

TUGAS AKHIR

“PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG UNTUK GEDUNG LABORATORIUM TERPADU 5 LANTAI”

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan Pendidikan
Program Sarjana (S1) Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil
Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

Nabila Ainanda

30.2018.00.143

Nabilla Sukma Putri

30.2018.00.145

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

2022

HALAMAN PENGESAHAN

PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG UNTUK GEDUNG LABORATORIUM TERPADU 5 LANTAI



Nabila Ainanda
NIM : 30.2018.00.143



Nabilla Sukma Putri
NIM : 30.2018.00.145

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 1 Januari 2022

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Prof.Dr.Ir. Antonius, MT.**
NIDN: 06-0504-6703
2. **Lisa Fitriyana, ST.,M.Eng**
NIDN: 06-0501-6802
3. **Dr. Ir.H. Sumirin, MS**
NIDN: 00-0405-6302

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 06-2505-9102

USULAN PENELITIAN TUGAS AKHIR

“PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG UNTUK GEDUNG LABORATORIUM TERPADU 5 LANTAI”

Yang diajukan oleh :

Nabila Ainanda

NIM : 30.2018.00.143

Nabilla Sukma Putri

NIM : 30.2018.00.145

Telah disetujui oleh :

Kamis, 17 Maret 2022

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

Kamis, 17 Maret 2022

Pembimbing Pendamping



Lisa Fitriyana, ST., M.Eng

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng



BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 20/A.2/SA-T/IX/2021

Pada hari ini tanggal 24 - 03 - 2022 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Prof. Dr. Ir. Antonius, MT.
Jabatan Akademik : Guru Besar
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Nabila Ainanda

Nabilla Sukma Putri

NIM : 30.2018.00.143

NIM : 30.2018.00.145

Judul : PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG UNTUK GEDUNG LABORATORIUM TERPADU 5 LANTAI

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	27/09/2021	-
2	Proposal	19/10/2022	ACC
3	Pengumpulan data	21/11/2022	-
4	Analisis data	02/12/2022	-
5	Penyusunan laporan	02/01/2022	-
6	Selesai laporan	17/03/2022	ACC

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

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Pendamping

Prof. Dr. Ir. Antonius, MT.

Lisa Fitriyana, ST., M.Eng



Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nabila Ainanda

NIM : 30.2018.00.143

Nama : Nabilla Sukma Putri

NIM : 30.2018.00.145

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :
**“PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG UNTUK GEDUNG
LABORATORIUM TERPADU 5 LANTAI”** Benar bebas dari plagiat, dan
apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi
sesuai ketentuan yang berlaku.

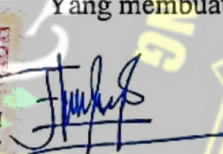
Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana
mestinya.

Semarang, 17 Maret 2022
Yang membuat pernyataan,



Nabila Ainanda

NIM : 30.2018.00.143



Nabilla Sukma Putri

NIM : 30.2018.00.145

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nabila Ainanda
NIM : 30.2018.00.143
Nama : Nabilla Sukma Putri
NIM : 30.2018.00.145
JUDUL : PERENCANAAN STRUKTUR BETON
BERTULANG UNTUK GEDUNG
LABORATORIUM TERPADU 5 LANTAI

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 ijasah 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, 17 Maret 2022
Yang membuat pernyataan,



Nabila Ainanda

NIM : 30.2018.00.143



Nabilla Sukma Putri

NIM : 30.2018.00.145

MOTTO

“Kamu adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang ma`ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah.”

(Q.S. Ali Imron : 10)

“Maka sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(Q.S. Al-Insyirah : 5)

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum, sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri”

(Q.S. Ar-Rad : 11)

“Pengetahuan yang baik adalah yang memberikan manfaat, bukan hanya diingat”

(Imam Syafi'i)

“*Success needs a process, when the pain of an obstacle is too great, challenge yourself to be stronger*”

“Seseorang yang tidak pernah melakukan suatu kesalahan, maka ia tidak pernah mencoba sesuatu yang baru”

(Albert Einstein)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya tercinta, Bapak Mochammad Ainan dan Ibu Subatin Munfa'ati yang senantiasa selalu memberikan do'a, kasih sayang, dorongan motivasi, semangat dan dukungan secara moral maupun secara materiil.
2. Saudara saya tercinta, Muhammad Irfan Arrayyan, Natasya Salsabila, Muhammad Hanief Dafa' yang senantiasa selalu memberikan do'a, semangat dan dukungan secara moral maupun secara materiil.
3. Dosen pembimbing Tugas Akhir saya Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT., dan Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng., yang telah membimbing kami sepenuh hati untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang sangat bermanfaat dan sangat berguna selama saya menuntut ilmu di Fakultas Teknik UNISSULA.
5. Saudari Nabilla Sukma Putri rekan Tugas Akhir, teman seperjuangan, dan saudara seiman.
6. Sahabat – sahabat saya Viola, Chandra, Ririn, Nia, Natasya yang telah membantu dan memberikan saya dorongan motivasi selama menyusun tugas akhir dan kenangan yang tak terlupakan selama kuliah.
7. Sahabat – sahabat saya dari grup cacil yaitu Alsaena, dan Vania yang telah membantu dan memberikan semangat kepada saya.
8. Sahabat – sahabat saya dari SMA yaitu Kinanti, Ismalia, Dinda, Alya, Renata, Ida, dan Chintya yang telah membantu dan memberikan semangat kepada saya.
9. Teman – teman saya Bayu Prastawa, Alvian, Mas Anang, dan Intan yang telah membantu dan memberikan semangat kepada saya.
10. Teman – teman Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil 2018 dan seluruh Mahasiswa Teknik UNISSULA.

Nabila Ainanda

NIM : 30.2018.00.143

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya tercinta, Bapak Moch Syaifullah dan Ibu Wasinah yang senantiasa selalu memberikan do'a, kasih sayang, dorongan motivasi, semangat dan dukungan secara moral maupun secara materiil.
2. Kedua adik saya tercinta, Sahnaz Angelina Putri dan Muchammad Farhansyah yang senantiasa selalu memberikan do'a, semangat dan dukungan secara moral maupun secara materiil.
3. Dosen pembimbing Tugas Akhir saya Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT., dan Ibu Lisa yang telah membimbing kami sepenuh hati untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang sangat bermanfaat dan sangat berguna selama saya menuntut ilmu di Fakultas Teknik UNISSULA.
5. Saudari Nabila Ainanda rekan Tugas Akhir, teman seperjuangan, dan saudara seiman.
6. Sahabat – sahabat saya Viola, Chandra, Ririn, Nia, Natasya yang telah membantu dan memberikan saya dorongan motivasi selama menyusun tugas akhir dan kenangan yang tak terlupakan selama kuliah.
7. Sahabat – sahabat saya Rintya, Siti, Dhea, Errin, Nadya, Cimol yang telah membantu dan memberikan semangat kepada saya.
8. Teman – teman saya Bayu Prastawa, Alvin, Alvian, Muchtar, dan Inkaana yang telah membantu dan memberikan semangat kepada saya.
9. Teman – teman Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil 2018 dan seluruh Mahasiswa Teknik UNISSULA.

Nabilla Sukma Putri
NIM : 30.2018.00.145

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG UNTUK GEDUNG LABORATORIUM TERPADU 5 LANTAI” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Yth. Bapak Ir. H. Rachmat Mudyono, MT, Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Yth. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
3. Yth. Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi.
4. Yth. Ibu Lisa Fitriyana ST., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi.
5. Orang tua, keluarga, serta sahabat – sahabat dari kedua penulis atas dukungan dan serta bantuan yang telah diberikan.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Semarang, 17 Maret 2022

Nabila Ainanda

Nabilla Sukma Putri

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
USULAN PENELITIAN TUGAS AKHIR	iii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
PERNYATAAN KEASLIAN	vi
MOTTO	vii
PERSEMBAHAN	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR NOTASI	xxiii
ABSTRAK	xxvii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Ruang Lingkup	2
1.3 Rumusan Masalah	2
1.4 Maksud dan Tujuan	2
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Metodologi Perencanaan	3
1.6.1 Tinjauan Pustaka	3
1.6.2 Pengumpulan Data.....	4
1.6.3 Pemodelan Struktur	4
1.6.4 Hasil Analisa Struktur	4
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA	6

2.1	Tinjauan Umum.....	6
2.2	Konsep – Konsep Mekanisme Gempa Bumi.....	7
2.3	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	7
2.4	Acuan Peraturan Gempa SNI 1726:2019	7
2.4.1	Kategori resiko bangunan gedung dan non-gedung	7
2.4.2	Letak wilayah gempa dan spektrum respons percepatan gempa.....	9
2.4.3	Acuan percepatan respon spektral desain.....	10
2.4.4	Desain respon spektrum	10
2.4.5	Kategori desain seismik.....	11
2.4.6	Hubungan sistem perangkai dalam arah yang berbeda	12
2.4.7	Geser dasar seismik	12
2.4.8	Penentuan dan batasan simpangan antar lantai	13
2.5	Analisis Spektrum Respon Ragam	15
2.5.1	Jumlah Ragam	15
2.5.2	Batasan nilai gaya geser dasar (<i>Base Shear</i>)	15
2.6	Konsep Pembebanan	15
2.6.1	Beban mati.....	15
2.6.2	Beban Hidup	15
2.6.3	Kombinasi pembebanan	16
2.7	Perencanaan Struktur Atas	16
2.7.1	Desain komponen struktur yang dikenai beban lentur	16
2.7.2	Desain Kapasitas	22
2.7.3	Struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK).....	23
2.7.4	Desain Pelat	29
2.8	Perencanaan Struktur Bawah.....	29
2.8.1	Pondasi Tiang Pancang.....	29
BAB III		33
METODE PENELITIAN.....		33
3.1	Pengumpulan Data.....	33
3.1.1	Data Umum Proyek	33
3.2	Perencanaan Analisis Struktur.....	33
3.3	Laporan Penggambaran	36

3.4	Diagram Alir.....	37
3.5	Acuan Desain Standar	39
3.6	Data Struktur	39
3.6.1	Dimensi Elemen Struktur	39
3.7	Permodelan Struktur Bangunan.....	40
3.8	Konversi Satuan.....	42
3.9	Material Properties Struktur Bangunan	43
3.10	Dimensi Elemen Struktur	45
3.10.1	Elemen Kolom.....	45
3.10.2	Elemen Balok	48
3.10.3	Elemen Pelat	48
3.11	Penggambaran Elemen Struktur pada Denah	49
3.11.1	Penggambaran Elemen Kolom	49
3.11.2	Penggambaran Elemen Balok.....	52
3.11.3	Penggambaran Elemen Pelat	54
3.12	Hasil Permodelan Elemen Struktur	55
3.13	<i>Input</i> Beban Statik	56
3.14	Perhitungan dan Input Beban Mati.....	57
3.15	Perhitungan dan Input Beban Hidup	58
3.16	Asumsi dalam Perancangan.....	59
3.16.1	Taraf Penjepitan Lateral	59
3.17	<i>Rigid Zone Factor</i>	60
3.18	<i>Diafragma</i>	60
3.19	<i>Mass Source</i>	61
3.20	<i>Modal</i>	62
3.21	Elemen Struktur Atap	63
3.22	Penggambaran Elemen Atap	67
BAB IV.....		73
ANALISA PERHITUNGAN		73
4.1	Tinjauan Umum.....	73
4.2	Pradimensian Komponen Struktur	73
4.2.1	Elemen Kolom.....	73

4.2.2	Elemen Balok	74
4.2.3	Bahan Struktur	75
4.2.4	Permodelan Struktur	75
4.3	Formulasi Pembebanan Struktur	76
4.4	Analisis Desain Seismik	77
4.4.1	Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Gempa	77
4.4.2	Klasifikasi situs	77
4.4.3	Parameter respons spektral gempa terpetakan (Nilai S_S dan S_1).....	79
4.4.4	Parameter respons spektral gempa tertarget (Nilai S_{MS} dan S_{M1}).....	80
4.4.5	Parameter respons spektral gempa desain (Nilai S_{DS} dan S_{D1}).....	81
4.4.6	Spektrum respons desain	82
4.4.7	Kategori desain seismik dan penahan gaya gempa	84
4.4.8	Analisa dinamis getaran bebas	84
4.4.9	Kontrol hasil analisa dinamik gempa	85
4.4.10	Kombinasi Pembebanan	89
4.4.11	Hasil Analisa Struktur	90
4.5	Perencanaan Atap	109
4.5.1	Perhitungan Atap	110
4.5.2	Perencanaan Rangka Atap Kuda-Kuda	117
4.5.3	Perhitungan Batang Tarik	122
4.5.4	Perhitungan Batang Tekan	125
4.5.5	Perhitungan Sambungan Baut	131
4.5.6	Perhitungan Angkur dan <i>Base Plate</i>	132
4.6	Perencanaan Tangga	134
4.6.1	Pembebanan Tangga.....	136
4.6.3	Analisa Struktur Tangga	137
4.6.4	Perhitungan Rasio Tebal Pelat.....	139
4.6.5	Perhitungan Kebutuhan Tulangan	139
4.6.6	Kebutuhan Tulangan Pelat Tangga	139
4.6.7	Kebutuhan Tulangan Pelat Bordes	142
4.6.8	Perencanaan Balok Bordes	145
4.7	Perencanaan <i>Lift</i>	153

4.7.1	Pembebanan <i>Lift</i>	154
4.7.2	Balok Penggantung	154
4.8	Perencanaan Pelat	158
4.8.1	Perencanaan Tulangan Pelat	160
4.9	Perencanaan Balok	166
4.10	Perencanaan Desain Kolom.....	188
4.11	Desain <i>Sloof</i>	201
4.11.1	Penulangan Lentur <i>Sloof</i>	201
4.12	Perhitungan Pondasi	205
4.12.1	Desain Tiang Pancang	205
4.12.2	Perencanaan Pondasi untuk Titik di Tengah Bangunan	205
4.12.3	Perencanaan Pondasi (Titik Di Tepi Bangunan)	220
4.12.4	Kontrol Penurunan Kelompok Tiang	227
BAB V	236
PENUTUP	236
5.1	Kesimpulan.....	236
5.2	Saran.....	240
DAFTAR PUSTAKA	241
LAMPIRAN	241



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa (SNI-1726-2019)	8
Tabel 2. 3 Faktor Keutamaan Gempa (SNI-1726-2019)	9
Tabel 2. 4 Kategorii desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek (SNI 1726:2019)	12
Tabel 2. 5 Kategori desain seismiik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 pendek (SNI 1726:2019)	12
Tabel 3. 2 Data umum proyek.....	33
Tabel 3. 3 Diagram alir perencanaan struktur gedung laboratorium dan radiologi RSUD. DR. R. Soetijono	38
Tabel 4. 2 Detail Penulangan Kolom.....	73
Tabel 4. 3 Detail Penulangan Balok.....	74
Tabel 4. 4 Detail Mutu Bahan	75
Tabel 4. 5 Konfigurasi Gedung	76
Tabel 4. 6 Nilai N-SPT Site Proyek	77
Tabel 4. 7 Klasifikasi Situs.....	78
Tabel 4. 8 Data Parameter Respons Spektral Terpetakan	79
Tabel 4. 9 Koefisien situs Fa SNI 1726-2019	79
Tabel 4. 10 Koefisien situs Fv SNI 1726-2019	80
Tabel 4. 11 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek.....	81
Tabel 4. 12 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik	82
Tabel 4. 13 Nilai Spektrum Respons Desain.....	83
Tabel 4. 14 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismic	84
Tabel 4. 15 Bentuk Ragam dan Waktu Getar kerangka	84
Tabel 4. 16 Nilai Spektrum Response Percepatan Desain	85
Tabel 4. 17 Nilai parameter periode pendekatan Ct dan χ	86
Tabel 4. 18 Periode getar kerangka	86
Tabel 4. 19 Berat kerangka tiap Lantai	90

Tabel 4. 20	Distribusi vertikal gaya gempa tiap lantai.....	91
Tabel 4. 21	Distribusi horizontal gaya gempa tiap lantai.....	92
Tabel 4. 22	Gaya geser statik dan dinamik tiap lantai.....	93
Tabel 4. 23	Relasi gaya gempa statik-dinamik.....	93
Tabel 4. 24	Gaya geser dinamik terkoreksi.....	94
Tabel 4. 25	Gaya geser rencana tiap lantai.....	95
Tabel 4. 26	Gaya gempa lateral rencana	97
Tabel 4. 27	Simpangan antar lantai ijin x-Dir	97
Tabel 4. 28	Simpangan antar lantai ijin y-Dir	98
Tabel 4. 29	Beban P (Gravity) Kumulatif	99
Tabel 4. 30	Cek kestabilan (P-Delta) akibat gempa x	100
Tabel 4. 31	Cek kestabilan (P-Delta) akibat gempa y	100
Tabel 4. 32	Cek ketidakberaturan torsi	101
Tabel 4. 33	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma.....	102
Tabel 4. 34	Ketidakberaturan horizontal pada kerangka.....	102
Tabel 4. 35	Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak.....	103
Tabel 4. 36	Ketidakberaturan Berat (Massa).....	104
Tabel 4. 37	Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat.....	104
Tabel 4. 38	Ketidakberaturan vertikal pada kerangka.....	105
Tabel 4. 39	Prosedur analisis yang diizinkan	106
Tabel 4. 40	Data eksentrisitas torsi bawaan	106
Tabel 4. 41	Data eksentrisitas tak terduga	107
Tabel 4. 42	Nilai dari δ_{max} , δ_{avg} dan A_x untuk gempa arah x	108
Tabel 4. 43	Nilai dari δ_{max} , δ_{avg} dan A_y untuk gempa arah y	109
Tabel 4. 44	Momen nominal penampang	113
Tabel 4. 45	Rasio Lebar terhadap Tebal: Elemen Tekan Komponen kerangka yang Mengalami Aksial Tekan	127
Tabel 4. 46	Momen Rencana Pelat.....	160
Tabel 4. 47	Penulangan pelat.....	166
Tabel 4. 48	Sketsa Balok G1	185
Tabel 4. 49	Sketsa balok G2.....	185
Tabel 4. 50	Sketsa balok G3.....	185

Tabel 4. 51 Sketsa balok G4.....	186
Tabel 4. 52 Sketsa balok B1	186
Tabel 4. 53 Sketsa balok B2	186
Tabel 4. 54 Sketsa balok B3	187
Tabel 4. 55 Sketsa balok B4	187
Tabel 4. 56 Sketsa balok BA	187
Tabel 4. 57 Rekapitulasi aksial - lentur	194
Tabel 4. 58 Sketsa kolom K1	200
Tabel 4. 59 Sketsa kolom K2	200
Tabel 4. 60 Sketsa kolom K3	201
Tabel 4. 61 Kontrol beban aksial satu tiang pancang.....	209



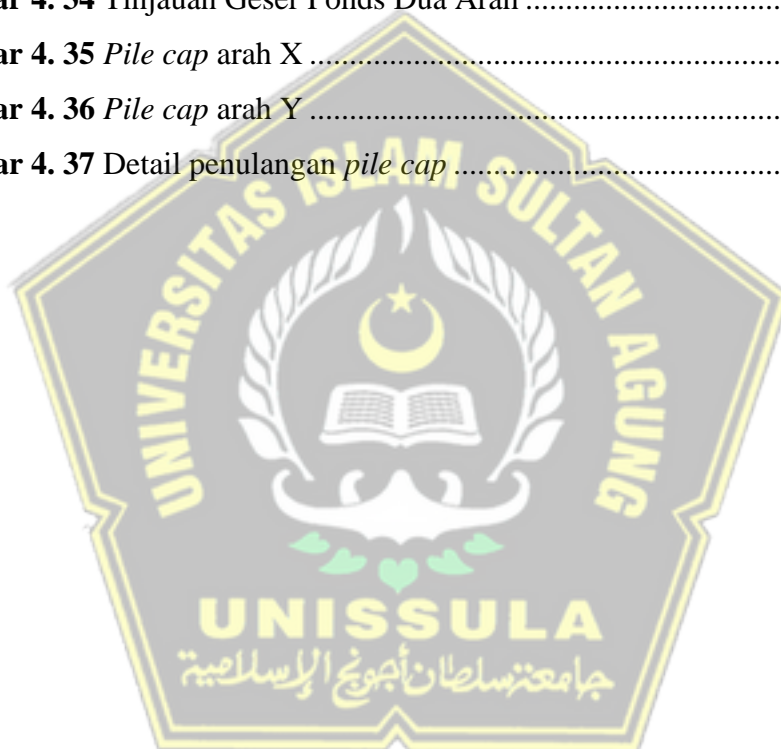
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik Desain Respon Spektrum	11
Gambar 2. 2 Simpangan Antar Lantai (SNI 1726:2019).....	14
Gambar 2. 3 Mekanisme keruntuhan rangka (Imran, 2014)	22
Gambar 2. 4 Ketentuan Dimensi Penampang Balok (Imran, 2014).....	23
Gambar 2. 5 Persyaratan Tulangan Lentur (Imran, 2014).....	24
Gambar 2. 6 Contoh Sengkang Tertutup yang Dipasang Bertumpuk	25
Gambar 2. 7 Geser Rencana Untuk Balok Oleh Kuat Lentur Maksimum (Imran, 2014)	26
Gambar 2. 8 Contoh Tulangan Transvesal (Gambar R18.7.5.2 f SNI 2847:2019)	27
Gambar 2. 9 Luas Jont Efektif (Larasi, 2017)	28
Gambar 3. 1 <i>Model Initialization</i>	40
Gambar 3. 2 <i>New Model Quick Templates</i>	40
Gambar 3. 3 <i>Grid System Data</i>	41
Gambar 3. 4 <i>Story Dimention</i>	41
Gambar 3. 5 <i>Story Data</i>	42
Gambar 3. 6 <i>Display Units</i>	42
Gambar 3. 7 Mutu Beton $f_c' 25$ Mpa	43
Gambar 3. 8 Mutu Baja Tulangan Ulir	44
Gambar 3. 9 Mutu Baja Tulangan Polos	44
Gambar 3. 10 <i>Section Shape Concrete</i>	45
Gambar 3. 11 Input Dimensi Kolom K 50/65	46
Gambar 3. 12 Efektifitas Penampang Utuh	46
Gambar 3. 13 <i>Reinforcement Data Column</i>	47
Gambar 3. 14 <i>Reinforcement Data Beam</i>	48
Gambar 3. 15 <i>Data Slab</i>	49
Gambar 3. 16 Konfigurasi Kolom Lantai 2 dan 3	50
Gambar 3. 17 Konfigurasi Kolom Lantai 4	51
Gambar 3. 18 Konfigurasi Kolom Lantai 5	51
Gambar 3. 19 Konfigurasi Kolom <i>RingBalk</i>	51

Gambar 3. 20	Konfigurasi Kolom Dak	52
Gambar 3. 21	Properties G1 30/60	52
Gambar 3. 22	Penggambaran Balok Arah X Denah Lantai 2	53
Gambar 3. 23	Penggambaran Balok Arah Y Denah Lantai 2	53
Gambar 3. 24	<i>Properties</i> B2 20/40.....	54
Gambar 3. 25	Penggambaran Balok Anak Denah Lantai 2.....	54
Gambar 3. 26	Properties Pelat Lantai	55
Gambar 3. 27	Penggambaran Pelat Lantai Denah Lantai 2.....	55
Gambar 3. 28	<i>Plan of 2D Model</i>	55
Gambar 3. 29	<i>3D Model View</i>	56
Gambar 3. 30	Pendefinisian Pola Beban	56
Gambar 3. 31	<i>Load Case Data</i>	57
Gambar 3. 32	Berat mati Tambahan Pelat Lantai	58
Gambar 3. 33	Berat mati Tambahan Pelat Atap.....	58
Gambar 3. 34	Input berat gerak Lantai.....	59
Gambar 3. 35	Perletakan Jepit.....	59
Gambar 3. 36	<i>Rigid Zone Factor</i>	60
Gambar 3. 37	<i>Diaphragm Data</i>	61
Gambar 3. 38	<i>Mass Souce by Load Patterns</i>	61
Gambar 3. 39	<i>Modal by Load Cases</i>	62
Gambar 3. 40	Jumlah Mode yang Berkontribusi.....	63
Gambar 3. 41	Elemen Atap 2L 60.60.6.....	64
Gambar 3. 42	<i>Property/Stiffness Modification Factors</i> 2L 70.70.7	64
Gambar 3. 43	Elemen Atap 2L 70.70.7	65
Gambar 3. 44	<i>Property/Stiffness Modification Factors</i> 2L 70.70.7	65
Gambar 3. 45	Elemen Atap Pipa 4”	66
Gambar 3. 46	<i>Property/Stiffness Modification Factors</i> Pipa 4”	66
Gambar 3. 47	Elemen Atap CNP 150.65.20.3,2	67
Gambar 3. 48	<i>Property/Stiffness Modification Factors</i> CNP 150.65.20.3,2.....	67
Gambar 3. 49	Konfigurasi Pipa 4”	68
Gambar 3. 50	<i>Properties of Object</i> 2L 60.60.6	68
Gambar 3. 51	<i>Devide Selected Frames</i>	69

Gambar 3. 52 Potongan Profil Kuda – Kuda Dasar	69
Gambar 3. 53 <i>Frame</i> 2l 70.70.7	69
Gambar 3. 54 <i>Frame</i> 2l 60.60.6	70
Gambar 3. 55 Bentang antara 2 frame kuda-kuda	70
Gambar 3. 56 <i>Frame</i> kerangka kuda-kuda lengkap	71
Gambar 3. 57 <i>Gording</i> CNP 150.65.20.3,2	71
Gambar 3. 58 <i>3D Model View All Structure</i>	72
Gambar 4. 1 Permodelan Struktur Gedung 3D	75
Gambar 4. 2 Grafik Nilai Spektrum Respon Percepatan Desain Gedung Laboratorium dan Radiologi RSUD Dr R Soetijono	83
Gambar 4. 3 Distribusi gaya geser gempa arah x	95
Gambar 4. 4 Distribusi gaya geser rencana arah y	96
Gambar 4. 5 Simpangan antar lantai	99
Gambar 4. 6 Denah lantai bukaan	101
Gambar 4. 7 berat gerak atap	119
Gambar 4. 8 Berat diam atap	120
Gambar 4. 9 Berat diam tambahan atap 1	121
Gambar 4. 10 Berat diam tambahan 2	122
Gambar 4. 11 Detail Profil Baja Siku	123
Gambar 4. 12 Detail Profil Baja Siku	126
Gambar 4. 13 Jarak antar Baut	132
Gambar 4. 14 Denah Tangga	134
Gambar 4. 15 Potongan Samping Tangga	135
Gambar 4. 16 Detail Pelat Tangga	135
Gambar 4. 17 Pembebanan Pada Tangga	137
Gambar 4. 18 Penulangan Pelat Tangga	139
Gambar 4. 19 Penulangan Pelat Tangga	142
Gambar 4. 20 Balok Bordes	146
Gambar 4. 21 Balok Bordes	149
Gambar 4. 22 Tipe pelat ditinjau	159
Gambar 4. 23 Balok yang ditinjau	166
Gambar 4. 24 Input data geometri balok	167

Gambar 4. 25 <i>Output</i> gaya kolom K1.....	188
Gambar 4. 26 <i>Output</i> gaya kolom K2.....	188
Gambar 4. 27 <i>Output</i> gaya kolom K3.....	189
Gambar 4. 28 Penampang kolom K1	192
Gambar 4. 29 Diagram Interaksi K1	193
Gambar 4. 30 <i>Output</i> <i>pcaColumn</i>	193
Gambar 4. 31 Konfigurasi tiang pancang.....	208
Gambar 4. 32 Tinjauan Geser Arah X As 2-D	210
Gambar 4. 33 Tinjauan Geser Arah Y As 2-D	212
Gambar 4. 34 Tinjauan Geser Ponds Dua Arah	213
Gambar 4. 35 <i>Pile cap</i> arah X	215
Gambar 4. 36 <i>Pile cap</i> arah Y	217
Gambar 4. 37 Detail penulangan <i>pile cap</i>	219



DAFTAR NOTASI

f_y	= kuat leleh minimum yang nilainya tergantung dari mutu baja (MPa)
L_n	= jarak bersih arah memanjang, dari muka ke muka tumpuan (mm)
S_e	= jarak antara tepi kolom ekivalen dengan tepi drop panel (mm)
A	= luas dimensi kolom (mm ²)
W	= berat beban total yang diterima kolom (kN)
f_c'	= kuat tekan beton karakteristik (MPa)
MCE_R	= <i>maximum considered earthquake risk targeted</i>
S_{MS}	= parameter percepatan respon spectra pada periode pendek yang sudah disesuaikan dengan pengaruh kelas situs
S_{M1}	= parameter percepatan respon spectra gempa periode 1 detik yang sudah disesuaikan dengan pengaruh kelas situs
S_{DS}	= parameter percepatan respon spectra gempa periode pendek dengan redaman 5 persen
S_{D1}	= parameter percepatan respon spectra gempa periode 1 detik dengan redaman 5 persen
S_s	= parameter percepatan respon spectra gempa periode pendek yang ditinjau pada peta
S_1	= parameter percepatan respon spectra gempa periode 1 detik yang ditinjau pada peta
C_s	= koefisien respons seismik yang ditentukan
C_u	= koefisien batasan atas periode yang dihitung
R	= koefisien modifikasi respons
T	= periode fundamental
T_a	= periode fundamental pendekatan
δ_x	= defleksi pada lantai ke-x
δ_{max}	= defleksi maximum
δ_{avg}	= defleksi rata-rata
Cd	= factor pembesaran simpangan lateral
I_e	= factor kautamaan gempa
τ	= tegangan geser

V	= gaya geser yang bekerja pada kolom akibat beban
A	= luas penampang
V_c	= kuat beton yang disumbangkan beton
N_u	= beban aksial berfaktor yang diterima struktur
A_g	= luas kolom tanpa rongga
A_x	= faktor pembesaran torsi
QL	= Daya dukung total
QP	= Daya dukung perlawanan tanah dari unsur dasar tiang pondasi
DS	= Daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah
β_c	= rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada kolom
b_o	= keliling pada penampang kritis pada poer
N_t	= jumlah tahanan
N_i	= jumlah injakan
DL	= beban mati
LL	= beban hidup
M_u	= momen ultimate akibat beban terfaktor
M_{pr}	= momen maksimum dari setiap ujung komponen struktur yang bertemu diantara hubungan balok kolom yang bersangkutan
Φ	= factor reduksi
R_n	= koefisien tahanan/ koefisien kapasitas penampang
ρ_{perlu}	= rasio tulangan yang diperlukan dalam beton
ρ_{min}	= rasio tulangan minimum yang diijinkan dalam beton
α	= Tinggi balok tegangan persegi ekuivalen (mm)
β	= rasio sisi panjang dan pendek kolom
c	= Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral (mm)
ϵ_t	= Tegangan tarik
P_u	= beban rencana (kN)
Ω_0	= factor kuat lebih sistem
h_n	= ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tempat tertinggi struktur
C_{vx}	= faktor distribusi vertikal
V	= gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

w_i / w_x = bagian berat gempa efektif total struktur (W) yang ditempatkan pada tingkat i atau x
 h_i / h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)
 k = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai
 F_i = bagian dari geser dasar gempa (V) pada tingkat ke-i (kN)
 V_t = gaya geser dasar hasil analisis ragam
 $P\text{-Delta}$ = simpangan lateral akibat beban gempa
 CM = pusat massa (m)
 CR = pusat rotasi (m)
 e = eksentrisitas
 A_s' = luas tulangan bagi (mm^2)
 A_s = luas tulangan baja (mm^2)
 S = jarak antar tulangan (mm)
 SRPMK= sistem rangka pemikul momen khusus
 P_u = beban aksial terfaktor hasil analisa struktur (kN)
 A_g = luasan penampang kolom (mm^2)
 P_n = beban aksial kolom (kN)
 A_{sh} = luas penampang kolom diukur dari daerah terluar tulangan transversal (mm)
 bc = dimensi potongan melintang dari inti kolom, diukur dari pusat ke pusat dari tulangan pengekang (mm)
 f_{yt} = kuat leleh tulangan transversal (MPa)
 Bentang l_0 = panjang bentang daerah tumpuan (mm)
 Bentang luar l_o = panjang bentang daerah lapangan (mm)
 V_u = gaya geser erfaktor pada penampang
 V_n = kuat geser nominal (kN)
 ρ_l = rasio tulangan vertical
 ρ_t = rasio tulangan horizontal
 δ = Penurunan yang diijinkan (mm)
 A_p = Luas tiang pancang
 Q_{ult} = daya dukung ultimate (kN/m)
 Q_{all} = daya dukung allowable (kN/m)

- SF = safety factor
 λ = rasio lebar terhadap tebal
 b_o = Keliling penampang kritis
 P = beban terpusat (kN)
 E = modulus elastisitas (MPa)
 J = konstanta torsi (mm²)



ABSTRAK

PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG UNTUK GEDUNG LABORATORIUM TERPADU 5 LANTAI

Perencanaan gedung Laboratorium dan radiologi RSUD Dr. R. Soetijono Blora menggunakan konstruksi beton bertulang. Bertujuan untuk mengetahui (1) mengetahui besarnya beban gravitasi dan beban gempa yang bekerja. (2) Dimensi serta tulangan pada elemen struktur (rangka atap, pelat, balok, kolom, tangga, lift, dan pondasi). (3) Gambar detail struktur hasil perencanaan.

Dalam tugas akhir ini penyusun akan merencanakan ulang struktur gedung beton bertulang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) pada daerah dengan resiko gempa yang cukup tinggi. Perencanaan struktur beracuan pada SNI 1726:2019 untuk perencanaan ketahanan gempa, SNI 1727:2020 menentukan pembebanan desain minimum, SNI 2847:2019 persyaratan beton struktural, dan SNI 1729:2020 perencanaan struktur bajanya. Kemudian permodelan beserta analisa struktur menggunakan bantuan program ETABS V19.0.0. Proses analisa meliputi pengumpulan data (data tanah dan shop drawing), preliminary disain, pembebanan bangunan, analisis gaya dalam, perhitungan struktur atas, perhitungan struktur bawah dan diaplikasikan dalam gambar rencana.

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, diperoleh rangka atap menggunakan profil baja double L siku sebagai batang diagonal dan pipa baja sebagai batang vertikal. Hasil dimensi untuk struktur dan penulangan beton bertulang terdiri dari struktur Pelat, Tangga, Lift, Balok, Kolom dan Sloof. Untuk struktur bawah dari bahan beton bertulang menggunakan pondasi pilecap. Hasil perhitungan ini adalah bangunan mampu menahan gaya gempa yang terjadi.

Kata kunci: *Perencanaan struktur beton bertulang, SRPMK, ETABS V19.0.0*

ABSTRACT

PLANNING OF THE REINFORCED CONCRETE STRUCTURE OF AN INTEGRATED LAB BUILDING IN 5 STORES.

The Laboratory and radiology building design at RSUD Dr. R. Soetijono Blora uses reinforced concrete construction. Aims to find out (1) determine the magnitude of the gravity load and the working earthquake load. (2) Dimensions and reinforcement of structural elements (roof frames, plates, beams, columns, stairs, lifts, and foundations). (3) Detailed drawings of the structure of the planning results.

In this final project, the authors will redesign the reinforced concrete structure using the Special Moment Resistant Frame System (SRPMK) in areas with high earthquake risk. The structural planning is based on SNI 1726:2019 for earthquake resistance planning, SNI 1727:2020 determines the minimum design load, SNI 2847:2019 structural concrete requirements, and SNI 1729:2020 steel structure planning. Then modeling and structural analysis using the ETABS V19.0.0 program. The analysis process includes data collection (soil data and shop drawings), preliminary design, building loading, internal force analysis, upper structure calculations, lower structure calculations and application in the plan drawings.

Based on the results of the calculations carried out, the roof truss was obtained using a double L angled steel profile as a diagonal rod and steel pipe as a vertical rod. Dimensional results for reinforced concrete structures and reinforcement consist of slabs, stairs, lifts, beams, columns and sloof structures. For the substructure of reinforced concrete material using a pilecap foundation. The result of this calculation is that the building is able to withstand the earthquake forces that occur.

Keywords: *Design of reinforced concrete structures, SRPMK, ETABS V19.0.0*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Layanan tempat kesehatan menyediakan segala kebutuhan kesehatan berisikan rawatan inap, rawatan jalan serta layanan gawat darurat. (No. 340/MENKES/PER/III/2010). Pada Rumah Sakit Umum Daerah Dr. R. Soetijono untuk meningkatkan sarana dan prasarana fasilitas pelayanan kesehatan penunjang rumah sakit, akan dibangun gedung laboratorium dan radiologi. Proyek pembangunan gedung tersebut nantinya akan digunakan sebagai tempat penelitian dan dapat mendiagnosis suatu penyakit pasien secara akurat. Perancangan gedung laboratorium dan radiologi menggunakan konstruksi beton bertulang.

Kinerja suatu struktur bangunan terhadap beban gempa bergantung pada system struktur tahanan beban secara lateral yang dipergunakan. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) menjadi sebuah system terstruktur berguna untuk menahan jika terjadi beban lateral atau yang disebut gempa yang memiliki jenis yang beragam. Perancangan sistem ini sering dipakai untuk planning dalam pelaksanaan gedung yang ada di Indonesia. Struktur bangunan dengan SRPMK mempunyai termasuk tingkat daktilitas tinggi.

Penyusunan tugas akhir Rumah Sakit Umum Daerah Dr. R. Soetijono akan dijadikan sebagai obyek penelitian untuk tugas akhir studi perencanaan. Studi perencanaan proyek gedung laboratorium dan radiologi menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Penggunaan sebuah system menjalankan di momen tertentu wajib memenuhi persyaratan berlaku dalam perencanaannya. Jenis bangunan dalam perencanaan SRPMK memakai materi kolom kuat dan Balok Lemah (*Strong Column And Weak Beam*). Tugas akhir ini beserta permodelan strukturnya dengan bantuan program komputer *ETABS ultimate 19.0.0*.

1.2 Ruang Lingkup

Pokok pembahasan tugas akhir ini yaitu membahas berkaitan dengan perancangan gedung 5 lantai dengan tetap mempertahankan beberapa desain arsitektur dan struktur yang ada. Program komputer *ETABS ultimate 19.0.0* digunakan dalam permodelan struktural.

1.3 Rumusan Masalah

Diuraikan rumusan permasalahan sebagai berikut :

1. Perancangan pembebanan gedung terpengaruh akibat faktor yang berasal dari dalam (yang disebabkan dari berat pada bangunan) dan faktor yang berasal dari luar (oleh pengaruh yang disebabkan dari angin yang berada dari luar serta bencana alam, contohnya gempa).
2. Perhitungan dimensi, tulangan lentur dan geser dari elemen-elemen dan gaya statik strukturnya sehingga gedung dapat bertahan dengan kokoh, aman dan efisien.
3. Perencanaan dan perhitungan dimensi struktur pondasi pada bangunan gedung.

1.4 Maksud dan Tujuan

Tujuan penelitian yang sedang dibahas untuk menjelaskan struktur gedung dari Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Dr. R. Soetijono Kabupaten Blora tanpa mengubah desain arsitektur yang ada. Tujuan penelitian :

1. Merencanakan Gedung Laboratorium Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Dr. R. Soetijono Kabupaten Blora, tentang segi struktur secara optimal.
2. Menganalisis dan mempertimbangkan dimensi tulangan yang akan digunakan pada struktur Gedung Laboratorium Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Dr. R. Soetijono Kabupaten Blora.
3. Merencanakan dan memperhitungkan struktur pondasi pada Gedung Laboratorium Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Dr. R. Soetijono Kabupaten Blora.

1.5 Batasan Masalah

Tugas Akhir yang melakukan pembahasan terkait “Uji Analisis dan Desain Struktur Gedung terhadap Beban Gempa dengan menggunakan Program Aplikasi ETABS”, memiliki ruang lingkup pembahasan penelitian dalam batasan masalah sebagai berikut :

1. Peraturan yang dipakai antara lain :
 - Mendeteksi ketahanan bangunan terhadap pengaruh gempa dengan cara melakukan perencanaan pada bangunan (SNI 1726:2019).
 - Melakukan perhitungan serta perencanaan terhadap struktur beton dipakai bangunan khususnya untuk gedung (SNI 28471:2019).
 - Membahas terkait dengan beban yang ada pada design minimum yang sesuai dengan kriteria untuk bangunan (SNI 1727:2020).
 - Memakai baja structural yang dipakai untuk pembangunan pada gedung (SNI 1729:2020).
2. Menganalisis struktur gedung dibatasi pada struktur atas pondasi.
3. Proses desain pondasi berdasarkan beban statik pada Gedung RSUD Dr. R. Soetijono Kabupaten Blora.
4. Perancangan tidak meliputi instalasi plumbing, elektrikal dan mekanikal.
5. Tidak dilakukan peninjauan pada analisis biaya, metode pelaksanaan, serta manajemen konstruksi.
6. Dalam pemodelan struktur tersebut menggunakan software ETABS *ultimate 19.0.0*.

1.6 Metodologi Perencanaan

Metodologi perencanaan dipakai agar mengumpulkan data pada penulisan naskah penelitian:

1.6.1 Tinjauan Pustaka

Langkah ini mencakup pengumpulan dan penelaahan baham literatur terkait, baik yang tersedia dalam negeri maupun yang ada diluar negeri. Bahan dikumpulkan dan kemudian dipelajari dan dirangkum sebagai bahan tersusun.

1.6.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan informasi dan data tentang bangunan meliputi data primer maupun data sekunder. Data yang digunakan untuk memodelkan struktur dan dianalisis menggunakan program *ETABS ultimate 19.0.0*.

1.6.3 Pemodelan Struktur

Dalam memodelkan struktur bangunan dibuat sesuai dengan informasi dan data yang diperoleh dari bangunan tersebut.

1.6.4 Hasil Analisa Struktur

Kesimpulan yang didapatkan bangunan berasal program aplikasi ETABS digunakan untuk merencanakan dimensi dan tulangan struktur atas dan struktur bawah.

1.7 Sistematika Penulisan

Tata cara dalam melakukan penyusunan pada sebuah skripsi digunakan untuk mempermudah dalam penulisan pada setiap BAB skripsi yaitu sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Menjelaskan isi dari latar belakang, tujuan serta manfaat dari penelitian yang telah dilakukan. BAB I ini juga mencantumkan terkait dengan lokasi, ruang lingkup permasalahan pada penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menjelaskan mengenai perencanaan pola struktur umum dari teori di dalam perencanaan pembangunan gedung laboratorium dan radiologi.

BAB III METODOLOGI PENULISAN

Membahas mengenai data perencanaan, metode atau perencanaan dan pengolahan data serta sistematika perencanaan.

BAB IV PERHITUNGAN STRUKTUR

Melakukan penguraian mengenai hasil perhitungan permodelan struktur konstruksi bangunan secara manual maupun dengan hasil program aplikasi.

BAB V PENUTUP

Kesimpulan serta memberikan saran dari kesimpulan permasalahan serta hasil yang telah didapatkan serta analisa geoteknik gedung.

DAFTAR PUSTAKA

Menuliskan secara detail referensi yang telah dipakai untuk pembuatan skripsi.

LAMPIRAN

Berisi tentang tabel perhitungan, administrasi atau surat-surat, dan gambar struktur (*final design drawing*).



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Bangunan mempunyai 2 tipe perancangan adalah struktur bagian bawah atau yang disebut *lower structure* serta bangunan dengan perancangan bagian atas *upper structure*. Perancangan bagian bawah memiliki arti pondasi ataupun struktur ada di bagian bawah ataupun permukaan pada tanah. Perancangan bagian atas merupakan struktur ataupun pondasi ada pada bagian permukaan atas tanah contohnya yaitu kolom, balok, plat, tangga.

Bangunan dengan struktur beton bertulang akan sangat beresiko jika tidak dibuat maupun dipersiapkan sebaik mungkin. Maka, dibutuhkan perencanaan serta persiapan struktur bangunan dengan tepat serta seteliti mungkin agar tidak ada perhitungan yang salah. Kriteria yang dibutuhkan untuk memberikan struktur bangunan yang tepat yaitu kekuatan (*strenght*), kenyamanan (*serviceability*), keselamatan (*safety*), keindahan (*aesthetic*), perencanaan usia bangunan (*durability*), persyaratan tersebut wajib terpenuhi agar dapat dianggap sebagai struktur bangunan yang tepat.

Sistem struktur bangunan termasuk suatu hal penting untuk diperhatikan pada pembangunan struktur bangunan ada di bagian atas permukaan tanah. Penahan serta penyalur beban dengan gaya horizontal serta vertical ada pada bangunan agar merata struktur inti serta pendukung pada suatu bangunan disebut dengan fungsi dari system struktur.

Bagian ini menjelaskan tata cara dan langkah hitungan struktur, yang meliputi plat lantai, balok, dan kolom. Tinjauan pustaka dipakai agar dapat mendapat perencanaan hasil struktur tepat serta teliti. Oleh sebab itu, pembahasan terkait konsep perencanaan kerangka bangunan yang akan ditetapkan pada syarat pembangunan telah ditetapkan di Indonesia. Sehingga diharapkan mendapatkan hasil lebih efisien tanpa menimbulkan kegagalan struktur.

2.2 Konsep – Konsep Mekanisme Gempa Bumi

Penyebab gelombang seismik yaitu dari suatu getaran yang berasal dari permukaan bumi paling dalam yang diakibatkan oleh melepasnya energy dari bawah permukaan bumi dapat disebut dengan definisi dari gempa bumi. Penyebab dari gempa bumi yaitu dari pergerakan ataupun getaran yang berasal dari lempeng bumi itu sendiri. Frekuensi dari gempa bumi sendiri berbeda – beda yang terjadi pada periode waktu tertentu. Gempa bumi dengan frekuensi tertinggi yaitu gempa bumi yang terjadi dipergesekan antara lempeng kompresional dan translasional. (Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kota Banda Aceh, 2018).

2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

System pada kerangka ruangan berisi bagian pada sebuah kerangka bangunan berguna dipergunakan pada system tahanan gaya bergerak dengan cara lentur, geser ataupun aksial. System tersebut digunakan ataupun di aplikasikan pada saat gempa bumi tertinggi yaitu zona 5 sampai dengan zona 6. Segala persiapan system harus selalu dipersiapkan sebaik mungkin serta mempunyai Faktor Modifikasi Respons $R = 8$. Suatu kerangka yang memikul dengan cara khusus menggunakan penerapan inelastis digunakan sebagai penampung dengan menggunakan sendi plastis. (Adan dan Hamburger, 2010).

2.4 Acuan Peraturan Gempa SNI 1726:2019

Pada perencanaan struktur kali ini menggunakan acuan aturan terjadi gempa terbaru yaitu SNI-1726-2019 mengatasi pertahanan gedung pada kerangka bangunan gedung dan non-gedung. Berdasarkan peraturan tersebut bangunan gedung dibagi kedalam beberapa kategori, klasifikasi dan resiko struktur bangunan.

2.4.1 Kategori resiko bangunan gedung dan non-gedung

Bangunan gedung memiliki fungsi dan tingkat kategori resiko beda-beda. Agar bisa mendapat termasuk bangunan beresiko untuk rancangan gedung maupun non-gedung ditinjau Tabel 2.1, dan dengan penyebab keutamaan (le) sesuai Tabel 2.2. Jika dilihat pada kedua tabel tersebut Gedung laboratorium rumah sakit masuk dalam kategori resiko IV nilai keutamaan gempa $le = 1,5$.

Tabel 2. 1 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa (SNI-1726-2019)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>Gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan - Fasilitas sementara - Gedung penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, dan IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen / rumah susun - Pusat perbelanjaan / mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk dalam kategori IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi⁹⁰ <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk tapi tidak dibatasi fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpangan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar</p>	III

berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahaya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah atau unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi dan kendaraan darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat <p>Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat.</p>	IV

Tabel 2. 2 Faktor Keutamaan Gempa (SNI-1726-2019)

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (<i>I_e</i>)
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

2.4.2 Letak wilayah gempa dan spektrum respons percepatan gempa

Batas S_s (percepatan batu dalam waktu singkat) dan S_l (percepatan batu dalam 1 detik) ditentukan tanggapan kecepatan 0,2. Dua dalam 1 detik di peta gerak tanah harus memiliki peluang 2% lebih. 50 tahun, berturut-turut (MCER, 2% sampai 50 tahun) dan ditunjukkan secara numerik, dengan memperhitungkan kecepatan gravitasi, jika S_l 0,04 g dan S_s 0,15 g, terdapat kerangka pembangunan dapat diberikan kepada desain seismik. Bagian A, serta untuk syarat yang telah ditetapkan agar terpenuhi (Standar Nasional Indonesia,2019).

Tergantung pada medan area, area tersebut harus diklasifikasikan sebagai SA, SB, SC, SD, SE atau SF. Jika sifat-sifat tanah tidak diketahui dengan baik sehingga dapat diketahui kelas situsnya, maka situs kelas SE bisa dipakai terkecuali lembaga pemerintah/badan yang berwenang memiliki informasi geoteknik untuk mengidentifikasi situs kelas SF. Untuk menentukan mode respon bencana untuk kecepatan gempa MCER di tanah, gempa perlu diperbesar dalam waktu 0,2 detik dan periode 1 detik dan simbol plus mewakili 1 detik dari pulsa pemicu Fv. Kecepatan respons frekuensi selama durasi pendek pesan teks dan SM1 kedua 1 kali dikoreksi untuk efek distribusi spasial harus direncanakan dengan menggunakan persamaan berikut: (Sumber standar Nasional Indonesia,2019)

$$S_{MS} = F_a \times S_s \text{ (Periode Pendek)} \quad (2.1)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \text{ (Periode 1 detik)} \quad (2.2)$$

Keterangan:

S_s = Uji Pemetaan Percepatan Gempa MCER Respon Waktu Singkat

S_1 = pemberian parameter tanggapan percepatan MCER dipetakan ke koefisien situs F_a dan F_v menurut Tabel 2.3 dan 2.4 untuk periode 1,0 detik.

2.4.3 Acuan percepatan respon spektral desain

Perolehan acuan percepatan respon spektral desain untuk periode yang tidak lama (S_{DS}) kemudian untuk waktu periode 1 detik (S_{D1}) didapat dari persamaan (2,3) dan (2,4).

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.4)$$

2.4.4 Desain respon spektrum

Desain respon spektrum (S_a) didapat dengan nilai T, T_0 dan T_s dengan parameter pada Gambar 2.1 (SNI-1726-2012) dan melalui persyaratan berikut, Nilai $T < T_0$, maka nilai S_a adalah,

$$S_a = S_{DS} \times (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \quad (2.5)$$

Nilai $T_0 \leq T \leq T_S$, maka nilai S_a adalah,

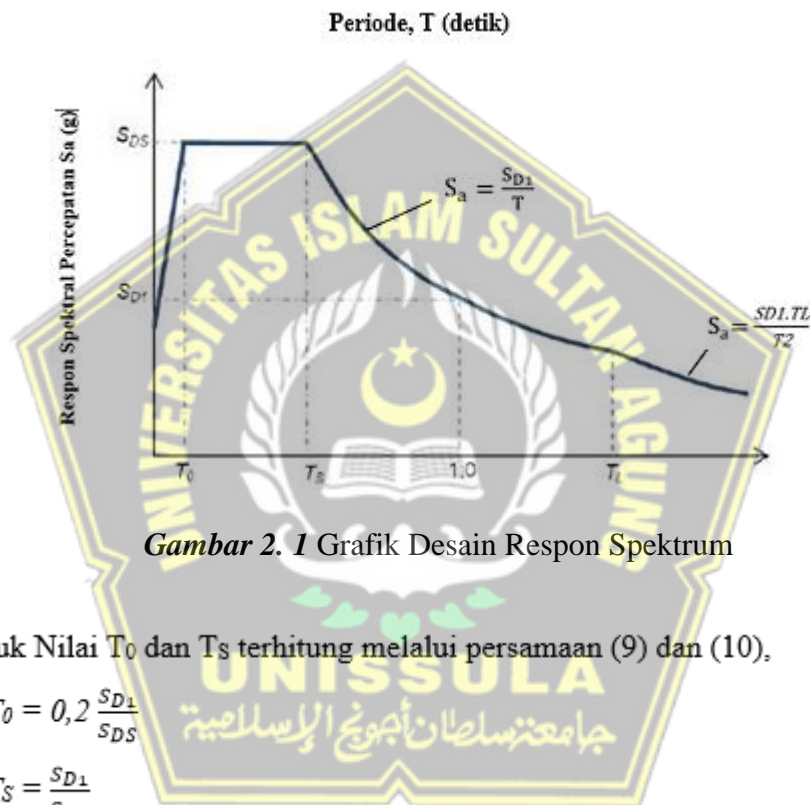
$$S_a = S_{DS} \quad (2.6)$$

Nilai $T_L \geq T > T_S$, maka nilai S_a adalah,

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.7)$$

Nilai $T < T_L$, maka nilai S_a adalah,

$$S_a = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2} \quad (2.8)$$



Gambar 2. 1 Grafik Desain Respon Spektrum

Untuk Nilai T_0 dan T_S terhitung melalui persamaan (9) dan (10),

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.9)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.10)$$

T_L = Peta Tansisi periode panjang yang telah tercantum pada gambar 3 dengan nilai diambil dari gambar 20

$$(2.11)$$

2.4.5 Kategori desain seismik

Bangunan gedung yang memiliki bahaya I, II atau III, tingkat respons frekuensinya ditetapkan dalam waktu 1 detik, S_1 , \geq dengan 0,75, sebagai bangunan gedung dengan desain seismik tipe E. Ketentuan alokasi risiko IV. terletak pada peta nilai respon frekuensi dalam 1 detik, S_1 , memiliki hasil yang

> besar serta < dari 0,75, wajib ditentukan oleh bangunan dengan desain seismik tipe F. (SNI 1726:2019).

Nilai S_{DS} untuk gedung rumah sakit adalah 0,543 dengan kategori resiko IV, sesuai dengan tabel masuk kedalam kategori desain seismik D. Didapat hasil analisa di atas maka yang dipilih adalah kategori desain seismik dengan resiko terparah lihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.

