasi menggunakan perhitungan pondasi K1 sebagai contoh perhitungan. Adapun untuk perhitungan pondasi lainnya sama, hanya berbeda pada nilai daya dukung izin tekan, daya dukung izin tarik, nilai P_{umaks} , nilai M_{ux} , nilai M_{uy} , penentuan dimensi, dan penggunaan jumlah tulangan yang dipakai.

5.15.7.1 Perhitungan Desain Pondasi Tiang

Perhitungan desain pondasi tiang terpisah dilakukan dengan cara *trial* untuk diameter *pile*, setelah diperoleh diameter *pile* serta ke

dalaman yang akan ditentukan kemudian melakukan perhitungan sampai memperoleh nilai daya dukung yang baik serta jumlah penulangan *pile* yang efisien. Data yang diketahui di antaranya yaitu:

1. Jenis tanah = Tanah Keras, Kohesif
2. Diameter Pile = 0,8 m
3. F'_c = 30 MPa
4. F_y = 420 MPa

5.15.7.2 Daya Dukung Ijin Tekan Berdasarkan N-SPT

Data tanah diperoleh dari Kawasan *Yogyakarta International Airport* (YIA) yang detailnya dapat dilihat di Lampiran 472. Data *N-SPT* Kawasan *Yogyakarta International Airport* (YIA) dapat dilihat pada Tabel 5.51 sebagai berikut.

Tabel 5.51 Data *N-SPT* Kawasan *Yogyakarta International Airport* (YIA)

Kedalaman (m)	Segmen (l_i) (m)	<i>N-SPT</i>
0,65	0,65	19
1,65	1	27
2,65	1	27
3,65	1	29
4,65	1	33
5,65	1	38
6,65	1	50
7,65	1	50
8,65	1	45
9,65	1	50

Contoh pada perhitungan daya dukung ijin tekan berdasar *N-SPT* dilakukan pada kedalaman 9,65 meter. Diketahui data sebagai berikut.

1. Panjang segmen = 1 m
2. Diameter *pile* = 0,8
3. *N-SPT* = 50

Adapun langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut

1. Tahanan ujung konus sondir (q_c)

$$\begin{aligned} q_c &= 20 \times N-SPT \\ &= 20 \times 50 \\ &= 1000 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

2. Luas penampang tiang (A_p)

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,8^2 \\ &= 0,503 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

3. Keliling penampang tiang (A_{st})

$$\begin{aligned} A_{st} &= \pi \times D \\ &= \pi \times 0,8 \\ &= 2,513 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Gaya geser pada selimut segmen tiang (f_i)

$$f_i = \text{karena nilai } N-SPT \text{ di atas } 12, \text{ maka nilai } f_i \text{ diambil } 12 \text{ t/m}^2$$

5. $l_i f_i$

$$\begin{aligned} &= 12 \times 1 \\ &= 12 \text{ t/m} \end{aligned}$$

6. $\Sigma l_i f_i$

$$= 115,8 \text{ t/m}$$

7. Faktor keamanan (F_K)

Faktor keamanan yang digunakan yakni ada dua, yaitu Faktor Keamanan satu (F_{K1}) dengan nilai 3 dan Faktor Keamanan dua (F_{K2}) dengan nilai 5.

8. Daya dukung ijin tekan tiang (P_{all})

$$\begin{aligned} P_{all} &= \frac{\Sigma l_i f_i}{F_{K1}} \\ &= \frac{115,8}{3} \end{aligned}$$

= 225,759 ton

Adapun seluruh hasil perhitungan daya dukung ijin tekan berdasarkan nilai N - SPT dapat dilihat pada Tabel 5.52 sebagai berikut.



Tabel 5.52 Daya Dukung Ijin Tekan Berdasarkan *N-SPT*

Kedalaman (m)	Segmen (l_i) (m)	<i>N-SPT</i>	q_c (t/m ²)	A_p (m ²)	A_{st} (m)	f_i (t/m ²)	$l_i f_i$ (t/m)	$\Sigma l_i f_i$ (t/m)	P_{all} (ton)
0,65	0,65	19	380	0,503	2,513	12	7,8	7,8	67,590
1,65	1	27	540	0,503	2,513	12	12	19,8	100,430
2,65	1	27	540	0,503	2,513	12	12	31,8	106,462
3,65	1	29	580	0,503	2,513	12	12	43,8	119,196
4,65	1	33	660	0,503	2,513	12	12	55,8	138,632
5,65	1	38	760	0,503	2,513	12	12	67,8	161,419
6,65	1	50	1000	0,503	2,513	12	12	79,8	207,663
7,65	1	50	1000	0,503	2,513	12	12	91,8	213,695
8,65	1	45	900	0,503	2,513	12	12	103,8	202,972
9,65	1	50	1000	0,503	2,513	12	12	115,8	225,759

Pada desain pondasi akan direncanakan tiang pondasi ditanam sampai kedalaman 9,65 meter, sehingga diperoleh daya dukung ijin tekan tiang sebesar 225,759 ton.

5.15.7.3 Daya Dukung Ijin Tekan Berdasarkan Material

Daya dukung ijin tekan berdasarkan material dapat diketahui melalui perhitungan yang dapat dilihat sebagai berikut.

1. $F'_c = 30 \text{ MPa}$
2. $A_p = 0,503 \text{ m}^2$
3. Daya dukung ijin tekan tiang (P_a)

$$\begin{aligned} P_a &= F'_c \times A_p \\ &= 30 \times 0,503 \times 10^6 \\ &= 15079644,74 \text{ N} \\ &= 1537,171 \text{ ton} \end{aligned}$$

5.15.7.4 Daya Dukung Ijin Tekan Pakai

Daya dukung ijin tekan yang digunakan adalah nilai terkecil antara daya dukung tiang berdasarkan *N-SPT* dengan daya dukung tiang berdasarkan material. Sehingga nilai daya dukung ijin tekan yang dipakai yaitu sebesar 1537,171 ton.

5.15.7.5 Daya Dukung Ijin Tarik Berdasarkan *N-SPT*

Perhitungan daya dukung ijin tarik berdasarkan *N-SPT* dilakukan pada kedalaman 9,65 meter. Diketahui data sebagai berikut.

