

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KANTOR 4 LANTAI
PADA KELAS TANAH E: STUDI KASUS PENGEMBANGAN
GEDUNG BINA MARGA DAN CIPTA KARYA DI
MADUKORO, SEMARANG

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung



Oleh:

Rahman Maulana Satriya Maudy
30202300236

M.Adrian Rheza Ghiffari Savero
30202300261

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
2025

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KANTOR 4 LANTAI PADA KELAS TANAH E: STUDI KASUS PENGEMBANGAN GEDUNG BINA MARGA DAN CIPTA KARYA DI MADUKORO, SEMARANG



Rahman Maulana Satriya Maudy
NIM : 30202300236



M. Adrian Rheza Ghiffari Savero
NIM : 30202300261

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 11 Agustus 2025

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Prof. Dr. Ir. Antonius, M.T**

NIDN : 0605046703

2. **M. Rusli Ahyar, S.T., M.Eng**

NIDN : 0625059102

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 27 / A.2 / SA – T / IV /2025

Pada hari tanggal 12 Juli 2025 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama:

1. Nama : Prof. Dr. Ir. Antonius, M.T
Jabatan Akademik : Guru Besar
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas akhir:

Rahman Maulana Satriya Maudy

M.Adrian Rheza Ghiffari Savero

NIM : 30202300236

NIM : 30202300261

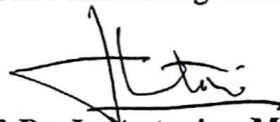
Judul : PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KANTOR 4 LANTAI PADA KELAS TANAH E: STUDI KASUS PENGEMBANGAN GEDUNG BINA MARGA DAN CIPTA KARYA DI MADUKORO, SEMARANG

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	15 April 2025	ACC
2	Pengumpulan data	Mei 2025	ACC
3	Seminar Proposal	27 Mei 2025	ACC
4	Analisis data	Juni 2025	ACC
5	Penyusunan laporan	Juni 2025	ACC
6	Selesai laporan	Juli 2025	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir/Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan.

Dosen Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. Antonius, M.T.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

1. Nama : Rahman Maulana Satriya Maudy

NIM : 30202300236

2. Nama : M.Adrian Rheza Ghiffari Savero

NIM : 30202300261

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KANTOR 4 LANTAI PADA
KELAS TANAH E: STUDI KASUS PENGEMBANGAN GEDUNG BINA
MARGA DAN CIPTA KARYA DI MADUKORO, SEMARANG**

benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang,

Mahasiswa I

Mahasiswa II

A handwritten signature in black ink is written over a rectangular meter stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'METERAI TEMPEL' and 'F69E1AMX164894170'.

Rahman Maulana Satriya Maudy
NIM: 30202300236

A handwritten signature in black ink is written over a rectangular meter stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'METERAI TEMPEL' and 'F67AKX608967326'.

M.Adrian Rheza Ghiffari Savero
NIM: 30202300261

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

1. Nama : Rahman Maulana Satriya Maudy

NIM : 30202300236

2. Nama : M.Adrian Rheza Ghiffari Savero

NIM : 30202300261

JUDUL TUGAS AKHIR :

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KANTOR 4 LANTAI PADA KELAS TANAH E: STUDI KASUS PENGEMBANGAN GEDUNG BINA MARGA DAN CIPTA KARYA DI MADUKORO, SEMARANG

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang,

Mahasiswa I



Rahman Maulana Satriya Maudy
NIM: 30202300236

Mahasiswa II



M.Adrian Rheza Ghiffari Savero
NIM: 30202300261

MOTTO

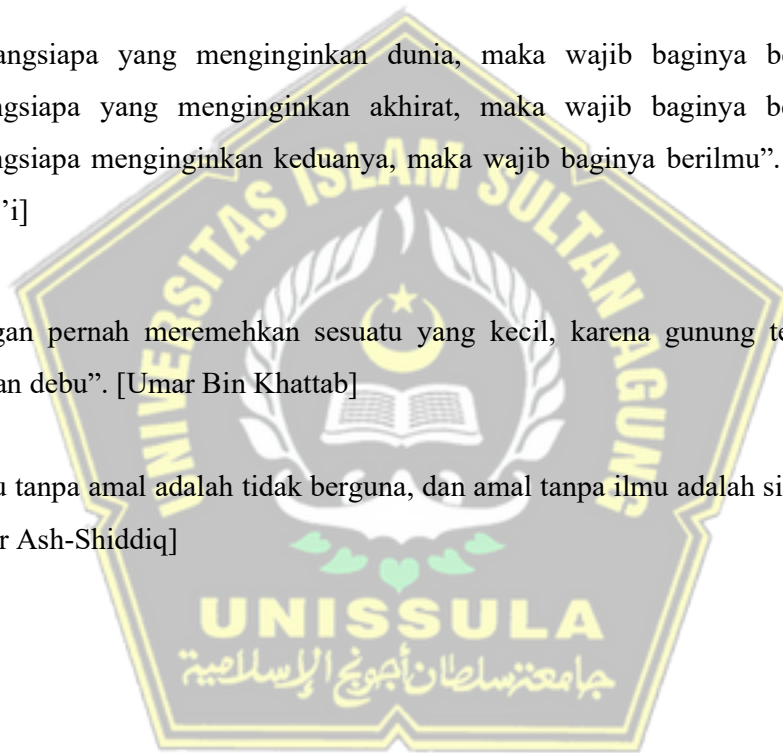
“Barangsiapa menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga”. [H.R Muslim]

“Allah akan meninggikan derajat orang-orang yang beriman di antara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat”. [Q.S Al-Mujadila : 11]

“Barangsiapa yang menginginkan dunia, maka wajib baginya berilmu; dan barangsiapa yang menginginkan akhirat, maka wajib baginya berilmu; dan barangsiapa menginginkan keduanya, maka wajib baginya berilmu”. [H.R Imam Syafi’i]

“Jangan pernah meremehkan sesuatu yang kecil, karena gunung tersusun dari butiran debu”. [Umar Bin Khattab]

“Ilmu tanpa amal adalah tidak berguna, dan amal tanpa ilmu adalah sia-sia”. [Abu Bakar Ash-Shiddiq]



PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga saya dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Dalam hal ini saya persembahkan dan saya ucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua saya, Bapak Budi Yudi S dan Ibu Masturoh, serta kakak saya yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat,do'a dan pendidikan untuk terus mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius selaku dosen pembimbing saya yang telah membimbing saya dalam pembuatan laporan ini.
3. Dosen-dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah mengajarkan saya tentang ilmu-ilmu keteknikan yang sebelumnya saya tidak ketahui dan selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya.
4. Teruntuk Hayabusa yang selama ini sudah menemani dan mendukung proses kesuksesan saya.
5. M.Adrian Rheza Ghiffari Savero selaku rekan dan sahabat yang telah bekerja keras dan berjuang bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Bapak David Bayu Hadyanto, Bapak Indra Hadyanto, Bapak Enggar W dan rekan rekan saya dari PT.MKU yang telah memberi kesempatan saya untuk mengikuti bimbingan Tugas Akhir saat saya sedang dalam masa bekerja.
7. Bapak Gogon selaku mandor sipil yang telah membantu saya jika saya sedang ada keperluan untuk bimbingan Tugas Akhir di kampus.
8. Teman-teman saya, Paijo dan Japrak yang telah menemani saya dalam pembuatan laporan ini.

Rahman Maulana Satriya Maudy

30202300236

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga saya dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Dalam hal ini saya persembahkan dan saya ucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua saya, Bapak M. Alip Irianto dan Ibu Asrie Wahyu W, serta kakak saya yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat,do'a dan pendidikan untuk terus mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius selaku dosen pembimbing saya yang telah membimbing saya dalam pembuatan laporan ini.
3. Dosen-dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah mengajarkan saya tentang ilmu-ilmu keteknikan yang sebelumnya saya tidak ketahui dan selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya.
4. Rahman Maulana Satriya Maudy selaku rekan dan sahabat yang telah bekerja keras dan berjuang bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Bapak David Bayu Hadyanto, Bapak Indra Hadyanto, Bapak Agung Subagiyo, dan rekan rekan saya dari PT.MKU yang telah memberi kesempatan saya untuk mengikuti bimbingan Tugas Akhir saat saya sedang dalam masa bekerja.
6. Teman-teman saya, Alip Kurniyanto dan Ajib Setyanto yang telah menemani saya dalam pembuatan laporan ini.

M.Adrian Rheza Ghiffari Savero

30202300261

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KANTOR 4 LANTAI PADA KELAS TANAH E: STUDI KASUS PENGEMBANGAN GEDUNG BINA MARGA DAN CIPTA KARYA DI MADUKORO, SEMARANG”. Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Sarjana Strata 1 (S-1) Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Selama menyelesaikan tugas akhir dan menyusun laporan, penyusun telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan terimakasih kepada :

1. Allah SWT dan Rasulullah Muhammad SAW.
2. Kedua orang tua kami yang memberi kami motivasi dan selalu memberi semangat kepada kami.
3. Yth. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Yth. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang dan selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
5. Yth. Bapak Prof. Dr. Ir Antonius, MT selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
6. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semarang, Agustus 2025

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xxvii
ABSTRAK	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Konsep Struktur.....	5
2.2. Sistem Struktur Penahan Gempa	5
2.2.1. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	6
2.3. Beban yang Bekerja pada Struktur Bangunan Gedung	6
2.3.1. Beban Mati (Dead Load).....	6
2.3.2. Beban Hidup (Live Load).....	7
2.3.3. Beban Gempa	7
2.3.4. Faktor Beban dan Kombinasi Beban	7
2.3.5. Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)	8
2.4. Perancangan Struktur Bangunan Gedung.....	9
2.5. Perancangan Struktur Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019	10
2.5.1. Gempa Rencana	10

2.5.2.	Kategori Resiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa	10
2.5.3.	Klasifikasi Situs	10
2.5.4.	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Tertarget	11
2.5.5.	Parameter Percepatan Spektral Desain	12
2.5.6.	Spektrum Respons Desain	12
2.5.7.	Kategori Desain Seismik	14
2.5.8.	Kombinasi Sistem Pemikul Gaya Seismik pada Arah yang Berbeda	14
2.5.9.	Periode Fundamental Pendekatan	14
2.5.10.	Periode Fundamental Struktur	15
2.5.11.	Gaya Geser Dasar Seismik	15
2.5.12.	Simpangan Antar Tingkat	16
2.5.13.	Analisis Spektrum Respons Ragam	17
2.6.	Perancangan Struktur Pondasi	17
2.6.1.	Pondasi <i>Bore Pile</i>	18
2.6.2.	Pondasi Tiang Pancang	18
2.6.3.	Daya Dukung Tanah	18
2.6.3.1.	Perencanaan dan Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang N-SPT	20
2.6.3.2.	Daya Dukung Ijin untuk Kelompok Tiang	21
2.6.3.3.	Efisiensi Kelompok Tiang	22
2.6.3.4.	Perhitungan Tulangan Pondasi	22
2.6.4.	Perencanaan <i>Pile Cap</i>	24
BAB III	METODE PERANCANGAN	26
3.1.	Tinjauan Umum	26
3.2.	Lokasi Proyek	26
3.3.	Pengumpulan Data	26
3.4.	Standar Perancangan	27
3.5.	Tahapan Analisis dan Perancangan	28
3.5.1.	Tahapan Analisis	28
3.5.1.1.	Permodelan Struktur	28
3.6.	Diagram Alir	31
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1.	Data Struktur Gedung	41
4.1.1.	Deskripsi Umum Struktur	41
4.1.2.	Perencanaan Awal Dimensi Struktur (Preliminary Design)	44
4.1.2.1.	Preliminary Elemen Pelat	44

4.1.2.2. Preliminary Elemen Balok.....	46
4.1.2.3. Preliminary Elemen Kolom	46
4.2. Permodelan Elemen Struktur	47
4.2.1. Permodelan Pelat	47
4.2.2. Permodelan Balok.....	47
4.2.3. Permodelan Kolom	48
4.2.4. Permodelan Struktur	49
4.2.4.1. Permodelan	49
4.3. Pembebanan Struktur	53
4.3.1. Pembebanan Gravitasi	53
4.3.2. Pembebanan Gempa	55
4.3.3. Kombinasi Pembebanan Struktur	59
4.4. Pengecekan Perilaku Struktur Bangunan.....	59
4.4.1. Rasio Partisipasi Massa	59
4.4.2. Perhitungan Koefisien Respons Seismik (Cs)	61
4.4.3. Simpangan Antar Lantai	63
4.4.3.1. Simpangan Arah X.....	63
4.4.3.2. Simpangan Arah Y	63
4.5. Perancangan Atap	64
4.5.1. Spesifikasi Struktur Atap.....	64
4.5.2. Perencanaan Gording.....	65
4.5.2.1. Data Profil.....	65
4.5.2.2. Analisa Beban	65
4.5.2.3. Analisa Statika	65
4.5.2.4. Kombinasi Pembebanan	66
4.5.2.5. Kontrol Hitungan	68
4.5.3. Perencanaan Rangka Atap Kuda Kuda	69
4.5.3.1. Analisa Beban	69
4.5.3.2. Analisa Statika	70
4.5.3.3. Analisa Kontrol Hitungan	71
4.6. Perancangan Elemen Struktur Beton Bertulang	74
4.6.1. Perancangan Pelat	74
4.6.1.1. Properti Material dan Penampang.....	74
4.6.1.2. Data Teknis Pelat Lantai	75

4.6.1.3. Penentuan Tebal Pelat Lantai	75
4.6.1.4. Analisa Pembebanan Pelat Lantai.....	76
4.6.1.5. Menghitung Momen yang Bekerja	77
4.6.1.6 Menghitung Kebutuhan Tulangan	77
4.6.2. Perancangan Tangga.....	81
4.6.2.1. Analisa Beban	82
4.6.2.2. Penulangan Tangga	85
4.6.3. Perancangan Balok	95
4.6.3.1. Properti Material dan Penampang.....	95
4.6.3.2. Perhitungan Tulangan Lentur	96
4.6.3.3. Perhitungan Tulangan Geser.....	101
4.6.3.4. Perhitungan Tulangan Geser dan Torsi.....	100
4.6.3.5. Hasil Output SAP2000	104
4.6.4 Perancangan Kolom.....	105
4.6.4.1. Properti Material dan Penampang.....	105
4.6.4.2. Pendimensian dan Perhitungan Kolom.....	106
4.6.4.3. Perhitungan Tulangan Lentur	106
4.6.4.4. Perhitungan Tulangan Geser.....	108
4.6.4.5. Hasil Output SAP2000	109
4.7. Perancangan Struktur Bawah	110
4.7.1. Analisa Perhitungan Daya Dukung Pondasi Bored Pile.....	110
4.7.2. Penulangan Bored Pile.....	113
4.7.2.1. Perhitungan Tulangan Lentur	113
4.7.2.2. Perhitungan Tulangan Geser	115
4.7.3. Perancangan Pilecap	116
4.7.3.1. Data Bahan Pilecap.....	116
4.7.3.2. Data Dimensi Pilecap.....	116
4.7.3.3. Data Susun Boredpile	117
4.7.3.4. Gaya Aksial Pada Boredpile	117
4.7.3.5. Gaya Lateral Pada Boredpile	118
4.7.3.6. Tinjauan Geser Arah X.....	118
4.7.3.7. Tinjauan Geser Arah Y	119
4.7.3.8. Tinjauan Geser 2 Arah (Pons)	120
4.7.4. Pembesian Pilecap	120

4.7.4.1. Tulangan Lentur Arah X.....	120
4.7.4.2. Tulangan Lentur Arah Y.....	122
4.7.4.3. Tulangan Susut	123
BAB V KESIMPULAN.....	124
5.1. Kesimpulan.....	124
5.2. Saran	125
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

2.1. Kombinasi Beban.....	8
2.2. Faktor Reduksi Kekuatan.....	9
4.1. Data Model Struktur Gedung.....	41
4.2. Tinggi Lantai Antar Bangunan	44
4.3. Mutu Baja Tulangan	44
4.4. Mutu Beton Balok dan Pelat.....	44
4.5. Tebal Minimum Pelat 1 Arah	45
4.6. Tebal Minimum Pelat 2 Arah	45
4.7. Dimensi Pelat yang Dipakai	46
4.8. Hasil Preliminary Elemen Balok	46
4.9. Hasil Preliminary Elemen Kolom.....	47
4.10. Dimensi Balok Setelah Pengecatan	48
4.11. Dimensi Kolom Setelah Pengecatan.....	48
4.12. Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah X.....	52
4.13. Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah Y.....	53
4.14. Beban Mati Tambahan Pada Lantai	54
4.15. Beban Mati Tambahan Pada Lantai Kantilever.....	54
4.16. Beban Hidup.....	54
4.17. Kumulatif Beban Struktur	54
4.18. Nilai N-SPT	55
4.19. Data Parameter Respons Spektra Terpetakan	56
4.20. Parameter Respons Spektra	58
4.21. Kombinasi Pembebanan.....	59
4.22. Rekapitulasi Ratio Partisipasi Modal Massa	62
4.23. Koefisien Respons Seismik	62
4.24. Simpangan Arah X.....	63
4.25. Simpangan Arah Y.....	63
4.26. Momen Pada Gording	66
4.27. Momen Penulangan Pelat Tangga	85
4.28. Data Perencanaan Balok Induk	96
4.29. Hasil Output SAP2000 Balok Induk	105
4.30. Data Perencanaan Kolom	106

4.31. Hasil Output SAP2000 Kolom.....	110
4.32. Hasil Perhitungan Daya Dukung Metode Resse and Wright.....	111
4.33. Tabel Perancangan Boredpile.....	113
4.34. Data Penyusunan Boredpile.....	117



DAFTAR GAMBAR

2.1.	Parameter Gerak Tanah (S_s) Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget ($MCER$)	11
2.2.	Parameter Tanah Gerak (S_1) Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget ($MCER$)	12
2.3.	Spektrum Respons Desain.....	13
2.4.	Peta Transisi Periode Panjang (T_i)	13
2.5.	Penentuan Simpangan Antar Tingkat	16
2.6.	Penurunan dan Daya Dukung Maksimal Pondasi.....	19
2.7.	Grafik Hubungan Tahanan Ujung Ultimate dengan N-SPT Tanah.....	21
3.1.	Lokasi Proyek.....	26
3.2.	Denah Lantai 1	32
3.3.	Denah Lantai 2	32
3.4.	Denah Lantai 3	33
3.5.	Denah Lantai 4	33
3.6.	Tampak Depan	34
3.7.	Tampak Belakang.....	34
3.8.	Tampak Kanan	35
3.9.	Tampak Kiri.....	35
3.10.	Potongan A-A.....	36
3.11.	Potongan B-B.....	37
3.12.	Potongan C-C.....	38
3.13.	Potongan D-D.....	39
3.14.	Potongan E-E.....	39
3.15.	Potongan F-F.....	40
4.1.	Denah Lantai 1	42
4.2.	Denah Lantai 2.....	42
4.3.	Denah Lantai 3.....	43
4.4.	Denah Lantai 4.....	43
4.5.	Denah Lantai 2.....	49
4.6.	Denah Lantai 3.....	50
4.7.	Denah Lantai 4.....	50
4.8.	Denah Lantai Atap.....	51
4.9.	Denah Lantai Menara	51
4.10.	Permodelan 3D	52

4.11. Spektrum Respons Desain Lokasi Perancangan.....	59
4.12. Translasi Arah Y	60
4.13. Translasi Arah X	61
4.14. Rotasi Arah Z	61
4.15. Pemodelan Struktur Atap	64
4.16. Penulangan Pelat.....	75
4.17. Penentuan h'	83
4.18. Denah Balok G1 Sampel	97
4.19. Denah Kolom K1 Sampel.....	106



**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KANTOR 4 LANTAI PADA
KELAS TANAH E: STUDI KASUS PENGEMBANGAN GEDUNG BINA
MARGA DAN CIPTA KARYA DI MADUKORO, SEMARANG**

Abstrak

Perencanaan bangunan bertingkat di tanah lunak (kategori tanah E) membutuhkan metode yang cermat karena sifat tanah ini seringkali memperburuk dampak gempa dan memiliki kemampuan dukung tanah yang rendah. Dalam perancangan ini, struktur gedung perkantoran dengan empat lantai yang berlandaskan pada gedung tiga lantai milik Bina Marga dan Cipta Karya yang berada di Madukoro, Semarang. Dilakukan penambahan satu lantai dengan memperhatikan beban tambahan yang akan muncul serta pengaruhnya terhadap kekokohan dan kestabilan bangunan, terutama di tanah yang tidak stabil.

Perencanaan struktur mengacu pada SNI 1727:2020 (beban minimum), SNI 1726:2019 (ketahanan gempa), dan SNI 2847:2019 (struktur beton). Proses perencanaan meliputi analisis beban, penentuan sistem struktur, dimensi elemen utama (pelat, balok, kolom), serta fokus utama pada perencanaan pondasi yang sesuai dengan tanah kelas E. Hasil studi menunjukkan perlunya sistem pondasi dalam untuk menyalurkan beban ke lapisan tanah yang lebih stabil. Studi ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perencanaan struktur bangunan bertingkat di atas tanah lunak di daerah rawan gempa seperti Semarang.

Kata Kunci : *Perencanaan Struktur, Gedung Kantor 4 Lantai; Perancangan Ketahanan Gempa, Kelas Tanah E.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia termasuk negara dengan aktivitas seismik yang sangat tinggi di dunia. Hal ini disebabkan oleh posisinya yang berada di pertemuan tiga lempeng tektonik utama, sehingga wilayah ini sangat rentan terhadap gempa bumi. Gempa yang terjadi tidak hanya mengancam keselamatan manusia, tetapi juga kerap mengakibatkan kerusakan besar pada bangunan dan infrastruktur, terutama fasilitas umum. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan struktur bangunan yang mampu beradaptasi dengan potensi risiko bencana tersebut.

Gedung fasilitas publik, termasuk kantor pemerintahan, memiliki peran penting dalam mendukung aktivitas administratif dan layanan kepada masyarakat. Oleh karena itu, ketahanan struktur bangunan terhadap beban gempa menjadi aspek krusial yang harus diperhatikan dalam proses perencanaan. Selain itu, pertimbangan terhadap kondisi tanah tempat bangunan didirikan menjadi salah satu faktor penting, mengingat karakteristik tanah dapat memengaruhi perilaku struktur saat terjadi gempa.

Kondisi tanah lunak atau kelas tanah E, seperti yang ditemukan di kawasan Madukoro, Semarang. Dikenal memiliki risiko amplifikasi gelombang gempa yang tinggi dan daya dukung yang rendah. Kondisi ini dapat meningkatkan gaya gempa yang diterima oleh struktur bangunan dan berisiko menyebabkan kerusakan yang lebih parah dibandingkan jika bangunan tersebut didirikan di atas tanah yang keras. Oleh karena itu, perencanaan struktur bangunan pada tanah kelas E memerlukan analisis yang lebih mendalam serta perancangan sistem pondasi yang mampu menahan beban secara aman dan stabil.

Gedung Kantor Bina Marga dan Cipta Karya yang berlokasi di kawasan tersebut merupakan bangunan eksisting dengan tiga lantai. Perubahan jumlah lantai tentu berdampak langsung terhadap beban struktur dan sistem pondasi yang harus dirancang ulang sesuai standar perencanaan terbaru, khususnya yang berkaitan dengan ketahanan gempa.

Dalam menghadapi risiko gempa dan kondisi tanah yang kurang

menguntungkan, penerapan peraturan gempa terbaru, yaitu SNI 1726:2019, menjadi acuan utama dalam perencanaan struktur bangunan ini. Standar ini memberikan pedoman teknis untuk mendesain struktur agar mampu menahan beban gempa dengan baik, sekaligus mempertimbangkan kekakuan, kekuatan, dan daktilitas sistem struktur. Selain itu, perencanaan pondasi menjadi fokus utama mengingat pentingnya menyalurkan beban ke lapisan tanah yang aman.

Tugas akhir ini memuat perencanaan struktur untuk gedung kantor berlantai 4, dengan penekanan pada pemilihan sistem pondasi yang tepat sesuai dengan beban bangunan serta karakteristik tanah kategori kelas E. Diharapkan hasil perencanaan ini dapat menjadi acuan teknis dalam pembangunan gedung di atas tanah lunak dan berkontribusi dalam peningkatan keselamatan serta efisiensi struktur bangunan di wilayah rawan gempa.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun beberapa isu yang menjadi perhatian dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem struktur pondasi gedung kantor 4 lantai berdasarkan ketentuan ketahanan gempa dalam SNI 1726:2019?
2. Jenis pondasi apa yang sesuai untuk bangunan gedung kantor 4 lantai yang berada di tanah lunak kelas E?
3. Bagaimana perhitungan kapasitas daya dukung pondasi terhadap beban bangunan berdasarkan kondisi tanah dan standar perencanaan terbaru?
4. Bagaimana pengaruh penambahan 1 lantai terhadap stabilitas struktur gedung lama?

1.3. Tujuan Perancangan

Dengan mengacu pada rumusan masalah yang telah disampaikan, perancangan ini bertujuan untuk:

1. Merancang sistem struktur pondasi gedung kantor 4 lantai sesuai dengan ketentuan ketahanan gempa berdasarkan SNI 1726:2019.
2. Mengidentifikasi dan memilih sistem pondasi yang tepat untuk mendukung struktur bangunan 4 lantai pada tanah dengan daya dukung rendah.
3. Menghitung kapasitas daya dukung pondasi terhadap beban bangunan berdasarkan SNI 1726:2019.

4. Untuk menganalisis stabilitas struktur akibat penambahan 1 lantai.

1.4. Batasan Masalah

Agar perancangan berjalan sesuai arah dan tidak keluar dari sasaran utama, maka ditetapkan beberapa batasan masalah, yaitu:

1. Dimensi struktur atas disesuaikan dengan *As Build Drawing*.
2. Objek yang dirancang adalah gedung kantor 4 lantai yang akan dibangun di atas tanah kelas E, berdasarkan data borlog dari lokasi Fly over di Madukoro, Semarang.
3. Analisis dan perencanaan menggunakan perangkat lunak bantuan analisis struktur.
4. Analisa stabilitas P-Delta tidak dihitung.
5. Analisa struktur bangunan hanya terbatas pada struktur bawah dan jenis pondasi.
6. Instalasi mekanikal, elektrikal, dan plumbing tidak termasuk dalam cakupan perencanaan desain ini.
7. Tinjauan terkait estimasi biaya, teknik pelaksanaan konstruksi, dan manajemen proyek dikecualikan dari perancangan ini.

1.5. Sistemika Penulisan

Laporan Tugas Akhir ini disusun dalam lima bab, dengan uraian isi masing-masing bab sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Pembahasan pada bab ini meliputi latar belakang, identifikasi dan perumusan masalah, batasan, tujuan, serta sistematika penyusunan laporan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini dibahas mengenai pendekatan analisis gempa, syarat-syarat struktur tahan terhadap gempa, dan karakteristik Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.

BAB III : METODE PENELITIAN

Pembahasan pada bab ini meliputi pengumpulan data, tahapan analisis dalam perancangan gedung, dan standar yang diacu dalam proses perancangan.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian bab ini menjelaskan tentang langkah - langkah perancangan dan hasil perhitungan struktur bangunan yang dilakukan.

BAB V : PENUTUP

Pada bagian bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari perancangan ulang struktur gedung kantor 4 lantai serta saran maupun kritik dari penyusun.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsep Struktur

Struktur bangunan merupakan susunan sistematis dari elemen-elemen konstruksi yang dirancang untuk menopang keseluruhan massa bangunan, termasuk aspek estetika arsitektural, tata ruang interior, serta fungsi-fungsi teknis lainnya. Secara umum, struktur dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu substruktur yang berada di bawah permukaan tanah seperti pondasi, serta struktur atas yang mencakup elemen-elemen di atas permukaan tanah, seperti kolom, balok, dan pelat. Perancangan struktur bangunan menuntut tingkat ketelitian dan akurasi tinggi, mengingat harus memenuhi ketentuan teknis tertentu. Hal ini meliputi peraturan beban bangunan dan prosedur perhitungan struktur beton sebagaimana diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI). Kepatuhan terhadap standar ini menjadi syarat fundamental untuk menjamin kestabilan, kekuatan, serta keselamatan bangunan secara keseluruhan.

2.2. Sistem Struktur Penahan Gempa

Sistem struktur merupakan hasil integrasi dari berbagai elemen struktural tiga dimensi yang bekerja secara sinergis untuk membentuk suatu sistem yang stabil dan kokoh. Fungsi utama dari sistem ini adalah memastikan bahwa seluruh gaya atau beban yang bekerja pada bangunan—baik beban vertikal seperti beban mati dan beban hidup, maupun beban lateral seperti angin dan gempa—dapat ditransfer secara efisien ke elemen-elemen struktur bagian bawah hingga akhirnya diteruskan ke tanah melalui pondasi. Dengan demikian, sistem struktur memegang peranan penting dalam menjamin keamanan serta efisiensi bangunan secara menyeluruh, sekaligus menjadi dasar dalam proses perencanaan dan analisis kekuatan struktur.

Dalam konteks bangunan tahan gempa, pemilihan sistem struktur menjadi aspek krusial karena secara langsung memengaruhi perilaku struktur saat mengalami beban seismik. Standar SNI 1726:2019 tentang perencanaan struktur bangunan tahan gempa memuat berbagai jenis sistem struktur yang dapat digunakan, antara lain sistem dinding pemikul beban, sistem rangka pemikul momen, sistem rangka ruang, sistem rangka biasa, sistem kolom kantilever, dan sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus (SRPMK).

2.2.1. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) merupakan salah satu jenis struktur tahan gempa yang dirancang untuk menahan gaya lentur dan geser melalui mekanisme pembebanan momen. Sistem ini tersusun atas balok dan kolom yang saling terhubung secara kaku, sehingga memungkinkan terjadinya transfer beban secara efektif melalui deformasi lentur.

Keunggulan utama dari SRPMK terletak pada tingkat daktilitasnya yang tinggi, yang memungkinkan struktur menyerap energi gempa tanpa mengalami keruntuhan secara tiba-tiba. Oleh karena itu, sistem ini sangat direkomendasikan untuk diterapkan pada wilayah dengan potensi gempa yang tinggi, mengingat kemampuannya dalam menjaga integritas struktur saat terjadi gempa kuat.

2.3. Beban yang Bekerja pada Struktur Bangunan Gedung

Berdasarkan ketentuan dalam SNI 1727:2020, beban diartikan sebagai gaya atau pengaruh lain yang timbul akibat berat bangunan itu sendiri, aktivitas penghuni, pengaruh lingkungan, pergerakan diferensial, serta perubahan dimensi yang terjadi. Secara umum, beban dapat dijelaskan sebagai gaya yang dikenakan pada bagian tertentu dari struktur bangunan.

Pada konstruksi bangunan bertingkat, terdapat berbagai jenis beban yang memengaruhi kinerja struktur, yang secara garis besar dikelompokkan berdasarkan arah kerjanya menjadi dua: beban vertikal (akibat gravitasi) dan beban horizontal (akibat gaya lateral). Beban vertikal meliputi beban mati, beban hidup, dan beban air hujan. Sementara itu, beban horizontal melibatkan beban gempa, beban angin, serta tekanan dari tanah dan air tanah.

2.3.1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati merujuk pada berat seluruh elemen bangunan yang bersifat permanen, seperti dinding, lantai, atap, plafon, tangga, partisi tetap, serta berbagai elemen arsitektural dan struktural yang bersifat tetap dan esensial dalam konstruksi. Berdasarkan Tabel C3.1 dari SNI 1727:2020, diketahui bahwa lapisan pasir dan mortar setebal 4 cm memberikan beban sebesar $0,88 \text{ kN/m}^2$, lantai keramik setebal 1 cm memberikan beban sebesar $0,22 \text{ kN/m}^2$, instalasi plafon menambah beban sebesar $0,20 \text{ kN/m}^2$, dan sistem mekanikal serta elektrik memberikan beban tambahan sebesar $0,25 \text{ kN/m}^2$.

2.3.2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup merupakan beban yang bersifat tidak tetap karena berasal dari aktivitas pengguna bangunan. Jenis beban ini tidak mencakup beban selama konstruksi maupun pengaruh lingkungan seperti angin, hujan, atau gempa bumi. Dalam konteks perencanaan bangunan perkantoran, beban hidup harus mempertimbangkan kemungkinan beban maksimum yang bisa terjadi, namun nilainya tidak boleh kurang dari batas minimum yang tercantum dalam Tabel 4.3 SNI 1727:2020. Untuk bangunan perkantoran, standar ini mengklasifikasikan beberapa jenis ruang, antara lain: lobi dan koridor lantai dasar dengan beban merata $4,79 \text{ kN/m}^2$ dan beban terpusat $8,90 \text{ kN}$; ruang kantor dengan beban merata $2,39 \text{ kN/m}^2$ dan beban terpusat sama; koridor di atas lantai dasar dengan beban $3,83 \text{ kN/m}^2$; ruang privat seperti ruang rapat dan lorong dengan beban $1,92 \text{ kN/m}^2$; serta area publik yang memikul beban hingga $4,79 \text{ kN/m}^2$.