Tabel 2. 3 Kategorii desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek (SNI 1726:2019)

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I, II III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 2. 4 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 pendek (SNI 1726:2019)

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I, II III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DS}$	D	D

2.4.6 Hubungan sistem perangkai dalam arah yang berbeda

Hal ini memungkinkan penggunaan ketahanan geser agar dapat melakukan penahanan gaya seismik di kedua sisi integritas struktural. R, Cd, dan Ω_0 wajib digunakan (SNI 1726:2019).

2.4.7 Geser dasar seismik

Geser dasar seismik ditentukan arahnya oleh persamaan berikut :

$$V = C_s W \quad (2.12)$$

Koefisien respon seismik C_s maka dapat dihitung dengan persamaan (2.13)

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.13)$$

Nilai C_s tercantum pada persamaan (2.13) tidak diwajibkan untuk melebihi berikut ini :

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{SD_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.14)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{SD_1 \cdot T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.15)$$

Nilai C_s harus tidak kurang dari,

$$C_{s \min} = 0,444 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2.16)$$

Dipakai untuk struktur nilai C_s dapat melakukan perhitungan persamaan (2.13), bila nilai $S_1 \geq 0,6g$.

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.17)$$

2.4.8 Penentuan dan batasan simpangan antar lantai

Menentukan persimpangan yang ada diantara lantai pada tingkatan desain (Δ) direncanakan sehingga defleksi yang terletak pada pusat masa ditingkat paling atas dan paling bawah yang di tinjau terdapat perbedaan. Lihat Gambar 2.2 Jika pusat massa tidak sebidang dengan garis arah vertikal, diperbolehkan merencanakan defleksi dari tingkatan yang didasari dari proyeksi arah vertikal dari pusat massa tingkat yang berada di atasnya. Defleksi pusat masa ditingkat x (δ_x) (mm) menggunakan persamaan :

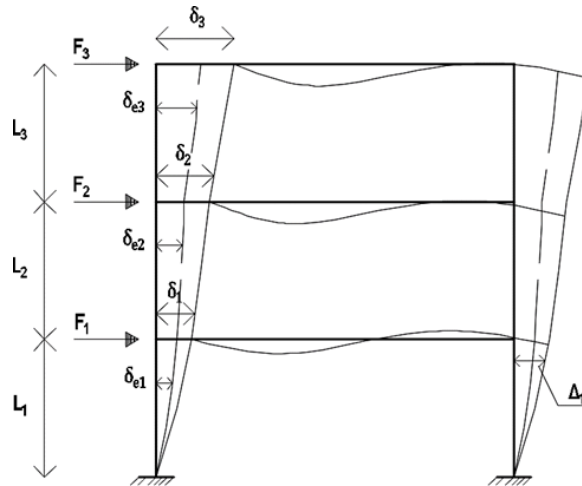
$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Keterangan :

C_d = faktor amplikasi defleksi dalam tabel 2.8

δ_{xe} = defleksi mengisyaratkan analisis elastis.

I_e = faktor pada keutamaan yang timbul dari gempa



Gambar 2. 2 Simpangan Antar Lantai (SNI 1726:2019)

Menentukan cara simpangan antar lantai berdasarkan gambar :

$$\delta_3 = \delta_{e3} \times \frac{C_D}{I_E}$$

→

$$\Delta_3 = (\delta_{e3} - \delta_{e2}) \times \frac{C_D}{I_E} \leq \Delta_a$$

$$\delta_2 = \delta_{e2} \times \frac{C_D}{I_E}$$

→

$$\Delta_2 = (\delta_{e2} - \delta_{e1}) \times \frac{C_D}{I_E} \leq \Delta_a$$

$$\delta_1 = \delta_{e1} \times \frac{C_D}{I_E}$$

→

$$\Delta_1 = \delta_1 \times \frac{C_D}{I_E} \leq \Delta_a$$

Didapat nilai persimpangan yang ada diantara lantai pada tingkatan desain Δ tidak diperbolehkan melampaui nilai Δ_a . persimpangan yang ada diantara lantai pada tingkatan desain (Δ_a) ditetapkan pada Tabel SNI 1726:2019 untuk berbagai tingkat.

2.5 Analisis Spektrum Respon Ragam

2.5.1 Jumlah Ragam

Pada saat menganalisa dipakai sebagai untuk tentukan ragam getar secara alami untuk stuktur. Pada saat mencari keragaman getaran secara alami struktur diwajibkan memakai total keragaman getaran secara cukup. Besarnya massa keragaman yang ada berkombinasi minimal 90% dari total massa yang secara aktual dari memiliki arah orthogonal serta dipantau oleh model.

2.5.2 Batasan nilai gaya geser dasar (*Base Shear*)

Geser dasar (V) di rencanakan di setiap 2 arah horizontal orhthogonal memakai periode fundamental struktur untuk melakukan perhitungan (T) setiap arah dan prosedur gaya lateral ekuivalen.

2.6 Konsep Pembebanan

Pada proses penentuan permodelan pembebanan dalam rancangan struktur menjadi hal yang paling penting. Hal tersebut mempengaruhi terhadap perencanaan keluaran gaya dalam (bidang MDN).

2.6.1 Beban mati

Suatu berat pada sebuah proyek konstruksi seperti halnya pembangunan gedung contohnya yaitu atap, dinding dan lantai serta struktur peralatan lainnya termasuk dengan alat untuk mengangkat segala material disebut dengan berat diam (D). (SNI 1727:2020).

2.6.2 Beban Hidup

berat berasal pelaku atau yang disebut dengan penghuni suatu bangunan dan beban konstruksi tidak masuk pada beban tersebut contohnya beban yang berasal dari lingkungan, yaitu dari angin, hujan, gempa ataupun banjir disebut dengan berat gerak (L) (SNI 1727:2020).

2.6.3 Kombinasi pembebanan

Pada bagian perencanaan bangunan sebuah bangunan ataupun gedung memiliki kerangka bawah dan kerangka atas. Struktur bagian bawah merupakan kerangka yang terletak dibagian bawah muka tanah yang terdiri *basement* atau pondasi, berdasarkan pada SNI 1727:2020 kerangka bangunan wajib dirancang dengan kombinasi berat sehingga struktur cukup kuat untuk menopang berat material. Konfigurasi komponen untuk metode terbaik adalah sebagai berikut:

$$1. 1,4D \quad (2.19)$$

$$2. 1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \quad (2.20)$$

$$3. 1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W) \quad (2.21)$$

$$4. 1,2D + 1,0W + L + 0,5(Lr \text{ atau } R) \quad (2.22)$$

$$5. 1,2D + 1,0E + L \quad (2.23)$$

$$6. 0,9D + 1,0W \quad (2.24)$$

$$7. 0,9D + 1,0E \quad (2.25)$$

Faktor dan kombinasi beban untuk beban mat nominal, beban hidup nominal, dan beban gempa nominal, yaitu ssebagai berikut : SNI 1726:2019

$$(1,2+0,2Sds) DL + 1LL \pm 0,3 \varrho EX \pm 1 \varrho EY \quad (2.26)$$

$$(1,2+0,2Sds) DL + 1LL \pm 1 \varrho EX \pm 0,3 \varrho EY \quad (2.27)$$

$$(0,9-0,2Sds) DL \pm 0,3 \varrho EX \pm 1 \varrho EY \quad (2.28)$$

$$(0,9-0,2Sds) DL \pm 1 \varrho EX \pm 0,3 \varrho EY \quad (2.29)$$

2.7 Perencanaan Struktur Atas

Struk bagian atas dalam suatu bangunan terdiri dari 2 bagian yaitu sekunder serta primer. Bagian yang termasuk kedalam struktur sekunder yaitu pelat, balok anak serta tangga.

2.7.1 Desain komponen struktur yang dikenai beban lentur

2.7.1.1 Nilai faktor reduksi penampang

Daya kuat pada desain yang diberikan pada suatu struktur akan di ambil sebesar kekuatan nominal yang harus direncanakan, sesuai dengan faktor reduksi seperti gambar pada 2.4 yaitu S9.3.2.SNI 2847-2019 antara lain,

Nilai reduksi (\emptyset) sebagai tampungan yang memiliki kendali = 0,90

Nilai \emptyset sebagai tampungan yang memiliki kendali geser dan torsi = 0,75,

Susunan bangunan menggunakan tulangan spiral nilai $\emptyset = 0,75$ dan komponen kerangka bertulang bernilai $\emptyset = 0,65$.

Perhitungan nilai reduksi (\emptyset) setiap daerah transisi menggunakan persamaan (2.26),

$$\emptyset = 0,65 + (\varepsilon_t - \varepsilon_y) (250/3) \quad (2.30)$$

dimana ε_y merupakan nilai dari regangan leleh baja,

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \quad (2.31)$$

2.7.1.2 Desain penampang tulangan tunggal

Awalan tahapan rencana komponen lentur berulang tunggal antara lain sebagai berikut :

1. Merencanakan tinggi efektif balok (d) = $h - p - 0,5\phi$
2. Merencanakan rasio tulangan (ρ), rasio tulangan minimal (ρ_{min}), rasio tulangan balance (ρ_b), rasio tulangan maksimum (ρ_{max}),

$$\beta_1 = 0,85 - (0,05 \times \frac{f'_c - 28}{7}) \quad (2.32)$$

$$\rho = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 M_u}{1,7 \emptyset f'_c b d^2}} \right) \quad (2.33)$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c}}{4 f_y} \text{ atau } \frac{1,4}{f_y} \quad (2.34)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \quad (2.35)$$

$$\rho_{max} = \left(\frac{0,0003 + \frac{f_y}{E_s}}{0,008} \right) \times \rho_b \quad (2.36)$$

3. Merencanakan luas kapasitas tulangan (A_s) dengan persamaan (2.37)

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d \quad (2.37)$$

Terdapat Nilai dari banyaknya (n) tulangan terpasang pada penampang melakukan perhitungan didasari persamaan (2.38)

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ 1 tulangan}} \quad (2.38)$$

4. Merencanakan nilai regangan (ε) dan faktor reduksi (\emptyset),

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 f'_c b} \quad (2.39)$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} \quad (2.40)$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d-c}{c}\right) 0,003 \quad (2.41)$$

5. Merencanakan momen nominal,

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times a \times b \quad (2.42)$$

$$T_s = A_s \times f_y \quad (2.43)$$

$$\phi M_n = \phi T_s \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (2.44)$$

2.7.1.3 Desain penampang tulangan rangkap

Tahapan-tahapan pada perencanaan komponen lentur bertulang rangkap antara lain sebagai berikut,

1. Menghitung tinggi efektif balok ($d = h - p - 0,5 \phi$)
2. Asumsi yang digunakan dalam desain ini adalah,
Tulangan tarik sudah leleh ($\varepsilon_s' \geq \varepsilon_y$) dan tulangan tekan blum leleh ($\varepsilon_s < \varepsilon_y$), $\rho' = 0,5 \rho$.
3. Merencanakan rasio tulangan (ρ) Terdapat persamaan $C_s + C_c = T_s$ dari nilai ρ diberikan untuk tulangan rangkap dengan perencanaan sebagai berikut,

a. Nilai ε_s' dan f_s' dapat dihitung dengan persamaan (2.45) dan (2.46),

$$\varepsilon_s' = 0,003 \times \left(\frac{c-d'}{c}\right) \quad (2.45)$$

$$f_s' = E_s \times \varepsilon_s' = 600 \times \left(\frac{c-d'}{c}\right) \quad (2.46)$$

b. $A_{s\text{tekan}}$ dapat dihitung menggunakan persamaan (2.47)

$$A_{s\text{tekan}} = 0,5 \rho \times b \times d \quad (2.47)$$

$$C_s = 0,5 \rho \times b \times d \times \left(600 \times \left(\frac{c-d'}{c}\right)\right) \quad (2.48)$$

$$C_c = (0,85 f_c' (c \beta_1) b) \quad (2.49)$$

c. Nilai ρ didapat dari persamaan $C_s + C_c = T_s$ dan didapatkan nilai persamaan (2.50)

$$\rho = \frac{0,85 \times f_c' \times c \times \beta_1 \times b}{b \times d \times f_y - \left(0,5 \rho \times b \times d \times \left(600 \times \left(\frac{c-d'}{c}\right)\right)\right)} \quad (2.50)$$

Nilai c pada awalnya tidak diketahui, cara mengetahuinya dengan cara *trial and error* nilai momen ultimate menggunakan persamaan (2.48),

$$\frac{M_u}{\phi} = C_c x \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s x (d - d') \quad (2.51)$$

Kemudian dengan cara menghitung ρ_{\min} dengan persamaan (2.34), ρ_b dapat dihitung dengan persamaan (2.35) dan ρ_{\max} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.52),

$$\rho_{\max} = \left(\frac{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}{0,008} \right) x \rho_b + 0,5\rho x \left(\frac{f_s'}{f_y} \right) \quad (2.52)$$

4. Kontrol regangan tulangan pada daerah tekan Asumsi yang dapat digunakan adalah tulangan daerah tekan belum mencapai titik leleh sehingga nilai ϵ_s' , ϵ_y , dan f_s' bisa dihitung menggunakan persamaan (2.45), (2.31), dan (2.46). Dengan syarat yang dapat dipenuhi adalah,

$$\epsilon_s' < \epsilon_y \quad (2.53)$$

5. Merencanakan kebutuhan tulangan

Perhitungan kebutuhan tulangan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.25) dan (2.35) terdapat masing-masing daerah tulangan.

6. Menghitung Momen nominal (M_n) untuk mendapatkan penampang tulangan rangkap dengan menggunakan persamaan (2.54),

$$M_n = C_c x \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s x (d - d') \quad (2.54)$$

2.7.1.4 Desain lentur terhadap gaya geser dan torsi

Desain menggunakan bal yang memikul gaya geser dan torsi yang bisa dijelaskan sebagai berikut,

1. Menghitung gaya geser ultimit (V_u) serta momen torsi ultimit (T_u) berakibat beban terfaktor yang dapat diambil dengan jarak d dari muka tumpuan,
2. Menentukan apakah tulangan geser dan torsi sangat diperlukan,

Tulangan geser sangat diperlukan apabila,

$$V_u > \phi V_c \text{ dengan } V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'c}b_w d \quad (2.55)$$

Tulangan torsi apabila sangat diperlukan

$$T_u \geq \phi 0,083 \lambda\sqrt{f'c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}^2} \right) \quad (2.56)$$

3. Desain tulangan geser

- a. Menghitung tahanan geser nominal yang bisa didapatkan dari beton (V_c) serta menentukan gaya geser harus dipikul oleh tulangan geser (V_s),

$$V_s = V_u - \phi V_c \quad (2.57)$$

Menghitung V_s maksimum yang dapat diizinkan,

$$V_{s_{maks}} = 0,66\sqrt{f'c}b_wd \quad (2.58)$$

Jika $V_s < V_{s_{maks}}$, \rightarrow perhitungan tulangan geser dilanjutkan

Jika $V_s > V_{s_{maks}}$, \rightarrow ukuran penampang harus diperbesar

- b. Menghitung tulangan geser yang diperlukan

$$A_v = \frac{V_s s}{f_y x d} \quad (2.59)$$

atau

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y x d} \quad (2.60)$$

A_v = merupakan luas jumlah kaki sengkang, sementara s adalah jarak antar sengkang.

- c. Periksa nilai tulangan geser dengan syarat minimum

$$\frac{A_v}{s_{min}} = 0,062\sqrt{f'c} \left(\frac{b_w}{f_y} \right) \quad (2.61)$$

4. Desain tulangan torsi

1. Menghitung besaran-besaran yang diperlukan untuk menghitung torsi

$$x_o = b - 2 \left(p + \frac{d_s}{2} \right) \quad (2.62)$$

$$y_o = h - 2 \left(p + \frac{d_s}{2} \right) \quad (2.63)$$

$$A_{oh} = x_o x y_o \quad (2.64)$$

$$A_o = 0,85 A_{oh} \quad (2.65)$$

$$P_h = 2 (x_o + y_o) \quad (2.66)$$

dimana;

b = lebar balok (mm)

h = tinggi balok

p = selimut beton (mm)

d_s = diameter tulangan sengkang (mm)

2. Periksa syarat kecukupan dimensi penampang

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{Tu \times Ph}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \theta \left[\left(\frac{Vc}{b_w d}\right) + 0,66 \sqrt{f'c} \right] \quad (2.67)$$

Dimana

Apabila syarat tidak terpenuhi maka penampang harus diperbesar

3. Menghitung tulangan torsi yang digunakan

$$T_n = \frac{2 A_o f_y \cot \theta}{s} \quad (2.68)$$

Dimana;

$$T_n = Tu/\theta \text{ (dengan } \theta = 0,75)$$

$$A_o = 0,85 A_{oh}$$

$$A_t = \text{Luas 1 leg tulangan sengkang (mm}^2)$$

$$f_y = \text{Kuat leleh tulangan sengkang (MPa)}$$

$$\theta = 45^\circ \text{ untuk beton non-prategang}$$

atau persamaan (2.68) dapat dituliskan menjadi persamaan (2.69),

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 A_o f_y \cot \theta}$$

4. Menghitung kebutuhan tulangan memanjang (A_l)

$$A_l = \left(\frac{A_t}{s}\right) Ph \left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right) \cot^2 \theta$$

Jika $\theta = 45^\circ$ dan $f_{yt} = f_y$ besarnya A_l menjadi,

$$A_l = \left(\frac{A_t}{s}\right) Ph$$

dimana:

$$A_{cp} = \text{luas batas penampang pada beton, (mm}^2)$$

$$A_o = \text{luas bruto pembatas aliran yang geser, (mm}^2)$$

$$A_{oh} = \text{luas batas gariis pada pusat sengkang torsi bagian luar}$$

$$A_t = \text{luasan kakii sangkang yang terdapat penutup ditahan puntir dalam area yang sejarak s (mm}^2)$$

$$A_l = \text{luasan secara tulangan longitudinal, (mm}^2)$$

$$f_{yh} = \text{kuatan leleh longitudinal, (MPa)}$$

$$f_{yt} = \text{kuat leleh tulangan torsii lungiitudinal, (MPa)}$$

$$f_{yv} = \text{kuatan leleh sengkang torsii, (MPa)}$$

$$p_{cp} = \text{penampang beton keliiling bagian luar, (mm)}$$

p_k = keliling torsi luar, mm

s = spasi tulang luar, mm

5. Periksa terhadap A_t minimal untuk torsi

$$A_{lmin} = \left(\frac{0,41\sqrt{f'c}A_{cp}}{f_y} \right) - \left(\frac{A_t}{s} \right) Ph \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right)$$

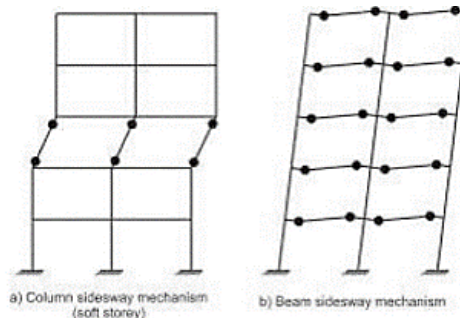
Nilai $\left(\frac{A_t}{s} \right)$ tidak diperbolehkan diambil kurang dari $0,175b_w/f_{yt}$.

2.7.2 Desain Kapasitas

struktur mempunyai tingkah inelestik. Maka untuk penjaminan masalah tersebut, perilaku inelestik struktur suatu bangunan harus dipikirkan dengan sebaik mungkin. Salah satu metode desain yang dapat dipakai agar tujuan dari metode kapasitas desain terpenuhi (Imran, 2014).

Pelatihan angkat adalah bentuk kegagalan, tetapi kesalahan pengangkatan biasanya merupakan kemunduran. Untuk menghindari bilah dari bilah, biasanya dirancang untuk memiliki keracunan gaya dengan gaya maksimum lebih tinggi dari gaya maksimum yang dapat terjadi ketika mengembangkan gaya kejut. Model dasar berdasarkan metode desain dinamis ini sering digunakan dalam desain elemen struktur pohon, kolom, link dan dinding. (Imran, 2014).

Mekanisme keruntuhan pada struktur seperti pada Gambar 2.4 biasanya terjadi pada mekanisme struktur ditarik, tekanan yang lentur, pergeseran, menarikan diagonal, gagal yang angkur, gagalnya lekat tulang, gagalnya tekanan dan lain-lain. Yang ada pada mekanisme penghasil perilaku daktail yaitu mekanisme lentur tarik. Agar keruntuhan lentur yang dirncanakan terjadi maka keruntuhan lainnya harus diupayakan tidak muncul dalam perilaku yang dihasilkan. (Imran, 2014).



Gambar 2. 3 Mekanisme keruntuhan rangka (Imran, 2014)

2.7.3 Struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK)

2.7.3.1 Persyaratan detailing komponen struktur lentur

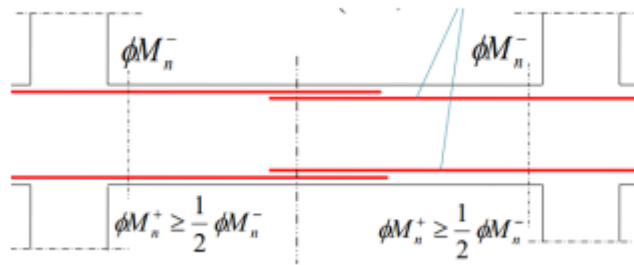
1. Syarat – syarat (Budiono, 2017):
 - a. Komponen perencanaan dengan Gaya tekanan aksial P_u , tidak diperbolehkan untuk lebih dari $A_g f'c/10$.
 - b. Bentang bersih sebagai stuktur, l_n , tidak diperbolehkan $4x$ dari ketinggian yang efektif
 - c. Lebaran item, b_w , tidak diperbolehkan yang $<$ dari $0,3h$ dan 250mm .
 - d. Lebar elemen b_w tidak diperboleh $>$ dari jarak yang sama dengan lebar elemen pendukung c_2 , ditambah jarak yang $<$ dari (a) serta (b) pada kedua sisi elemen pendukung.:
 - (a) Lebaran item kerangka pada penumpu, c_2 .
 - (b) $0,5$ x dimensi keseluruhan item kerangka tumpuan, c_1 .



Gambar 2. 4 Ketentuan Dimensi Penampang Balok (Imran, 2014).

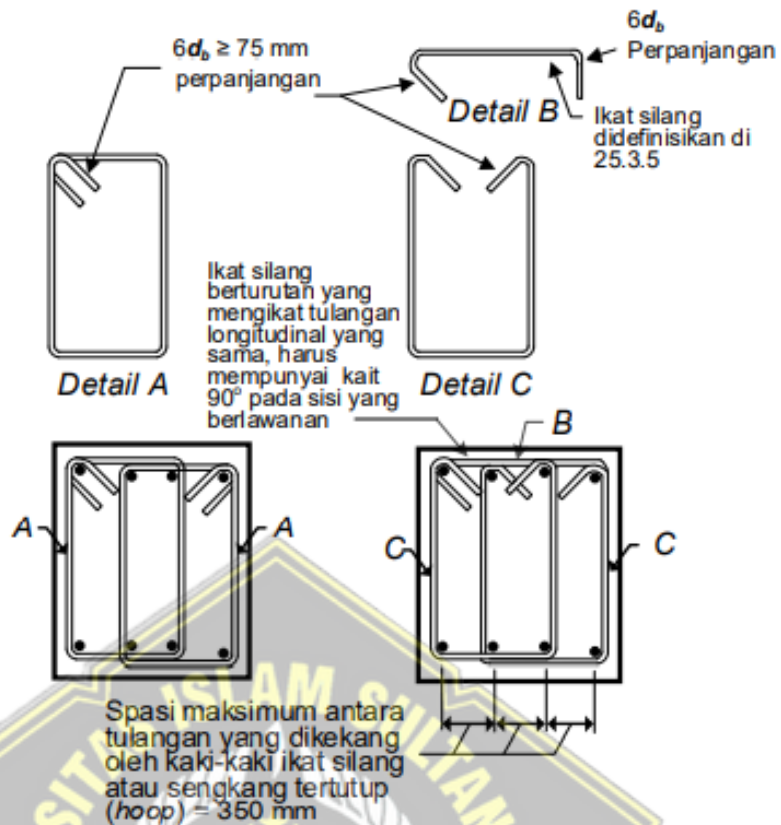
2. Tulangan Longitudinal
 - a. Luasan tulang sudah ditentukan melalui persyaratan yang telah ada maka dari itu luasan tulang yang ada pada bagian bawah serta atas diwajibkan melebihi dari luasan yang telah disyaratkan $(0,5 b_w d \sqrt{f'c}) / f_y$. (28), tetapi tidak $<$ dari $1,4 b_w d / f_y$, serta faktor pelindung harus $>$ $0,025$. Setidaknya 2 batangan tulang wajib ditempatkan terus di sisi duanya.
$$A_{smin} = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} b_w d$$
 - b. Permukaan sambungan pada momen gaya yang positif harus memiliki hasil yang lebih dari momen gaya negatif. Gaya momen yang terletak

disetiap struktur diwajibkan lebih dari $\frac{1}{4}$ momen gaya maksimum.



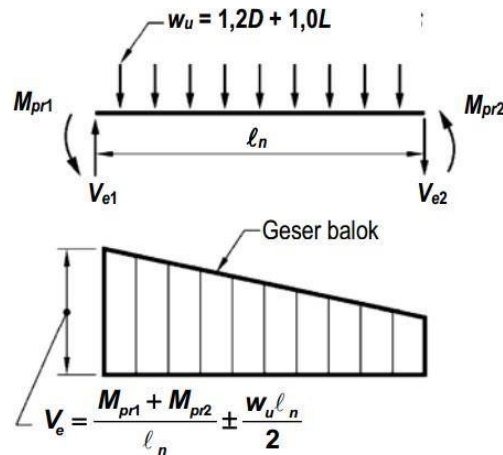
Gambar 2. 5 Persyaratan Tulangan Lentur (Imran, 2014)

- c. Isolasi tulangan untuk lentur diperbolehkan jika pengencang atau tulangan annular disediakan di sepanjang seluruh sambungan. Jarak tulangan penampang, penutup batangan yang saling berhubungan, tidak diperbolehkan $>$ dari $d / 4$ dan 100 mm.
 - (a) Termasuk ke bagian joint;
 - (b) jarak 2x tinggi kerangka struktur dari muka joint;
3. Tulangan Transversal
- a. Besarnya nilai $V_u >$ dari ϕV_c , agar terpenuhi persamaan (2.75) dan (2.76), dimana V_s wajib dihitung disesuaikan persamaan (2.77) dan (2.78),
 - b. Ketika tulangan transversal digunakan tegak lurus terhadap sumbu batang, dimana A_v adalah luas tulangan geser dalam ruang.
 - c. Senggang wajib bersama kerangka bangunan rangka dengan syarat berikut,
 - Supaya setiap komponen struktur hingga dua kali panjang komponen struktur, pengukuran diawali sisi bertumpu pada ujung
 - Di seluruh ketinggian ganda elemen di kedua sisi elemen, dengan kemungkinan membentuk engsel plastik.



Gambar 2. 6 Contoh Sengkang Tertutup yang Dipasang Bertumpuk
 (Gambar R18.6.4 SNI 2847:2019)

- d. Posisi penutupan pertama klem paling banyak 50 mm dari depan elemen pendukung. Jarak antara kaliper penutup dilarang $>$ dari $d / 4$, 6 pcs dan 150 mm.
4. Persyaratan Tulangan Geser (Imran, 2014)
 - a. Menentukan gaya geser V_e melalui penentuan statis gaya yang terletak pada struktur. Momen maksimum dipakai untuk melakukan pembuatan desain yang berbentuk sendi plastic yaitu Momen ujung M_{pr} , ujung M_{pr} memiliki nilai $1,25 f_y$.



Gambar 2. 7 Geser Rencana Untuk Balok Oleh Kuat Lentur
Maksimum (Imran, 2014)

- b. Tulangan tranfersal sepanjang yang diidentifikasi sebelumnya harus diproposikan penahanan $V_c = 0$ (a) dan (b) keduanya terjadi:
 - (a) Gaya geser yang ditimbulkan perhitungan gempa disesuaikan 2.5.4.1 mewakili $\frac{1}{2}$.
 - (b) Gaya tekan aksial terfaktor.

2.7.3.2 Persyaratan detailing komponen struktur SRPMK yang diterima kombinasi lentur dan aksial.

1. Syarat-syarat (Budiono, 2017)
 - a. Gaya tekan kerangka, P_u , harus $>$ dari $Agf_c/10$
 - b. Dimensi terkecil dari penampang, diukur dalam geometri, dilarang $<$ dari 300 milimeter.
 - c. Dimensi pendek dengan dimensi vertikal dilarang $<$ dari 0,4
2. Tulangan memanjang (Imran, 2014)
 - a. Ketebalan unit A_{st} dilarang $<$ dari $0,01 A_g$ dan tidak kurang dari $0,06 A_g$.
 - b. Sambungan lentur mekanis tipe 1 (125% kekuatan luluh tulangan) tidak digunakan bila sendi plastis memiliki efek praktis.
 - c. Sengkang tertutup yang berbentuk bulat yang ada pada sebuah kolom, memiliki batang dengan total min. 6.
3. Tulangan transversal (Imran, 2014)
 - a. Tulangan transvesaly ang disyaratkan dipasang panjang joint dan pada sisi sembarang penampang dimana pelelehan letur sepertinya terjadi

akibat dari perpindahan inelastis rangka. Panjang l_o (a), (b), dan (c)

(a) lelehan lentur.

(b) $1/6$ bentang bersih.

(c) 450 mm.

b. Spasi tulangan travensal sepanjang l_o komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b),(c), (d) dan (e):

(a) $1/4$ minimum.

(b) $6x$ longitudinal.

(c) S_o , seperti didefinisikan oleh pers.

$$(d) S_o = \frac{350-hx}{3} \quad (2.79)$$

(e) Nilai S_o dilarang $>$ dari 150mm dan dilarang $<$ dari 100 mm.



c. Rasio volume:

$$A_{sh} = 0,009 \frac{s b d' c}{f_y t} \quad (2.80)$$

4. Persyaratan kekuatan geser (Budiono, 2017)

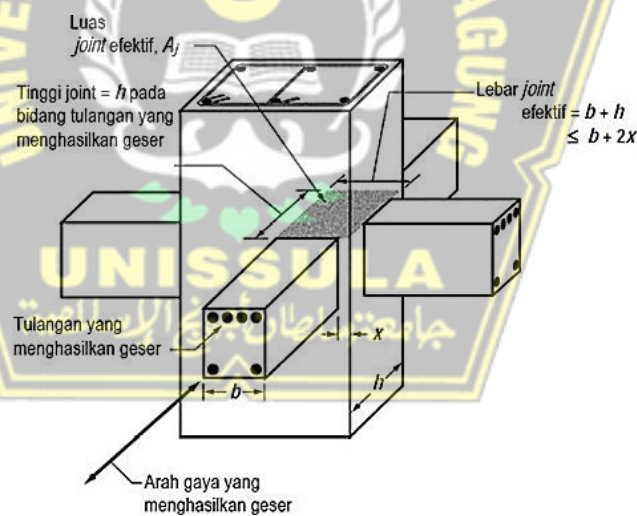
a. Tulangan transversal sepanjang l_o , yang di identifikasi sebelumnya, harus di promosikan untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c=0$ bilamana keduanya (a) dan (b) terjadi :

(a) Gaya geser yang akibat gempa, menjadi perwakilan $1/2$ dalam l_o .

(b) Gaya tekan aksial terfaktor.

2.7.3.3 Joint struktur, rangka pemikul momen khusus (Hubungan Balok Kolom)

1. Syarat-syarat
 - a. Tahanan terhadap breising balok horizontal di depan tulangan lentur sebesar $1,25 f_y$.
 - b. Tulangan memanjang dari balok jadi dalam kolom dimaksudkan untuk memanjang ke muka terjauh dari inti kolom yang terperangkap serta dikenai tegangan sesuai dengan 18.8.5 dan tekan sesuai dengan 25.4.9. pada SNI 2847:2019.
 - c. Jika tulangan balok menerus dijamin dengan sambungan balok-pilar, dimensi kolom tulangan balok harus paling sedikit 20 kali panjang balok terbesar yang diperkuat dengan beton normal. Dimensi beton polos harus 26 kali tebal tulangan (SNI 2847:2019).
2. Kekuatan Geser (Imran, 2014)
 lawanan ($1,2\sqrt{f_c} A_j$)
 lain ($1,0\sqrt{f_c} A_j$)



Gambar 2. 9 Luas Jont Efektif (Larasi, 2017)

3. Panjang penyaluran batang tulangan dalam kondisi tarik (Imran, 2014)
 kayu berukuran D-10 - D36, tebal sambungan, l_{dh} , untuk tulangan bintang dengan 900 kait pada beton polos dilarang < dari maksimum $8d_b$, 150mm ketebalan ditentukan dalam Ec. (2.83).

$$l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4 \sqrt{f'rc}} \quad (2.83)$$

2.7.4 Desain Pelat

Pelat yang terdapat pada sebuah bangunan memiliki 2 macam bagian yaitu pelat yang hanya memiliki 1 sisi dan juga pelat yang memiliki kedua sisi. Pelat yang menggunakan lapisan beton yang memiliki tulang dilakukan pemasangan yang melintang, pelat tersebut dilakukan pemasangan yang tidak memiliki kelenturan dan juga tdk nempel.

2.7.4.1 Pelat Satu Arah (*One Way Slab*)

Ciri-ciri pelat satu arah adalah pelat ditumpu pada sisi yang saling berhadapan dengan perbandingan antarsisi $\frac{L_y}{L_x} > 2$. sesuai Tabel 7.3.1.1.1 hingga 7.3.1.1.3.

2.7.4.2 Pelat Dua Arah (*Two Way Slab*)

Pelat yang memiliki 4 sisi dan disetiap sisinya diberikan tumpuan menggunakan balok serta benda lainnya yang memiliki berat yang mampu menumpu pelat serta diarahkan tegak lurus. (Dispohusnodo, 1996). Pelat sendiri bisa dibidang memiliki 2 arah jika $\frac{L_y}{L_x} \leq 2$, ketebalan minimum pelat dua arah ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019.

2.8 Perencanaan Struktur Bawah

Perencanaan truktur bawah disini meliputi pondasi, *pile cap* dan *sloof*. Kerangka yang memiliki fung sebagai penopang sebuah bangunan di sebut pondasi. Sub bab ini terdiri dari perhitungan fondasi tiang pancang (*pile cap*).

2.8.1 Pondasi Tiang Pancang

2.8.1.1 Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Dari Uji Penetrasi Standard (SPT) Menurut Mayerhoff

Kapasitas ultimit tiang dpat dihitung secara empiris dari nilai N hasil ujung SPT. Rumus umum dalam kapasitas ultimit tiang pancang dapat dilihat pada persamaan (2.86),

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad (2.81)$$

dimana,

Q_u = Bukan kapasitas penyimpanan absolut (kN)

Q_b = Tahanan ujung bawah ultimit (kN)

Q_s = Tahanan gesek ultimit (kN)

Menurut Mayerhof (1976) untuk menghitung tahanan ujung tiang menggunakan persamaan :

$$Q_b = 40 N_b A_b \quad (2.82)$$

$$N_b = \frac{N_1 + N_2}{2} \quad (2.83)$$

Sedangkan untuk menghitung tahanan gesek menggunakan persamaan (2.84) :

$$Q_s = 0,5 N_s A_p \quad (2.84)$$

dimana,

A_b = Luas penampang tiang pancang (m^2)

N_b = Harga N-SPT rata-rata

A_p = Luas penampang dasar tiang pancang (m^2)

N_1 = N rata-rata yang dihitung 8d keatas dari asar tiang (m)

N_2 = N rata-rata yang dihitung 3d kebawah dari dasar tiang (m)

N_s = Harga N-SPT rata-rata

2.8.1.2 Fondasi Tiang Kelompok (*Pile Group*)

Perkiraan jumlah kebutuhan tiang pancang tanpa efisiensi :

$$n = \frac{p_u}{Q_{all}} \quad (2.85)$$

Efisiensi kelompok tiang pancang dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$Q_{all \text{ total}} = Eff \cdot n \cdot Q_{all} \quad (2.86)$$

$$Eff = 1 - \frac{\phi}{90} \left\{ \frac{(n-1)m + (m-1)n}{m \cdot n} \right\} \quad (2.87)$$

dimana,

m = jumlah baris

n = jumlah tiang

ϕ = $\tan^{-1} (d/s)$

d = diameer tiang pancang (cm)

s = jarak antar tiang pancang (cm)

Jika $Q_{all \text{ total}} = P_{group}$, maka kapastast daya dukung tiang pancang kelompok

harus dicek dengan total beban yang diterima dari pondasi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

1. Jarak antas As

$$2,5D < s < 3D \quad (2.88)$$

2. Jarak As ke tepi

$$s = 0,5D + 0,15 m \quad (2.89)$$

2.8.1.3 Kontrol beban maksimum

Untuk menghitung gaya aksial maka harus ditinjau dari sumbu x dan y

$$P_{max/min} = \frac{P}{n} \pm \frac{M_x X_{max}}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_y Y_{max}}{\Sigma y^2} \leq P_{ijin} \quad (2.90)$$

dimana,

P	= beban aksial yang bekerja pada tiang pancang
M_x	= momen luar sumbu x
M_y	= momen luar sumbu y
X_{max}	= jarak antar tiang pancang terjauh dari sumbu x
Y_{max}	= jarak antar tiang pancang terjauh dari sumbu y
Σx^2	= jumlah kuadrat jarak antar tiang pancang sumbu x
Σy^2	= jumlah kuadrat jarak antar tiang pancang sumbu y

2.8.1.4 Kontrol gaya lateral (Metode Broms)

Gaya geser didapat dari kapasitas balok,

$$V = \frac{M_{pr} + M_{pr}}{I_n \text{ kolom}} \quad (2.91)$$

Gaya lateral (H_u) yang diterima masing-masing tiang pancang,

$$H_u = \frac{V}{n} \quad (2.92)$$

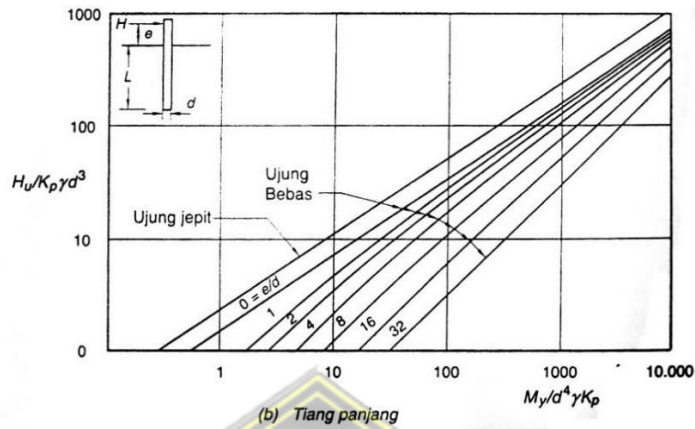
Sudut geser dan berat jenis tanah pada site bangunan yang akan didirikan diperoleh dari percobaan Direct Shear Test yang telah dilakukan. Nilai K_p dihitung persamaan (2.93)

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.93)$$

Momen yang terjadi diambil dari grafik hubungan M_u dan H_u pada gambar 2.12 menggunakan persamaan (2.94) dan (2.95)

$$\frac{H_u}{K_p \times \gamma \times d^4} \tag{2.94}$$

$$\frac{M_u}{K_p \times \gamma \times d^4} \tag{2.95}$$

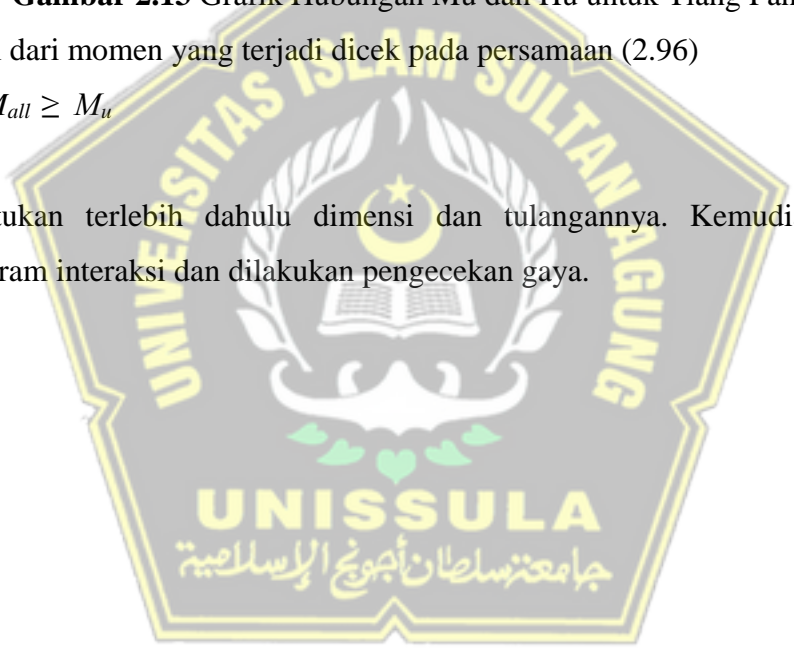


Gambar 2.13 Grafik Hubungan M_u dan H_u untuk Tiang Pancang

Hasil dari momen yang terjadi dicek pada persamaan (2.96)

$$M_{all} \geq M_u \tag{2.96}$$

Tentukan terlebih dahulu dimensi dan tulangnya. Kemudian membuat diagram interaksi dan dilakukan pengecekan gaya.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Pengumpulan Data

Data didapatkan oleh penulis dan dijadikan sebagai bahan acuan untuk penyusunan penelitian ini memakai data yang berbentuk sekunder. Data sekunder adalah data efektivitas alat, efisiensi kinerja pekerja, perkiraan waktu pekerjaan, dan melalui referen/penelitian yang telah mendahului serta wawancara. Manfaat dari data ini adalah untuk kepentingan proses perencanaan struktur. Data tersebut mencakup:

- Gambar perencanaan teknis bangunan gedung.
- Data seismic gempa Kabupaten Blora (*Website* rsa.cipta.karya.pu.go.id).
- Data tanah berdasarkan data sondir yang didapatkan.

3.1.1 Data Umum Proyek

Tabel 3. 1 Data umum proyek

Proyek	:	Pembangunan Gedung Laboratorium Dan Radiologi RSUD Dr. R Soetijono
Lokasi	:	Jl. Dr. Sutomo No. 42
Luas Bangunan	:	5280 m ²
Jumlah Lantai	:	5 Lantai
Penggunaan Bangunan	:	Gedung Laboratorium dan Radiologi
Owner	:	RSUD Dr. R Soetijono

3.2 Perencanaan Analisis Struktur

Tahapan ini melakukan analisa perhitungan terkait dengan pembangunan proyek yang sedang berjalan. Tahapan awal serta langkah-langkah analisis perhitungan dengan acuan dalam penulisan Tugas Akhir ini:

1. Pengumpulan Data

Pengambilan data primer maupun pengambilan data sekunder pada gedung rumah sakit yang akan di rencanakan serta dikembangkan. Perolehan data ini dari Shop Drawing gedung RSUD. Dr. R. Soetijono, gambar ini di gunakan

untuk permodelan ETABS V.19.0.0 yang langkah selanjutnya akan menggunakan *software*.

2. Permodelan Struktur Gedung

Permodelan struktur gedung dilakukan berdasarkan peraturan yang berlaku untuk membuat perencanaan gambar arsitektur yang telah dibuat.

Permodelan ini menggunakan bantuan software ETABS V.19.0.0. Dengan gambar antar grid A-B-C-D dengan spacing antar grid (0-5-6-5) dan grid 1-2-3-4-5-6-7 jarak *spacing* (0-1,5-6-6,5-6,5-5-7,5). Kemudian mengedit grid sesuai dengan gambar rencana, setelah itu di lanjutkan dengan, mendesain komponen rangka atap, tangga, balok lift, balok, kolom, dan pelat pada ETABS yang akan memperlihatkan permodelan struktur.

3. Perhitungan Pembebanan Statik

Perhitungan beban disini tidak hanya terdiri dari benda yang tidak bergerak saja tetapi benda yang hidup juga dilakukan perhitungan. Benda yang tidak dapat bergerak direncanakan berdasarkan pembebanan sendiri di dalam aplikasi kemudian dimasukkan ke dalam *load case Super DEAD* pembebanan sendiri tambahannya belumbisa dilakukan model yang terdapat didalam program *software* dalam *load case Super DEAD*.

4. Analisa Struktur

Analisis permodelan kerangka menggunakan Respon Spektrum agar mendapatkan kurva respon spectrum sesuai dengan area terjangkau gempa telah direncanakan dengan bantuan software dari kementerian pekerjaan umum yang bernama puskim.

5. Perencanaan Perhitungan Beban Gempa

Perencanaan yang dilakukan dalam mengatasi terjadinya gempa yaitu pada saat melakukan pembangunan memikirkan perencanaan elemen pada setiap kerangka bangunan yang sedang dilakukan, beban/berat gempa menjadi beban static yang ekuivalen di setiap lantainya.

a. Waktu getar (T_a)

b. Distribusi vertikal dan horizontal gaya gempa

6. Desain elemen-elemen struktur

A. Struktur Atas

Pada perencanaan struktur atas merupakan perencanaan terletak dibagian atas tanah, pelaksanaan perencanaan kerangka tersebut merupakan bagian dari, kolom, balok, hubungan balok kolom (*joint*). Terdapat detail dan langkah yang akan disusun pada bab 4.

a. Perencanaan Pelat

Menghitung nilai momen pada pelat, M_{lx} , M_{ly} , dan M_{ty} . Digunakan untuk mendesain penulangan pelat dengan detail pada bab 4.

b. Perencanaan Balok

- Mendesain tahanan torsi
- Mendesain penulangan lentur
- Pengambilan data momen dan torsi dari ETABS
- Mendesain tulangan transversal
- Mengecek persyaratan lentur SRPMK

c. Perencanaan Kolom

- Mengambil data gaya aksial dan momen dari ETABS
- Mengecek komponen struktur penahan gempa
- Menentukan tulangan komponen penahan lentur
- Mengontrol suatu beban aksial kolom terhadap beban aksial terfaktor
- Pengecekan perilaku struktur *strong column weak beam*
- Menghitung tulangan pada transversal sebagai *confinement*
- menghitung gaya geser desain (V_e)

d. Perencanaan Hubungan Balok Kolom (*Joint*)

- Perhitungan gaya geser pada *joint*
- Perhitungan kebutuhan tulangan transversal

B. Struktur Bawah

Kerangka bagian bawah berfungsi sebagai kerangka yang terletak dibawah tanah yang mampu menumpu bangunan dan menyalurkan beban bangunan ke tanah keras, langkah-langkah :

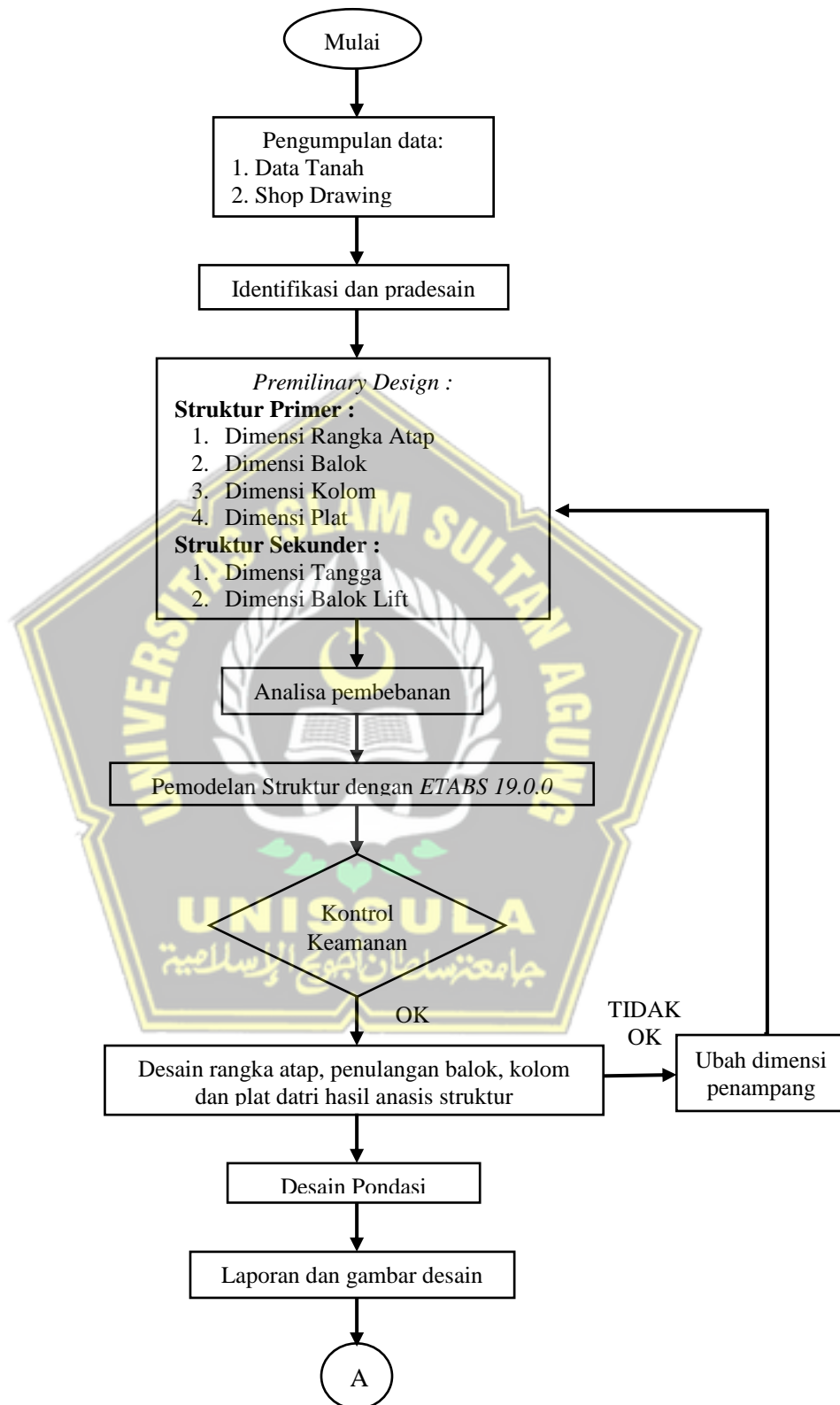
- a. Perencanaan pondasi tiang pancang
 - Meninjau daya dukung izin tiang pancang
 - Meninjau daya dukung pondasi berdasarkan kekuatan bahan
 - Penentuan jumlah pondasi kelompok tiang pancang
 - Penentuan daya dukung kelompok tiang
 - Melakukan hitungan beban yang terhitung secara maksimum
 - Mengontrol gaya geser lateral (metode *brooms*)
- b. Perencanaan *Pile Cap*
 - Meninjau tegangan geser 1 arah
 - Meninjau tegangan geser 2 arah
- c. Penulangan *Pile Cap*
 - Merencanakan penulangan lentur *Pile Cap*

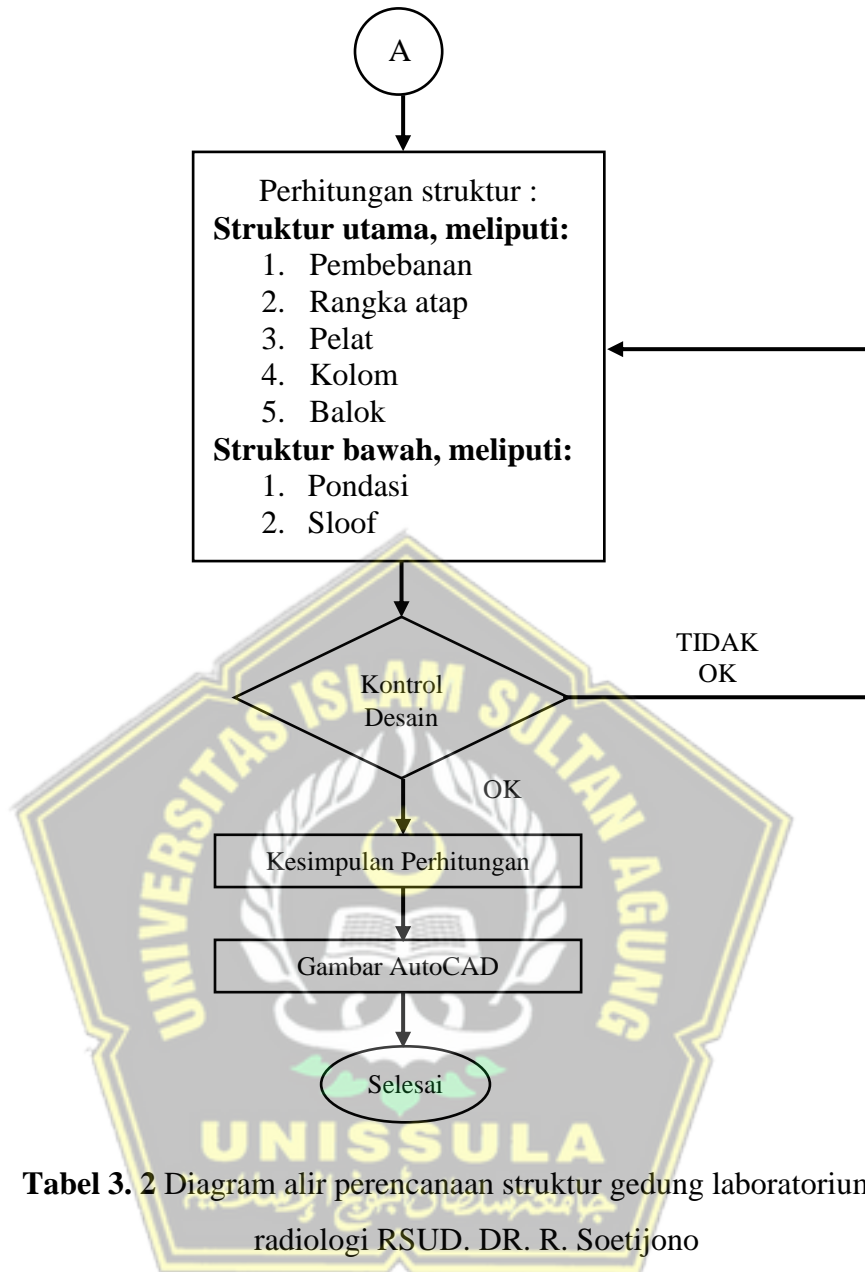
3.3 Laporan Penggambaran

Penyusunan laporan ini telah mengikuti panduan penulisan tugas akhir yang telah diatur di program studi teknik sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang bagian tersebut yaitu: sistematika penulisan, penggunaan bahasa, dan bentuk laporan. Penggambaran disesuaikan dengan menggunakan program aplikasi AutoCAD.