1. Segmen = 1 m
2. Diameter *pile* = 0,8 m
3. *N-SPT* = 50

Adapun langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut

1. Tahanan ujung konus sondir (q_c)

$$\begin{aligned} q_c &= 20 \times N-SPT \\ &= 20 \times 50 \\ &= 1000 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

2. Luas penampang tiang (A_p)

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,8^2$$

$$= 0,503 \text{ m}^2$$

3. Keliling penampang tiang (A_{st})

$$A_{st} = \pi \times D$$

$$= \pi \times 0,8$$

$$= 2,513 \text{ m}$$

4. Gaya geser pada selimut segmen tiang (f_i)

$$f_i = \text{karena nilai } N\text{-SPT di atas 12, maka nilai } f_i \text{ diambil } 12 \text{ t/m}^2$$

5. $l_i f_i$

$$= f_i \times \text{segmen } (l_i)$$

$$= 12 \times 1$$

$$= 12 \text{ t/m}$$

6. $\Sigma l_i f_i$

$$= 115,8 \text{ t/m}$$

7. Faktor keamanan (F_K)

Faktor keamanan yang digunakan adalah Faktor Keamanan dua (F_{K2}) dengan nilai 5.

8. Berat pondasi (W_p)

$$W_p = \gamma \times A_p \times h$$

$$= 2,4 \times 0,25 \times \pi \times 0,8^2 \times 1$$

$$= 11,641 \text{ ton}$$

9. Daya dukung ijin tekan tiang (Pa)

$$P_{all} = \frac{\dots}{\dots}$$

$$= \frac{\dots}{\dots}$$

$$= 52,387 \text{ ton}$$

Hasil perhitungan daya dukung ijin tarik berdasarkan $N\text{-SPT}$ dapat dilihat pada Tabel 5.53 sebagai berikut.

Tabel 5.53 Daya Dukung Ijin Tarik Berdasarkan *N-SPT*

Kedalaman (m)	Segmen (l_i) (m)	<i>N-SPT</i>	q_c (t/m ²)	A_p (m ²)	A_{st} (m)	f_i (t/m ²)	$l_i f_i$ (t/m)	$\Sigma l_i f_i$ (t/m)	W_P (ton)	P_{all} (ton)
0,65	0,65	19	380	0,503	2,513	12	7,8	7,8	0,784	3,529
1,65	1	27	540	0,503	2,513	12	12	19,8	1,991	8,957
2,65	1	27	540	0,503	2,513	12	12	31,8	3,197	14,386
3,65	1	29	580	0,503	2,513	12	12	43,8	4,403	19,815
4,65	1	33	660	0,503	2,513	12	12	55,8	5,610	25,243
5,65	1	38	760	0,503	2,513	12	12	67,8	6,816	30,672
6,65	1	50	1000	0,503	2,513	12	12	79,8	8,022	36,101
7,65	1	50	1000	0,503	2,513	12	12	91,8	9,229	41,529
8,65	1	45	900	0,503	2,513	12	12	103,8	10,435	46,958
9,65	1	50	1000	0,503	2,513	12	12	115,8	11,641	52,387

Pada desain pondasi akan direncanakan tiang pondasi ditanam sampai kedalaman 9,65 meter, sehingga diperoleh daya dukung ijin tarik tiang sebesar 52,387 ton.

5.15.7.6 Daya Dukung Ijin Tarik Pakai

Daya dukung ijin tarik yang digunakan adalah nilai terkecil antara daya dukung tiang berdasarkan *N-SPT* dengan daya dukung tiang berdasarkan material. Sehingga nilai daya dukung ijin tekan yang dipakai yaitu sebesar 52,387 ton.

5.15.7.7 Perhitungan Jumlah Tiang yang Dibutuhkan

Perhitungan jumlah tiang yang diperlukan pada suatu titik kolom menggunakan beban aksial dengan kombinasi beban $1,2DL + 1E + 1LL$. Jumlah tiang yang diperlukan dihitung dengan membagi gaya aksial yang terjadi dengan daya dukung tekan tiang karena pada kasus ini gaya aksial kolom juga merupakan tekan. Diketahui data sebagai berikut:

1. Gaya aksial kolom (P_u) = 6396,314 kN
= 652,020 ton
2. Daya dukung tekan tiang (P_{all}) = 225,759 ton
3. Jumlah tiang pakai (n)

Maka jumlah tiang yang diperlukan dapat dicari menggunakan perhitungan berikut.

$$n = \frac{P_u}{P_{all}}$$

$$= \frac{652,020}{225,759}$$

$$= 2,888 \text{ tiang}$$

Didapatkan jumlah tiang yang diperlukan yaitu 2,888 tiang. Maka jumlah tiang yang digunakan adalah 4 tiang.

5.15.7.8 Konfigurasi *Pile Cap*

Konfigurasi *pile cap* harus direncanakan, sehingga perlu dilakukan beberapa perhitungan sebagai berikut.

1. Jarak tiang (S)

Jarak antar tiang atau S menurut ketentuan nilainya adalah 2,5 – 3 dikali diameter tiang, sehingga dipakai ketentuan jarak antar tiang sebesar 2,5 dikali diameter tiang dan perlu diketahui bahwasanya jarak tiang sendiri dihitung dari tengah tiang ke tengah tiang berikutnya.

$$\begin{aligned}\text{Jarak tiang } (S) &= 2,5 \times D \\ &= 2,5 \times 0,8 \\ &= 2 \text{ m}\end{aligned}$$

2. Jarak Tepi (S_t)

Jarak tepi atau S_t menurut ketentuan nilainya adalah 1,5 – 2 dikali diameter tiang, sehingga dipakai ketentuan jarak antar tiang sebesar 1,5 dikali diameter tiang dan perlu diketahui bahwasanya jarak tiang sendiri dihitung dari tengah tiang ke tengah tiang berikutnya.

$$\begin{aligned}\text{Jarak Tepi } (S_t) &= 1,5 \times D \\ &= 1,5 \times 0,8 \\ &= 1,2 \text{ m}\end{aligned}$$

$$3. \text{ Jumlah tiang baris X} = 2$$

$$4. \text{ Jumlah tiang baris Y} = 2$$

$$\begin{aligned}5. B &= ((\text{Jumlah tiang baris X} - 1) \times S) + (2 \times S_t) \\ &= ((2 - 1) \times 2) + (2 \times 1,2) \\ &= 4,4 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}6. H &= ((\text{Jumlah tiang baris Y} - 1) \times S) + (2 \times S_t) \\ &= ((2 - 1) \times 2) + (2 \times 1,2) \\ &= 4,4 \text{ m}\end{aligned}$$

5.15.7.9 Efisiensi Kelompok Tiang

Efisiensi kelompok tiang harus direncanakan, sehingga perlu dilakukan beberapa perhitungan sebagai berikut.