2.3.3. Beban Gempa

Beban gempa merupakan gaya setara statik yang dihasilkan oleh pergerakan tanah di bawah bangunan, dan perhitungannya mengikuti metode analisis dinamik sesuai ketentuan dalam SNI 1726:2019. Dalam proses perencanaan, biasanya digunakan beban gempa dengan intensitas sedang. Akan tetapi, dalam kejadian gempa besar, gaya yang ditimbulkan pada struktur bisa melampaui nilai-nilai desain yang digunakan. Gempa desain sendiri didefinisikan sebagai gempa dengan peluang terjadinya sebesar 2% dalam kurun waktu 50 tahun umur bangunan.

2.3.4. Faktor Beban dan Kombinasi Beban

Faktor beban adalah koefisien pengali yang diberikan pada beban tertentu untuk mengakomodasi ketidakpastian serta variasi beban yang mungkin terjadi selama masa pakai struktur. Besarnya faktor ini ditentukan oleh tingkat ketidakpastian dan potensi fluktuasi beban sepanjang umur struktur. Penggunaan faktor beban dalam analisis bertujuan untuk memperoleh perhitungan gaya geser dan momen lentur yang lebih realistis. Dalam prakteknya, kombinasi beban perlu memperhitungkan kemungkinan beban bekerja secara bersamaan. Penerapan kombinasi ini bertujuan memastikan struktur dapat menahan beban yang melebihi kondisi normal, sehingga kegagalan struktural dapat dicegah. Ketentuan kombinasi beban ini telah diatur

dalam SNI 2847:2019 dan dapat dirujuk pada Tabel 2.1.1.

Tabel 2. 1. Kombinasi Beban

Kombinasi Beban	Beban Utama
$U = 1,4 D$	D
$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$	L
$U = 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (1,0 L \text{ atau } 0,5 W)$	$Lr \text{ atau } R$
$U = 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$	W
$U = 1,2 D + 1,0 E + 1,0 L$	E
$U = 0,9 D + 1,0 W$	W
$U = 0,9 D + 1,0 E$	E

(sumber : Tabel 5.3.1 SNI 2847:2019)

Keterangan:

D = beban mati

L = beban hidup

Lr = beban hidup di atap

R = beban hujan

W = beban angin

2.3.5. Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)

Faktor reduksi kekuatan (ϕ) digunakan untuk mengantisipasi kemungkinan penurunan kapasitas struktur akibat variasi material dan dimensi saat pelaksanaan, penyederhanaan dalam perhitungan desain, tingkat daktilitas, potensi mode kegagalan, serta kebutuhan terhadap keandalan dan jalur beban alternatif dalam struktur. Nilai faktor reduksi yang digunakan dalam perancangan tercantum pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2. Faktor Reduksi Kekuatan

Gaya atau elemen struktur		ϕ	Pengecualian
a.)	Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 – 0,90 sesuai 21.2.2	Di dekat ujung komponen pratarik (<i>pretension</i>) dimana <i>strand</i> belum sepenuhnya bekerja, ϕ harus sesuai dengan 21.2.3
b.)	Geser	0,75	Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa terdapat pada 21.2.4
c.)	Torsi	0,75	-
d.)	Tumpu (<i>bearing</i>)	0,65	-
e.)	Zona angkur pascatarik (<i>post-tension</i>)	0,85	-
f.)	<i>Bracket</i> dan korbel	0,75	-
g.)	<i>Strut, ties</i> , zona nodal dan daerah tumpuan yang dirancang dengan <i>strut-and-tie</i> di Pasal 23	0,75	-
h.)	Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik	0,90	-
i.)	Beton polos	0,60	-
j.)	Angkur dalam elemen beton	0,45 – 0,75 sesuai Pasal 17	-

(sumber : Tabel 21.2.1 SNI 2847:2019)

2.4. Perancangan Struktur Bangunan Gedung

Perancangan struktur bangunan gedung mengacu pada SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural dan SNI 1726:2019 mengenai Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non-Gedung. Selain itu, analisis struktur menjadi bagian penting dalam perancangan karena menghasilkan gaya-gaya seperti momen lentur, geser, dan aksial yang digunakan sebagai dasar dalam mendesain elemen struktur agar mampu menahan seluruh beban, termasuk beban gempa.

2.5. Perancangan Struktur Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019

Perencanaan struktur bangunan tahan gempa memerlukan analisis teknis yang mendalam serta perhitungan yang cermat untuk meminimalkan risiko kerusakan akibat aktivitas seismik. Dalam praktik rekayasa struktural, acuan utama yang digunakan adalah Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan dan Non-Bangunan. Standar ini menjadi pedoman dalam menentukan parameter-parameter penting dalam desain struktur yang mampu menahan beban gempa.

2.5.1. Gempa Rencana

Gempa rencana didefinisikan sebagai kejadian seismik yang memiliki kemungkinan terlampaui sebesar 2% dalam periode 50 tahun masa layan struktur. Nilai probabilistik ini digunakan sebagai dasar dalam analisis risiko dan pengembangan strategi mitigasi pada desain bangunan dan infrastruktur penting lainnya.

2.5.2. Kategori Resiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Klasifikasi risiko digunakan untuk mengelompokkan jenis bangunan atau struktur berdasarkan tingkat bahaya yang ditimbulkan apabila terjadi kegagalan struktural akibat gempa. Penentuan beban gempa ditetapkan sesuai dengan tingkat risiko yang dianggap tidak dapat diterima secara fungsional maupun keselamatan jiwa. Faktor keparahan gempa, yang dinyatakan dalam nilai *Importance Factor* (I_e), mempertimbangkan aspek keselamatan manusia, gangguan fungsi layanan, hingga potensi kerugian material. Bangunan perkantoran, sebagaimana tercantum dalam Tabel 3 dan 4 SNI 1726:2019, dikategorikan sebagai Risiko II, dengan nilai I_e sebesar 1.0.

2.5.3. Klasifikasi Situs

Penentuan klasifikasi lokasi atau *site classification* merupakan langkah krusial dalam desain struktur tahan gempa. Tujuannya adalah untuk menetapkan faktor-faktor amplifikasi respons seismik berdasarkan kondisi tanah lokal. Klasifikasi ini menghasilkan parameter teknis yang dikenal sebagai Kelas Situs, yang sangat berpengaruh terhadap perhitungan respons dinamis struktur saat terjadi gempa. Untuk tanah yang termasuk dalam Kelas E, SNI 1726:2019 menetapkan kriteria teknis sebagai berikut: kecepatan gelombang geser rata-rata (*shear wave velocity*,

Vs) kurang dari 175 m/s, nilai *Standard Penetration Test* (Ns) rata-rata di bawah 15, serta kekuatan geser tak terdrainase (*undrained shear strength*, Su) rata-rata kurang dari 50 kPa.

2.5.4. Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Tertarget

Faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan 1 detik diperlukan untuk menentukan nilai Respons Spektral Percepatan Gempa Tertarget (MCER). Faktor ini mencakup Fa (untuk percepatan pada periode pendek) dan Fv (untuk periode 1 detik). Berdasarkan Tabel 7 SNI 1726:2019, untuk tanah kelas E, nilai Fa berkisar dari 2,4 ($S_s \leq 0,25$) hingga 0,8 ($S_s \geq 1,5$), sedangkan nilai Fv berkisar dari 4,2 ($S_1 \leq 0,1$) hingga 2,0 ($S_1 \geq 0,6$). Nilai parameter SMS dan SM1 yang mempertimbangkan klasifikasi situs dihitung menggunakan Persamaan 2.1 dan 2.2.

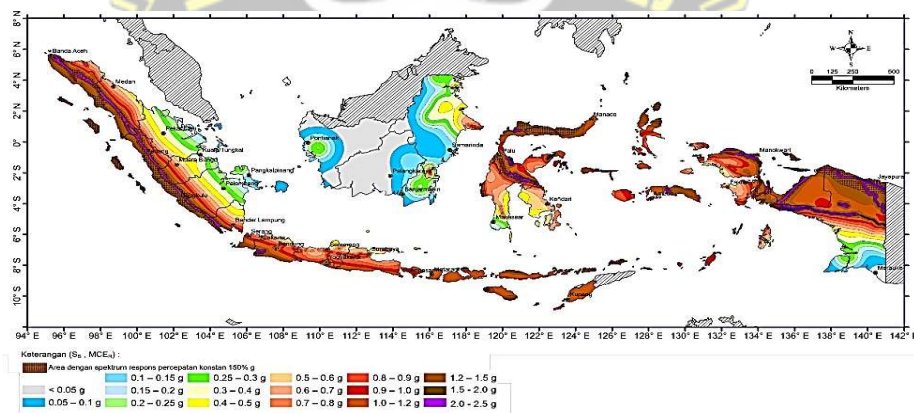
$$SMS = Fa' S_s \dots\dots\dots (2.1)$$

$$SM1 = F_v' S_1 \dots\dots\dots (2.2)$$

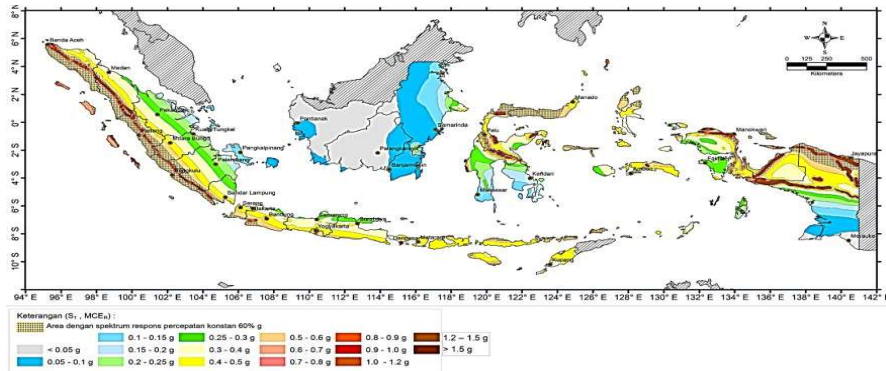
Keterangan :

S_s = Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCER) terpetakan untuk periode pendek (dapat dilihat pada Gambar 2.1)

S_1 = Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCER) terpetakan untuk Periode 1,0 detik (dapat dilihat pada Gambar 2.2)



Gambar 2.1. Parameter Gerak Tanah (S_s) Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER)



Gambar 2.2. Parameter Gerak Tanah (S1) Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER)

2.5.5. Parameter Percepatan Spektral Desain

Nilai parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (SDS) dan periode 1 detik (SD1) ditentukan berdasarkan ketentuan pada Persamaan 2.3 dan 2.4.

$$SDS = \frac{2}{3} SMS \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

$$SD1 = \frac{2}{3} SM1 \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

SMS = Parameter Respons Spektral Percepatan pada Periode Pendek

SM1 = Parameter Respons Spektral Percepatan pada Periode 1 Detik

2.5.6. Spektrum Respons Desain

Nilai Spektrum Respons Percepatan Desain (S_a) dapat dicari berdasarkan ketentuan pada Persamaan 2.5 sampai Persamaan 2.8.

a) Untuk Periode (T) yang lebih kecil dari T_0

$$S_a = SDS \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

b) Untuk Periode (T) lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s

$$S_a = SDS \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

c) Untuk Periode (T) lebih besar dari atau sama dengan T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L

$$S_a = \frac{SD_1}{T} \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

d) Untuk Periode (T) lebih besar dari T_L

$$S_a = \frac{SD_1 T_L}{T^2} \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

T_l = Periode Getar/Fundamental Struktur

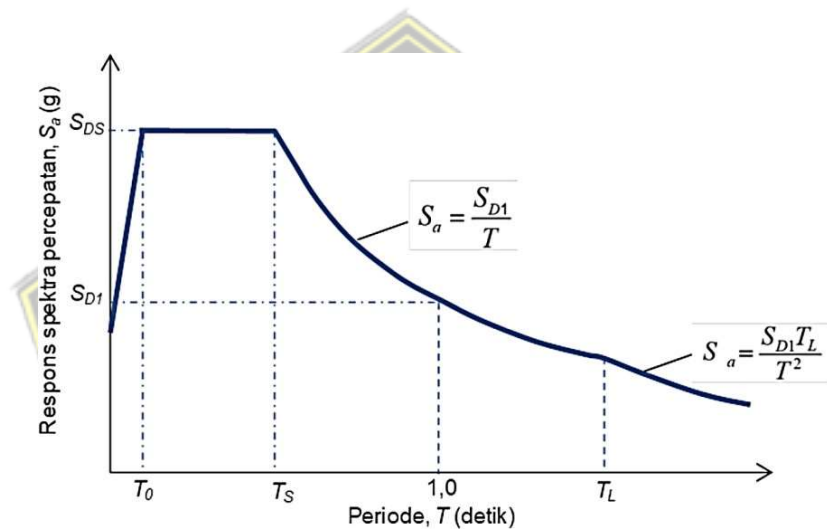
$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

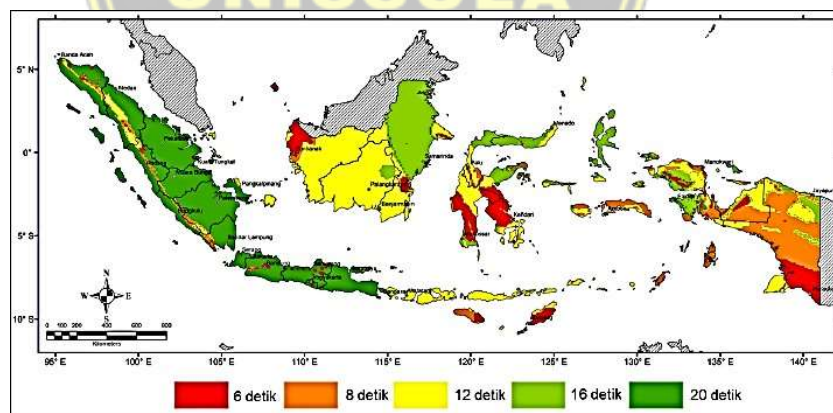
T_L = Peta Transisi Periode Panjang yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 yang nilainya diambil dari Gambar 2.4

S_{DS} = Parameter Respons Spektral Percepatan Desain Pada Periode Pendek

$D1$ = Parameter Respons Spektral Percepatan Desain Pada 1 Detik



Gambar 2. 3. Spektrum Respons Desain



Gambar 2. 4. Peta Transisi Periode Panjang (T_L)

2.5.7. Kategori Desain Seismik

Penentuan Kategori Desain Seismik didasarkan pada nilai parameter percepatan respons spektral SDS dan SD1 setelah terlebih dahulu ditetapkan klasifikasi tingkat risiko bangunan. Semakin tinggi tingkat risiko suatu bangunan, maka semakin besar pula potensi bahaya gempa yang harus diantisipasi dalam perencanaan struktur.

Mengacu pada Tabel 8 dalam SNI 1726:2019, penetapan Kategori Desain Seismik bagi bangunan kantor yang tergolong dalam Kategori Risiko II ditentukan melalui nilai SDS, yaitu: Kategori A apabila $SDS < 0,167$; Kategori B untuk $0,167 \leq SDS < 0,33$; Kategori C jika $0,33 \leq SDS < 0,5$; dan Kategori D apabila $SDS \geq 0,50$. Sementara itu, Tabel 9 dari standar yang sama menyajikan klasifikasi berdasarkan nilai SD1, yakni: Kategori A jika $SD1 < 0,067$; Kategori B untuk $0,067 \leq SD1 < 0,133$; Kategori C jika $0,133 \leq SD1 < 0,2$; dan Kategori D bila $SD1 \geq 0,20$.

2.5.8. Kombinasi Sistem Pemikul Gaya Seismik pada Arah yang Berbeda

Penggunaan lebih dari satu jenis sistem penahan gaya gempa diperbolehkan dalam arah ortogonal yang berbeda pada struktur, dengan syarat bahwa masing-masing sistem harus dirancang berdasarkan karakteristiknya sendiri. Hal ini mencakup penggunaan koefisien modifikasi respons (R), faktor overstrength (Ω_0), serta faktor peningkatan simpangan (C_d) yang sesuai untuk tiap sistem.

Berdasarkan Tabel 12 dalam SNI 1726:2019, pada bangunan kantor yang menerapkan sistem rangka beton bertulang tahan momen khusus, nilai koefisien modifikasi respons (R) ditetapkan sebesar 8, faktor overstrength (Ω_0) sebesar 3, dan faktor peningkatan simpangan (C_d) sebesar 5,5. Untuk bangunan yang masuk dalam Kategori Desain Seismik B, batas ketinggian bangunan (h_n) maupun batasan sistem strukturalnya ditentukan mengacu pada nilai TB.

2.5.9. Periode Fundamental Pendekatan

Nilai periode fundamental pendekatan (T_a) dihitung menggunakan Persamaan 2.9. Untuk sistem Rangka Beton Pemikul Momen, digunakan nilai koefisien C_t sebesar 0,0466 dan eksponen x sebesar 0,9, sesuai Tabel 18 SNI 1726:2019.

$$T_a = C_t h_n^x \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

h_n = Ketinggian struktur (m)

Untuk struktur setinggi maksimal 12 lantai dengan Sistem Pemikul Gaya Seismik berupa Rangka Pemikul Momen dari beton atau baja, dan tinggi rata-rata tiap lantai minimal 3 meter, nilai periode fundamental pendekatan (T_a) dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.10.

$$T_a = 0,1 N \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

N = Jumlah tingkat

2.5.10. Periode Fundamental Struktur

Periode fundamental struktur (T) tidak boleh melebihi hasil perkalian antara koefisien batas atas periode (C_u) dan periode fundamental pendekatan (T_a). Nilai C_u ditentukan berdasarkan nilai $SD1$. Mengacu pada Tabel 17 SNI 1726:2019, C_u bernilai 1,4 untuk $SD1 \geq 0,3$; 1,5 untuk $SD1 = 0,2$; 1,6 untuk $SD1 = 0,15$; dan 1,7 untuk $SD1 \leq 0,1$.

2.5.11. Gaya Geser Dasar Seismik

Nilai Gaya Geser Dasar Seismik (V) dalam arah yang ditetapkan dapat dicari berdasarkan ketentuan pada Persamaan 2.11.

$$V = C_s W \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

C_s = Koefisien Respons Seismik

W = Berat Seismik Efektif

Nilai Koefisien Respons Seismik (C_s) dapat dicari berdasarkan ketentuan pada Persamaan 2.12.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

S_{DS} = Parameter Percepatan Respons Spektral Desain Rentang Periode Pendek

R = Koefisien Modifikasi Respons

I_e = Faktor Keutamaan Gempa

Nilai C_s yang dihitung menggunakan Persamaan 2.12 tidak diharuskan melebihi :

- Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.13)$$

- Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots \dots \dots (2.14)$$

Nilai C_s diharuskan tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots \dots \dots (2.15)$$

Untuk lokasi struktur yang berada di daerah dimana nilai S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka nilai C_s dapat dicari berdasarkan Persamaan 2.16.

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots \dots \dots (2.16)$$

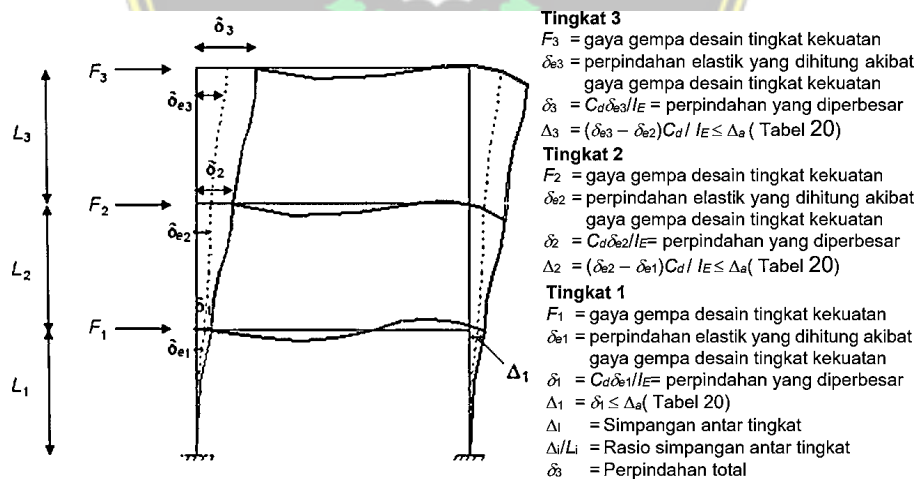
S_{D1} = Parameter Percepatan Respons Spektral Desain pada Periode 1,0 Detik

T = Periode Fundamental Struktur (detik)

S_1 = Parameter Percepatan Respon Spektral Maksimum yang dipetakan

2.5.12. Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat desain ditentukan dari selisih simpangan pusat massa antara dua lantai berturut-turut. Bila pusat massa tidak segaris secara vertikal, simpangan dasar lantai boleh dihitung berdasarkan proyeksi vertikal pusat massa lantai atas. Jika menggunakan metode Desain Tegangan Izin, perhitungan harus memakai gaya seismik desain tanpa reduksi.



(sumber : Gambar 10 SNI 1726:2019)

Gambar 2. 5. Penentuan Simpangan Antar Tingkat

Nilai simpangan pusat massa pada Tingkat-X (δ_x) dalam satuan milimeter harus

dihitung sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam Persamaan 2.17.

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan:

C_d = Faktor Pembesaran Simpangan

δ_{xe} = Defleksi pada lokasi yang disyaratkan dan ditentukan sesuai dengan Analisis Elastis

I_e = Faktor Keutamaan Gempa

Simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi batas maksimum simpangan antar tingkat yang diizinkan (Δ_a) sesuai Tabel 20 SNI 1726:2019. Untuk bangunan perkantoran 4 lantai dengan kategori risiko II, nilai Δ_a ditetapkan sebesar 0,025 h_{sx} .

2.5.13. Analisis Spektrum Respons Ragam

Analisis spektrum respons yang bervariasi digunakan untuk mengidentifikasi mode getar alami yang mungkin terjadi pada suatu struktur. Proses ini harus mencakup jumlah mode yang memadai, sehingga akumulasi partisipasi modal terhadap massa total struktur mencapai 100%. Untuk memenuhi kriteria tersebut, diperbolehkan penggunaan satu mode tubuh kaku (rigid body mode) dengan periode 0,05 detik sebagai representasi seluruh mode dengan periode di bawah angka tersebut.

2.6. Perancangan Struktur Pondasi

Pondasi merupakan salah satu elemen utama dalam sistem struktur bangunan, karena berfungsi sebagai media pemindah beban dari bagian atas (superstruktur) ke lapisan tanah di bawahnya. Tahap ini menjadi bagian awal dari proses konstruksi, dengan peran vital dalam menjaga kestabilan bangunan secara keseluruhan. Perencanaan pondasi harus dilakukan secara cermat, sebab kegagalan dalam menyalurkan dan menahan beban secara efektif dapat mengakibatkan ketidakstabilan struktural, risiko kerusakan, bahkan potensi runtuh, terutama saat terjadi gempa bumi atau penurunan muka tanah.

Dalam proyek pembangunan gedung perkantoran bertingkat empat ini, digunakan sistem pondasi tiang bor (bored pile). Desain tersebut didasarkan pada

karakteristik tanah di lokasi pembangunan yang berlokasi di Kota Semarang.

2.6.1. Pondasi *Bore Pile*

Tiang bor merupakan jenis pondasi dalam berbentuk vertikal yang dipasang melalui proses pengeboran. Pelaksanaannya dimulai dengan pengeboran pada titik-titik tertentu hingga kedalaman yang telah ditentukan, dilanjutkan dengan pemasangan tulangan baja dan pengecoran beton mutu tinggi sesuai standar yang berlaku. Sebagai bagian dari kategori pondasi tiang, sistem ini lazim digunakan pada tanah yang relatif stabil dan keras, agar proses pengeboran dapat berjalan optimal menggunakan alat bor khusus. Pada kondisi tanah yang mengandung air, diperlukan penggunaan casing baja untuk menjaga dinding lubang tetap stabil selama proses pengecoran; casing ini akan diangkat secara bertahap saat pengecoran berlangsung. Apabila tanah bersifat keras atau berbatu lunak, bagian dasar tiang sering diperbesar guna meningkatkan kapasitas dukung ujung (*end bearing capacity*).

2.6.2. Pondasi Tiang Pancang

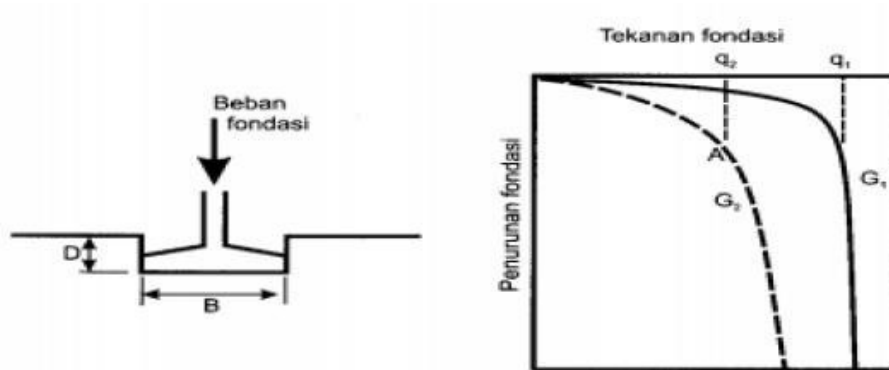
Tiang pancang merupakan elemen pondasi vertikal yang sudah diproduksi terlebih dahulu dari bahan beton, baja, atau kayu, kemudian dipancang ke dalam tanah menggunakan alat berat hingga mencapai kedalaman dan daya dukung yang diperlukan. Sistem ini sangat efektif digunakan pada tanah lunak atau jenuh air, karena mampu menembus lapisan keras tanpa perlu pengeboran. Pemilihan jenis material dan bentuk tiang didasarkan pada karakteristik geoteknik tanah serta beban bangunan yang harus dipotong.

2.6.3. Daya Dukung Tanah

Untuk merencanakan pondasi bangunan, hal penting yang harus diperhatikan adalah daya dukung tanah dan penurunan tanah. Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk menahan beban dari bangunan yang diteruskan melalui pondasi, yang terkait dengan kekuatan geser tanah tersebut.

Penurunan tanah adalah proses turunnya permukaan tanah akibat beban pondasi yang diberikan secara bertahap dan teratur. Karena sifat elastis tanah, penurunan ini terjadi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.15. Perlakuan terhadap tanah lunak

dan tanah keras berbeda; pada tanah keras beban menyebabkan deformasi seperti pada G1, sedangkan pada tanah lunak deformasi terjadi seperti pada G2 pada gambar tersebut.



Gambar 2. 6. Penurunan dan daya dukung maksimal pondasi

Pondasi memiliki batas beban maksimal yang dapat ditahan, disebut juga beban keruntuhan atau daya dukung ultimate (q Ultimate) tanah. Oleh karena itu, perhitungan daya dukung tiang sangat penting agar pondasi tidak mengalami keruntuhan. Secara umum, daya dukung tiang dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$Q = q \times A + f_s \times A_s \dots\dots\dots (2.36)$$

Keterangan :

- Q = Daya dukung maksimum (*Ultimate*) (kN)
- A = Luas penampang ujung tiang (mm^2)
- A_s = Luas permukaan tiang di dalam tanah (mm^2)
- q = Tahanan maksimal (puncak) pada ujung tiang
- F_s = Tahanan gesekan maksimal (*Skin Friction*) per satuan luas permukaan tiang

Untuk menentukan parameter q dan F_s dapat digunakan teori rumus sebagai berikut :

$$q = c N_c + \gamma D N_q + \frac{1}{2} B N_\gamma \dots\dots\dots (2.37)$$

Adapun daya dukung untuk tanah lempung dihitung dengan memakai kekuatan geser tak tersrainase sebagai berikut :

$$Q = N_c \times s_m \times A + \alpha \times s_u \times A_s \dots\dots\dots (2.38)$$

Keterangan :

- N_c = Faktor daya dukung tanah pada ujung
 S_u = Kekuatan geser tak terdrainase lempung
 α = Faktor reduksi (rasio tahanan gesekan terhadap kekuatan geser)

2.6.3.1. Perencanaan dan Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang (N-SPT)

Menurut *Resse & Wright* kapasitas daya dukung ujung tiang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

- Luas penampang tiang

$$A = 1/4 \pi d^2 \dots\dots\dots(2.39)$$

- Keliling tiang

$$P = \pi d \dots\dots\dots(2.40)$$

- SPT rata - rata (N-SPT)

$$N-SPT = \frac{\text{Nilai bacaan borlog per 2 meter}}{\text{jumlah titik bacaan}} \dots\dots\dots(2.41)$$

- Friksi yang terjadi dengan tanah

$$f = 0,55 \times C_u \dots\dots\dots(2.42)$$

- Daya dukung friksi

$$Q_s = f \times L \times p \dots\dots\dots(2.43)$$

- Daya dukung tiang

$$Q_p = A_p \times Q_{p'} \dots\dots\dots(2.44)$$

- Daya dukung tiang

$$Q_u = Q_s + Q_p \dots\dots\dots(2.45)$$

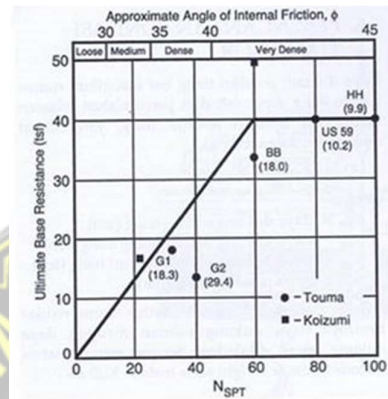
- Daya dukung ijin

$$Q_a = \frac{Q_u}{S_f} \dots\dots\dots(2.46)$$

Keterangan :

- Q_p = Faktor daya dukung tiang
 B = Kedalaman tiang (m)
 D = Diameter tiang (mm)
 L = Kedalaman *Bore Pile* (mm)
 A = Luas penampang tiang (mm²)
 C_u = Kohesi pada kondisi *Undrained*
 Q_p = Daya dukung ujung
 Q_s = Daya dukung fiksi selimut beton

- Q_u = Daya dukung tiang
 S_f = Faktor keamanan
 Q_a = Kapasitas daya dukung tiang
 N_{SPT} = Bacaan SPT pada kedalaman yang ditentukan
 d = Diameter tulangan (mm)
 p = Keliling tiang
 f = Friksi yang terjadi dengan tanah



Gambar 2. 7. Grafik Hubungan Tahanan Ujung Ultimit dengan N_{SPT} Tanah

2.6.3.2. Daya Dukung Ijin untuk Kelompok Tiang

Daya dukung sebuah tiang dalam kelompok adalah sama dengan daya dukung tiang tersebut dikalikan dengan faktor efisiensi, sebagai berikut :

$$Q_{pg} = E_g \times n \times Q_u \dots \dots \dots (2.49)$$

Keterangan :

- Q_{pg} = Daya dukung yang diijinkan untuk kelompok tiang
 E_g = Efisiensi kelompok tiang
 n = Jumlah tiang
 Q_u = Daya dukng *ultimate* untuk tiang Tunggal

Untuk menghitung efisiensi dari sebuah kelompok tiang digunakan rumus sebagai berikut :

$$E_g = 1 - \theta \times \left\{ \frac{(n-1) \times m + (m-1) \times n}{90 \times m \times n} \right\} \dots \dots \dots (2.50)$$

Keterangan :

- m = Jumlah barisan tiang
 n = Jumlah tiang per baris

$$\theta = \tan^{-1} DS \text{ (dalam derajat)}$$

2.6.3.3. Efisiensi kelompok Tiang

Perhitungan efisiensi kelompok tiang dihitung berdasarkan rumus *Converse Labbare* dari *Building Code AASHTO* sebagai berikut :

$$Eg = 1 - \theta \times \left\{ \frac{(n-1) \times m + (m-1) \times n}{90 \times m \times n} \right\} \dots\dots\dots(2.51)$$

Keterangan :

- m = Jumlah barisan tiang
- n = Jumlah tiang per baris
- θ = arc tg (D/s) (dalam derajat)
- D = Ukuran penampang tiang
- s = Jarak antar tiang

Daya dukung vertikal kelompok tiang dapat dihitung dengan rumus :

$$Q_v = Eg \times n \times Pa \dots\dots\dots(2.52)$$

Keterangan :

- Eg = Efisiensi kelompok tiang
- n = Jumlah tiang
- Pa = Daya dukung ijin tekan tiang

Dengan syarat daya dukung kelompok tiang harus > gaya aksial yang terjadi.