3.4 Diagram Alir





Tabel 3. 2 Diagram alir perencanaan struktur gedung laboratorium dan radiologi RSUD. DR. R. Soetijono

3.5 Acuan Desain Standar

Rancangan desain :

- a. SNI 1726:2019, mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Kerangka Bangunan Gedung dan Non Gedung.
- b. SNI 2847:2019, mengenai Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
- c. SNI 1727:2020, mengenai Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
- d. SNI 1729:2020, mengenai Persyaratan Spesifikasi Bangunan Gedung Baja Struktural
- e. ASCE 7 – 16, mengenai Minimum Design Loads for Building and Other Structures.

3.6 Data Struktur

Beton yang dipakai pada pembangunan gedung penelitian ini menggunakan mutu adalah sebagai berikut f_c' 25 Mpa (untuk struktur kolom, balok, dan pelat) adalah :

$$E_c = 4700 \sqrt{25} = 23500 \text{ Mpa}$$

Mutu baja tulangan yang digunakan sesuai SNI 2847:2019 adalah :

$$\text{Baja Tulangan (BJ 37)} \quad f_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$f_u = 370 \text{ Mpa}$$

$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

3.6.1 Dimensi Elemen Struktur

Kolom : - K 500x650

- K 400x600

- K 300x400

Balok : - G1 300x600 - B1 250x450

- G2 250x600 - B2 200x400

- G3 250x500 - B3 200x300

- G4 250x450 - B4 250x400

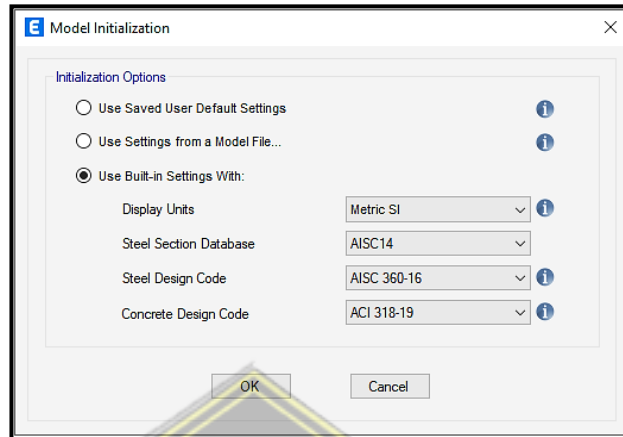
- BA 150X250

Pelat : - Lantai, $t = 12$

- Atap, $t = 13$

3.7 Permodelan Struktur Bangunan

Buka Software ETABS 2019 V.19.0.0 untuk komputer, diawali dari start klik menu *File - New Model*. ETABS seperti gambar di bawah ini.



Gambar 3.1 *Model Initialization*

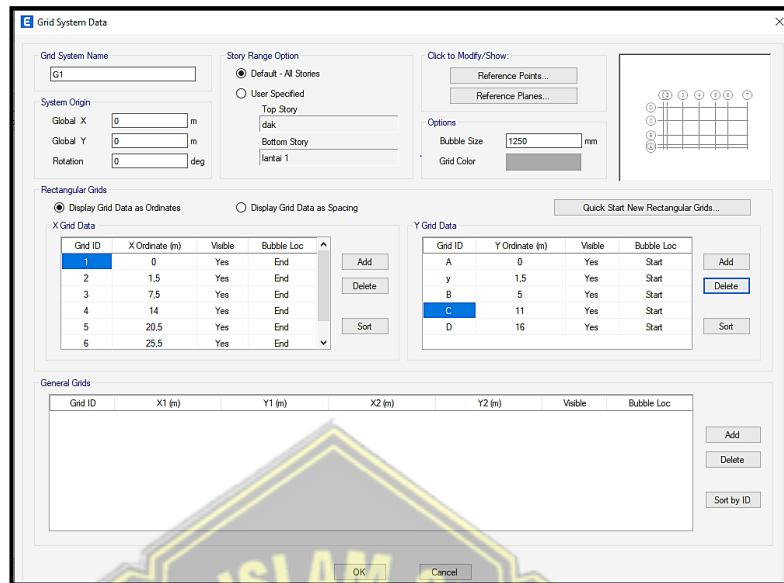
Opsi Inialisasi, Gunakan opsi bawaan untuk menentukan kode standar dan entitas pakai untuk membangun model desain. Pada bagian Display unit, pilih metrik SI untuk satuan internasional dan untuk desain beton bertulang pada kode desain beton, pilih ACI 318-19 yang merupakan acuan khusus SNI terbaru di Indonesia 2847:2019. Kode standar yang digunakan dalam database komponen baja dan kode desain baja adalah default, lalu klik OK.



Gambar 3.2 *New Model Quick Templates*

Pada *New Model Quick Templates* pilih *Custom Grid Spacing* - klik *Edit Grid Data*. Masukkan data dalam hitungan ordinat, pilih *Display Grid Data as Ordinates*.

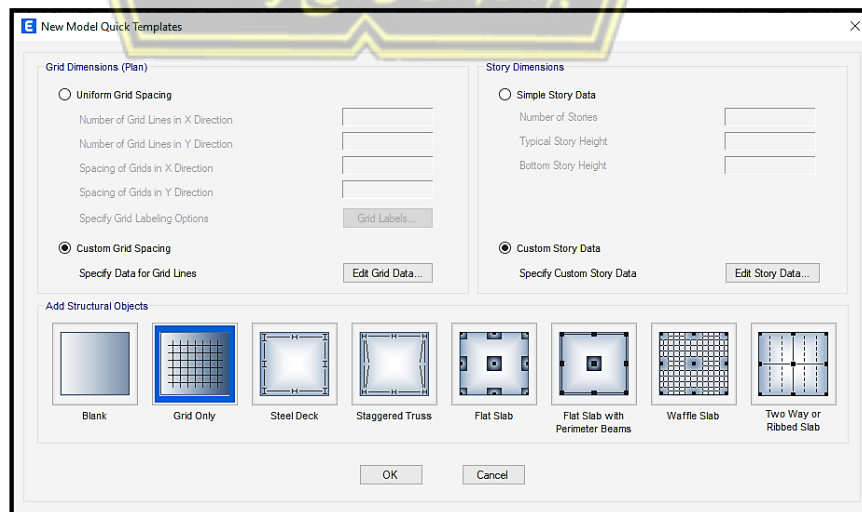
Sesuaikan data gambar denah rencana pada bagian *X Grid Data* dan *Y Grid Data* dengan jarak antar As denah rencana, lalu klik OK.



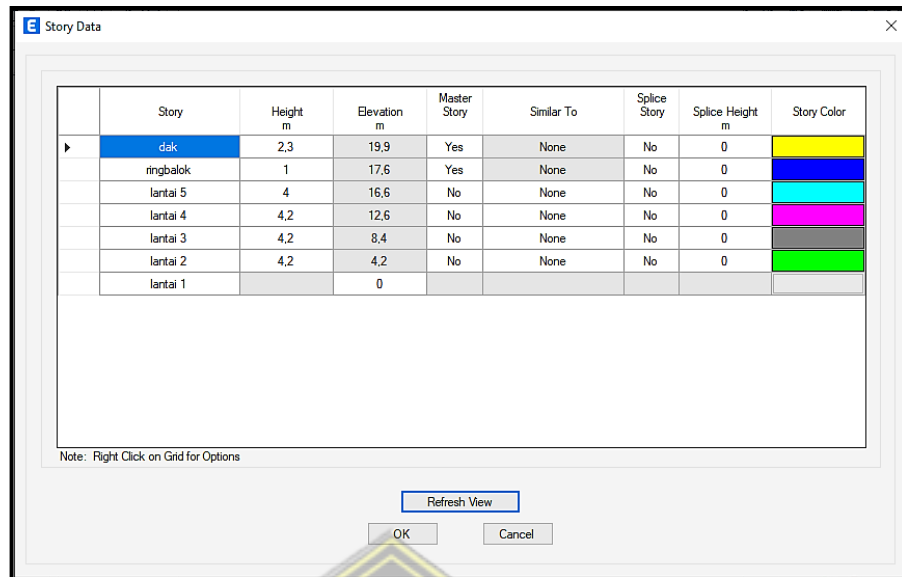
Gambar 3. 3 *Grid System Data*

Selanjutnya perhatikan bagian *Story Dimensions - Custom Story Data* lalu klik *Edit Story Data* setelah input data ketinggian bangunan lalu klik OK.

- Lantai 1 = 0 m
- Lantai 2 – 4 = 4,2 m
- Lantai 5 = 4 m
- Ringbalk = 1 m
- Dak = 2,3 m



Gambar 3. 4 *Story Dimention*

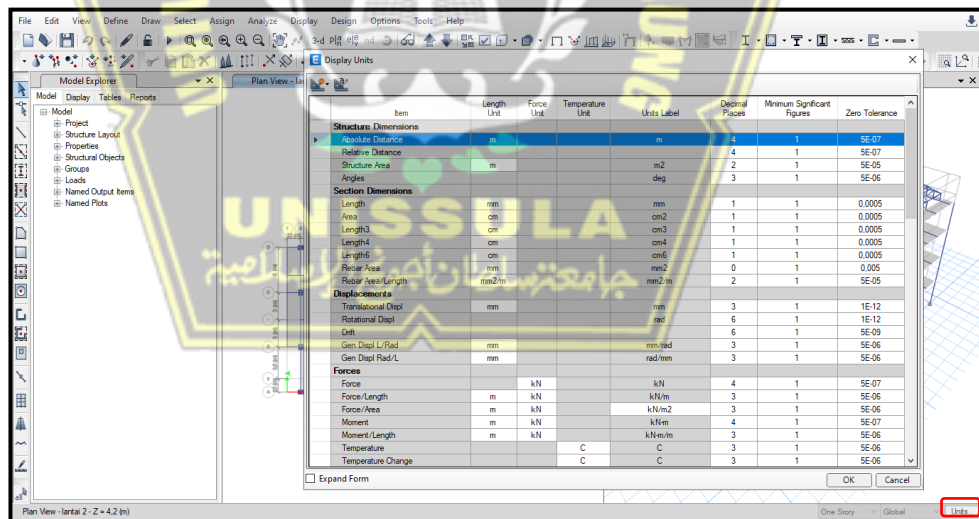


Gambar 3.5 Story Data

Kemudian setelah memasukkan data ketinggian bangunan, setelah itu untuk bagian *Add Structural Objects* pilih *Grid Only* - OK.

3.8 Konversi Satuan

Perubahan konversi menggunakan cara klik *Units - Show Units Form*.



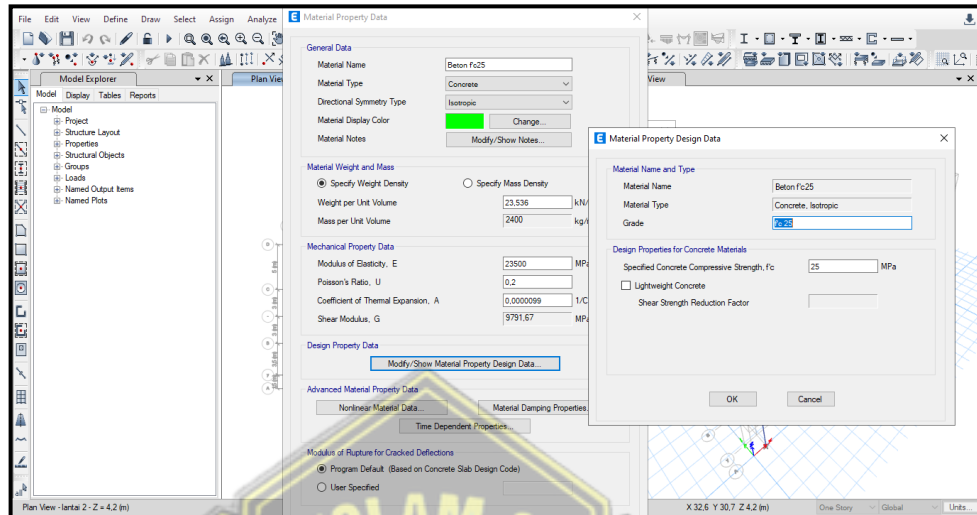
Gambar 3.6 Display Units

Satuan:

- Force : Force Units = kN, Units Label = kN
- Mass : Force Units = N, Units Label = kg
- Force/Area : Force Units = kN, Units Label = kN/m²

3.9 Material Properties Struktur Bangunan

Pilihan menu Define - Material Properties - Pilih 4000 psi (untuk beton) - Adjust/Display Material.

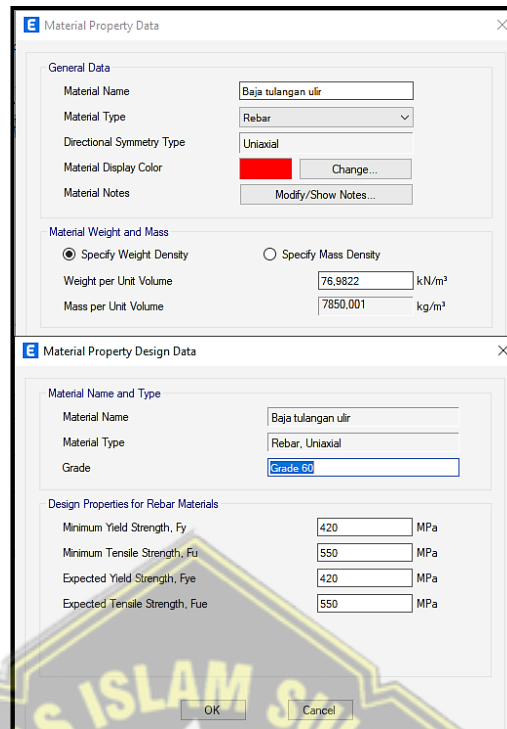


Gambar 3. 7 Mutu Beton $f_c' 25$ Mpa

Mutu beton $f_c' 25$ Mpa :

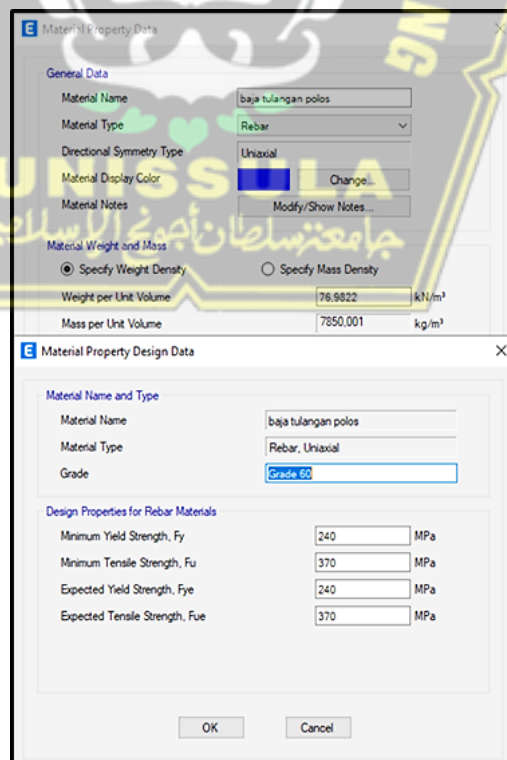
- Ganti *Material Name* dengan Beton $f_c' 25$ Mpa.
- Isi *Modulus of Elasticity*, sebelumnya yaitu 23500 Mpa.
- Properti Di bagian Properti, nilai f_c telah diedit ($f_c' 25$ Mpa) berdasarkan (untuk meningkatkan silinder)Pilih OK.

Pilih A615Gr60 - Change / Show Material - Ubah nama material menjadi "*Threaded / Smooth Reinforcing Steel*" - Material Type: Rebar - Change / Show *Material Properties Design Data* - Isikan data desain *Material Properties* sesuai dengan kualitas yang dikuatkan baja yang digunakan - seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. 8 Mutu Baja Tulangan Ulir

Untuk mutu baja tulangan lainnya, dengan cara yang mudah yaitu pilih *Add Copy of Material*. Tata cara dalam melakukan input data yaitu baja tulangan polos sama dengan langkah-langkah seperti yang ada di atas.

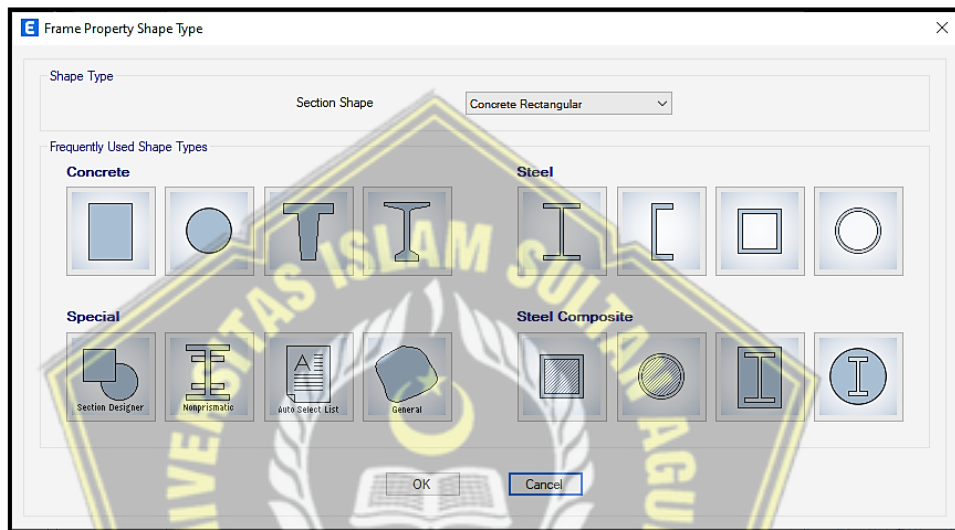


Gambar 3. 9 Mutu Baja Tulangan Polos

3.10 Dimensi Elemen Struktur

3.10.1 Elemen Kolom

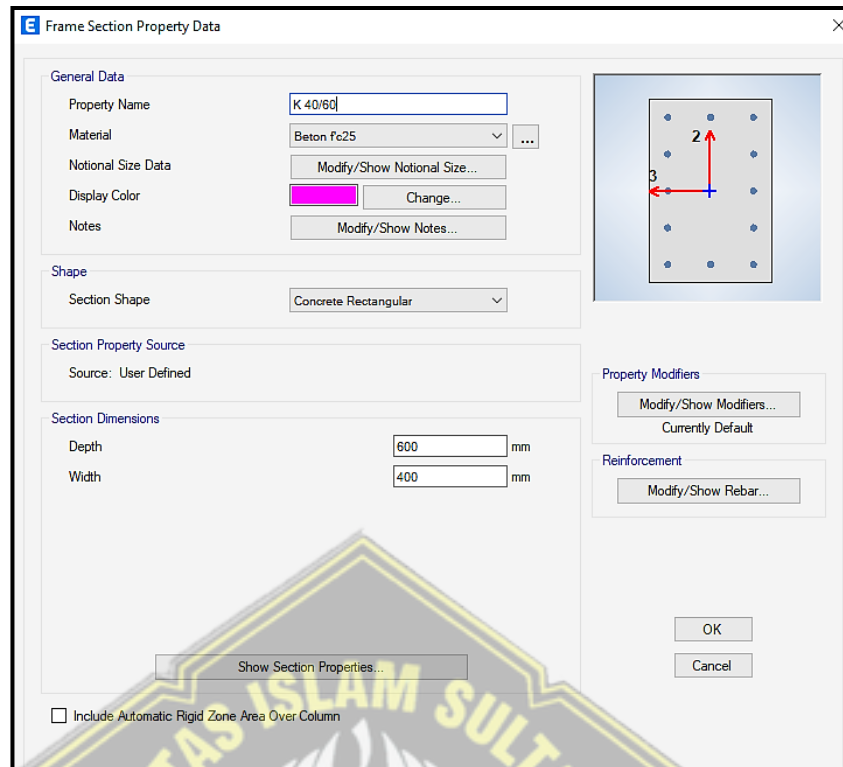
Jika Anda ingin menghapus properti bingkai default ETABS, Anda perlu melakukan langkah-langkah berikut: Pilih Beberapa Properti di sisi kanan - Pilih bagian yang ingin Anda hapus (pilih semua jenis) - Hapus bagian bingkai yang dipilih - Pilih semua bingkai - Bingkai yang dipilih Hapus bagian - OK. (Hanya satu bingkai default ETABS yang tersisa).



Gambar 3.10 *Section Shape Concrete*

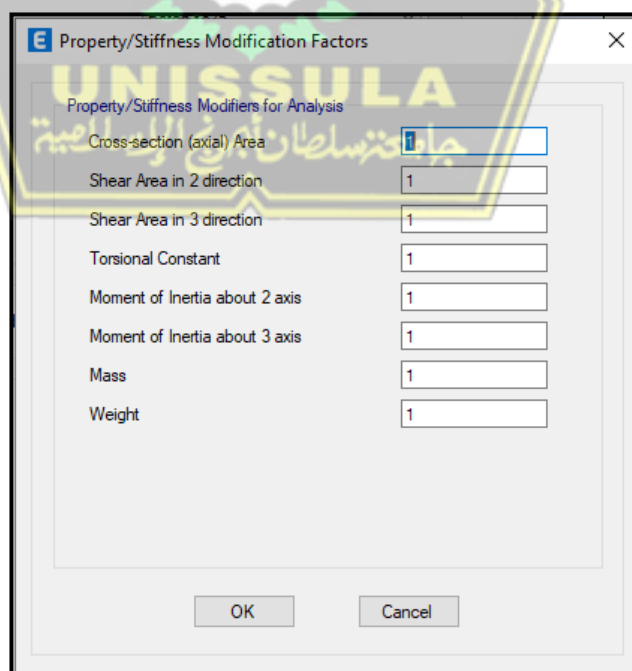
Pada kotak dialog *Frame Section Property Data* :

- *Property Name* : K 500x650
- *Material* : Beton $f_c' 25$ Mpa
- *Display Color* : pencet change agar warna dapat berubah
- *Section Dimensions* : mengisi dimensi kolom



Gambar 3. 11 Input Dimensi Kolom K 50/65

Pilih Tampilkan Koreksi / Koreksi untuk menentukan momen inersia efektif bagian rangka yang dibuat - untuk desain seismik, asumsi penampang penuh digunakan dan semua properti nilai analisis / Koreksi kekakuan = 1-OK.



Gambar 3. 12 Efektifitas Penampang Utuh

Selanjutnya klik Edit/Show Rebar, akan muncul kotak dialog seperti gambar di bawah ini.

Gambar 3. 13 Reinforcement Data Column

- Jenis Desain : P - M2 - M3 (dipakai kolom)
- Bahan penguat : pilih “Baja Tulangan”
- Konfigurasi gan : Rectangular (kolom segi-empat)
- Garis pelindung : Ties (tulangan sengkang kotak)
- Desain : Reinforcement to be Designed
- Penutup transparan : 30 mm (selimut beton minimal)

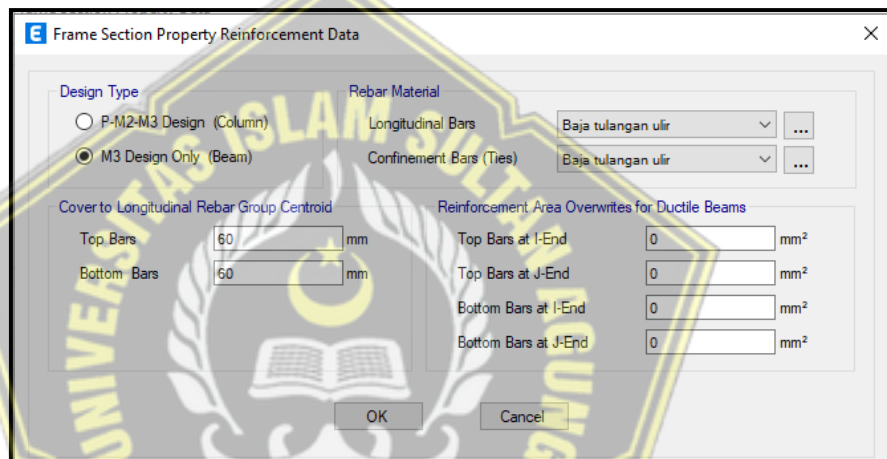
Jika Anda memilih desain besi di bagian Pemeriksaan / desain, angka / nilai yang berisi informasi batang besi akan berada di ETABS default karena batang besi akan dihitung secara terpisah setelah analisis struktur menerima nilai gaya internal atau data tentang area kebutuhan zat besi. Ini akan diabaikan.

3.10.2 Elemen Balok

Pada kotak dialog *Frame Section Property Data* :

- *Property Name* : G1 30/60
- *Material* : $f_c' = 25 \text{ Mpa}$
- *Display Color* : perubahan warna
- *Section Dimensions* : Width, untuk lebar balok = 300 mm
Depth, untuk tinggi balok = 600 mm

Kemudian klik Edit/Show Rebar, muncul kotak dialog *Frame Section Properties Reinforced Data - Structure Type* (pilih M3 Structure (Beam) only - OK).

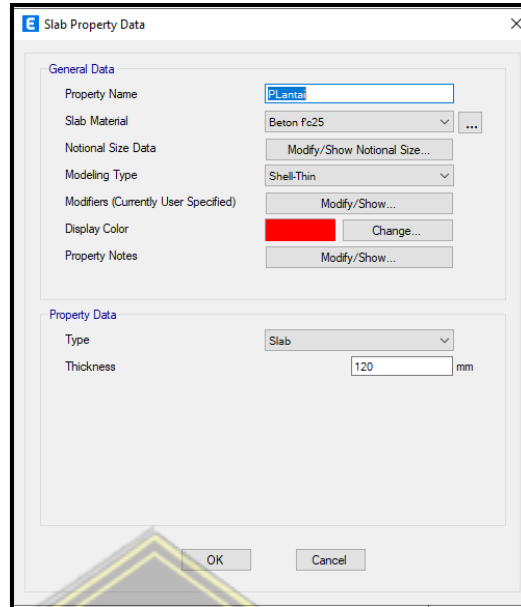


Gambar 3. 14 Reinforcement Data Beam

- *Tipe desain* : M3 Design Only (Beam)
- *Bahan penguat* : Baja Tulangan
- Penutup tengah dari kelompok tulangan longitudinal:
Top Bars = 60 mm*
Bottom Bars = 60 mm*
- Rentang amplifikasi berlebihan untuk sinar ulet: 0 cm²

3.10.3 Elemen Pelat

Cara membuat elemen pelat yaitu pilih menu Define - Section Properties - Slab Sections - Add New Property - Input Data - OK.



Gambar 3. 15 Data Slab

Perhatikan bagian *General Data* :

- Nama Barang : PLantai
- *Slab Material* : fc' 25 Mpa
- *Modelling Type* : Membrane
- *Shell-Thin*


Ubin lantai tipis yang dapat menahan 2 gaya yaitu gaya lentur/momen dan gaya geser/geser. Shell-Thin adalah elemen pelat yang diharapkan dapat menyerap gaya vertikal akibat berat gerak dan statis, serta gaya lateral/horizontal akibat beban gempa.

- Type : Slab
- Thickness : 120 mm

3.11 Penggambaran Elemen Struktur pada Denah

3.11.1 Penggambaran Elemen Kolom

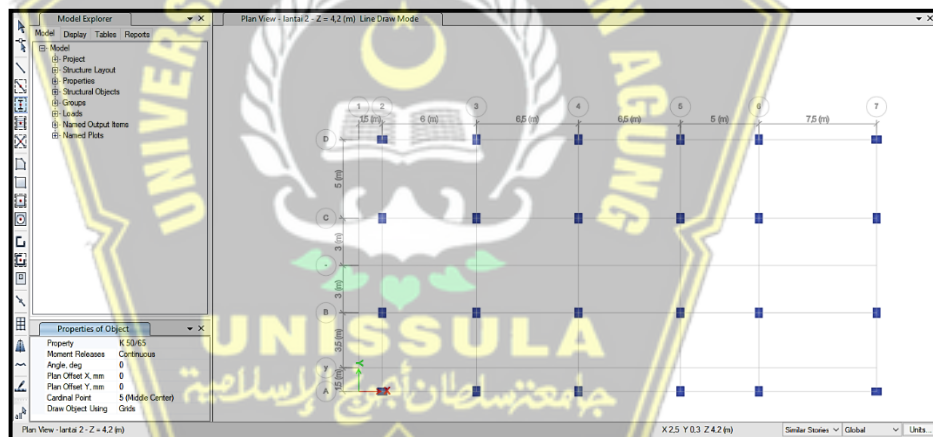
Gambaran elemen yang berbentuk kolom bisa menggunakan icon yang tempatnya ada dibagian kiri ETABS. Gambaran elemen yang berbentuk kolom K 500x650 memilih jenis yang dapat tampil Lantai 2 pada jendela ETABS menggunakan cara *View - Set Plan View* - pilih Lantai 2 - OK.

Apabila menginginkan untuk memakai *icon* pada ETABS bisa pilih *icon* yang berada di kiri ETABS 

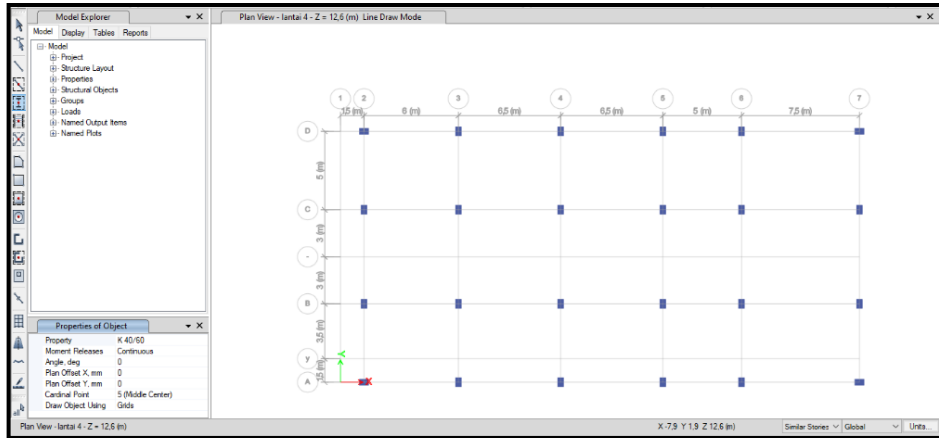
Perhatikan kotak dialog *Properties of Object* :

- *Property* : memilih bingkai untuk melakukan gambaran, K 50/65
- *Moment Releases* : pilih lanjutkan untuk
- *Angle, deg* : 0 (yang tidak menggunakan memutar ke arah kolom)
- *Cardinal Point* : 5 (*Middle Center*)
- *Draw Object Using* : *Grid*

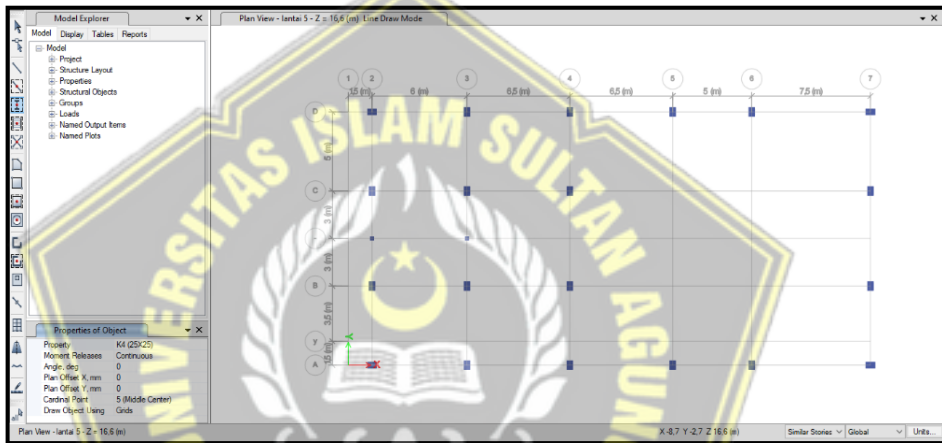
Arahkan penunjuk mouse ke pertemuan jaringan koordinat / pusatkan kolom sesuai dengan rencana Anda. Hasil deskripsi kolom cerita serupa ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



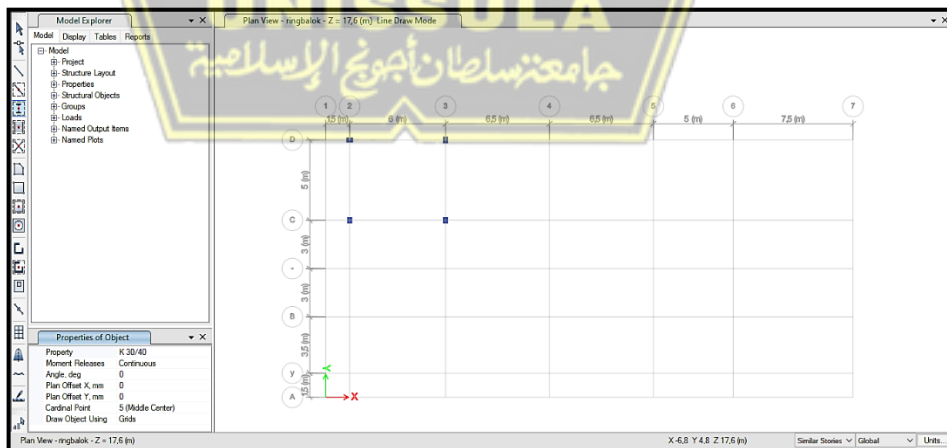
Gambar 3. 16 Konfigurasi Kolom Lantai 2 dan 3



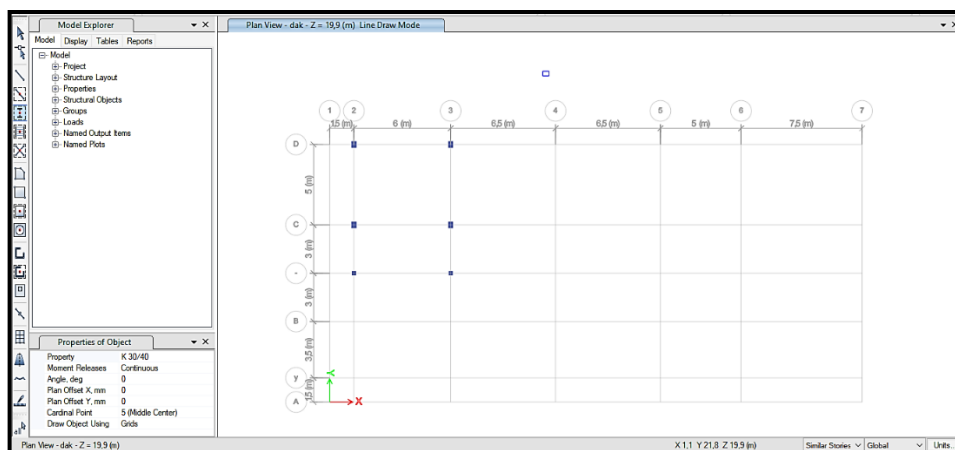
Gambar 3. 17 Konfigurasi Kolom Lantai 4



Gambar 3. 18 Konfigurasi Kolom Lantai 5



Gambar 3. 19 Konfigurasi Kolom RingBalk



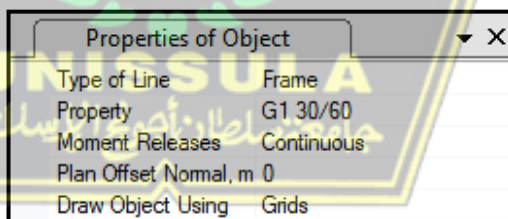
Gambar 3. 20 Konfigurasi Kolom Dak

3.11.2 Penggambaran Elemen Balok

Pada dialog, pilih menu View - Set Display Options - dan Color View pilih Section Properties - lalu pilih Object Assignments dari tab atas - dan di bawah Frame Attributes Check / Select Sections - lalu klik "OK".

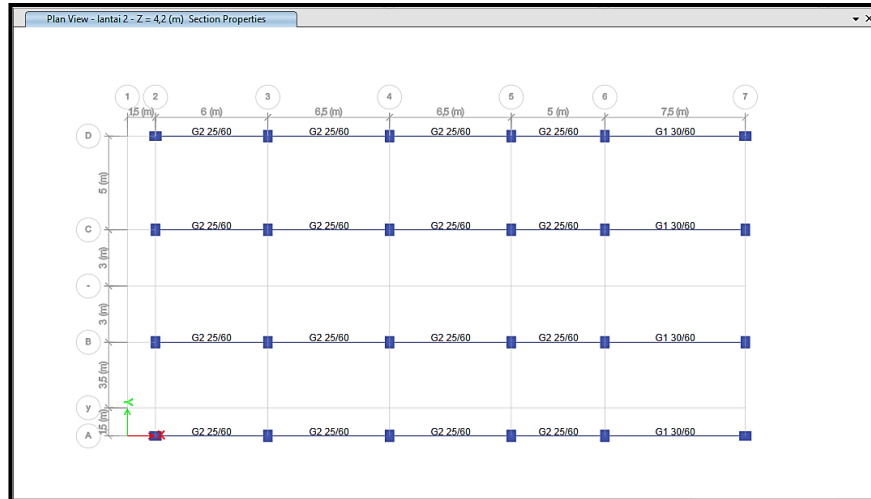
- a. Elemen Balok Induk G1 30/60 dan G2 25/60 (Arah X)

Untuk menggambar balok tinggi G1 30/60 dan G2 25/60, gunakan menu Draw - Draw Object Beam/Column/Brackets - Quick Draw Beam/Column (Plan, Student, 3D) - checkbox di bawah.



Gambar 3. 21 Properties G1 30/60

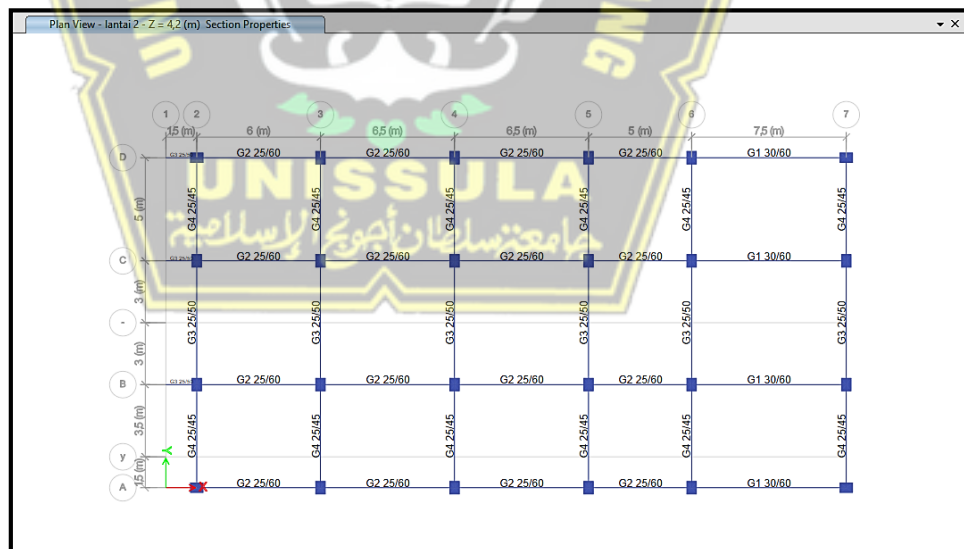
Arahkan mouse Anda ke atas garis petak petak hingga Anda melihat garis putus-putus di bawah, lalu klik lagi garis tersebut. Tarik elemen balok seperti yang direncanakan.



Gambar 3. 22 Penggambaran Balok Arah X Denah Lantai 2

b. Elemen Balok Induk G3 25/50 dan G4 25/45 (Arah Y)

Saat menggambar di G3 25/50 dan G4 25/45, menu Draw akan dinonaktifkan. Pilih menu drawing - Draw object Beam/Column/Crack - Draw Beam/Column/Brace object (Plan, 2D, Elevation, 3D) - Letakkan kursor di atas titik tengah kolom, kemudian gambar sejajar dengan sumbu Y. tengah kolom berikutnya.



Gambar 3. 23 Penggambaran Balok Arah Y Denah Lantai 2

c. Elemen Balok Anak B1 25/45 dan B3 20/30

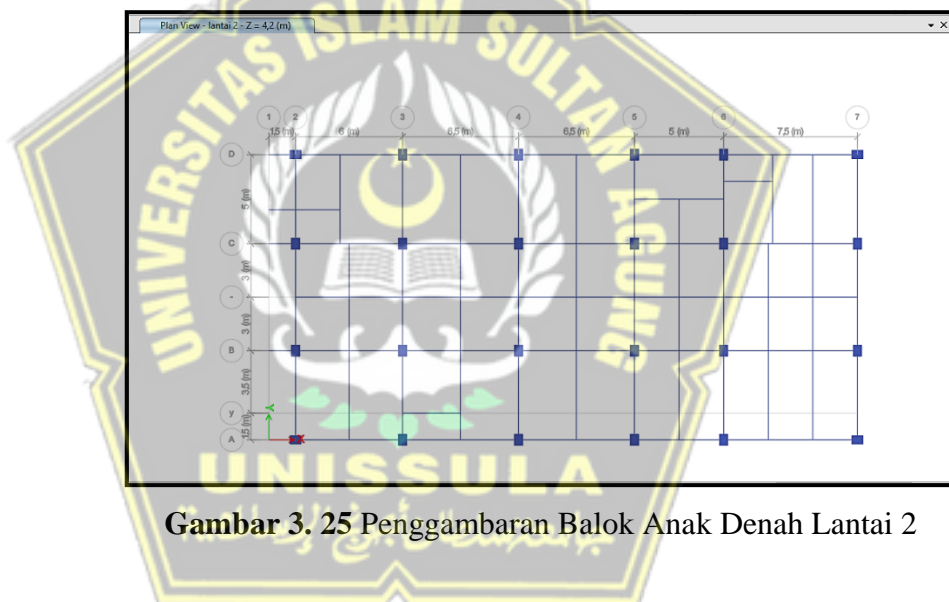
Untuk menghapus grid dari denah, pilih Edit Menu - *Edit Stories and Grid Systems* - *Modify / Show Grid System* - untuk Grid ID pilih yang akan

dihapus di Visible Box, ubah Yes menjadi No - OK. Drawing dilakukan dengan memilih Drawing Menu - *Drawing Beam / Rows / Supporting Elements - Quick Draw Secondary Beams (Plan, 3D)*.

Properties of Object	
Property	B2 20/40
Moment Releases	Continuous
Spacing	No. of Beams
No. of Beams	1
Approx. Orientation	Parallel to Y or R



Gambar 3. 24 *Properties B2 20/40*

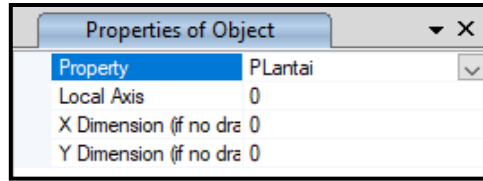
Pemilihan *moment releases* digunakan sebagai perlakuan pada balok anak *engineering judgement* atau kebijaksanaan atau keputusan yang harus diambil.



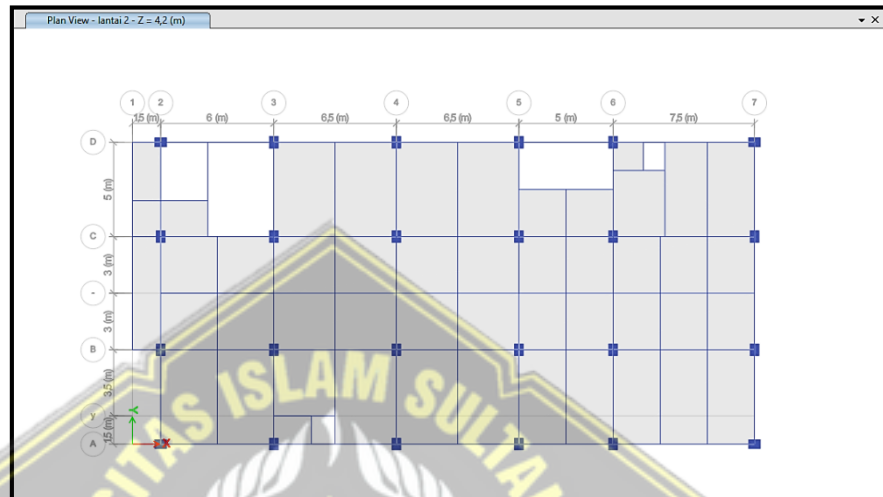
Gambar 3. 25 Penggambaran Balok Anak Denah Lantai 2

3.11.3 Penggambaran Elemen Pelat

Pada tahap ini digunakan 2 jenis ubin, yaitu digunakan untuk lantai dan atap. Grafik di bawah ini, jika Anda ingin menggambar poligon dengan simbol seperti ini . di sisi kiri jendela ETABS, tetapi jika area yang akan dibuat berbentuk persegi panjang, kita dapat memilih ikon yang mirip dengan ini. . Item untuk menggambar pelat di menu gambar - Menggambar objek lantai / dinding - pilih mode menggambar sesuai dengan bentuk pelat yang tepat.

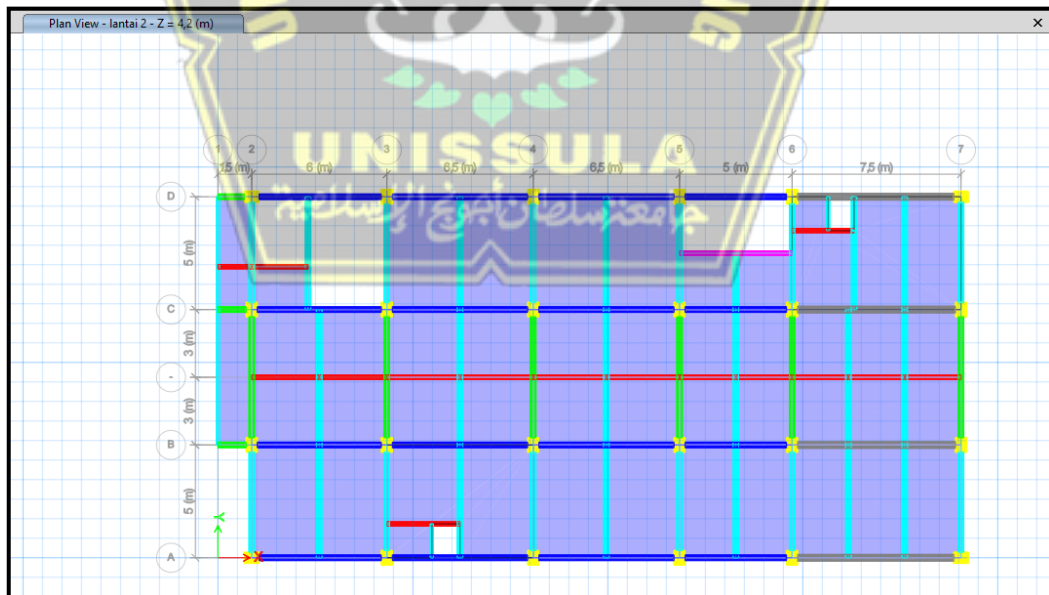


Gambar 3. 26 Properties Pelat Lantai



Gambar 3. 27 Penggambaran Pelat Lantai Denah Lantai 2

3.12 Hasil Permodelan Elemen Struktur



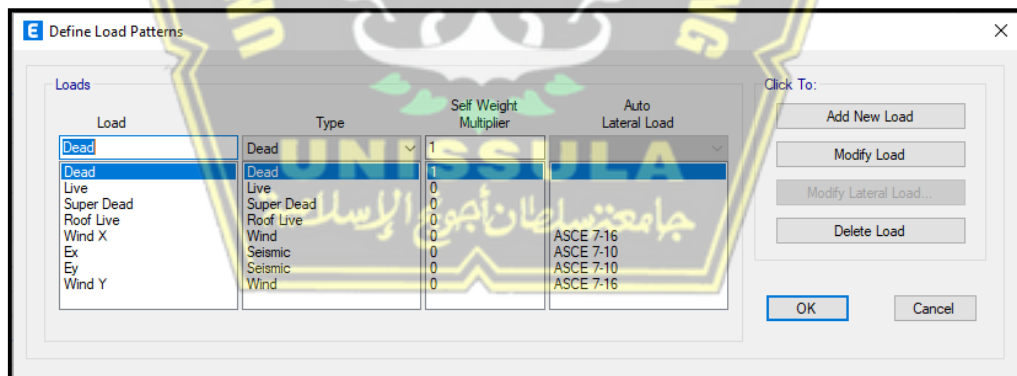
Gambar 3. 28 Plan of 2D Model



Gambar 3. 29 3D Model View

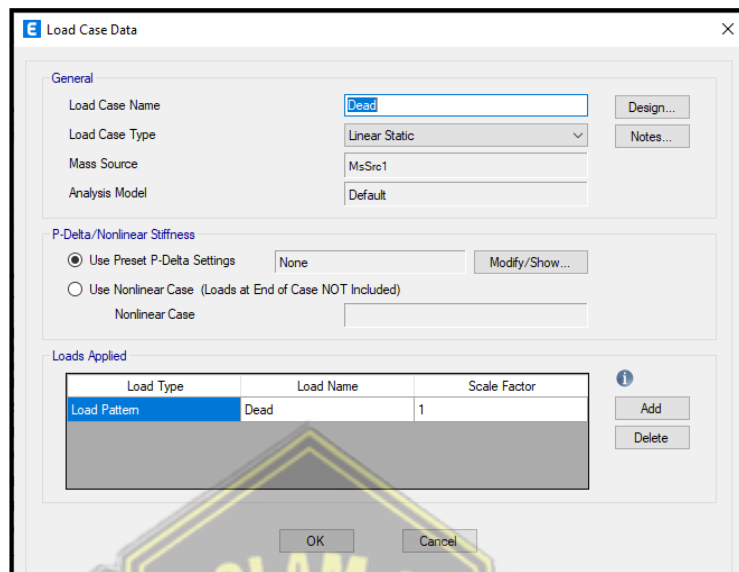
3.13 Input Beban Statik

Informasi beban yang disertakan dalam perhitungan ETABS tersedia di menu Tentukan - Daftar Pola Muat - lihat kotak dialog Pola Muat di bawah.



Gambar 3. 30 Pendefinisian Pola Beban

Kemudian pada menu Define - Load Cases - Modify/Show Case, kita dapat melihat pola loading pada hasil inputan.



Gambar 3. 31 Load Case Data

Apabila pada *Load Patterns* sebelum melakukan hal itu dibedakan terlebih dahulu berat diam (*SuperDead*). Untuk penginputan Beban angin arah X dan arah Y serta berat gerak atap langkahnya juga sama. *Self Weight Multiplier* diisikan 0.

3.14 Perhitungan dan Input Beban Mati

(Perhitungan berat diam Tambahan Pelat Lantai)

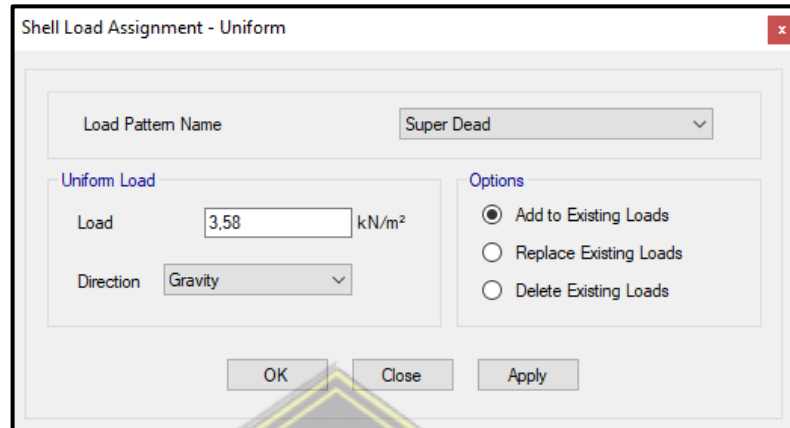
Beban spesi tebal 2 cm	= 0,02 x 0,21	= 0,0042	kN/m ²
Beban Keramik tebal 1 cm	= 1 x 0,22	= 0,22	kN/m ²
Beban plafon & penggantung		= 0,18	kN/m ²
Plumbing & ME		= 0,3	kN/m ²
Jumlah		= 3,58	kN/m²

(Perhitungan berat mati Tambahan Pelat Atap)

Beban plafon & penggantung	= 0,18	kN/m ²
Plumbing & ME	= 0,3	kN/m ²
Jumlah	= 0,48	kN/m²

Setelah menghitung beban diferensial, dapat dibagi menjadi beban bagian pelat sebagai berikut :

Pilihan Menu - Pilih - Material - Elemen Slab - Pilih Lantai / Plafon - Pilih - Tutup. Tetapkan Menu - Shell Loader - Dikumpulkan - Muat Input – Bantuan - OK.



Gambar 3. 32 Berat mati Tambahan Pelat Lantai



Gambar 3. 33 Berat mati Tambahan Pelat Atap

3.15 Perhitungan dan Input Beban Hidup

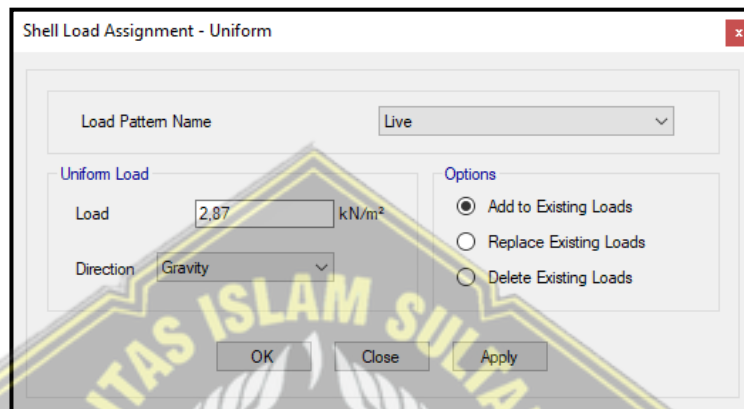
Besar beban pada lantai SNI 1727-2020, sebagai berikut ini :

- Berat gerak Laboratorium = 2,87 kN/m²
- Berat gerak Lobi = 4,79 kN/m²
- Berat gerak Kantor = 2,40 kN/m²
- Berat gerak Koridor = 3,83 kN/m²

Berat gerak diatas didistribusikan sesuai dengan kegunaan masing – masing ruang bangunan, kemudian mendistribusikannya sebagai beban area pada pelat dengan cara :

- Contoh Pendistribusian berat gerak Lantai

Pilih Menu - Seleksi - Properti - Bagian Pelat - Permukaan - Seleksi - Tutup. Menu Assignment - Load Shell - Uniform - Load Input - apply - OK.