1. Jarak tiang (S)

Jarak antar tiang atau S menurut ketentuan nilainya adalah 2,5 – 3 dikali diameter tiang, sehingga dipakai ketentuan jarak antar tiang sebesar 2,5 dikali diameter

tiang dan perlu diketahui bahwasanya jarak tiang sendiri dihitung dari tengah tiang ke tengah tiang berikutnya.

$$\begin{aligned} \text{Jarak tiang } (S) &= 2,5 \times D \\ &= 2,5 \times 0,8 \\ &= 2 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Jumlah tiang dalam 1 kolom (m)

Diketahui bahwa jumlah yang digunakan adalah 4 tiang, sehingga jumlah tiang dalam 1 kolom yang digunakan adalah 2 tiang.

3. Jumlah tiang dalam 1 baris (n)

Diketahui bahwa jumlah tiang yang digunakan adalah 4 tiang. Maka jumlah tiang dalam 1 baris yang kami gunakan adalah 2 tiang.

4. Diameter tiang (D)

Diameter yang digunakan adalah 0,8 m.

5. Nilai (θ)

$$\begin{aligned} \theta &= \tan^{-1}\left(\frac{h}{s}\right) \\ &= \tan^{-1}\left(\frac{1,2}{0,5}\right) \\ &= 21,801 \end{aligned}$$

Maka nilai efisiensi kelompok tiang dapat dicari menggunakan perhitungan berikut.

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \frac{2 \times \tan^2\left(\frac{\theta}{2}\right)}{1 + \tan^2\left(\frac{\theta}{2}\right)} \\ &= 1 - \frac{2 \times \tan^2\left(\frac{21,801}{2}\right)}{1 + \tan^2\left(\frac{21,801}{2}\right)} \\ &= 0,758 \end{aligned}$$

Didapatkan nilai efisiensi kelompok tiang yaitu sebesar 0,758.

5.15.7.10 Daya Dukung Kelompok Tiang

Perhitungan daya dukung vertikal kelompok tiang dilakukan untuk pengecekan kelompok tiang yang digunakan dapat mampu menahan gaya aksial kolom, perhitungan dapat dilakukan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Q_u &= E_g \times n \times P_{all} \\ &= 0,758 \times 4 \times 225,759 \\ &= 684,287 \text{ ton} \end{aligned}$$

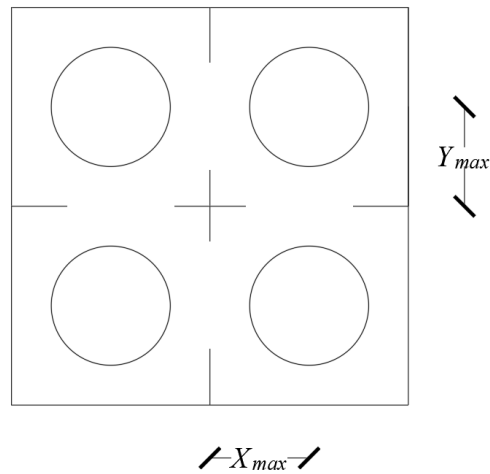
Maka kelompok tiang dengan jumlah 4 tiang aman untuk digunakan karena nilai daya dukung kelompok tiang atau Q_u lebih besar daripada gaya aksial kolom atau P_u , yaitu $684,287 \text{ ton} > 652,020 \text{ ton}$.

5.15.7.11 Beban Maksimum Tiang

Beban maksimum tiang ditentukan dengan memakai beberapa perhitungan yang dilakukan sebagai berikut.

1. $P_u = 6396,314 \text{ kN}$
2. $M_{ux \text{ kolom}} = 4561,860 \text{ kNm}$
3. $M_{uy \text{ kolom}} = 4271,020 \text{ kNm}$
4. $X_{max} = S - (-x S)$
 $= 2 - (-x 2)$
 $= 1 \text{ m}$
5. $Y_{max} = S - (-x S)$
 $= 2 - (-x 2)$
 $= 1 \text{ m}$

Dengan keterangan untuk nilai X_{max} dan Y_{max} sendiri dihitung dari tengah *pile cap* yang ditandai dengan garis hitam pada gambar di bawah ke tiap tiang yang ada dengan tinjauan arah X dan arah Y. Selain menggunakan perhitungan sebelumnya, nilai X_{max} dan Y_{max} juga dapat dihitung dengan mengurangi jarak antar tiang (dengan catatan dihitung dari tengah tiang ke tengah tiang) atau s dengan setengah s . Untuk lebih jelas mengenai konfigurasi *pile cap* dapat dilihat pada Gambar 5.32 sebagai berikut.



Gambar 5.32 Konfigurasi Tiang Pondasi pada *Pile Cap*

$$6. \quad \Sigma X^2 = 2 \times 2 \times 1^2 \\ = 4 \text{ m}^2$$

$$7. \quad \Sigma Y^2 = 2 \times 2 \times 1^2 \\ = 4 \text{ m}^2$$

Dengan keterangan yaitu digunakan angka dua yang pertama dikarenakan terdapat dua jumlah tiang pada setiap sumbu dan angka dua yang kedua dikarenakan terdapat dua X_{max} yaitu untuk sumbu X dari tengah *pile cap* ke tiang sebelah kanan dan ke tiang sebelah kiri berdasarkan gambar konfigurasi tiang fondasi pada *pile cap*.

$$8. \quad n_x = 2 \text{ buah}$$

$$9. \quad n_y = 2 \text{ buah}$$

$$10. \quad n_p = n_x \times n_y \\ = 2 \times 2 \\ = 4 \text{ buah}$$

Maka nilai beban maksimum tiang dapat dicari menggunakan perhitungan berikut.

$$P_{maks} = \frac{P}{n_p}$$

$$P_{maks1} = \frac{2703,189 \text{ kN}}{4} \\ = 2703,189 \text{ kN}$$

$$P_{maks2} = \frac{2703,189 \text{ kN}}{4}$$

$$= 494,969 \text{ kN}$$

$$P_{maks3} = \text{—————}$$

$$= 1562,724 \text{ kN}$$

$$P_{maks4} = \text{—————}$$

$$= 1635,434 \text{ kN}$$

Berdasarkan seluruh perhitungan di atas, diambil nilai P_{maks} yang paling besar.

Sehingga:

$$P_{maks} = 2703,189 \text{ kN}$$

$$= \text{—————}$$

$$= 275,553 \text{ ton}$$

Diperoleh P_{maks} sebesar 275,553 ton dan angka tersebut bernilai positif maka *pile cap* mendapatkan gaya tekan. Maka nilai P_{maks} tersebut dibandingkan dengan nilai daya dukung tekan tiang.

$$P_{all} > P_{maks}$$

$$225,759 \text{ ton} > 275,553 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

Maka penggunaan pondasi dengan diameter 0,8 m, pada kedalaman 9,65 m, dan jumlah tiang yang digunakan 4 buah bisa digunakan karena $P_{all} > P_{maks}$.