2.6.3.4. Perhitungan Tulangan Pondasi

Untuk menghitung tulangan pondasi dapat dihitung dengan rumus - rumus sebagai berikut :

a. Menentukan momen nominal

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} \dots\dots\dots(2.53)$$

Keterangan :

- M_n = Momen nominal yang bekerja pada tiang
- M_u = Momen Maksimum yang bekerja pada tiang
- ϕ = Faktor reduksi

b. Menghitung rasio tulangan

$$\rho_{min} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 M_n}{f_y R_n}} \right) \dots\dots\dots(2.54)$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc} \dots\dots\dots(2.55)$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} \dots\dots\dots(2.56)$$

c. Menghitung luas tulangan

$$As = \rho \times b \times d \dots\dots\dots(2.57)$$

$$As \text{ tul.} = \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \dots\dots\dots (2.58)$$

$$As \text{ tul.} = h - p - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ utama} \dots\dots\dots(2.59)$$

Keterangan :

As = Luas tulangan yang dipakai

b = Diameter pondasi

$As \text{ tul.}$ = Luas tulangan

$\emptyset$ = Diameter tulangan

d = Lebar efektif pondasi

d. Jumlah tulangan

$$n = \frac{As}{As \text{ tulangan}} \dots\dots\dots (2.60)$$

Keterangan :

n = Jumlah tulaangan

As = Luas tulangan yang dipakai

$As \text{ tul.}$ = Luas tulangan

e. Menghitung tulangan geser

$$Vc = (1 + \frac{Vu}{Ap}) \times \left(\frac{\sqrt{fc}}{6} \right) \times bw \times d \dots\dots\dots (2.61)$$

Keterangan :

Vu = Gaya geser yang bekerja

Vc = Tegangan geser ijin beton

Ap = Luas penampang beton

fc = Mutu beton

bw = Diameter pondasi

d = Lebar efektif pondasi Syarat :

$$V_u < 0,7 \times V_c \dots\dots\dots (2.62)$$

2.6.4. Perencanaan *Pile Cap*

Pile Cap adalah penghubung antara kolom dan pondasi yang berfungsi mengikat tiang-tiang pondasi menjadi satu kesatuan dan menyalurkan beban kolom ke pondasi. Asumsi perencanaan pondasi *Pile Cap* meliputi :

1. *Pile Cap* sangat kaku.
2. Dasar atas tiang langsung menyatu dengan *Pile Cap*, sehingga tidak terjadi momen lentur di ujung tiang.
3. Tiang dianggap sebagai kelompok kolom pendek dan lentur, sehingga tegangan dan deformasi tersebar dengan pola penampang datar.

Berikut ringkasan ketentuan perencanaan *Pile Cap* menurut SNI 2847:2019 Pasal 13.4.2:

1. Ketebalan *Pile Cap*
Ketebalan total pile cap harus dirancang agar tinggi efektif tulangan bawah minimal 300 mm untuk memastikan kekuatan dan kekakuan yang cukup.
2. Perhitungan Momen dan Gaya Geser
Momen dan gaya geser yang diperhitungkan harus menggunakan reaksi tiap tiang yang dianggap terkonsentrasi pada pusat penampang tiang, sehingga distribusi gaya lebih sederhana dan konservatif.
3. Kontrol Gaya Geser Satu Arah
Perencanaan harus memperhitungkan kuat geser nominal beton yang berkontribusi dalam menahan gaya geser satu arah, memastikan pile cap aman terhadap gaya geser tersebut.

(V_c)

$$V_u = \sigma \cdot L \cdot G' \dots\dots\dots (2.68)$$

Dimana :

σ = tegangan yang terjadi (P/A)

G' = daerah pembebanan yang diperhitungkan untuk geser penulangan $L - (L/2 + \text{Lebar kolom}/2 + d)$

L = panjang pile cap

d = tebal efektif pondasi tebal – selimut beton
perhitungan kuat geser beton

$$\phi V_c - \phi \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b \cdot d \dots\dots\dots(2.69)$$

dimana :

V_c = gaya geser nominal yang disumbangkan beton

F_c' = kuat tekan beton yang disyaratkan

b = Panjang pondasi

d = tebal efektif pondasi

ϕ = 0,75 (SNI 2847 bab 11.2.3)

2. Kontrol gaya geser dua arah

a. Perhitungan penampang kritis (B')

$$B' = \text{lebar kolom} + 2 \frac{1}{2} d$$

b. Perhitungan gaya geser yang bekerja pada penampang kritis

$$V_u = \sigma \cdot (L \cdot G') \dots\dots\dots(2.70)$$



BAB III

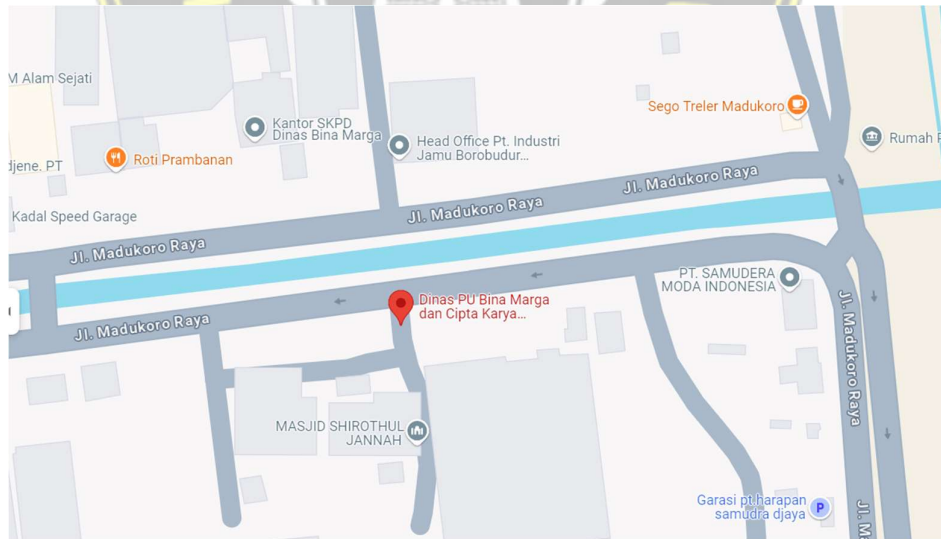
METODE PERANCANGAN

3.1. Tinjauan Umum

Penyusunan tugas akhir ini difokuskan pada perancangan struktur bangunan gedung Bina Marga dan Cipta Karya yang dirancang memiliki empat lantai, terdiri atas area perkantoran serta atap bangunan. Perencanaan struktural dilakukan melalui proses perhitungan beban-beban yang bekerja sesuai dengan fungsi utama gedung sebagai bangunan perkantoran. Aspek yang dihitung meliputi elemen-elemen struktur utama seperti pondasi, kolom, dan balok induk, serta komponen struktural pendukung seperti pelat lantai, balok anak, dan tangga.

3.2. Lokasi Proyek

Perencanaan bangunan ini berlokasi di lingkungan Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga dan Cipta Karya, Provinsi Jawa Tengah, tepatnya di Jl. Madukoro Blok AA-BB, Kelurahan Tawangmas, Kecamatan Semarang Barat, Kota Semarang, Jawa Tengah 50144. Secara geografis, titik koordinat lokasi ini berada pada garis lintang -6.961807 dan bujur 110.398008 .



(Sumber : https://maps.app.goo.gl/8kZPD3GyLJTC8DBh9?g_st=iw)

Gambar 3.1. Lokasi Proyek

3.3. Pengumpulan Data

Data yang dijadikan dasar dalam perencanaan struktur pada tugas akhir ini merupakan data primer yang diperoleh secara langsung dari pihak-pihak

berwenang. Informasi tersebut berperan sebagai referensi utama dalam proses perancangan serta penyusunan laporan teknis.

Fungsi dari pengumpulan data adalah untuk proses perancangan dalam struktur bangunan. Data-data tersebut adalah sebagai berikut:

1. Data Tanah Proyek

Data tanah di peroleh dari proyek Fly Over Arteri (Simpang Madukoro) hasil pengajuan permintaan data di Satker P2JN Provinsi Jawa Tengah selaku Pejabat Pembuat Komitmen atas proyek Fly Over tersebut. Yang terdiri dari :

- Data Borlog

2. Data Gambar

- As-Built Struktur
- As- Built Arsitektur

Data-data utama proyek Gedung Bina Marga dan Cipta Karya Provinsi Jawa Tengah sebagai berikut :

a. Data Proyek :

Nama Proyek : Perencanaan Struktur Gedung Bina Marga dan Cipta Karya Provinsi Jawa Tengah.

Fungsi Bangunan : Gedung Perkantoran.

Jumlah Lantai : 4 (empat) lantai.

Lokasi : Jl. Madukoro Blok AA-BB, Tawangmas, Kec. Semarang Barat, Kota Semarang, Jawa Tengah.

Struktur Bangunan : Konstruksi rangka beton bertulang.

Struktur Atap : Konstruksi Baja.

3.4. Standar Perancangan

Standar yang digunakan dalam perancangan, antara lain :

- SNI 1726:2019
Tata Cara Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non-Gedung
- SNI 2847:2019
Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung
- SNI 1727:2020
Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung

dan Struktur Lain

3.5. Tahapan Analisis dan Perancangan

Ada beberapa tahapan analisis dan perancangan yang dilakukan, sebagai berikut:

3.5.1. Tahapan Analisis

Analisis struktur bertujuan untuk mencari gaya-gaya dalam berupa gaya geser, gaya aksial dan momen. Untuk selanjutnya gaya-gaya itu digunakan untuk perhitungan tulangan pelat, balok dan kolom.

3.5.1.1. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur bangunan menggunakan aplikasi atau program perangkat lunak analisis struktur berdasarkan gambar kerja dan program dapat membantu sebagai acuan dalam perancangan struktur sehingga proses output sehingga dapat dihasilkan gaya dalam N, D, M, dan sebagai akibat dari beban yang telah diberikan.

Langkah-langkah pemodelan struktur bangunan dengan bantuan program perangkat lunak analisis struktur adalah sebagai berikut:

1. Buka perangkat lunak analisis struktur, lalu Pilih menu *bar file*, lalu new model satuan yang dipakai mengikuti SI adalah kN, m, C.

2. Konfigurasi Bangunan (*Grid*)

Klik kanan pada layar > edit grid data > *modify/show system*. Kemudian, melakukan pengeditan grid sesuai dengan denah bangunan yang akan dibuat.

3. Material Properties

Langkah berikutnya, yaitu mendefinisikan material yang akan digunakan pada struktur tersebut, yaitu klik menu *define*, kemudian pilih *materials*.

4. Elemen Struktur

Berdasarkan data gambar yang diberikan struktur dengan beban-beban sesuai standar pembebanan selanjutnya di trial error untuk menentukan dimensi yang memenuhi syarat, dimana dengan program perangkat lunak analisis struktur.

Berdasarkan data yang digunakan dalam mutu bahan beton adalah f'_c 25 Mpa, baja f_y -240 untuk tulangan Sengkang dan f_y -420 untuk tulangan pokok. Pembebanan yang diberikan kepada struktur meliputi beban mati, beban hidup, serta beban gempa. Data elemen struktur yang digunakan ialah ukuran BI, BA, RB,

SL, TB, dan K1.

- a. Untuk membuat kolom, klik *menu define > section properties > frame section > add new property*. Isi spesifikasi untuk kolom K1 50/70 pada *Concrete Reinforcement Data*, untuk *design types* dipilih tipe *column* dan pilih *reinforcement to be design*.
- b. Untuk membuat balok, klik *menu define > section properties > frame section > add new properties*. Isi spesifikasi Balok G1 30/60 pada *Concrete Reinforcement Data*, untuk *design types* dipilih tipe *beam* dan pilih *reinforcement to be design*.
- c. Untuk balok anak, sloof, dan tiebeam define frame sama dengan input data balok induk.

5. Pembebanan Struktur

Beban-beban yang akan diaplikasikan pada struktur sebelum diaplikasikan harus didefinisikan terlebih dahulu. Umumnya sesuai SNI pembebanan pada struktur dibedakan dalam beberapa kategori sesuai gaya yang bekerja pada elemen struktur, yaitu :

a. Berat Sendiri Elemen

Berat sendiri elemen struktur pada penggunaan perangkat lunak analisis struktur langsung dimasukkan sebagai beban mati. Klik *menu define > Load Patterns*.

Secara di perangkat lunak analisis struktur otomatis akan menghitung berat sendiri struktur berdasarkan info luas penampang elemen dan berat sendiri material yang dipakai. Selanjutnya, beban akibat berat sendiri dikelompokkan static load case pertama, yaitu DEAD. Jika nilai Self Weight Multiplier = 0, maka perhitungan berat sendiri struktur tidak akan dilakukan oleh program.

b. Pembebanan Struktur Atap

Pembebanan pada atap merupakan hasil dari output perangkat lunak analisis struktur. Beban yang diambil berasal dari *Joint Reaction* yang ada pada kuda-kuda.

c. Pembebanan Lantai

Beban lantai merupakan beban hidup merata sesuai fungsi gedung yaitu, untuk

ruang perkantoran.

d. Pembebanan Dinding

Pembebanan dinding merupakan beban dinding utama yang terletak pada atas struktur utama terutama balok induk. Klik *assign > frame loads > distributed*.

e. Pembebanan Gempa

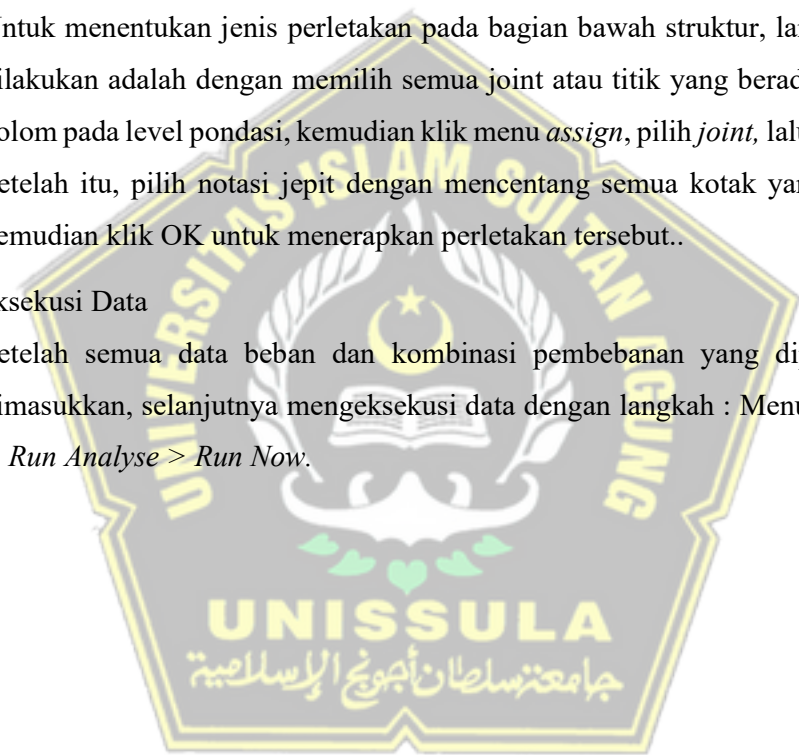
Beban gempa yang dimasukkan merupakan beban gempa *seismic* menggunakan *spectrum* yang telah disesuaikan dengan Data Spektra Indonesia.

6. *Restraint*

Untuk menentukan jenis perletakan pada bagian bawah struktur, langkah yang dilakukan adalah dengan memilih semua joint atau titik yang berada di bawah kolom pada level pondasi, kemudian klik menu *assign*, pilih *joint*, lalu *restraints*. Setelah itu, pilih notasi jepit dengan mencentang semua kotak yang tersedia, kemudian klik OK untuk menerapkan perletakan tersebut..

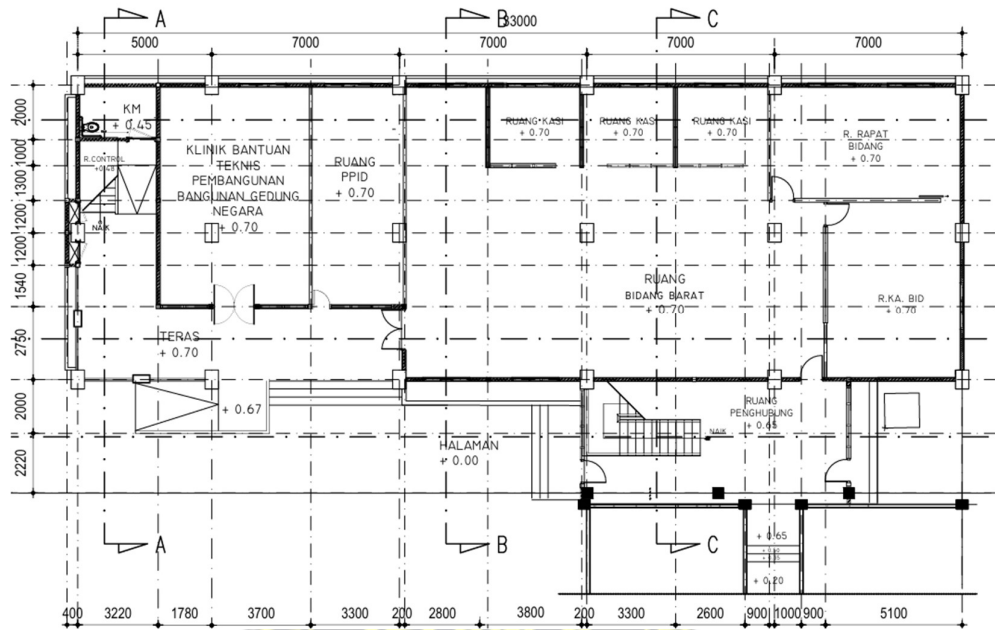
7. Eksekusi Data

Setelah semua data beban dan kombinasi pembebanan yang dipergunakan dimasukkan, selanjutnya mengeksekusi data dengan langkah : Menu > *Analyse > Run Analyse > Run Now*.

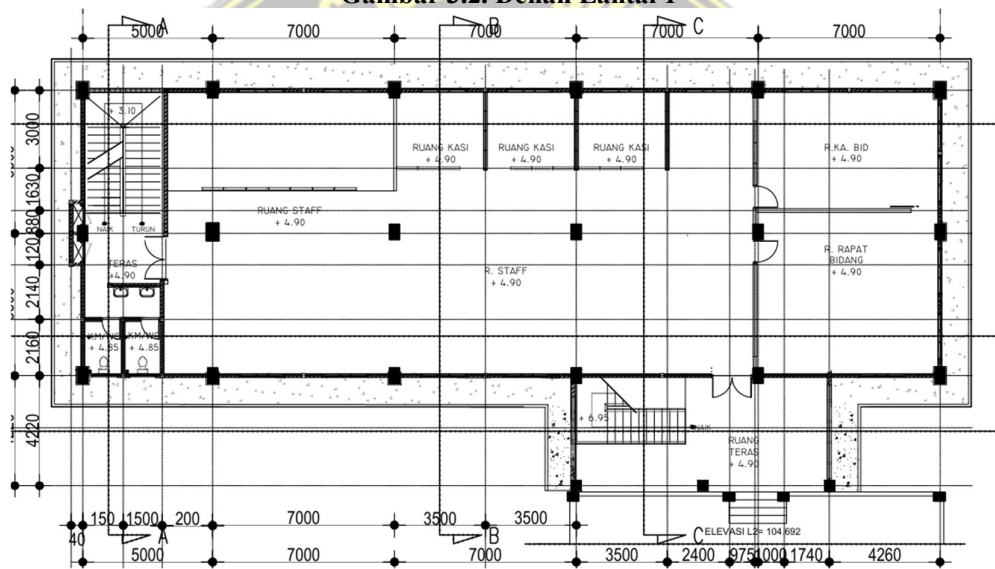


3.6. Diagram Alir

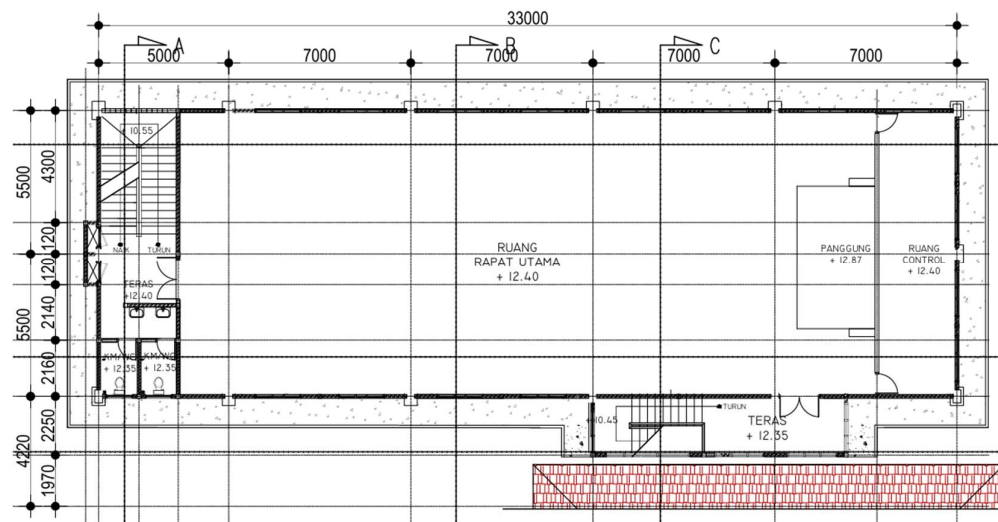
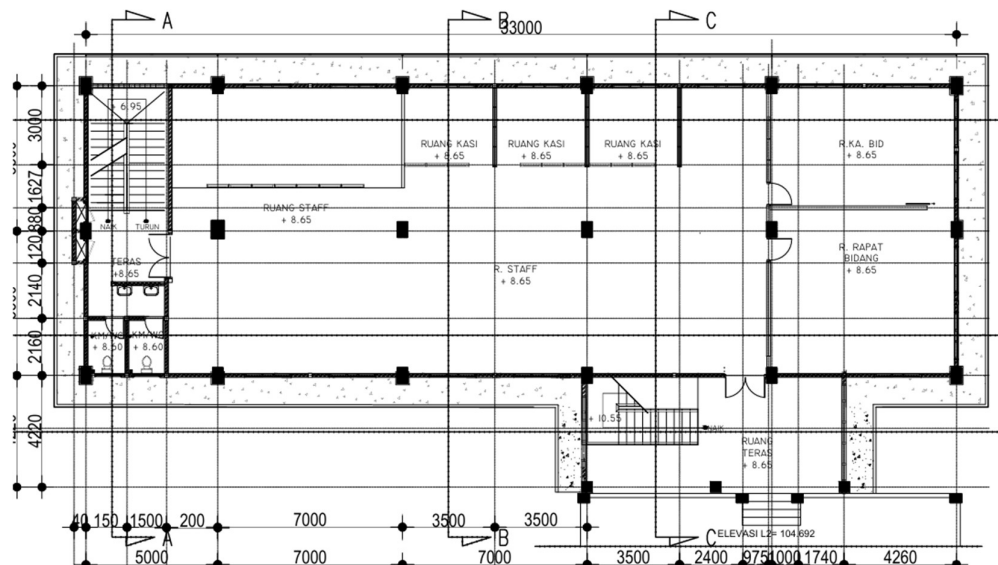