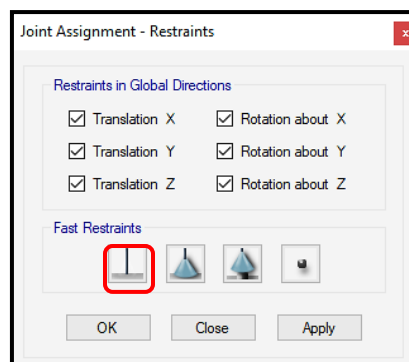
Gambar 3. 34 Input berat gerak Lantai

Apabila menginginkan hasil dari input pembebanan Show Menu - Load Assignment - Shell - pilih pola load yang ingin Anda lihat - OK.

3.16 Asumsi dalam Perancangan

3.16.1 Taraf Penjepitan Lateral

Aktifkan One Story di pojok kanan bawah jendela ETABS - View menu - Set Plan View - Pilih Base - OK - Pin all plan to the ground floor - pilih menu Assignment - Merge - Constraints - di bagian Quick Constraints pilih clip (pertama lapangan) - Terapkan - OK.



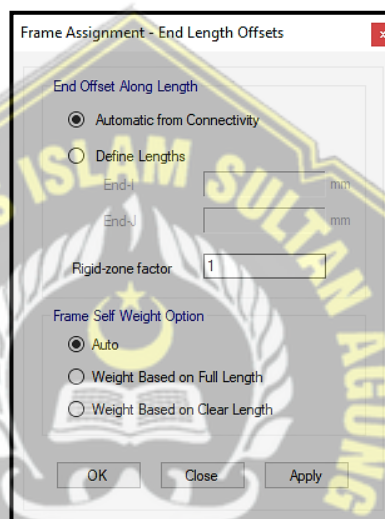
Gambar 3. 35 Perletakan Jepit

3.17 Rigid Zone Factor

rigid zone factor bisa dilihat berdasarkan pencapaian kapasitas pada sebuah analisis struktur, seperti perincian di bawah ini :

$$\sum M_{COL} > 1,2 \sum M_{BEAM}, z_{col} = 1 \text{ dan } z_{beam} = 0 \text{ (Strong Column Weak Beam)}$$

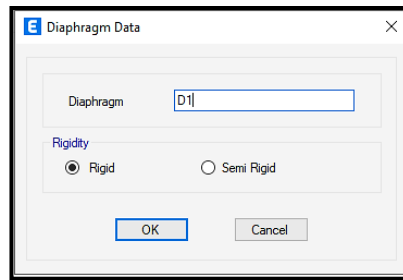
Desain ini plastik, jadi saya menggunakan konsep balok lemah kolom kuat. Pilih menu "Selection" - "Selection" - "Properties" - "Frame Sections" - pilih semua jenis kolom - "Selection" - "Close" - pilih menu "Assign" - "Frame" - "End Gap Length" - ubah keras faktor area ke 1 - "Terapkan" - "OK".



Gambar 3. 36 Rigid Zone Factor

3.18 Diafragma

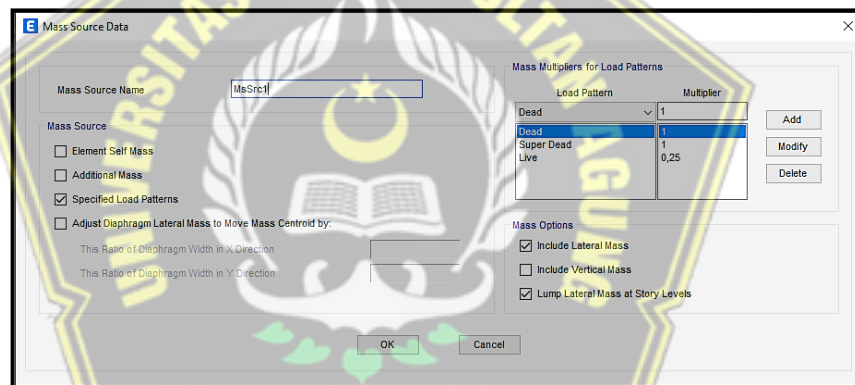
Sesuai acuan SNI 1726:2019, diafragma pada tiap tingkatan lantai adalah Membran kaku di semua level lantai, untuk masuk ke membran lantai Pilih menu Select - Select - Properties - Slab Section - Pilih Slab Type (Slab and Roof) - Select - Close - Pilih Menu Assignment - Shell - Membrane - Pilih D1 - Modify /Show Definition - Pilih D1 - Klik untuk mengubah/menampilkan aperture - Pilih Hardness di bawah Hardness - OK



Gambar 3. 37 Diaphragm Data

3.19 Mass Source

Tentukan massa total dan beban seismik yang dihitung dengan ETABS untuk analisis waktu getaran. Pilihan mass source / mass definition dimasukkan secara default di menu "Definition" - "Mass source" - lalu di kotak dialog - lalu sesuai dengan spesifikasi bangunan. Berdasarkan rencana gempa dan mengacu pada SNI 1726:2019, berat efektif gempa adalah $W_t = DL + LL$. Mitigasi ruang disk dinamis diatur ke setidaknya 25% dari beban kerja, jadi faktornya adalah 0,25.



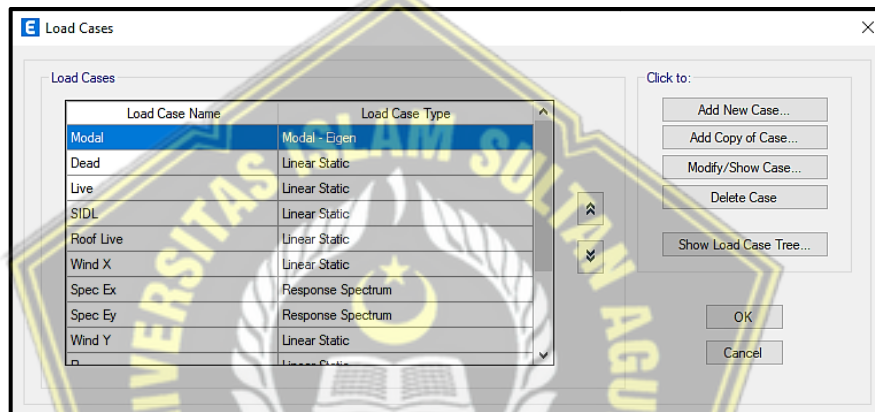
Gambar 3. 38 Mass Souce by Load Patterns

Untuk memilih sumber massal menggunakan Pola Beban yang Ditentukan, Anda dapat melakukan hal berikut: Periksa bagian Pola Beban yang Ditentukan dan hapus centang pada bagian Massa Otomasi Anggota dan Massa Tambahan. Kemudian lengkapi tabel "Penentuan Koefisien Massa". Beban termasuk "beban statis, beban statis tambahan, dan beban dinamis – kira-kira."

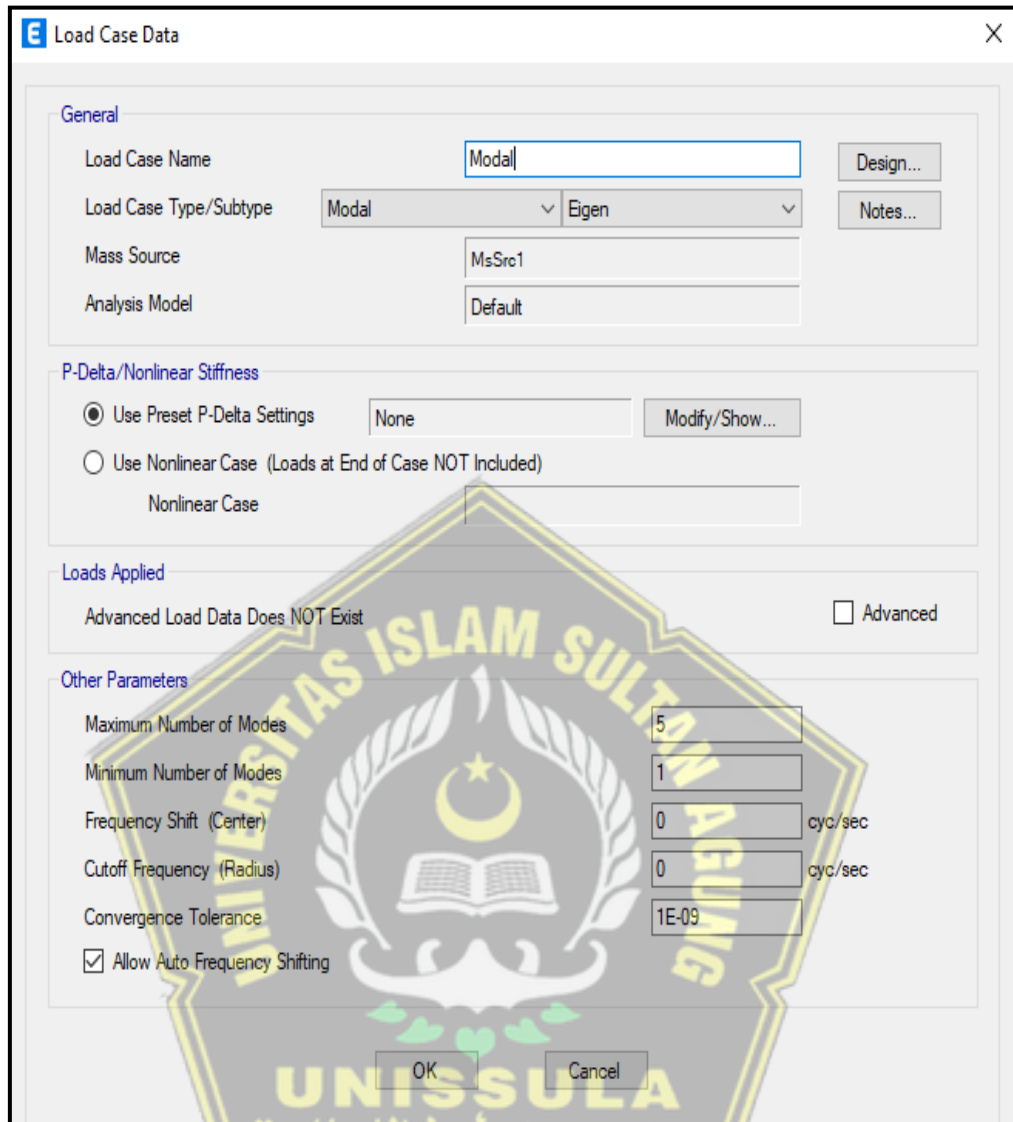
- *Element Self Mass* : massa total terhitung dengan berat mati yaitu kolom , balok maupun pelat.
- *Additional Mass* : massa struktur didapat dari beban yang ditambahkan.
- *Specified Load Patterns* : massa total dari beban tertentu

3.20 Modal

Analisis dinamik dalam studi tentang perilaku vibrasi umum dari suatu struktur dalam berbagai bentuk. Dalam analisis ini, ada jumlah modal yang cukup untuk mencapai ambang batas 90% akan memberikan bobot variasi dalam analisis dinamis, karena analisis hutang cutrewall berdasarkan model transportasi primer variabel fundamental akan memberikan arah kendali sumbu ortogonal "keduanya". Tentukan jumlah modul analisis struktur dinamis untuk langkah pertama ini, dan kemudian pertimbangkan jumlah lantai dalam sebuah kunci. Modul untuk membuat jumlah mode adalah sebagai berikut: Memilih menu Definisi - Sisipkan berburu - Modal - Ubah / Atur perburuan - Jumlah mode maksimum = 5 - OK.



Gambar 3. 39 Modal by Load Cases



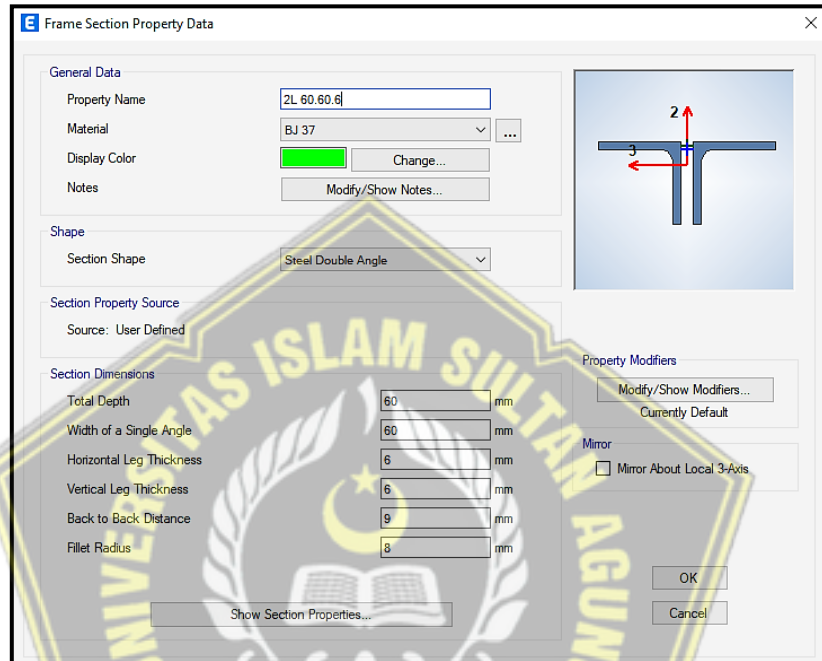
Gambar 3. 40 Jumlah Mode yang Berkontribusi

3.21 Elemen Struktur Atap

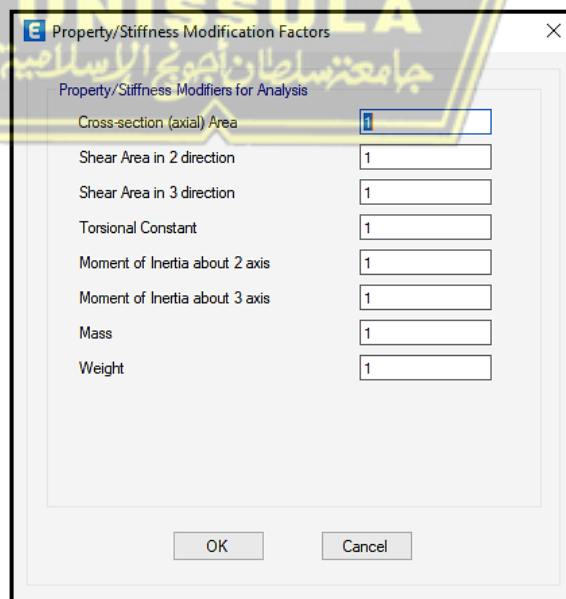
Untuk mengisi elemen struktur untuk atap pilih item menu Define - Component Properties - Frame Components - kemudian dialog Frame Properties muncul. Di area Frame Buildings - pilih Add New Field - dialog Frame Properties akan muncul Shape Type - Area Pilih titik untuk melukis - OK. Material yang dapat dipakai :

- Profil kuda - kuda 2L 60.60.6
- Profil kuda - kuda 2L 70.70.7
- Pipa 4"
- Gording CNP 150.65.20.3,2

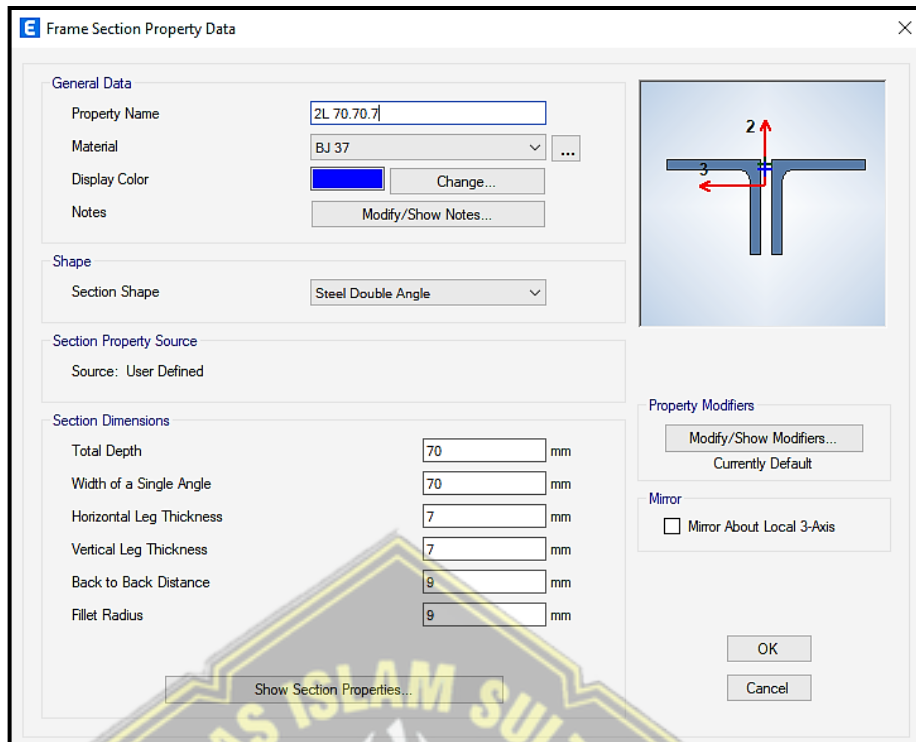
Berikut ini merupakan cara input data untuk elemen struktur atap yang akan digunakan langkah-langkahnya antara lain :



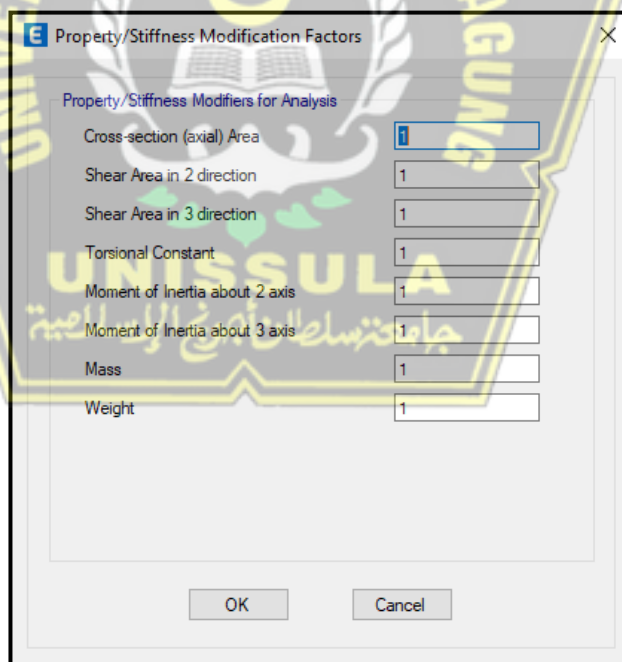
Gambar 3. 41 Elemen Atap 2L 60.60.6



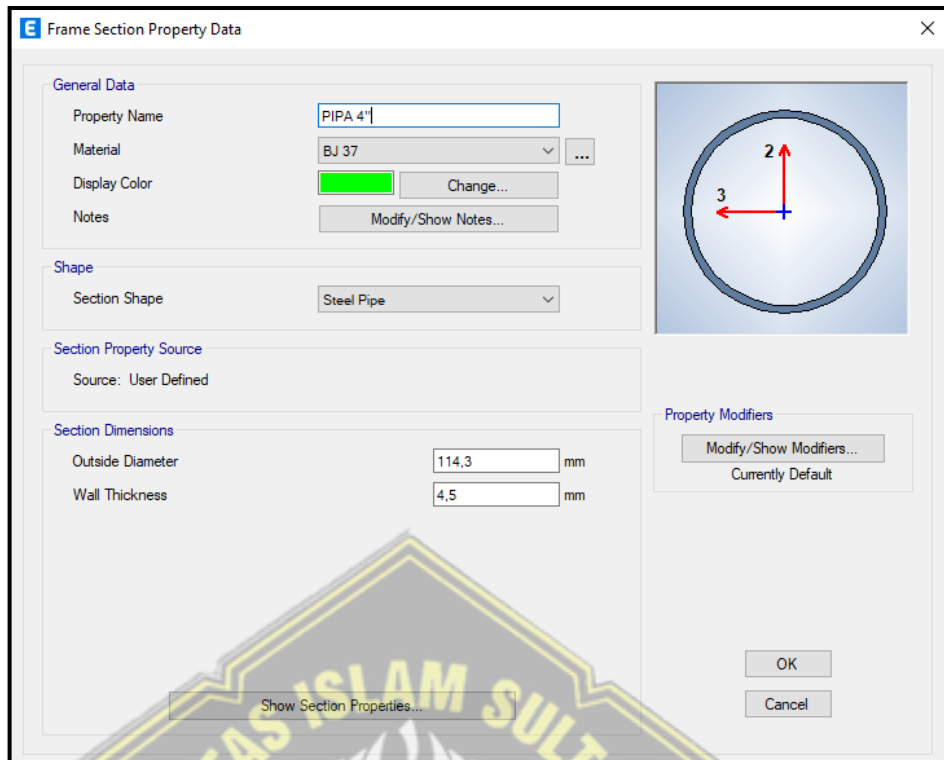
Gambar 3. 42 Property/Stiffness Modification Factors 2L 70.70.7



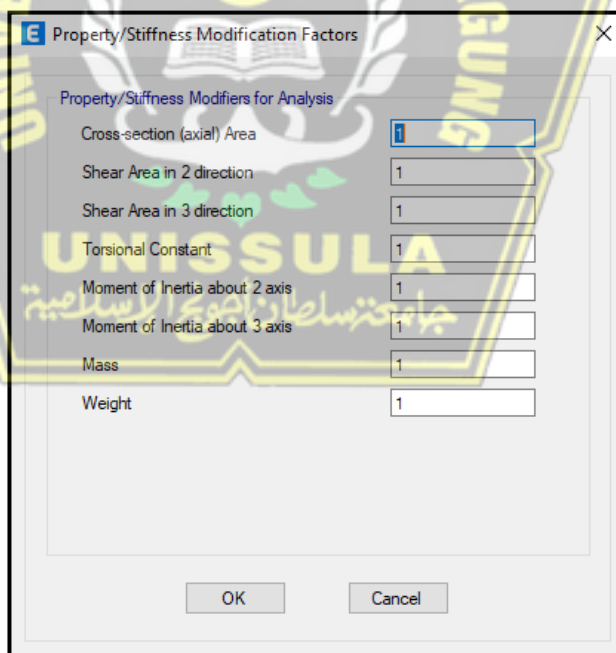
Gambar 3. 43 Elemen Atap 2L 70.70.7



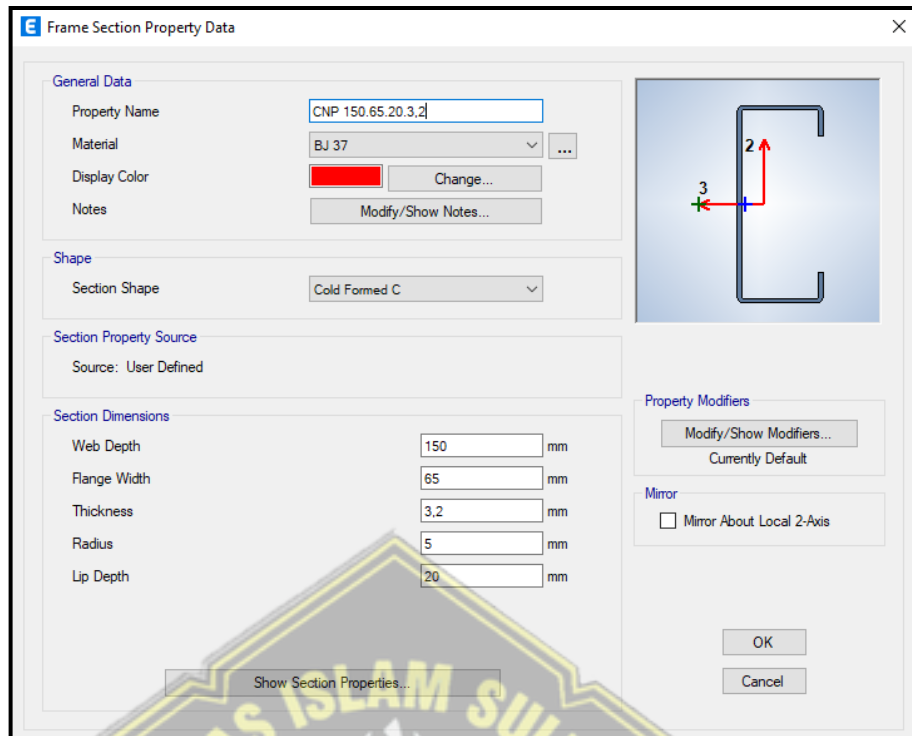
Gambar 3. 44 Property/Stiffness Modification Factors 2L 70.70.7



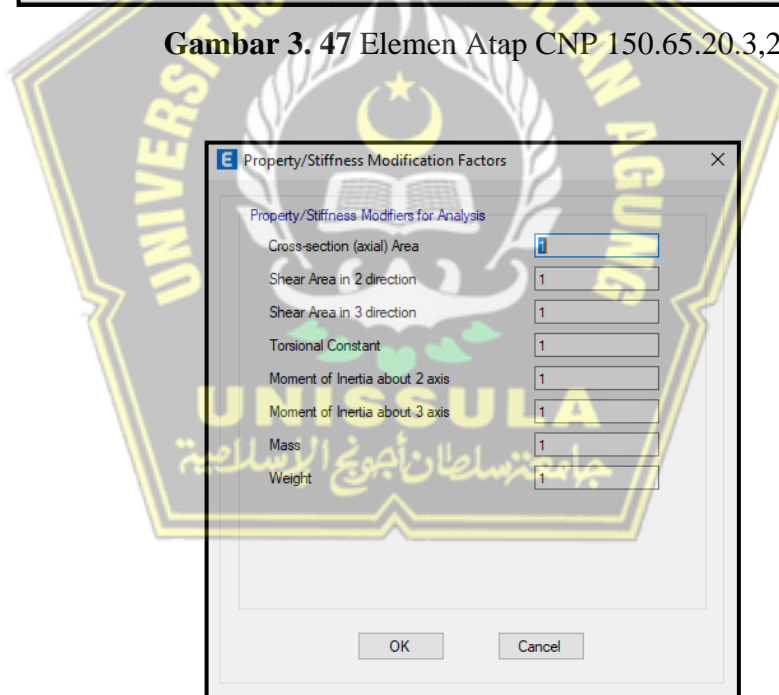
Gambar 3. 45 Elemen Atap Pipa 4''



Gambar 3. 46 Property/Stiffness Modification Factors Pipa 4''



Gambar 3. 47 Elemen Atap CNP 150.65.20.3,2

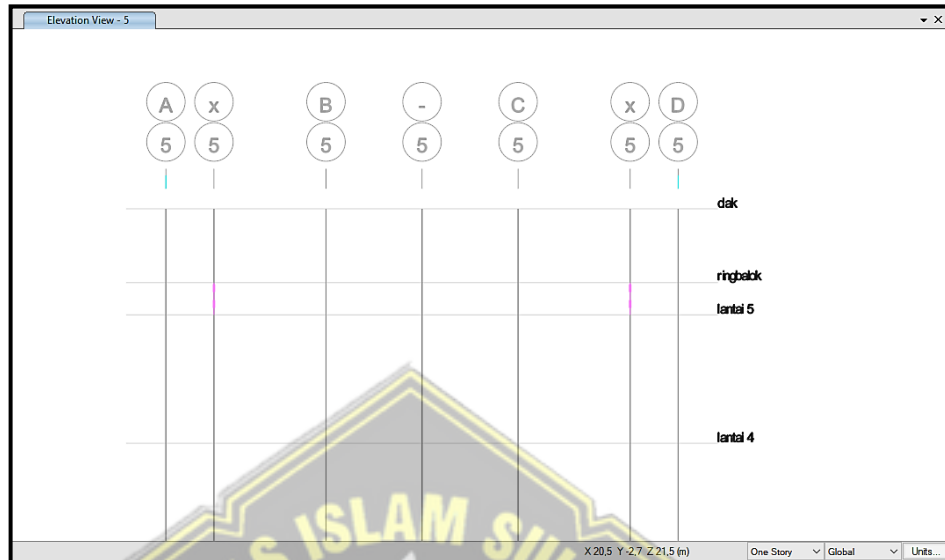


Gambar 3. 48 Property/Stiffness Modification Factors CNP 150.65.20.3,2

3.22 Penggambaran Elemen Atap

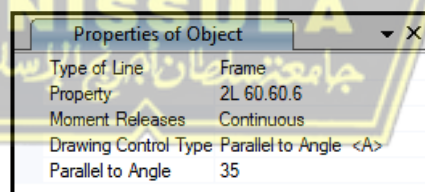
Penggambaran yang pertama adalah pipa 4” dengan melalui pilih menu atau ikon di kiri gizela ETABS. Tampilkan grid 5 untuk set ETABS dengan mengklik View - Set Elev View - tampilan grid 5 - OK. Gambarlah dari menu di bawah ini,

klik Draw - Draw - Draw Objek Balok / Kolom / Penjepit - Quick Draw Columns (Student, 3D). Jika Anda ingin menggunakan ikon ETABS, Anda dapat memilih ikon ETABS di sisi kiri jendela.



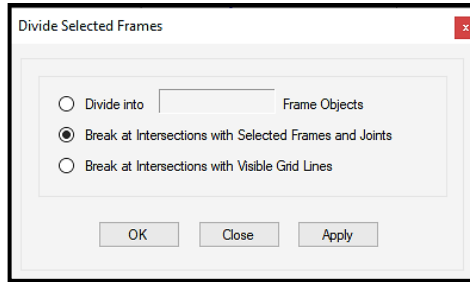
Gambar 3. 49 Konfigurasi Pipa 4”

Kemudian buat sejarah kuda dengan memilih Daftar Buku - Buku Buku / Kolom / Penjepit Obyek - (Tanah, Siswa, 3D) - lihat kotak di bawah ini. Gambar mengontrol jenis untuk memilih With Angels <A>, lalu isi untuk sudut 35 untuk membuat garis dari kiri ke kanan -35 dari kanan ke kiri. Sudut 350 dimaksud sebagai sudut untuk model sejarah kuda.

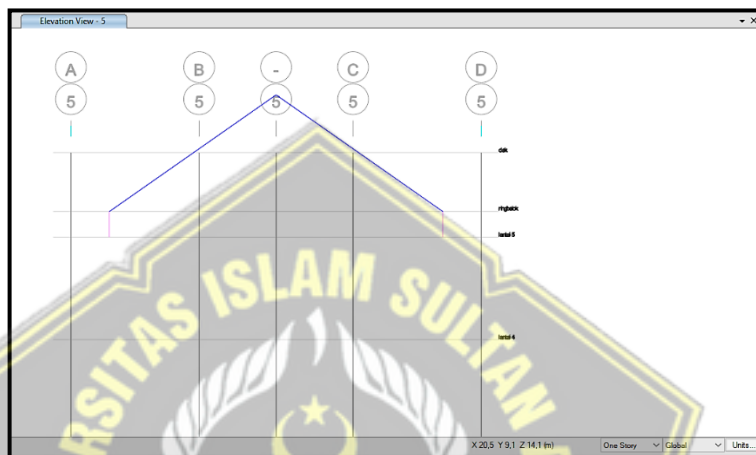


Gambar 3. 50 Properties of Object 2L 60.60.6

Setelah menggambar garis 2 dengan sudut 350 panjang ganjil, edit terlebih dahulu, klik pada baris 2 - pilih menu Edit - Edit Frames - Split Frames - akan muncul kotak dialog dengan Links to Links and Frames, lalu pilih link - OK. Baris 2 akan dibagi antara frame yang berpotongan dan kemudian menghapus bagian yang tidak diinginkan. Lihat hasilnya seperti di bawah ini.

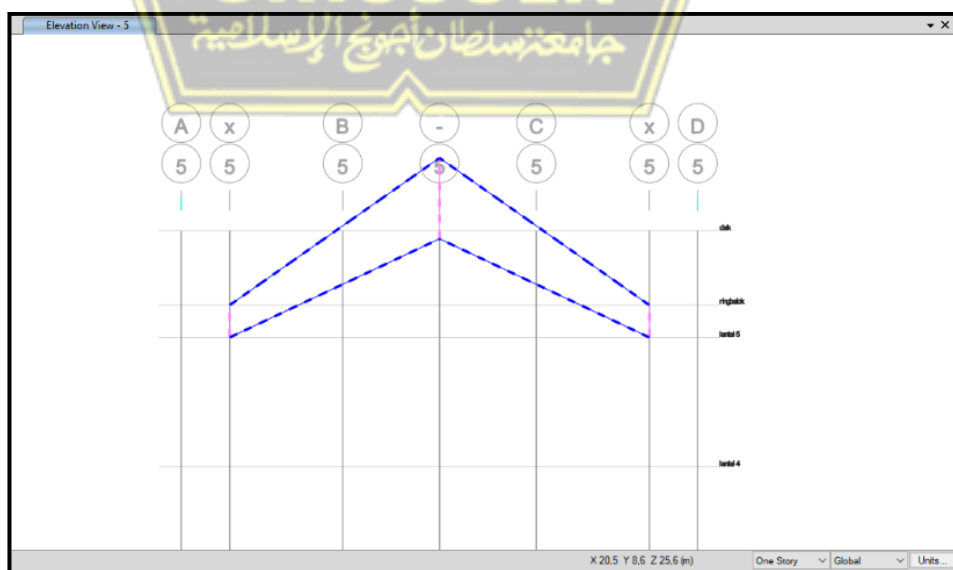


Gambar 3. 51 Devide Selected Frames



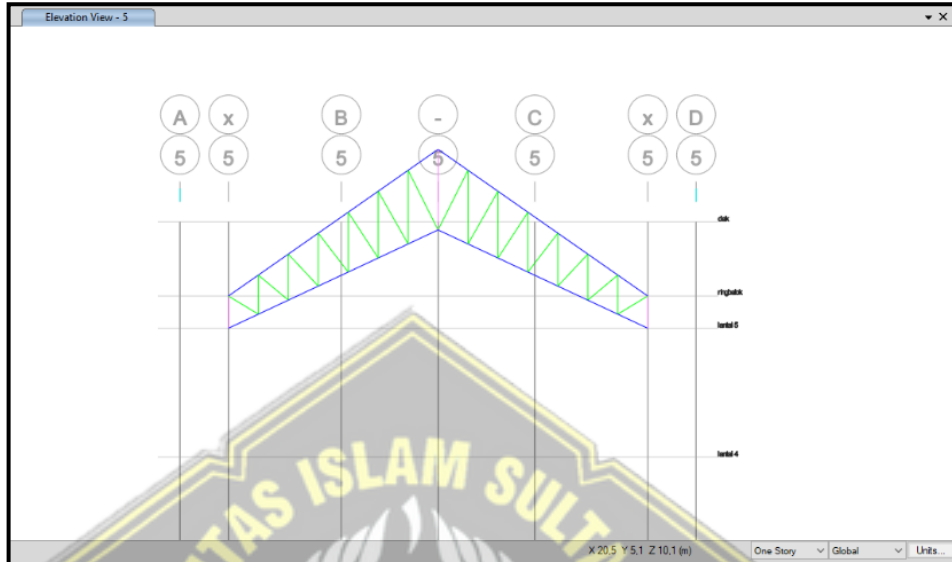
Gambar 3. 52 Potongan Profil Kuda – Kuda Dasar

Dari titik paling atas gambar tiang kuda – kuda dengan pipa 4” panjang 2,5m lalu gambar lagi profil kuda – kuda dengan menyambungkannya dari titik pipa tersebut seperti gambar.

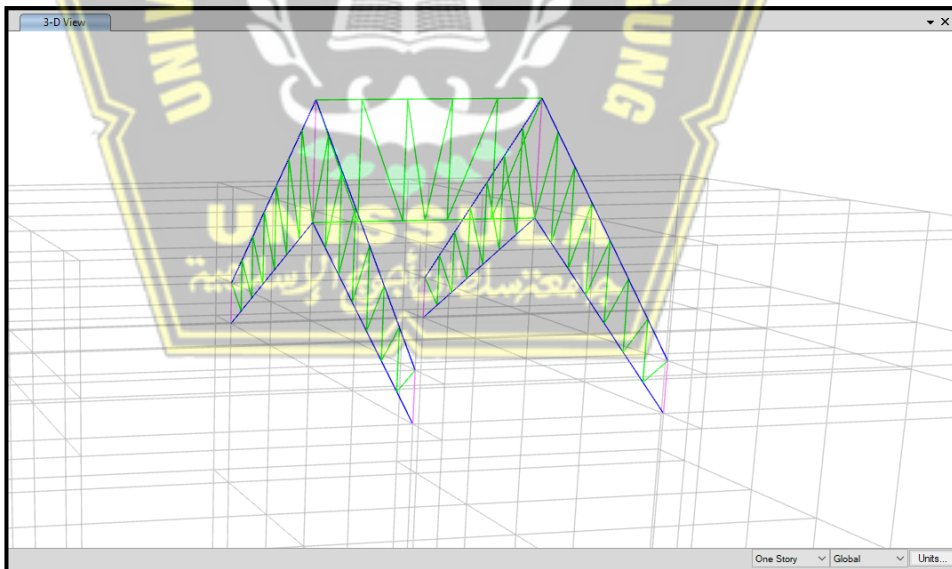


Gambar 3. 53 Frame 21 70.70.7

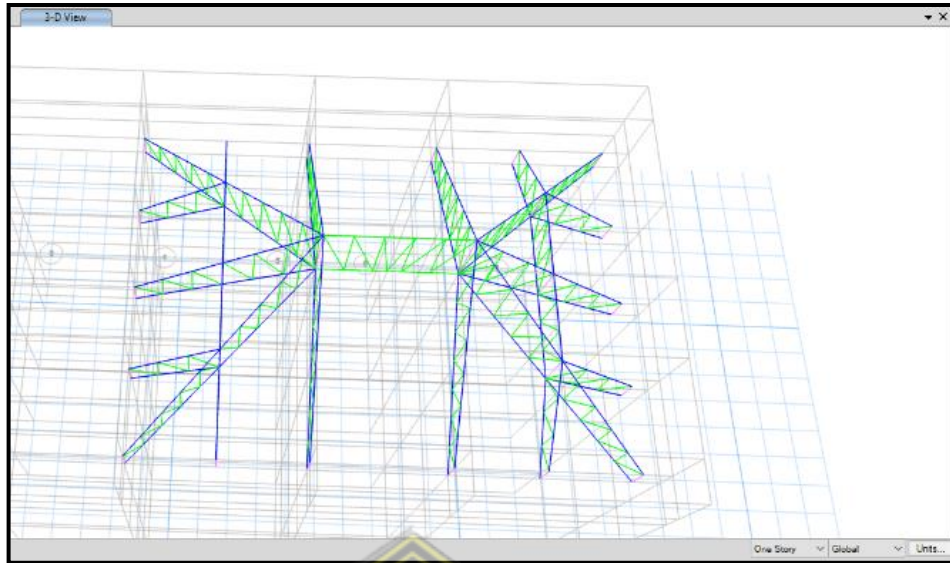
Bagi profil tersebut menjadi 7 titik dengan cara klik 2 garis tersebut - pilih menu *Edit - Edit Frames - Divide Frames* - muncul kotak dialog pilih



Gambar 3. 54 Frame 21 60.60.6

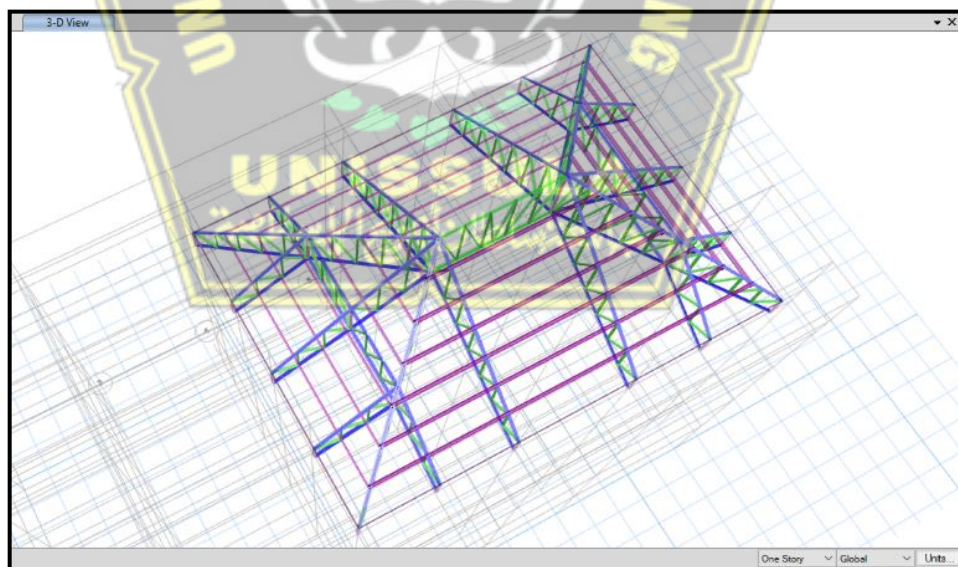


Gambar 3. 55 Bentang antara 2 frame kuda-kuda



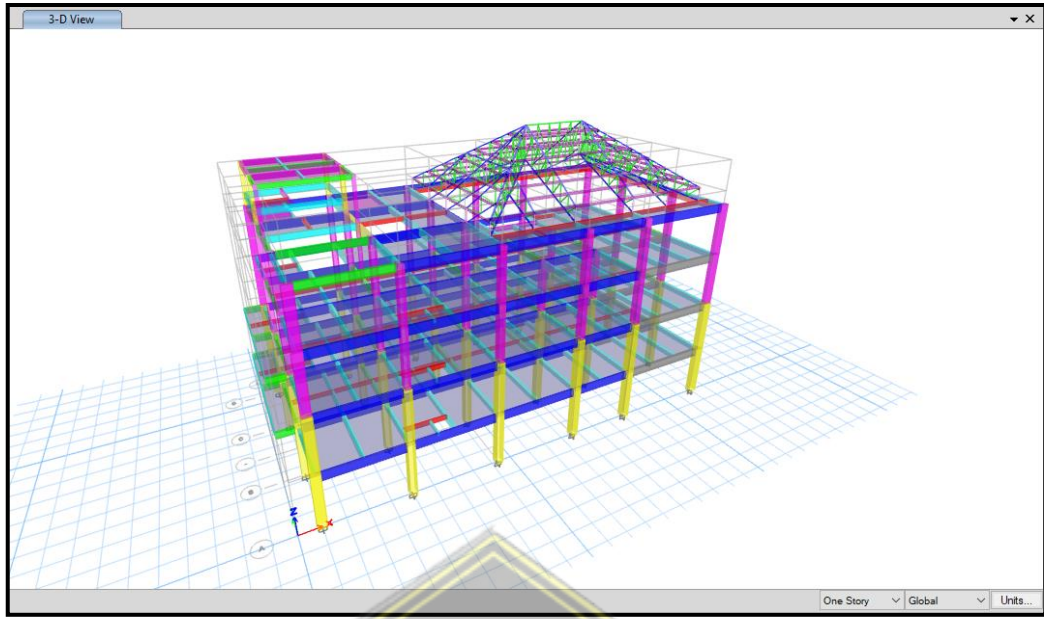
Gambar 3. 56 Frame kerangka kuda-kuda lengkap

Setelah selesai untuk membuat frame kerangka kuda-kuda secara lengkap, kemudian kita akan membuat gordingnya. Pertama bagi profil kerangka kuda-kuda menjadi 6 bagian lalu gambar dengan profil CNP 150.65.20.3,2 pilih menu Draw - Draw Beam/Column/Brace Objects - (Plan, Elev, 3D). Gambar diseluruh bagian gording hingga saling menutup dan membentuk pola.

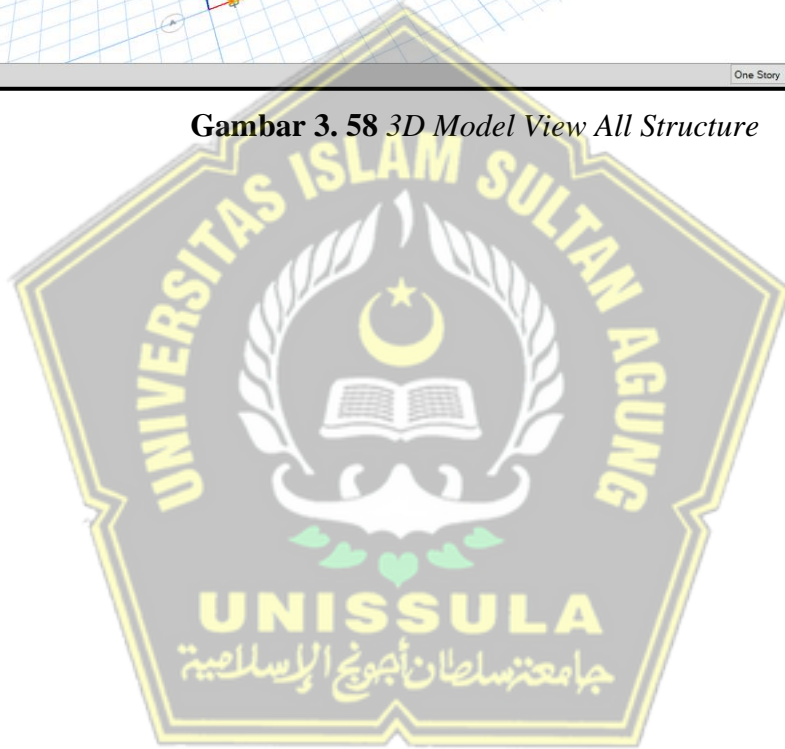


Gambar 3. 57 Gording CNP 150.65.20.3,2

Berikut ini adalah hasil permodelan struktur bangunan gedung laboratorium dan radiology RSUD Dr R Soetijono Blora yang telah jadi dan lengkap.



Gambar 3. 58 *3D Model View All Structure*



BAB IV

ANALISA PERHITUNGAN

4.1 Tinjauan Umum

Pada permodelan konstruksi gedung menggunakan bantuan program komputer ETABS, menggambar dan mengukur denah dengan memakai bantuan komputer AutoCAD. Hasil analisis yang didapatkan dilakukan pengolahan dengan hitungan yang manual dan bantuan program Microsoft Excel. Kolom dan balok yang berasal dari kerangka gedung yang dijadikan model elemen pada *frame*, pelat lantai, dinding beton untuk lift, dan tangga dimodelkan dengan elemen *shell*.

4.2 Pradimensian Komponen Struktur

Merencanakan suatu dimensi dari komponen struktur sangat penting serta digunakan sebagai acuan dalam melakukan analisa struktur. Komponen merupakan bagian yang saling berkaitan membentuk komponen lainnya. Pradimensian komponen struktur gedung direncanakan dengan tepat.

4.2.1 Elemen Kolom

Dimensi kolom berdasarkan SNI 2847:2019 “Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung” yang berperan menahan gaya aksial dan momen lentur. Berikut ini merupakan perencanaan dari elemen kolom yang akan digunakan :

Tabel 4. 1 Detail Penulangan Kolom

No	Tipe Kolom	Kode Kolom	Tulangan Utama		Sengkang Geser	
			Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan
1	K(500x650)	K1	20D19	20D19	2D13-100	3D13-100
2	K(400x600)	K2	18D19	18D19	D10-100	2D10-100
3	K(300x400)	K3	12D16	12D16	D10-150	2D10-100

4.2.2 Elemen Balok

Dimensi balok berdasarkan SNI 2847:2019 “Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung” yang berperan menyalurkan dan menanggung beban ke kolom. Berikut ini merupakan perencanaan dari elemen balok yang akan digunakan :

Tabel 4. 2 Detail Penulangan Balok

No	Tipe Balok	Kode Balok	Bagian	Tulangan Utama		Sengkang Geser	
				Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan
1	300 X 600	G1	atas	5D19	6D19	2D10-150	3D10-100
			bawah	6D19	3D19		
			pinggang	4D10	4D10		
2	250 X 600	G2	atas	3D19	5D19	2D10-150	2D10-100
			bawah	5D19	3D19		
			pinggang	4D10	4D10		
3	250 X 500	G3	atas	3D19	5D19	2D10-150	2D10-100
			bawah	5D19	3D19		
			pinggang	2D10	2D10		
4	250 X 450	G4	atas	3D19	3D19	2D10-150	2D10-100
			bawah	3D19	3D19		
			pinggang	2D10	2D10		
5	250 X 450	B1	atas	3D19	3D19	2D10-150	2D10-100
			bawah	3D19	3D19		
			pinggang	2D10	2D10		
6	200 X 400	B2	atas	2D16	2D16	2D10-150	D10-100
			bawah	2D16	2D16		
			pinggang	2D10	2D10		
7	200 X 300	B3	atas	2D16	3D16	D10-150	D10-100
			bawah	3D16	2D16		
			pinggang	-	-		
8	250 X 400	B4	atas	3D16	3D16	D10-150	D10-100
			bawah	3D16	2D16		

			pinggang	2D10	2D10		
9	150 X 250	BA	atas	2D10	2D10	D10-150	D10-100
			bawah	2D10	2D10		
			pinggang	-	-		

4.2.3 Bahan Struktur

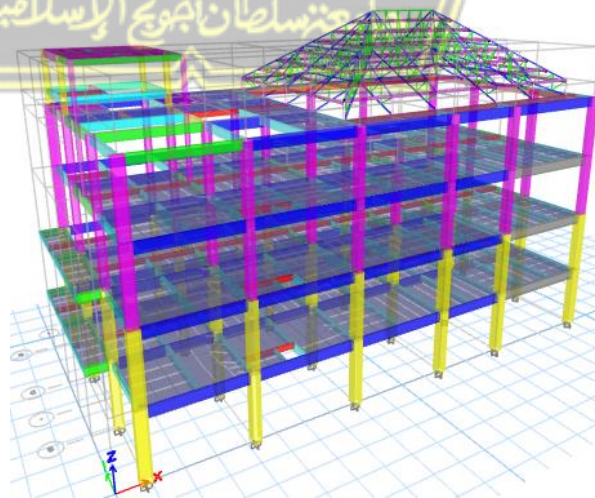
Bahan konstruksi berperan penting dalam keamanan dan kenyamanan pembentuk struktur bangunan. Pemilihan mutu bahan konstruksi harus disesuaikan dengan fungsi dari bangunan tersebut. Dalam memilih dan menentukan mutu bahan tepat digunakan akan mengantarkan tercapainya kinerja ekonomis, dan efisien. Berikut perencanaan dari mutu bahan :

Tabel 4. 3 Detail Mutu Bahan

Beton	:	Fc' 25 MPa
Baja Tulangan	:	BJ 37 <i>f_u</i> 370 MPa <i>f_y</i> 240 MPa
Modulus Elastisitas	:	23500 MPa

4.2.4 Permodelan Struktur

Desain permodelan struktur gedung laboratorium dan radiologi RSUD. Dr. R. Soetijono dibuat berdasarkan dengan gambar yang telah direncanakan. Permodelan menggunakan program ETABS V19.0.0.



Gambar 4. 1 Permodelan Struktur Gedung 3D

Sumber: Gambar Hasil Permodelan

Tabel 4. 4 Konfigurasi Gedung

No	Lantai	Tinggi Bangunan (m)
1	Dak	19,9
2	Ring Balk	17,6
3	Lantai 5	16,6
4	Lantai 4	12,6
5	Lantai 3	8,4
6	Lantai 2	4,2
7	Lantai 1	0

4.3 Formulasi Pembebanan Struktur

Perencanaan beban adalah penentuan beban/berat yang terdapat pada kerangka bangunan sesuai dengan SNI 1727: 2020. Setiap beban khusus harus diterapkan pada struktur model ini. Klasifikasi beban ETABS meliputi perhitungan berat diam, berat gerak dan beban berasal dari getaran gempa. Menurut standar SNI 1726-2019, sifat beban utama dapat didefinisikan.

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
5. $0,9D + 1,0W$

Pada pembebanan berat yang tidak bergerak permodelan kerangka i berat kerangka itu sendiri dan berat tidak gerak tambahan seperti luasan berat merata dibebankan pada pelat lantai, dengan acuan bahwa berat diam tambahan tersebut berisi plafond, finishing lantai, penggantung plafond (*hallow*), serta berat tidak gerak yang lain. Apabila standar pembebanan berat yang gerak melakukan kerja pada pelat lantai menggunakan SNI 1726-2019. Penggunaan dari berat gerak fungsinya beda dan ruangan tersebut

4.4 Analisis Desain Seismik

Analisis gedung seismik pada kerangka bangunan didasari prinsip SNI 1726-2019 berisi tentang perhitungan ketahanan pada gempa kerangka gedung serta non gedung.

4.4.1 Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Proses pembangunan gedung yaitu fasilitas sarana dibangun untuk layanan kesehatan yaitu sebagai gedung laboratorium dan radiologi. Menurut SNI 1726-2019 dikelompokkan dalam kategori resiko IV dengan nilai factor keutamaan gempa (I_e) sebesar 1,50.

4.4.2 Klasifikasi situs

Berdasarkan pada pasal 5 SNI 1726-2019, dapat ditentukan bahwa klasifikasi situs berlandaskan 3 parameter yaitu berisi kecepatan rata-rata gelombang geser (V_s), menahan penetrasi standard lapangan rata-rata (N), dan kuat geser nilai rata-rata (S_u). Menentukan klasifikasi memakai nilai penetrasi standard atau N-SPT yang diperoleh dari hasil uji tanah gedung didapat dan di uji oleh Laboratorium.