5.15.7.12 Perhitungan Penulangan *Pile*

Langkah perhitungan dalam desain pondasi selanjutnya adalah menghitung jumlah tulangan yang akan digunakan dalam satu tiang atau *pile*. Untuk menghitung jumlah tulangan yang akan digunakan dapat dilakukan beberapa perhitungan di bawah ini.

Diketahui data sebagai berikut:

1. Diameter *pile* (D) = 800 mm
2. Rasio penulangan (ρ) = 1,5%
3. Diameter tulangan pokok = 36 mm
4. Diameter sengkang = 13 mm
5. Selimut beton = 50 mm
6. Jarak sengkang = 100 mm

Maka selanjutnya dilakukan beberapa perhitungan berikut untuk mengetahui jumlah tulangan yang digunakan.

1. Menghitung luas penampang tiang (A_g)

$$\begin{aligned} A_g &= \pi \times D^2 \\ &= \pi \times 800^2 \\ &= 502654,825 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

2. Menghitung luas tulangan pokok (A_s)

$$\begin{aligned} A_s &= A_g \times \rho \\ &= 502654,825 \times 1,5\% \\ &= 7539,822 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

3. Menghitung luas satu tulangan (A_{1D})

$$\begin{aligned} A_{1D} &= \pi \times D^2 \\ &= \pi \times 36^2 \\ &= 1017,876 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4. Menghitung jumlah tulangan perlu (n_{perlu})

$$\begin{aligned} n_{perlu} &= \frac{A_s}{A_{1D}} \\ &= \frac{7539,822}{1017,876} \\ &= 7,407 \text{ buah} \end{aligned}$$

5. Menghitung jumlah tulangan pakai (n_{pakai})

Untuk nilai jumlah tulangan pakai adalah pembulatan ke atas dari nilai jumlah tulangan perlu. Maka untuk jumlah tulangan pakai (n_{pakai}) sebesar 8 buah. Maka untuk penulangan pada pile, digunakan tulangan lentur sebanyak 8 buah berdiameter 36 mm atau 8D36 dan tulangan geser D13-100.

5.15.7.13 Perhitungan *Pile Cap*

Perhitungan desain *pile cap* dapat dilakukan dengan beberapa perhitungan di bawah ini. Diketahui data sebagai berikut:

1. Jarak antar tiang (s) = 2 m
2. Diameter tiang (D) = 0,8 m

Maka selanjutnya dilakukan beberapa perhitungan berikut untuk mengetahui dimensi pile cap yang digunakan.

1. Menghitung jarak tepi (S_t)

$$\begin{aligned} S_t &= 1,5 \times D \quad (\text{ketentuan: } 1,5D - 2D) \\ &= 1,5 \times 0,8 \\ &= 1,2 \text{ m} \end{aligned}$$

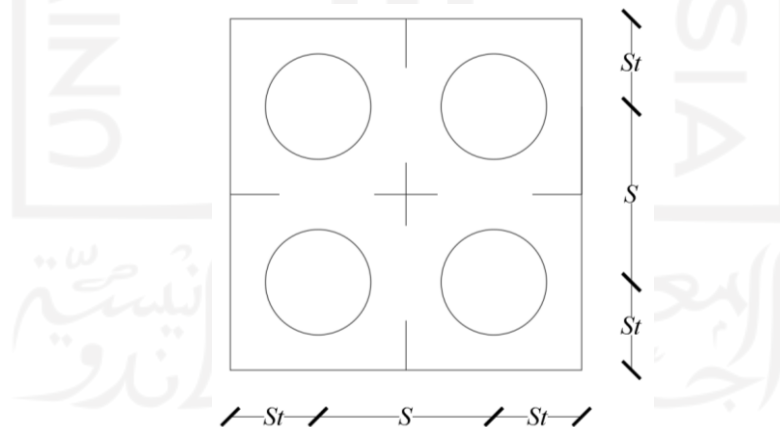
2. Menghitung lebar pile cap (B)

$$\begin{aligned} B &= S + (2 \times S_t) \\ &= 2 + (2 \times 1,2) \\ &= 4,4 \text{ m} \end{aligned}$$

3. Menghitung panjang pile cap (H)

$$\begin{aligned} H &= S + (2 \times S_t) \\ &= 2 + (2 \times 1,2) \\ &= 4,4 \text{ m} \end{aligned}$$

Penjelasan untuk lebar dan panjang *pile cap* yaitu karena jumlah tiang yang digunakan adalah 4, sehingga konfigurasi pile cap dapat dilihat pada Gambar 5.33 sebagai berikut.



Gambar 5.33 Konfigurasi Tiang Pada pile cap

Maka dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk menghitung lebar *pile cap* (searah dengan sumbu x) dapat dilakukan dengan menjumlahkan jarak antar tiang yang ditandai dengan garis berwarna hitam pada gambar dengan dua kali jarak tepi. Selain itu, perlu diperhatikan bahwa lebar dan panjang *pile*

cap tidak boleh lebih dari panjang bentang terpendek pada balok yang mengikat kolom tersebut. Karena ini adalah perhitungan pada kolom K1 dan balok yang mengikat adalah balok tipe B1L baik arah x maupun arah y dengan bentang sepanjang 5 m. Maka nilai panjang dan lebar *pile cap* boleh digunakan karena nilainya lebih kecil dari nilai bentang balok, yaitu $4,4 \text{ m} < 5 \text{ m}$.

4. Menentukan tebal *pile cap* (T)

Tebal *pile cap* yang digunakan sebesar 1,5 m.

5. Kontrol geser satu arah

Diketahui data sebagai berikut:

- a. Lebar pile cap (B) = 4,4 m
- b. Panjang pile cap (H) = 4,4 m
- c. Tebal pile cap (T) = 1,5 m
- d. Lebar kolom (B_{kolom}) = 1,15 m
- e. Tinggi kolom (H_{kolom}) = 1,15 m
- f. F'_c = 30 MPa
- g. F_y = 420 MPa
- h. Selimut beton (P_b) = 75 mm
- i. Gaya aksial kolom (P_u) = 6396,314 kN
- j. Faktor reduksi (ϕ) = 0,75

Maka selanjutnya dilakukan beberapa perhitungan berikut untuk mengontrol geser pile cap satu arah sebagai berikut ini.