Gambar 3.2. Denah Lantai 1



Gambar 3.3. Denah Lantai 2

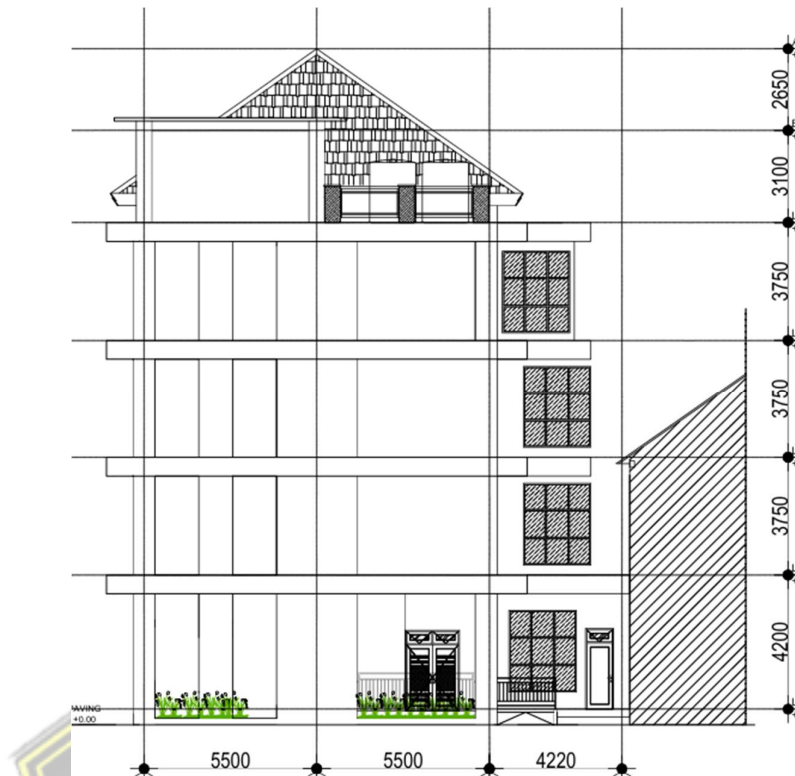




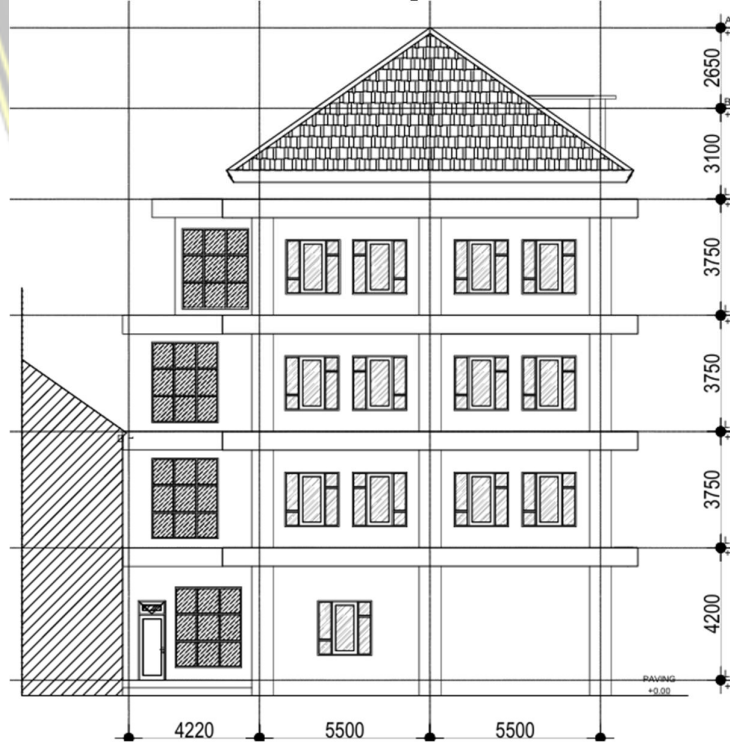
Gambar 3.6. Tampak Depan



Gambar 3.7. Tampak Belakang

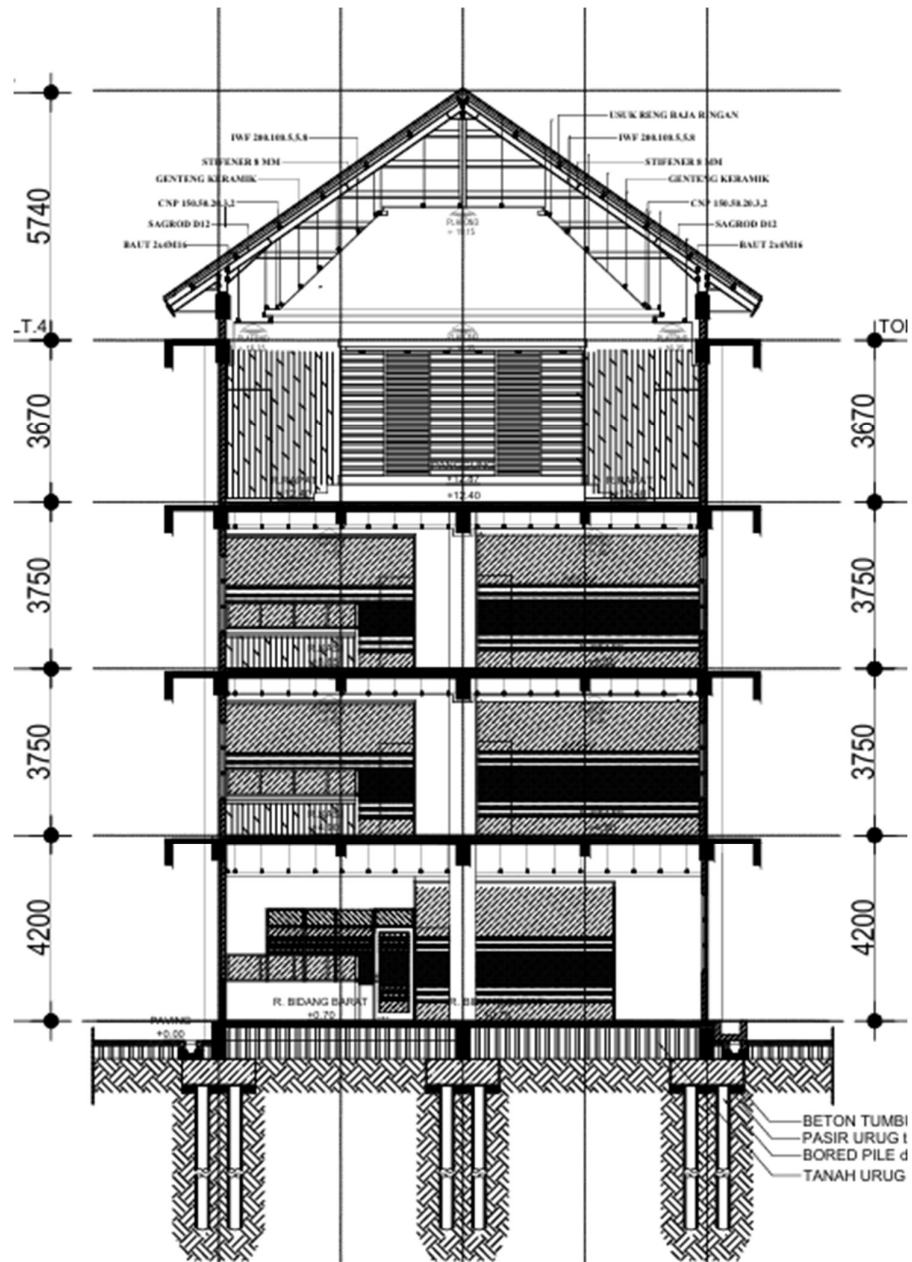


Gambar 3.8. Tampak Kanan

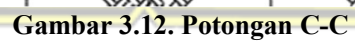


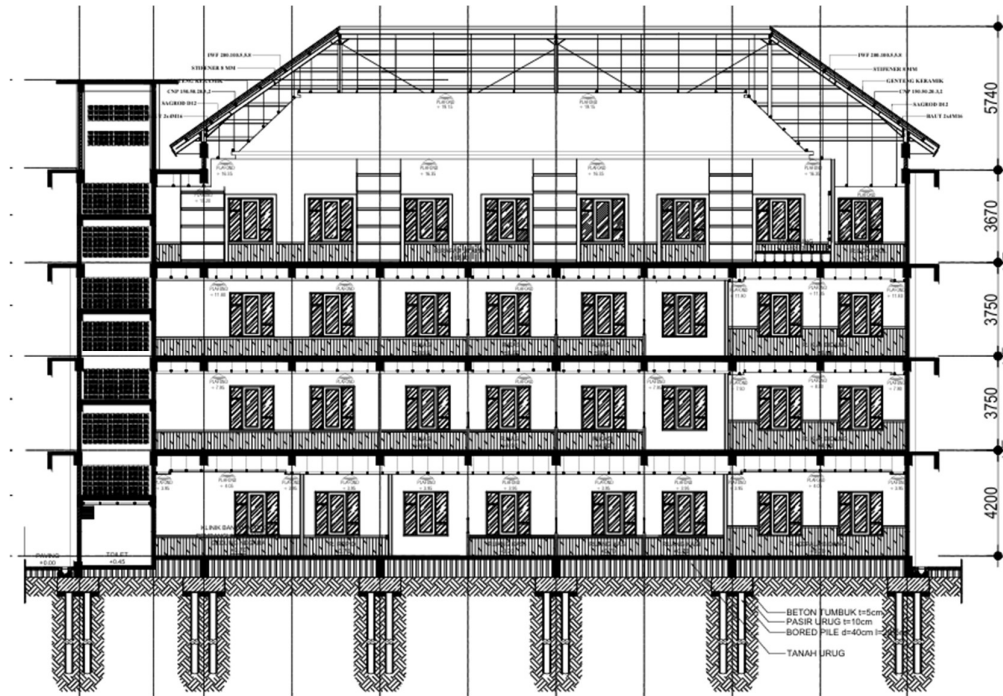
Gambar 3.9. Tampak Kiri



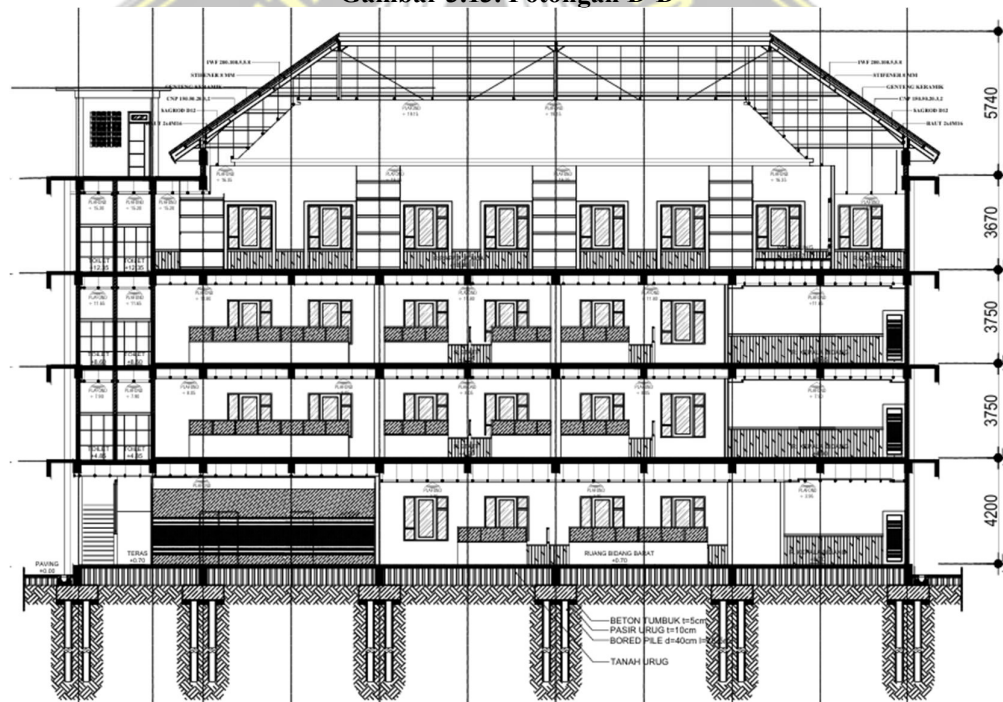


Gambar 3.11. Potongan B-B

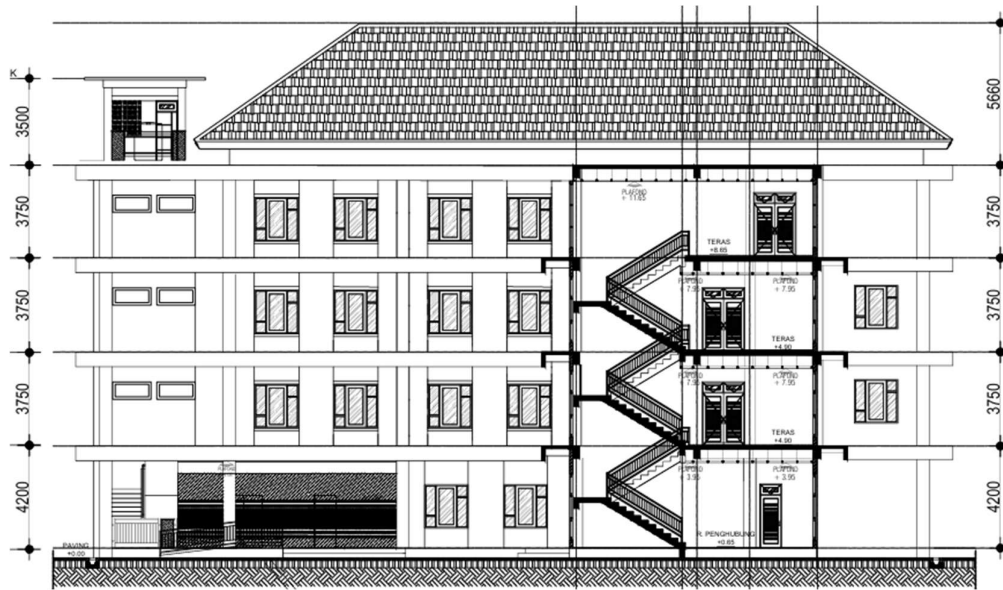




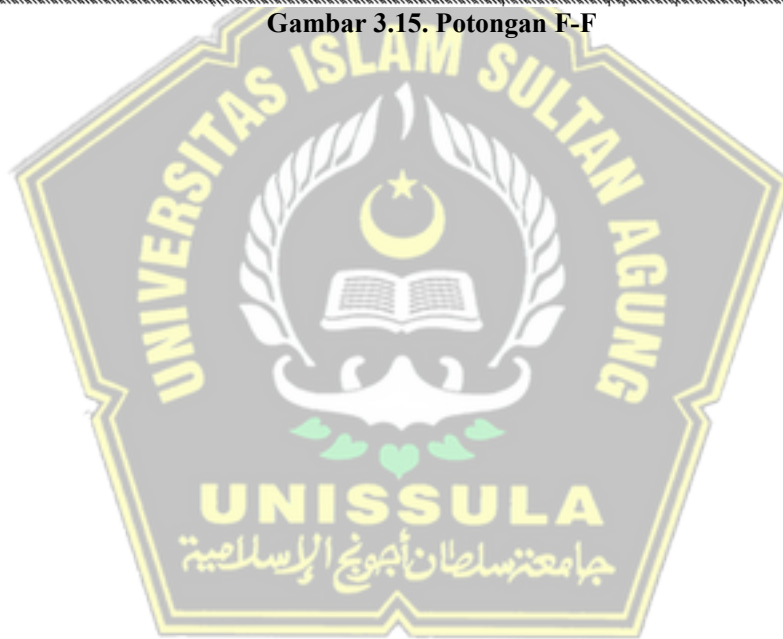
Gambar 3.13. Potongan D-D



Gambar 3.14. Potongan E-E



Gambar 3.15. Potongan F-F



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Struktur Gedung

4.1.1. Deskripsi Umum Struktur

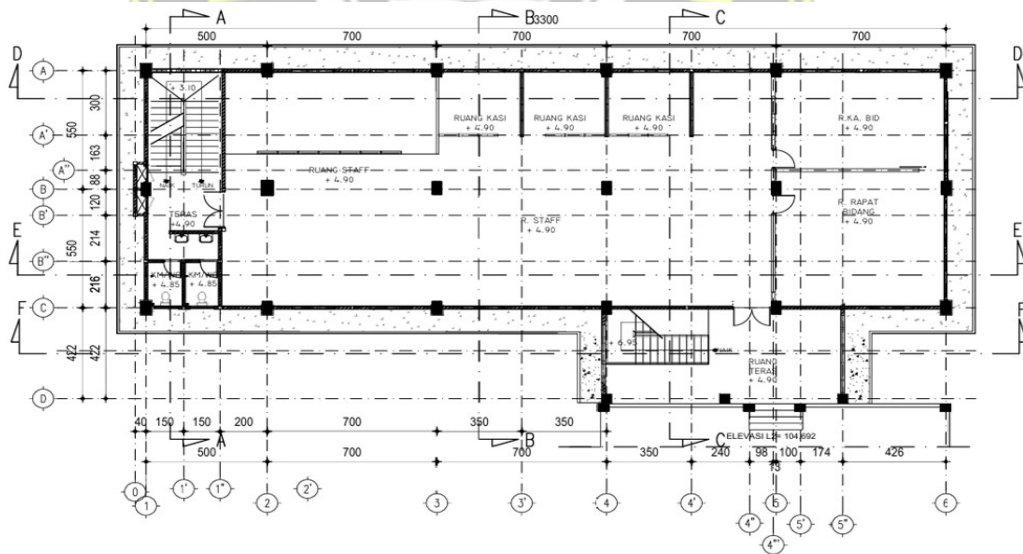
Sebuah bangunan bertingkat empat dirancang sebagai objek pemodelan struktural. Pada pemodelan pertama, lantai dasar menggunakan sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Sementara itu, pemodelan kedua mengadopsi sistem ganda yang juga memanfaatkan konfigurasi SRPMK. Pemodelan ketiga dikembangkan dari sistem kedua dengan penambahan kolom di sisi perimeter bangunan. Seluruh proses pemodelan ini mengacu pada ketentuan SNI 1726:2019.

Bangunan yang dirancang berfungsi sebagai perkantoran dan berlokasi di Kota Semarang. Struktur terdiri atas empat lantai aktif yang difungsikan untuk kegiatan pelayanan perkantoran, serta satu lantai atap. Material utama yang digunakan dalam konstruksi adalah beton bertulang, dengan denah berbentuk persegi panjang dan total ketinggian mencapai 18 meter. Informasi lengkap mengenai data pemodelan struktur bangunan disajikan pada Tabel 4.1.

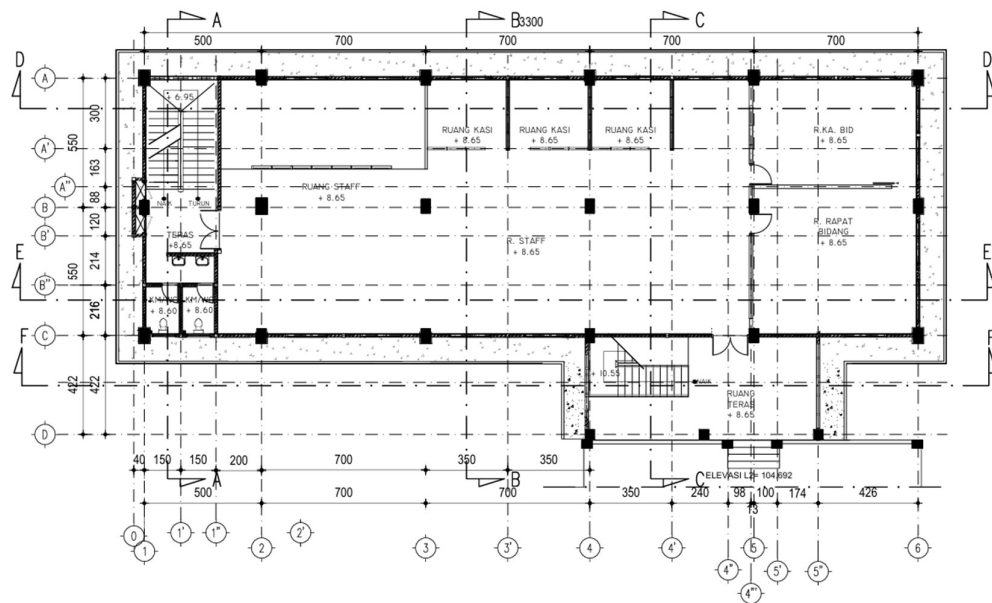
Tabel 4. 1. Data Model Struktur Gedung

Nama Proyek	Desain Struktur Gedung Kantor 4 Lantai Bina Marga dan Cipta Karya Provinsi Jawa Tengah
Lokasi Proyek	Jl. Madukoro Blok AA-BB, Tawangmas, Kec. Semarang Barat, Kota Semarang, Jawa Tengah
Fungsi Bangunan	Gedung Kantor
Luas Bangunan	5518 m ²
Jumlah Lantai	4 Lantai
Sistem Struktur	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

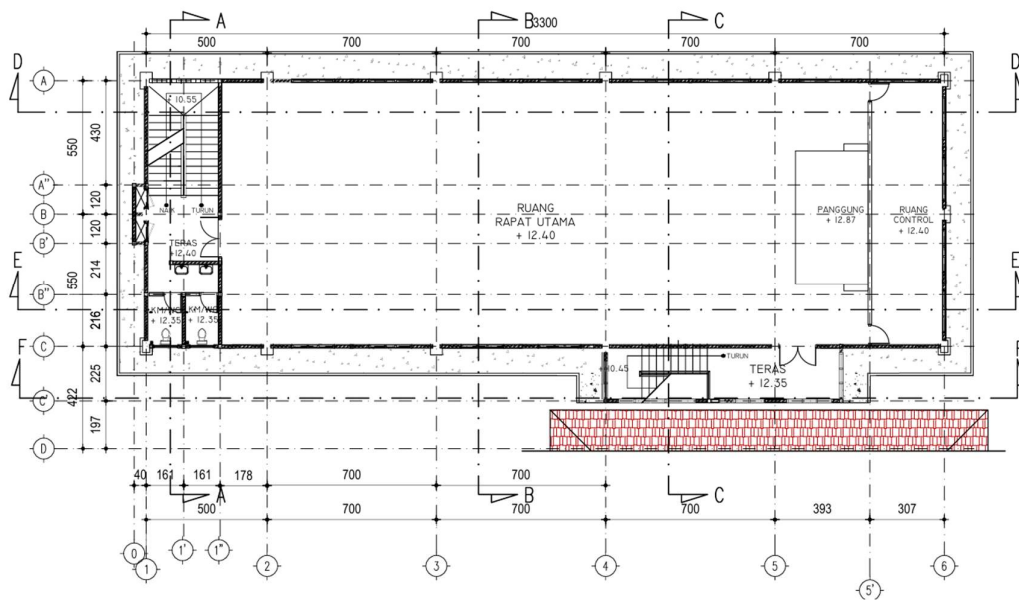
Gambar 4. 1. Denah Lantai 1



Gambar 4. 2. Denah Lantai 2



Gambar 4. 3. Denah Lantai 3



Gambar 4. 4. Denah Lantai 4

Berikut data tinggi antar lantai dan spesifikasi material yang digunakan :

- Tinggi antar lantai, sesuai Tabel 4.2.

Tabel 4. 2. Tinggi Antar Lantai Bangunan

Lantai	Tinggi Antar Lantai (m)
Lantai 1	4,20
Lantai 2	3,75
Lantai 3	3,75
Lantai 4	3,75
Atap	3,75

Spesifikasi material yang digunakan :

- 1) Mutu Baja Tulangan, sesuai Tabel 4.3

Tabel 4. 3. Mutu Baja Tulangan

No	Jenis Tulangan	f_y (MPa)	f_u (MPa)	f_{ye} (MPa)	f_{ue} (MPa)
1	BJTS ($D \geq 13$ mm)	320	500	352	550
2	BJTP ($\emptyset \leq 10$ mm)	240	390	264	429

- 2) Mutu Beton, sesuai Tabel 4.4

- a) Balok dan Pelat

Tabel 4. 4. Mutu Beton Balok dan Pelat

f'_c	30	MPa
E	257429,60	MPa

Perhitungan modulus elastisitas (E) diperoleh berdasarkan Persamaan 4.1

$$E = 4700 \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)} \dots\dots\dots(4.1)$$

4.1.2. Perencanaan Awal Dimensi Struktur (*Preliminary Design*)

Perencanaan awal dimensi pada elemen struktur (*preliminary design*) merupakan tahap awal perencanaan bangunan struktur tahan gempa berupa penentuan dimensi awal dari masing-masing elemen struktur berdasarkan standar SNI 2847:2019, yaitu Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.

4.1.2.1. *Preliminary* Elemen Pelat

Perancangan awal dimensi pelat mengacu kepada panjang bentang rencana. Menurut SNI 2847:2019 Pasal 7.3 dan 8.3, standar minimum dimensi pelat 1 arah dan 2 arah dicantumkan pada Tabel 4.5 dan 4.6

Tabel 4. 5. Tebal Minimum Pelat 1 Arah

Kondisi Perlekatan	Tebal minimum pelat (h) ^[1]
Perlekatan Sederhana	$L/20$
Satu ujung menerus	$L/24$
Kedua ujung menerus	$L/28$
Kantilever	$L/10$

(sumber : Tabel 7.3.1.1 SNI 2847:2019)

Catatan:

L merupakan panjang bentang dalam mm

^[1]Berlaku untuk berat normal dan $f_y = 420$ MPa. Untuk kasus lain :

- 1) Untuk $f_y > 420$ MPa, persamaan pada Tabel 4.5 wajib dikalikan dengan $(0,4 + f_y / 700)$
- 2) Untuk pelat non prategang dari beton ringan dengan $w_c = 1440$ sampai 1840 kg/m^3 , persamaan pada Tabel 4.12 wajib dikalikan dengan nilai terbesar dari :
 - a) $1,65 - 0,0003 w_c$ dan b) 1,09

Tabel 4. 6. Tebal Minimum Pelat 2 Arah

f_y (MPa) ^[1]	Tanpa Drop Panel			Dengan Drop Panel		
	Panel Eksterior		Panel Interior	Panel Eksterior		Panel Interior
	Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tepi		Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tepi	
280	$L_n/33$	$L_n/36$	$L_n/36$	$L_n/36$	$L_n/40$	$L_n/40$
420	$L_n/30$	$L_n/33$	$L_n/33$	$L_n/33$	$L_n/36$	$L_n/36$
520	$L_n/28$	$L_n/31$	$L_n/31$	$L_n/31$	$L_n/34$	$L_n/34$

(sumber : Tabel 8.3.1.1 SNI 2847:2019)

Pada penentuan tebal minimum pelat untuk 1 arah, yakni perbandingan sisi terpanjang dengan sisi terpendek lebih besar dari 2 digunakan rumus $L/28$ dengan L adalah sisi terpendek pelat. Sementara, pada penentuan tebal minimum pelat untuk 2 arah, yakni perbandingan sisi terpanjang dengan sisi terpendek lebih kecil dari 2 digunakan rumus $L_n/33$ dengan L_n adalah jarak bersih ke arah memanjang yang diukur dari muka ke muka tumpuan.

Maka Dimensi pelat yang digunakan pada gedung Kantor Bina Marga dan Cipta Karya ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 7. Dimensi Pelat Yang Dipakai

No	Nama Pelat	Tebal Pelat (mm)	Keterangan
1	Lantai	120	2 Arah
2	Atap	100	2 Arah

Dari Tabel 4.7 di atas, dapat diketahui dimensi pelat yang dapat digunakan yaitu 125 mm untuk lantai dan 100 mm untuk atap.

4.1.2.2. *Preliminary* Elemen Balok

Pada perhitungan dimensi awal elemen balok, digunakan rumus tinggi balok minimum untuk balok induk adalah $L/12$, balok anak $L/15$, dan balok kantilever $l/8$. Selanjutnya, untuk nilai lebar balok, digunakan rumus $H/2$. Tipe balok yang digunakan adalah balok persegi panjang.

Hasil *preliminary* elemen balok dapat diketahui berdasarkan Tabel 4.8 sebagai berikut:

Tabel 4. 8. Hasil *Preliminary* Elemen Balok

Nama	Status Balok	Tipe Balok	L (mm)	H_{min}	$H_{dipakai}$	B_{min}	$B_{dipakai}$
G1	Induk	Persegi panjang	6000	500	600	300	300
G2	Induk	Persegi panjang	5500	458,3	500	250	300
B1	Anak	Persegi panjang	5500	366,7	500	250	250
B2	Anak	Persegi panjang	4870	324,7	450	225	450
B3	Anak	Persegi panjang	3000	200	400	200	200
B4	Anak	Persegi panjang	3000	200	300	150	200
BK	Anak	Persegi Panjang	1100	137,5	450	225	250
RB	Anak	Persegi panjang	6000	400	450	225	250

4.1.2.3. *Preliminary* Elemen Kolom

Pada SNI 2847:2019, R10.3.1 batasan dimensi ukuran minimum eksplisit pada

kolom tidak ditentukan sehingga penggunaan kolom beton bertulang dengan penampang kecil untuk struktur dengan beban ringan diizinkan, seperti rumah tinggal dengan lantai rendah dan bangunan kantor sederhana. Jika penampang kecil dipakai, diperlukan ketelitian pekerjaan lebih baik dan tegangan susut meningkat secara signifikan. Dimensi kolom yang digunakan pada Struktur Gedung Kantor Bina Marga dan Cipta Karya 4 Lantai ini adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 9. Hasil *Preliminary* Elemen Kolom

Nomor Kolom	Nama Kolom	Lebar Penampang Kolom (mm)	Tinggi Penampang Kolom (mm)
1	K1	500	700
2	K2	400	600
3	K3	300	500
4	K4	400	400

4.2. Pemodelan Elemen Struktur

Pemodelan elemen struktur terdiri dari empat bagian, yaitu pemodelan pelat, pemodelan balok dan pemodelan kolom.

4.2.1. Pemodelan Pelat

Tahapan awal pemodelan pelat lantai satu arah maupun dua arah dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000 dengan pendekatan pelat sebagai elemen lembaran tipis. Berdasarkan hasil rancangan awal, tebal pelat yang diterapkan ditetapkan sebesar 125 mm. Untuk mengakomodasi pengaruh retak pada beton akibat beban gempa, dilakukan pengurangan sebesar 25% terhadap momen inersia serta kekakuan torsi pada penampang pelat. Penyesuaian ini ditujukan untuk mencerminkan kondisi aktual saat terjadi kerusakan struktural dan mempertahankan konsistensi terhadap kekakuan elemen-elemen struktural lainnya.

4.2.2. Pemodelan Balok

Balok dimodelkan sebagai elemen rangka portal, sehingga konsentrasi momen maksimum terjadi pada titik-titik ujung yang berpotensi menjadi lokasi terbentuknya sendi plastis. Terdapat dua jenis balok yang dimodelkan, yaitu balok utama dan balok sekunder. Dimensi masing-masing jenis balok yang digunakan dalam desain ditampilkan dalam Tabel 4.10 berikut ini.

Tabel 4. 10. Dimensi Balok Setelah Pengecekan

G1	Induk	Persegi panjang	6000	500	600	300	300
G2	Induk	Persegi panjang	5500	458,3	500	250	300
B1	Anak	Persegi panjang	5500	366,7	500	250	250
B2	Anak	Persegi panjang	4870	324,7	450	225	450
B3	Anak	Persegi panjang	3000	200	400	200	200
B4	Anak	Persegi panjang	3000	200	300	150	200
BK	Anak	Persegi Panjang	1100	137,5	450	225	250
RB	Anak	Persegi panjang	6000	400	450	225	250

Untuk memperhitungkan pengaruh keretakan beton ketika gempa terjadi, momen inersia dari penampang balok dan torsi direduksi sebesar 25% untuk menyeimbangkan nilai reduksi terhadap inersia elemen struktur.

4.2.3. Pemodelan Kolom

Perancangan bangunan ini menggunakan empat tipe dimensi kolom dengan perbedaan dimensi setiap dua lantai. Kolom dimodelkan sebagai *frame* dan ujung-ujung kolom didesain jepit-jepit. Pada elemen kolom, momen inersia efektif kolom direduksi hingga 70% dari momen inersia awal untuk memperhitungkan keretakan beton akibat gempa. Torsi juga direduksi sebesar 25% untuk menyeimbangkan nilai reduksi terhadap inersia elemen struktur. Dimensi kolom yang digunakan dalam desain dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11. Dimensi Kolom Setelah Pengecekan

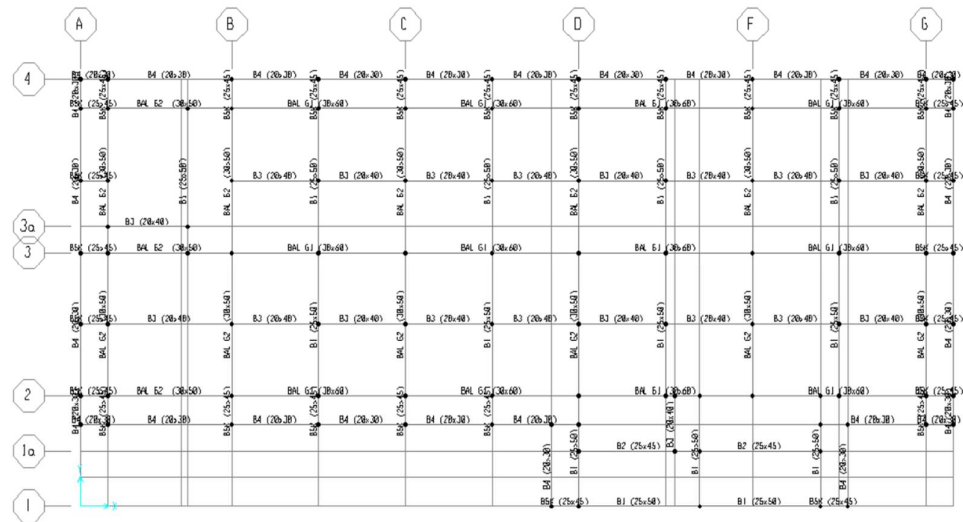
Nomor Kolom	Nama Kolom	Lebar Penampang Kolom (mm)	Tinggi Penampang Kolom (mm)
1	K1	500	700
2	K2	400	600
3	K3	300	500
4	K4	400	400

4.2.4. Pemodelan Struktur

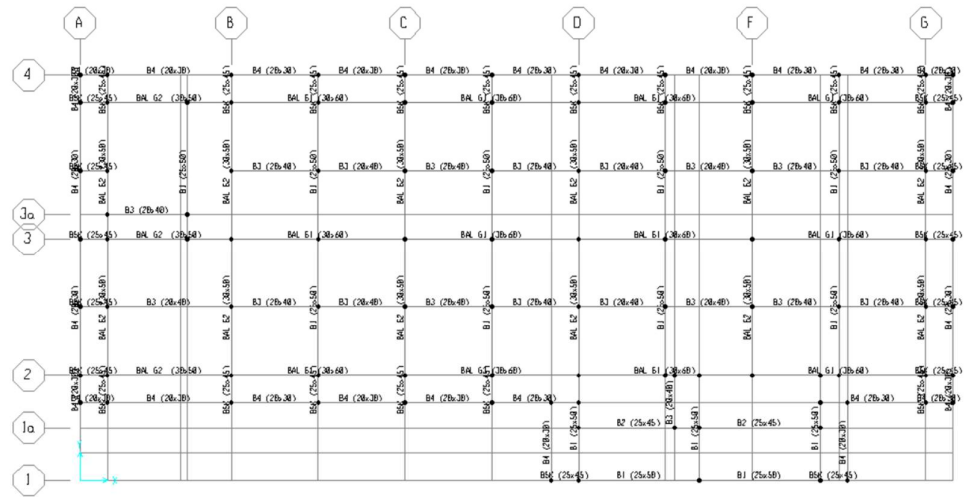
Pemodelan gedung pada akhirnya dirancang sebagai struktur gedung sistem ganda. Pemodelan awal dilakukan dengan bantuan program SAP2000 dengan dimodelkan sebuah sistem *grid*, dengan *grid* sebagai garis titik berat dan elemen struktur yang dimodelkan.

4.2.4.1. Permodelan

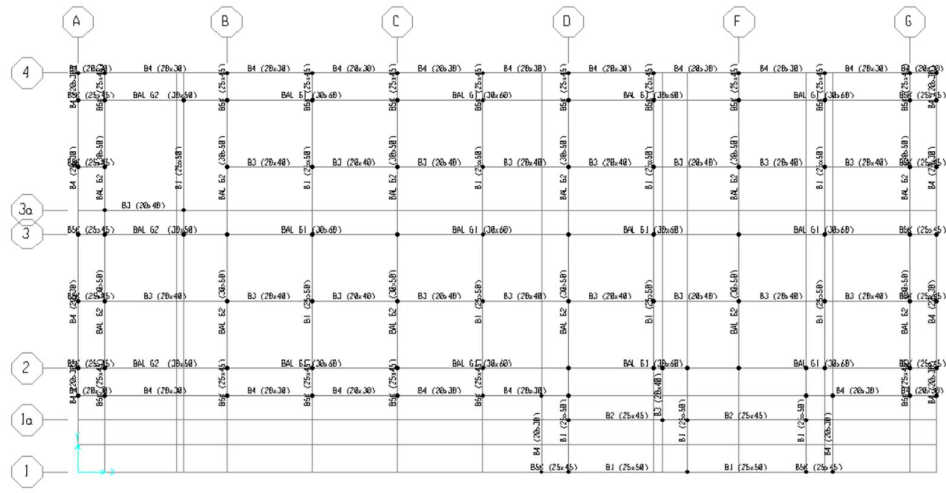
Pada Pemodelan ini, akan dimodelkan gedung tinggi 4 lantai yang direncanakan berdasarkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Berikut denah dan gambar 3D dari model gedung yang didesain dapat dilihat pada Gambar 4.5 sampai Gambar 4.9.



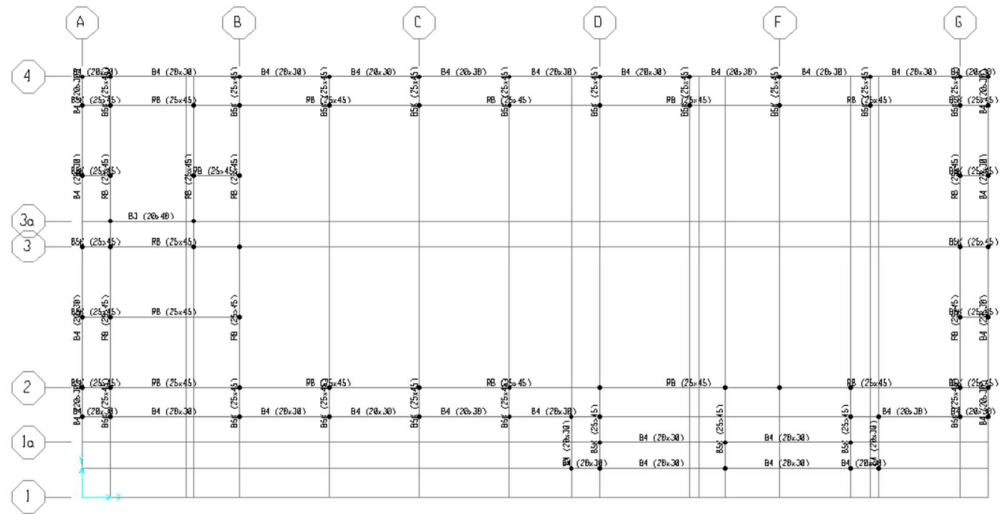
Gambar 4. 5. Denah Lantai 2



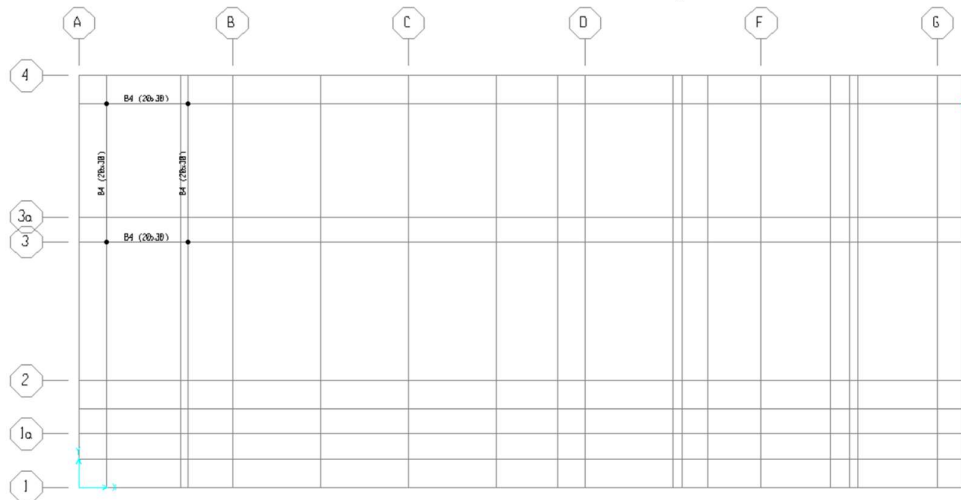
Gambar 4. 6. Denah Lantai 3



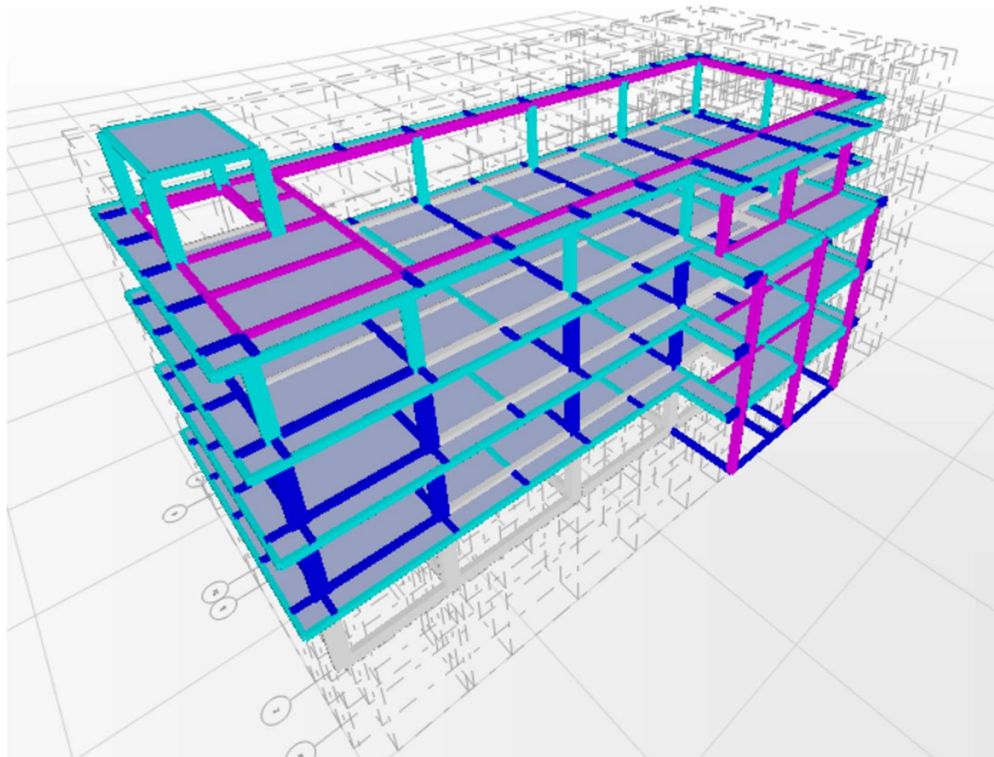
Gambar 4. 7. Denah Lantai 4



Gambar 4. 8. Denah Lantai Atap



Gambar 4. 9. Denah Lantai Menara



Gambar 4. 10. Permodelan 3D

Pada pemodelan, hasil analisis simpangan antar tingkat (*story drift*) arah X ditunjukkan pada Tabel 4.12, sedangkan hasil analisis simpangan antar tingkat arah Y ditunjukkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 12. Pengecekan *Story Drift* Arah X .