Tabel 4. 5 Nilai N-SPT Site Proyek

Kedalaman (m)	Tebal (di) (m)	B-1		B-2		B-3	
		N-SPT	di/Ni	N-SPT	di/Ni	N-SPT	di/Ni
-2,00	2,00	3	0,667	6	0,333	6	0,333
-4,00	2,00	5	0,400	5	0,400	7	0,285
-6,00	2,00	9	0,222	7	0,285	10	0,200
-8,00	2,00	11	0,181	8	0,250	8	0,250
-10,00	2,00	9	0,222	11	0,181	4	0,500
-12,00	2,00	14	0,142	7	0,285	5	0,400
-14,00	2,00	8	0,250	18	0,111	7	0,285
-16,00	2,00	13	0,153	13	0,153	8	0,250
-18,00	2,00	28	0,071	30	0,067	8	0,250
-20,00	2,00	24	0,083	28	0,071	11	0,181

-22,00	2,00	28	0,071	11	0,181	14	0,142
-24,00	2,00	17	0,117	16	0,125	16	0,125
-26,00	2,00	34	0,062	20	0,100	34	0,062
-28,00	2,00	40	0,050	33	0,060	48	0,041
-30,45	2,45	51	0,048	36	0,068	60	0,040
Total	30,45		2,739		2,670		3,344

Hasil yang didapatkan tahanan penetrasi standard lapangan rata-rata (\bar{N}) sesuai dengan persamaan (2) SNI 1726-2019 sebagai berikut ini,

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\bar{N}_i}} = \frac{30,45}{\left(\frac{2,739 + 2,670 + 3,344}{3}\right)} = 10,436$$

Dari hasil perhitungan yang didapat nilai tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (\bar{N}) adalah sebesar 10,436. Berdasarkan pada Tabel SNI 1726-2019 tentang klasifikasi situs nilai (\bar{N}) berada <15 sehingga masuk kategori sebagai SE yaitu tanah lunak.

Tabel 4. 6 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{cb}	\bar{S}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir, $\bar{S}_u < 25$ kPa		

SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	<p>Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/ atau gambut (ketebalan $H > 3\text{m}$) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5\text{m}$) dengan indeks plastisitas $PI > 75$) <p>Lapisan lempung lunak/ setengah teguh dengan ketebalan $H > 35\text{ m}$ dengan $\bar{S}_u < 50\text{ kPa}$</p>
---	---

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

Sumber: SNI 1726-2019, tabel 5

4.4.3 Parameter respons spektral gempa terpetakan (Nilai SS dan S1)

Menentukan parameter respon spektral percepatan gempa terpetakan dapat pada website resmi Program Desain Spektra Indonesia (rsa.ciptakarya.pu.go.id) dengan memasukkan koordinat gedung yang direncanakan, website otomatis akan mengisi nilai parameter respons spektral percepatan gempa.

Tabel 4. 7 Data Parameter Respons Spektral Terpetakan

Variabel	Nilai
F_{PGA}	0,2722
S_s (g)	0,6012
S_1 (g)	0,2847

Tabel 4. 8 Koefisien situs F_a SNI 1726-2019

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

Catatan : SS = Situs yang memerlukan investias geoteknik spesifik dan analisis respons situs – spesifik

Sumber : SNI 1726-2019, tabel 6

A. Perhitungan Koefisien Fa

$$S_s = 0,6012$$

$$\frac{(0,6012-0,5)}{(0,75-0,5)} = \frac{(Fa-1,7)}{(1,3-1,7)}$$

$$Fa - 1,7 = \frac{0,1012 \times 0,4}{0,25}$$

$$Fa = 1,538$$

Tabel 4.9 Koefisien situs Fv SNI 1726-2019

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE _R) terpetakan pada periode 1 detik, S ₁					
	S ₁ ≤ 0,1	S ₁ = 0,2	S ₁ = 0,3	S ₁ = 4	S ₁ = 0,5	S ₁ ≥ 0,6
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

Catatan : S1 = Situs yang memerlukan investias geoteknik spesifik dan analisis respons situs – spesifik

Sumber : SNI 1726-2019, tabel 7

B. Perhitungan Koefisien Fv

$$S_1 = 0,2847$$

$$\frac{(0,2847-0,2)}{(0,3-0,2)} = \frac{(Fv-3,3)}{(2,8-3,3)}$$

$$Fv - 3,3 = \frac{0,0847 \times 0,5}{0,1}$$

$$Fv = 2,876$$

4.4.4 Parameter respons spektral gempa tertarget (Nilai S_{MS} dan S_{M1})

Perolehan pada saat menggunakan aplikasi Desain Spektra Indonesia di website resmi Program Desain Spektra Indonesia (rsa.ciptakarya.pu.go.id), diperoleh untuk menentukan nilai parameter respon spektrum percepatan gempa tertarget didapat pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan oleh pengaruh klasifikasi situs. Untuk mendapatkan jenis tanah dan

nilai parameter respon spektral dengan cara menginput data koordinat dari lokasi gedung yang direncanakan di *website*.

Perhitungan nilai S_{MS} dan S_{M1} menggunakan rumus empiris :

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s & S_{M1} &= F_v \times S_1 \\ &= 1,538 \times 0,6012 & &= 2,876 \times 0,2847 \\ &= 0,925 & &= 0,819 \end{aligned}$$

4.4.5 Parameter respons spektral gempa desain (Nilai S_{DS} dan S_{D1})

Perolehan data menggunakan aplikasi Desain Spektra Indonesia yaitu *website* resmi (rsa.ciptakarya.pu.go.id), diperoleh untuk menentukan nilai parameter respon spektrum percepatan gempa tertarget didapat pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}).

Perhitungan nilai S_{DS} dan S_{D1} menggunakan rumus empiris :

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} S_{MS} & S_{D1} &= \frac{2}{3} S_{M1} \\ &= \frac{2}{3} 0,912 & &= \frac{2}{3} 0,764 \\ &= 0,616 & &= 0,546 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa struktur dari gedung Laboratorium dan Radiologi RSUD Dr R Soetijono diklasifikasikan dalam kategori desain seismic kategori D sesuai dengan tabel mengenai kategori desain seismik.

Tabel 4. 10 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber : SNI 1726-2019, tabel 8

Tabel 4. 11 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber : SNI 1726-2019, tabel 9

4.4.6 Spektrum respons desain

Perhitungan spektrum respon dengan mengacu pasal 6.4 SNI 1726:2019. Nilai yang didapat dari persamaan-persamaan dapat dihitung dengan desain dimulai dari T_0 , T_s hingga periode-periode berikutnya. Perencanaan spektrum respon dapat dengan mudah diperoleh secara otomatis melalui website yang disediakan kepada Kementerian Pekerjaan Umum sehingga dapat dengan mudah untuk menentukan spektrum respon desain. Analisis dari *website* tersebut didapati nilai spektrum percepatan desain.

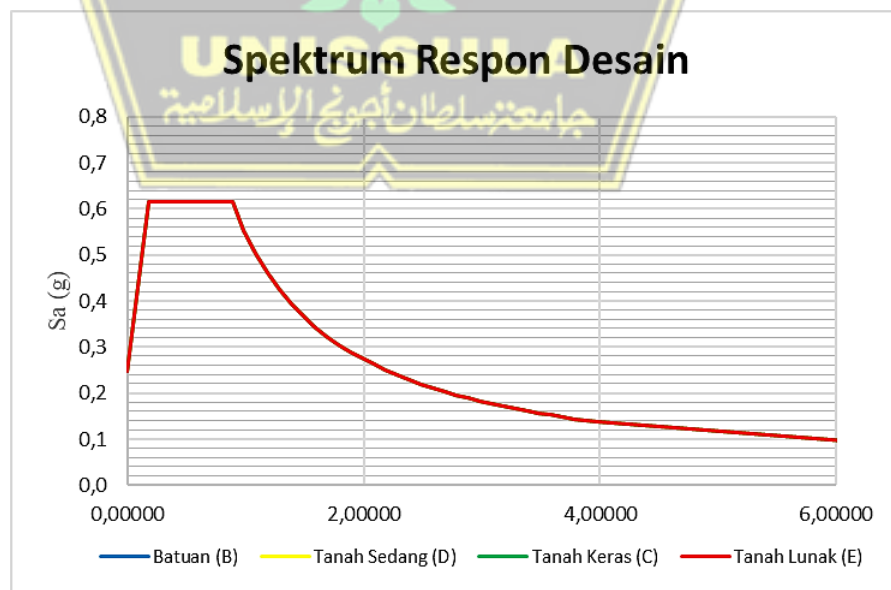
Perhitungan untuk pembuatan grafik respon spektrum :

<p>Menghitung nilai T_s</p> $T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$ $= \frac{0,546}{0,616}$ $= 0,886 \text{ detik}$	<p>Menghitung nilai T_0</p> $T_0 = 0,2 \times T_s$ $= 0,2 \times 0,886$ $= 0,177 \text{ detik}$
--	--

Tabel 4. 12 Nilai Spektrum Respons Desain

T	Sa	T	Sa	T	Sa	T	Sa
(detik)	(g)	(detik)	(g)	(detik)	(g)	(detik)	(g)
0	0,247	TS+0,6	0,367	TS+1,5	0,229	TS+2,4	0,166
T0	0,616	TS+0,7	0,344	TS+1,6	0,220	TS+2,5	0,161
TS	0,616	TS+0,8	0,324	TS+1,7	0,211	TS+2,6	0,157
TS+0	0,616	TS+0,9	0,306	TS+1,8	0,203	TS+2,7	0,152
TS+0,1	0,554	TS+1	0,290	TS+1,9	0,196	TS+2,8	0,148
TS+0,2	0,503	TS+1,1	0,275	TS+2	0,189	TS+2,9	0,144
TS+0,3	0,460	TS+1,2	0,262	TS+2,1	0,183	TS+3	0,140
TS+0,4	0,425	TS+1,3	0,250	TS+2,2	0,177	TS+3,1	0,137
TS+0,5	0,394	TS+1,4	0,239	TS+2,3	0,171	TS+6	0,079

Persamaan parameter-parameter yang telah didapatkan dengan mencari korelasi antara diagram respon spektrum dengan kurva respon spektrum berdasarkan SNI 1726-2019 hubungan grafik antara periode (T) dan respon percepatan gempa (SA) tersebut maka disimpulkan bahwa hubungan antar grafik spectrum respon desain keduanya secara umum dapat digambarkan seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 2 Grafik Nilai Spektrum Respon Percepatan Desain Gedung Laboratorium dan Radiologi RSUD Dr R Soetijono

4.4.7 Kategori desain seismik dan penahan gaya gempa

Gedung yang direncanakan memiliki kategori resiko IV memiliki nilai $SDS \geq 0,5$ dan nilai $SD1 \geq 0,2$ sehingga diperoleh gedung yang termasuk dalam kategori desain seismik D. SNI 1726-2019 :

- Koefisien Modifikasi Respons, $R = 8$
- Faktor Kuat Lebih Sistem, $\Omega_0 = 3$
- Faktor Pembesaran Defleksi, $Cd = 5,5$

Tabel 4. 13 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismic

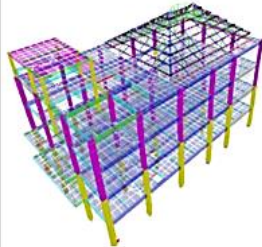
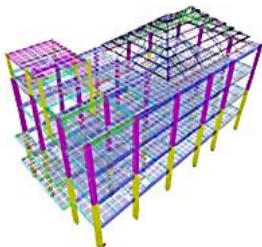
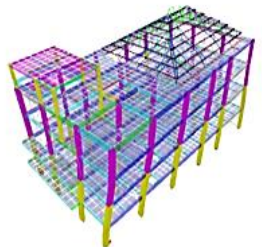
Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons	R^a	Faktor kuat lebih system, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, Cd^c	Batasan system struktur dan batasan tinggi struktur, hn (m) d				
					Kategori desain seismik				
					B	C	D ^e	E ^e	F ^f
C.	Sistem rangka pemikul momen khusus								
1.	Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5 ^{1/2}	TB	TB	TB	TB	TB
2.	Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5 ^{1/2}	TB	TB	48	30	TI
3.	Rangka baja pemikul momen menengah	4 ^{1/2}	3	4	TB	TB	10 ^k	TI ^k	TI ^k
4.	Rangka baja pemikul momen biasa	3 ^{1/2}	3	3	TB	TB	TI ^l	TI ^l	TI ^l
5.	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5 ^{1/2}	TB	TB	TB	TB	TB

Sumber: SNI 1726-2019, tabel 12

4.4.8 Analisa dinamis getaran bebas

Pembentukan pemodelan untuk menganalisis getaran bebas akibat gempa dengan software ETABS untuk menunjukkan ragam gempa yang terjadi.

Tabel 4. 14 Bentuk Ragam dan Waktu Getar kerangka

		
Ragam 1	Ragam 2	Ragam 3
Ty = 0,959 detik	Tx = 0,864 detik	Tz = 0,843 detik
Translasi Arah Y	Translasi Arah X	Rotasi Arah Z

Dari hasil analisis dinamik didapatkan bahwa getaran kerangka didominasi gerak translasi ragam getar 1 dan 2. Hasil ini menunjukkan kondisi ideal kerangka di mana gerak rotasi terjadi pada ragam 3.

4.4.9 Kontrol hasil analisa dinamik gempa

1. Kontrol untuk ragam dan partisipasi massa bangunan

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1 untuk mengetahui pola getar yang ditinjau dalam penjumlahan respon ragam harus berisi kurang lebih 90% untuk digunakan 12 ragam getar dalam analisis dinamik yang disebabkan partisipasi massa yang digunakan masing-masing pola getar.

Tabel 4. 15 Nilai Spektrum Response Percepatan Desain

Ragam	Periode (detik)	UX (%)	UY (%)	SumUX (%)	SumUY (%)	SumRZ (%)
1	0,959	4,486E-06	0,795	4,486E-06	0,795	0,0045
2	0,864	0,6506	0,0008	0,6506	0,7958	0,1601
3	0,843	0,158	0,003	0,8087	0,7988	0,8046
4	0,653	2,251E-06	0,0014	0,8087	0,8002	0,8056
5	0,625	0	0	0,8087	0,8002	0,8056
6	0,625	0	0	0,8087	0,8002	0,8056
7	0,624	0	1,972E-06	0,8087	0,8002	0,806
8	0,623	0,0042	0	0,8128	0,8002	0,806
9	0,492	0	0,0003	0,8128	0,8005	0,8061
10	0,302	0,0789	0,0247	0,8917	0,8253	0,8121
11	0,299	0,029	0,0799	0,9207	0,9052	0,8133
12	0,287	0,0013	0,0118	0,922	0,917	0,8553

Dari hasil tabel dapat dilihat pada mode ragam 1 menunjukkan bangunan memiliki partisipasi massa sebesar 0,795% sumbu Y. Pada mode ragam 2 memiliki partisipasi massa sebesar 0,650% sumbu X. Untuk mode ragam 3 memiliki partisipasi massa sebesar 0,804% sumbu Z.

2. Kontrol periode fundamental kerangka

Periode fundamental pendekatan T_a yang ditentukan dari persamaan (26) pada SNI 1726:2019 dimana tinggi kerangka (h_n) adalah 19,9m dan nilai C_t dan χ diperoleh SNI 1726-2019 sehingga dapat dihitung sebagai berikut :

Tabel 4. 16 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan χ

Tipe struktur	C_t	χ
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismic yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismic:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua system struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber : SNI 1726-2019, tabel 18

$$C_t = 0,0466 \text{ (untuk rangka beton pemikul momen)}$$

$$\chi = 0,9 \text{ (untuk rangka beton pemikul momen)}$$

$$T_a = C_t h_n^\chi$$

$$= (0,0466) \times (19,9)^{0,9}$$

$$= 0,6876 \text{ detik}$$

diperoleh nilai sebagai berikut:

Tabel 4. 17 Periode getar kerangka

Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: SNI 1726-2019, tabel 17

$$\begin{aligned}Cu &= 1,40 \text{ (Tabel 17 SNI 1726-2019)} \\T_{\max} &= Cu \times Ta \\&= 1,40 \times 0,6876 \\&= 0,963 \text{ detik}\end{aligned}$$

Sesuai dengan program aplikasi ETABS didapatkan hasil dari periode berdasarkan mode untuk masing-masing arah yaitu:

$$T_x = 0,864 \text{ detik (mode ragam - 2)}$$

$$T_y = 0,959 \text{ detik (mode ragam - 1)}$$

Persyaratan berikut ini merupakan hal yang harus dipenuhi dalam menentukan periode desain:

$$\text{Jika } T_c < T_a, \mathbf{T = T_a},$$

$$\text{Jika } T_a < T_c < CuT_a, \mathbf{T = T_c},$$

$$\text{Jika } T_c > CuT_a, \mathbf{T = CuT_a}$$

Keterangan:

T : periode desain

T_c : periode hasil analisa program ETABS

T_a : batas bawah/minimum periode

CuT_a : batas atas/maksimum periode

Didapatkan nilai periode arah x dan arah y berdasarkan partisipasi massa terbesar yang terjadi pada ragam 1 dan 2 adalah,

$$T_x = 0,959 \text{ detik} < T_{\max} = 0,963 \text{ detik}$$

$$T_y = 0,864 \text{ detik} < T_{\max} = 0,963 \text{ detik}$$

3. Kontrol gaya lateral ekuivalen

Perencanaan nilai gaya geser dasar dapat dihitung sesuai dengan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.1.1 menggunakan hitungan nilai koefisien respons seismik (C_s) terlebih dahulu untuk menggunakan prosedurnya adalah sebagai berikut,

a. Menghitung C_s maksimum

$$C_{S \text{ arah } x} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,6165}{\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,1156$$

$$C_{s \text{ arah } y} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,6165}{\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,1156$$

b. Menghitung C_s hitungan

$$C_{s \text{ arah } x} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,546}{0,963\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,1063$$

$$C_{s \text{ arah } y} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,546}{0,963\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,1063$$

c. Menghitung C_s minimum

Nilai C_s harus tidak kurang dari perhitungan berikut ini;

$$C_{smin} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

$$C_{smin} = 0,044 \times 0,6165 \times 1,5 \geq 0,01$$

$$C_{smin} = 0,0407 \geq 0,01$$

$$C_{s \text{ arah } x} = 0,044 \cdot 0,6165 \cdot 1,5 = 0,0407$$

$$C_{s \text{ arah } y} = 0,044 \cdot 0,6165 \cdot 1,5 = 0,0407$$

Untuk nilai C_s arah x adalah sebagai berikut:

$$C_s \text{ maksimum arah } x = 0,1156$$

$$C_s \text{ hitungan arah } x = 0,1063$$

$$C_s \text{ minimum arah } x = 0,0407$$

Nilai C_s yang dipakai adalah 0,1063 karena C_s hitungan berada diluar interval C_s minimum dan C_s maksimum.

Untuk nilai C_s arah y adalah sebagai berikut:

$$C_s \text{ maksimum arah } y = 0,1156$$

$$C_s \text{ hitungan arah } y = 0,1063$$

$$C_s \text{ minimum arah } y = 0,0407$$

Nilai C_s yang dipakai adalah 0,1063 karena C_s hitungan berada diluar interval C_s minimum dan C_s maksimum.

4. Kontrol simpangan

Kriteria persyaratan simpangan mengacu pada SNI 1726-2019 dengan faktor-faktor berikut :

- Faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk SRPMK = 5,50 (Tabel 8 SNI 1726-2019)
- Faktor keutamaan gempa (I_e) = 1,50 (Tabel 2 SNI 1726-2019)

- Faktor reduksi untuk gedung dengan KDS D adalah $\rho = 1,0$ (Pasal 7.3.4.2.1 SNI 1726-2019)

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin.

4.4.10 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam analisa ini sesuai dengan peraturan yang tercantum di dalam SNI 1726-2019 pasal 4.2.2.1 :

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (L_r \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,3233D + 1L + 1E_x + 0,3E_y$
5. $1,3233D + 1L + 1E_x - 0,3E_y$
6. $1,3233D + 1L - 1E_x + 0,3E_y$
7. $1,3233D + 1L - 1E_x - 0,3E_y$
8. $1,3233D + 1L + 0,3E_x + 1E_y$
9. $1,3233D + 1L - 0,3E_x + 1E_y$
10. $1,3233D + 1L + 0,3E_x - 1E_y$
11. $1,3233D + 1L - 0,3E_x - 1E_y$
12. $0,7767D + 1E_x + 0,3E_y$
13. $0,7767D + 1E_x - 0,3E_y$
14. $0,7767D - 1E_x + 0,3E_y$
15. $0,7767D - 1E_x - 0,3E_y$
16. $0,7767D + 0,3E_x + 1E_y$
17. $0,7767D - 0,3E_x + 1E_y$
18. $0,7767D + 0,3E_x - 1E_y$
19. $0,7767D - 0,3E_x - 1E_y$

4.4.11 Hasil Analisa Struktur

Tabel 4. 18 Berat kerangka tiap Lantai

Story	ETABS
	kg
dak	86095,9
ringbalk	42498,02
lantai 5	240698,52
lantai 4	735284,59
lantai 3	764660,53
lantai 2	771327,25

Untuk berat keseluruhan kerangka dapat dilihat pada kolom *cumulative*

$$W_{total} = 2640564,81 \times \frac{9,80665}{1000}$$

$$= 25895 \text{ kN}$$

- a. Menghitung Gaya Geser Dasar Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.1 untuk menghitung gaya geser dasar seismic, V menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V = C_s \cdot W_t$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismic yang ditentukan

W_t = berat total seismic efektif

Berikut perhitungan Gaya geser dasar gempa arah x dan arah y :

$$V_x = 0,1067 \times 25895 = 2764,14 \text{ kN}$$

$$V_y = 0,1156 \times 25895 = 2993,13 \text{ kN}$$

- b. Menentukan Distribusi Vertikal Gaya Gempa Tiap Lantai

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.3 untuk menentukan distribusi vertical gaya gempa dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad \text{dan} \quad C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Keterangan:

C_{vx} = Distribusi secara vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser didasar kerangka (Kn)

w_i, w_x = bagian berat gempa efektif total kerangka (W) yang ditempatkan pada tingkat i atau x

h_i, h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x

k = eksponen yang terkait dengan periode kerangka dan nilai

Untuk kerangka dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$

Untuk kerangka dengan $T \leq 2,5$ detik, $k = 2$

Untuk kerangka dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

Karena T yang digunakan pada kerangka adalah:

$$k = (0,5 \times 0,963) + 0,75 \\ = 1,2313$$

Tabel 4. 19 Distribusi vertikal gaya gempa tiap lantai

Lantai	h_i (m)	W_i (kN)	K	$w_i h_i^k$	C_v	F_x	F_y
Dak	19,9	86095,9	1,2313	3422251,2	0,077	213,196	213,196
Ringbalk	17,6	42498,02		1452171,6	0,033	90,466	90,466
Lantai 5	16,6	240698,52		7653163,7	0,173	476,769	476,769
Lantai 4	12,6	735284,59		16648896,5	0,377	1037,176	1037,176
Lantai 3	8,4	764660,53		10509220,3	0,238	654,693	654,693
Lantai 2	4,2	771327,25		4515130,4	0,102	281,279	281,279
		2640564,81			44200833,8	1	2753,579

c. Menghitung Distribusi Horizontal Gaya Gempa Tiap Lantai

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

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i$$

Keterangan:

F_i = bagian dari geser dasar gempa (V) pada tingkat ke-I (kN)

Tabel 4. 20 Distribusi horizontal gaya gempa tiap lantai

Lantai	F _x (kN)	V _x (kN)	F _y (kN)	V _y (kN)
Dak	213,196	213,196	213,196	213,196
Ringbalk	90,466	90,466	303,662	303,662
Lantai 5	476,769	476,769	780,431	780,431
Lantai 4	1037,176	1037,176	1817,608	1817,608
Lantai 3	654,693	654,693	2472,301	2472,301
Lantai 2	281,279	281,279	2753,580	2753,580

Contoh perhitungan:

Distribusi horizontal gaya gempa lantai Dak, $V_{dak} = F_{dak} = 213,196$

Distribusi horizontal gaya gempa lantai 4, $V_4 = V_5 + V_4 = 1817,608$

Dan seterusnya...

Maka nilai distribusi gaya gempa pada lantai 1, adalah:

$$V_{1x} = 2753,580$$

d. Menentukan Relasi Beban Gempa Statik-Dinamik

Sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.4.1, nilai beban gempa dinamik tidak boleh kurang 100% beban static, atau artinya sama dengan $V_{dinamik} \geq V_{statik}$, sehingga jika total respon gaya fundamental (V_t) yang dihasilkan dari analisis varians (V_t) kurang dari 100% dari gaya fundamental (V) yang ditentukan dengan metode simulasi, maka gaya pada $V / 1. V_t$.

Pada analisis sebelumnya telah didapatkan nilai gaya geser static ekuivalen pada tiap lantai dengan perhitungan manual sesuai pada tabel. Sedangkan gaya geser dinamik pada tiap lantai didapatkan dari hasil output pada program aplikasi ETABS V19.0.0.

Tabel 4. 21 Gaya geser statik dan dinamik tiap lantai

Lantai	Statik		Dinamik	
	V _x	V _y	V _{spec-x}	V _{spec-y}
	kN	kN	kN	kN
Dak	213,196	213,196	47,5802	37,0572
Ringbalk	303,662	303,662	206,336	189,45
Lantai 5	780,431	780,431	602,554	587,737
Lantai 4	1817,608	1817,608	1483,74	1424,78
Lantai 3	2472,301	2472,301	2086,42	1997,21
Lantai 2	2753,580	2753,580	2360,96	2243,28

Tabel 4. 22 Relasi gaya gempa statik-dinamik

Gaya Gempa	V _x	V _y
	kN	kN
Statik	2753,580	2753,580
100% Statik	2753,580	2753,580
Dinamik	2360,96	2243,283

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai $V_{DINAMIK} < 100\% V_{STATIK}$ maka nilai factor skala gaya yang digunakan yaitu:

$$\text{Faktor skala gaya arah x} = \frac{2753,580}{2360,96} = 1,166$$

$$\text{Faktor skala gaya arah y} = \frac{2753,580}{2243,283} = 1,227$$

Kemudian ubah nilai factor skala gaya yang terdapat pada program aplikasi ETABS dengan hasil perhitungan berikut:

$$\text{Faktor skala gaya arah x} = 1838,75 \times 1,166 = 2144,53$$

$$\text{Faktor skala gaya arah y} = 1838,75 \times 1,227 = 2257,02$$

Tabel 4. 23 Gaya geser dinamik terkoreksi

Lantai	Statik		Dinamik		Skala Gaya		Dinamik	
	V _x	V _y	V _{spec-x}	V _{spec-y}	X-Dir	Y-Dir	V _{spec-x}	V _{spec-y}
	kN	kN	kN	kN			kN	kN
Dak	213,196	213,196	47,5802	37,0572	1,166	1,227	55,493	45,487
Ringbalk	303,662	303,662	206,336	189,45			240,649	232,545
Lantai 5	780,431	780,431	602,554	587,737			702,758	721,434
Lantai 4	1817,608	1817,608	1483,74	1424,78			1730,487	1748,891
Lantai 3	2472,301	2472,301	2086,42	1997,21			2433,383	2451,531
Lantai 2	2753,580	2753,580	2360,96	2243,28			2753,580	2753,580

Berikut adalah contoh perhitungan gaya geser dinamik terkoreksi:

$$\begin{aligned} \text{Arah X} &= V_{\text{dak}} (\text{terkoreksi}) = V_{\text{DINAMIK}} \times \text{Skala gaya x} \\ &= 47,5802 \times 1,166 \\ &= 55,493 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arah Y} &= V_{\text{dak}} (\text{terkoreksi}) = V_{\text{DINAMIK}} \times \text{Skala gaya y} \\ &= 37,0572 \times 1,227 \\ &= 45,487 \end{aligned}$$

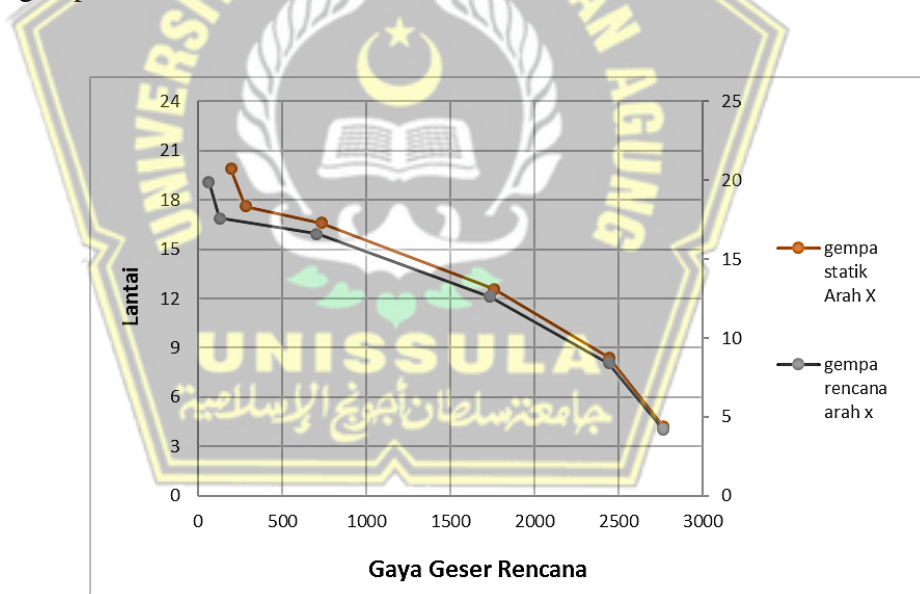
e. Menentukan Beban Gempa Rencana

Setelah hasil relasi antara gempa static dan dinamik ditemukan, langkah selanjutnya dalam menentukan beban gempa rencana. Gaya gempa rencana dengan distribusi yang baik dapat ditentukan melalui kesesuaian tinggi gedung. Gaya gempa rencana yang digunakan mempertimbangkan antara nilai gaya geser static dengan syarat minimal 100% dengan gaya gempa hasil dari perhitungan dinamik respon spektra yang kemudian hasil atau outputnya dapat dilihat pada tabel berikut.

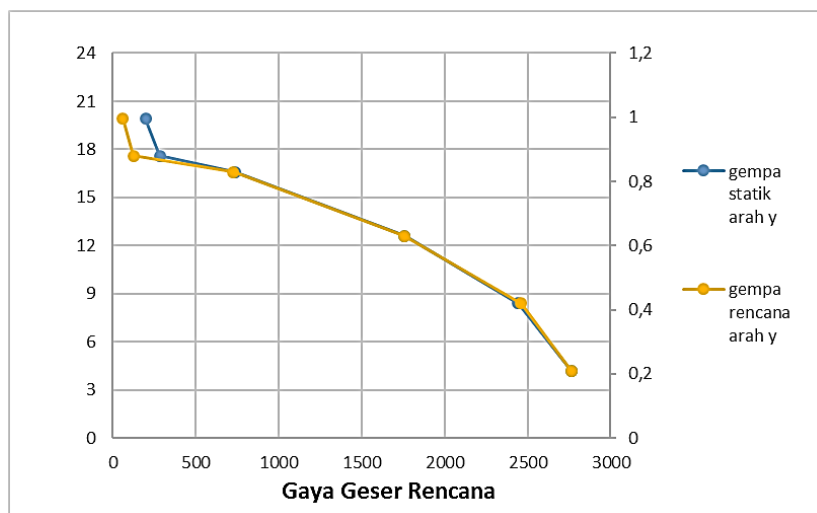
Tabel 4. 24 Gaya geser rencana tiap lantai

Lantai	STATIK		100% STATIK		DINAMIK CORRECTION		GAYA GESER RENCANA	
	Vx	Vy	Vx	Vy	Vx	Vy	Vx	Vy
	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
Dak	213,196	213,196	213,196	213,196	47,5802	37,0572	55,493	45,487
Rb	303,662	303,662	303,662	303,662	206,336	189,45	240,649	232,545
Lt 5	780,431	780,431	780,431	780,431	602,554	587,737	702,758	721,434
Lt 4	1817,608	1817,608	1817,608	1817,608	1483,74	1424,78	1730,487	1748,891
Lt 3	2472,301	2472,301	2472,301	2472,301	2086,42	1997,21	2433,383	2451,531
Lt 2	2753,580	2753,580	2753,580	2753,580	2360,96	2243,28	2753,580	2753,580

Nilai gaya geser rencana pada setiap lantai dihitung dengan cara menentukan nilai maksimum antara gaya gempa 100% statik dengan gaya gempa dinamik terkoreksi.



Gambar 4. 3 Distribusi gaya geser gempa arah x



Gambar 4. 4 Distribusi gaya geser rencana arah y

Berdasarkan gambar distribusi gaya geser tersebut dapat dilihat bahwa gaya gempa dinamik terkoreksi pada arah x yang cukup signifikan terhadap lantai paling atas karena memiliki nilai gaya geser lebih besar daripada gaya gempa statiknya, sedangkan pada lantai bawah memiliki nilai gaya geser rencana sudah sesuai dengan syarat 100% statik. Hal ini juga berlaku untuk arah y yang memiliki distribusi yang baik karena secara keseluruhan grafik menunjukkan kesesuaian syarat 100% statik. Hal ini mengartikan bahwa perlu pertimbangan antara relasi gempa statik dan dinamik, karena semakin tinggi suatu bangunan maka akan memberikan pengaruh pada perilaku dinamik yang bisa lebih mendominasi.

f. Menentukan gaya gempa lateral rencana

Untuk menentukan gaya gempa lateral rencana dapat dilakukan dengan cara melihat hasil desain analisis sebelumnya pada gaya geser pada setiap lantai. Gaya gempa pada lantai ditentukan dari menghitung selisih dari gaya geser antar lantai tersebut, sehingga nilainya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 25 Gaya gempa lateral rencana

Lantai	Gaya Geser Rencana		F, Gempa Rencana	
	V _x	V _y	F _x	F _y
	kN	kN	kN	Kn
Dak	55,493	45,487	55,493	45,487
Ringbalk	240,649	232,545	185,156	187,059
Lantai 5	702,758	721,434	462,109	488,889
Lantai 4	1730,487	1748,891	1027,729	1027,457
Lantai 3	2433,383	2451,531	702,897	702,640
Lantai 2	2753,580	2753,580	320,197	302,049

Contoh perhitungan:

$$F_{\text{dak}} = V_{\text{dak}} = 55,493$$

$$F_{\text{ringbalk}} = V_{\text{ringbalk}} - V_{\text{dak}} = 240,649 - 55,493 = 185,156$$

$$F_5 = V_5 - V_{\text{ringbalk}} = 702,758 - 240,649 = 574,532$$

g. Melakukan control terhadap desain

Tahap selanjutnya adalah melakukan control terhadap desain yang sudah dibuat. Kontrol desain dilakukan dengan cara pengecekan terhadap batas simpangan antar lantai sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 7.8.6 dan 7.12.1 serta pengecekan terhadap kestabilan akibat efek P-Delta sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 7.8.7. Hasil pengecekan tersebut pada tabel berikut.

Tabel 4. 26 Simpangan antar lantai ijin x-Dir

Lantai	h_{sx}	δ_e	Δ	Δ_i	Δ_{ijin}	Ket
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Dak	2300	30,990	113,63	8,521	23	OK
Ringbalk	1000	28,666	105,108	3,109	10	OK
Lantai 5	4000	27,818	101,999	16,910	40	OK
Lantai 4	4200	23,206	85,088	30,015	42	OK
Lantai 3	4200	15,020	55,073	32,325	42	OK
Lantai 2	4200	6,204	22,748	22,748	42	OK

Tabel 4. 27 Simpangan antar lantai ijin y-Dir

Lantai	h_{sx}	δ_e	Δ	Δ_i	Δ_{ijin}	Ket
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Dak	2300	36,660	134,42	5,056	23	OK
Ringbalk	1000	35,281	129,363	5,951	10	OK
Lantai 5	4000	33,658	123,412	22,326	40	OK
Lantai 4	4200	27,569	101,086	35,926	42	OK
Lantai 3	4200	17,771	65,160	40,315	42	OK
Lantai 2	4200	6,776	24,845	24,845	42	OK

Hasil control terhadap desain menunjukkan bahwa simpangan gedung aman. Berikut merupakan contoh perhitungan penentuan simpangan antar lantai untuk gempa arah x.

$$\delta_{dak} = \frac{Cd \cdot \delta_{e dak}}{I_e} = \frac{5,5 \cdot 30,990}{1,5} = 113,63$$

$$\delta_{rb} = \frac{Cd \cdot \delta_{e rb}}{I_e} = \frac{5,5 \cdot 28,666}{1,5} = 105,108$$

$$\Delta_{dak} = \delta_{dak} - \delta_{rb}$$

$$= 134,42 - 129,363$$

$$= 8,521 \text{ mm}$$

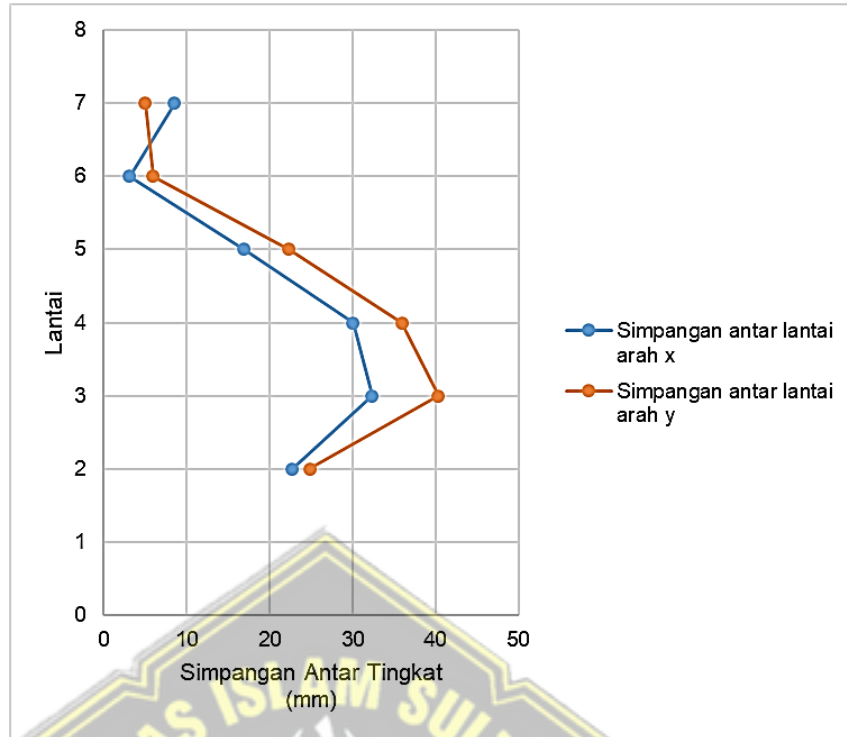
Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.12.1 untuk menentukan simpangan ijin dengan kerangka yang masuk ke dalam tipe semua kerangka lainnya dan memiliki kategori risiko IV, digunakan batas simpangan ijin antar lantai. Sehingga perhitungan yang didapat :

$$\Delta_{ijin} = 0,010 \cdot h_{sx}$$

$$= 0,010 \cdot 2300$$

$$= 23$$

Maka $\Delta_{dak} < \Delta_{ijin}$ OK



Gambar 4.5 Simpangan antar lantai

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

$$\text{Comb}_{P-\text{Delta}} = 1,0 \text{ DL} + 0,3 \text{ LL}$$

Tabel 4. 28 Beban P (Gravity) Kumulatif

Lantai	Load Combination	Location	P
			kN
Dak	Comb P-Delta	Bottom	256,18
Ringbalk	Comb P-Delta	Bottom	452,83
Lantai 5	Comb P-Delta	Bottom	2228,42
Lantai 4	Comb P-Delta	Bottom	5543,68
Lantai 3	Comb P-Delta	Bottom	9146,18
Lantai 2	Comb P-Delta	Bottom	12711,19

Tabel 4. 29 Cek kestabilan (P-Delta) akibat gempa x

Lantai	h _{sx} (mm)	Δi (mm)	P (kN)	V _x (kN)	θ	θ _{max}	Cek
Dak	2300	8,521	256,18	55,49	0,0047	0,0909	Stabil
Rb	1000	3,109	452,83	240,65	0,0016	0,0909	Stabil
Lt 5	4000	16,911	2228,42	702,76	0,0037	0,0909	Stabil
Lt 4	4200	30,015	5543,68	1730,49	0,0062	0,0909	Stabil
Lt 3	4200	32,325	9146,18	2433,38	0,0079	0,0909	Stabil
Lt 2	4200	22,748	12711,19	2753,58	0,0068	0,0909	Stabil

Tabel 4. 30 Cek kestabilan (P-Delta) akibat gempa y

Lantai	h _{sx} (mm)	Δi (mm)	P (kN)	V _y (kN)	θ	θ _{max}	Cek
Dak	2300	5,056	256,18	45,49	0,0034	0,0909	Stabil
Rb	1000	5,951	452,83	232,55	0,0032	0,0909	Stabil
Lt 5	4000	22,326	2228,42	721,43	0,0047	0,0909	Stabil
Lt 4	4200	35,926	5543,68	1748,89	0,0074	0,0909	Stabil
Lt 3	4200	40,315	9146,18	2451,53	0,0098	0,0909	Stabil
Lt 2	4200	24,845	12711,19	2753,58	0,0074	0,0909	Stabil

Contoh perhitungan control kestabilan bangunan atau P-delta pada LT 2 arah y sebagai berikut ini:

$$\theta = \frac{P \cdot \Delta i \cdot l_e}{V_y \cdot h_{sx} \cdot Cd} = \frac{12711,19 \cdot 24,845 \cdot 1,5}{2753,58 \cdot 4200 \cdot 5,5} = 0,0074$$

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta \cdot Cd} = \frac{0,5}{1 \cdot 5,5} = 0,0909$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat dilihat bahwa jika $\theta < 0,0909$ maka tidak disyaratkan untuk diperhitungkan pengaruh dari P-delta karena nilai $\theta < \theta_{max}$ artinya kerangka masih dalam keadaan stabil.

- h. Ketidakberaturan horizontal dan vertical
(Ketidakberaturan horizontal)

- Cek ketidakberaturan torsi dan torsi berlebihan

Pada saat pengecekan ketidakberaturan ini dilakukan apabila terdapat simpangan antar tingkat maksimum, salah satu ujung kerangka melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali untuk torsi dan 1,4 kali untuk torsi berlebihan simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung kerangka.

Tabel 4. 31 Cek ketidakberaturan torsi

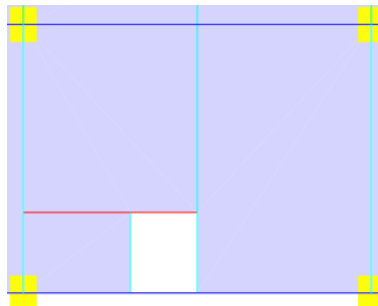
Lantai	Arah X	Arah Y	Cek
	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	
Lantai 5	1,043	1,129	OK
Lantai 4	1,016	1,045	OK
Lantai 3	1,014	1,068	OK
Lantai 2	1,012	1,066	OK

- Cek ketidakberaturan sudut dalam

Denah kerangka dari RSUD Dr R Soetijono Blora memiliki bentuk denah yang beraturan yaitu persegi maka dalam pengecekan tidak terjadi ketidakberaturan sudut dalam. Ketidakberaturan sudut dalam terjadi apabila kedua dimensi proyeksi denah kerangka dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah kerangka.

- Cek ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Terjadi apabila memiliki lubang bukaan suatu lantai dimana ukurannya lebih besar daripada 50% ukuran lantai utuhnya



Gambar 4. 6 Denah lantai bukaan

Tabel 4. 32 Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

	Ly	Lx	Ly × Lx	Cek	Tidak terjadi ketidakberaturan
A _{total}	6,5	5	32,5	1,875 < 16,25	
A _{bukaan}	1,5	1,25	1,875		

- Kerangka gedung tidak mengalami atau terjadi adanya ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang.
- Kerangka gedung tidak mengalami atau terjadi adanya ketidakberaturan sistem nonparalel.

Tabel 4. 33 Ketidakberaturan horizontal pada kerangka

	Tipe dan penjelasan ketidak beraturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakteraturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 0 Tabel 16 0	D, E, dan F B, C, D, E, dan F F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	Ketidakteraturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku	0 0 0 0 0 0 Tabel 16 0	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakteraturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	0 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F

3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	0 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	0 0 0 Tabel 16 0	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	0 0 Tabel 16 0	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

SNI 1729-2019 Tabel 12

(Ketidakberaturan vertikal)

- Cek Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dan berlebihan kerangka gedung tidak mengalami atau terjadi adanya Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dan lunak berlebihan karena tingkat kekakuan lateralnya melebihi dari batas minimum yang telah ditentukan.

Tabel 4. 34 Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak

Lantai	Arah X	Arah Y	Cek
	Kekakuan kN/m	Kekakuan kN/m	
Lantai 5	128133,63	95410,386	OK
Lantai 4	178644,073	143446,28	OK
Lantai 3	235327,337	180518,82	OK
Lantai 2	379023,662	330325,64	OK

- Ketidakberaturan Berat (Massa)

Pada lantai 5 kerangka gedung terdapat atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya oleh sebab itu tidak perlu untuk ditinjau.

Tabel 4. 35 Ketidakberaturan Berat (Massa)

Lantai	Massa	Cek
	kg	
Lantai 5	240698,52	OK
Lantai 4	735284,59	OK
Lantai 3	764660,53	OK
Lantai 2	771327,25	OK

- Kerangka gedung tidak mengalami atau terjadi adanya ketidakberaturan geometri vertikal dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat kurang dari 130%.

- Kerangka gedung tidak mengalami atau terjadi adanya ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral karena kerangka tidak menggunakan sistem dinding geser (*shear wall*)

- Cek Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas dan berlebihan pada kekuatan Kekuatan lateral atau kekuatan total semua elemen pemikul seismic yang berbagi geser tingkat pada arah suatu tingkat lebih dari 80 % dan 65% lateral tingkat di atasnya maka memenuhi.

Tabel 4. 36 Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat

Lantai	Arah X			Arah Y			Cek
	Vx	0,65Vx	0,8Vx	Vy	0,65Vy	0,8Vy	
Lantai 5	702,76	456,79	562,21	59,69	38,799605	47,75336	OK
Lantai 4	1730,49	1124,82	1384,39	123,35	80,17503	98,67696	OK
Lantai 3	2433,38	1581,70	1946,71	721,43	468,931515	577,14648	OK
Lantai 2	2753,58	1789,83	2202,86	1748,89	1136,77707	1399,11024	OK

Tabel 4. 37 Ketidakberaturan vertikal pada kerangka

	Tipe dan penjelasan ketidak beraturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 16	D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya	0 Tabel 16	E dan F D, E dan F
2.	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 16	D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismic tingkat didekatnya.	Tabel 16	D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.	0 0 Tabel 16	B, C, D,E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 Tabel 16	D, E, dan F B, dan C D, E, dan F
5b.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 0 Tabel 16	D, E, dan F B, dan C D, E, dan F

SNI 1726-2019 Tabel 13

Tabel 4. 38 Prosedur analisis yang diizinkan

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen pasal 0	Analisis spektrum respons ragam pasal 0	Prosedur respons riwayat waktu seismik pasal 0
B, C	Semua struktur			
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat di atas dasar			
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m			
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$			
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b			
	Semua struktur lainnya	TI		

SNI 1726-2019 Tabel 16

i. Menentukan pengaruh eksentrisitas dan torsi

Sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 7.8.4.1 bahwa torsi yang diperhitungkan ada dua yaitu torsi bawaan dan torsi tak terduga. Eksentrisitas dari torsi bawaan dapat dilihat dari hasil analisa program aplikasi ETABS V19.0.0. Berikut merupakan data eksentrisitas dari torsi bawaan untuk arah x dan arah y.

Tabel 4. 39 Data eksentrisitas torsi bawaan

Lantai	Pusat Massa		Pusat Rotasi		Eksentrisitas	
	XCM	YCM	XCR	YCR	X	Y
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Dak	4,4916	11,9911	5,6532	12,2517	-1,1616	-0,2606
Rb	2,0302	11,3484	2,0937	10,9658	-0,0635	0,3826
Lt 5	16,5338	9,1464	15,9034	8,1121	0,6304	1,0343
Lt 4	17,5666	7,6576	16,8921	8,0505	0,6745	-0,3929
Lt 3	17,1158	7,8468	17,0156	8,003	0,1002	-0,1562
Lt 2	17,0712	7,8362	17,0011	7,9994	0,0701	-0,1632

Nilai eksentrisitas dari torsi tak terduga ditentukan dengan menghitung eksentrisitas tambahan sebesar 5% dari dimensi arah tegak lurus panjang bentang kerangka bangunan tersebut dimana gaya gempa bekerja. Berikut ini tabel dari nilai eksentrisitas tak terduga.

Tabel 4. 40 Data eksentrisitas tak terduga

Lantai	Panjang bentang total sumbu-y (Ly)	Panjang bentang total sumbu-x (Lx)	0,05 Ly	0,05 Lx
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Dak	16000	31500	800	1575
Rb	16000	31500	800	1575
Lt 5	16000	31500	800	1575
Lt 4	16000	31500	800	1575
Lt 3	16000	31500	800	1575
Lt 2	16000	31500	800	1575

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

dengan persamaan sebagai berikut.

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

Nilai dari δ_{max} dan δ_{avg} diambil dari kombinasi yang terbesar. Nilai tersebut didapatkan dari hasil analisa program ETABS, berikut adalah nilai untuk pembebanan gempa arah x.

Tabel 4. 41 Nilai dari δ_{max} , δ_{avg} dan A_x untuk gempa arah x

Lantai	δ_{max}	δ_{avg}	$1,2\delta_{avg}$	A_x $(\delta_{max}/1,2\delta_{avg})^2$	Kontrol torsi
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Dak	36,196	36,173	43,4076	0,834	Tanpa ketidakberaturan torsi
Rb	33,398	33,398	40,0776	0,833	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt 5	33,057	32,495	38,994	0,848	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt 4	27,574	27,194	32,6328	0,845	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt 3	17,827	17,595	21,114	0,844	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt 2	7,351	7,265	8,718	0,843	Tanpa ketidakberaturan torsi

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa $\delta_{max} < 1,2\delta_{avg}$ artinya kerangka bangunan tersebut termasuk kedalam kategori tanpa ketidak beraturan torsi dengan nilai factor amplikasi (A_x) kurang dari satu sehingga untuk menghitung nilai eksentrisitas desain searah sumbu y (e_{dy}) dapat menggunakan nilai factor amplifikasi desain searah sumbu y (A_x) sebesar satu.

$$e_{dy} = e_{dy} + (0,05Ly) A_x = e_{0y} + (0,05Ly)$$

$$e_{dy} = e_{dy} - (0,05Ly) A_x = e_{0y} - (0,05Ly)$$

Maka dengan memasukkan nilai eksentrisitas sebesar 0,05 pada awal analisa program ETABS sudah sesuai. Untuk langkah selanjutnya adalah menentukan nilai dari δ_{max} , δ_{avg} dan A_y untuk pembebanan gempa arah sumbu y.