- a. Menghitung luas pile cap (A)

$$\begin{aligned} A &= B \times H \\ &= 4,4 \times 4,4 \\ &= 19,36 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- b. Menghitung tegangan pile cap (σ)

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{P_u}{A} \\ &= \frac{6396,314}{19,36} \\ &= 330,388 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

c. Menghitung panjang pondasi (L)

Panjang pondasi sama dengan panjang pile cap yaitu sebesar 4,4 m.

d. Menghitung tebal efektif *pile cap* (d)

$$\begin{aligned} d &= T - P_b \\ &= 1,5 - \frac{1}{4} \\ &= 1,425 \text{ m} \end{aligned}$$

e. Menghitung daerah pembebanan yang diperhitungkan untuk geser penulangan satu arah

$$\begin{aligned} G' &= B_{pile\ cap} - \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} + 1,425 \right) \\ &= 4,4 - \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} + 1,425 \right) \\ &= 0,2 \text{ m} \end{aligned}$$

Didapatkan nilai G' sebesar 0,2 m, maka tebal *pile cap* yang digunakan sudah memenuhi syarat karena $G' > 0$.

f. Menghitung gaya geser (V_u)

$$\begin{aligned} V_u &= \sigma \times L \times G' \\ &= 330,388 \times 4,4 \times 0,2 \\ &= 290,742 \text{ kN} \end{aligned}$$

g. Menghitung kuat geser beton (ϕV_c)

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi \times \frac{1}{4} \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= 0,75 \times \frac{1}{4} \times \sqrt{4400} \times 4400 \times 1425 \\ &= 4292,776 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka didapatkan bahwa $\phi V_c > V_u$ yaitu $4292,776 \text{ kN} > 290,742 \text{ kN}$, sehingga dapat dikatakan *pile cap* aman terhadap geser satu arah.

6. Kontrol geser dua arah

Diketahui data sebagai berikut:

- a. Tebal efektif *pile cap* (d) = 1,425 m
- b. Lebar kolom (B_{kolom}) = 1,15 m
- c. Tinggi kolom (H_{kolom}) = 1,15 m
- d. Lebar pile cap (B) = 4,4 m

- e. Panjang pile cap (H) = 4,4 m
 f. Gaya aksial kolom (P_u) = 6396,314 kN
 g. Faktor reduksi (ϕ) = 0,75

Maka selanjutnya dilakukan beberapa perhitungan berikut untuk mengontrol geser *pile cap* dua arah sebagai berikut ini.

- a. Menghitung luas penampang kritis (B')

$$\begin{aligned} B' &= B_{kolom} + 2 x' - x d \\ &= 1,15 + 2 x - x 1,425 \\ &= 2,575 \text{ m} \end{aligned}$$

- b. Menghitung panjang pondasi (L)

Panjang pondasi sama dengan panjang *pile cap* yaitu sebesar 4,4 m.

- c. Menghitung luas *pile cap* (A)

$$\begin{aligned} A &= B \times H \\ &= 4,4 \times 4,4 \\ &= 19,36 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- d. Menghitung tegangan *pile cap* (σ)

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{P_u}{A} \\ &= \frac{6396,314}{19,36} \\ &= 330,388 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- e. Menghitung gaya geser (V_u)

$$\begin{aligned} V_u &= \sigma \times (L^2 - B'^2) \\ &= 330,388 \times (4,4^2 - 2,575^2) \\ &= 4250,634 \text{ kN} \end{aligned}$$

- f. Menentukan konstanta untuk perhitungan pondasi telapak (α_s)

Nilai α_s yang digunakan adalah 40.

- g. Menghitung nilai perbandingan lebar dan tinggi kolom (β_c)

$$\begin{aligned} \beta_c &= \frac{L}{H} \\ &= \frac{4,4}{4,4} \end{aligned}$$

$$= 1$$

h. Menghitung keliling penampang kritis pondasi telapak (b_o)

$$\begin{aligned} b_o &= 4 \times B' \\ &= 4 \times 2,575 \\ &= 10,3 \text{ m} \end{aligned}$$

i. Menghitung kuat geser beton (ϕV_c)

$$\begin{aligned} 1) \phi V_{c1} &= \phi \times (1 + \dots) \times \dots \\ &= 0,75 \times (1 + \dots) \times \dots \\ &= 30146992 \text{ N} \\ &= 30146,992 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \phi V_{c2} &= \phi \times (\dots + 2) \times \dots \\ &= 0,75 \times (\dots + 2) \times \dots \\ &= 37854475 \text{ N} \\ &= 37854,475 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \phi V_{c3} &= \phi \times \dots \times b_o \times d \\ &= 0,75 \times \dots \times 10300 \times 1425 \\ &= 20097995 \text{ N} \\ &= 20097,995 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nilai ϕV_c yang dipakai adalah nilai terkecil dari tiga perhitungan di atas, yaitu 20097,995 kN. Selain itu, didapatkan bahwa $\phi V_c > V_u$ yaitu 20097,995 kN > 4205,634 kN, sehingga *pile cap* aman terhadap geser dua arah.

5.15.7.14 Perhitungan Penulangan *Pile Cap* Arah X

Diketahui data sebagai berikut:

1. Lebar *pile cap* (B) = 4400 mm
2. Panjang *pile cap* (H) = 4400 mm
3. Tebal *pile cap* (T) = 1500 mm
4. Lebar kolom (B_{kolom}) = 1150 mm

5. Tinggi kolom (H_{kolom}) = 1150 mm
6. Gaya aksial kolom (P_u) = 6396,314 kN
7. Jumlah tiang (n_p) = 4 buah
8. F'_c = 30 MPa
9. F_y = 420 Mpa
10. Diameter tulangan pokok = 36 mm
11. Diameter sengkang = 22 mm
12. Selimut beton (P_b) = 75 mm
13. Tebal efektif *pile cap* = 1425 mm
14. Faktor reduksi (ϕ) = 0,9

Maka selanjutnya dilakukan beberapa perhitungan berikut untuk mengetahui jumlah tulangan pakai arah X sebagai berikut ini.

5. Menghitung beban yang diderita oleh 1 tiang (P_1)

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \frac{P_u}{n_p} \\
 &= \frac{6396,314}{4} \\
 &= 1599,0785 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6. Menghitung momen ultimit

$$\begin{aligned}
 M_u &= \Sigma P_u \times X \\
 &= 2 \times \left(\frac{P_u \times H_{kolom}}{2} \right) \\
 &= 3198 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

7. Menghitung momen nominal

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{3198}{0,9} \\
 &= 3553,5078 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

8. Menghitung nilai m

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{M_n}{P_u \times X} \\
 &= \frac{3553,5078}{6396,314 \times 1150} \\
 &= 16,471
 \end{aligned}$$

9. Menghitung nilai koefisien *resistance* (R_n)

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi S_x} \\ &= \frac{17,499 \text{ kNm}}{10,17 \text{ m}^3} \\ &= 1,7499 \text{ MPa} \end{aligned}$$

10. Menghitung nilai rasio tulangan perlu (ρ)

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{R_n}{f_y \left(1 + \sqrt{1 + \frac{1,75}{f_c}} \right)} \\ &= \frac{1,7499}{240 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{1,75}{25}} \right)} \\ &= 0,006 \end{aligned}$$

11. Menghitung nilai rasio tulangan minimum (ρ_{min})

Nilai rasio tulangan minimum adalah nilai terbesar dari hasil dua perhitungan berikut.

$$\begin{aligned} \text{a. } \rho_{min1} &= \frac{14}{f_y} \\ &= \frac{14}{240} \\ &= 0,00333 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } \rho_{min2} &= \frac{200}{f_c} \\ &= \frac{200}{25} \\ &= 0,00326 \end{aligned}$$

Maka diperoleh nilai rasio tulangan minimum (ρ_{min}) adalah 0,00333.