Lantai	<i>h</i> (mm)	Simpangan Elastis (δ) (mm)	Perpindahan yang diperbesar (mm)	Simpangan antar tingkat (mm)	Simpangan yang diizinkan (mm)	Ket
Menara	3750	35,098	10,281	4,152	94	OK
Atap	3750	24,817	9,526	9,905	94	OK
4	4200	15,291	7,725	3,0680	94	OK
3	4200	7,566	5,349	17,226	94	OK
2	4650	2,217	2,217	12,193	105	OK

Keterangan:

Perpindahan yang diperbesar $= (\delta_e \times C_d) / I_e$

Simpangan antar lantai $= (\delta_n - \delta_i)$

Tabel 4. 13. Pengecekan *Story Drift* Arah Y .

Lantai	<i>h</i> (mm)	Simpangan Elastis (δ) (mm)	Perpindahan yang diperbesar (mm)	Simpangan antar tingkat (mm)	Simpangan yang diizinkan (mm)	Ket
Menara	3750	0,621	0,208	0,275	94	OK
Atap	3750	0,413	0,158	0,385	94	OK
4	4200	0,255	0,064	0,352	94	OK
3	4200	0,191	0,103	0,566	94	OK
2	4650	0,088	0,088	0,484	105	OK

Keterangan:

Perpindahan yang diperbesar = $(\delta_e \times C_d) / I_e$

Simpangan antar lantai = $(\delta_n - \delta_i)$

4.3. Pembebanan Struktur

4.3.1. Pembebanan Gravitasi

Pembebanan gravitasi yang digunakan berdasarkan SNI 1727:2020, yaitu Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Beban gravitasi dalam perencanaan bangunan tinggi 4 lantai ini meliputi: beban mati berat sendiri (*dead load*), beban mati tambahan (*super imposed dead load*), dan beban hidup (*live load*).

a. Beban Mati Berat Sendiri (*DL*)

Beban mati (*dead load*) adalah berat seluruh komponen elemen struktural bangunan yang terdiri atas pelat, balok dan kolom. Beban mati akan dihitung secara otomatis oleh program SAP2000 dengan menggunakan berat jenis material beton 24 kN/m³ dan berat jenis tulangan 78,50 kN/m³.

b. Beban Mati Tambahan (*SDL*)

Beban mati tambahan atau *super dead load* adalah berat komponen nonstruktural (arsitektural dan MEP) yang terdapat pada struktur bangunan. Beban *SDL* yang digunakan dalam desain ini dapat dilihat pada Tabel 4.14 dan Tabel 4.15.

Tabel 4.14. Beban Mati Tambahan pada Lantai

No	Jenis Beban Mati	Berat Jenis (kN/m ³)	Beban Merata (kN/m ²)
1	Pasir tebal 1 cm		0,16
2	Spesi tebal 3 cm		0,66
3	Plafond & Penggantung		0,18
4	Keramik		0,24
			1,24

* Beban dinding bata ringan 2,5 kN/m

Tabel 4. 15. Beban Mati Tambahan pada Lantai Kantilever

No	Jenis Beban Mati	Beban Merata (kN/m ²)
1	Beban Waterproofing	0,1

c. Beban Hidup (LL)

Beban hidup (*live load*) adalah beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan gedung yang berasal dari barang atau orang yang dapat berpindah tempat sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap. Beban hidup (LL) yang digunakan dalam desain ini dapat dilihat pada Tabel 4.16.

No	Jenis Ruangan	Beban Merata (kN/m ²)
1	Kantor	2,5

Tabel 4. 16. Beban Hidup

d. Kumulatif Beban Struktur

Kumulatif beban struktur dapat dihitung dengan cara mencari berat sendiri struktur dan menghitung beban yang bekerja pada suatu bangunan. Berikut kumulatif beban struktur pada perencanaan gedung kantor.

Tabel 4.17. Kumulatif Beban Struktur

LANTAI	W (kN)
Lantai 5	122,950
Lantai 4	1657,044
Lantai 3	3456,567
Lantai 2	3686,067
Jumlah	8922,627

4.3.2. Pembebanan Gempa

Pembebanan gempa pada perancangan bangunan ini menggunakan Analisis Respons Spektra (*Response Spectrum Analysis*). Analisis ini digunakan untuk mendesain gedung sehingga kebutuhan tulangan dari elemen struktur memenuhi prinsip desain kapasitas.

a) Analisis Beban Gempa

Analisis beban gempa berlandaskan dalam standar SNI 1726:2019 tentang tata cara perancangan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

1. Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Gedung ini dirancang untuk gedung perkantoran. Sesuai dengan SNI 1726:2019 Tabel 4, gedung tersebut dikategorikan pada kategori risiko II dengan nilai faktor keutamaan gempa (I_e) yaitu 1,0.

2. Klasifikasi Situs

Mengacu pada standar SNI 1726:2019. Klasifikasi situs dapat ditentukan berdasarkan 3 parameter yaitu $\tilde{V}_s$ = kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada regangan geser yang kecil, di dalam lapisan 30 m teratas. N = tahanan penetrasi standar dan S_u = kuat geser rata-rata di dalam lapisan 30 m paling atas. Dalam menentukan klasifikasi situs digunakan nilai penetrasi standar (N -SPT) yang merupakan hasil pengujian tanah lokasi gedung. Data N -SPT tanah yang diperoleh dari lokasi gedung ini hanya diukur sampai kedalaman 30 m. Maka dari itu, penulis melakukan perhitungan hanya sampai kedalaman 30 m saja. Dengan analisis perhitungan rata-rata nilai N -SPT sampai dengan kedalaman 30 m dapat dihitung sesuai Tabel 4.18.

Tabel 4. 18. Nilai N -SPT

Kedalaman	Tebal (d_i)	N -SPT	d_i / N_i
-2,5	2,5	8	3,2
-5	2,5	7	2,8
-7,5	2,5	5	2
-10	2,5	7	2,8
-12,5	2,5	9	3,6
-15	2,5	9	3,6

-17,5	2,5	18	7,2
-20	2,5	18	7,2
-22,5	2,5	23	9,2
-25	2,5	26	10,4
-27,5	2,5	32	12,8
-30	2,5	60	24
Total	30		73

Berdasarkan Tabel 4.18 di atas maka dapat dihitung tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (N) yaitu:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} = 7,4$$

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (N) sebesar 7,4. Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 5, nilai $N < 15$ termasuk ke dalam kategori **Tanah Lunak (SE)**.

3. Parameter Respons Spektra Percepatan Gempa Terpetakan

Nilai Parameter Respons Spektra Percepatan Gempa didapat dari Program Desain Spektra Indonesia yang disediakan oleh Direktorat Jenderal Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Indonesia dengan cara menentukan titik koordinat atau menginput nama kota lokasi perancangan bangunan sehingga secara otomatis diperoleh hasil Nilai Parameter Respon spektra percepatan gempa terpetakan. Nilai Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa terpetakan di daerah Madukoro Kota Semarang dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19. Data Parameter Respons Spektra Terpetakan

Variabel	Nilai
F_{PGA}	0,363
S_s (g)	0,818
S_1 (g)	0,359
TL (detik)	6

4. Parameter Respons Spektra Percepatan Gempa Tertarget

Nilai parameter respons spektra percepatan gempa tertarget pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs yang diperoleh dari Program Desain Spektra Indonesia di *website* resmi Direktorat Jenderal Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Indonesia dengan

cara menentukan jenis tanah maka didapatkan nilai parameter respons spektra gempa tertarget berdasarkan Persamaan 2.1 dan 2.2 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_a &= 1,118 \\ F_v &= 2,562 \\ S_{MS} &= F_a \times S_s = 1,118 \times 0,818 = 0,951 \\ S_{M1} &= F_v \times S_1 = 2,562 \times 0,359 = 0,921 \end{aligned}$$

5. Parameter Respons Spektra Percepatan Gempa Desain

Nilai Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Desain untuk Periode Pendek (S_{DS}) dan Periode 1 Detik (S_{D1}) didapatkan berdasarkan Persamaan 2.3 dan 2.4.

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,951 = 0,610 \\ S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,921 = 0,614 \end{aligned}$$

6. Kategori Desain Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019, tiap struktur bangunan diharuskan memiliki suatu Kategori Desain Seismik. Gedung yang dirancang tergolong pada Kategori Risiko II dan mempunyai nilai $S_{DS} \geq 0,50$ dan nilai $S_{D1} \geq 0,20$ sehingga gedung perancangan termasuk Kategori Desain Seismik tinggi yaitu D.

7. Faktor R , Ω_0 , C_d Sistem Struktur

Nilai faktor R , Ω_0 , C_d untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) menggunakan standar SNI 1726:2019 Tabel 12 dihasilkan Koefisien Modifikasi Respon (R) = 8, Faktor Kuat Lebih Sistem (Ω_0) = 3, dan Faktor Pembesaran Defleksi (C_d) = 5,5.

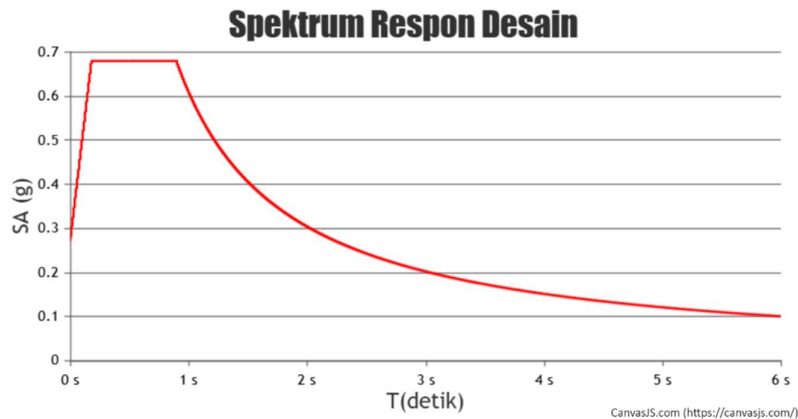
8. Rekap Analisis Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019, pembebanan gempa untuk bangunan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Ganda yang terletak di Kota Semarang memiliki parameter seperti pada Tabel 4.20.

Tabel 4. 20. Parameter Respons Spektra

Parameter Respons Spektra		
Kategori Risiko		II
Faktor Keutamaan	I_e	1,0
Klasifikasi Situs		SE (Tanah Lunak)
Percepatan Gempa MCE_R Terpetakan untuk Periode Pendek	S_s	0,8181
Percepatan Gempa MCE_R Terpetakan untuk Periode 1 Detik	S_1	0,3594
Faktor Amplifikasi Periode Pendek	F_a	1,1183
Faktor Amplifikasi Periode 1 Detik	F_v	2,5624
Percepatan pada Periode Pendek	S_{MS}	0,915
Percepatan pada Periode 1 Detik	S_{M1}	0,921
Percepatan Desain pada Periode Pendek	S_{DS}	0,610
Percepatan Desain pada Periode 1 Detik	S_{D1}	0,614
Parameter Periode	T_0	0,18
	T_s	0,90
Parameter Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)		
Faktor Koefisien Modifikasi	R	8
Faktor Kuat Lebih Sistem	Ω_0	3
Faktor Pembesaran Defleksi	C_d	5,5

Dari parameter respons spektra di atas, spektrum respons desain dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11. Spektrum Respons Desain Lokasi Perancangan

4.3.3. Kombinasi Pembebanan Struktur

Kombinasi Beban untuk Metode Ultimit Struktur, Komponen Struktur, dan Elemen Fondasi harus dirancang sedemikian rupa hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh Beban Terfaktor.

Berikut kombinasi pembebanan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4. 21. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi	<i>DL</i>	<i>SIDL</i>	<i>LL</i>	<i>E_x</i>	<i>E_y</i>
Comb 1	1,40	1,40			
Comb 2	1,20	1,20	1,60		
Comb 3	1,32	1,32	0,50	1,00	0,30
Comb 4	1,32	1,32	0,50	1,00	-0,30
Comb 5	1,32	1,32	0,50	-1,00	0,30
Comb 6	1,32	1,32	0,50	-1,00	-0,30
Comb 7	1,32	1,32	0,50	0,30	1,00
Comb 8	1,32	1,32	0,50	-0,30	1,00
Comb 9	1,32	1,32	0,50	0,30	-1,00
Comb 10	1,32	1,32	0,50	-0,30	-1,00
Comb 11	0,78	0,78		1,00	0,30
Comb 12	0,78	0,78		1,00	-0,30
Comb 13	0,78	0,78		-1,00	0,30
Comb 14	0,78	0,78		-1,00	-0,30
Comb 15	0,78	0,78		0,30	1,00
Comb 16	0,78	0,78		-0,30	1,00
Comb 17	0,78	0,78		0,30	-1,00
Comb 18	0,78	0,78		-0,30	-1,00

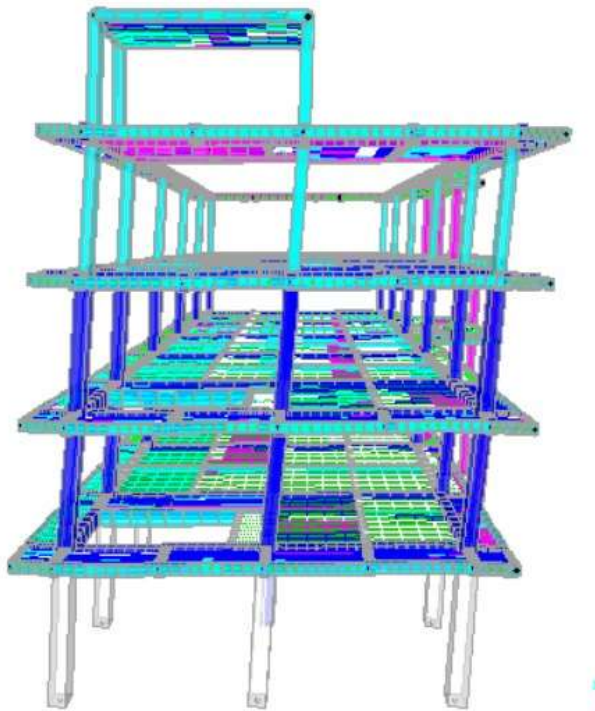
4.4. Pengecekan Perilaku Struktur Bangunan

4.4.1. Rasio Partisipasi Massa

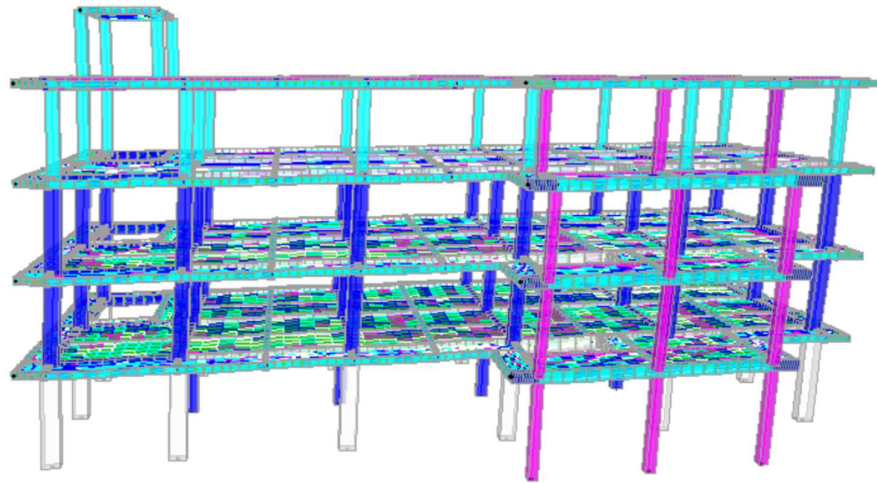
Berdasarkan hasil SAP2000, Ringkasan dan Partisipasi Modal Massa yang diperoleh bisa dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4. 22. Rekapitulasi Rasio Partisipasi Modal Massa

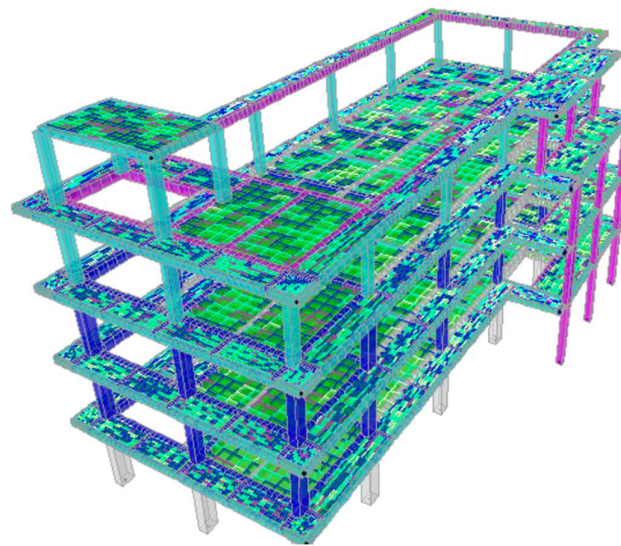
Case	Mode	Period	UX	UY	RZ	Ket
		(sec)				
Modal	1	0,673	0,000	0,763	0,003	Translasi Arah Y
Modal	2	0,604	0,762	0,069	0,032	Translasi Arah X
Modal	3	0,517	0,000	0,000	0,735	Rotasi Arah Z
Modal	4	0,265	0,005	0,055	0,022	Translasi Arah Y
Modal	5	0,221	0,092	0,018	0,060	Translasi Arah X
Modal	6	0,189	0,000	0,000	0,031	Rotasi Arah Z
Modal	7	0,164	0,001	0,062	0,030	Translasi Arah Y
Modal	8	0,143	0,054	0,004	0,010	Translasi Arah X
Modal	9	0,127	0,008	0,000	0,019	Rotasi Arah Z
Modal	10	0,118	0,000	0,002	0,001	Translasi Arah Y
Modal	11	0,105	0,059	0,026	0,001	Translasi Arah X
Modal	12	0,097	0,000	0,000	0,000	Rotasi Arah Z



Gambar 4.12. Translasi arah Y



Gambar 4.13. Translasi Arah X



Gambar 4.14. Rotasi Arah Z

4.4.2. Perhitungan Koefisien Respons Seismik (C_s)

Nilai C_s dihitung berdasarkan Pasal 7.8.1.1 SNI 1726:2019, yakni terdapat nilai C_s arah X dan arah Y yang harus dibandingkan dengan nilai C_s maksimum dan nilai C_s minimum. Rumus C_s , $C_{s \min}$, dan $C_{s \max}$ menggunakan Persamaan 4.6 sampai Persamaan 4.8 berikut:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots \dots \dots (4.6)$$

$$C_{s \min} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots \dots \dots (4.7)$$

$$C_{s \max} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots \dots \dots (4.8)$$

Nilai Periode (T) yang digunakan dalam perhitungan C_s adalah nilai periode di SAP2000 yang dibandingkan dengan nilai periode minimum dan nilai periode maksimum yang diatur pada Pasal 7.8.2 SNI 1726:2019.

1. Periode Minimum

$$T_{\min} = C_t \times h_n^x = 0,0466 \times (19,2)^{0,9} = 0,666 \text{ detik}$$

2. Periode Maksimum

$$T_{\max} = C_u \times T_{\min} = 1,4 \times 0,666 = 0,932 \text{ detik}$$

3. Periode arah X dan Y pada SAP2000

$$T_a \text{ dari SAP2000 arah X } (T_{cx}) = 0,604 \text{ detik}$$

$$T_a \text{ dari SAP2000 arah Y } (T_{cy}) = 0,673 \text{ detik}$$

4. Periode yang digunakan

Setelah dilakukan perhitungan, maka nilai T yang digunakan untuk arah X maupun Y adalah menggunakan T arah X dan Y pada SAP2000 sebesar:

$$T \text{ arah X } (T_x) = 0,666 \text{ detik}$$

$$T \text{ arah Y } (T_y) = 0,673 \text{ detik}$$

Setelah melakukan perhitungan T , maka nilai C_s perhitungan adalah sebagai berikut:

$$C_s \text{ arah X} = \frac{0,614}{0,666 \times \left(\frac{8}{1}\right)} = 0,115$$

$$C_s \text{ arah Y} = \frac{0,614}{0,673 \times \left(\frac{8}{1}\right)} = 0,114$$

$$C_{s \min} = 0,044 \times 0,614 \times 1 = 0,027$$

$$C_{s \max} = \frac{0,614}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,077$$

Nilai C_s di atas dibandingkan dengan nilai C_s minimum dan C_s maksimum, maka diperoleh nilai C_s untuk arah X dan Y sesuai pada Tabel 4.23.

Tabel 4. 23. Koefisien Respons Seismik

C_s arah X	0,115	C_s arah Y	0,114
C_s minimum	0,027	C_s minimum	0,027
C_s maksimum	0,077	C_s maksimum	0,077
C_s yang dipakai	0,1507	C_s yang dipakai	0,1507

4.4.3. Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan ketentuan Pasal 7.8.6 dalam SNI 1726:2019, nilai simpangan antar lantai akibat desain gempa (Δ) dihitung dari selisih antara simpangan pusat massa pada lantai di atas dan di bawahnya. Meski demikian, simpangan ini tidak boleh melampaui batas maksimum simpangan antar lantai yang diizinkan (Δ_a). Sementara itu, merujuk Pasal 7.12 dalam standar yang sama, untuk jenis struktur tertentu digunakan klasifikasi sistem struktur lain dengan batas simpangan antar lantai yang diizinkan sebesar 0,01. Faktor redundansi (ρ) wajib diterapkan pada masing-masing arah ortogonal dalam seluruh sistem struktur yang dirancang untuk menahan gaya gempa. Khusus untuk kategori desain seismik D, nilai ρ ditetapkan sebesar 1,3, kecuali bila salah satu dari dua syarat tertentu terpenuhi, maka nilai ρ dapat disederhanakan menjadi 1,0.

4.4.3.1. Simpangan Arah X

Tabel 4.24. Simpangan Arah X

Lantai	Hsx (mm)	dx (mm)	Δx (mm)	Δa (Ijin) (mm)	kontrol $\Delta x < \Delta$ ijin
Menara	3750	10,2810	4,1525	94	OK
ATAP	3750	9,5260	9,9055	94	OK
LT.4	3750	7,7250	13,0680	94	OK
LT.3	3750	5,3490	17,2260	94	OK
LT.2	4200	2,2170	12,1935	105	OK
Dasar	0	0	0	0	

4.4.3.2. Simpangan Arah Y

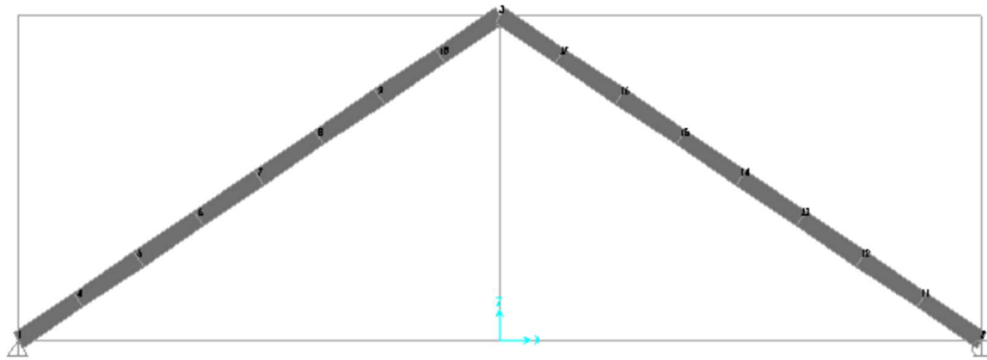
Tabel 4.25. Simpangan Arah Y

Lantai	Hsx (mm)	dy (mm)	Δy (mm)	Δa (Ijin) (mm)	kontrol $\Delta y < \Delta$ ijin
Menara	3750	0,2080	0,2750	94	OK
ATAP	3750	0,1580	0,3850	94	OK
LT.4	3750	0,0640	0,3520	94	OK
LT.3	3750	0,1030	0,5665	94	OK
LT.2	4200	0,0880	0,4840	105	OK
Dasar	0	0	0	0	

4.5. Perancangan Atap

Beberapa macam bentuk atap yang dipakai pada bangunan gedung antara lain pelat beton (dak), kuda-kuda kayu, kuda-kuda baja, konstruksi kabel, konstruksi sheel. Perencanaan konstruksi rangka atap pada gedung ini menggunakan kuda-kuda baja mutu ST 37 profil IWF 200.100.5,5.8 dan gording profil Canal C yang terbuat dari baja mutu ST 37. Berikut panduan yang digunakan sebagai pedoman untuk menghitung pembebanan, yaitu :

4.5.1. Spesifikasi Struktur Atap



Gambar 4. 15. Pemodelan Struktur Atap

Tipe yang dianalisa adalah kuda-kuda penuh dengan data rangka atap :

a. Bentang kuda - kuda	=	11,00	m
b. Panjang sisi miring kuda - kuda	=	7,82	m
c. Jarak kuda - kuda (S)	=	7,00	m
d. Jarak gording (a)	=	1,00	m
e. Jarak antar plafond	=	1,100	m
f. BJ beton bertulang	=	2400	kg/m ³
g. Berat plafond + penggantung	=	18	kg/m ²
h. Berat penutup atap (genteng keramik)	=	50	kg/m ²
i. Kemiringan atap (α)	=	34	°
j. Beban air hujan ($40-0,8 \alpha$)	=	40	kg/m ²
k. Beban angin	=	40	kg/m ²
l. Mutu baja (F_y) BJ 37	=	2400	kg/m ²
m. Tegangan baja ijin (σ_{ijin})	=	1600	kg/m ²
n. Modulus elastisitas (E_s)	=	2000000	kg/m ²

4.5.2. Perencanaan Gording

4.5.2.1. Data Profil

Profil *Lip Channels* $150 \times 50 \times 20 \times 3,2$

$$W = 6,76 \text{ kg/m} \quad = 280 \text{ cm}^4 \quad = 5,71 \text{ cm}$$

$$Z_x = 37,4 \text{ cm}^3 \quad = 28 \text{ cm}^4 \quad = 1,81 \text{ cm}$$

$$Z_y = 8,2 \text{ cm}^3 \quad = 8,61 \text{ cm}^2$$

4.5.2.2. Analisa Beban

a. Beban Mati (D)

1. Berat sendiri gording = Berat Profil Baja = 6,76 kg/m
2. Berat penutup atap = $50 \times 1,00 \text{ m}$ = 50,00 kg/m
3. Berat bracing = $10\% \times 56,76$ = 5,68 kg/m +

$$\text{Berat Total (qD)} = 62,44 \text{ kg/m}$$

c. Beban Angin (W)

$$\text{Beban Angin (qa)} = 40 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Koefisien angin tekan Ct} = (0,02 \times \alpha) - 0,4 = 0,28$$

$$\text{Koefisien angin hisap Ch} = -0,60$$

$$1. \text{ Angin tekan (Wt)} = qa \times Ct \times a = 11,20 \text{ kg/m}$$

$$2. \text{ Angin hisap (Wh)} = qa \times Ch \times a = -24,00 \text{ kg/m}$$

4.5.2.3. Analisa Statika

a. Beban Mati (D)

$$\text{Beban qD} = 62,44 \text{ kg/m}$$

Beban diuraikan menjadi :

$$qD_x = qD \times \cos \alpha = 51,76 \text{ kg/m}$$

$$qD_y = qD \times \sin \alpha = 34,91 \text{ kg/m}$$

Sehingga, momen ultimate (Mu) yang bekerja pada gording :

$$M_{ux} = \frac{1}{8} \times qD_x \times S^2$$

$$= 317,04 \text{ kgm}$$

$$M_{uy} = \frac{1}{8} \times qD_y \times (S/2)^2$$

$$= 53,46 \text{ kgm}$$

b. Beban Angin (W)

$$1. \text{ Angin Tekan (Wt)} = 11,20 \text{ kg/m}$$

Beban Wt diuraikan menjadi Wtx dan Wty,

Karena arah beban angin adalah tegak lurus pada bidang atap, maka beban yang bekerja adalah :

$$W_{tx} = W_t \times \cos [(\alpha \times \pi)/(180^\circ)] = 11.20 \text{ kg/m}$$

$$W_{ty} = W_t \times \sin [(\alpha \times \pi)/(180^\circ)] = 0 \text{ kg/m}$$

Sehingga, momen ultimate (Mu) yang bekerja pada gording :

$$M_{ux} = \frac{1}{8} \times W_{tx} \times S^2 = 68,6 \text{ kgm}$$

$$M_{uy} = \frac{1}{8} \times W_{ty} \times S^2 = 0 \text{ kgm}$$

$$2. \text{ Angin Hisap (Wh)} = -24,00 \text{ kg/m}$$

Beban Wh diuraikan menjadi Whx dan Why,

Karena arah beban angin adalah tegak lurus pada bidang atap, maka beban yang bekerja adalah :

$$W_{hx} = W_h \times \cos [(\alpha \times \pi)/(180^\circ)] = -24,00 \text{ kg/m}$$

$$W_{hy} = W_h \times \sin [(\alpha \times \pi)/(180^\circ)] = 0 \text{ kg/m}$$

Sehingga, momen ultimate (Mu) yang bekerja pada gording :

$$M_{ux} = \frac{1}{8} \times W_{hx} \times S^2 = -147,00 \text{ kgm}$$

$$M_{uy} = \frac{1}{8} \times W_{hy} \times S^2 = 0 \text{ kgm}$$

Tabel Momen Pada Gording			
Momen Arah	Beban Mati (D) (kgcm)	Beban angin (W)	
		Tekan (Wt) (kgcm)	Hisap (Wh) (kgcm)
Mux	31704,10	6860,00	-14700,00
Muy	5346,17	0,00	0,00

Tabel 4.26. Momen pada Gording

4.5.2.4.Kombinasi Pembebanan

a. Momen arah X

$$M_{ux1} = 1,4 .D$$

$$= 1,4 \times 31704,1$$

$$= 44385,73 \text{ kg/cm}$$

$$M_{ux2} = 1,2 .D + 1,6.La$$

$$= (1,2 \times 31704,1) + (1,6 \times 0)$$

$$= 22468,46 \text{ kg/cm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mux3} &= 1,2 \cdot D + 1,6 \cdot La + 0,8 \cdot Wt \\
 &= (1,2 \times 31704,1) + (1,6 \times 0) + (0,8 \times 6860) \\
 &= 43532,92 \text{ kg/cm} \\
 \text{Mux4} &= 1,2 \cdot D + 1,6 \cdot La + 0,8 \cdot Wh \\
 &= (1,2 \times 31704,1) + (1,6 \times 0) + (0,8 \times -14700) \\
 &= 26284,92 \text{ kg/cm} \\
 \text{Mux5} &= 1,2 \cdot D + 1,3 \cdot Wt + 0,5 \cdot La \\
 &= (1,2 \times 31704,1) + (1,3 \times 6860) + (0,5 \times 0) \\
 &= 46962,92 \text{ kg/cm} \\
 \text{Mux6} &= 1,2 \cdot D + 1,3 \cdot Wh + 0,5 \cdot La \\
 &= (1,2 \times 31704,1) + (1,3 \times -14700) + (0,5 \times 0) \\
 &= 18934,92 \text{ kg/cm} \\
 \text{Mux7} &= 0,9 \cdot D + 1,3 \cdot Wt \\
 &= (0,9 \times 31704,1) + (1,3 \times 6860) \\
 &= 37451,69 \text{ kg/cm} \\
 \text{Mux8} &= 0,9 \cdot D + 1,3 \cdot Wh \\
 &= (0,9 \times 31704,1) + (1,3 \times 0) \\
 &= 9423,69 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$

b. Momen arah Y

$$\begin{aligned}
 \text{Muy1} &= 1,4 \cdot D \\
 &= 1,4 \times 5346,17 \\
 &= 7484,64 \text{ kg/cm} \\
 \text{Muy2} &= 1,2 \cdot D + 1,6 \cdot La \\
 &= (1,2 \times 5346,17) + (1,6 \times 0) \\
 &= 6415,40 \text{ kg/cm} \\
 \text{Muy3} &= 1,2 \cdot D + 1,6 \cdot La + 0,8 \cdot Wt \\
 &= (1,2 \times 5346,17) + (1,6 \times 0) + (0,8 \times 0) \\
 &= 6415,40 \text{ kg/cm} \\
 \text{Muy4} &= 1,2 \cdot D + 1,6 \cdot La + 0,8 \cdot Wh \\
 &= (1,2 \times 5346,17) + (1,6 \times 0) + (0,8 \times 0) \\
 &= 6415,40 \text{ kg/cm} \\
 \text{Muy5} &= 1,2 \cdot D + 1,3 \cdot Wt + 0,5 \cdot La
 \end{aligned}$$

$$= (1,2 \times 5346,17) + (1,3 \times 0) + (0,5 \times 0)$$

$$= 6415,40 \text{ kg/cm}$$

$$\text{Muy6} = 1,2 \cdot D + 1,3 \cdot W_h + 0,5 \cdot L_a$$

$$= (1,2 \times 5346,17) + (1,3 \times 0) + (0,5 \times 0)$$

$$= 6415,40 \text{ kg/cm}$$

$$\text{Muy7} = 0,9 \cdot D + 1,3 \cdot W_t$$

$$= (0,9 \times 5346,17) + (1,3 \times 0)$$

$$= 4811,55 \text{ kg/cm}$$

$$\text{Muy8} = 0,9 \cdot D + 1,3 \cdot W_h$$

$$= (0,9 \times 5346,17) + (1,3 \times 0)$$

$$= 4811,55 \text{ kg/cm}$$

Dari kombinasi pembebanan diatas diambil nilai maksimum :

$$\text{Mux} = 46962,92 \text{ kgcm} \quad \text{Muy} = 7484,64 \text{ kgcm}$$

4.5.2.5.Kontrol Hitungan

Direncanakan memakai Profil *Lip Channels* $100 \times 50 \times 20 \times 4$

Data Profil :

$$\begin{array}{lll} W = 6,76 \text{ kg/m} & I_x = 280 \text{ cm}^4 & i_x = 5,71 \text{ cm} \\ Z_x = 37,4 \text{ cm}^3 & I_y = 28 \text{ cm}^4 & i_y = 1,81 \text{ cm} \\ Z_y = 8,2 \text{ cm}^3 & A = 8,61 \text{ cm}^2 & \end{array}$$