Tabel 4. 42 Nilai dari δ_{max} , δ_{avg} dan A_y untuk gempa arah y

Lantai	δ_{max}	δ_{avg}	$1,2\delta_{avg}$	A_y $(\delta_{max}/1,2\delta_{avg})^2$	Kontrol torsi
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Dak	45,197	45,003	54,0036	0,837	Tanpa ketidakberaturan torsi
Rb	43,321	43,321	51,9852	0,833	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt 5	42,472	41,37	49,644	0,856	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt 4	35,966	33,97	40,764	0,882	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt 3	23,293	21,861	26,2332	0,888	Tanpa ketidakberaturan torsi
Lt 2	8,889	8,336	10,0032	0,889	Tanpa ketidakberaturan torsi

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

$$e_{dx} = e_{dx} + (0,05Lx) A_y = e_{0x} + (0,05Lx)$$

$$e_{dx} = e_{dx} - (0,05Lx) A_y = e_{0x} - (0,05Lx)$$

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

4.5 Perencanaan Atap

Atapnya mengadopsi kerangka rangka baja berbentuk piramida. Perhitungan kerangka bangunan didasarkan pada ukuran truss. Selain itu, beban kerja seperti berat diam, berat gerak, dan beban angin juga dipertimbangkan. Setelah beban diterima, dimensi truss dihitung dan direncanakan. Pemodelan kerangka atap adalah sebagai berikut:

4.5.1 Perhitungan Atap

Data bahan:

- Tegangan leleh baja (f_y) = 240 MPa
- Tegangan tarik putus (f_u) = 370 MPa
- Tegangan sisa (f_r) = 70 MPa
- Modulus elastik baja (E) = 200000 Mpa
- Angka poisson = 0,3

Data profil baja:

Lip Channel C 150.65.20.3,2

- h_t = 150 mm
 - b = 65 mm
 - a = 20 mm
 - t = 3,2 mm
 - A = 956,7 mm²
 - I_x = 3320000 mm⁴
 - I_y = 538000 mm⁴
 - S_x = 44300 mm³
 - S_y = 12200 mm³
 - r_x = 58,9 mm
 - r_y = 23,7 mm
 - c = 21,1 mm
 - w = 7,51 kg/m
-
- Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ_b) = 0,90
 - Faktor rduksi kekuatan geser (ϕ_f) = 0,75
 - Diameter sagrod (d) = 12 mm
 - Jarak antar gording (s) = 1133 mm
 - Panjang gording (L_1) = 5000 mm
 - Jarak antar sagrod (L_2) = 2,33 mm
 - Kemiringan atap (α) = 35°

Section Property:

- Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ_b) = 0,90

- Faktor rduksi kekuatan geser (ϕ_f) = 0,75
- Diameter sagrod (d) = 12 mm
- Jarak antar gording (s) = 1133 mm
- Panjang gording (L1) = 5000 mm
- Jarak antar sagrod (L2) = 2,33 mm
- Kemiringan atap (α) = 35^0

Section Property:

- $G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{200000}{2(1+0,3)} = 76923,1 \text{ Mpa}$
- $h = h_t - t = 150 - 3,2 = 146,80 \text{ mm}$
- $J = 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot b \cdot t^3 + \frac{1}{3}(h_t - 2 \cdot t)t^3 + \frac{2}{3}(a - t)t^3 = 3355,44 \text{ mm}^4$
- $I_w = \frac{I_y \cdot h^2}{4} = 2898507280 \text{ mm}^6$
- $x_1 = \frac{\pi}{s_x} \sqrt{E \cdot G \cdot J - \frac{A}{2}} = 11143,90 \text{ Mpa}$
- $x_2 = 4 \cdot \left(\frac{s_x}{G \cdot J}\right)^2 \frac{I_w}{I_y} = 0,00063 \text{ mm}^2/N^2$
- $Z_x = \frac{1}{4} \cdot h_t \cdot t^2 + a \cdot t \cdot (h_t - a) + t \cdot (b - 2 \cdot t) \cdot (h_t - t)$
= 36232 mm^3
- $Z_y = h_t \cdot t \cdot \left(c - \frac{t}{2}\right) + 2 \cdot a \cdot t \cdot \left(b - c - \frac{t}{2}\right) + t \cdot (c - t)^2 + t \cdot (b - t - c)^2$
= 21100 mm^3

1. Pembebanan

a. Beban Mati (Dead Load)

Beban penutup atap	=	387,6 N/m
<u>Berat Gording</u>	=	<u>75,1 N/m</u>
Berat diam (Q _{DL})	=	462,7 N/m

b. Beban Hidup (P)

Berat gerak akibat beban air hujan diperhitungkan setara dengan beban genangan air setebal 1 inc = 25 mm.

q hujan	=	0,025 x 10	=	-0,25 kN/m ²
Beban air hujan	=	q hujan x s x 10 ³	=	283N/m
Berat gerak Pekerja	=		=	1000 N

c. Beban Terfaktor

$$\text{Beban merata (Qu)} = 1,2 \times Q_{DL} + 1,6 \times Q_{LL} = 1008,44 \text{ N/m}$$

$$\text{Beban terpusat (Pu)} = 1,6 \times P_{LL} = 1600 \text{ N/m}$$

$$\text{Sudut miring atap } (\alpha) = 0,61 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned} Q_{ux} &= Q_u \cdot \cos \alpha \cdot 10^{-3} \\ &= 0,8261 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{uy} &= Q_u \cdot \sin \alpha \cdot 10^{-3} \\ &= 0,5784 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{ux} &= P_u \cdot \cos \alpha \\ &= 1310,64 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{uy} &= P_u \cdot \sin \alpha \\ &= 971,72 \text{ N} \end{aligned}$$

2. Momen dan Gaya Geser Akibat Beban Terfaktor

$$L_x = L_1 = 5000 \text{ mm}$$

$$L_y = L_2 = 2,33 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{ux} &= (1/10 \cdot Q_{ux} \cdot L_x^2) + (1/8 \cdot P_{ux} \cdot L_x) \\ &= (1/10 \cdot 0,8261 \text{ N/m} \cdot 5000^2 \text{ mm}) + (1/8 \cdot 1310,64 \text{ N} \cdot 5000 \text{ mm}) \\ &= 2884321 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$M_A (1/4 L) = 2163237 \text{ N.m}$$

$$M_A (1/2 L) = 2884316 \text{ N.m}$$

$$M_A (3/4 L) = 2163237 \text{ N.m}$$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= (1/10 \cdot Q_{uy} \cdot L_y^2) + (1/8 \cdot P_{uy} \cdot L_y) \\ &= (1/10 \cdot 0,5784 \text{ N/m} \times 2,33^2 \text{ mm}) + (1/8 \cdot 971,72 \text{ N} \cdot 2,33 \text{ mm}) \\ &= 268 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{ux} &= Q_{ux} \cdot L_x + P_{ux} \\ &= 0,8261 \text{ N/m} \times 5000 \text{ mm} + 1310,64 \text{ N} \\ &= 5441 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{uy} &= Q_{uy} \cdot L_y + P_{uy} \\ &= 0,5784 \text{ N/m} \times 2,33 \text{ mm} + 971,72 \text{ N} \\ &= 919 \text{ N} \end{aligned}$$

3. Momen Nominal Pengaruh Local Buckling

Pengaruh tekuk local (local buckling) pada sayap:

Kelangsingan penampang sayap

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{65}{3,2} = 20,313$$

Batas kelangsingan maksimum penampang compact

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = 10,973$$

Batas kelangsingan maksimum penampang non compact

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y - f_r}} = 28,738$$

Momen plastis terhasap sumbu x

$$\begin{aligned} M_{px} &= f_y \cdot Z_x \\ &= 240 \cdot 36232 \\ &= 8695665 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Momen plastis terhasap sumbu y

$$\begin{aligned} M_{py} &= f_y \cdot Z_y \\ &= 240 \cdot 21100 \\ &= 5064115 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Momen batas tekuk terhasap sumbu x

$$\begin{aligned} M_{rx} &= S_x \cdot (f_y - f_r) \\ &= 44300 \cdot (240 - 70) \\ &= 7531000 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Momen batas tekuk terhasap sumbu y

$$\begin{aligned} M_{ry} &= S_y \cdot (f_y - f_r) \\ &= 12200 \cdot (240 - 70) \\ &= 207400 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Tabel 4. 43 Momen nominal penampang

a. Penampang compact	→	$\lambda \leq \lambda_p$
		$M_n = M_p$
b. Penampang non compact	→	$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$
		$M_n = M_p - (M_p - M_r) \cdot (\lambda - \lambda_p) / (\lambda_r - \lambda_p)$
c. penampang langsing	→	$\lambda \leq \lambda_r$
		$M_n = M_r \cdot (\lambda_r / \lambda)^2$

$\lambda > \lambda_p$ dan $\lambda < \lambda_r \rightarrow$ Non Compact

Momen nominal penampang sumbu x

$$\begin{aligned} M_{nx} &= M_p - (M_p - M_r) \cdot (\lambda - \lambda_p) / (\lambda_r - \lambda_p) \\ &= 8070711 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen nominal penampang sumbu y

$$\begin{aligned} M_{ny} &= M_p - (M_p - M_r) \cdot (\lambda - \lambda_p) / (\lambda_r - \lambda_p) \\ &= 3459632 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

4. Momen Nominal Pengaruh Lateral Buckling

Panjang bentang maksimum pada balok yang mampu menahan momen plastis

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1204 \text{ mm}$$

$$f_L = f_y - f_r = 170 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} L_r &= r_y \cdot \frac{x_1}{f_L} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + x_2 + f_L^2}} \\ &= 310 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{1,25 \cdot M_{ux}}{2,5 \cdot M_{ux} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} \\ &= 1,14 \end{aligned}$$

Momen plastis terhasap sumbu x

$$\begin{aligned} M_{px} &= f_y \cdot Z_x \\ &= 240 \cdot 36232 \\ &= 8695665 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Momen plastis terhasap sumbu y

$$\begin{aligned} M_{py} &= f_y \cdot Z_y \\ &= 240 \cdot 21100 \\ &= 5064115 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Momen batas tekuk terhasap sumbu x

$$\begin{aligned} M_{rx} &= S_x \cdot (f_y - f_r) \\ &= 44300 \cdot (240 - 70) \\ &= 7531000 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Momen batas tekuk terhasap sumbu y

$$\begin{aligned}M_{ry} &= S_y \cdot (f_y - f_r) \\ &= 12200 \cdot (240 - 70) \\ &= 207400 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

Panjang bentang sumbu y (jarak dukung lateral) (L) = $L_2 = 2 \text{ mm}$

$L < L_p$ dan $L < L_r \rightarrow$ bentang pendek

Momen nominal terhadap sumbu x:

$$M_{nx} = M_{px} = f_y \cdot Z_x = 240 \cdot 36232 = 8695665 \text{ N.mm}$$

Momen nominal terhasap sumbu y

$$M_{ny} = M_{py} = f_y \cdot Z_y = 240 \cdot 21100 = 5064115 \text{ N.mm}$$

$$M_{nx} = C_b \cdot \left[M_{rx} (M_{px} - M_{rx}) \cdot \frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right] = 10542632 \text{ N.mm}$$

5. Momen Nominal Pengaruh Lateral Buckling

Momen nominal terhadap sumbu x:

Berdasarkan pengaruh local buckling = $M_{nx} = 8070711 \text{ N.mm}$

Berdasarkan pengaruh lateral buckling = $M_{nx} = 8695665 \text{ Nmm}$

Momen nominal terhadap sumbu x diambil yang terkecil

$$M_{nx} = 8070711 \text{ N.mm}$$

$$\Phi b = 7263640 \text{ N.mm}$$

Momen nominal terhadap sumbu y:

Berdasarkan pengaruh local buckling = $M_{ny} = 3459632 \text{ N.mm}$

Berdasarkan pengaruh lateral buckling = $M_{ny} = 5064115 \text{ N.mm}$

Momen nominal terhadap sumbu x diambil yang terkecil

$$M_{ny} = 3459632 \text{ N.mm}$$

$$\Phi b = 3113669 \text{ N.mm}$$

$$M_{ux} = 2884321 \text{ N.mm}$$

$$M_{uy} = 268 \text{ N.mm}$$

$$\frac{M_{ux}}{\Phi b \cdot M_{nx}} = 0,3971$$

$$\frac{M_{uy}}{\Phi b \cdot M_{ny}} = 0,0001$$

Syarat yang harus dipenuhi

$$\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \leq 1,0$$

$$0,3972 \leq 1,0 \rightarrow \text{AMAN (OK)}$$

6. Tahanan Geser

Ketebalan plat badan tanpa pengaku harus memenuhi syarat:

$$\frac{h}{t} \leq 6,36 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$45,88 \leq 1,83,60 \rightarrow \text{Plat badan memenuhi syarat (OK)}$$

$$V_{ux} = 5441 \text{ N}$$

$$A_w = t \cdot ht = 480 \text{ mm}^2$$

$$V_{nx} = 0,60 \cdot f_y \cdot A_w = 69120 \text{ N}$$

Tahanan gaya geser terhadap sumbu x

$$\phi_f \cdot V_{nx} = 51840 \text{ N}$$

$$V_{uy} = 919 \text{ N}$$

$$A_f = 2 \cdot b \cdot t = 416 \text{ mm}^2$$

$$V_{ny} = 0,60 \cdot f_y \cdot A_f = 59904 \text{ N}$$

Tahanan gaya geser terhadap sumbu y

$$\phi_f \cdot V_{ny} = 44928 \text{ N}$$

$$\frac{V_{ux}}{\phi_f \cdot V_{nx}} = 0,1050$$

$$\frac{V_{uy}}{\phi_f \cdot V_{ny}} = 0,0205$$

Syarat yang harus dipenuhi

$$\frac{V_{ux}}{\phi_f \cdot V_{nx}} + \frac{V_{uy}}{\phi_f \cdot V_{ny}} \leq 1,0$$

$$0,1254 \leq 1,0 \rightarrow \text{AMAN (OK)}$$

7. Kontrol Interaksi Geser dan Lentur

Syarat yang harus dipenuhi untuk inetarksi geser dan lentur:

$$\frac{M_u}{\phi_b \cdot M_n} + \frac{0,625 \cdot V_u}{\phi_f \cdot V_n} \leq 1,375$$

$$\frac{M_u}{\phi_b \cdot M_n} = \frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} = 0,3972$$

$$\frac{V_u}{\phi_f \cdot V_n} = \frac{V_{ux}}{\phi_f \cdot V_{nx}} + \frac{V_{uy}}{\phi_f \cdot V_{ny}} = 0,1254$$

$$\frac{M_u}{\phi_b \cdot M_n} + \frac{0,625 \cdot V_u}{\phi_f \cdot V_n} = 0,4765$$

$$0,4756 < 1,375 \rightarrow \text{AMAN (OK)}$$

8. Tahanan Tarik Sagrod

$$\text{Beban merata gording } (Q_{uy}) = 0,5784 \text{ N/mm}$$

$$\text{Beban terpusat gording } (P_{uy}) = 917,72 \text{ N/mm}$$

$$\text{Panjang sagrod } (L_y) = L_2 = 2 \text{ m}$$

$$\text{Gaya tarik sagrod } (T_u) = Q_{uy} \cdot L_y + P_{uy} = 919 \text{ N}$$

$$\text{Tegangan leleh baja } (f_y) = 240 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan tarik putus } (f_u) = 370 \text{ Mpa}$$

$$\text{Diameter sagrod } (d) = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Luas penampang brutto sagrod } (A_g) = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 = 113,10 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas penampang efektif sagrod } (A_e) = 0,90 \cdot A_g = 101,79 \text{ mm}^2$$

Tahanan tarik sagrod berdasarkan luas penampang brutto

$$\begin{aligned} \phi \cdot T_n &= 0,90 \cdot A_g \cdot f_y \\ &= 24429 \text{ N} \end{aligned}$$

Tahanan tarik sagrod berdasarkan luas penampang efektif

$$\begin{aligned} \phi \cdot T_n &= 0,75 \cdot A_e \cdot f_u \\ &= 28246 \text{ N} \end{aligned}$$

Tahanan tarik sagrod (terkecil) yang digunakan $\rightarrow \phi T_n = 24429 \text{ N}$

Syarat yang harus dipenuhi:

$$T_u \leq \phi T_n$$

$$919 < 24429 \rightarrow \text{AMAN (OK)}$$

4.5.2 Perencanaan Rangka Atap Kuda-Kuda

Data perencanaan kuda-kuda

- Bentang kuda-kuda = 13 m
- Jarak antar kuda-kuda = 5 m
- Kemiringan atap (α) = 35°
- Jarak gording = 1,1336 m
- Penutup atap (genteng Glazur) = 22,5 kg/m

- Sambungan = mur-baut
- Berat Gording = 7,51 kg/m
- Mutu baja = 2400 kg/m
- Tegangan leleh baja (f_y) = 240 MPa
- Tegangan tarik putus (f_u) = 370 Mpa
- Peregangan minimum = 20%

- Berat gerak gording = 100 kg
- Beban angin = 18 kg/m

1. Pembebanan

a. Beban Hidup

Berat gerak yaitu berat yang berasal dari pusat. Berat yang berasal dari pekerja bermassa 100 kg disaat pekerjaan dilakukan.

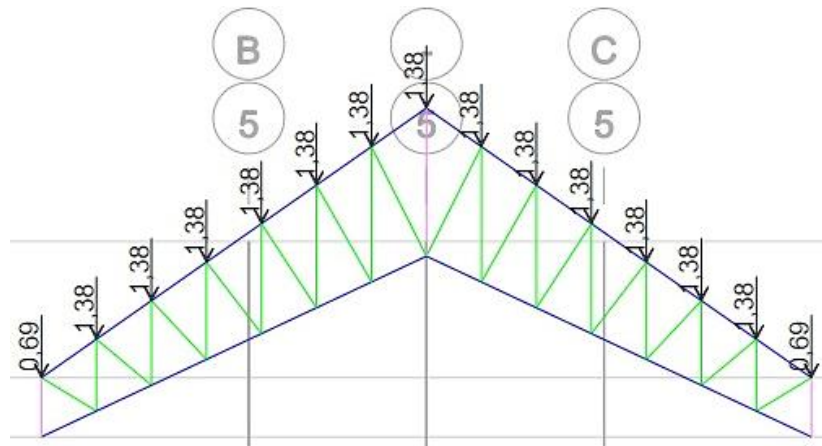
Berdasarkan pasal 8.3 SNI 1727-2020,

$$\begin{aligned} \text{Beban hujan} &= 0,0098 \times (ds + dh) \\ &= 0,0098 \times (25 \text{ mm}) \\ &= 0,245 \text{ kN/m}^2 \approx 24,3 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= \text{Beban hujan} \times L_1 \times L_2 \times 0,5 \\ &= 24,5 \times 1,133 \times 5 \times 0,5 \\ &= 69,43 \text{ kg} \approx 694,3 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 &= \text{Beban hujan} \times L_1 \times L_2 \times 1 \\ &= 24,5 \times 1,133 \times 5 \times 1 \\ &= 138,866 \text{ kg} \approx 1388,6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3 &= \text{Beban hujan} \times L_1 \times L_2 \times 1 \\ &= 24,5 \times 1,133 \times 5 \times 1 \\ &= 138,866 \text{ kg} \approx 1388,6 \text{ N} \end{aligned}$$



Gambar 4. 7 berat gerak atap

b. Beban Mati (D)

- Beban akibat gording = 7,51 kg/m

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \text{Beban gording} \times L_2 \times 1 \\
 &= 7,51 \times 5 \times 1 \\
 &= 37,55 \text{ kg} \approx 375,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_2 &= \text{Beban gording} \times L_2 \times 1 \\
 &= 7,51 \times 5 \times 1 \\
 &= 37,55 \text{ kg} \approx 375,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_3 &= \text{Beban gording} \times L_2 \times 2 \\
 &= 7,51 \times 5 \times 2 \\
 &= 75,1 \text{ kg} \approx 751 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Beban akibat penutup atap = 38,76 kg/m²

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \text{Beban penutup atap} \times L_1 \times L_2 \times 0,5 \\
 &= 38,76 \times 1,133 \times 5 \times 0,5 \\
 &= 109,85 \text{ kg} \approx 1098,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_2 &= \text{Beban penutup atap} \times L_1 \times L_2 \times 1 \\
 &= 38,76 \times 1,133 \times 5 \times 1 \\
 &= 219,69 \text{ kg} \approx 2196,9 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_3 &= \text{Beban penutup atap} \times L_1 \times L_2 \times 1 \\
 &= 38,76 \times 1,133 \times 5 \times 1 \\
 &= 219,69 \text{ kg} \approx 2196,9 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Beban akibat sagrod = 38,76 kg/m²

$$\begin{aligned}
 P_1 &= 10\% \times (P_1 \text{ beban gording}) \\
 &= 10\% \times (385,5) \\
 &= 38,55 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_2 &= 10\% \times (P_2 \text{ beban gording}) \\
 &= 10\% \times (385,5) \\
 &= 38,55 \text{ N}
 \end{aligned}$$

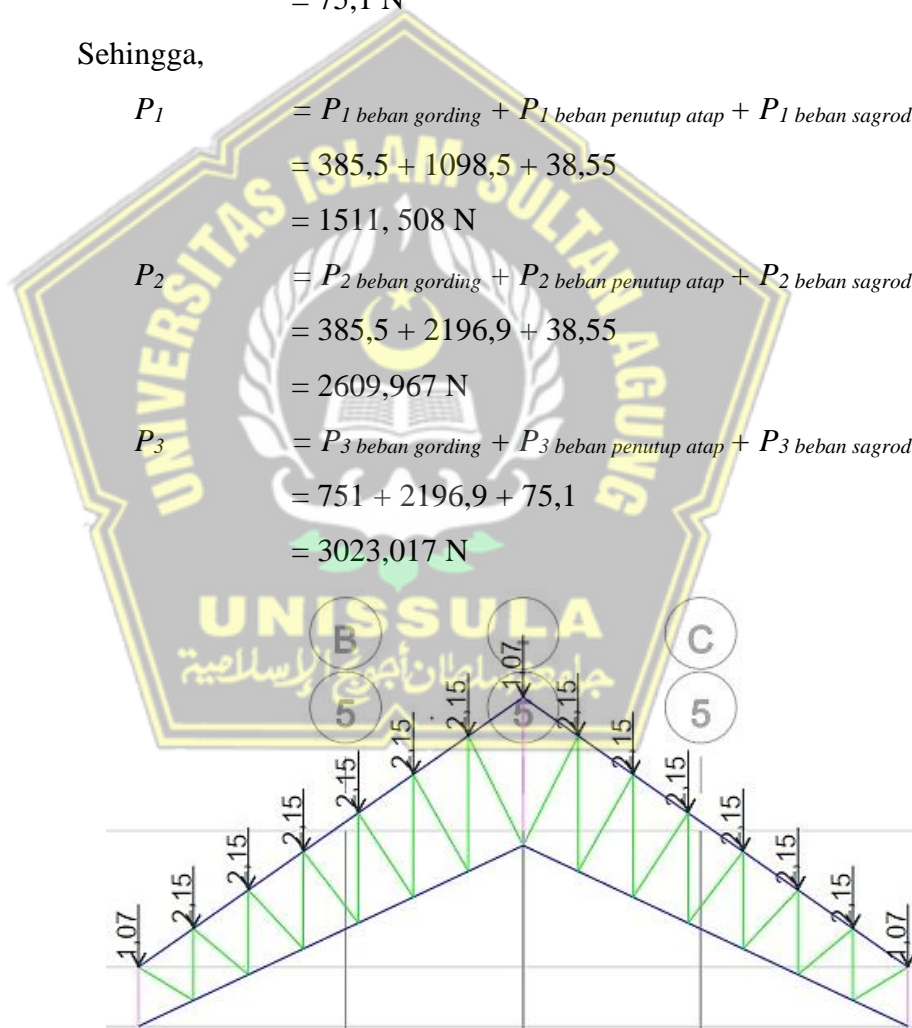
$$\begin{aligned}
 P_3 &= 10\% \times (P_3 \text{ beban gording}) \\
 &= 10\% \times (751) \\
 &= 75,1 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 P_1 &= P_1 \text{ beban gording} + P_1 \text{ beban penutup atap} + P_1 \text{ beban sagrod} \\
 &= 385,5 + 1098,5 + 38,55 \\
 &= 1511,508 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_2 &= P_2 \text{ beban gording} + P_2 \text{ beban penutup atap} + P_2 \text{ beban sagrod} \\
 &= 385,5 + 2196,9 + 38,55 \\
 &= 2609,967 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_3 &= P_3 \text{ beban gording} + P_3 \text{ beban penutup atap} + P_3 \text{ beban sagrod} \\
 &= 751 + 2196,9 + 75,1 \\
 &= 3023,017 \text{ N}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 8 Berat diam atap

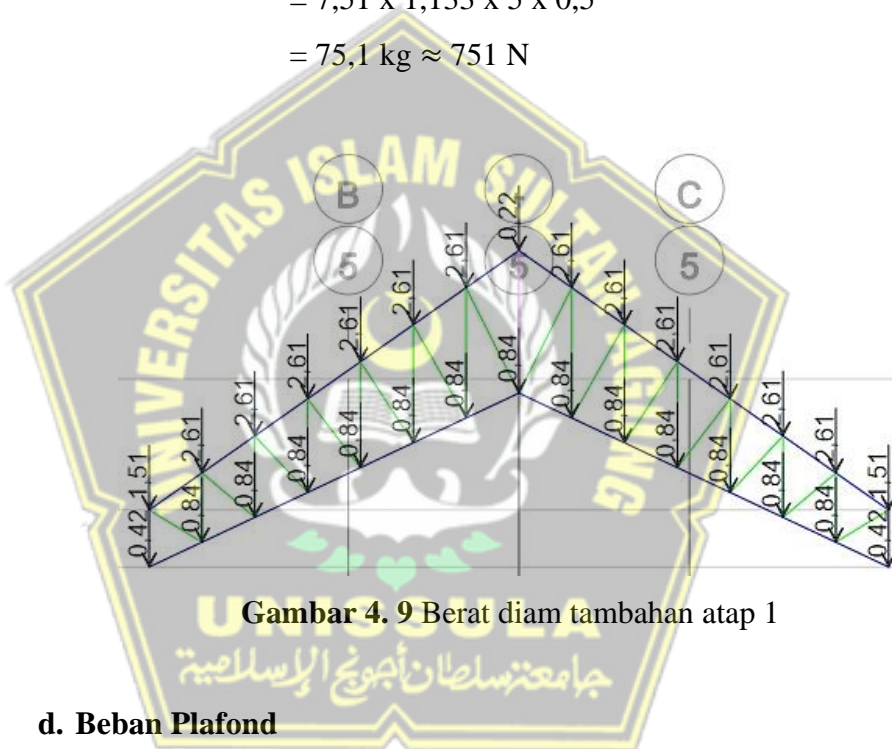
c. Beban Angin (W)

Beban angin tekan dan hisap = 7,51 kg/m

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \text{Beban angin} \times L_1 \times L_2 \times 0,5 \\
 &= 7,51 \times 1,133 \times 5 \times 0,5 \\
 &= 37,55 \text{ kg} \approx 375,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_2 &= \text{Beban angin} \times L_1 \times L_2 \times 1 \\
 &= 7,51 \times 1,133 \times 5 \times 1 \\
 &= 37,55 \text{ kg} \approx 375,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_3 &= \text{Beban angin} \times L_1 \times L_2 \times 0,5 \\
 &= 7,51 \times 1,133 \times 5 \times 0,5 \\
 &= 75,1 \text{ kg} \approx 751 \text{ N}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 9 Berat diam tambahan atap 1

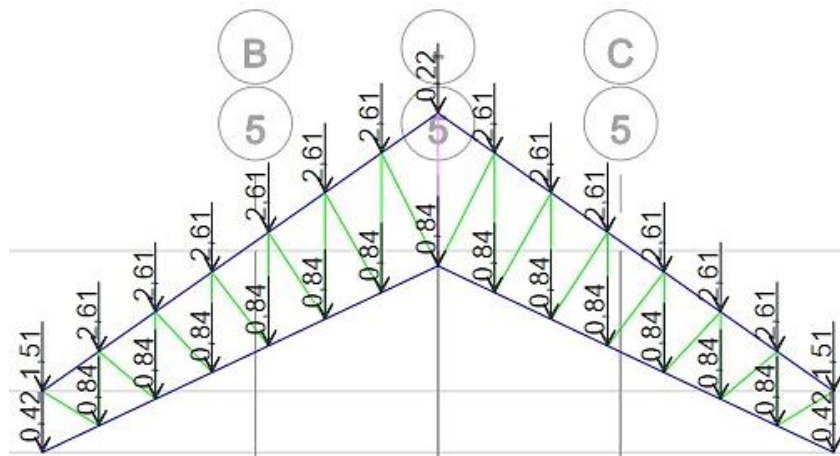
d. Beban Plafond

Beban plafond dan penggantung = 18 kg/m²

$$\begin{aligned}
 B_p &= \frac{\text{Beban plafond} \times \text{jarak kuda-kuda} \times \text{panjang kuda-kuda}}{\text{jumlah buhul}} \\
 &= \frac{18 \times 5 \times 13}{14} \\
 &= 7,51 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_1 &= B_p \times 0,5 \\
 &= 7,51 \times 0,5 \\
 &= 375,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$P_2 = 7,51 \text{ N}$$



Gambar 4. 10 Berat diam tambahan 2

e. Beban Akibat Berat Sendiri Profil

Berat yang berasal dari profil disebut dengan berat yang bersifat permanen. Beban yang tercantum dihitung secara manual melalui program ETABS, memakai perencanaan profil baja *Double Angel Shape*.

2. Kombinasi Beban

1. 1,4 .D
2. 1,2 .D + 0,5.R
3. 1,2 .D + 1,6.R + 0,5.W
4. 1,2 .D + 1,6.R - 0,5.W
5. 1,2 .D + 1,0.W + 0,5 R
6. 1,2 .D + 1,0.W - 0,5 R
7. 0,9 .D + 1,0.W
8. 0,9 .D - 1,0.W

4.5.3 Perhitungan Batang Tarik

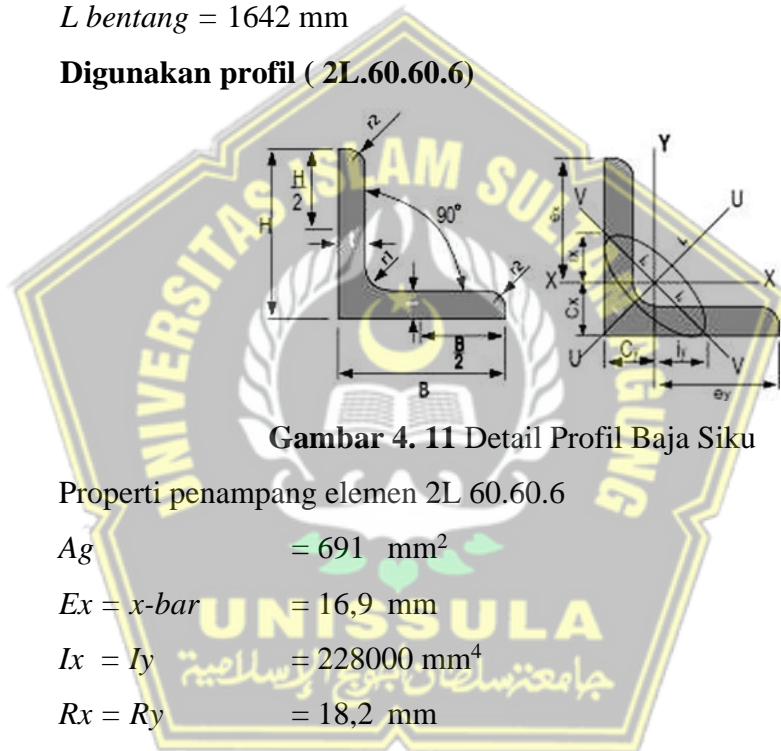
Berikut adalah spesifikasi mutu baja yang digunakan serta data yang digunakan untuk perhitung pemodelan ketahanan nominal masing-masing batang:

- Tegangan leleh baja (f_y) = 240 MPa
- Tegangan tarik putus (f_u) = 370 MPa
- Tegangan sisa (f_r) = 70 MPa
- Modulus elastik baja (E) = 200000 Mpa
- Faktor reduksi kekuatan leleh (ϕ_b) = 0,90
- Faktor reduksi kekuatan fraktur (ϕ_f) = 0,75
- Faktor reduksi kekuatan tekan (ϕ) = 0,85
- Profil yang digunakan = 2L 60.60.6

$$P_{maks} = N_u = 0,536 \text{ ton}$$

$$L_{bentang} = 1642 \text{ mm}$$

Digunakan profil (2L.60.60.6)



Gambar 4. 11 Detail Profil Baja Siku

Properti penampang elemen 2L 60.60.6

$$A_g = 691 \text{ mm}^2$$

$$E_x = x\text{-bar} = 16,9 \text{ mm}$$

$$I_x = I_y = 228000 \text{ mm}^4$$

$$R_x = R_y = 18,2 \text{ mm}$$

$$R_{min} = 11,7 \text{ mm}$$

$$T_p = 6 \text{ mm}$$

a. Periksa leleh terhadap tarik

$$\phi = 0,9$$

$$A_g = 2 \cdot 691 = 1382 \text{ mm}^2$$

$$\phi P_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y$$

$$= 0,9 \cdot 1382 \cdot 240$$

$$= 298512 \text{ N} \approx 298,512 \text{ kN}$$

$$\phi P_n (298,512 \text{ kN}) > P_u (298,512 \text{ kN}).$$

Profil yang digunakan cukup menahan kondisi leleh.

b. Periksa keruntuhan terhadap tarik

Menentukan kasus awal untuk menentukan besa U (faktor shear lag) pada tabel D3.1 SNI-1729-2020. Sehingga dapat ditentukan :

$$\text{Kasus Awal} \quad U = 0,5$$

$$\text{Kasus 2} \quad U = 1 - \left(\frac{\bar{x}}{80}\right)$$

$$U = 1 - \left(\frac{\bar{x}}{80}\right)$$

$$U = 1 - \left(\frac{\bar{x}}{80}\right)$$

$$\text{Kasus 8} \quad U = 0,8$$

U yang dipilih merupakan U maksimal dari kasus-kasus di atas, yakni U=0,8.

Kemudian hitung nilai A_n dengan menggunakan persyaratan SNI-1729-2022 pasal B4.3,

$$\begin{aligned} A_{n1} &= A_g - n \times (d_h + 2) \times t \\ &= 1382 - 4 \times (16 + 2) \times 6 \\ &= 950 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{n2} &= 0,85 \times 2 \cdot A_g \\ &= 0,85 \times 2 \times 691 \\ &= 1174,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai A_n yang digunakan adalah yang terkecil maka $A_n = 950 \text{ mm}^2$

$$A_e = A_n \cdot U = 950 \cdot 0,55 = 769 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \cdot A_e \cdot f_u \\ &= 0,9 \cdot 769 \cdot 370 \\ &= 210900 \text{ N} \\ &= 210,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi P_n (298,512 \text{ kN}) > P_u (298,512 \text{ kN}).$$

Profil yang digunakan cukup menahan keruntuhan tarik.

c. Periksa keruntuhan terhadap tarik

Berdasarkan SNI 1729-2020 Pasal J4.3,

$$L = \text{jarak sisi terluar ke as baut terakhir} = 120 \text{ mm}$$

$$H = \text{jarak sisi terluar ke as pertama} = 40 \text{ mm}$$

$$A_{gv} = (L \times t_p) \times 2 \\ = (120 \times 6) \times 2 = 1440 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = \{L - [1,5 \times (d_h + 2)]\} \times t_p \times 2 \\ = \{120 - [1,5 \times (16 + 2)]\} \times 6 \times 2 = 1116 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = \{H - [0,5 \times (d_h + 2)]\} \times t_p \times 2 \\ = \{40 - [0,5 \times (16 + 2)]\} \times 6 \times 2 = 372 \text{ mm}^2$$

$$R_{n1} = (0,6 \times F_u \times A_{nv}) + (U_{bs} \times F_u \times A_{nt}) \\ = (0,6 \times 370 \times 1116) + (1 \times 370 \times 372) = 385392 \text{ N}$$

$$R_{n2} = (0,6 \times F_y \times A_{gv}) + (U_{bs} \times F_u \times A_{nt}) \\ = (0,6 \times 240 \times 1440) + (1 \times 370 \times 372) = 345000 \text{ N}$$

$$R_n = \min(R_{n1}, R_{n2}) = 345000 \text{ N} = 345 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = 0,75 \times R_n = 0,75 \times 345 = 258,75 \text{ kN}$$

$$\phi R_n (258,75 \text{ kN}) > P_u (208,512 \text{ kN}).$$

Profil yang digunakan cukup menahan keruntuhan geser blok.

4.5.4 Perhitungan Batang Tekan

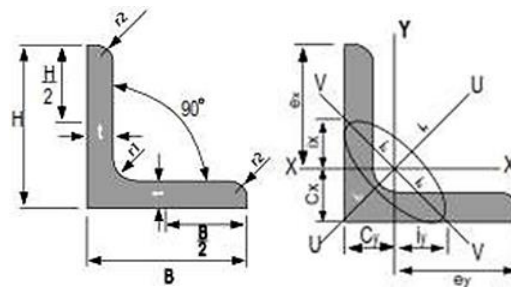
Berikut spesifikasi mutu baja yang digunakan serta data untuk perhitungan pemodelan ketahanan nominal masing-masing batang:

- Tegangan leleh baja (f_y) = 240 MPa
- Tegangan tarik putus (f_u) = 370 MPa
- Tegangan sisa (f_r) = 70 MPa
- Modulus elastik baja (E) = 200000 Mpa
- Faktor reduksi kekuatan leleh (ϕ_b) = 0,90
- Faktor reduksi kekuatan fraktur (ϕ_f) = 0,75
- Faktor reduksi kekuatan tekan (ϕ) = 0,85
- Profil yang digunakan = 2L 60.60.6

$$P_{maks} = Nu = \text{ton}$$

$$L_{bentang} = \text{mm}$$

Digunakan profil (2L.70.70.7)



Gambar 4. 12 Detail Profil Baja Siku

Properti penampang elemen 2L 70.70.7

$$A_g = 940 \text{ mm}^2$$

$$E_x = x\text{-bar} = 19,7 \text{ mm}$$

$$I_x = I_y = 424000 \text{ mm}^4$$

$$R_x = R_y = 21,2 \text{ mm}$$

$$R_{min} = 13,7 \text{ mm}$$

$$T_p = 7 \text{ mm}$$

Keterangan

$$h = 70 \text{ mm}$$

$$b = 70 \text{ mm}$$

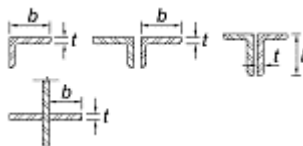
$$a = 10 \text{ mm}$$

$$t = 12 \text{ mm}$$

a. Periksa terhadap tekuk lentur

Sebelum itu periksa batasan lamda r (λ_r) sesuai dengan SNI 1729-2020 tabel B4.1.a mengenai rasio tebal terhadap lebar elemen tekan komponen kerangka yang menahan tekan aksial dan didapatkan untuk kasus ini sesuai dengan kasus 3 di Tabel 4.44.

Tabel 4. 44 Rasio Lebar terhadap Tebal: Elemen Tekan Komponen kerangka yang Mengalami Aksial Tekan

Kasus	Deskripsi elemen	Rasio tebal terhadap lebar	Batasan rasio tebal terhadap lebar	Contoh
3	Kaki siku tunggal, kaki dari siku ganda dengan pemisah, dan semua elemen tidak diperkaku lainnya.	b/t	$0,45 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	

Sumber : SNI-1729-2020

$$\text{Syarat : } \frac{B}{t} \leq 0,45 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\frac{70}{7} \leq 0,45 \sqrt{\frac{200000}{240}} \rightarrow 10 \leq 12,990$$

sehingga profil yang digunakan masih aman terhadap tekuk lokal.

b. Menentukan rasio kelangsingan (KL/r)

$$K = 1, \text{ sendi - sendi}$$

$$I_{xo} = 424000 \text{ mm}^4$$

$$I_{yo} = 424000 \text{ mm}^4$$

$$A_g = 2 \times A_g$$

$$= 2 \times 940 = 1880 \text{ mm}^2$$

$$I_x = \{I_{xo} + [A_g \times (CoGx)^2]\} \times 2$$

$$= \{424000 + [1880 \times (0)^2]\} \times 2$$

$$= 848000 \text{ mm}^4$$

$$I_y = \left\{ I_{yo} + \left[A_g \times \left(CoGy + \frac{1}{2} \text{tebal pelat} \right)^2 \right] \right\} \times 2$$

$$= \left\{ 424000 + \left[1880 \times \left(19,7 + \frac{1}{2} 10 \right)^2 \right] \right\} \times 2$$

$$= 3141938,4 \text{ mm}^4$$

$$R_x = \sqrt{\frac{I_x}{a_g}} = \sqrt{\frac{848000}{1880}} = 21,238 \text{ mm}$$

$$R_y = \sqrt{\frac{I_y}{ag}} = \sqrt{\frac{3141938,4}{1880}} = 40,881 \text{ mm}$$

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{1 \times 1134}{21,238} = 53,394 \text{ MPa}$$

$$\frac{KL}{r_y} = \frac{1 \times 1134}{40,881} = 27,739 \text{ MPa}$$

KL/r (rasio kelangsingan efektif) diatas sudah memenuhi syarat SNI 1729-2020 pasal E2 mengenai panjang efektif yang menyatakan bahwa $KL/r < 200$.

c. Menghitung tegangan tekuk Euler, F_e

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{KL}{r_x}\right)^2}$$

$$F_e = \frac{3,14^2 \times 200000}{(53,394)^2} = 691,674 \text{ Mpa}$$

d. Menghitung tegangan kritis, F_{cr3}

$$4,71 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 135,966 \text{ MPa}$$

$$4,71 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} > \frac{KL}{r_x}$$

$$135,966 \text{ MPa} > 53,394 \text{ MPa}$$

Sehingga,

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e}\right] \times f_y$$

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{240}{691,673}\right] \times 240 = 135,966 \text{ Mpa}$$

e. Menghitung tekuk torsi

(1) Apabila $\frac{a}{r_i} \leq 40$

$$\left(\frac{L_c}{r}\right)_m = \left(\frac{L_c}{r}\right)_o \quad (\text{E6-2a})$$

(2) Apabila $\frac{a}{r_i} > 40$

$$\left(\frac{L_c}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{L_c}{r}\right)_o^2 + \left(\frac{K_i a}{r_i}\right)^2} \quad (\text{E6-2b})$$

dengan

$\left(\frac{L_c}{r}\right)_m$ = rasio kelangsingan termodifikasi komponen struktur tersusun

$\left(\frac{L_c}{r}\right)_o$ = rasio kelangsingan komponen struktur tersusun yang bekerja

sebagai suatu kesatuan dalam arah tekuk yang sedang dihitung

L_c = panjang efektif komponen struktur tersusun, in. (mm)

K_i = 0,50 untuk siku-siku yang berpunggungan

= 0,75 untuk kanal-kanal yang berpunggungan

= 0,86 untuk semua kasus lain

a = jarak antara konektor, in. (mm)

r_i = radius girasi minimum komponen individual, in. (mm)

$Nb : L_c/r = KL/r$

Berdasarkan SNI 1729-2020 Pasal E6 ditentukan,

$r_i = 23 \text{ mm}$

$\alpha = \frac{\text{jarak gording}}{3}$, diasumsikan memiliki 2 konektor

$\alpha = \frac{1133}{3}$

$\alpha = 378 \text{ mm} < \alpha_{maks} = 3r_i \times \frac{KL/r_{maks}}{4K} = 921,05 \text{ mm} \rightarrow (OK)$

Maka,

$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \left(\frac{KL}{r}\right)_y = 27,739 \text{ Mpa}$

$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = 27,739 \text{ MPa} < 4,71 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 135,966 \text{ MPa}$

Sehingga,

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{KL}{r}\right)_y^2}$$

$$F_e = \frac{3,14^2 \cdot 200000}{27,739^2}$$

$$F_e = 2562,731 \text{ MPa}$$

$$F_{cry} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e}\right] \times f_y$$

$$F_{cry} = \left[0,658 \frac{240}{2562,731}\right] \times 240 = 230,774 \text{ Mpa}$$

$$x_o = 0$$

$$y_o = Cy - \frac{t_p}{2}$$

$$y_o = 19,7 - \frac{7}{2} = 16,2 \text{ mm}$$

$$r_o^2 = \frac{I_{x_o} + I_{y_o}}{A_g} + x_o^2 + y_o^2$$

$$r_o^2 = \frac{424000 + 424000}{1880} + 0^2 + 16,2^2$$

$$r_o^2 = 713,504 \text{ mm}^2$$

$$H = 1 - \left(\frac{x_o^2 + y_o^2}{r_o^2} \right)$$

$$H = 1 - \left(\frac{0^2 + 16,2^2}{731,504} \right)$$

$$H = 0,632$$

$$G = \frac{E}{2(2+\nu)}$$

$$G = \frac{200000}{2(1+0,3)}$$

$$G = 76923,1 \text{ Mpa}$$

$$J = \sum \frac{1}{3} b \cdot t^3$$

$$J = \left(\frac{1}{3} \cdot 70 \cdot 7^3 \right) + \left(\frac{1}{3} \cdot (70 - 7) \cdot 7^3 \right)$$

$$J = 1520,33 \text{ mm}^4$$

$$f_{crz} = \frac{G \cdot J}{A_g \cdot r_o^2}$$

$$f_{crz} = \frac{76923,08 \cdot 1530,333}{1880 \cdot 731,504}$$

$$f_{crz} = 207,059 \text{ MPa}$$

Dengan demikian dapat ditentukan,

$$F_{cr} = \left(\frac{f_{cry} + f_{crz}}{2 \cdot H} \right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot f_{cry} \cdot f_{crz} \cdot H}{(f_{cry} + f_{crz})^2}} \right)$$

$$F_{cr} = \left(\frac{230,774 + 207,059}{2 \cdot 0,632} \right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 230,774 \cdot 207,059 \cdot 0,632}{(230,774 + 207,059)^2}} \right)$$

$$F_{cr} = 207,059 \text{ Mpa}$$

Kemudian menentukan nilai F_{cr} terendah dari tekuk lentur dan tekuk lentur torsi, sehingga didapatkan $F_{cr} = 207,059 \text{ Mpa}$.

$$\phi P_n = 0,9 \times F_{cr} \times A_g$$

$$\phi P_n = 0,9 \times 207,059 \times 1880$$

$$\phi P_n = 350344,54 \text{ N} = 350,344 \text{ kN}$$

$$\phi P_n (350,344 \text{ kN}) > P_u (39,393 \text{ kN}).$$

Profil yang digunakan cukup menahan keruntuhan tekan. Engan terpenuhinya kondisi tekuk lentur dan tekuk torsi seperti perhitungan di atas, maka profil 2L 70.70.7 memenuhi syarat pembebanan untuk profil batang atas dan bawah.

4.5.5 Perhitungan Sambungan Baut

Dalam perhitungan sambungan baut kali ini menggunakan baut tanpa ulir dengan spesifikasi sebagai berikut:

Diameter baut	= 16 mm
Diameter lubang	= 18 mm
Mutu	= A325
Tegangan leleh (f_y)	= 240 MPa
f_u^p	= 370 MPa
f_u^b	= 825 MPa
r_1	= 0,4

a. Tahanan baut (tanpa ulir) Double Siku

$$f_u^b = 825 \text{ Mpa}$$

$$\text{bidang geser} = 2$$

- Geser

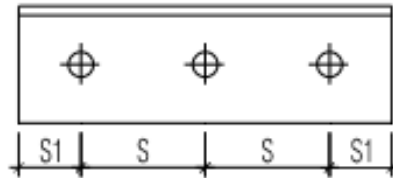
$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \times m \times r_1 \times f_u^b \times A_b \\ &= 0,75 \times 2 \times 0,4 \times 825 \times (0,25 \times \pi \times 16^2) \\ &= 99475,2 \text{ N/baut} \\ &= 99,475 \text{ kN/baut} \end{aligned}$$

- Tumpu

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \times 2,4 \times d_b \times t_p \times f_u^b \\ &= 0,75 \times 2,4 \times 16 \times 10 \times 370 \\ &= 106560 \text{ N/baut} \\ &= 106,560 \text{ kN/baut} \end{aligned}$$

Tahanan yang digunakan untuk baut yang dipasang pada profil batang double siku sebesar 99,475 kN.

b. Jarak Antar Baut



Gambar 4. 13 Jarak antar Baut

Syarat

1. $3 db < S < 15 tp / 200$
2. $1,5 db < S_1 < (4tp + 100 mm) / 200 mm$
 $3 x 19 , S < 15 x 10$
 $57 < S < 150 \rightarrow S = 80 mm$
 $1,5 x 19 < S_1 < (4 x 10 + 100)$
 $28,5 < S_1 < 140 \rightarrow S_1 = 40 mm$

4.5.6 Perhitungan Angkur dan Base Plate

Dari perhitungan program aplikasi ETABS V.19.0.0 didapatkan hasil reaksi tumpuan sebesar :

$$P_u = R_{uv maks} = 7030 \text{ kN}$$

$$V_u = R_{uh maks} = 6455 \text{ kN}$$

Penetapan ukuran base plate dengan syarat dibawah ini

$$P_u = \phi_c P_p$$

Dengan :

$$\phi_c = 0,6$$

$$P_p = 0,85 \times f'c \times A_1 \times \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$$

$$= 0,85 x 30 x B x N x 2$$

Maka,

$$\phi_c x P_p = P_u$$

$$0,85 x 30 x B x N x 2 = P_u$$

$$\begin{aligned}
 (B \times N)_{\text{perlu}} &= \frac{P_u}{0,6 \times 0,85 \times 30 \text{ MPa} \times 2} \\
 &= \frac{P_u}{0,6 \times 0,85 \times 30 \text{ MPa} \times 2} \\
 &= 229,739 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Diperoleh ukuran base plate perlu sebesar 229,739 mm² , maka ukuran base plate harus memenuhi syarat $> (B \times N)_{\text{perlu}}$, seperti di bawah ini :

$$B = 300 \text{ mm}$$

$$N = 300 \text{ mm}$$

$$B \times N = 300 \times 300 = 90000 \text{ mm}^2$$

Dengan menggunakan ukuran base plate (300 mm x 300 mm) = 90000 mm² > 229,739 mm² , sehingga desain base plate sudah aman.

Kemudian dalam menentukan jumlah angkur, terlebih dahulu lakukan pengecekan bahwa $V_u \leq \phi \times f_v \times A_b \times n$

Dengan :

$$\phi = 0,75$$

$$f_v = 0,6 \times 240 = 144 \text{ MPa},$$

dengan menggunakan angkur A307 diameter 16 mm

n = jumlah angkur

Maka,

$$V_u \leq \phi \times f_v \times A_b \times n$$

$$V_u \leq 0,75 \times 144 \text{ MPa} \times (0,25 \times \pi \times 16^2) \times n$$

$$n = \frac{6455}{0,75 \times 144 \times (0,25 \times \pi \times 16^2)}$$

$$n = 0,297 \text{ unit}$$

Minimum penggunaan angkur dalam kerangka adalah 2 unit, sehingga dipasang 4 unit angkur A307 dengan diameter 16 mm.

Menentukan ukuran tebal base plate yaitu dengan langkah di bawah ini :

$$C = 110$$

(dipilih maksimum jarak tepi penampang siku ganda ke tepi base plate)

$$P_u = 7030 \text{ N}$$

$$f_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$B = 300 \text{ mm}$$

$$N = 300 \text{ mm}$$

Maka,

$$t_{perlu} > 1,49 \times c \times \sqrt{\frac{7030}{B \times N \times f_y}}$$

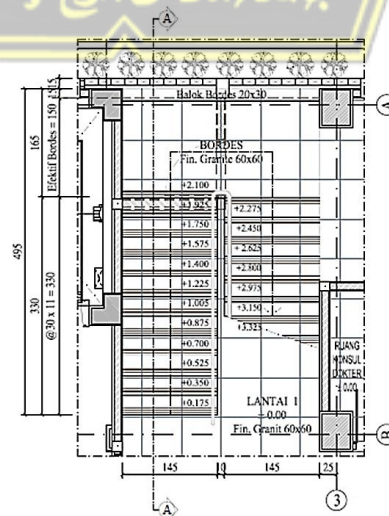
$$t_{perlu} = 1,49 \times 110 \times \sqrt{\frac{7030}{300 \times 300 \times 240}}$$

= 1,957 mm, sehingga dipilih t sebesar 10 mm.

4.6 Perencanaan Tangga

Struktur tangga akan didesain dengan meletakkan pelat bordes pada setengah tinggi antar lantai dengan denah tangga, berikut ini adalah data desain perhitungan tangga utama :

- Mutu beton (f_c') = 25 MPa
- Mutu baja (f_y) = 420 MPa
- Tinggi antar lantai = 4200 mm
- Panjang bordes = 3250 mm
- Lebar bordes = 1500 mm
- Lebar injakan (i) = 300 mm
- Tinggi tanjakan (t) = 175 mm
- Lebar tangga = 1450 mm
- Tebal pelat tangga = 120 mm
- Tebal pelat bordes = 120 mm
- Tebal selimut beton = 40 mm



Gambar 4. 14 Denah Tangga

Dengan acuan data dan gambar diatas, untuk jumlah tanjakan, injakan beserta sudut kemiringan tangga dihitung berdasarkan setengah tinggi dari tinggi antar lantai sebagai berikut :

- Jumlah tanjakan (nt) = $2100 \text{ mm} / 175 \text{ mm}$
= 12 buah
- Jumlah injakan (ni) = $nt-1$
= 12-1
= 11 buah
- Sudut kemiringan (α) = $\tan^{-1} (175 \text{ mm} / 300 \text{ mm})$
= $30,25^\circ$

Persyaratan tangga

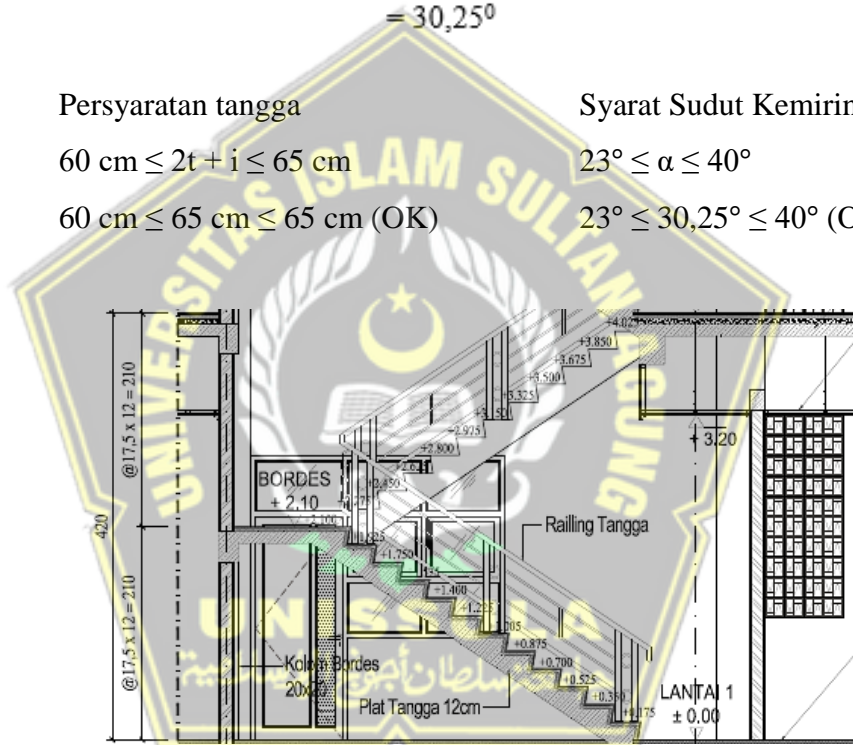
$$60 \text{ cm} \leq 2t + i \leq 65 \text{ cm}$$

$$60 \text{ cm} \leq 65 \text{ cm} \leq 65 \text{ cm (OK)}$$

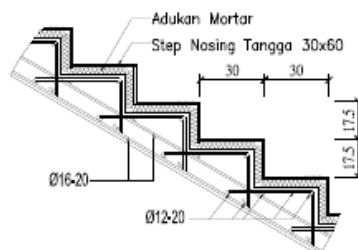
Syarat Sudut Kemiringan

$$23^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$23^\circ \leq 30,25^\circ \leq 40^\circ \text{ (OK)}$$



Gambar 4. 15 Potongan Samping Tangga



Gambar 4. 16 Detail Pelat Tangga

4.6.1 Pembebanan Tangga

Berat diam (*Dead Load*)

$$\text{Pelat tangga} = \frac{0,12}{\cos 30,25^\circ} \times 24 = 3,334 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tegel (10mm)} = 0,01 \times 24 = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Spesi (20mm)} = 0,02 \times 21 = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sandaran} = 1 \times 0,50 = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Total} = 4,494 \text{ kN/m}^2$$

Akibat gravitasi maka;

$$Q_{dl} = 4,494 \times \cos 30,25^\circ = 3,882 \text{ kN/m}^2$$

Berat gerak (*Live Load*)

$$\text{Berat gerak tangga} = 3 \text{ kN/m}^2$$

Kombinasi Pembebanan

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2DL + 1,6LL \\ &= 1,2 (3,882) + 1,6 (3) \\ &= 9,458 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

1. Pembebanan Pelat Bordes

Berat diam (*Dead Load*)

$$\text{Pelat Bordes} = 0,12 \times 24 = 2,88 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tegel (10mm)} = 0,01 \times 24 = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Spesi (20mm)} = 0,02 \times 21 = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sandaran} = 1 \times 0,50 = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Total} = 4,04 \text{ kN/m}^2$$

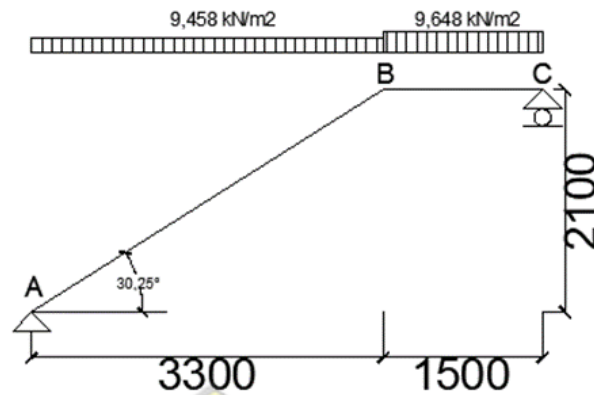
Berat gerak (*Live Load*)

$$\text{Berat gerak tangga} = 3 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2DL + 1,6LL \\ &= 1,2 (4,04) + 1,6 (3) \\ &= 9,648 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

4.6.3 Analisa Struktur Tangga

a. Reaksi Perletakan Tangga



Gambar 4. 17 Pembebanan Pada Tangga

$$\Sigma MC = 0$$

$$R_A \times 4,8 - \left[9,458 \times 3,3 \times \left(\frac{3,3}{2} + 1,5 \right) \right] - \left[9,648 \times 1,5 \times \frac{1,5}{2} \right] = 0$$

$$R_A \times 4,8 - 98,316 - 10,854 = 0$$

$$R_A = \frac{109,17}{4,8}$$

$$R_A = 22,744 \text{ kN}$$

$$\Sigma MA = 0$$

$$-RC \times 4,8 + \left[9,648 \times 1,5 \times \left(\frac{1,5}{2} + 3,3 \right) \right] + \left[9,458 \times 3,3 \times \frac{3,3}{2} \right] = 0$$

$$-RC \times 4,8 + 58,611 + 51,498 = 0$$

$$RC = \frac{105,768}{4,8}$$

$$RC = 22,940 \text{ kN}$$

$$\Sigma V = 0$$

$$22,744 + 22,940 - (9,458 \times 3,3) - (9,648 \times 1,5) = 0$$

(OK)

b. Gaya Dalam Tangga

Akibat beban yang diterima pada kerangka tangga maka terjadi gaya-gaya akibat beban yang dibebankan tersebut seperti gaya momen, gaya lintang, dan gaya normal. Untuk mendapatkan gaya-gaya tersebut berikut perhitungannya.