12. Menghitung nilai rasio tulangan pakai (ρ_{pakai})

Nilai rasio tulangan pakai adalah nilai terbesar antara nilai rasio tulangan perlu dengan nilai rasio tulangan minimum. Maka diperoleh nilai rasio tulangan pakai atau ρ_{pakai} adalah 0,00432.

13. Menghitung luas tulangan pokok (A_s)

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{pakai} \times b \times d \\ &= 0,00432 \times 1000 \times 1425 \\ &= 6156,393 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

14. Menghitung luas satu tulangan (A_{1D})

$$\begin{aligned} A_{1D} &= \pi \times D^2 \\ &= \pi \times 36^2 \\ &= 1017,876 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

15. Menghitung jarak tulangan pokok (S)

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_{1D}}{A_s} \\ &= \frac{1017,876}{6,25} \\ &= 165,336 \text{ mm} \end{aligned}$$

16. Menentukan jarak tulangan pokok pakai (S_{pakai})

Nilai jarak tulangan pokok pakai didapatkan dari pembulatan ke bawah nilai jarak tulangan pokok (S). Maka didapatkan nilai S_{pakai} yaitu 160 mm.

17. Menghitung luas tulangan pokok baru (A_s')

$$\begin{aligned} A_s' &= \frac{A_{1D}}{S_{pakai}} \\ &= \frac{1017,876}{160} \\ &= 6,361,725 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

18. Mengontrol jarak tulangan pokok pakai (S_{pakai})

Berdasarkan perhitungan A_s dan A_s' , maka didapatkan bahwa nilai $A_s' > A_s$, oleh karena itu penggunaan jarak tulangan pokok sebesar 160 mm sudah benar.

Maka dari beberapa perhitungan di atas, tulangan pokok yang digunakan untuk penulangan *pile cap* arah X adalah D36-160mm.

5.15.7.15 Perhitungan Penulangan *Pile Cap* Arah Y

Diketahui data sebagai berikut:

1. Lebar *pile cap* (B) = 4400 mm
2. Panjang *pile cap* (H) = 4400 mm
3. Tebal *pile cap* (T) = 1500 mm
4. Lebar kolom (B_{kolom}) = 1150 mm
5. Tinggi kolom (H_{kolom}) = 1150 mm

6. Gaya aksial kolom (P_u) = 6396,314 kN
7. Jumlah tiang (n_p) = 4 buah
8. F'_c = 30 MPa
9. F_y = 420 Mpa
10. Diameter tulangan pokok = 36 mm
11. Diameter sengkang = 22 mm
12. Selimut beton (P_b) = 75 mm
13. Tebal efektif *pile cap* = 1425 mm
14. Faktor reduksi (ϕ) = 0,9

Maka selanjutnya dilakukan beberapa perhitungan berikut untuk mengetahui jumlah tulangan pakai arah Y sebagai berikut ini.

15. Menghitung beban yang diderita oleh 1 tiang (P_1)

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \frac{P_u}{n_p} \\
 &= \frac{6396,314}{4} \\
 &= 1599,0785 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

16. Menghitung momen ultimit

$$\begin{aligned}
 M_u &= \Sigma P_u \times Y \\
 &= 2 \times (1599,0785 \times 1,425) \\
 &= 3198 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

17. Menghitung momen nominal

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{3198}{0,9} \\
 &= 3553,5078 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

18. Menghitung nilai m

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{M_n}{P_1 \times d} \\
 &= \frac{3553,5078}{1599,0785 \times 1,425} \\
 &= 16,471
 \end{aligned}$$

19. Menghitung nilai koefisien *resistance* (R_n)

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi_b S_x} \\ &= \frac{17,499 \text{ kNm}}{10,17 \text{ m}^3} \\ &= 1,7499 \text{ MPa} \end{aligned}$$

20. Menghitung nilai rasio tulangan perlu (ρ)

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{R_n}{f_y \left(1 + \sqrt{1 + \frac{17,499 \text{ kNm}}{1,25 \times 10,17 \text{ m}^3}}\right)} \\ &= \frac{1,7499 \text{ MPa}}{235 \text{ MPa} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{17,499 \text{ kNm}}{1,25 \times 10,17 \text{ m}^3}}\right)} \\ &= 0,006 \end{aligned}$$

21. Menghitung nilai rasio tulangan minimum (ρ_{min})

Nilai rasio tulangan minimum adalah nilai terbesar dari hasil dua perhitungan berikut.

$$\begin{aligned} \text{c. } \rho_{min1} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{235} \\ &= 0,00333 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d. } \rho_{min2} &= \frac{200}{b \times d} \\ &= \frac{200}{1000 \times 1425} \\ &= 0,00326 \end{aligned}$$

Maka diperoleh nilai rasio tulangan minimum (ρ_{min}) adalah 0,00333.

22. Menghitung nilai rasio tulangan pakai (ρ_{pakai})

Nilai rasio tulangan pakai adalah nilai terbesar antara nilai rasio tulangan perlu dengan nilai rasio tulangan minimum. Maka diperoleh nilai rasio tulangan pakai atau ρ_{pakai} adalah 0,00432.

23. Menghitung luas tulangan pokok (A_s)

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{pakai} \times b \times d \\ &= 0,00432 \times 1000 \times 1425 \\ &= 6156,393 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

24. Menghitung luas satu tulangan (A_{ID})

$$\begin{aligned} A_{ID} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 36^2 \\ &= 1017,876 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

25. Menghitung jarak tulangan pokok (S)

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_s}{A_{ID}} \\ &= \frac{6361,725}{1017,876} \\ &= 165,336 \text{ mm} \end{aligned}$$

26. Menentukan jarak tulangan pokok pakai (S_{pakai})

Nilai jarak tulangan pokok pakai didapatkan dari pembulatan ke bawah nilai jarak tulangan pokok (S). Maka didapatkan nilai S_{pakai} yaitu 160 mm.