Dengan :

$$\begin{aligned} \text{Mnx} &= F_y \times Z_x \\ &= 2400 \text{ kg/m}^2 \times 37,4 \text{ cm}^3 \\ &= 89760 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mny} &= F_y \times Z_y \\ &= 2400 \text{ kg/m}^2 \times 8,2 \text{ cm}^3 \\ &= 19680 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

Kontrol Terhadap Lentur

$$\text{Syarat : } \frac{\text{Mux}}{\phi \text{Mnx}} + \frac{\text{Muy}}{\phi \text{Mny}} < 1,00$$

$$\frac{46962,92}{(0,9 \times 89760)} + \frac{7484,64}{(0,9 \times 19680)} < 1,00$$

$$0,99 < 1,00 \rightarrow \text{Aman}$$

Kontrol Terhadap Tekuk

Syarat :

$$\begin{aligned} M_{ux} &< \phi M_{nx} \\ 46962,92 \text{ kgcm} &< 80784 \text{ kgcm} \rightarrow \text{Aman} \\ M_{uy} &< \phi M_{ny} \\ 7484,64 \text{ kgcm} &< 17712 \text{ kgcm} \rightarrow \text{Aman} \end{aligned}$$

Kontrol Lendutan

Syarat :

$$\begin{aligned} f_{ijin} &= \frac{1}{180} \times \text{Jarak kuda - kuda} \\ &= \frac{1}{180} \times 100 \text{ cm} \\ &= 3,889 \text{ cm} \\ F_x &= \frac{5.q_x.(S)^4}{384.E.I_y} + \frac{P_x.(S)^3}{48.E.I_y} \\ &= 1,806 \text{ cm} \\ F_y &= \frac{5.q_y.(S)^4}{384.E.I_x} + \frac{P_y.(S)^3}{48.E.I_x} \\ &= 1,949 \text{ cm} \\ F &= \sqrt{(F_x)^2 + (F_y)^2} \\ &= 2,657 \text{ cm} \\ F &< f_{ijin} \\ 2,657 &< 3,889 \rightarrow \text{Aman} \end{aligned}$$

4.5.3. Perencanaan Rangka Atap Kuda-Kuda

4.5.3.1. Analisa Beban

a. Beban Mati (D)

Berat sendiri kuda-kuda (data dari perhitungan SAP)

Untuk batang atas dan bawah menggunakan profil IWF 200.100.5,5.8

1. Berat profil IWF 200.100.5,5.8 = 21,30 kg/m
 2. Panjang batang (bentang + 2 x sisi miring) = 15,64 m
 3. Berat batang (berat profil x panjang bentang) = 333,23 kg
- Total berat profil** = 333,23 kg
- Berat alat sambung = 10% x 333,23 = 33,32 kg

Berat total kuda-kuda **= 366,55 kg**

Jumlah titik buhul yang menahan ada 24 titik

b. Beban Tiap Buhul (P)

Berat plafond + penggantung $= 18 \text{ kg/m}^2 \times 1,10 \text{ m} \times 7,00 \text{ m}$
 $= 138,60 \text{ kg}$

Berat gording $= 6,76 \text{ /m}^2 \times 7,00 \text{ m}$
 $= 47,32 \text{ kg}$

Berat penutup
 (Genteng Keramik) $= 7,00 \text{ m} \times 1,00 \text{ m} \times 50 \text{ kg/m}^2$
 $= 350 \text{ kg}$

Berat total (Pa) **= 397,32 kg**

c. Beban Angin (W)

Beban Angin (q_a) $= 40 \text{ Kg/m}^2$

Kemiringan atap (α) $= 34^0$

Koefisien angin tekan (C_t) $= 0,28$

Koefisien angin hisap (C_h) $= -0,60$

Angin Tekan (W_t) $= q_a \times C_t \times a \times \text{jar.kuda-kuda}$
 $= 78,40 \text{ Kg}$

Angin Hisap (W_h) $= q_a \times C_h \times a \times \text{jar.kuda-kuda}$
 $= -168,00 \text{ Kg}$

4.5.3.2. Analisa Statika

a. Beban Mati (D)

**beban tiap buhul telah dihitung otomatis pada SAP*

Beban plafond & penggantung + berat tiap buhul $= 138,60 \text{ Kg}$

$P1 = \text{berat tiap buhul (P)} + \text{penutup atap (Pa)}$ $= 397,32 \text{ Kg}$

$P2 = P1/2 = 88,34/2$ $= 198,66 \text{ Kg}$

Pa **= 397,32 Kg**

b. Beban Angin (W)

1. Angin Kiri

Angin Tekan

$W_{tx} = W_{tx} \times \sin \alpha$

$= 78,34 \text{ kg} \times \sin 34$

$$= 43,84 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} W_{ty} &= W_{tx} \times \cos \alpha \\ &= 65 \text{ kg} \times \cos 34 \\ &= 65,00 \text{ kg} \end{aligned}$$

Angin Hisap

$$\begin{aligned} W_{hx} &= W_{hx} \times \sin \alpha \\ &= -168 \text{ kg} \times \sin 34 \\ &= -93,94 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{hy} &= W_{hx} \times \cos \alpha \\ &= -168 \text{ kg} \times \cos 34 \\ &= -139,28 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Angin Kanan

Angin Tekan

$$\begin{aligned} W_{tx} &= W_{tx} \times \sin \alpha \\ &= 78,4 \text{ kg} \times \sin 34 \\ &= 43,84 \text{ kg} \\ W_{ty} &= W_{tx} \times \cos \alpha \\ &= 78,4 \text{ kg} \times \cos 34 \\ &= 65,00 \text{ kg} \end{aligned}$$

Angin Hisap

$$\begin{aligned} W_{hx} &= W_{hx} \times \sin \alpha \\ &= -168 \text{ kg} \times \sin 34 \\ &= -93,94 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{hy} &= W_{hx} \times \cos \alpha \\ &= -168 \text{ kg} \times \cos 34 \\ &= -139,28 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.5.3.3. Kontrol Hitungan

Dari Output SAP diperoleh :

$$\text{Gaya Tarik Maksimum (Nu)} = 35136,51 \text{ Kg}$$

$$\text{Gaya Tekan Maksimum (Nu)} = -9716,59 \text{ Kg}$$

Batang Tarik

$$\text{Nu} = 35136,51 \text{ Kg}$$

Panjang Batang (L) = 829,28 mm

Profil Baja yang dianalisis adalah **IWF 200.100.5.5,8**

Dengan data profil sebagai berikut ini :

$$A = 2720 \text{ mm}^2 \quad i_x = 82,3 \text{ mm}$$

$$I_x = 18400000 \text{ mm}^4 \quad i_y = 82,3 \text{ mm}$$

$$I_y = 18400000 \text{ mm}^4 \quad e = 0 \text{ mm}$$

Mutu Baja BJ 37

$$F_y = 240 \text{ N/mm}^2$$

$$F_u = 370 \text{ N/mm}^2$$

Syarat Kelangsingan

$$\lambda = \frac{L}{i_x} < 240$$

$$\lambda = \frac{829,8}{19,8} < 240$$

$$\Lambda = 10,08 < 240 \rightarrow \text{Aman}$$

Kontrol Tegangan

a. Terhadap Leleh

$$A_g = 2720 \text{ mm}^2$$

$$N_u < \phi N_n$$

$$\begin{aligned} \phi N_n &= \phi \times A_g \times F_y \\ &= 0,9 \times 2720 \times 240 \\ &= 587520 \text{ N} \\ &= 58752 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$N_u < \phi N_n$$

$$35136,51 < 58752 \text{ Kg} \rightarrow \text{Aman}$$

b. Terhadap Fraktur

$$A_n = 2 \times (A_g - t(db+2))$$

$$= 5440 \text{ mm}^2$$

$$U = 1 - \frac{e}{L} \leq 1,0$$

$$= 1 - \frac{(2 \times 0)}{829,28} \leq 1,0$$

$$= 1,0 \leq 1,0$$

Maka untuk nilai Koefisien reduksi (U) adalah 1,0

$$\begin{aligned}A_e &= U \times A_n \\&= 0,9 \times 5440 \\&= 5440 \text{ mm}^2 \\ \phi N_n &= \phi \times A_e \times F_u \\&= 0,75 \times 5440 \times 370 \\&= 1509600 \text{ N} \\&= 150960 \text{ Kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N_u &\leq \phi N_n \\35136,51 &\leq 150960 \quad \rightarrow \quad \text{Aman}\end{aligned}$$

(Keamanan untuk 2 baut, jadi kalau menggunakan lebih dari 2 baut lebih baik karna akan lebih aman)

Batang Tekan

$$N_u = -9716,59 \text{ Kg}$$

$$\text{Panjang Batang (L)} = 829,28 \text{ mm}$$

Profil Baja yang dianalisis adalah **IWF 200.100.5.5,8**

Dengan data profil sebagai berikut ini :

$$A = 2720 \text{ mm}^2 \quad i_x = 82,3 \text{ mm}$$

$$I_x = 18400000 \text{ mm}^4 \quad i_y = 22,2 \text{ mm}$$

$$I_y = 1340000 \text{ mm}^4$$

Mutu Baja BJ 37

$$F_y = 240 \text{ N/mm}^2$$

$$F_u = 370 \text{ N/mm}^2$$

Dimensi profil IWF 200.100.5.5,8

Kontrol Tegangan

Karena tumpuan sendi-sendi, maka Koefisien Efektif untuk semua rangka diambil = 1
Penghubung hanya di ujung-ujung batang (titik simpul), maka berlaku sebagai batang tekan tunggal, terdiri dari 2 profil.

$$\Lambda = \frac{K_c \cdot L}{r_{\min}} < 200$$

$$= \frac{1 \times 829,28}{82,3} < 200$$

$$= 10,08 < 200 \rightarrow \text{Aman}$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

$$= \frac{10,08}{\pi} \sqrt{\frac{240}{2,1 \times 10^5}}$$

$$= 0,11$$

Karena, $\lambda_c < 1,2$

maka :

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \times 0,11)}$$

$$= 0,94$$

$$A_g = 2 \times 2720 \text{ mm}^2 = 5440 \text{ mm}^2$$

$$N_n = 0,85 \cdot \frac{A_g \cdot F_y}{\omega}$$

$$= 0,85 \times \frac{5440 \times 240}{0,94}$$

$$= 1183918,5 \text{ N}$$

$$= 118391,85 \text{ Kg}$$

$$N_u \leq \phi N_n$$

$$9716,59 \leq 118391,85 \rightarrow \text{Aman}$$

4.6. Perancangan Elemen Struktur Beton Bertulang

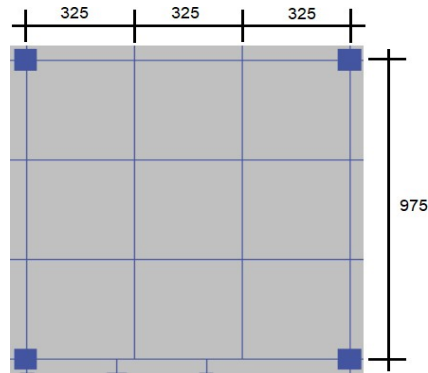
4.6.1. Perancangan Pelat

Perilaku pelat dibagi menjadi dua yaitu pelat 1 arah dan pelat 2 arah. Pelat perlu dilakukan pengecekan dengan perbandingan lebar dan panjang pelat (L_x/L_y).

Tahapan-tahapan perancangan pelat yang dilakukan, antara lain:

4.6.1.1. Properti Material dan Penampang

Tipe pelat yang akan digunakan sebagai contoh perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4. 13.



Gambar 4. 13. Penulangan Pelat

4.6.1.2. Data Teknis Pelat Lantai

Data teknis :

- a. L_x (bentang pendek) = 2,75 m
- b. L_y (bentang panjang) = 2,75 m
- c. L_y/L_x = 1,00 (Pelat 2 Arah)
- d. Balok
 - b = 0,30 m
 - h = 0,50 m
- e. Tebal keramik (tg) = 0,01 m
- f. Tebal spesi (ts) = 0,03 m
- g. Mutu beton (f_c') = 25 Mpa
- h. Mutu baja (f_y) = 420 Mpa
- i. BJ beton = 24 kN/m³
- j. Berat plafond = 0,18 kN/m²
- k. BJ tegel = 22 kN/m³
- l. BJ spesi = 21 kN/m³

4.6.1.3. Penentuan Tebal Pelat Lantai

Karena Pelat menyatu dengan struktur pendukung

Balok

$$b = 0,30 \text{ m}$$

$$h = 0,50 \text{ m}$$

Untuk mempermudah perhitungan dan mendapatkan desain yang lebih kuat, maka :

$$\begin{aligned}
 L_n &= L_x - ((1/2 b) + (1/2 b)) \\
 &= 2,75 - ((1/2 \cdot 0,3) + (1/2 \cdot 0,3)) \\
 &= 2,450 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Karena $L_n \leq 3,0$ m maka, $L_n = L_x$

$$L_n = 2750 \text{ mm}$$

$$h_{\text{rencana}} = 120 \text{ mm}$$

α min adalah α rata – rata sesuai ukuran balok yang mengelilingi pelat

$$\begin{aligned}
 \alpha_{\text{min}} &= \frac{1/12 \times b \times h^3}{1/12 \times L \times h_{\text{rencana}}^3} \\
 \alpha_{\text{min}} &= \frac{1/12 \times 300 \times 500^3}{1/12 \times 2750 \times 120^3} \\
 &= 7,89
 \end{aligned}$$

Karena $\alpha_{\text{min}} > 2$

$$\begin{aligned}
 h_{\text{min}} &= \frac{L_n (0,8 + f_y/1500)}{36 + 9 \cdot \beta} \geq 90 \text{ mm} \\
 &= \frac{5300 (0,8 + 240/1500)}{36 + 9 \cdot 1} \geq 90 \text{ mm} \\
 &= 91,409 \text{ mm} \geq 90 \text{ mm} \\
 \text{karena, } h_{\text{min}} &> 90 \text{ mm} \\
 49,001 \text{ mm} &> 90 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka tebal pelat yang akan digunakan adalah 120 mm

4.6.1.4. Analisa Pembebanan Pelat Lantai

a. Beban Mati (qD)

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Sendiri} &= 0,12 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 1 \text{ m} = 2,88 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Berat Keramik} &= 0,01 \text{ m} \times 22 \text{ Kn/m}^3 \times 1 \text{ m} = 0,22 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Berat Spesi} &= 0,03 \text{ m} \times 21 \text{ kN/m}^3 \times 1 \text{ m} = 0,63 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Berat Plafond} &= 1 \text{ m} \times 0,18 \text{ kN/m}^3 \times 1 \text{ m} = \underline{0,18 \text{ kN/m}^2} + \\
 qD &= \underline{3,91 \text{ kN/m}^2}
 \end{aligned}$$

b. Beban Hidup

$$qL = 2,5 \text{ kN/m}$$

Pasal 11.2 – 1 SNI 03-2847-2019

c. Kombinasi beban

$$q_u = 1,2D + 1,6L$$

$$q_u = (1,2 \cdot 3,91) + (1,6 \cdot 2,5) = 8,692 \text{ kN/m}$$

4.6.1.5. Menghitung Momen yang Bekerja

Diambil dimensi lantai tipe S1

Karena $L_y/L_x = 1,00$

Tabel Beton Bertulang Gideon (pelat lantai monolit dicor dengan balok), didapat nilai koefisien momen pelat (C_i) sebagai Berikut.

$$Cl_x = 21$$

$$Cl_y = 21$$

$$Ct_x = 52$$

$$Ct_y = 52$$

Maka momen perlu (M_u) :

$$\begin{aligned} Ml_x &= 0,001 \times q_u \times L_n^2 \times Cl_x \\ &= 0,001 \times 8,69 \times 2,75^2 \times 21 \\ &= 1,380 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ml_y &= 0,001 \times q_u \times L_n^2 \times Cl_y \\ &= 0,001 \times 8,69 \times 2,75^2 \times 21 \\ &= 1,380 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mt_x &= -0,001 \times q_u \times L_n^2 \times Ct_x \\ &= -0,001 \times 8,69 \times 2,75^2 \times 52 \\ &= -3,418 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mt_y &= -0,001 \times q_u \times L_n^2 \times Ct_y \\ &= -0,001 \times 8,69 \times 2,75^2 \times 52 \\ &= -3,418 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4.6.1.6. Menghitung Kebutuhan Tulangan

a. Tulangan Lapangan Arah – X

$$Ml_x = 1,380 \text{ kNm}$$

$$\text{Diameter tulangan digunakan} = 10 \text{ mm}$$

$$bw = 1000 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang Efektif } (d_x) &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \times \phi_x \\ &= 120 - 20 - (0,5 \times 10) = 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{1,380 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 95^2} = 0,191 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_c} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,765$$

Karena mutu baja = 420 Mpa

$$\text{Maka : } \rho_{\min} = 0,0018$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n \cdot m}{F_y}} \right) \\ &= \frac{1}{19,765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,191 \times 19,765}{420}} \right) \\ &= 0,0005 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,85 \times \frac{0,85 \times 25}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,0253 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0253 \\ &= 0,019 \end{aligned}$$

Karena,

$$\begin{array}{lll} \rho_{\min} & < \rho_{\text{perlu}} & < \rho_{\max} \\ 0,0018 & > 0,0005 & < 0,019 \rightarrow \text{pakai } \rho_{\min} \end{array}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\min} \times b_w \times d \\ &= 0,0018 \times 1000 \times 95 = 171 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{ada}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{171} = 459,297 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$$

$$A_{s_{\text{ada}}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{100} = 785,398 \text{ mm (OK)}$$

Maka, digunakan tulangan D 10 – 100

b. Tulangan Lapangan Arah – Y

$$M_{ly} = 1,380 \text{ kNm}$$

$$\text{Diameter tulangan digunakan} = 10 \text{ mm}$$

$$b_w = 1000 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang Efektif (d}_x) &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \times \phi_x \\ &= 120 - 20 - (0,5 \times 10) - 0 = 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{1,380 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 85^2} = 0,239 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_c'} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,765$$

Karena mutu baja = 420 Mpa

$$\text{Maka : } \rho_{\min} = 0,0018$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n \cdot m}{F_y}} \right) \\ &= \frac{1}{19,765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,239 \times 19,765}{420}} \right) \\ &= 0,0006 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,85 \times \frac{0,85 \times 25}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,0253 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0253 \\ &= 0,019 \end{aligned}$$

Karena,

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} &< \rho_{\max} \\ 0,0018 &> 0,0006 &< 0,019 \rightarrow \text{pakai } \rho_{\min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\min} \times b_w \times d \\ &= 0,0018 \times 1000 \times 85 = 153 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{ada}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{153} = 513,332 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$$

$$A_s_{\text{ada}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{100} = 785,398 \text{ mm (OK)}$$

Maka, digunakan tulangan D 10 – 100

c. Tulangan Tumpuan Arah – X

$$M_{t_x} = 3,418 \text{ kNm}$$

$$\text{Diameter tulangan digunakan} = 10 \text{ mm}$$

$$b_w = 1000 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,9$$

$$\text{Panjang Efektif (d}_x\text{)} = h - \text{decking} - \frac{1}{2} \times \phi_x$$

$$= 120 - 20 - (0,5 \times 10) = 95 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{3,418 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 95^2} = 0,473 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot f_{c'}} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,765$$

Karena mutu baja = 420 Mpa

$$\text{Maka : } \rho_{\min} = 0,0018$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n \cdot m}{F_y}} \right) \\ &= \frac{1}{19,765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,473 \times 19,765}{420}} \right) \\ &= 0,0011 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f_{c'}}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,85 \times \frac{0,85 \times 25}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,0253 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0253 \\ &= 0,019 \end{aligned}$$

Karena,

$$\begin{array}{lll} \rho_{\min} & < \rho_{\text{perlu}} & < \rho_{\max} \\ 0,0018 & > 0,0011 & < 0,019 \rightarrow \text{pakai } \rho_{\min} \end{array}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\min} \times b_w \times d \\ &= 0,0018 \times 1000 \times 95 = 171 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{ada}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{171} = 459,297 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$$

$$A_s_{\text{ada}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{100} = 785,398 \text{ mm (OK)}$$

Maka, digunakan tulangan D 10 – 100

d. Tulangan Tumpuan Arah – Y

$$M_{t_y} = - 3,418 \text{ kNm}$$

$$\text{Diameter tulangan digunakan} = 10 \text{ mm}$$

$$b_w = 1000 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}\text{Panjang Efektif } (d_x) &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \times \phi_x \\ &= 20-20-(0,5 \times 10)-10 = 85 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{-3,418 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 85^2} = -0,59 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_{c'}} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,765$$

Karena mutu baja = 420 Mpa

$$\text{Maka : } \rho_{\min} = 0,0018$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n \cdot m}{F_y}} \right) \\ &= \frac{1}{19,765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times -0,59 \times 19,765}{420}} \right) \\ &= -0,001\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_b &= \beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f_{c'}}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,85 \times \frac{0,85 \times 25}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,0253 \\ \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0253 \\ &= 0,019\end{aligned}$$

Karena,

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} &< \rho_{\max} \\ 0,0018 &> -0,001 &< 0,019 \rightarrow \text{pakai } \rho_{\min}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As} &= \rho_{\min} \times b_w \times d \\ &= 0,0018 \times 1000 \times 85 = 153 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$S_{\text{ada}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{153} = 513,332 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$$

$$S_{\text{ada}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{100} = 785,398 \text{ mm (OK)}$$

Maka, digunakan tulangan D 10 – 100

4.6.2. Perancangan Tangga

Tangga merupakan salah satu sarana penghubung dari dua tempat yang berbeda level/ketinggiannya. Pada bangunan bertingkat, umumnya tangga digunakan sebagai sarana penghubung antara lantai bawah dengan lantai di atasnya pada

bangunan bertingkat.

Analisa momen pada tangga dilakukan dengan bantuan program SAP 2000 v.14. Beban yang diperhitungkan yaitu beban mati akibat berat sendiri dan beban hidup orang untuk kantor serta kombinasi pembebanan yang diperhitungkan berdasarkan SNI 2847-2019 adalah sebagai berikut :

$$U = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

Dimana :

DL : *dead load* (beban mati)

LL : *live load* (beban hidup)

4.6.2.1. Analisa Beban

a. Data Perencanaan Tangga :

Tinggi antar lantai	= 4,25 m
Lebar tangga	= 1,61 m
Panjang bordes	= 1,32 m
Lebar bordes	= 3,22 m
Tinggi bordes	= 2,13 m
Berat jenis beton	= 24 KN/m ³
Mutu baja (f_y)	= 240 Mpa
Mutu beton (f_c')	= 30 Mpa
Berat jenis spesi	= 21 KN/m ³
Berat jenis keramik	= 22 KN/m ³

b. Perhitungan Ukuran Tangga :

Rencana tinggi Optride (O)	= 17 cm
Jumlah Optride	$= \frac{212,5 \text{ cm}}{17 \text{ cm}}$
	= 12,5 cm ≈ 13 buah
Jumlah Antride	= 13 – 1 = 12 buah

Diambil:

$$\text{Lebar Antride (A)} = 30 \text{ cm}$$

Cek Syarat :

$$A + 2 \times O \leq 60 - 65 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 30 + (2 \times 17) &\leq 60 - 65 \text{ cm} \\
 64 &\leq 60 - 65 \text{ cm} \quad (\text{OK Memenuhi Syarat}) \\
 \text{Jumlah anak tangga} &= \text{Tinggi / optrade} \\
 &= 425 \text{ cm} / 17 \text{ cm} \\
 &= \mathbf{25 \text{ Buah}}
 \end{aligned}$$

c. Menghitung tebal Pelat Tangga dan Bordes :

Sudut Kemiringan Tangga (α)

$$\alpha = \arctan \frac{\text{Tinggi Optrade}}{\text{Lebar Antride}}$$

$$\alpha = \arctan \frac{11,765}{25}$$

$$\alpha = 29,54^\circ$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal selimut beton} &= 2 \text{ cm} \\
 &= 20 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

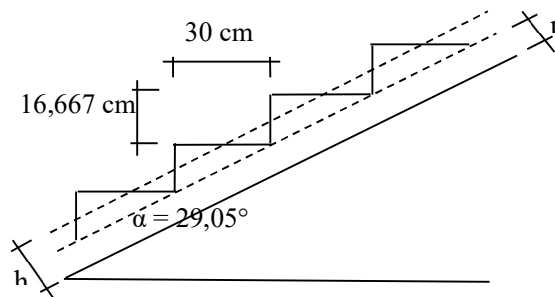
$$\begin{aligned}
 \text{Tebal Pelat Tangga (h}_{\min}) &= \frac{H}{\sin \alpha \times 27} \\
 &= \frac{212,5}{\sin 29,54^\circ \times 27} \\
 &= 15,963 \text{ cm} \\
 &= 16 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Untuk mempermudah pelaksanaan, maka tebal plat tangga dan bordes yang diambil adalah 17 cm.

$$h' = h + (Op/2) \times \cos \alpha$$

$$\begin{aligned}
 h' &= 16 + (17/2) \times \cos 29,54^\circ \\
 &= 23,40 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal anak tangga} &= 23,4 \text{ cm} - 16 \text{ cm} \\
 &= 7,4 \text{ cm} \approx \mathbf{7,00 \text{ cm}}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 14. Penentuan h'

d. Beban Plat Tangga

a. Beban Mati (D)

Berat plat tangga	$= 0,16 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3$	$= 5,61 \text{ kN/m}^2$
Berat anak tangga	$= 0,0728 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3$	$= 1,77 \text{ kN/m}^2$
Berat spesi	$= 0,02 \text{ m} \times 21 \text{ kN/m}^3$	$= 0,42 \text{ kN/m}^2$
Berat Keramik	$= 0,01 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3$	$= 0,22 \text{ kN/m}^2$
Berat handrill (10%)		$= 0,15 \text{ kN/m}^2$
D		$= 8,18 \text{ kN/m}^2$

b. Beban Hidup (LL)

Untuk bangunan kantor

Fungsi Bangunan	L	$= 3 \text{ KN/m}^2$
-----------------	----------	--

e. Beban Pelat Bordes

a. Beban Mati (D)

Berat plat bordes	$= 0,16 \text{ m} \times 24 \text{ KN/m}^3$	$= 5,61 \text{ KN/m}^2$
Berat spesi	$= 0,02 \text{ m} \times 21 \text{ KN/m}^3$	$= 0,42 \text{ KN/m}^2$
Berat Keramik	$= 0,01 \text{ m} \times 22 \text{ KN/m}^3$	$= 0,22 \text{ KN/m}^2$
D		$= 6,25 \text{ KN/m}^2$

b. Beban Hidup (LL)

Untuk bangunan kantor

Fungsi Bangunan	L	$= 3 \text{ KN/m}^2$
-----------------	----------	--

Selanjutnya beban dimasukkan sebagai beban merata (*unifrom shell*) dalam program SAP 2000 dan karena beban plat tangga dan bordes sudah dihitung manual, maka pada saat pembebanan (*load pattern*) dimasukkan faktor pengali 0 pada *self weight multiplier*.

c. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan dihitung oleh SAP dengan kombinasi :

$$q_u = 1,2 D + 1,6 L$$

4.6.2.2. Penulangan Tangga

Dari Hasil SAP 2000 didapatkan data berikut :

Jenis	Arah tulangan	Momen (KNm)	Keterangan
Pelat Tangga	Tumpuan Arah x	-40,2871	Pokok
	Lapangan Arah x	40,2871	
	Tumpuan Arah y	-7,7976	Bagi
	Lapangan Arah y	7,7976	
Pelat Bordes	Tumpuan Arah x	0,3536	Pokok
	Lapangan Arah x	14,3662	
	Tumpuan Arah y	-0,4855	Bagi
	Lapangan Arah y	8,6333	

Tabel 4.27. Momen Penulangan Pelat Tangga

Untuk Perhitungan penulangan dijelaskan di bawah ini :

PELAT TANGGA

a. Tulangan Tumpuan Arah X (Tulangan Pokok)

$$Mu = -40,870 \text{ kNm}$$

$$\text{Diameter tulangan digunakan} = 13 \text{ mm}$$

$$bw = 1000 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang efektif } (d_x) &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi_x \\ &= 160 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (0,5 \times 13) \\ &= 133,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{-40,87 \times 10^6}{0,8 \times 1000 \times 133,5^2} = -2,866 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{Fy}{0,85 \cdot Fc'} = \frac{240}{0,85 \times 30} = 9,412$$

Karena mutu baja = 240 Mpa

Maka :

$$\rho_{\min} = 0,0025$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - (2Rn \cdot m)} \right)$$

$$= \frac{1 (1 - \sqrt{1 - 2 \times -2,886 \times 9,412})}{9,412 \cdot 240} = -0,01134$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot (0,85 \cdot F_c') \cdot 600}{F_y (600 + F_y)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \cdot 600}{240 (600 + 240)} = 0,0645 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0645 = 0,048 \end{aligned}$$

Karena,

$$\begin{array}{ccccc} \rho_{\min} & < & \rho_{\text{perlu}} & < & \rho_{\max} \\ 0,0025 & < & -0,01134 & < & 0,048 \end{array} \rightarrow \text{Pakai } \rho_{\min}$$

$$\begin{aligned} A_s, u &= \rho_{\min} \times b \times d \\ &= 0,0025 \times 1000 \times 133,5 \\ &= 333,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{Ada}} &= \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{333,75} \\ &= 397,700 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{pakai}} &= 150 \text{ mm} \\ A_s \text{ Ada} &= \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{150} \\ &= 884,882 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ pakai} > A_s, u \rightarrow \text{Aman}$$

Jadi, dipakai tulangan pokok As ada = D 13 – 150

b. Tulangan Lapangan Arah X (Tulangan Pokok)

$$\begin{aligned} M_u &= 13,884 \text{ kNm} \\ \text{Diameter tulangan digunakan} &= 13 \text{ mm} \\ b &= 1000 \text{ mm} \\ \phi &= 0,8 \\ \text{Panjang efektif } (d_x) &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi_x \\ &= 160 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (0,5 \times 13) \\ &= 133,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{13,884 \times 10^6}{0,8 \times 1000 \times 133,5^2} = 0,974 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_c'} = \frac{420}{0,85 \times 30} = 9,412$$

Karena mutu baja = 240 Mpa

Maka :

$$\rho_{\min} = 0,0025$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - (2R_n \cdot m)} \right) = \frac{1}{9,412} \left(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0,974 \times 9,412)} \right) = 0,00414$$

$$\rho_b = \frac{\beta_1 \cdot (0,85 \cdot F_c') \cdot 600}{F_y (600 + F_y)} = \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \cdot 600}{240 (600 + 240)} = 0,0645$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,0645 = 0,048$$

Karena,

$$\begin{array}{ccc} \rho_{\min} & < & \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0,0025 & > & 0,00414 < 0,048 \end{array} \rightarrow \text{Pakai } \rho_{\text{perlu}}$$

$$\begin{aligned} A_s, u &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,00414 \times 1000 \times 133,5 \\ &= 552,412 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{Ada}} = \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{552,4}$$

$$= 240,278 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

$$A_s_{\text{Ada}} = \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{150}$$

$$= 884,882 \text{ mm}^2$$

$$A_s_{\text{pakai}} > A_s, u \rightarrow \text{Aman}$$

Jadi, dipakai tulangan pokok As ada = D 13 – 150

c. Tulangan Tumpuan Arah Y (Tulangan Bagi)

$$M_u = -8,566 \text{ kNm}$$

$$\text{Diameter tulangan digunakan} = 10 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang efektif (dx)} &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi x \\ &= 160 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (0,5 \times 10) - 13 \\ &= 122 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{-8,566 \times 10^6}{0,8 \times 1000 \times 122^2} = -0,719 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_c'} = \frac{240}{0,85 \times 30} = 9,412$$

$$\text{Karena mutu baja} = 240 \text{ Mpa}$$

Maka :

$$\rho_{\min} = 0,0025$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1 (1 - \sqrt{1 - (2R_n \cdot m)})}{m \cdot F_y} \\ &= \frac{1 (1 - \sqrt{1 - 2 \times -0,719 \times 9,41})}{9,41 \cdot 240} = -0,0030 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot (0,85 \cdot F_c') \cdot 600}{F_y (600 + F_y)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \cdot 600}{240 (600 + 240)} = 0,0645 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0645 = 0,048 \end{aligned}$$