- Pada Pelat Bordes

(Gaya Lintang)

Potongan X1

$$DX1 = RC - q_1 \times X1 = 22,939 - 9,648 \times X1$$

$$X1 = 0 \text{ m} \quad DC = 22,939 \text{ kN}$$

$$X1 = 1,5 \text{ m} \quad DB = 8,468 \text{ kN}$$

(Momen)

Potongan X1

$$MX1 = RC \times X1 - q_1 \times 0,5 \times X1^2$$

$$= 22,939 \times X1 - 9,648 \times 0,5 \times X1^2$$

$$X1 = 0 \text{ m} \quad MC = 0 \text{ kNm}$$

$$X1 = 1,5 \text{ m} \quad MB = 23,556 \text{ kNm}$$

- Pada Pelat Tangga

(Gaya Lintang)

$$\text{Titik B} = 8,467 \text{ kN} \times \sin 30,25^\circ = 4,267 \text{ kN}$$

$$\text{Titik A} = 4,265 - 9,458 \times \sin 30,26^\circ \times 3,3 = -8,601 \text{ kN}$$

(Gaya Normal)

$$\text{Titik B} = 8,467 \text{ kN} \times \cos 30,26^\circ = 7,314 \text{ kN}$$

$$\text{Titik A} = 7,314 - 9,458 \times \sin 30,25^\circ \times 3,3$$

$$= -5,553 \text{ kN}$$

(Gaya Momen)

Potongan X2

$$MX2 = RA \times X2 - q_2 \times 0,5 \times X2^2$$

$$= 22,744 - 9,458 \times 0,5 \times 3,3^2$$

$$X2 = 0 \text{ m} \quad MA = 0 \text{ kNm}$$

$$X2 = 3,3 \text{ m} \quad MB = 23,556 \text{ kNm}$$

- Momen Maksimum

Momen maksimum akan terjadi pada daerah yang nilai gaya lintang nol (DX = 0)

$$DX = RA - q_2 \times X2 = 0$$

$$= 22,744 - 9,458 \times X2 = 0$$

$$X = 2,405 \text{ m (dari titik A)}$$

$$\begin{aligned}
 M_{max} &= RA \times X_2 - q_2 \times 0,5 \times X_2^2 \\
 &= 22,744 \times 2,405 - 9,458 \times 0,5 \times 2,405^2 \\
 &= 27,347 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

4.6.4 Perhitungan Rasio Tebal Pelat

$$\begin{aligned}
 L_y &= 3735,304 \text{ mm} \\
 L_x &= 1450 \text{ mm} \\
 L_y/L_x &= 3735,304 / 1450 \\
 &= 2,57 > 2,00
 \end{aligned}$$

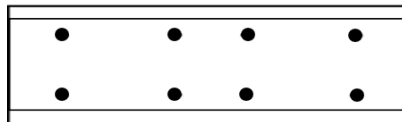
Maka pelat tipe tangga termasuk pelat satu arah

4.6.5 Perhitungan Kebutuhan Tulangan

Dari momen maksimum yang didapat dari setiap bentang pada daerah pelat tangga maupun pelat bordes dapat digunakan untuk perhitungan kebutuhan tulangan pada kerangka tangga.

4.6.6 Kebutuhan Tulangan Pelat Tangga

Data perencanaan	
Mu	= 27347 Nmm
Tebal pelat tangga	= 150 mm
Tebal selimut beton	= 40 mm
Diameter tulangan lentur	= 13 mm
Diameter tulangan susut	= 10 mm
Mutu baja (f_y)	= 420 MPa
Mutu beton (f_c')	= 25 MPa



Gambar 4. 18 Penulangan Pelat Tangga

$$\begin{aligned}
 d_x &= 150 - 40 - \left(\frac{1}{2} \times D \text{ lentur} \right) \\
 &= 150 - 40 - \left(\frac{1}{2} \times 13 \right) \\
 &= 103,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dy &= 150 - 40 - D \text{ lentur} - \left(\frac{1}{2} \times D \text{ susut}\right) \\
 &= 150 - 40 - 13 - \left(\frac{1}{2} \times 10\right) \\
 &= 93 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Penulangan Arah X

$$\phi = 0,9 \text{ (kontrol tarik)}$$

$$\begin{aligned}
 Rn &= \frac{Mu}{\phi \times b \times dx^2} \\
 &= \frac{27347}{0,9 \times 1000 \times 103,5^2} \\
 &= 2,837 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f'c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c}}\right) \\
 &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,837}{0,85 \times 25}}\right) \\
 &= 0,00728
 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}}$$

$$0,0018 < 0,00728 \quad (\text{Maka yang dipakai } \rho = 0,0158)$$

- Luas Tulangan

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= \rho \times 1000 \times dx \\
 &= 0,00720 \times 1000 \times 103,5 \\
 &= 753,16 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Cek nilai ϕ

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'c \times b} \\
 &= \frac{748,936 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} \\
 &= 14,885
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - \left(0,05 \times \frac{f'c - 28}{7}\right) \\
 &= 0,85 - \left(0,05 \times \frac{25 - 28}{7}\right) \\
 &= 0,9
 \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{14,803}{0,9}$$

$$= 17,082$$

$$\varepsilon_t = \frac{d_x - c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{103,5 - 26,223}{26,223} \times 0,003$$

$$= 0,015$$

$$0,015 > 0,005$$

(jadi, factor reduksi $\Phi = 0,9$ dapat digunakan)

- Syarat jarak maksimum (SNI 2847-2019 pasal 7.7.2.3)

$$3h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

- Dipakai tulangan D13, sehingga jarak antar tulangan

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_{s\text{perlu}}}$$

$$= \frac{0,25 \times 3,14 \times 13^2 \times 1000}{753,16}$$

$$= 176,145$$

$$S = 176,145 \text{ mm} < S_{\text{max}} = 450 \text{ mm}$$

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

Tulangan yang dipakai D13-150 mm

$$A_{s\text{pakai}} = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= \frac{0,25 \times 3,14 \times 13^2 \times 1000}{150}$$

$$= 884,433 > 753,16 \text{ (memenuhi)}$$

- Kebutuhan Tulangan Susut suhu (D10 mm)

SNI 2847-2019 pasal 24.4.3.2

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0018 \times 1000 \times 150$$

$$= 270 \text{ mm}^2$$

- Jarak Tulangan Susut

Tidak boleh lima kali tebal pelat atau 450 mm

(SNI 2847-2019 pasal 7.5.2.3)

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_{s\text{perlu}}}$$

$$= \frac{0,25 \times 3,14 \times 10^2 \times 1000}{270}$$

$$= 290,741 \text{ mm} < S_{\text{max}} = 450 \text{ mm}$$

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

Jadi tulangan susut yang dipakai D10-200

$$A_{s\text{pakai}} = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_{s\text{pakai}}}$$

$$= \frac{0,25 \times 3,14 \times 10^2 \times 1000}{200^2}$$

$$= 392,5 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} = 270 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

4.6.7 Kebutuhan Tulangan Pelat Bordes

Data perencanaan

$$M_u = 23556 \text{ Nmm}$$

$$\text{Tebal pelat tangga} = 150 \text{ mm}$$

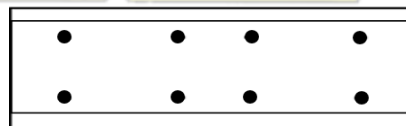
$$\text{Tebal selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

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

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

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

$$\text{Mutu beton } (f_c') = 25 \text{ MPa}$$



Gambar 4. 19 Penulangan Pelat Tangga

$$d_x = 150 - 40 - \left(\frac{1}{2} \times D \text{ lentur} \right)$$

$$= 150 - 40 - \left(\frac{1}{2} \times 13 \right)$$

$$= 103,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 dy &= 150 - 40 - D \text{ lentur} - \left(\frac{1}{2} \times D \text{ susut}\right) \\
 &= 150 - 40 - 13 - \left(\frac{1}{2} \times 10\right) \\
 &= 102 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Penulangan Arah X

$$\phi = 0,9 \text{ (terkontrol)}$$

$$\begin{aligned}
 Rn &= \frac{Mu}{\phi \times b \times dx^2} \\
 &= \frac{23556}{0,9 \times 1000 \times 103,5^2} \\
 &= 2,443 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f'c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c}}\right) \\
 &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,443}{0,85 \times 25}}\right) \\
 &= 0,00620
 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}}$

$$0,0018 < 0,00620 \quad (\text{Maka yang dipakai } \rho = 0,00620)$$

- Luas Tulangan

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= \rho \times 1000 \times dx \\
 &= 0,00620 \times 1000 \times 103,5 \\
 &= 641,383 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Cek nilai ϕ

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'c \times b} \\
 &= \frac{641,383 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} \\
 &= 12,676
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - \left(0,05 \times \frac{f'c - 28}{7}\right) \\
 &= 0,85 - \left(0,05 \times \frac{25 - 28}{7}\right) \\
 &= 0,9
 \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{12,676}{0,9}$$

$$= 14,547$$

$$\epsilon_t = \frac{d_x - c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{103,5 - 14,547}{14,547} \times 0,003$$

$$= 0,018$$

$$0,018 > 0,005$$

(jadi, factor reduksi $\Phi = 0,9$ dapat digunakan)

- Syarat jarak maksimum (SNI 2847-2019 pasal 7.7.2.3)

$$3h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

- Dipakai tulangan D13, sehingga jarak antar tulangan

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_{s\text{perlu}}}$$

$$= \frac{0,25 \times 3,14 \times 13^2 \times 1000}{641,383}$$

$$= 206,841$$

$$S = 641,383 \text{ mm} < S_{\text{max}} = 450 \text{ mm}$$

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

Tulangan yang dipakai D13-150 mm

$$A_{s\text{pakai}} = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= \frac{0,25 \times 3,14 \times 13^2 \times 1000}{200}$$

$$= 663,325 > 641,3835 \text{ (memenuhi)}$$

- Kebutuhan Tulangan Susut suhu (D10 mm)

(SNI 2847-2019 pasal 24.4.3.2)

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0018 \times 1000 \times 150$$

$$= 270 \text{ mm}^2$$

- Jarak Tulangan Susut

Tidak boleh lima kali tebal pelat atau 450 mm

(SNI 2847-2019 pasal 7.5.2.3)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_{s_{perlu}}} \\
 &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 10^2 \times 1000}{270} \\
 &= 290,741 \text{ mm} < S_{max} = 450 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

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

Jadi tulangan susut yang dipakai D10-200

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pakai}} &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_{s_{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 10^2 \times 1000}{200^2} \\
 &= 392,5 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} = 270 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

4.6.8 Perencanaan Balok Bordes

Perencanaan desain balok bordes ini berdasarkan pada SNI 2847-2019 pasal 9.3.1.1 yaitu mengenai balok bordes dianggap sebagai balok tertumpu sederhana. Sehingga perhitungannya sebagai berikut :

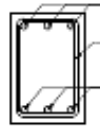
- $h = \frac{l}{16} = \frac{3250}{16} = 203,125 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$
- $b = \frac{1}{2} \times h = \frac{1}{2} \times 400 = 200 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$

Untuk desain awal balok bordes yang akan digunakan pada tangga utama yaitu ukuran balok 300x200.

1. Pembebanan Balok Bordes Bawah

Balok bordes dirancang atau direncanakan sebagaimana dapat menerima beban dinding di atasnya, berat sendiri maupun akibat perletakan dari tangga itu sendiri.

- Berat sendiri balok (qd) = 1,92 kN/m
- $Qd_{ultimate}$ = 2,304 kN/m
- Beban pelat bordes = 9,648 kN/m
- qu = 11,952



Gambar 4. 20 Balok Bordes

- $$Mu = \frac{1}{10} \times qu \times l^2$$

$$= \frac{1}{10} \times 11,952 \times 3,25^2$$

$$= 12,6243 \text{ kNm}$$

$$= 12624300 \text{ Nmm}$$

Pada perencanaan awal $\phi = 0,9$ (terkontrol Tarik) dan menggunakan 1 lapis tulangan

- $$d = h - \text{decking} - \text{sengkang} - \left(\frac{1}{2} \times D_{\text{lentur}}\right)$$

$$= 400 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 16\right)$$

$$= 342 \text{ mm}$$

- $$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2}$$

$$= \frac{12624300}{0,9 \times 200 \times 342^2}$$

$$= 0,599 \text{ MPa}$$

- $$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'}$$

$$= \frac{420}{0,85 \times 25}$$

$$= 19,764$$

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

$$= \frac{1}{19,764} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(19,764) \times 0,599}{420}}\right)$$

$$= 0,0014$$

- $$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{fy}$$

$$= \frac{1,4}{420}$$

$$= 0,0033$$

- Persyaratan
 $\rho \text{ perlu} < \rho \text{ min}$
 $0,0029 < 0,0033$

a. Tulangan Lentur Tarik

- $A_s = \rho \text{ perlu} \times b \times d$
 $= 0,0033 \times 200 \times 342$
 $= 228 \text{ mm}^2$

- SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2 ,As tidak boleh kurang dari :

$$A_s \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} \times b_w \times d$$

$$= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} \times 200 \times 242$$

$$= 203,571 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y}$$

$$= \frac{1,4 \times 200 \times 242}{420}$$

$$= 228 \text{ mm}^2$$

Maka, As pakai = 228 mm²

- Menggunakan tulangan D16 (AD16 = 200,96 mm²)

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s \text{ pakai}}}{AD16} = \frac{228}{200,96}$$

$$= 1,13 \approx 2 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan lentur tarik 2D16 (As = 401,928 mm²)

b. Tulangan Lentur Tekan

Untuk tulangan lentur tekan dapat digunakan sebesar 1/2 dari kekuatan lentur Tarik atau minimal 2 buah berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 8.4.2.1. Digunakan tulangan lentur tekan 2D16.

c. Kontrol Kapasitas Penampang

- Tinggi balok tegangan persegi ekuivalen

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$= \frac{401,92 \times 420}{0,85 \times 25 \times 200}$$

$$= 39,72 \text{ mm}$$

- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{a}{0,85}$$

$$= \frac{39,72}{0,85}$$

$$= 46,73 \text{ mm}$$

- Tegangan Tarik

$$\varepsilon_t = 0,003 \times \left(\frac{d}{c} - 1 \right)$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{342}{46,73} - 1 \right)$$

$$= 0,0189$$

- Dipakai $\Phi = 0,9$ (terkontrol tarik)

$$\Phi Mn = \Phi \times As \times fy \times \left(d - \frac{1}{2}a \right)$$

$$= 0,9 \times 401,92 \times 420 \times \left(342 - \frac{1}{2}39,72 \right)$$

$$= 4894145 \text{ Nmm}$$

$$= 48,94143 \text{ kNm}$$

$$\Phi Mn = 48,94143 > Mu = 12,6243 \text{ (OK)}$$

d. Penulangan Geser

- $Vu = 0,5 \times qu \times l$

$$= 0,5 \times 11,952 \times 3,25$$

$$= 19,422 \text{ kN}$$

- $\Phi Vc = \Phi (0,17 \lambda \sqrt{f'c} \times b \times d)$

$$= 0,75 (0,17 \times 1 \sqrt{25} \times 200 \times 342) \times 10^{-1}$$

$$= 43,605 \text{ kN}$$

$$\frac{1}{2} \Phi Vc \leq Vu$$

$$21,805 \leq 19,422 \text{ (Tidak memenuhi)}$$

Kekuatan geser balok yang tidak memenuhi, dengan demikian harus dipasang tulangan geser minimum

- $V_{c1} = 0,333\sqrt{f'c'} \times b \times d$
 $= 0,333\sqrt{25} \times 200 \times 342$
 $= 1138,86 \text{ kN}$

$$V_s \leq V_{c1}$$

$$0 \leq 1138,86 \text{ kN}$$

Digunakan D10 dua kali ($A_v = 157 \text{ mm}^2$) pada jarak maksimum, yang dipilih dari nilai terkecil antara

- $S_1 = \frac{d}{2} = \frac{342}{2} = 171 \text{ mm}$

- $S_2 = \frac{A_v \times f_y}{0,35 \times b} = \frac{157 \times 420}{0,35 \times 200} = 942 \text{ mm}$

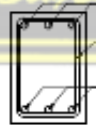
- $S_3 = 600$

Dipakai $s = 150 \text{ mm}$ (dipasang sengkang D10 – 150)

2. Pembebanan Balok Bordes Atas

Balok bordes dirancang atau direncanakan sebagaimana dapat menerima beban dinding di atasnya, berat sendiri maupun akibat perletakan dari tangga itu sendiri.

- Berat sendiri balok (qd) = 1,92 kN/m
- $Qd_{ultimate}$ = 3,6 kN/m
- Beban pelat bordes = 5,52 kN/m
- qu = 6,624



Gambar 4. 21 Balok Bordes

- $M_u = \frac{1}{10} \times qu \times l^2$
 $= \frac{1}{10} \times 6,624 \times 3,25^2$
 $= 6,9966 \text{ kNm}$
 $= 6996600 \text{ Nmm}$

Pada perencanaan awal $\phi = 0,9$ (terkontrol Tarik) dan menggunakan 1 lapis tulangan

- $d = h - \text{decking} - \text{sengkang} - \left(\frac{1}{2} \times D_{\text{lentur}}\right)$
 $= 400 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 16\right)$
 $= 342 \text{ mm}$

- $Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2}$
 $= \frac{6996600}{0,9 \times 200 \times 342^2}$
 $= 0,332 \text{ MPa}$

- $m = \frac{fy}{0,85 \times fcr}$
 $= \frac{420}{0,85 \times 25}$
 $= 19,764$

- $\rho \text{ perlu} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}}\right)$
 $= \frac{1}{19,764} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(19,764) \times 0,332}{420}}\right)$
 $= 0,00080$

- $\rho \text{ min} = \frac{1,4}{fy}$
 $= \frac{1,4}{420}$
 $= 0,0033$

- Persyaratan
 $\rho \text{ perlu} < \rho \text{ min}$
 $0,0029 < 0,0033$

a. Tulangan Lentur Tarik

- $As = \rho \text{ perlu} \times b \times d$
 $= 0,0033 \times 200 \times 342$
 $= 228 \text{ mm}^2$

- SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2, As tidak boleh kurang dari :

$$A_{s \text{ min}} = \frac{0,25 \sqrt{fcr}}{fy} \times b_w \times d$$

$$= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} \times 200 \times 242$$

$$= 203,571 \text{ mm}^2$$

Atau

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y}$$

$$= \frac{1,4 \times 200 \times 242}{420}$$

$$= 228 \text{ mm}^2$$

Maka, A_s pakai = 228 mm²

- Menggunakan tulangan D16 ($A_{D16} = 200,96 \text{ mm}^2$)

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s \text{ pakai}}}{A_{D16}} = \frac{228}{200,96}$$

$$= 1,13 \approx 2 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan lentur tarik 2D16 ($A_s = 401,928 \text{ mm}^2$)

b. Tulangan Lentur Tekan

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 8.4.2.1. Digunakan tulangan lentur tekan 2D16.

c. Kontrol Kapasitas Penampang

- Tinggi balok tegangan persegi ekuivalen

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c \times b}$$

$$= \frac{401,92 \times 420}{0,85 \times 25 \times 200}$$

$$= 39,72 \text{ mm}$$

- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{a}{0,85}$$

$$= \frac{39,72}{0,85}$$

$$= 46,73 \text{ mm}$$

- Tegangan Tarik

$$\begin{aligned}\varepsilon_t &= 0,003 \times \left(\frac{d}{c} - 1\right) \\ &= 0,003 \times \left(\frac{342}{46,73} - 1\right) \\ &= 0,0189\end{aligned}$$

- Dipakai $\Phi = 0,9$ (terkontrol tarik)

$$\begin{aligned}\Phi M_n &= \Phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2}a\right) \\ &= 0,9 \times 401,92 \times 420 \times \left(342 - \frac{1}{2}39,72\right) \\ &= 4894145 \text{ Nmm} \\ &= 48,94143 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\Phi M_n = 48,94143 > M_u = 12,6243 \text{ (Oke!)}$$

d. Penulangan Geser

- $V_u = 0,5 \times q_u \times l$
 $= 0,5 \times 11,952 \times 3,25$
 $= 19,422 \text{ kN}$
- $\Phi V_c = \Phi(0,17\lambda\sqrt{f_c'} \times b \times d)$
 $= 0,75(0,17 \times 1\sqrt{25} \times 200 \times 342) \times 10^{-1}$
 $= 43,605 \text{ kN}$

$$\frac{1}{2} \Phi V_c \leq V_u$$

$$21,805 \leq 19,422 \text{ (Tidak memenuhi)}$$

Kekuatan geser balok yang tidak memenuhi, dengan demikian harus dipasang tulangan geser minimum

- $V_{c1} = 0,333\sqrt{f_c'} \times b \times d$
 $= 0,333\sqrt{25} \times 200 \times 342$
 $= 1138,86 \text{ kN}$

$$V_s \leq V_{c1}$$

$$0 \leq 1138,86 \text{ kN}$$

Digunakan D10 dua kali ($A_v = 157 \text{ mm}^2$) pada jarak maksimum, yang dipilih dari nilai terkecil antara

- $S_1 = \frac{d}{2} = \frac{342}{2} = 171 \text{ mm}$
- $S_2 = \frac{Av \times fy}{0,35 \times b} = \frac{157 \times 420}{0,35 \times 200} = 942 \text{ mm}$
- $S_3 = 600 \text{ mm}$

Dipakai $s = 150 \text{ mm}$ (dipasang sengkang D10 – 150)

4.7 Perencanaan Lift

Perencanaan desain pada lift ini meliputi balok-balok yang berkaitan dengan mesin lift. Pada bangunan laboratorium dan radiology ini menggunakan lift penumpang yang diproduksi oleh PT Hyundai Elevator dengan data spesifikasi sebagai berikut ini:

tipe lift	: <i>Passenger Elevator</i> / Lift penumpang
kapasitas	: 6 kN
kecepatan	: 60 MPM
Dimensi sangkar (<i>Car Size</i>)	
car wide (<i>CW</i>)	: 1400 mm
car depth (<i>CD</i>)	: 1100 mm
opening	: 800 mm
Dimensi ruang luncur (<i>Hoistway</i>)	
hoistway width (<i>HW</i>)	: 1800 mm
hoistway depth (<i>HD</i>)	: 1750 mm
Beban ruang mesin	
R1	: 35 kN
R2	: 27 kN

- Perencanaan dimensi balok penumpu lift

$$h_{min} = \frac{1}{16} \times 400 = 25 \text{ cm} \approx 400 \text{ mm}$$

$$b_{max} = \frac{2}{3} \times 40 = 26,67 \text{ cm} \approx 200 \text{ mm}$$

4.7.1 Pembebanan Lift

- a. Beban kerja untuk penumpu balok

Beban pekerjaan pada balok penumpu merupakan beban akibat dari mesin penggerak lift + berat kereta luncur + perlengkapan dan akibat bandul pemberat + perlengkapan

- b. Koefisien kejut berat gerak oleh keran

Sebagai beban rencana harus diambil beban desain yang akan diambil saat beban derek meningkat dalam keadaan darurat ditentukan oleh skala:

$$\Psi = (1+k_1k_2v) \geq 1,15$$

Dimana:

Ψ = koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15

v = pada titik pengangkatan kritis dan paling menentukan dari kerangka tersebut, ketika mengangkat beban terbesar, kecepatan pengangkatan tertinggi dalam m/s, dan nilainya tidak boleh lebih besar dari 1,00 m/s.

k_1 = koefisien tergantung pada kondisi bangunan utama derek, untuk derek utama dengan konstruksi rangka, secara umum nilainya bisa 0,6

k_2 = koefisien tergantung pada sifat mesin angkat dari keran angkatnya dan diambil 1,3

Jadi beban yang bekerja pada balok adalah:

$$\begin{aligned} P &= R \times \psi \\ &= (35+27) \times (1+0,6 \times 1,3 \times 1) \\ &= 110,36 \text{ Kn} \end{aligned}$$

4.7.2 Balok Penggantung

- a. Pembebanan Balok 200x400

Berat diam lantai:

$$\text{berat sendiri balok} = 0,4 \times 0,2 \times 24 = 1,92 \text{ kN/m}$$

$$\text{berat gerak} = 4 \text{ kN/m}^2 \text{ (pelat untuk ruang mesin)}$$

$$ql = 4 \text{ kN/m}^2 \times 1 \text{ m}$$

$$= 4 \text{ kN/m}$$

$$Qu = 1,2qd + 1,6ql$$

$$= 1,2(1,92) + 1,6(4)$$

$$= 8,704 \text{ kN/m}$$

beban terpusat lift P = 110,36 kN

$$Vu = \frac{1}{2} \times Qu \times L + \frac{1}{2} \times P$$

$$= \frac{1}{2} \times 8,704 \times 2,5 + \frac{1}{2} \times 110,36$$

$$= 66,06 \text{ kNm}$$

$$= 66066 \text{ Nmm}$$

$$Mu = \frac{1}{8} \times Qu \times L^2 + \frac{1}{4} \times P \times L$$

$$= \frac{1}{8} \times Qu \times L^2 + \frac{1}{4} \times P \times L$$

$$= 75,775 \text{ kNm}$$

$$= 75775 \text{ Nmm}$$

Pada perencanaan awal, $\phi = 0,9$ (terkontrol tarik) dan menggunakan 1 lapis tulangan,

- $d = h - \text{decking} - \text{sengkang} - \left(\frac{1}{2} \times D_{\text{lentur}}\right)$

$$= 400 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 19\right) = 340,5 \text{ mm}$$

- $Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2}$

$$= \frac{75775000}{0,9 \times 200 \times 340,5^2}$$

$$= 3,63 \text{ MPa}$$

- $m = \frac{fy}{0,85 \times fc'}$

$$= \frac{420}{0,85 \times 25}$$

$$= 19,764$$

- $\rho \text{ perlu} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}}\right)$

$$= \frac{1}{19,764} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(19,764) \times 0,332}{420}}\right)$$

$$= 0,00955$$

- $\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$
 $= \frac{1,4}{420}$
 $= 0,0033$

- Persyaratan
 $\rho_{perlu} < \rho_{min}$
 $0,0095 < 0,0033$

b. Tulangan Lentur Tarik

- $A_s = \rho_{perlu} \times b \times d$
 $= 0,0033 \times 200 \times 340,5$
 $= 227 \text{ mm}^2$

- SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2, A_s tidak boleh kurang dari :

$$A_{s \min} = \frac{0,25 \sqrt{f_{c'}}}{f_y} \times b_w \times d$$

$$= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} \times 200 \times 340,5$$

$$= 202,678 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min} = \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y}$$

$$= \frac{1,4 \times 200 \times 340,5}{420}$$

$$= 227 \text{ mm}^2$$

Maka, A_s pakai = 227 mm²

- Menggunakan tulangan D22 ($A_{D22} = 379,94 \text{ mm}^2$)

$$n_{tulangan} = \frac{A_{s \text{ pakai}}}{A_{D16}} = \frac{227}{283,385}$$

$$= 0,801 \approx 2 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan lentur tarik 2D22 ($A_s = 759,88 \text{ mm}^2$)

c. Tulangan Lentur Tekan

Untuk tulangan lentur tekan dapat digunakan sebesar $\frac{1}{2}$ dari kekuatan lentur Tarik atau minimal 2 buah berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 8.4.2.1. Digunakan tulangan lentur tekan 2D19.

d. Kontrol Kapasitas Penampang

- Tinggi balok tegangan persegi ekuivalen

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{759,88 \times 420}{0,85 \times 25 \times 200} \\ &= 75,094 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{0,85} \\ &= \frac{75,094}{0,85} \\ &= 88,345 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Tegangan Tarik

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= 0,003 \times \left(\frac{d}{c} - 1 \right) \\ &= 0,003 \times \left(\frac{342}{46,73} - 1 \right) \\ &= 0,0085 \end{aligned}$$

- Dipakai $\Phi = 0,9$ (terkontrol tarik)

$$\begin{aligned} \Phi Mn &= \Phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2} a \right) \\ &= 0,9 \times 759,88 \times 420 \times \left(342 - \frac{1}{2} 75,094 \right) \\ &= 8701859 \text{ Nmm} \\ &= 87,018 \text{ kNm} \\ \Phi Mn &= 87,018 > Mu = 75,775 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

e. Penulangan Geser

- $V_u = 0,5 \times q_u \times l$
 $= 0,5 \times 8,704 \times 3,25$
 $= 66,06 \text{ kN}$

- $\Phi V_c = \Phi (0,17 \lambda \sqrt{f_c'} \times b \times d)$
 $= 0,75 (0,17 \times 1 \sqrt{25} \times 200 \times 340,5) \times 10^{-1}$
 $= 43,413 \text{ kN}$

$$\frac{1}{2} \Phi V_c \leq V_u$$

$$21,706 \leq 66,06 \text{ (memenuhi)}$$

Kekuatan geser balok memenuhi, namun dengan demikian harus dipasang tulangan geser minimum

$$\begin{aligned} \bullet V_{c1} &= 0,333\sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,333\sqrt{25} \times 200 \times 340,5 \\ &= 1133,86 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_s \leq V_{c1}$$

$$0 \leq 1133,86 \text{ kN}$$

Digunakan D10 dua kali ($A_v = 157 \text{ mm}^2$) pada jarak maksimum, yang dipilih dari nilai terkecil antara

$$\begin{aligned} \bullet S_1 &= \frac{d}{2} = \frac{340,5}{2} = 170,25 \text{ mm} \\ \bullet S_2 &= \frac{A_v \times f_y}{0,35 \times b} = \frac{157 \times 420}{0,35 \times 200} = 942 \text{ mm} \\ \bullet S_3 &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai $s = 150 \text{ mm}$ (dipasang sengkang D10 – 200)

f. Kontrol lendutan

Komponen kerangka beton yang mengalami lentur haru dirancang agar memiliki kekakuan cukup untuk batas deformasi yang akan memperlemah kemampuan layan kerangka saat bekerja. Sesuai SNI 1726-2019 tabel 9.3.1.1 syarat tebal minimum balok apabila lendutan tidak perlu dihitung adalah sebagai berikut:

$$h_{min} = \frac{1}{16} \times L$$

Tidak perlu memperkirakan regangan karena dari percobaan pertama dihitung bahwa setiap jenis ketinggian melebihi persyaratan h_{min} .

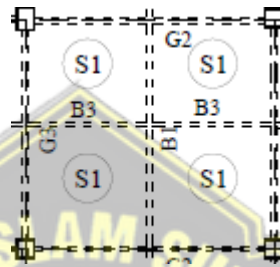
4.8 Perencanaan Pelat

Analisa kerangka didapatkan melalui program aplikasi ETAB V.19.0.0 sehingga didapat gaya-gaya yang terjadi pada pelat akibat adanya pembebanan. Gaya momen yang diperhitungkan terhadap sumbu gedung yaitu searah sumbu x maupun sumbu y sesuai momen yang terjadi pada arah sumbu. Untuk perhitungan

perancangan tulangan pelat arah x dan tulangan pelat arah y momen. Data-data perancangan tulangan pelat sebagai berikut:

- Tebal pelat = 120 mm
- Mutu beton = 25 MPa
- Mutu baja = 420 MPa (BjTS)
- Tulangan Tarik = D10

1. Penentuan tipe pelat



Gambar 4. 22 Tipe pelat ditinjau

$$L_x = 3$$

$$L_y = 3$$

$$\beta = \frac{L_x}{L_y} = \frac{3}{3} = 1$$

Hasil perhitungan diatas $\beta \leq 2$, maka merupakan pelat 2 arah (*two way slab*)

2. Analisis Pembebanan

a. Beban Mati

Berat sendiri	= 0,12 x 0,24	= 2,88	kN/m ²
Beban spesi tebal 2 cm	= 0,02 x 0,21	= 0,0042	kN/m ²
Beban Keramik tebal 1 cm	= 1 x 0,22	= 0,22	kN/m ²
Beban plafon & penggantung		= 0,18	kN/m ²
Plumbing & ME		= 0,3	kN/m ²
Jumlah		= 3,58	kN/m ²

b. Berat gerak

R.lab	= 2,87	kN/m ²
R.mee&lobby	= 4,79	kN/m ²
R.kantor	= 2,4	kN/m ²
koridor	= 3,83	kN/m ²
Jumlah	= 13,89	kN/m ²

c. Kombinasi Pembebanan

$$1,2q_d + 1,6q_l = (1,20 \times 3,58) + (1,60 \times 13,89) = 27 \text{ kN/m}^2$$

3. Penentuan Nilai Momen

Pada penentuan nilai momen pada pelat menggunakan konfigurasi tipe pelat segi empat yang menunggu pada keempat tepinya sesuai dengan bagian standard sebagai berikut,

- Jepitan penuh terjadi jika penampang pelat diatas tumpuan tidak bisa berputar akibat pembebanan pada tepi-tepi pelat satu kesatuan monololit dengan balok pemikul.
- Apabila pada tepi pelat merupakan satu kesatuan monololit dengan balok tepi, maka jika menghitung momen-momen lapangan dalam pelat tepi tersebut harus dianggap sebagai tepi yang terletak bebas.

Pada desain pelat bagian tengah menggunakan desain terjepit penuh dan pelat bagian tepi pelat, untuk remus perhitungan tepi pelat adalah sebagai berikut.

$$M_{lx} = 0,001 \times W_u \times L_x^2 \times \text{koef}$$

$$M_{ly} = 0,001 \times W_u \times L_y^2 \times \text{koef}$$

$$M_{tx} = -0,001 \times W_u \times L_x^2 \times \text{koef}$$

$$M_{ty} = -0,001 \times W_u \times L_y^2 \times \text{koef}$$

Tabel 4. 45 Momen Rencana Pelat

Lantai	Momen (kN.m)	
Plat S1	M _{lx}	8,59
	M _{ly}	8,59
	M _{tx}	-8,59
	M _{ty}	-8,59

4.8.1 Perencanaan Tulangan Pelat

Pelat lantai yang digunakan untuk contoh perhitungan adalah menggunakan pelat lantai 2, terdapat langkah-langkah yang digunakan untuk pereencanaan pelat adalah sebagai berikut :

4.8.1.1 Perencanaan Pelat Arah X

data perancangan tulangan :

$$\begin{aligned} \text{Mu tumpuan} &= 8,59 \text{ kNm} \\ &= 8590000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\text{tebal pelat} = 120 \text{ mm}$$

$$\text{tebal selimut beton} = 30 \text{ mm}$$

$$\text{diameter tulangan} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{mutu baja } (f_y) = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{mutu beton } (f_c') = 25 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Tinggi efektif arah x } (d_x) &= h - p - D/2 \\ &= 120 - 30 - 10/2 \\ &= 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Tinggi efektif arah y } (d_y) &= h - p - D - D/2 \\ &= 120 - 30 - 10 - 10/2 \\ &= 75 \text{ mm} \end{aligned}$$

a. Mencari batas-batas rasio tulangan (ρ_{\min} , ρ_b , ρ_{\max})

$$\begin{aligned} \bullet \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\ &= 0,025 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,025 \\ &= 0,0018 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \rho_{\min} &= 1,4 / f_y \\ &= 1,4 / 420 \\ &= 0,003 \end{aligned}$$

b. Desain Penulangan

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,76$$

lebar pelat (b) unuk perhitungan diambil per 1000 mm

$$\begin{aligned}
 \bullet Rn &= \frac{Mu}{\phi \times b \times dx^2} \\
 &= \frac{-8,59 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 85^2} \\
 &= -1,321 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \rho &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{19,76} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(19,76)(-1,321)}{420}} \right) \\
 &= -0,0031
 \end{aligned}$$

- Persyaratan

$$\rho > \rho \text{ min}$$

$$-0,0031 > 0,003$$

Maka dipakai nilai $\rho = 0,003$

Luas Tulangan

$$\begin{aligned}
 \bullet A_{smin} &= \rho \text{ min} \times b \times dx \\
 &= 0,003 \times 1000 \times 85 \\
 &= 283,333 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Trial tulangan yang akan dipasang yaitu D10-150

$$\begin{aligned}
 \bullet A_{Spakai} &= \left(\frac{1}{4} \pi D^2 \right) \frac{\text{lebar pelat}}{\text{jarak}} \\
 &= \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \right) \frac{1000}{150} \\
 &= 523,333
 \end{aligned}$$

$$A_{Spakai} > A_{smin} \text{ (OK)}$$

Cek nilai regangan dan factor reduksi

$$\begin{aligned}
 \bullet a &= \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b} \\
 &= \frac{523,333 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} \\
 &= 10,343 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \beta l &= 0,85 - \left(0,05 \frac{fc' - 28}{7} \right) \\
 &= 0,85 - \left(0,05 \frac{25 - 28}{7} \right) \\
 &= 0,9
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad c &= \frac{a}{0,85} \\
 &= \frac{10,343}{0,705} \\
 &= 14,672 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tegangan Tarik

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad \varepsilon_s &= 0,003 \times \left(\frac{100-14,672}{14,672} \right) \\
 &= 0,017
 \end{aligned}$$

$$\varepsilon_s > 0,005$$

$$0,017 > 0,005$$

Jadi, faktor reduksi $\phi = 0,9$ (terkontrol tarik) dapat digunakan.

Syarat Jarak maksimum SNI 28147-2019 7.7.2.3

$$\begin{aligned}
 3h &= 3 \times 150 \\
 &= 450 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan D10 mm, sehingga jarak antar tulangan :

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad S &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_{s\text{perlu}}} \\
 &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 10^2 \times 1000}{523,333} \\
 &= 150,0001 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S = 150 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 < S_{\text{max}} = 450 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai D10-150 mm

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad A_{s\text{pakai}} &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 10^2 \times 1000}{150} \\
 &= 523,333 \text{ mm} > A_{s\text{perlu}} = 523,333 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

c. Momen Nominal (Mn) arah x

$$\begin{aligned}
 Mn &= 523,333 \times 420 \times \left(85 - \frac{10,344}{2} \right) \times 10^{-6} \\
 &= 17,546
 \end{aligned}$$

$$\phi Mn = 0,9 \times 17,546$$

$$= 15,792 \text{ kN.m} > -8,59 \text{ kN.m (OK)}$$

4.8.1.2 Perencanaan Pelat Arah Y

a. Desain Penulangan

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,76$$

lebar pelat (b) unuk perhitungan diambil per 1000 mm

$$\begin{aligned} \bullet Rn &= \frac{Mu}{\phi \times b \times dy^2} \\ &= \frac{-8,59 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 75^2} \\ &= -1,697 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \rho &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{19,76} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(19,76)(-1697)}{420}} \right) \\ &= -0,0039 \end{aligned}$$

• Persyaratan

$$\rho > \rho \text{ min}$$

$$-0,0039 > 0,003$$

Maka dipakai nilai $\rho = 0,003$

Luas Tulangan

$$\begin{aligned} \bullet A_{smin} &= \rho \text{ min} \times b \times dx \\ &= 0,003 \times 1000 \times 75 \\ &= 225 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Trial tulangan yang akan dipasang yaitu D10-150

$$\begin{aligned} \bullet A_{Spakai} &= \left(\frac{1}{4} \pi D^2 \right) \frac{\text{lebar pelat}}{\text{jarak}} \\ &= \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \right) \frac{1000}{150} \\ &= 523,333 \end{aligned}$$

$$A_{Spakai} > A_{Smin} \text{ (OK)}$$

Cek nilai regangan dan factor reduksi

$$\begin{aligned} \bullet a &= \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b} \\ &= \frac{523,333 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} \\ &= 10,343 \text{ mm} \end{aligned}$$

- $$\beta l = 0,85 - \left(0,05 \frac{f'c - 28}{7}\right)$$

$$= 0,85 - \left(0,05 \frac{25 - 28}{7}\right)$$

$$= 0,9$$
- $$c = \frac{a}{0,85}$$

$$= \frac{10,343}{0,705}$$

$$= 14,672 \text{ mm}$$

Tegangan Tarik

- $$\epsilon_s = 0,003 \times \left(\frac{100 - 14,672}{14,672}\right)$$

$$= 0,017$$

$$\epsilon_s > 0,005$$

$$0,017 > 0,005$$

Jadi, faktor reduksi $\phi = 0,9$ (terkontrol tarik) dapat digunakan.

Syarat Jarak maksimum SNI 28147-2019 7.7.2.3

$$3h = 3 \times 150$$

$$= 450 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan D10 mm, sehingga jarak antar tulangan :

- $$S = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_{s\text{perlu}}}$$

$$= \frac{0,25 \times 3,14 \times 10^2 \times 1000}{523,333}$$

$$= 150,0001 \text{ mm}$$

$$S = 150 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 < S_{\text{max}} = 450 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai D10-150 mm

- $$A_{s\text{pakai}} = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= \frac{0,25 \times 3,14 \times 10^2 \times 1000}{150}$$

$$= 523,333 \text{ mm} > A_{s\text{perlu}} = 523,333 \text{ (OK)}$$

b. Momen Nominal (M_n) arah x

$$M_n = 523,333 \times 420 \times \left(75 - \frac{10,344,}{2}\right) \times 10^{-6}$$

$$= 15,348$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 17,546$$

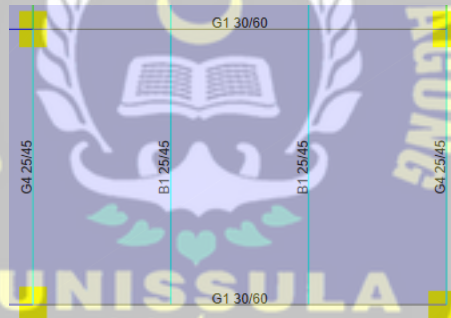
$$= 13,813 \text{ kN.m} > -8,59 \text{ kN.m (OK)}$$

Tabel 4. 46 Penulangan pelat

Pelat	Tebal Pelat	Arah	
		Arah X	Arah Y
S1	120 mm	D10-150	D10-150

4.9 Perencanaan Balok

Proses perencanaan untuk balok pada bangunan dilakukan dengan menggunakan contoh satu sampel elemen balok yang memiliki momen paling besar. Menggunakan contoh perhitungan pada balok dengan bentang 7,5 meter.

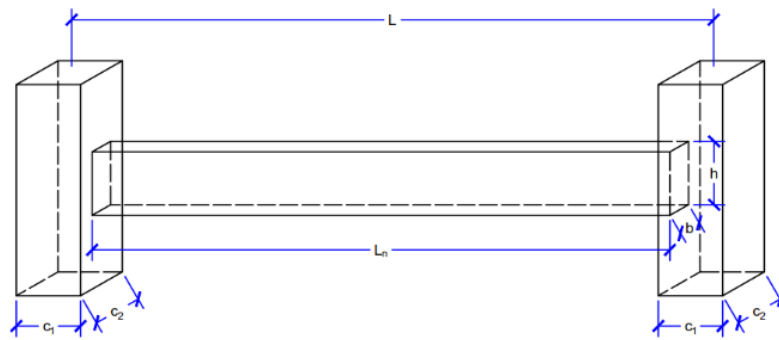


Gambar 4. 23 Balok yang ditinjau

1. Input Data Balok

Data Perencanaan Balok Induk

- Tinggi balok (h) = 600 mm
- Lebar balok (b) = 300 mm
- Panjang balok (L) = 7500 mm
- Tebal selimut beton (p) = 30 mm
- Panjang Kolom (c_1) = 500 mm
- Lebar kolom (c_2) = 650 mm



Gambar 4. 24 Input data geometri balok

Material

- Mutu baja tulangan (f_y) = 420 MPa
- Mutu beton (f_c') = 25 MPa

Diameter Tulangan

- Tulangan utama (d) = $D - 19$
- Tulangan sengkang (d_s) = $D - 10$
- Tulangan Pinggang (d_{bt}) = $D - 10$

Jumlah Tulangan Longitudinal (tumpuan)

- Jumlah Tulangan Atas Baris 1 (n_{ts1}) = 3
- Jumlah Tulangan Atas Baris 2 (n_{ts2}) = 3
- Jumlah Tulangan Bawah Baris 1 (n_{bs1}) = 3
- Jumlah Tulangan Bawah Baris 2 (n_{bs2}) = 0

Jumlah Tulangan Longitudinal (lapangan)

- Jumlah Tulangan Atas Baris 1 (n_{tm1}) = 3
- Jumlah Tulangan Atas Baris 2 (n_{tm2}) = 2
- Jumlah Tulangan Bawah Baris 1 (n_{bm1}) = 3
- Jumlah Tulangan Bawah Baris 2 (n_{bm2}) = 2

Tulangan

- Jumlah Kaki Tulangan Sengkang Tumpuan = 3
- Jumlah Kaki Tulangan Sengkang Lapangan = 2
- Spasi Sengkang Tumpuan = 100
- Spasi Sengkang Lapangan = 150
- Spasi Tulangan Lapis 1 ke Lapis 2 (S_{l2}) = 50
- Jumlah Pasang Tulangan Pinggang/Tengah (nt) = 1

Momen dan Gaya Dalam (Hasil Output Etabs)

• Momen Negatif Tumpuan ($M_{u,tumpuan}^-$)	= -204,039	kNm
• Momen Positif Tumpuan ($M_{u,tumpuan}^+$)	= 167,097	kNm
• Momen Negatif Lapangan ($M_{u,lapangan}^-$)	= -215,295	kNm
• Momen Positif Lapangan ($M_{u,lapangan}^+$)	= 214,351	kNm
• Gaya Geser Tumpuan ($V_{u,tumpuan}$)	= 222,9589	kN
• Gaya Geser Lapangan ($V_{u,lapangan}$)	= 96,9564	kN
• Gaya Geser Gravitasi Tumpuan ($V_{g,tumpuan}$)	= 159,859	kN
• Torsi (Tu)	= 33,9827	kNm
• Gaya Aksial (Pu)	= 0	kN

2. Perhitungan Material

Parameter Material dan Geometri (SNI 2847:2019 tabel 22.2.2.4.3)

- Faktor material beton

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,65 \leq 0,85 - 0,05 \frac{f'c - 28}{7} \leq 0,85 \\ &= 0,65 \leq 0,85 - 0,05 \frac{25 - 28}{7} \leq 0,85 \\ &= 0,850\end{aligned}$$

- Regangan leleh baja tulangan

$$\varepsilon_{sy} = \frac{f_y}{E_s} = \frac{420}{200000} = 0,0021$$

- Tinggi efektif balok

$$\begin{aligned}d &= H - p - D_s - \frac{D}{2} \\ &= 600 - 30 - 10 - \frac{19}{2} \\ &= 550,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Lokasi Tulangan Lapis 2

$$\begin{aligned}d_2 &= d - S_{l2} \\ &= 550,5 - 50 \\ &= 500,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Panjang Bersih Balok

$$\begin{aligned}L_n &= L - c_1 \\ &= 7500 - 500 \\ &= 7000 \text{ mm}\end{aligned}$$

3. Pengecekan Syarat Geometri

- Bentang bersih minimum (SNI 2847:2019 pasal 18.6.2)

$$\begin{aligned}L_{n,min} &= 4 \times d \\ &= 4 \times 550,5 \\ &= 2202 \text{ mm} < 7000 \text{ mm (OK)}\end{aligned}$$

- Syarat lebar minimum ((SNI 2847:2019 pasal 18.6.2)

$$\begin{aligned}b_{min1} &= 0,3 \times h \\ &= 0,3 \times 600 \\ &= 180 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$b_{min2} = 300 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}b_{min} &= \min (b_{min1} ; b_{min2}) \\ &= \min (180 ; 300) \\ &= 180 \text{ mm} < 300 \text{ mm (OK)}\end{aligned}$$

- Syarat lebar maksimum (SNI 2847:2019 pasal 18.6.2)

$$\begin{aligned}b_{max1} &= c_2 \div 2 \times c_1 \\ &= 650 \div 2 \times 500 \\ &= 1650 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}b_{max2} &= c_2 \div 2 \times 0,75 \times c_1 \\ &= 650 \div 2 \times 0,75 \times 500 \\ &= 1400\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}b_{max} &= \max (b_{min1} ; b_{min2}) \\ &= \max (1650 ; 1400) \\ &= 1650 \text{ mm} > 1400 \text{ mm (OK)}\end{aligned}$$

4. Desain Lentur

- a. Perhitungan Momen Negatif Tumpuan
(Tulangan Tumpuan Atas)

- Jumlah Tulangan Lapis 1

$$n_{ts1} = 3 \rightarrow A_{s1} = 3 \times \frac{3,14}{3} \times 19^2 = 850,586 \text{ mm}^2$$

- Jumlah Tulangan Lapis 2

$$n_{ts1} = 3 \rightarrow A_{s2} = 3 \times \frac{3,14}{3} \times 19^2 = 850,586 \text{ mm}^2$$

- Jarak Bersih Tulangan Lapis 1

$$S_{l,1} = (b - 2*cc - 2*ds - n * db) / (n - 1)$$

$$= 81,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$$

- Jarak Bersih Tulangan Lapis 2

$$S_{l,2} = (b - 2*cc - 2*ds - n * db) / (n - 1)$$

$$= 81,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$$

- Luas Tulangan Total

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

$$= 1701,2 \text{ mm}^2$$

- Rasio Luas Tulangan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1701,2}{300 \times 551} = 1,03 \%$$

- Luas Tulangan Minimum (SNI 2847:2019 pasal 9.6.1.2)

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sqrt{f_c}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \end{array} \right\}$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sqrt{25}}{4 \times 420} \times 300 \times 551 \\ \frac{1,4}{420} \times 300 \times 551 \end{array} \right\}$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 491,5 \text{ mm}^2 \\ 549,0 \text{ mm}^2 \end{array} \right\}$$

$$= 550,5 \text{ mm}^2 < 1701,2 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Rasio Luas Tulangan Maksimum (SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.1)

$$\rho_{max} = 2,50\% > 1,03\% \text{ (OK)}$$

- Tinggi Balok Beton (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} = \frac{1701,2 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} = 112,08 \text{ mm}$$

- Tinggi Daerah Tekan Beton (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{112,08}{0,85} = 131,86 \text{ mm}$$

- Regangan Tulangan Terluar

$$\varepsilon_{st} = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{551-131,86}{147,32} \times 0,003 = 0,0095$$

- Faktor reduksi (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

$$\begin{aligned} \phi &= 0,65 \leq 0,65 \div 0,65 \frac{\varepsilon_{st}-\varepsilon_{sy}}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9 \\ &= 0,65 \leq 0,65 \div 0,65 \frac{0,010-0,0021}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9 \\ &= 0,90 \end{aligned}$$

- Kapasitas Momen

$$\begin{aligned} \phi Mn &= \phi \times \left\{ A_{s1} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_{s2} \times f_y \times \left(d_2 - \frac{a}{2} \right) \right\} \\ &= 0,87 \times \{ 176,644 + 158,782 \} \\ &= 301,884 \text{ kNm} > 204,039 \text{ kNm (OK)} \end{aligned}$$

- Momen Nominal Tumpuan Negatif

$$M_n = 335,427 \text{ kNm}$$

b. Momen Positif Tumpuan

(Tulangan Tumpuan Bawah)

- Jumlah Tulangan Lapis 1

$$n_{ts1} = 3 \rightarrow A_{s1} = 3 \times \frac{3,14}{3} \times 19^2 = 850,586 \text{ mm}^2$$

- Jumlah Tulangan Lapis 2

$$n_{ts2} = 0 \rightarrow A_{s2} = 0 \times \frac{3,14}{0} \times 19^2 = 0 \text{ mm}^2$$

- Jarak Bersih Tulangan Lapis 1

$$\begin{aligned} S_{l,1} &= (b - 2*cc - 2*ds - n * db) / (n - 1) \\ &= 81,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)} \end{aligned}$$

- Jarak Bersih Tulangan Lapis 2

$$\begin{aligned} S_{l,2} &= (b - 2*cc - 2*ds - n * db) / (n - 1) \\ &= 0 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)} \end{aligned}$$

- Luas Tulangan Total

$$\begin{aligned} A_s &= A_{s1} + A_{s2} \\ &= 850,6 + 0 = 850,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Rasio Luas Tulangan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{850,6}{300 \times 551} = 0,52\%$$