27. Menghitung luas tulangan pokok baru (A_s')

$$\begin{aligned} A_s' &= \frac{A_s}{S} \\ &= \frac{6361,725}{160} \\ &= 6361,725 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

28. Mengontrol jarak tulangan pokok pakai (S_{pakai})

Berdasarkan perhitungan A_s dan A_s' , maka didapatkan bahwa nilai $A_s' > A_s$, oleh karena itu penggunaan jarak tulangan pokok sebesar 160 mm sudah benar.

Maka dari beberapa perhitungan di atas, tulangan pokok yang digunakan untuk penulangan *pile cap* arah Y adalah D36-160mm.

5.15.7.16 Perhitungan Tulangan Susut

Diketahui data sebagai berikut:

1. Rasio tulangan susut (ρ_{susut}) = 0,002
2. Tebal efektif *pile cap* (d) = 1425 mm
3. Lebar per 1 m (b) = 1000 mm
4. Diameter tulangan susut = 22 mm

Maka selanjutnya dilakukan beberapa perhitungan berikut untuk mengetahui jumlah tulangan susut pakai sebagai berikut ini.

1. Menghitung luas tulangan susut (A_{sst})

$$\begin{aligned} A_{sst} &= \rho_{susut} \times b \times d \\ &= 0,002 \times 1000 \times 1425 \\ &= 2850 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

2. Menghitung luas satu tulangan susut (A_{1D})

$$\begin{aligned} A_{1D} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\ &= 380,133 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

3. Menghitung jarak tulangan susut (S_{sst})

$$\begin{aligned} S_{sst} &= \frac{A_{sst}}{A_{1D}} \\ &= \frac{2850}{21,2} \\ &= 133,379 \text{ mm} \end{aligned}$$

4. Menghitung jarak tulangan susut pakai ($S_{sst \text{ pakai}}$)

Jarak tulangan susut pakai diperoleh dari pembulatan ke bawah nilai jarak tulangan pokok. Maka diperoleh nilai $S_{sst \text{ pakai}}$ yaitu 130 mm.

5. Menghitung luas tulangan susut baru (A_{sst}')

$$\begin{aligned} A_{sst}' &= \frac{A_{sst}}{S_{sst}} \times S_{sst \text{ pakai}} \\ &= \frac{2850}{133,379} \times 130 \\ &= 2924,0978 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

6. Mengontrol jarak tulangan susut pakai

Berdasarkan perhitungan A_{sst} dan A_{sst}' , maka didapatkan bahwa nilai $A_{sst}' > A_{sst}$, oleh karena itu penggunaan jarak tulangan susut sebesar 130 mm sudah benar.

Berdasarkan perhitungan di atas, tulangan susut yang digunakan untuk penulangan pada *pile cap* adalah D22-130mm.

5.15.7.17 Rekapitulasi Perhitungan Desain Pondasi

Hasil detail perhitungan dan gambar pondasi maupun *pile cap* bisa dilihat pada Lampiran 31 dan Lampiran 40. Rekapitulasi hasil perhitungan desain pondasi maupun *pile cap* dapat dilihat pada Tabel 5.54 sebagai berikut.

Tabel 5.54 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Desain Pondasi dan *Pile Cap*

No.	Uraian	Kode Pondasi	
		PK1	PK2
<u>Jumlah Tiang Pondasi</u>			
1	Diameter <i>Pile</i> (m)	0,8	0,8
2	F'_c	30	30
3	F_y	420	420
4	Kedalaman Tiang (m)	9,65	9,65
5	Jumlah Tiang Pakai	4	4
<u>Penulangan <i>Pile</i></u>			
1	Tulangan Lentur Pakai	8D36	8D36
2	Tulangan Sengkang Pakai	D13-100	D13-100
<u>Desain <i>Pile Cap</i></u>			
1	Lebar (m)	4,4	4,4
2	Tinggi (m)	4,4	4,4
3	Tebal (m)	1,5	1,5
4	Tulangan Pakai Arah X	D36-160mm	D36-170mm
5	Tulangan Pakai Arah Y	D36-160mm	D36-170mm
6	Tulangan Susut	D22-130mm	D22-130mm

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada Bab V telah dibahas analisis perencanaan struktur berupa dimensi serta penulangannya, dengan elemen struktur seperti balok, kolom, pelat, tangga, joint, dinding geser dan pondasi dengan peraturan yang telah ditentukan. Pada Bab VI akan menjelaskan hasil kesimpulan dan saran dari analisis perencanaan struktur yang telah dilakukan.

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari perencanaan struktur gedung perkantoran yang dapat difungsikan sebagai tempat evakuasi vertikal tsunami di antaranya sebagai berikut.

1. Setelah melakukan perencanaan elemen struktur gedung pada Kawasan *Yogyakarta International Airport* (YIA) dengan menggunakan sistem ganda yaitu gabungan sistem antara portal dan dinding geser yang mengacu pada aturan SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, SNI 8900:2020 dan FEMA P646-2019, diperoleh elemen struktur yang dipakai adalah sebagai berikut.
 - a. Dimensi balok - balok yang dipakai adalah sebagai berikut.
 - 1) Balok B1L
 - a) Balok B1L tingkat 1 – 3: 300 mm x 500 mm. Dengan rasio tulangan tarik sebesar 1,50%, dan rasio tulangan tekan sebesar 0,75%.
 - b) Balok B1L tingkat 4 – 6: 300 mm x 500 mm. Dengan rasio tulangan tarik sebesar 1,50%, dan rasio tulangan tekan sebesar 0,75%.
 - c) Balok B1L tingkat 7 – 8: 300 mm x 500 mm. Dengan rasio tulangan tarik sebesar 1,50%, dan rasio tulangan tekan sebesar 0,75%.
 - 2) Balok B1A tingkat 9: 300 mm x 500 mm. Dengan rasio tulangan tarik sebesar 1,50%, dan rasio tulangan tekan sebesar 0,75%.

3) Balok B2L

a) Balok B2L tingkat 1 – 3: 400 mm x 700 mm. Dengan rasio tulangan tarik sebesar 1,18%, dan rasio tulangan tekan sebesar 0,39%.

b) Balok B2L tingkat 4 – 6: 400 mm x 700 mm. Dengan rasio tulangan tarik sebesar 1,18%, dan rasio tulangan tekan sebesar 0,39%.

c) Balok B2L tingkat 7 – 8: 400 mm x 700 mm. Dengan rasio tulangan tarik sebesar 1,18%, dan rasio tulangan tekan sebesar 0,39%.

4) Balok B2A tingkat 9: 400 mm x 700 mm. Dengan rasio tulangan tarik sebesar 1,14

5) %, dan rasio tulangan tekan sebesar 0,46%.