Karena,

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0,0025 &> -0,0300 < 0,048 \end{aligned} \quad \text{,maka pakai } \rho_{\min}$$

$$\begin{aligned} A_s, u &= \rho_{\min} \times b \times d \\ &= 0,0250 \times 1000 \times 122 \\ &= 305,000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$S_{Ada} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{305,000}$$

$$= 257,508 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 200 \text{ mm}$$

$$A_{s, Ada} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200}$$

$$= 392,699 \text{ mm}^2$$

$$A_{s, pakai} > A_{s, u} \rightarrow \text{Aman}$$

Jadi, dipakai tulangan pokok A_s ada = D 10 – 200

d. Tulangan Lapangan Arah Y (Tulangan Bagi)

$$M_u = 3,020 \text{ kNm}$$

$$\text{Diameter tulangan digunakan} = 10 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang efektif (dx)} &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi x \\ &= 160 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (0,5 \times 10) - 13 \\ &= 122 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{3,020 \times 10^6}{0,8 \times 1000 \times 122^2} = 0,254 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_c'} = \frac{240}{0,85 \times 30} = 9,412$$

Karena mutu baja = 240 Mpa

Maka :

$$\rho_{\min} = 0,0025$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1 (1 - \sqrt{1 - (2R_n \cdot m)})}{m \cdot F_y} \\ &= \frac{1 (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,254 \times 9,41})}{9,41 \cdot 240} = 0,0011 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot (0,85 \cdot F_c') \cdot 600}{F_y (600 + F_y)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \cdot 600}{240 (600 + 240)} = 0,0645 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0645 = 0,048\end{aligned}$$

Karena,

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0,0025 &> 0,0011 < 0,048 \quad \text{maka pakai } \rho_{\min}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{s,u} &= \rho_{\min} \times b \times d \\ &= 0,0025 \times 1000 \times 122 \\ &= 305,000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S_{\text{Ada}} &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{305,000} \\ &= 257,508 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}A_{s,\text{Ada}} &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200} \\ &= 392,699 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$A_{s,\text{pakai}} > A_{s,u} \rightarrow \text{Aman}$$

Jadi, dipakai tulangan pokok As ada = D 13 – 200

PELAT BORDES

a. Tulangan Tumpuan Arah X (Tulangan Pokok)

$$M_u = -15,295 \text{ kNm}$$

$$\text{Diameter tulangan digunakan} = 13 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$\begin{aligned}\text{Panjang efektif } (d_x) &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi_x \\ &= 160 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (0,5 \times 13) \\ &= 133,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{-15,295 \times 10^6}{0,8 \times 1000 \times 133,5^2} = -1,073 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{F_y}{0,85 \cdot F_c'} = \frac{240}{0,85 \times 30} = 9,412\end{aligned}$$

Karena mutu baja = 240 Mpa

Maka :

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= 0,0025 \\ \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m \cdot F_y} (1 - \sqrt{1 - (2R_n \cdot m)}) \\ &= \frac{1}{9,412 \cdot 240} (1 - \sqrt{1 - 2 \times 1,073 \times 9,412}) = -0,00438 \\ \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot (0,85 \cdot F_c') \cdot 600}{F_y (600 + F_y)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \cdot 600}{240 (600 + 240)} = 0,0645 \\ \rho_{\max} &= 0,75 \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0645 = 0,048\end{aligned}$$

Karena,

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0,0025 &< -0,00438 < 0,048 \quad \rightarrow \text{Pakai } \rho_{\min}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{s,u} &= \rho_{\min} \times b \times d \\ &= 0,0025 \times 1000 \times 133,5 \\ &= 333,75 \text{ mm}^2 \\ S_{\text{Ada}} &= \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{333,75} \\ &= 397,700 \text{ mm} \\ S_{\text{pakai}} &= 150 \text{ mm} \\ A_{s, \text{Ada}} &= \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{150} \\ &= 884,882 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$A_{s,u} > A_{s, \text{Ada}} \quad \rightarrow \text{Aman}$$

Jadi, dipakai tulangan pokok As ada = D 13 – 150

b. Tulangan Lapangan Arah X (Tulangan Pokok)

$$\begin{aligned}M_u &= -0,381 \text{ kNm} \\ \text{Diameter tulangan digunakan} &= 13 \text{ mm} \\ b &= 1000 \text{ mm} \\ \phi &= 0,8 \\ \text{Panjang efektif } (d_x) &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi_x\end{aligned}$$

$$= 160 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (0,5 \times 13)$$

$$= 133,5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{-0,381 \times 10^6}{0,8 \times 1000 \times 133,5^2} = -0,027 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_c'} = \frac{240}{0,85 \times 30} = 9,412$$

Karena mutu baja = 240 Mpa

Maka :

$$\rho_{\min} = 0,0025$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1 (1 - \sqrt{1 - (2R_n \cdot m)})}{m \cdot F_y}$$

$$= \frac{1 (1 - \sqrt{1 - 2 \times -0,027 \times 9,412})}{9,412 \cdot 240} = -0,00011$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot (0,85 \cdot F_c') \cdot 600}{F_y (600 + F_y)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \cdot 600}{240 (600 + 240)} = 0,0645 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0645 = 0,048 \end{aligned}$$

Karena,

$$\begin{array}{ccccc} \rho_{\min} & < & \rho_{\text{perlu}} & < & \rho_{\max} \\ 0,0025 & < & -0,00011 & < & 0,048 \end{array} \rightarrow \text{Pakai } \rho_{\min}$$

$$\begin{aligned} A_s, u &= \rho_{\min} \times b \times d \\ &= 0,0025 \times 1000 \times 133,5 \\ &= 333,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$S_{\text{Ada}} = \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{333,75}$$

$$= 397,700 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ Ada} = \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{150}$$

$$= 884,882 \text{ mm}^2$$

As pakai > As,u → Aman

Jadi, dipakai tulangan pokok As ada = D 13 – 150

c. Tulangan Tumpuan Arah Y (Tulangan Bagi)

$$M_u = -8,834 \text{ kNm}$$

$$\text{Diameter tulangan digunakan} = 10 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang efektif (d}_x) &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi_y - \phi_x \\ &= 160 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (0,5 \times 10) - 13 \\ &= 122 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_u}{b \cdot d^2} = \frac{-8,834 \times 10^6}{0,8 \times 1000 \times 122^2} = -0,042 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_c'} = \frac{240}{0,85 \times 30} = 9,412$$

Karena mutu baja = 240 Mpa

Maka :

$$\rho_{\min} = 0,0025$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1 (1 - \sqrt{1 - (2R_n \cdot m)})}{m \cdot F_y} \\ &= \frac{1 (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,0742 \times 9,41})}{9,412 \cdot 240} = -0,00305 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot (0,85 \cdot F_c') \cdot 600}{F_y (600 + F_y)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \cdot 600}{240 (600 + 240)} = 0,0645 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0645 = 0,048 \end{aligned}$$

Karena,

$$\begin{array}{lll} \rho_{\min} & < & \rho_{\text{perlu}} & < & \rho_{\max} \\ 0,0025 & > & -0,0030 & < & 0,048 \end{array} \rightarrow \text{Pakai } \rho_{\min}$$

$$\begin{aligned} A_{s, u} &= \rho_{\min} \times b \times d \\ &= 0,0025 \times 1000 \times 122 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 305,000 \text{ mm}^2 \\
 S \text{ Ada} &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{305,000} \\
 &= 257,508 \text{ mm} \\
 S \text{ pakai} &= 200 \text{ mm} \\
 As \text{ Ada} &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200} \\
 &= 392,699 \text{ mm}^2 \\
 As \text{ pakai} &> As, u \quad \rightarrow \text{Aman}
 \end{aligned}$$

Jadi, dipakai tulangan pokok As ada = D 10 – 200

d. Tulangan Lapangan Arah Y (Tulangan Bagi)

$$\begin{aligned}
 Mu &= 0,583 \text{ kNm} \\
 \text{Diameter tulangan digunakan} &= 10 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 \phi &= 0,8 \\
 \text{Panjang efektif (d}_x\text{)} &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi_y - \phi_x \\
 &= 160 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (0,5 \times 10) - 13 \\
 &= 122 \text{ mm} \\
 R_n &= \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{0,583 \times 10^6}{0,8 \times 1000 \times 122^2} = 0,049 \text{ Mpa} \\
 m &= \frac{F_y}{0,85 \cdot F_c'} = \frac{240}{0,85 \times 30} = 9,412 \\
 \text{Karena mutu baja} &= 240 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ min} &= 0,0025 \\
 \rho \text{ perlu} &= \frac{1 (1 - \sqrt{1 - (2R_n \cdot m)})}{m \cdot F_y} \\
 &= \frac{1 (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,049 \times 9,412})}{9,412 \cdot 240} = 0,0002 \\
 \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot (0,85 \cdot F_c') \cdot 600}{F_y (600 + F_y)}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \cdot 600}{240 (600 + 240)} = 0,0645$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0645 = 0,048 \end{aligned}$$

Karena,

$$\begin{array}{lll} \rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0,0025 > 0,0002 < 0,048 \end{array} \rightarrow \text{Pakai } \rho_{\text{perlu}}$$

$$\begin{aligned} A_{s,u} &= \rho_{\min} \times b \times d \\ &= 0,0025 \times 1000 \times 122 \\ &= 305,000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{Ada}} &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{305,000} \\ &= 257,508 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{s, \text{Ada}} &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200} \\ &= 392,699 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s, \text{pakai}} > A_{s,u} \rightarrow \text{Aman}$$

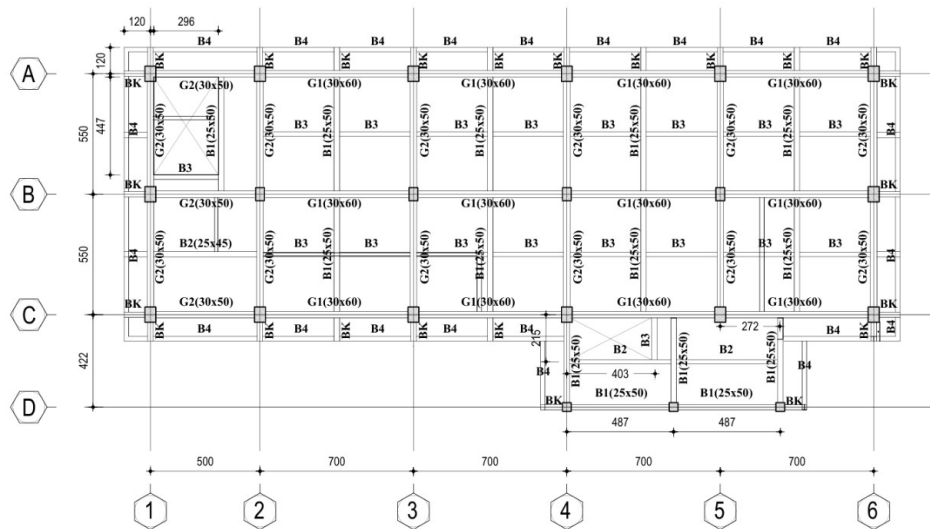
Jadi, dipakai tulangan pokok $A_s \text{ ada} = D 10 - 200$

4.6.3. Perancangan Balok

Perhitungan tulangan lentur balok, tulangan geser dan perhitungan torsi balok dilakukan secara konvensional sebagai bagian dari analisis kapasitas perancangan balok berdasarkan SRPMK untuk menentukan jumlah beban yang diperlukan.

4.6.3.1. Properti Material dan Penampang

Tipe balok yang akan digunakan sebagai contoh perhitungan adalah balok G1 pada tingkat kelima yang ditunjukkan Gambar 4.26.



Gambar 4. 18. Denah Balok G1 Sampel

BAHAN STRUKTUR			
Kuat Tekan Beton	$F_c' =$	30	MPa
Tegangan Leleh Baja (Polos) untuk Tulangan Geser	$F_{ys} =$	240	MPa
Tegangan Leleh Baja (Ulir) untuk Tulangan Lentur	$F_y =$	320	MPa
DIMENSI BALOK RENCANA (BI)			
Lebar Balok	$b =$	300	mm
Tinggi Balok	$h =$	600	mm
Diameter Tulangan Atas dan Bawah	$D =$	19	mm
Diameter Tulangan (Sengkang)	$D =$	10	mm
Selimut Beton	$t_s =$	40	mm
OUTPUT SAP 2000			
Momen Rencana Positif Akibat Beban Terfaktor	$M_u =$	107,233	kNm
Momen Rencana Negatif Akibat Beban Terfaktor	$M_u =$	240,490	kNm
Gaya Geser Rencana Akibat Beban Terfaktor	$V_u =$	175,366	kN
Momen Torsi Rencana Akibat Beban Terfaktor	$T_u =$	36,552	kNm

Tabel 4.28. Data Perencanaan Balok Induk

4.6.3.2. Perhitungan Tulangan Lentur

Faktor Pembentuk Distribusi Tegangan Beton (β_1)

(Pasal 22.2.2.4.3 SNI 2847-2019)

Untuk : $17 \leq F_c' \leq 28$ Mpa

$$(\beta_1) = 0,85$$

Untuk : $28 < F_c' < 55$ MPa

$$(\beta_1) = 0,85 - 0,05 \times (f_c' - 30)/7$$

$$(\beta_1) = 0,85 - 0,05 \times (30 - 28)/7$$

$$(\beta_1) = 0,8357$$

Maka Faktor Pembentuk Distribusi Tegangan Beton(β_1) = **0,8357**

Penentuan Jarak Tulangan

Jarak tulangan terhadap sisi luar beton :

$$d' = ts + 1/2 \phi \text{ tul} + \phi$$

$$d' = 40 + (0,5 \times 19) + 10 \quad d' = 59,5 \text{ mm}$$

Tinggi efektif balok :

$$D = h - d'$$

$$D = 600 - 59,5 \quad d = 540,5 \text{ mm}$$

Menghitung Kebutuhan Tulangan Lentur

Momen Positif (Tulangan Menahan Tarik)

$$Mu = \text{Hasil Output SAP 2000 v14} = 107,223 \text{ kNm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{107,233 \times 10^6}{0,8 \times 300 \times 540,5^2} = 1,529 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{Fy}{0,85 \times Fc'} = \frac{320}{0,85 \times 30} = 12,549$$

$$\text{Karena mutu baja} = 320 \text{ Mpa}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{Fy} \\ &= \frac{1,4}{320} \\ &= 0,00437 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \frac{\sqrt{1 - (2Rn \times m)}}{Fy} \right) \\ &= \frac{1}{12,55} \left(1 - \frac{\sqrt{1 - (2 \times 1,529 \times 12,55)}}{320} \right) \\ &= 0,0049 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \beta_1 \times \frac{(0,85 \cdot f_{c'})}{Fy} \times \frac{600}{(600 + F)} \\ &= 0,85 \times \frac{(0,85 \times 30)}{320} \times \frac{600}{(600 + 3)} \\ &= 0,044 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,044 \\ &= 0,033 \end{aligned}$$

Karena,

$$\begin{array}{rclcl} \rho_{\min} & < & \rho_{\text{perlu}} & < & \rho_{\max} \text{ Tulangan tunggal} \\ 0,00437 & < & 0,0049 & < & 0,033 \text{ Pakai } \rho_{\text{perlu}} \end{array}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,0049 \times 300 \times 540,5 \\ &= 799,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{799,655}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\ &= 2,820 \\ &\approx 3 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ Ada} = 850,59 \text{ mm}^2$$

Maka, dipasang tulangan 3 D 19

→ Cek Bisa Sebaris Tidak $207 < 300$ (Satu Baris)

Cek :

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \text{ ada} \times F_y}{0,85 \times f_c \times b} \\ &= \frac{850,59 \times 320}{0,85 \times 30 \times 300} \\ &= 35,580 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \text{ ada} \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 850,59 \times 320 \times \left(540,5 - \frac{35,58}{2}\right) \\ &= 142275163,41 \text{ Nmm} \\ &= 142,3 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Tahanan Momen Balok

$$\phi M_n = 113,82$$

Syarat :

$$\begin{array}{rcl} \phi M_n & > & M_u \\ 113,82 & > & 107,2229 \quad \text{AMAN} \end{array}$$

Momen Negatif (Tulangan Menahan Tekan)

$$M_u = \text{Hasil Output SAP 2000 v14} = 200,49 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{200,49 \times 10^6}{0,8 \times 300 \times 540,5^2} = 2,859 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \times F_{c'}} = \frac{320}{0,85 \times 25} = 12,549$$

Karena mutu baja = 320 Mpa

Maka,

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{F_y} \\ &= \frac{1,4}{320} \\ &= 0,004375\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \frac{\sqrt{1 - (2R_n \times m)}}{F_y} \right) \\ &= \frac{1}{12,55} \left(1 - \frac{\sqrt{1 - (2 \times 2,859 \times 12,55)}}{320} \right) \\ &= 0,0095\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \beta_1 \times \frac{(0,85 \cdot f_{c'})}{F_y} \times \frac{600}{(600 + F_y)} \\ &= 0,85 \times \frac{(0,85 \times 30)}{320} \times \frac{600}{(600 + 3)} \\ &= 0,0442\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,044 = 0,0331\end{aligned}$$

Karena,

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} && \text{Tulangan tunggal} \\ 0,00437 &< 0,0095 < 0,033 && \text{Pakai } \rho_{\text{perlu}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,0095 \times 300 \times 540,5 \\ &= 1540,830 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= \frac{1540,830}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\ &= 5,434 \\ &\approx 6\end{aligned}$$

$$A_s \text{ Ada} = 1701,17 \text{ mm}^2$$

Maka, dipasang tulangan **6 D 19**

→ Cek Bisa Sebaris Tidak $339 < 300$ (Satu Baris)

Cek :

$$a = \frac{A_s \text{ ada} \times F_y}{0,85 \times f_c \times b}$$

$$= \frac{1701,17 \times 320}{0,85 \times 30 \times 300}$$

$$= 71,160 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 1701,17 \times 320 \times \left(540,5 - \frac{71,16}{2}\right)$$

$$= 274865871,56 \text{ Nmm}$$

$$= 274,9 \text{ kNm}$$

Tahanan Momen Balok

$$\phi M_n = 219,89$$

Syarat :

$$\phi M_n > M_u$$

$$219,89 > 200,490 \quad \text{AMAN}$$

4.6.3.3. Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u = 175,366 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor Reduksi Geser} = 0,75$$

$$\text{Tegangan Leleh Tulangan} = 240 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi \times \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= 0,75 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 300 \times 540,5 \\ &= 111017 \text{ N} \end{aligned}$$

$$= 111,0165 \text{ kN}$$

$$\frac{1}{2} \times \phi V_c = 55,51 \text{ kN}$$

$$V_s = \left(\frac{V_u}{\phi}\right) - V_c$$

$$= \left(\frac{175,366}{0,75}\right) - 111,0165$$

$$= 122,8048 \text{ kN}$$

$$= 122805 \text{ N}$$

$$V_{smin} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$= \frac{1}{3} \times 300 \times 540,5$$

$$= 54050 \text{ N}$$

$$= 54,1 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_{smaks} &= \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= \frac{2}{3} \times \sqrt{30} \times 300 \times 540,5 \\ &= 592088 \text{ N} \\ &= 592 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek :

Jika :

1. $V_u < \frac{1}{2} \times \phi V_c \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser}$
2. $\frac{1}{2} \times \phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \rightarrow \text{Pasang tulangan geser min.}$
3. $\phi V_c \leq V_u \leq V_{smaks} \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$

Karena :

$$\phi V_c \leq V_u \leq V_{s \text{ maks}}$$

$$111,0165 \leq 175,366 \leq 592,088$$

Maka Perlu Tulangan Geser

$$\begin{aligned} A_{Vs} &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \\ S &= \frac{\phi \times A_{Vs} \times F_y \times d}{V_s} \\ &= \frac{0,75 \times 157,08 \times 240 \times 540,5}{122804,82} \\ &= 115,330 \text{ mm} \\ S_{max} &= \frac{d}{2} \\ &= 270,250 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diambil S = 150 mm

Spasi tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur tidak boleh melebihi $\frac{d}{2}$.

$$\begin{aligned} S &< S_{maks} \\ 150,00 &< 270,250 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan ϕ 10 – 200

4.6.3.4. Perhitungan Tulangan Geser dan Torsi

$$V_u = 175366 \text{ N}$$

$$T_u = 36521700 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} C_t &= \frac{b_w \times d}{\Sigma x^2 \times y} \\ &= \frac{300 \times 540,5}{300^2 \times 600} \\ &= 0,0030 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{\frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times b \times d}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,5 \times C_t \times T_u}{V_u} \right)^2}} \\ &= \frac{\frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 300 \times 540,5}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,5 \times 0,003 \times 36521}{175366} \right)^2}} \\ &= 79759,39486 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times V_c \\ &= 0,75 \times 79759,39 \\ &= 59819,54614 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_c &= \frac{\frac{1}{15} \times \sqrt{f_c} \times \Sigma x^2 \times y}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,4 \times V_u}{C_t \times T_u} \right)^2}} \\ &= \frac{\frac{1}{15} \times \sqrt{30} \times 300^2 \times 600}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,4 \times 175366}{0,003 \times 36521700} \right)^2}} \\ &= 16610681,04 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi T_c &= 0,75 \times T_c \\ &= 0,75 \times 16610681,04 \\ &= 12458010,78 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol :

V_u	$\leq$	$5 \times \phi V_c$	
175366	$\leq$	$5 \times 59819,55$	
175366	$\leq$	299097,7307	OK Memenuhi Syarat
T_u	$\leq$	$5 \times \phi T_c$	
36521700	$\leq$	$5 \times 12458010,78$	
36521700	$\leq$	62290053,9	OK Memenuhi Syarat

Maka :

$$\begin{aligned} \phi V_s &= V_u - \phi V_c \\ &= 175366 - 59819,55 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 115546,4539 \text{ N} && \text{Perlu} \\
 \phi T_s &= T_u - \phi T_c \\
 &= 36521700 - 12458010,78 \\
 &= 24063689,22 \text{ N} && \text{Perlu}
 \end{aligned}$$

Menghitung Luasan

Akibat Geser

$$\begin{aligned}
 \frac{A_v}{S} &= \frac{\phi V_s}{\phi F_{ys} \times d} \\
 &= \frac{115546,45}{0,75 \times 240 \times 540,5} \\
 &= 1,188
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_1 &= b - 2 \left(\text{deking} + \frac{1}{2} d \text{ sengkang} \right) \\
 &= 300 - 2 \left(40 + \frac{1}{2} \times 10 \right) \\
 &= 210 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= h - 2 \left(\text{deking} + \frac{1}{2} d \text{ sengkang} \right) \\
 &= 600 - 2 \left(40 + \frac{1}{2} \times 10 \right) \\
 &= 510 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_t &= \frac{2 + \frac{Y_1}{X_1}}{3} \leq 1,5 \\
 &= \frac{2 + \frac{510}{210}}{3} \leq 1,5 \\
 &= 1,476 \leq 1,5
 \end{aligned}$$

Maka, gunakan $\alpha_t 1,317$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_t}{S} &= \frac{\phi T}{\phi \alpha_t \times F_{ys} \times X_1 \times Y_1} \\
 &= \frac{24063689,22}{0,75 \times 1,476 \times 240 \times 210 \times 510} \\
 &= 0,846 \text{ mm}^2/\text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{vt}}{S} &= \frac{A_v}{S} + 2 \times \frac{A_t}{S} \\
 &= 1,19 + 2 \times 0,85 \\
 &= 2,89
 \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan Sengkang (ϕ) = 10 mm

$$S = \frac{2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{2,879}$$

$$= 54,564 \text{ mm}$$

$$\text{Diambil } S \approx 150 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} = d/2$$

$$= 270,25$$

Spasi tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur tidak boleh melebihi $\frac{d}{2}$.

$$S < S_{\text{maks}}$$

$$54,564 < 270,25 \quad \text{OK}$$

Maka dipasang tulangan $\phi 10 - 150$

Kebutuhan Tulangan Memanjang Torsi

$$\begin{aligned} AL &= 2 \times \frac{A_t}{S} \times (X_1 + Y_1) \\ &= 2 \times 0,85 \times (210 + 510) \\ &= 1217,643 \end{aligned}$$

Maka, satu sisi menerima

$$\begin{aligned} \frac{AL}{4} &= \frac{1217,64}{4} \\ &= 304,411 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{304,411}{0,25 \times \pi \times 10^2} \\ &= 3,876 \\ &= 4 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan 2 $\phi 10$

4.6.3.5. Hasil Output SAP 2000

Berikut adalah hasil dari perhitungan perencanaan balok induk menggunakan SAP2000.

Balok Induk		
	MIN	MAX
P =	-1,799	1,799
V2 =	-175,366	172,824
T =	-36,2517	33,4339
M2 =	-0,2236	0,2236
M3 =	-200,4897	107,2229

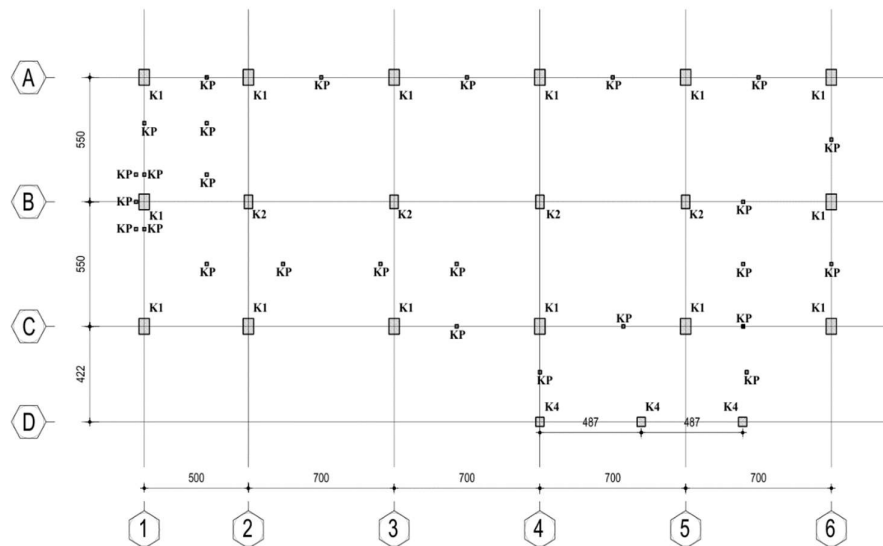
Tabel 4.29. Hasil Output SAP 2000 Balok Induk

4.6.4. Perancangan Kolom

Desain dimensi penampang kolom harus mampu menahan gaya momen dan gaya geser sehingga diperlukan analisis kapasitas desain kolom. Diagram interaksi P_n - M kolom juga disertakan dalam analisis kapasitas desain kolom untuk mengetahui kapasitas kolom terhadap gaya aksial yang menumpunya.

4.6.4.1. Properti Material dan Penampang

Tipe kolom yang akan digunakan sebagai contoh perhitungan adalah kolom K1 pada tingkat pertama yang ditunjukkan Gambar 4. 35.



Gambar 4. 19. Denah Kolom K1 Sampel

4.6.4.2. Pendimensian dan Perhitungan Kolom

A.	Dari Output SAP 2000:			
	Pu	=	1662,204	kN
	Mu	=	200,368	kNm
	e	=	120,544	mm
B.	Direncanakan Ukuran Kolom:			
	b	=	500	mm
	h	=	700	mm
	D	=	19	mm
	Φ	=	10	mm
	ts	=	40	mm
	Fc'	=	30	Mpa
	Fy	=	320	Mpa
	Fys	=	240	Mpa

Tabel 4.30. Data Perencanaan Kolom

4.6.4.3. Perhitungan Tulangan Lentur

Ditaksir $\rho = 2,5 \%$

$$\begin{aligned}
 As' &= As = 0,5 \cdot \rho \cdot b \cdot h \\
 &= 0,5 \times 0,025 \times 500 \times 700 \\
 &= 4375 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{4375}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\
 &= 15,431 \\
 &\approx 16
 \end{aligned}$$

Dipakai Tulangan 16 D 19

Cek Apakah Eksentrisitas (e) Lebih Besar Atau Lebih Kecil Dari Pada Eksentrisitas

Balance (eb)

$$\begin{aligned}
 d' &= ts + \frac{1}{2} \phi \text{ tul} + \phi \\
 &= 40 + \left(\frac{1}{2} \times 19 \right) + 10 \\
 &= 59,5 \leq 70 \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h - d' \\
 &= 700 - 59,5 \\
 &= 640,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$Cb = \frac{600 \cdot d}{600 + Fy'}$$

$$= \frac{600 \cdot 640,5}{600+3}$$

$$= 417,72 \text{ mm}$$

$$ab = \beta_1 \cdot C_b$$

$$= 0,85 \times 417,72$$

$$= 355,059 \text{ mm}$$

Asumsikan Tulangan Sudah Leleh Sehingga $F_s' = F_y$

$$P_{nb} = 0,85 \times f_c' \times ab \times b$$

$$= 0,85 \times 30 \times 355,059 \times 500$$

$$= 4527012,228 \text{ N}$$

$$= 4527,012228 \text{ kN}$$

$$M_{nb} = 0,85 \times f_c' \times ab \times b \left(\frac{h}{2} - \frac{ab}{2} \right) + A_s \times f_y (d-d')$$

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 355,059 \cdot 500 \left(\frac{700}{2} - \frac{355,059}{2} \right) + 4375 \cdot 320 (640,5 - 59,5)$$

$$= 1594174291 \text{ Nmm}$$

$$= 1594174 \text{ kNmm}$$

$$eb = \frac{M_{nb}}{P_{nb}}$$

$$= \frac{1594174}{4527,012228}$$

$$= 352,15 \text{ mm}$$

Karena,

$$e > eb$$

$$120,544 < 352,1 \quad \text{Keruntuhan Tekan}$$

Cek Penampang :

$$P_n = \frac{A_s' \times F_s'}{\frac{e}{(d-d') + 0,5}} + \frac{0,85 \times f_c \times B \times H}{(3h \times e + 1,18)}$$

Dengan :

$$\frac{e}{(d-d')} = \frac{120,544}{640,5 - 59,5} = 0,207$$

$$\frac{3he}{d^2} = \frac{3 \times 700 \times 120,54}{640,5^2} = 0,617$$

Maka :

$$P_n = \frac{4375 \cdot 320}{(0,21+0,5)} + \frac{0,85 \times 30 \times 500 \times 700}{(0,62+1,18)}$$

$$= 6945318,854 \text{ N}$$

$$P_u = \phi \times P_n$$

$$= 4514457,255 \text{ N}$$

$$= 4514,457255 \text{ kN} > 1662,204 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

4.6.4.4. Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u \text{ dari SAP} = 77,942 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor Reduksi Geser} = 0,75$$

$$\text{Tegangan Leleh Tulangan} = 240 \text{ Mpa}$$

$$\phi V_c = \phi \times \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times b \times d$$

$$= 0,75 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 500 \times 640,5$$

$$= 219260 \text{ N}$$

$$= 219,26 \text{ kN}$$

$$\frac{1}{2} \times \phi V_c = 109,630 \text{ Kn}$$

$$V_s = \left(\frac{V_u}{\phi} \right) - V_c$$

$$= \left(\frac{77,942}{0,75} \right) - 219,260$$

$$= -115,338 \text{ kN}$$

$$= -115338 \text{ kN}$$

$$V_{smin} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$= \frac{1}{3} \times 500 \times 640,5$$

$$= 106750 \text{ N}$$

$$= 107 \text{ kN}$$

$$V_{smaks} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c} \times b \times d$$

$$= \frac{2}{3} \times \sqrt{30} \times 500 \times 640,5$$

$$= 1169388 \text{ N}$$

$$= 1169,4 \text{ kN}$$

Cek :

Jika :

1. $V_u < \frac{1}{2} \times \phi V_c \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser}$
2. $\frac{1}{2} \times \phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \rightarrow \text{Pasang tulangan geser min.}$
3. $\phi V_c \leq V_u \leq V_{smaks} \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$

$$\text{Karena : } \frac{1}{2} \cdot \phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c$$

$$\frac{1}{2} \cdot 109,630 \leq 77,942 \leq 109,630$$

Maka Perlu Tulangan Geser Minimum

Dipasang tulangan minimum

$$A_{Vs} = 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\phi \times 3 \times A_{Vs} \times F_y}{b}$$

$$= \frac{0,75 \times 157,08 \times 240}{500}$$

$$= 169,646 \text{ mm}$$

$$\text{Diambil } S = 150 \text{ mm}$$

$$A_{Vs \text{ min}} = \frac{b_w \times S}{3 \times F_y}$$

$$= \frac{500 \times 150}{3 \times 240}$$

$$= 104,17 \text{ mm}^2$$

Maka dipasang tulangan ϕ 10 – 150

4.6.4.5. Hasil Output SAP 2000

Berikut adalah hasil dari perhitungan perencanaan Kolom menggunakan SAP 2000.