6) Balok BA1L

a) Balok BA1L tingkat 1 – 3: 300 mm x 450 mm. Dengan rasio tulangan tarik sebesar 0,96%.

b) Balok BA1L tingkat 4 – 6: 300 mm x 450 mm. Dengan rasio tulangan tarik sebesar 0,48%.

c) Balok BA1L tingkat 7 – 8: 300 mm x 450 mm. Dengan rasio tulangan tarik sebesar 0,48%.

7) Balok BA1A tingkat 9: 300 mm x 450 mm. Dengan rasio tulangan tarik sebesar 0,48%.

b. Dimensi kolom yang dipakai adalah:

1) Kolom K1

a) Kolom K1 tingkat 1 – 3: 1150 mm x 1150 mm. Dengan rasio tulangan sebesar 1,22%.

b) Kolom K1 tingkat 4 – 6: 1150 mm x 1150 mm. Dengan rasio tulangan sebesar 1,22%.

c) Kolom K1 tingkat 7 – 8: 1150 mm x 1150 mm. Dengan rasio tulangan sebesar 1,22%.

d) Kolom K1 tingkat 9: 1150 mm x 1150 mm. Dengan rasio tulangan sebesar 1,22%.

2) Kolom K2

- a) Kolom K2 tingkat 1 – 3: 850 mm x 850 mm. Dengan rasio tulangan sebesar 2%.
 - b) Kolom K2 tingkat 4 – 6: 850 mm x 850 mm. Dengan rasio tulangan sebesar 2%.
 - c) Kolom K2 tingkat 7 – 8: 850 mm x 850 mm. Dengan rasio tulangan sebesar 2%.
 - d) Kolom K2 tingkat 9: 850 mm x 850 mm. Dengan rasio tulangan sebesar 2%.
- c. Tebal pelat lantai yang dipakai adalah: PL1 sebesar 130 mm (pelat dua arah), PL2 sebesar 130 mm (pelat dua arah), PL3 sebesar 130 mm (pelat dua arah), dan PA sebesar 120 mm (pelat dua arah).
 - d. Tebal pelat tangga dan pelat bordes adalah 150 mm, dengan jumlah anak tangga sebanyak 12 buah, antrede sebesar 30 cm dan optrede sebesar 16,67 cm. dengan rasio tulangan sebesar 0,71%.
 - e. Tebal dinding geser adalah 300 mm. dengan penulangan yaitu 2D32 – 320 mm.
 - f. Perencanaan pondasi dengan tipe pondasi dalam menggunakan *bored pile*, dengan diameter 0,8 meter untuk PK1 dan PK2, dan kedalaman tanah keras pada 9,6 meter dari permukaan tanah.
 - g. Perencanaan *pile cap* diperoleh dimensi sebesar 4,4 m x 4,4 m dengan penulangan longitudinal yaitu D36 – 170 mm.
2. Detail elemen struktur gedung perkantoran yang dapat difungsikan sebagai tempat evakuasi vertikal tsunami pada Kawasan *Yogyakarta International Airport* (YIA) yang dapat dilihat pada Lampiran 32 sampai Lampiran 40, berupa:
 - a. detail elemen struktur Balok,
 - b. detail elemen struktur kolom,
 - c. detail elemen struktur pelat,
 - d. detail elemen struktur tangga,
 - e. detail elemen struktur *Beam Column Joint* (BCJ),
 - f. detail elemen struktur dinding geser, dan
 - g. detail elemen struktur pondasi dan *pile cap*.

6.2 Saran

Saran untuk pengembangan lebih lanjut mengenai perencanaan struktur ke depan sebagai berikut.

1. Dalam merencanakan suatu struktur bangunan pada daerah rawan tsunami, seharusnya beban tsunami diperhitungkan dengan memakai peraturan FEMA P646-508,
2. Bagi peneliti selanjutnya, pemodelan bangunan dibuat sebagai bangunan mitigasi sepenuhnya dengan nilai kategori risiko bangunan yang sesuai (kategori IV, $I_e = 1,5$),
3. Bagi peneliti selanjutnya dapat digunakan tugas akhir ini sebagai salah satu pedoman pelaksanaan analisis struktur lanjutan, untuk mendesain perkuatan yang efektif dan ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

- Ade, Fani S. I., Mirza, G. R., Zulis, E., dan M. Shofi'ul Amin. (2021), Desain Struktur Shelter Inovatif Sebagai Tempat Evakuasi Sementara di Banyuwangi. Banyuwangi: PADURAKSA.
- Adityawarman M., Guntara. (2014), Perencanaan Bangunan Evakuasi di Wilayah Rawan Gempa dan Tsunami. Jakarta: Jurnal Kajian Teknologi.
- Applied Technology Council. (2019), Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis, FEMA P646. California: FEMA.
- Asri, Y. T., Wardi, dan Rini, M. (2015), Perencanaan Struktur Gedung Shelter Tsunami di Kota Padang. Padang: Universitas Bung Hatta Padang.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, SNI 2847:2019. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung, SNI 1726:2019. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1727:2020. Jakarta: BSN.
- BPBD Kabupaten Kulon Progo. (2020). Peta Rawan Bencana Tsunami Kabupaten Kulon Progo. Diakses pada 18 Juli 2021.
- Google Inc. (2021). Google Earth: Kawasan Yogyakarta International Airport. Diakses pada 19 Juli 2021.
<https://bpbd.kulonprogokab.go.id/detil/362/pages-36-bmkg.html>
<https://goo.gl/maps/Li3X5kMzhhQBSfqJ7>
- Hardiyatmo, H.C. (1996), Teknik Pondasi 1, Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Mirza, G. R., Amin, M. Shofi'ul dan Enes, A. S. (2019), Rancang Bangun Tsunami Pods Sebagai Tempat Evakuasi Sementara (TES) untuk Mewujudkan Wilayah Tangguh Bencana. Banyuwangi: POCENSI.
- Pamungkas, A., dan Erny, H. (2013), Desain Pondasi Tahan Gempa, Yogyakarta: Penerbit ANDI.

- Pusat Studi Gempa Nasional. (2019), Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017, Bandung: Kementrian PUPR.
- Ratu, E. F. (2015). Desain Struktur Gedung Evakuasi Vertikal Untuk Mitigasi Tsunami. Semarang: UNNES
- Smith, B.S. dan Coull, A. (1991). *Tall Building Structures*.
- Sudarmoko, (1996). *Diagram Perancangan Kolom Beton Bertulang*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Triadmodjo, Bambang. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Undang – undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana.
- Wang, Chu-kia dan Charles G Salmon. (1994), *Desain Beton Bertulang*, Jakarta: Erlangga.
- Zuhri, Syaifuddin. (2011), *Sistem Struktur Pada Bangunan Bertingkat*, Surabaya: Yayasan Humaniora.