Kolom		
	MIN	MAX
P =	-1662,2	-244,696
V2 =	-74,444	77,942
T =	-2,8685	3,1048
M2 =	-184,268	195,6474
M3 =	-198,258	200,3681

Tabel 4.31. Hasil Output SAP 2000 Kolom

4.7. Perancangan Struktur Bawah

4.7.1. Analisa Perhitungan Daya Dukung Pondasi *Bored Pile*

Gravitasi = 10 m/s^2

$$A_p \text{ (Luas)} = 0,25\pi d^2$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times 0,4^2$$

$$= 0,1257 \text{ m}^2$$

$$p \text{ (kll)} = \pi \times d$$

$$= 3,14 \times 0,4$$

$$= 1,2566 \text{ m}$$

a. Metode Resse and Wright

Kapasitas daya dukung adalah kekuatan struktur untuk melayani beban yang diterima dari struktur yang berada di atasnya. Perhitungan kapasitas daya dukung pondasi *bored pile* pada tanah berpasir lanau atau lempung dari data N-SPT menggunakan metode Resse and Wright sebagai berikut :

- Nilai Cu

$$\begin{aligned}
 C_u &= N_{SPT} \times \frac{2}{3} \times 10 \\
 &= 8 \times \frac{2}{3} \times 10 \\
 &= 53,33 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

- Daya Dukung Ujung Pondasi (Qp)

$$\begin{aligned}
 q_p &= 9 \times C_u \\
 &= 9 \times 53,33 \\
 &= 480 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_p &= q_p \times A_p \\
 &= 480 \times 0,1257
 \end{aligned}$$

$$= 60,318 \text{ kN}$$

- Daya Dukung Selimut Pondasi (Qs)

Nilai Gesekan selimut persatuan luas ($f = \alpha \times C_u$), Menurut Reese & Wright (1977)

nilai koefisien untuk tiang bor adalah $\alpha = 0,55$.

$$f = \alpha \times C_u$$

$$= 0,55 \times 53,33$$

$$= 29,33 \text{ kN/m}^2$$

$$\Sigma Q_s = f \times p \times L_i$$

$$= 29,33 \times 1,257 \times 2$$

$$= 73,723 \text{ kN}$$

- Daya Dukung Ultimit Tanah Pondasi Satu Tiang

$$Q_u = Q_p + \Sigma Q_s$$

$$= 60,318 + 73,723$$

$$= 134,04 \text{ kN}$$

Tabel 4. 32. Hasil Perhitungan Daya Dukung Metode Reese and Wright

Depth (m)	N-SPT (blow/ft)	Soil Type	Pile		Calculation						
			D (m)	A (m ²)	Cu	α	q _p	Q _p	f	ΣQ_s	Q _u
2,50	8	Stiff	0,40	0,40	53,333	0,55	480	480	29,333	73,7	134,0
4,50	7	Medium	0,40	0,40	46,667	0,55	420	420	25,667	129,0	181,8
6,50	5	Medium	0,40	0,40	33,333	0,55	300	300	18,333	138,2	175,9
8,50	6	Medium	0,40	0,40	40	0,55	360	360	22	221,2	266,4
10,50	7	Medium	0,40	0,40	46,667	0,55	420	420	25,667	322,5	375,3
12,50	9	Stiff	0,40	0,40	60	0,55	540	540	33	82,9	150,8
14,50	9	Stiff	0,40	0,40	60	0,55	540	540	33	580,6	648,4
16,50	12	Stiff	0,40	0,40	80	0,55	720	720	44	884,7	975,2
18,50	18	Very Stiff	0,40	0,40	120	0,55	1080	1080	66	1492,9	1628,6
20,50	16	Very Stiff	0,40	0,40	106,67	0,55	960	960	58,667	1474,5	1595,1
22,50	23	Very Stiff	0,40	0,40	153,33	0,55	1380	1380	84,333	2331,5	2504,9
24,50	26	Very Stiff	0,40	0,40	173,33	0,55	1560	1560	95,333	2875,2	3071,2
26,50	34	Hard	0,40	0,40	226,67	0,55	2040	2040	124,67	4073,2	4329,5
28,50	32	Hard	0,40	0,40	213,33	0,55	1920	1920	117,33	4128,5	4369,7
30,50	38	Hard	0,40	0,40	253,33	0,55	2280	2280	139,33	5252,7	5539,3
32,50	60	Hard	0,40	0,40	400	0,55	3600	3600	220	8846,7	9299,1

Maka pada kedalaman 28,5 m diperoleh tanah keras yang sudah aman.

- Daya Dukung Ultimit Tanah Pondasi Satu Tiang (Q_u)

$$Q_u = Q_p + \Sigma Q_s$$

$$= 241,274 + 4128,5$$

$$= 4369,7 \text{ kN}$$

- Daya Dukung Ijin Pondasi

Nilai SF adalah 2,5 – 4, maka diambil nilai safety factor = 2,5

$$\frac{Qu}{SF} = \frac{4369,7}{2,5}$$

$$= 1747,9 \text{ kN}$$

- Daya Dukung Kelompok Tiang

Nilai V diambil dari nilai tertinggi dari berat bangunan yang terdistribusi ke pondasi yang dihitung melalui SAP2000 dengan derat bangunan gedung sebesar $V = 1811,033 \text{ kN}$.

$$n = \frac{V}{Q_{all}}$$

$$= \frac{1811,03}{1747,90}$$

$$= 1,04$$

Maka, direncanakan sebanyak 4 bored pile

- Syarat Spasi Antar Tiang

$2,5D < S < 3D$, dengan syarat S pertiang dalam kelompok yang digunakan yaitu perencanaan ini menggunakan nilai $S = 2,75D$.

$$S = 2,75 \times 0,4 = 1,10 \text{ m}$$

Sehingga dapat ditentukan besarnya nilai dari Jumlah baris tiang, $m = 2$ buah dan Jumlah tiang dalam 1 baris, $n = 2$ buah.

- Efisiensi Kelompok Tiang

$$\theta = \text{Arc tg. } \frac{D}{S}$$

$$= \text{Arc tg. } \frac{0,5}{1,1}$$

$$= 21,80$$

- Daya Dukung Ijin Kelompok Tiang

$$Eg = 1 - \theta \times \left\{ \frac{(n-1) \times m + (m-1) \times n}{90 \times m \times n} \right\}$$

$$= 1 - 21,80 \times \left\{ \frac{(2-1) \times 2 + (2-1) \times 2}{90 \times 2 \times 2} \right\}$$

$$= 0,757$$

- Cek daya dukung kelompok tiang

$$\begin{aligned} Q &= n \times Q_{all} \times E_g \\ &= 4 \times 1747,9 \times 0,757 \\ &= 5292,64 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nilai Q_g (5292,64 kN) $\geq$ V (1811,03 kN), maka memenuhi syarat **Aman**

4.7.2. Penulangan Bore Pile

A. Dari Output SAP2000v14 :			
Pu	=	1811,03	KN
Mu	=	194,966	KNm
e	=	107,654	mm
B. Direncanakan Ukuran Bore Pile :			
b	=	400	mm
D	=	16	mm
ϕ	=	10	mm
ts	=	40	mm
Fc'	=	30	MPa
Fy	=	320	MPa
Fys	=	240	MPa

Tabel 4.33. Tabel Perancangan Borepile

4.7.2.1. Perhitungan Tulangan Lentur

Cek Apakah Eksentrisitas (e) Lebih Besar Atau Lebih Kecil Dari Pada Eksentrisitas

Balance (eb)

$$\begin{aligned} d' &= ts + \frac{1}{2} \phi_{tul} + \phi \\ &= 40 + \left(\frac{1}{2} \times 16\right) + 10 \\ &= 58 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 400 - 58 = 342 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{600 \cdot d}{600 + F_y'} \\ &= \frac{600 \cdot 342}{600 + 3} \\ &= 223,04 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ab &= \beta_1 \cdot C_b \\
 &= 0,85 \times 223,04 \\
 &= 224,79 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Ditaksir } \rho = 1,4 \%$$

$$\begin{aligned}
 As' &= As = \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0143 \cdot 14.400 \\
 &= 1915,20 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{1915,20}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\
 &= 9,525 \\
 &\approx 10
 \end{aligned}$$

Dipakai Tulangan 10 D 16

Asumsikan Tulangan Sudah Leleh Sehingga $F_s' = F_y$

$$\begin{aligned}
 Pnb &= 0,85 \times f_c' \times ab \times b \\
 &= 0,85 \times 30 \times 189,587 \times 400 \\
 &= 1933786,957 \text{ N} \\
 &= 1933,757 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mnb &= 0,85 \times f_c' \times ab \times b \left(\frac{h}{2} - \frac{ab}{2} \right) + As \times f_y (d - d') \\
 &= 0,85 \cdot 30 \cdot 189,587 \cdot 400 \left(\frac{400}{2} - \frac{189,57}{2} \right) + 1915 \cdot 20 (342 - 58) \\
 &= 377400375 \text{ Nmm} \\
 &= 377500 \text{ kNmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 eb &= \frac{Mnb}{Pnb} \\
 &= \frac{377500}{1933,787} \\
 &= 195,21 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena,

$$e > eb$$

$$107,654 < 195,2 \quad \textbf{Keruntuhan Tekan}$$

Cek Penampang :

$$P_n = \frac{As' \times F_s'}{(d - d') + 0,5} + \frac{0,85 \times f_c \times B \times H}{(3h \times e + 1,18)}$$

Dengan :

$$\frac{e}{(d - d')} = \frac{107,654}{342 - 58} = 0,379$$

$$\frac{3he}{d^2} = \frac{3 \times 400 \times 107,65}{343^2} = 1,104$$

Maka :

$$P_n = \frac{1915,2 \cdot 320}{(0,38+0,5)} + \frac{0,85 \times 30 \times 400 \times 400}{(1,1+1,18)}$$

$$= 2483135,042 \text{ N}$$

$$P_u = \phi \times P_n$$

$$= 1862351,281 \text{ N}$$

$$= 1862,351 \text{ kN} > 1811,033 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

4.7.2.2.Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u \text{ dari SAP} = 79,125 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor Reduksi Geser} = 0,75$$

$$\text{Tegangan Leleh Tulangan} = 240 \text{ Mpa}$$

$$\phi V_c = \phi \times \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times b \times d$$

$$= 0,75 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 400 \times 342$$

$$= 40140 \text{ N}$$

$$= 40,14 \text{ kN}$$

$$\frac{1}{2} \times \phi V_c = 20,07 \text{ kN}$$

$$V_s = \left(\frac{V_u}{\phi} \right) - V_c$$

$$= \left(\frac{79,125}{0,75} \right) - 40,14$$

$$= 65360 \text{ N}$$

$$= 65,36 \text{ kN}$$

$$V_{smin} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$= \frac{1}{3} \times 400 \times 342$$

$$= 45600 \text{ N}$$

$$= 46 \text{ kN}$$

$$V_{smaks} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c} \times b \times d$$

$$= \frac{2}{3} \times \sqrt{30} \times 400 \times 342$$

$$= 499523 \text{ N}$$

$$= 499,5 \text{ kN}$$

Cek :

Jika :

$$V_u < \frac{1}{2} \times \phi V_c \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser}$$

$$\frac{1}{2} \times \phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \rightarrow \text{Pasang tulangan geser min.}$$

$$\phi V_c \leq V_u \leq V_{smaks} \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$$

Karena : $\phi V_c \leq V_u \leq V_{smaks}$

$$40,14 \leq 79,125 \leq 499,5$$

Maka Perlu Tulangan Geser Minimum

Dipasang tulangan minimum

$$A_{Vs} = 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

$$\text{Sada} = \frac{\phi \times A_{Vs} \times F_y}{b}$$

$$= \frac{0,75 \times 157,08 \times 240}{650}$$

$$= 169,646 \text{ mm}$$

$$\text{Diambil S} = 150 \text{ mm}$$

$$A_{Vs \text{ min}} = \frac{b_w \times S}{3 \times F_y}$$

$$= \frac{400 \times 150}{3 \times 240}$$

$$= 83,33 \text{ mm}^2$$

Maka dipasang tulangan $\phi 10 - 150$

4.7.3. Perancangan Pile Cap

4.7.3.1. Data Bahan Pilecap

$$\text{Kuat tekan beton} : f'_c = 30,00 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat leleh baja tulangan deform (} \emptyset > 12 \text{ mm)} : f_y = 320 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat leleh baja tulangan polos (} \emptyset \leq 12 \text{ mm)} : f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$\text{Berat beton bertulang} : f_y = 24 \text{ kN/m}^3$$

4.7.3.2. Data Dimensi Pilecap

$$\text{Lebar kolom arah x} : b_x = 0,50 \text{ m}$$

$$\text{Lebar kolom arah y} : b_y = 0,70 \text{ m}$$

Jarak bore pile tepi terhadap sisi luar beton	: a	= 0,30 m
Tebal pilecap	: h	= 0,70 m
Tebal tanah di atas pilecap	: z	= 0,75 m
Berat volume tanah di atas pilecap	: w _s	= 17,60 kN/m ³
Posisi kolom (dalam = 40, tepi = 30, sudut = 20)	: a _s	= 40
Gaya aksial kolom akibat beban terfaktor	: P _{uk}	= 1811,03 kN
Momen arah x akibat beban terfaktor	: M _{ux}	= 199,65 kNm
Momen arah y akibat beban terfaktor	: M _{uy}	= 195,65 kNm
Gaya lateral arah x akibat beban terfaktor	: H _{ux}	= 77,94 kN
Gaya lateral arah y akibat beban terfaktor	: H _{uy}	= 75,15 kN
Tahanan aksial bore pile		= 225,03 kN
Tahanan lateral bore pile		= 116,4 kN

4.7.3.3. Data Susun Bore Pile

No.	Jumlah n	x (m)	n * x ² (m ²)	No.	Jumlah n	y (m)	n * y ² (m ²)
1	2	0,75	1,13	1	2	0,75	1,13
2	2	0,75	1,13	2	2	0,75	1,13
n =	4	S x² =	2,25	n =	4	S y² =	2,25
Lebar pilecap arah x				L_x = 2,10			
Lebar pilecap arah y				L_y = 2,10			

Tabel 4.34. Data Penyusunan Borepile

4.7.3.4. Gaya Aksial Pada Bore pile

- Berat tanah di atas pilecap

$$W_s = L_x * L_y * z * w_s = 58,21 \text{ kN}$$
- Berat pilecap

$$W_c = L_x * L_y * h * w_c = 74,09 \text{ kN}$$
- Total gaya aksial terfaktor

$$P_u = P_{uk} + 1.2 * W_s + 1.2 * W_c = 1969,79 \text{ kN}$$
- Lengan maksimum bore pile arah x terhadap Pusat

$$x_{max} = 0,75 \text{ m}$$
- Lengan maksimum bore pile arah y terhadap Pusat

$$y_{max} = 0,75 \text{ m}$$

- Lengan minimum bore pile arah x terhadap Pusat
 $x_{\min} = 0,75 \text{ m}$
- Lengan minimum bore pile arah y terhadap Pusat
 $y_{\min} = 0,75 \text{ m}$
- Gaya aksial maksimum dan minimum pada bore pile

$$p_{\text{umax}} = P_u/n + M_{ux} * x_{\max}/S_x^2 + M_{uy} * y_{\max}/S_y^2 = 624,21 \text{ kN}$$

$$p_{\text{umin}} = P_u/n + M_{ux} * x_{\min}/S_x^2 + M_{uy} * y_{\min}/S_y^2 = 624,21 \text{ kN}$$

Syarat : $p_{\text{umax}} \leq f * P_n$
 $624,21 < 1747,90 \rightarrow \text{AMAN}$

4.7.3.5. Gaya Lateral Pada Bore pile

- Gaya lateral arah x pada tiang : $h_{ux} = H_{ux} / n = 19,49 \text{ kN}$
 Gaya lateral arah y pada tiang : $h_{uy} = H_{uy} / n = 18,79 \text{ kN}$
 Gaya lateral kombinasi dua arah : $h_{\text{umax}} = \sqrt{(h_{ux}^2 + h_{uy}^2)} = 27,07 \text{ kN}$
 Syarat : $h_{\text{umax}} \leq f * H_n$
 $27,07 < 74,50 \rightarrow \text{AMAN}$

4.7.3.6. Tinjauan Geser Arah X

- Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton: $d' = 0,150 \text{ m}$
- Tebal efektif pilecap : $d = h - d' = 0,550 \text{ m}$
- Jarak bidang kritis terhadap sisi luar : $c_x = (L_x - b_x - d)/2 = 0,525 \text{ m}$
- Berat beton : $W_1 = c_x * L_y * h * w_c = 18,522 \text{ kN}$
- Berat tanah : $W_2 = c_x * L_y * z * w_s = 14,553 \text{ kN}$
- Gaya geser arah x : $V_{ux} = p_{\text{umax}} - W_1 - W_2 = 591,140 \text{ kN}$
- Lebar bidang geser untuk tinjauan arah x : $b = L_y = 2100 \text{ mm}$
- Tebal efektif pilecap : $d = 550 \text{ mm}$
- Rasio sisi panjang thd sisi pendek kolom : $b_c = b_x/b_y = 0,71$
- Kuat geser pilecap arah x, diambil nilai terkecil dari V_c yang diperoleh dari persamaan sebagai berikut :

$$V_c = [1+2/b_c] * \sqrt{f_c'} * b * d / 6 * 10^{-3} = 4006,591 \text{ kN}$$

$$V_c = [a_s * d / b + 2] * \sqrt{f_c'} * b * d / 12 * 10^{-3} = 6577,235 \text{ kN}$$

$$V_c = 1/3 * \sqrt{f_c'} * b * d * 10^{-3} = 2108,732 \text{ kN}$$

- Diambil, kuat geser pilecap : $V_c = 2108,732 \text{ kN}$

- Faktor reduksi kekuatan geser : $f = 0,75$

- Kuat geser pilecap : $f * V_c = 1581,549 \text{ kN}$

Syarat yang harus dipenuhi, $f * V_c \geq V_{ux}$

$$1581,549 > 591,140 \rightarrow \text{AMAN}$$

4.7.3.7. Tinjauan Geser Arah Y

- Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton : $d' = 0,150 \text{ m}$

- Tebal efektif pilecap : $d = h - d' = 0,550 \text{ m}$

- Jarak bidang kritis terhadap sisi luar : $c_y = y_1 + a - (b_y + d) / 2 = 0,425 \text{ m}$

- Berat beton : $W_1 = c_y * L_x * h * w_c = 14,994 \text{ kN}$

- Berat tanah : $W_2 = c_y * L_x * z * w_s = 11,781 \text{ kN}$

- Gaya geser arah y : $V_{ux} = p_{umax} - W_1 - W_2 = 597,440 \text{ kN}$

- Lebar bidang geser untuk tinjauan arah y : $b = L_x = 2100 \text{ mm}$

- Tebal efektif pilecap : $d = 550 \text{ mm}$

- Rasio sisi panjang thd sisi pendek kolom : $b_c = b_x / b_y = 0,71$

- Kuat geser pilecap arah y, diambil nilai terkecil dari V_c yang diperoleh dari persamaan sebagai berikut :

$$V_c = [1+2/b_c] * \sqrt{f_c'} * b * d / 6 * 10^{-3} = 4006,591 \text{ kN}$$

$$V_c = [a_s * d / b + 2] * \sqrt{f_c'} * b * d / 12 * 10^{-3} = 6577,235 \text{ kN}$$

$$V_c = 1/3 * \sqrt{f_c'} * b * d * 10^{-3} = 2108,732 \text{ kN}$$

- Diambil, kuat geser pilecap : $V_c = 2108,732 \text{ kN}$

- Faktor reduksi kekuatan geser : $f = 0,75$

- Kuat geser pilecap : $f * V_c = 1581,549 \text{ kN}$

Syarat yang harus dipenuhi, $f * V_c \geq V_{ux}$

$$2396,286 > 626,478 \rightarrow \text{AMAN}$$

4.7.3.8. Tinjauan Geser Dua Arah (Pons)

- Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton : $d' = 0,150 \text{ m}$
- Tebal efektif pilecap : $d = h - d' = 0,55 \text{ m}$
- Lebar bidang geser pons arah x : $B_x = b_x + d = 1,05 \text{ m}$
- Lebar bidang geser pons arah y : $B_y = b_y + d = 1,25 \text{ m}$
- Gaya geser pons akibat beban terfaktor pada kolom : $P_{uk} = 1811,03 \text{ kN}$
- Luas bidang geser pons : $A_p = 2 * (B_x + B_y) * d = 2,53 \text{ m}^2$
- Lebar bidang geser pons : $b_p = 2 * (B_x + B_y) = 4,60 \text{ m}$
- Rasio sisi panjang thd. sisi pendek kolom : $b_c = b_x / b_y = 0,71$
- Tegangan geser pons, diambil nilai terkecil dari f_p yang diperoleh dari persamaan sebagai berikut :
 - $f_p = [1 + 2/b_c] * \sqrt{f_c'} / 6 = 3,469 \text{ MPa}$
 - $f_p = [a_s * d / b_p + 2] * \sqrt{f_c'} / 12 = 3,096 \text{ MPa}$
 - $f_p = 1/3 * \sqrt{f_c'} = 1,826 \text{ MPa}$
- Tegangan geser pons yang disyaratkan : $f_p = 1,826 \text{ MPa}$
- Faktor reduksi kekuatan geser pons : $f = 0,75$
- Kuat geser pons : $f * V_{np} = f * A_p * f_p * 10^3 = 3464,35 \text{ kN}$

Syarat : $f * V_{np} \geq P_{uk}$

$$3464,345 > 1811,033 \rightarrow \text{AMAN}$$

4.7.4. Pembesian Pilecap

4.7.4.1. Tulangan Lentur Arah X

- Jarak tepi kolom terhadap sisi luar pilecap :
 - $c_x = (L_x - b_x) / 2 = 0,800 \text{ m}$
- Jarak tiang thd. sisi kolom :
 - $e_x = c_x - a = 0,500 \text{ m}$
- Berat beton :
 - $W_1 = c_x * L_y * h * w_c = 28,224 \text{ kN}$

- Berat tanah :

$$W_2 = c_x * L_y * z * w_s = 22,176 \text{ kN}$$
- Momen yang terjadi pada pilecap :

$$M_{ux} = p_{umax} * e_x - W_1 * c_x / 2 - W_2 * c_x / 2 = 291,947 \text{ kNm}$$
- Lebar pilecap yang ditinjau : $b = L_y = 2100 \text{ mm}$
- Tebal pilecap : $h = 700 \text{ mm}$
- Jarak pusat tulangan thd. sisi luar beton ; $d' = 150 \text{ mm}$
- Tebal efektif plat : $d = h - d' = 550 \text{ mm}$
- Kuat tekan beton : $f_c' = 30 \text{ MPa}$
- Kuat leleh baja tulangan : $f_y = 320 \text{ MPa}$
- Modulus elastis baja : $E_s = 200000 \text{ MPa}$
- Faktor distribusi teg. Beton : $b_1 = 0.85$

$$r_b = b_1 * 0.85 * f_c' / f_y * 600 / (600 + f_y) = 0,044174592$$
- Faktor reduksi kekuatan lentur : $f = 0,80$

$$R_{max} = 0,75 * r_b * f_y * [1 - \frac{1}{2} * 0,75 * r_b * f_y / (0,85 * f_c')] = 8,398$$

$$M_n = M_{ux} / f = 364,934 \text{ kNm}$$

$$R_n = M_n * 10^6 / (b * d^2) = 0,574$$

$$R_n < R_{max}$$

$$0,574 < 8,398 \rightarrow \text{OK}$$
- Rasio tulangan yang diperlukan :

$$r = 0,85 * f_c' / f_y * [1 - \sqrt{1 - 2 * R_n / (0,85 * f_c')}] = 0,0018$$
- Rasio tulangan minimum : $r_{min} = 0,0025$
- Rasio tulangan yang digunakan $\rightarrow r = 0,0025$
- Luas tulangan yang diperlukan

$$A_s = r * b * d = 2887,50 \text{ mm}^2$$
- Diameter tulangan yang digunakan : $D = 19 \text{ mm}$
- Jarak tulangan yang diperlukan

$$s = p / 4 * D^2 * b / A_s = 206 \text{ mm}$$
- Jarak tulangan maksimum : $s_{max} = 150 \text{ mm}$
- Jarak tulangan yang digunakan : $s = 162 \text{ mm}$
- Digunakan tulangan : $D19 - 150$

- Luas tulangan terpakai :

$$A_s = p/4 \cdot D^2 \cdot b/s = 3969,40 \text{ mm}^2$$

4.7.4.2. Tulangan Lentur Arah Y

- Jarak tepi kolom terhadap sisi luar pilecap :

$$c_y = y_1 + a - b_y / 2 = 0,70 \text{ m}$$

- Jarak tiang thd. sisi kolom :

$$e_y = c_y - a = 0,40 \text{ m}$$

- Berat beton :

$$W_1 = c_y \cdot L_x \cdot h \cdot w_c = 24,70 \text{ kN}$$

- Berat tanah :

$$W_2 = c_y \cdot L_x \cdot z \cdot w_s = 19,40 \text{ kN}$$

- Momen yang terjadi pada pilecap :

$$M_{uy} = p_{umax} \cdot e_y - W_1 \cdot c_y / 2 - W_2 \cdot c_y / 2 = 234,251 \text{ kNm}$$

- Lebar pilecap yang ditinjau : $b = L_x = 2100 \text{ mm}$

- Tebal pilecap : $h = 700 \text{ mm}$

- Jarak pusat tulangan thd. sisi luar beton ; $d' = 150 \text{ mm}$

- Tebal efektif plat : $d = h - d' = 550 \text{ mm}$

- Kuat tekan beton : $f'_c = 30 \text{ MPa}$

- Kuat leleh baja tulangan : $f_y = 320 \text{ MPa}$

- Modulus elastis baja : $E_s = 200000 \text{ MPa}$

- Faktor distribusi teg. Beton : $b_1 = 0,85$

$$r_b = b_1 \cdot 0,85 \cdot f'_c / f_y \cdot 600 / (600 + f_y) = 0,044$$

- Faktor reduksi kekuatan lentur : $\phi = 0,80$

$$R_{max} = 0,75 \cdot r_b \cdot f_y \cdot [1 - \frac{1}{2} \cdot 0,75 \cdot r_b \cdot f_y / (0,85 \cdot f'_c)] = 8,398$$

$$M_n = M_{uy} / \phi = 292,814 \text{ kNm}$$

$$R_n = M_n \cdot 10^6 / (b \cdot d^2) = 0,461$$

$$R_n < R_{max}$$

$$0,461 < 8,398 \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan yang diperlukan :

$$r = 0,85 \cdot f'_c / f_y \cdot [1 - \sqrt{1 - 2 \cdot R_n / (0,85 \cdot f'_c)}] = 0,0015$$

- Rasio tulangan minimum : $r_{min} = 0,0025$

- Rasio tulangan yang digunakan $\rightarrow r = 0,0025$

- Luas tulangan yang diperlukan
 $A_s = r \cdot b \cdot d = 2887,50 \text{ mm}^2$
- Diameter tulangan yang digunakan : D = 19 mm
- Jarak tulangan yang diperlukan
 $s = p/4 \cdot D^2 \cdot b / A_s = 206 \text{ mm}$
- Jarak tulangan maksimum : $s_{\max} = 200 \text{ mm}$
- Jarak tulangan yang digunakan : s = 150 mm
- Digunakan tulangan : D19 - 150
- Luas tulangan terpakai :
 $A_s = p/4 \cdot D^2 \cdot b / s = 3969,40 \text{ mm}^2$

4.7.4.3. Tulangan Susut

- Rasio tulangan susut minimum : $r_{smin} = 0,0012$
- Luas tulangan susut arah x :
 $A_{sx} = r_{smin} \cdot b \cdot d = 1386 \text{ mm}^2$
- Luas tulangan susut arah y :
 $A_{sy} = r_{smin} \cdot b \cdot d = 1386 \text{ mm}^2$
- Diameter tulangan yang digunakan : $\emptyset = 10 \text{ mm}$
- Jarak tulangan susut arah x : $s_x = p/4 \cdot \emptyset^2 \cdot b / A_{sx} = 100 \text{ mm}$
- Jarak tulangan susut maksimum arah x : $s_{x,\max} = 150 \text{ mm}$
- Jarak tulangan susut arah x yg digunakan : $s_x = 100 \text{ mm}$
- Jarak tulangan susut arah y : $s_y = p/4 \cdot \emptyset^2 \cdot b / A_{sy} = 100 \text{ mm}$
- Jarak tulangan susut maksimum arah y : $s_{y,\max} = 150 \text{ mm}$
- Jarak tulangan susut arah y yg digunakan : $s_y = 100 \text{ mm}$
- Digunakan tulangan susut arah x : $\emptyset 10 - 100$
- Digunakan tulangan susut arah y : $\emptyset 10 - 100$

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis desain Gedung Kantor Bina Marga dan Cipta Karya 4 Lantai yang dirancang sesuai dengan peraturan yang ada di Indonesia, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Desain komponen struktur dengan mengacu pada SNI 2847 -2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung berikut adalah hasil yang didapat:
 - a. Kolom dimensi 500 x 700 mm direncanakan dengan diameter tulangan longitudinal = 19, diameter tulangan transversal = 10. Penulangan kolom yang direncanakan tulangan utama 16 D19 dengan sengkang $\phi 10 - 100$ untuk tumpuan dan $\phi 10 - 150$ untuk lapangan.
 - b. Balok dimensi 300 x 600 mm direncanakan dengan diameter tulangan longitudinal = 19, diameter tulangan transversal = 10. Tulangan balok yang direncanakan tumpuan atas 6D19 dan area tumpuan bawah 3D19 dengan sengkang pada area tumpuan $\phi 10 - 100$, sedangkan untuk area lapangan didapat 3D19 untuk area lapangan atas dan bawah didapat 6D19 dengan sengkang pada area lapangan $\phi 10 - 150$ serta tulangan torsi 2 $\phi 10$.
 - c. Pelat dimensi 2750 x 2750 mm direncanakan dengan diameter tulangan 10 dan tebal pelat 120 mm. Jadi perancangan elemen pelat dengan tebal pelat 120 mm didapat hasil tulangan D10 – 100.
2. Berdasarkan analisis yang didapat dengan mengacu peraturan SNI 1726 - 2019 tentang Tata Cara Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non- Gedung didapatkan hasil sebagai berikut:
 - a. Pada partisipasi massa bangunan 100% diperoleh jumlah ragam 12 ragam. Mode 1 translasi arah y 100% sebesar 3,22 detik, mode 2 mengalami translasi arah x 97% sebesar 2,90 detik, sedangkan mode 3 mengalami rotasi 97% dengan nilai 2,90 detik.
 - b. Kontrol simpangan antar tingkat aman karena tidak ada simpangan arah X

maupun arah Y yang melebihi batas limit sebesar 93,75 mm. Nilai terbesar yaitu sebesar 35,098 mm pada lantai menara.

3. Perancangan struktur bawah pondasi dan pile cap didapat hasil berikut :

- a. Desain pondasi borepile dengan diameter 0,4 m dengan total kedalaman 28,5 m dengan kebutuhan jumlah tiang 4 buah dan nilai daya dukung aksial pondasi tiang kelompok sebesar 1811,033 kN, sedangkan beban aksial yang diberikan ke pondasi tiang kelompok sebesar 1747,90 kN, artinya beban tersebut lebih kecil dari tahanan aksial. Penulangan bore pile yang direncanakan tulangan utama 10 D16 dengan sengkang $\phi 10 - 150$.
- b. Desain penulangan lentur pada pile cap direncanakan telah mampu menahan gaya yang bekerja pada tiap kelompok tiang pondasi yang telah dirancang, dengan tulangan lentur ukuran D19 – 150 dan diperlukan tulangan susut ukuran $\phi 10 - 150$.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis permodelan Gedung Kantor Bina Marga dan Cipta Karya 4 Lantai, didapatkan beberapa saran meliputi:

1. Perancangan yang melibatkan program software seperti SAP2000 sebaiknya dilakukan dengan memahami cara kerja dari software tersebut, agar tidak terjadi kekeliruan saat melakukan perancangan.
2. Saat melakukan perancangan harus mengikuti SNI terbaru yang telah dibuat mengikuti kondisi yang berubah seiring berjalannya waktu.
3. Pemahaman dan ketelitian terkait peraturan yang berlaku serta ketrampilan dalam penggunaan software analisa struktur harus selalu ditingkatkan.
4. Perancangan permodelan struktur yang dilakukan sebaiknya dilakukan dengan mempertimbangkan banyak aspek selain bahwa struktur aman, juga harus diperhatikan efisiensi dari struktur yang dirancang.

DAFTAR PUSTAKA

- Frinsilia Jaglien Liando dkk (2020). *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Kuliah 5 Lantai. Jurnal Sipil Statik*. Volume 8, Nomor 4: 471-482. Manado: Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Ramadhan, D. R., & Firmansyah, R. (2023). *Perancangan Ulang Gedung Fasilitas Pendidikan 10 Lantai*. Tugas Akhir Teknik Sipil: Universitas Islam Sultan Agung.
- Mutholib, A., & Numusawa, B. A. 2023. *Perancangan Ulang Gedung Asrama Putri 10 Lantai Universitas Islam Sultan Agung*. Tugas Akhir Teknik Sipil: Universitas Islam Sultan Agung.
- Rajatman, Buyung, dan Amin Marzuki. 2024. *Perancangan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Gedung Fasilitas Pendidikan 11 Lantai*. Tugas Akhir Teknik Sipil: Universitas Islam Sultan Agung.
- Asy'arie, Farhan Nur, dan Satrio Wicaksono. 2024. *Redesain Struktur Gedung Empat Lantai Berdasarkan SNI 1726:2019*. Tugas Akhir Teknik Sipil: Universitas Islam Sultan Agung.
- Standardisasi Nasional Indonesia. (2017). SNI 2052:2017 Baja Tulangan Beton. BSN, Jakarta, Indonesia.
- Standardisasi Nasional Indonesia. (2019). SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. BSN, Jakarta, Indonesia.
- Standardisasi Nasional Indonesia. (2019). SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. BSN, Jakarta, Indonesia.
- Standardisasi Nasional Indonesia. (2020). SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. BSN, Jakarta, Indonesia.