- Luas Tulangan Minimum (SNI 2847:2019 pasal 9.6.1.2)

$$\begin{aligned} A_{s,min} &= \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sqrt{f'c}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \end{array} \right\} \\ &= \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sqrt{25}}{4 \times 420} \times 300 \times 550,5 \\ \frac{1,4}{420} \times 300 \times 550,5 \end{array} \right\} \\ &= \max \left\{ \begin{array}{l} 491,5 \text{ mm}^2 \\ 550,5 \text{ mm}^2 \end{array} \right\} \\ &= 550,5 \text{ mm}^2 < 850,6 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

- Rasio Luas Tulangan Maksimum (SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.1)

$$\rho_{max} = 2,50\% > 0,52\% \text{ (OK)}$$

- Tinggi Balok Beton (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{850,6 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} = 56,04 \text{ mm}$$

- Tinggi Daerah Tekan Beton (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{56,04}{0,85} = 65,93 \text{ mm}$$

- Regangan Tulangan Terluar

$$\varepsilon_{st} = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{550,5-65,93}{65,93} \times 0,003 = 0,0221$$

- Faktor reduksi (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

$$\begin{aligned} \phi &= 0,65 \leq 0,65 \div 0,65 \frac{\varepsilon_{st} - \varepsilon_{sy}}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9 \\ &= 0,65 \leq 0,65 \div 0,65 \frac{0,022 - 0,0021}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9 \\ &= 0,90 \end{aligned}$$

- Kapasitas Momen

$$\begin{aligned} \phi Mn &= \phi \times \left\{ A_{s1} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_{s2} \times f_y \times \left(d_2 - \frac{a}{2} \right) \right\} \\ &= 0,87 \times \{ 186,654 + 0 \} \\ &= 167,989 \text{ kNm} > 167,098 \text{ kNm (OK)} \end{aligned}$$

- Momen Nominan Tumpuan Positif Minimum
(SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2)

$$\begin{aligned}
 M_{n,min} &= 50\% \times M_{n,tum} (-) \\
 &= 50\% \times 335,427 \\
 &= 167,713 \text{ kNm} < 186,654 \text{ kNm (OK)}
 \end{aligned}$$

c. Momen Negatif Lapangan

(Tulangan Lapangan Atas)

- Jumlah Tulangan Lapis 1

$$n_{ts1} = 3 \rightarrow A_{s1} = 3 \times \frac{3,14}{5} \times 19^2 = 850,586 \text{ mm}^2$$

- Jumlah Tulangan Lapis 2

$$n_{ts2} = 2 \rightarrow A_{s2} = 2 \times \frac{3,14}{0} \times 19^2 = 567,057 \text{ mm}^2$$

- Jarak Bersih Tulangan Lapis 1

$$\begin{aligned}
 S_{l,1} &= (b - 2*cc - 2*ds - n * db) / (n - 1) \\
 &= 81,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}
 \end{aligned}$$

- Jarak Bersih Tulangan Lapis 2

$$\begin{aligned}
 S_{l,2} &= (b - 2*cc - 2*ds - n * db) / (n - 1) \\
 &= 182 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}
 \end{aligned}$$

- Luas Tulangan Total

$$\begin{aligned}
 A_s &= A_{s1} + A_{s2} \\
 &= 850,586 + 567,0575 \\
 &= 1900,66 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Rasio Luas Tulangan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1417,6}{300 \times 550,5} = 0,86 \%$$

- Luas Tulangan Minimum (SNI 2847:2019 pasal 9.6.1.2)

$$\begin{aligned}
 A_{s,min} &= \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \end{array} \right\} \\
 &= \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sqrt{25}}{4 \times 420} \times 300 \times 550,5 \\ \frac{1,4}{420} \times 300 \times 550,5 \end{array} \right\}
 \end{aligned}$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 491,5 \text{ mm}^2 \\ 550,5 \text{ mm}^2 \end{array} \right\}$$

$$= 550,5 \text{ mm}^2 < 1417,6 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Rasio Luas Tulangan Maksimum (SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.1)

$$\rho_{max} = 2,50\% > 1,15\% \text{ (OK)}$$

- Tinggi Balok Beton (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} = \frac{1417,6 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} = 93,40 \text{ mm}$$

- Tinggi Daerah Tekan Beton (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{93,40}{0,85} = 109,88 \text{ mm}$$

- Regangan Tulangan Terluar

$$\varepsilon_{st} = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{550,5-109,88}{109,88} \times 0,003 = 0,0082$$

- Faktor reduksi (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

$$\phi = 0,65 \leq 0,65 \div 0,65 \frac{\varepsilon_{st}-\varepsilon_{sy}}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$$

$$= 0,65 \leq 0,65 \div 0,65 \frac{0,012-0,0021}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$$

$$= 0,90$$

- Kapasitas Momen

$$\phi Mn = \phi \times \left\{ A_{s1} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_{s2} \times f_y \times \left(d_2 - \frac{a}{2} \right) \right\}$$

$$= 0,87 \times \{ 179,981 + 108,079 \}$$

$$= 259,254 \text{ kNm} > 215,295 \text{ kNm (OK)}$$

- Momen Nominan Tumpuan Positif Minimum (SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2)

$$M_{n,min} = 25\% \times M_{n,tum} (-)$$

$$= 25\% \times 335,427$$

$$= 83,8566 \text{ kNm} < 288,060 \text{ kNm (OK)}$$

d. Momen Positif Tumpuan

(Tulangan Tumpuan Bawah)

- Jumlah Tulangan Lapis 1

$$n_{ts1} = 3 \rightarrow A_{s1} = 3 \times \frac{3,14}{3} \times 19^2 = 850,586 \text{ mm}^2$$

- Jumlah Tulangan Lapis 2

$$n_{ts1} = 2 \rightarrow A_{s2} = 2 \times \frac{3,14}{0} \times 19^2 = 567,057 \text{ mm}^2$$

- Jarak Bersih Tulangan Lapis 1

$$S_{l,1} = (b - 2*cc - 2*ds - n * db) / (n - 1)$$

$$= 81,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$$

- Jarak Bersih Tulangan Lapis 2

$$S_{l,2} = (b - 2*cc - 2*ds - n * db) / (n - 1)$$

$$= 182 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$$

- Luas Tulangan Total

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

$$= 850,586 + 567$$

$$= 1417,6 \text{ mm}^2$$

- Rasio Luas Tulangan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1417,6}{300 \times 550,5} = 0,86\%$$

- Luas Tulangan Minimum (SNI 2847:2019 pasal 9.6.1.2)

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sqrt{f_c}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \end{array} \right\}$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sqrt{25}}{4 \times 420} \times 300 \times 550,5 \\ \frac{1,4}{420} \times 300 \times 550,5 \end{array} \right\}$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 491,5 \text{ mm}^2 \\ 550,5 \text{ mm}^2 \end{array} \right\}$$

$$= 550,5 \text{ mm}^2 < 1417,6 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Rasio Luas Tulangan Maksimum (SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.1)

$$\rho_{max} = 2,50\% > 0,69\% \text{ (OK)}$$

- Tinggi Balok Beton (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} = \frac{1417,6 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} = 93,40 \text{ mm}$$

- Tinggi Daerah Tekan Beton (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{93,40}{0,85} = 109,88 \text{ mm}$$

- Regangan Tulangan Terluar

$$\varepsilon_{st} = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{550,5-109,88}{109,88} \times 0,003 = 0,0120$$

- Faktor reduksi (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

$$\begin{aligned} \phi &= 0,65 \leq 0,65 \div 0,65 \frac{\varepsilon_{st}-\varepsilon_{sy}}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9 \\ &= 0,65 \leq 0,65 \div 0,65 \frac{0,012-0,0021}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9 \\ &= 0,90 \end{aligned}$$

- Kapasitas Momen

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times \left\{ A_{s1} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_{s2} \times f_y \times \left(d_2 - \frac{a}{2} \right) \right\} \\ &= 0,87 \times \{ 244,960 + 0 \} \\ &= 220,464 \text{ kNm} > 104,796 \text{ kNm (OK)} \end{aligned}$$

- Momen Nominal Tumpuan Positif Minimum

(SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2)

$$\begin{aligned} M_{n,min} &= 50\% \times M_{n,tum} (-) \\ &= 50\% \times 335,427 = 83,8566 \text{ kNm} < 288,06 \text{ kNm (OK)} \end{aligned}$$

5. Desain Geser

a. Geser Tumpuan

- Tinggi Blok Beton Probable Negatif

$$a_{pr}^- = 1,25 \times a_{\text{tumpuan negatif}} = 1,25 \times 112,08 = 140,10 \text{ mm}$$

- Tinggi Blok Beton Probable Positif

$$a_{pr}^+ = 1,25 \times a_{\text{tumpuan positif}} = 1,25 \times 56,04 = 70,05 \text{ mm}$$

- Tegangan Baja Probable

$$f_{pr} = 1,25 \times f_y = 1,25 \times 420 = 525 \text{ MPa}$$

- Momen Negatif Tumpuan Probable

$$\begin{aligned} M_{pr}^- &= \left\{ A_{s,1} \times f_{pr} \times \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right) + A_{s,2} \times f_{pr} \times \left(d_2 - \frac{a_{pr}}{2} \right) \right\} \\ &= \{ 214,55 + 192,22 \} = 406,77 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Momen Positif Tumpuan Probable

$$\begin{aligned} M_{pr}^+ &= \left\{ A_{s,1} \times f_{pr} \times \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right) + A_{s,2} \times f_{pr} \times \left(d_2 - \frac{a_{pr}}{2} \right) \right\} \\ &= \{ 230,19 \div 0 \} \\ &= 230,19 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Gaya Geser Probable

$$V_{pr} = \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{L_n} = \frac{230,19 + 406,77}{7} = 90,994 \text{ kN}$$

- Gaya Geser Desain (SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.1)

$$\begin{aligned} V_e &= V_g + V_{pr} \\ &= 159,859 + 90,994 \\ &= 250,853 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Gaya Geser Pakai

$$\begin{aligned} V_u &= \max (V_{u,tumpuan} ; V_e) \\ &= \max (159,859 ; 250,853) = 250,853 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Tulangan Transversal (SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2)

$$V_{pr} \geq \frac{V_e}{2} \quad \text{dan} \quad P_u < \frac{A_g \times f_c'}{20}$$

$$1 \rightarrow 90,994 < 125,427$$

$$2 \rightarrow 0 < 225$$

$$V_c = 0$$

- Jumlah Kaki

$$n_{vs} = 3$$

- Luas Tulangan Sengkang

$$A_v = n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 3 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 = 235,619 \text{ mm}^2$$

- Spasi Sengkang

$$S_s = 100 \text{ mm}$$

- Spasi Maksimum

$$S_{max} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{4} \\ 6 \times d_b \\ 150 \end{array} \right\}$$

$$S_{max} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{550,5}{4} \\ 6 \times 19 \\ 150 \end{array} \right\}$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 137,25 \\ 132 \\ 150 \end{array} \right\}$$

$$= 114 \text{ mm} > 100 \text{ mm}$$

- Tahanan Geser Beton (SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \text{ atau } 0 \\ &= 0 \text{ N} \end{aligned}$$

- Tahanan Geser Baja (SNI 2847:2019 pasal 22.10.5.3)

$$\begin{aligned} V_s &= \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{s} \\ 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \end{array} \right\} \\ &= \min \left\{ \begin{array}{l} 544776 \\ 544995 \end{array} \right\} \\ &= 544776 \text{ N} \end{aligned}$$

- Faktor Reduksi (SNI 2847:2019 pasal 12.5.3.2)

$$\phi = 0,75$$

- Kapasitas Geser

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi \times (V_c + V_s) \\ &= 0,75 \times (0 + 362,194) \\ &= 408,582 \text{ kN} > 250,853 \text{ kN (OK)} \end{aligned}$$

b. Geser Lapangan

- Jumlah Kaki

$$n_{vs} = 3$$

- Luas Tulangan Sengkang

$$A_v = n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 3 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 = 235,619$$

- Spasi Sengkang

$$S_s = 150 \text{ mm}$$

- Spasi Maksimum (SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.6)

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{d}{2} \\ &= \frac{550,5}{2} \\ &= 275 \text{ mm} > 150 \text{ mm (OK)} \end{aligned}$$

- Tahanan Geser Beton (SNI 2847:2019 pasal 22.5.5.1)

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times \sqrt{25} \times 300 \times 550,5 = 140378 \text{ N}$$

- Tahanan Geser Baja (SNI 2847:2019 pasal 22.10.5.3)

$$V_s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{s} \\ 0,66 \times \sqrt{f_c} \times b \times d \end{array} \right\}$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 544776 \\ 544995 \end{array} \right\}$$

$$= 544776 \text{ N}$$

- Faktor Reduksi (SNI 2847:2019 pasal 12.5.3.2)

$$\phi = 0,75$$

- Kapasitas Geser

$$\phi V_n = \phi \times (V_c + V_s)$$

$$= 0,75 \times (140,378 + 544,776)$$

$$= 513,865 \text{ kN} > 96,9564 \text{ kN (OK)}$$

6. Desain Torsi

a. Parameter Penampang untuk Perhitungan Torsi

- Luas Penampang Penuh

$$A_{cp} = b \times h = 300 \times 600 = 180000 \text{ mm}^2$$

- Keliling Penampang Penuh

$$p_{cp} = 2 \times (b + h)$$

$$= 2 \times (300 + 600)$$

$$= 1800 \text{ mm}$$

- Lebar Penampang Inti (SNI 2847:2019 pasal 22.7.6.1.1)

$$X_o = b - 2 \times c_c - d_s$$

$$= 600 - 2 \times 30 - 10$$

$$= 530 \text{ mm}$$

- Tinggi Penampang Inti (SNI 2847:2019 pasal 22.7.6.1.1)

$$Y_o = h - 2 \times c_c - d_s$$

$$= 600 - 2 \times 30 - 10$$

$$= 530$$

- Luas Penampang Inti (SNI 2847:2019 pasal 22.7.6.1.1)

$$\begin{aligned} A_{oh} &= X_o \times Y_o \\ &= 230 \times 530 \\ &= 121900 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas Efektif Penampang Inti (SNI 2847:2019 pasal 22.7.6.1.1)

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 121900 \\ &= 103615 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Keliling Penampang Inti (SNI 2847:2019 pasal 22.7.6.1.1)

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times (X_o + Y_o) \\ &= 2 \times (230+530) \\ &= 1520 \text{ mm} \end{aligned}$$

b. Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi

- Tahanan Retak Torsi (SNI 2847:2019 pasal 22.7.5.1)

$$\begin{aligned} T_{cr} &= 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \\ &= 0,33 \times \sqrt{25} \times \frac{180000^2}{1800} \\ &= 29,700 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Faktor Reduksi (SNI 2847:2019 tabel 21.2.1)

$$\phi = 0,75$$

- Ambang Batas Kebutuhan Tulangan Torsi (SNI 2847:2019 tabel 22.7.4.1)

$$\begin{aligned} \phi \times \frac{T_{cr}}{4} &= \frac{29,700}{4} \\ &= 5,569 \text{ kNm} < 33,9827 \text{ kNm} \rightarrow \text{perlu tulangan torsi} \end{aligned}$$

c. Pengecekan Kecukupan Dimensi

- Momen Torsi Pakai (SNI 2847:2019 pasal 22.7.3.2)

$$\begin{aligned} T_u &= \min \left\{ \begin{array}{l} \phi \times T_{cr} \\ T_u \end{array} \right\} \\ &= \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \times 29,700 \\ 33,983 \end{array} \right\} \end{aligned}$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 22,275 \\ 33,983 \end{array} \right\}$$

$$= 22,275 \text{ kNm}$$

- Tegangan Akibat Geser dan Torsi (SNI 2847:2019 pasal 22.7.7.1)

$$\sigma_u = \sqrt{\left\{ \left(\frac{V_u}{b \times d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7 \times A_{oh^2}} \right)^2 \right\}}$$

$$= \sqrt{\left\{ \left(\frac{269,902}{300 \times 549} \right)^2 + \left(\frac{22,275 \times 1520}{1,7 \times 121900^2} \right)^2 \right\}}$$

$$= \sqrt{\{1,519^2 + 1,340^2\}}$$

$$= 2,026 \text{ MPa}$$

- Tahanan Tegangan Geser dan Torsi Beton (SNI 2847:2019 pasal 22.7.7.1)

$$\sigma_n = \phi \left(\frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times \sqrt{f'c'} \right)$$

$$= 0,75 \left(\frac{140378}{300 \times 539} + 0,66 \times \sqrt{25} \right)$$

$$= 3,113 \text{ MPa} > 2,026 \text{ Mpa (OK)}$$

d. Tulangan Transversal Torsi

- Spasi Maksimum (SNI 2847:2019 pasal 9.7.6.3.3)

$$S_{max} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_h}{8} \\ \frac{d_b}{0,042} \\ 300 \end{array} \right\}$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1520}{8} \\ \frac{10}{0,042} \\ 300 \end{array} \right\}$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 190 \\ 238,095 \\ 300 \end{array} \right\}$$

$$= 190 \text{ mm}$$

190 > 100 mm, tumpuan (OK)

190 > 150 mm, lapangan (OK)

- Kebutuhan Tulangan Transversal Torsi
(SNI 2847:2019 pasal 22.7.6.1)

$$\begin{aligned} A_t/S &= \frac{T_u}{2 \times \phi \times A_o \times f_{yv}} \\ &= \frac{22,275 \times 10^6}{2 \times 0,75 \times 103615 \times 420} \\ &= 0,341 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Kebutuhan Tulangan Geser Tumpuan

$$\begin{aligned} A_v/S &= \frac{\left(\frac{V_u}{\phi} - V_c\right)}{f_{yv} \times d} \\ &= \frac{\left(\frac{250,853}{0,75} - 0\right)}{420 \times 550,5} \\ &= 1,447 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Kebutuhan Tulangan Geser Lapangan

$$\begin{aligned} A_v/S &= \frac{\left(\frac{V_u}{\phi} - V_c\right)}{f_{yv} \times d} \\ &= \frac{\left(\frac{96,9564}{0,75} - 140\right)}{420 \times 550,5} \\ &= 0 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Kebutuhan Tulangan Geser dan Torsi Tumpuan
(SNI 2847:2019 pasal 9.5.4.3)

$$\begin{aligned} A_{v+t}/S &= 2 \times \frac{A_t}{S} + \frac{A_v}{S} \\ &= 2 \times 0,341 + 1,447 \\ &= 2,129 \text{ mm}^2/\text{mm} > 2,356 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (OK)} \end{aligned}$$

- Kebutuhan Tulangan Geser dan Torsi Lapangan
(SNI 2847:2019 pasal 9.5.4.3)

$$\begin{aligned} A_{v+t}/S &= 2 \times \frac{A_t}{S} + \frac{A_v}{S} \\ &= 2 \times 0,341 + 0 \\ &= 0,682 \text{ mm}^2/\text{mm} > 1,047 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (OK)} \end{aligned}$$

- Tulangan Transversal Minimum
(SNI 2847:2019 pasal 9.6.4.2)

$$\begin{aligned}
A/S_{min} &= \max \left\{ \begin{array}{l} 0,062 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{b}{f_{yv}} \\ 0,350 \times \frac{b}{f_{yv}} \end{array} \right\} \\
&= \max \left\{ \begin{array}{l} 0,062 \times \sqrt{25} \times \frac{300}{420} \\ 0,350 \times \frac{300}{420} \end{array} \right\} \\
&= \max \left\{ \begin{array}{l} 0,221 \\ 0,250 \end{array} \right\} \\
&= 0,250 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
0,250 \text{ mm}^2/\text{mm} &< 2,356 \text{ mm}^2/\text{mm} \quad (\text{OK}) \\
0,250 \text{ mm}^2/\text{mm} &< 1,047 \text{ mm}^2/\text{mm} \quad (\text{OK})
\end{aligned}$$

e. Tulangan Longitudinal Torsi

- Kebutuhan Tulangan Longitudinal (SNI 2847:2019 pasal 22.7.6.1)

$$\begin{aligned}
A_l &= A_t/S \times P_h \\
&= 0,341 \times 1520 \\
&= 518,678 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

- Tulangan Longitudinal Torsi Minimum (SNI 2847:2019 pasal 9.6.4.3)

$$\begin{aligned}
A_l &= \min \left\{ \begin{array}{l} 0,42 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{A_{cp}}{f_y} - A_t/S \times P_h \\ 0,42 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{A_{cp}}{f_y} - \frac{0,175 \times b}{f_y} \times P_h \end{array} \right\} \\
&= \min \left\{ \begin{array}{l} 0,42 \times \sqrt{25} \times \frac{180000}{240} - 0,341 \times 1440 \\ 0,42 \times \sqrt{25} \times \frac{180000}{240} - \frac{0,175 \times 300}{420} \times 1440 \end{array} \right\} \\
&= \min \left\{ \begin{array}{l} 381,32 \\ 710,00 \end{array} \right\} \\
&= 381,32 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

- Ketersediaan Tulangan Longitudinal untuk Torsi

$$A_{s,tor} = \frac{\Phi M_n - M_u}{\Phi M_n} \times A_s$$

$$\text{Tumpuan Negatif} \rightarrow \frac{301,884 - 204,0391}{301,884} \times 1701,2 = 551,374$$

$$\text{Tumpuan Positif} \rightarrow \frac{167,989 - 167,0979}{167,989} \times 850,6 = 4,511$$

$$\begin{aligned} \text{Lapangan Negatif} &\rightarrow \frac{2259,254-215,2951}{259,254} \times 1417,6 = 240,375 \\ \text{Lapangan Positif} &\rightarrow \frac{259,254-214,351}{259,254} \times 1417,6 = 245,538 \\ \text{Tulangan Tebghah} &= 157,08 \text{ mm}^2 \\ \text{Longitudian Torsi Tumpuan} &= 551,374+4,511+157,08 \\ &= 712,96 \text{ mm}^2 > 518,68 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \\ \text{Longitudian Torsi Lapangan} &= 1284,968+209,673+402,124 \\ &= 1327,31 \text{ mm}^2 > 518,58 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

- Spasi Vertikal Tulangan Longitudinal

(SNI 2847:2019 pasal 9.6.5.1)

$$S_{vl} = \frac{h-2 \times c_c-2 \times d_s-d_b}{2+n_t-1} \rightarrow 1 \text{ lapis}$$

$$S_{vl} = \frac{h-2 \times c_c-2 \times d_s-d_b-S_{12}}{2+n_t-1} \rightarrow 2 \text{ lapis atas/bawah}$$

$$S_{vl} = \frac{h-2 \times c_c-2 \times d_s-d_b-2S_{12}}{2+n_t-1} \rightarrow 2 \text{ lapis atas dan bawah}$$

Tumpuan $\rightarrow 150,333 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ (OK)

Lapangan $\rightarrow 133,667 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ (OK)

- Horizontal Tulangan Longitudinal

(SNI 2847:2019 pasal 9.6.5.1)

Tumpuan Atas $\rightarrow 100,5 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ (OK)

Tumpuan Bawah $\rightarrow 100,5 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ (OK)

Lapangan Atas $\rightarrow 100,5 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ (OK)

Lapangan Bawah $\rightarrow 100,5 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ (OK)

7. Detail Penulangan Balok

Tabel 4. 47 Sketsa Balok G1

G1		
TUMPUAN	LAPANGAN	HUBUNGAN KOLOM BALOK
300 x 600 mm		
6D19	5D19	6D19
4D10	4D10	4D10
3D19	6D19	3D19
3D10-100	2D10-150	3D10-100

Tabel 4. 48 Sketsa balok G2

G2		
TUMPUAN	LAPANGAN	HUBUNGAN KOLOM BALOK
250 x 600 mm		
5D19	3D19	5D19
4D10	4D10	4D10
4D19	5D19	4D19
2D10-100	2D10-150	2D10-100

Tabel 4. 49 Sketsa balok G3

G3		
TUMPUAN	LAPANGAN	HUBUNGAN KOLOM BALOK
250 x 500 mm		
5D19	3D19	5D19
2D10	2D10	2D10
3D19	5D19	3D19
2D10-100	2D10-150	2D10-100

Tabel 4. 50 Sketsa balok G4

G4		
TUMPUAN	LAPANGAN	HUBUNGAN KOLOM BALOK
250 x 450 mm		
3D19	3D19	3D19
2D10	2D10	2D10
3D19	3D19	3D19
2D10-100	2D10-150	2D10-100




Tabel 4. 51 Sketsa balok B1

B1		
TUMPUAN	LAPANGAN	HUBUNGAN KOLOM BALOK
250 x 450 mm		
3D19	3D19	3D19
2D10	2D10	2D10
3D19	3D19	3D19
2D10-100	2D10-150	2D10-100




Tabel 4. 52 Sketsa balok B2

B2		
TUMPUAN	LAPANGAN	HUBUNGAN KOLOM BALOK
200 x 400 mm		
2D16	2D16	2D16
2D10	2D10	2D10
2D16	2D16	2D16
2D10-100	2D10-150	2D10-100




Tabel 4. 53 Sketsa balok B3

B3		
TUMPUAN	LAPANGAN	HUBUNGAN KOLOM BALOK
		
200 x 300 mm		
3D16	2D16	3D16
-	-	-
2D16	3D16	2D16
D10-100	D10-150	D10-100

Tabel 4. 54 Sketsa balok B4

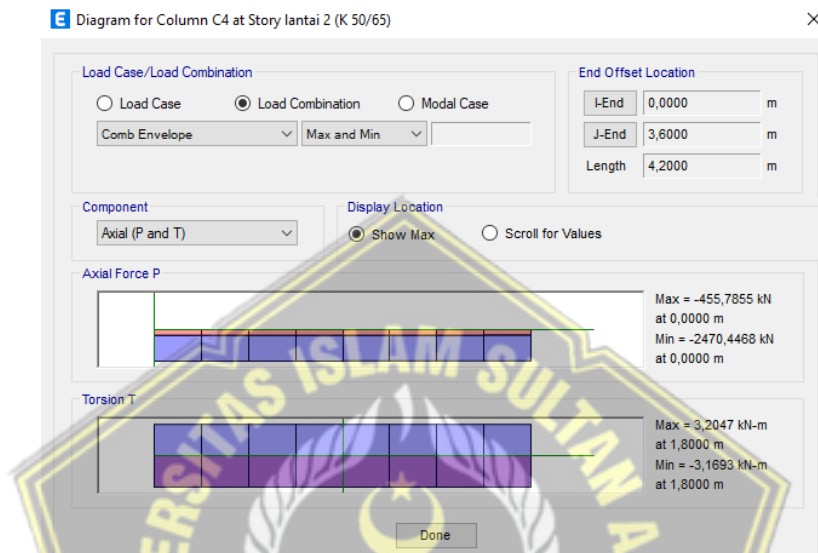
B4		
TUMPUAN	LAPANGAN	HUBUNGAN KOLOM BALOK
		
250 x 400 mm		
3D16	3D16	3D16
2D10	2D10	2D10
2D16	3D16	2D16
D10-100	D10-150	D10-100

Tabel 4. 55 Sketsa balok BA

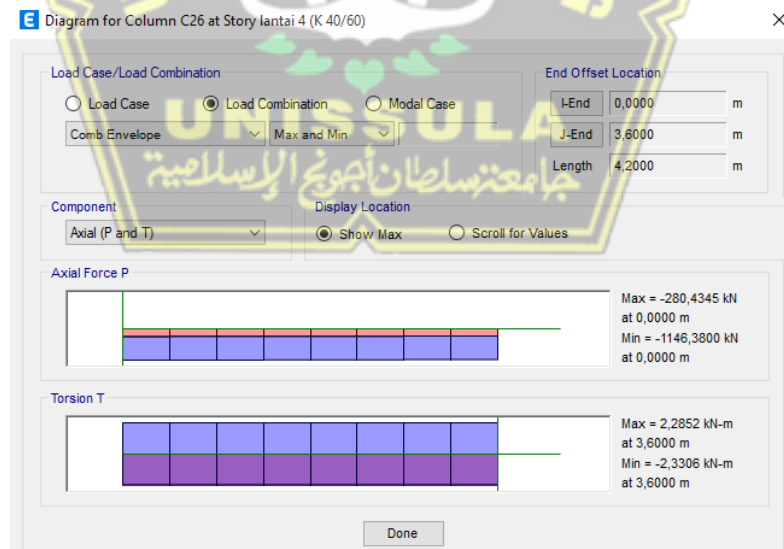
BA		
TUMPUAN	LAPANGAN	HUBUNGAN KOLOM BALOK
		
150 x 250 mm		
2D10	2D10	2D10
-	-	-
2D10	2D10	2D10
D10-100	D10-150	D10-100

4.10 Perencanaan Desain Kolom

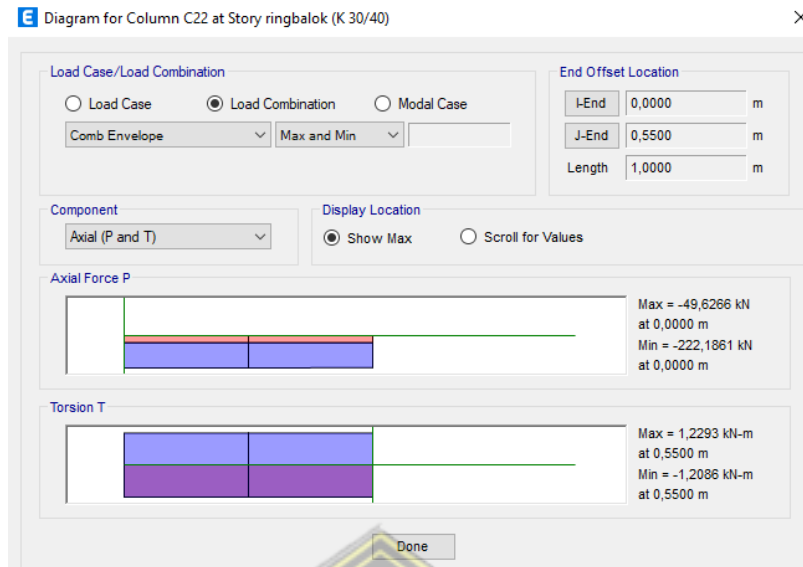
Perencanaan kolom pada desain modifikasi ini terdapat satu tipe kolom yaitu kolom dengan dimensi K1 500 mm × 650 mm K2 400 mm × 60 mm dan K3 300 mm × 400 mm pada AS 2 dibawah yang diperlihatkan pada contoh perhitungan. Kolom didesain dengan menggunakan bantuan software ETABS.



Gambar 4. 25 Output gaya kolom K1



Gambar 4. 26 Output gaya kolom K2



Gambar 4. 27 Output gaya kolom K3

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.4.3.6, dilakukan kontrol persyaratan komponen pemikul lentur dan gaya aksial pada SRPMK. Cek terhadap syarat sebagai berikut :

$$P_u > \frac{A_g}{10}$$

- K1 500 mm × 650 mm

$$2470,4468 \text{ kN} > \frac{(500 \times 650)25}{10} = 812,5 \text{ kN}$$

- K2 400 mm × 600 mm

$$1146,3800 \text{ kN} > \frac{(400 \times 600)25}{10} = 600 \text{ kN}$$

- K3 300 mm × 400 mm

$$222,1861 \text{ kN} > \frac{(300 \times 400)25}{10} = 300 \text{ kN}$$

Karena $P_u > A_g \cdot f_c / 10$, jadi komponen kerangka kolom tersebut didesain sebagai komponen kerangka yang memikul beban aksial dan lentur.

4.10.1 Input Data Kolom

a. Geometri Kolom K1

- Sisi Pendek Kolom (b) = 500 mm
- Sisi Panjang Kolom (h) = 650 mm
- Tinggi Kolom (L) = 4200 mm

- Selimut Bersih (c_c) = 40 mm
- Tinggi Balok (h_b) = 500 mm
- Tinggi Bersih Kolom (L_n) = 3600 mm
- Tinggi Efektif Balok

$$d_1 = h - c_c - ds - \frac{db}{2}$$

$$= 650 - 40 - 13 - \frac{19}{2}$$

$$= 587,5 \text{ mm}$$

$$d_2 = b - c_c - ds - \frac{db}{2}$$

$$= 500 - 40 - 13 - \frac{19}{2}$$

$$= 437,5 \text{ mm}$$

b. Material

- Kuat Tekan Beton = 25 MPa
- Kuat Lelah Baja Tulangan Longitudinal = 420 MPa
- Kuat Lelah Baja Tulangan Longitudinal = 420 MPa
- Faktor Material Beton

$$\beta_1 = 0,65 \leq 0,85 - 0,05 \frac{f'c - 28}{7} \leq 0,85$$

$$= 0,65 \leq 0,85 - 0,05 \frac{25 - 28}{7} \leq 0,85$$

$$= 0,850$$

c. Diameter Tulangan

- Diameter Tulangan Longitudinal (d_b) = 19 mm
- Diameter Tulangan Sengkang (d_s) = 13 mm
- Luas Tulangan Longitudinal

$$A_b = \frac{\pi}{4} \times d_b^2 = \frac{\pi}{4} \times 19^2 = 283,53 \text{ mm}^2$$

- Luas Tulangan Sengkang

$$A_v = \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 132,73 \text{ mm}^2$$

d. Tulangan Longitudinal/Utama

- Jumlah Tulangan X (n_x) = 5

- Jumlah Tulangan Y (n_y) = 7
- Jumlah Total Tulangan Longitudinal (n) = 20
- Luas tulangan
 $A_s = A_b \times n = 283,53 \times 20 = 5670,57 \text{ mm}^2$

e. Tulangan Transversal/Sengkang

- Jumlah Kaki Sengkang Tumpuan Arah X ($n_{vs,x}$) = 3
 $A_{vs,x} = n_{vs,x} \times A_v = 4 \times 132,73 = 398,20 \text{ mm}^2$
- Jumlah Kaki Sengkang Tumpuan Arah Y ($n_{vs,y}$) = 2
 $A_{vs,y} = n_{vs,y} \times A_v = 3 \times 132,73 = 265,46 \text{ mm}^2$
- Jumlah Kaki Sengkang Lapangan Arah X ($n_{vm,x}$) = 3
 $A_{vm,x} = n_{vm,x} \times A_v = 3 \times 132,73 = 398,20 \text{ mm}^2$
- Jumlah Kaki Sengkang Lapangan Arah Y ($n_{vm,y}$) = 2
 $A_{vm,y} = n_{vm,y} \times A_v = 3 \times 132,73 = 265,46 \text{ mm}^2$
- Spasi Sengkang Tumpuan (s_s) = 100
- Spasi Sengkang Lapangan (s_m) = 100

f. Gaya Dalam

Tabel 1 Gaya Aksial dan Lentur

Kondisi	P (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	Mu (kNm)
P Max	2470,4468	345,9177	335,9177	458,9177
P Min	-1127,2683	-163,5845	-42,6158	-169,0440
MX Max	1817,316	447,6416	289,373	533,029
MX Min	1144,8881	-464,5844	298,3342	552,125
MY Max	2052,4283	319,1738	208,0036	518,014
MY Min	1791,7731	-327,5281	201,2843	517,980

- Gaya Geser
 Gaya Geser Sumbu X (V_{ux}) = 169,3641 kN
 Gaya Geser Sumbu Y (V_{uy}) = 154,2726 kN

4.10.2 Pengecekan Syarat Geometri

- Syarat Sisi Pendek (SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1)

$$b \geq 300$$

$$500 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

- Syarat Rasio (SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1)

$$\frac{b}{h} \geq 0,4$$

$$\frac{500}{650} \geq 0,4$$

$$0,77 > 0,4 \quad (\text{OK})$$

4.10.3 Desain Aksial – Lentur

Desain tulangan longitudinal penahan lentur ini menggunakan program bantu *pcaColumn*. Dari output program bantu tersebut dapat digunakan tulangan memanjang sebesar 20D19, maka sebagai berikut:

a. Pengecekan syarat rasio tulangan

- Luas Tulangan Longitudinal

$$\begin{aligned} A_s &= n \times A_b \\ &= 20 \times 283,53 \\ &= 5670,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

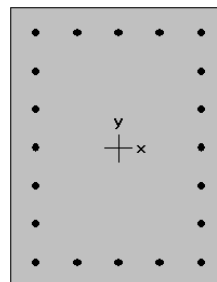
- Luas Penampang

$$\begin{aligned} A_g &= b \times h \\ &= 500 \times 650 \\ &= 325000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Rasio Tulangan (SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1)

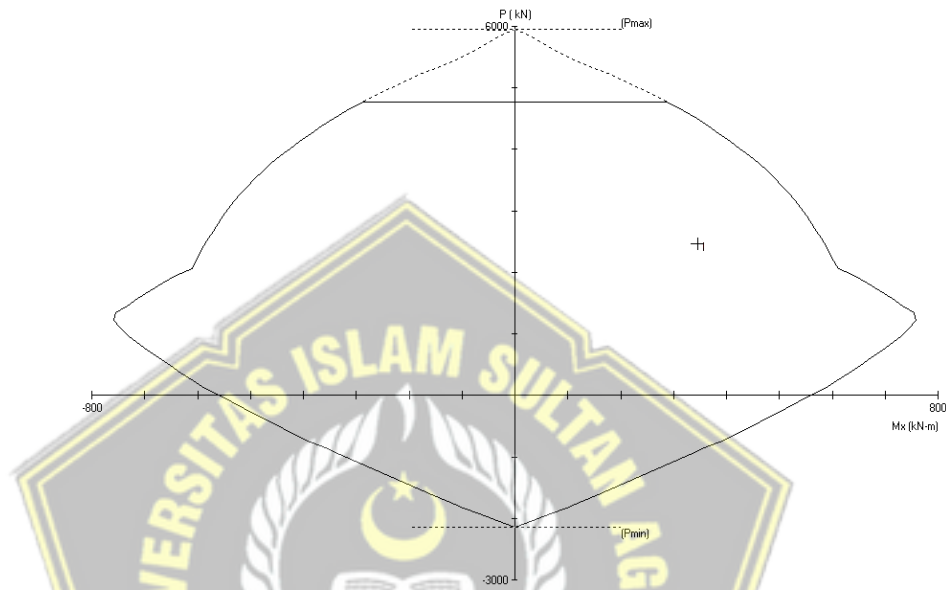
$$\rho = \frac{A_s}{A_g} = \frac{5760,6}{325000} = 1,74\%$$

$$1\% > 1,74\% > 6\%$$



Gambar 4. 28 Penampang kolom K1

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1 digunakan batasan rasio tulangan komponen kerangka tekan yang diijinkan dari 1% sampai dengan 6%, sehingga persyaratan ini sudah terpenuhi. Dapat dilihat pada gambar di bawah ini merupakan diagram interaksi penampang kolom.



Gambar 4. 29 Diagram Interaksi K1

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22.4.2.2, kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisa kerangka.

$$\begin{aligned} \phi P_n \max &= 0,8 \times \phi \times [0,85 \times f_c' \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}] \\ &= 0,8 \times 0,65 \times [0,85 \times 25 \times (325000 - 5670,6) + 420 \times 5670,6] \\ &= 4767048,91 \text{ N} \\ &= 4767,048 \text{ kN} > 2470,4468 \text{ kN} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities:

No.	Pu kN	Mux kN-m	fMnx kN-m	fMn/Mu
1	2470.0	482.0	490.5	1.017
2	-127.0	169.0	515.0	3.047
3	1817.0	533.0	556.0	1.043
4	1144.0	552.0	562.2	1.018
5	2052.0	380.0	549.9	1.444
6	1791.0	384.0	562.8	1.464

Gambar 4. 30 Output *pcaColumn*

b. Pengecekan kapasitas aksial lentur

Tabel 4. 56 Rekapitulasi aksial - lentur

Kondisi	P	MX	MY	$\phi M_n / M_u$	c	d _t	ϵ_{st}	ϕ	Cek
	(kN)	(kNm)	(kNm)		(mm)	(mm)			
P max	2470,4468	345,9177	335,9177	1,017	403,4	726,3	0,0024	0,676	OK
P min	-127,2683	-163,584	-42,6158	3,047	190,0	678,8	0,0078	0,900	OK
MX Max	1817,316	447,6416	289,373	1,043	360,9	730,9	0,0031	0,732	OK
MX Min	1144,8881	-464,584	298,3342	1,018	322,7	730,7	0,0038	0,791	OK
MY Max	2052,4283	319,1738	208,0036	1,444	374,4	731,1	0,0029	0,714	OK
MY Min	1791,7731	-327,528	201,2843	1,464	357,6	729,6	0,0031	0,736	OK

c. Pengecekan syarat *Strong Column Weak Beam*

- Momen Nominal Kolom Sumbu X $M_{nk,X}$ = 618,1 kNm
- Momen Nominal Kolom Sumbu Y $M_{nk,Y}$ = 469,3 kNm
- Momen Nominal Tumpuan (-) Balok Arah Y $M_{nb,Y-}$ = 282,5 kNm
- Momen Nominal Tumpuan (+) Balok Arah Y $M_{nb,Y+}$ = 166,8 kNm
- Momen Nominal Tumpuan (-) Balok Arah X $M_{nb,X-}$ = 195,1 kNm
- Momen Nominal Tumpuan (+) Balok Arah X $M_{nb,X+}$ = 164,1 kNm

- Pengecekan SCWB Momen X Kolom
(SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2)

$$M_{nk,X} > 1,2 \times M_{nb,Y-} + M_{nb,Y+}$$

$$618,6 > 1,2 \times 282,5 + 166,8$$

$$618,1 > 539,15 \quad (\text{OK})$$

- Pengecekan SCWB Momen Y Kolom
(SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2)

$$M_{nk,Y} > 1,2 \times M_{nb,X-} + M_{nb,X+}$$

$$469,3 > 1,2 \times 195,1 + 164,1$$

$$469,3 > 431,081 \quad (\text{OK})$$

4.10.4 Desain Geser

a. Desain geser tumpuan

- Momen Probable Kolom Sumbu X $M_{pr,X}$ = 876,3 kNm
- Momen Probable Kolom Sumbu Y $M_{pr,Y}$ = 742,6 kNm
- Gaya Geser Probable Sumbu X (SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.1)

$$\begin{aligned}
 V_{pr,X} &= \frac{2 \times M_{pr,Y}}{L_n} \\
 &= \frac{2 \times 742,6}{3600} \\
 &= 412547 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Gaya Geser Probable Sumbu Y (SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.1)

$$\begin{aligned}
 V_{pr,Y} &= \frac{2 \times M_{pr,Y}}{L_n} \\
 &= \frac{2 \times 876,3}{3600} \\
 &= 486844 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Gaya Geser Pakai Sumbu X

$$\begin{aligned}
 V_{u,X} &= \text{MAX} [V_{ux} ; V_{pr,X}] \\
 &= 412547 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Gaya Geser Pakai Sumbu Y

$$\begin{aligned}
 V_{u,Y} &= \text{MAX} [V_{uy} ; V_{pr,Y}] \\
 &= 486844 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas Geser Beton Sumbu X (SNI 2847:2019 pasal 22.5.6.1)

$$\begin{aligned}
 V_{c,X} &= 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \times \sqrt{f_c'} \times h \times d_2 \\
 &= 0,17 \times \left(1 + \frac{0}{14 \times 325000} \right) \times \sqrt{25} \times 650 \times 437,5 \\
 &= 241719 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas Geser Beton Sumbu Y (SNI 2847:2019 pasal 22.5.6.1)

$$\begin{aligned}
 V_{c,X} &= 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \times \sqrt{f_c'} \times h \times d_1 \\
 &= 0,17 \times \left(1 + \frac{0}{14 \times 325000} \right) \times \sqrt{25} \times 500 \times 587,5 \\
 &= 249688 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas Geser Baja Tulangan Sumbu X
(SNI 2847:2019 pasal 22.5.10.5.3)

$$\begin{aligned}
 V_{s,X} &= \frac{A_{vs,X} \times f_{yv} \times d_2}{S_s} \\
 &= \frac{398,20 \times 420 \times 438}{100} \\
 &= 7431687 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas Geser Baja Tulangan Sumbu Y
(SNI 2847:2019 pasal 22.5.10.5.3)

$$\begin{aligned} V_{s,Y} &= \frac{A_{vs,Y} \times f_{yv} \times d_1}{S_s} \\ &= \frac{265,46 \times 420 \times 588}{100} \\ &= 655034 \text{ N} \end{aligned}$$

- Faktor Reduksi (SNI 2847:2019 tabel 21.2.1)
 $\Phi = 0,75$

- Kapasitas Nominal Kolom Sumbu X
(SNI 2847:2019 pasal 22.5.10.1)

$$\begin{aligned} V_{n,X} &= \Phi \times (V_{c,X} + V_{s,X}) \\ &= \Phi \times (241719 + 731687) \\ &= 731687 \text{ N} > 412547 \text{ N} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

- Kapasitas Nominal Kolom Sumbu Y
(SNI 2847:2019 pasal 22.5.10.1)

$$\begin{aligned} V_{n,Y} &= \Phi \times (V_{c,Y} + V_{s,Y}) \\ &= \Phi \times (249688 + 655034) \\ &= 678541 \text{ N} > 486844 \text{ N} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

b. Desain geser lapangan

- Kapasitas Geser Beton Sumbu X $V_{c,X} = 241719 \text{ N}$
- Kapasitas Geser Beton Sumbu Y $V_{c,Y} = 249688 \text{ N}$
- Kapasitas Geser Baja Tulangan Sumbu X
(SNI 2847:2019 pasal 22.5.10.5.3)

$$\begin{aligned} V_{s,X} &= \frac{A_{vm,X} \times f_{yv} \times d_2}{S_s} \\ &= \frac{398,20 \times 420 \times 438}{100} \\ &= 731687 \text{ N} \end{aligned}$$

- Kapasitas Geser Baja Tulangan Sumbu Y
(SNI 2847:2019 pasal 22.5.10.5.3)

$$\begin{aligned} V_{s,Y} &= \frac{A_{vm,Y} \times f_{yv} \times d_1}{S_s} \\ &= \frac{265,46 \times 420 \times 588}{100} \end{aligned}$$

$$= 655034 \text{ N}$$

- Faktor Reduksi (SNI 2847:2019 tabel 21.2.1)

$$\Phi = 0,75$$

- Kapasitas Nominal Kolom Sumbu X

(SNI 2847:2019 pasal 22.5.10.1)

$$\begin{aligned} V_{n,X} &= \Phi \times (V_{c,X} + V_{s,X}) \\ &= \Phi \times (241719 + 731687) \\ &= 730054 \text{ N} > 169364,1 \text{ N} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

- Kapasitas Nominal Kolom Sumbu Y

(SNI 2847:2019 pasal 22.5.10.1)

$$\begin{aligned} V_{n,Y} &= \Phi \times (V_{c,Y} + V_{s,Y}) \\ &= \Phi \times (249688 + 655034) \\ &= 678541 \text{ N} > 154273,6 \text{ N} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

4.10.5 Pengecekan confinement, jarak antar kaki sengkang, dan spasi sengkang

- a. Tulangan sengkang tumpuan minimum

- Luas per Spasi Sengkang X Terpasang

$$\frac{A_{sh,x}}{S} = \frac{A_{vs,x}}{S_s} = \frac{398,197}{100} = 3,982 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Luas per Spasi Sengkang Y Terpasang

$$\frac{A_{sh,y}}{S} = \frac{A_{vs,y}}{S_s} = \frac{265,46}{100} = 2,655 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Lebar Inti Beton $b_c = b - C_c - \frac{d_s}{2} = 453,5 \text{ mm}$

- Panjang Inti Beton $h_c = h - C_c - \frac{d_s}{2} = 603,5 \text{ mm}$

- Luas Inti Beton $A_{ch} = b_c \times h_c = 273687 \text{ mm}^2$

- Luas per Spasi Sengkang X Perlu (SNI 2847:2019 tabel 18.7.5.4)

$$\frac{A_{sh,x}}{S} > \left\{ \begin{array}{l} 0,09 \times h_c \times \frac{f_{c'}}{f_y} \\ 0,3 \times h_c \times \left(\frac{A_c}{A_{ch}} - 1 \right) \times \frac{f_{c'}}{f_y} \end{array} \right\}$$

$$3,982 > \left\{ \begin{array}{l} 0,09 \times 604 \times \frac{25}{420} \\ 0,3 \times 604 \times \left(\frac{325000}{273687} - 1 \right) \times \frac{25}{420} \end{array} \right\}$$

$$3,982 > \begin{cases} 3,233 \\ 2,021 \end{cases}$$

$$3,982 > 3,233 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (OK)}$$

- Luas per Spasi Sengakang Y perlu (SNI 2847:2019 tabel 18.7.5.4)

$$\frac{A_{sh,y}}{s} > \begin{cases} 0,09 \times b_c \times \frac{f_c'}{f_y} \\ 0,3 \times b_c \times \left(\frac{A_c}{A_{ch}} - 1 \right) \times \frac{f_c'}{f_y} \end{cases}$$

$$2,655 > \begin{cases} 0,09 \times 454 \times \frac{25}{420} \\ 0,3 \times 454 \times \left(\frac{325000}{273687} - 1 \right) \times \frac{25}{420} \end{cases}$$

$$2,655 > \begin{cases} 2,429 \\ 1,183 \end{cases}$$

$$2,655 > 2,429 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (OK)}$$

b. Tulangan Sengakang Lapangan Minimum

- Luas per Spasi Sengakang X Terpasang

$$\frac{A_{v,x}}{s} = \frac{A_{vm,x}}{S_m} = \frac{398,197}{100} = 3,982 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Luas per Spasi Sengakang Y Terpasang

$$\frac{A_{v,y}}{s} = \frac{A_{vm,y}}{S_m} = \frac{265,46}{100} = 2,655 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Luas per Spasi Sengakang X Perlu (SNI 2847:2019 pasal 10.6.2.2)

$$\frac{A_{v,x}}{s} > \begin{cases} 0,062 \times I_{f_c'} \times \frac{h}{f_y} \\ 0,35 \times \frac{h}{f_y} \end{cases}$$

$$3,982 > \begin{cases} 0,062 \times \sqrt{25} \times \frac{650}{420} \\ 0,35 \times \frac{650}{420} \end{cases}$$

$$3,982 > \begin{cases} 0,480 \\ 0,464 \end{cases}$$

$$3,982 > 0,480 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (OK)}$$

- Luas per Spasi Sengakang Y Perlu (SNI 2847:2019 pasal 10.6.2.2)

$$\frac{A_{v,y}}{s} > \begin{cases} 0,062 \times I_{f_c'} \times \frac{b}{f_y} \\ 0,35 \times \frac{b}{f_y} \end{cases}$$

$$3,982 > \left\{ \begin{array}{l} 0,062 \times \sqrt{25} \times \frac{500}{420} \\ 0,35 \times \frac{500}{420} \end{array} \right\}$$

$$3,982 > \left\{ \begin{array}{l} 0,369 \\ 0,357 \end{array} \right\}$$

$$3,982 > 0,369 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (OK)}$$

c. Spasi dan Jarak Antar Kaki Sengkang Maksimum

- Spasi Sengkang Tumpuan Maximum

(SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3)

$$S_{s,max} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{b}{4} \\ 6 d_b \\ 100 \leq 100 + \frac{350 - X_{i,max}}{3} \leq 150 \end{array} \right\}$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \frac{500}{4} \\ 6 \times 19 \\ 100 \leq 100 + \frac{350 - 281}{3} \leq 150 \end{array} \right\}$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} 125 \\ 114 \\ 150 \end{array} \right\}$$

$$= 114 \text{ mm} > 100 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

- Spasi Sengkang Lapangan Maximum

(SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3)

$$S_{s,max} = \left\{ \begin{array}{l} 6 d_b \\ 150 \end{array} \right\}$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} 6 \times 19 \\ 150 \end{array} \right\}$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} 114 \\ 150 \end{array} \right\}$$

$$= 114 \text{ mm} > 100 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

- Jarak Antar Kaki Sengkang Max

$$X_{i,max} \leq 350 \text{ mm} \text{ (SNI 2847:2019 gambar R18.7.5.3)}$$

- Jarak Antar Kaki Tumpuan X Max

$$X_{sx} = 263 \text{ mm} < 350 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

- Jarak Antar Kaki Tumpuan Y Max

$$X_{sy} = 281 \text{ mm} < 350 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

- Jarak Antar Kaki Lapangan X Max
 $X_{mx} = 263 \text{ mm} < 350 \text{ mm}$ (OK)
- Jarak Antar Kaki Lapangan Y Max
 $X_{my} = 281 \text{ mm} < 350 \text{ mm}$ (OK)

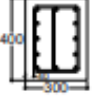
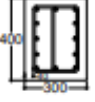
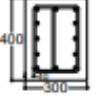
Tabel 4. 57 Sketsa kolom K1

K1		
TUMPUAN	LAPANGAN	HUBUNGAN BALOK KOLOM
500 x 650 mm		
20D19	20D19	20D19
3D13 - 100	2D13 - 100	3D13 - 100

Tabel 4. 58 Sketsa kolom K2

K2		
TUMPUAN	LAPANGAN	HUBUNGAN BALOK KOLOM
400 x 600 mm		
18D19	18D19	18D19
4D10 - 100	2D10 - 100	4D10 - 100

Tabel 4. 59 Sketsa kolom K3

K3		
TUMPUAN	LAPANGAN	HUBUNGAN BALOK KOLOM
		
300 x 400 mm		
12D16	12D16	12D16
2D10-100	D10-150	2D10-100

4.11 Desain Sloof

Data perencanaan:

Penampang balok ($b \times h$) = 300 mm x 500 mm

Mutu beton (f_c') = 25 MPa

Mutu baja (f_y) = 420 MPa (BjTS)

Berat jenis beton = 2400 kg/m³

Modulus elastisitas (E) = 23500 MPa

Tebal selimut beton = 40 mm

D tulangan utama = 16 mm

D tulangan sengkang = 10 mm

Penurunan yang diijinkan (δ) = 67,3 mm

4.11.1 Penulangan Lentur Sloof

$$\begin{aligned} \text{Mu} &= \frac{E \times I \times \delta}{12 \times L^2} \\ &= \frac{23500000 \times 0,003125 \times 0,0673}{12 \times 5^2} \\ &= 16,474 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - \text{tebal selimut beton} - D_{\text{sengkang}} - (1/2 \times D_{\text{lentur}}) \\ &= 500 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 16\right) \\ &= 442 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (terkontrol)}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{16,474}{0,9} \\
 &= 18,304 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Rn &= \frac{Mn}{b \times d^2} \\
 &= \frac{18304000}{300 \times 442^2} \\
 &= 0,31 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{fy}{0,85 \times fc'} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,764
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \times fc' \times \beta \left(\frac{600}{600 + fy} \right)}{fy} \\
 &= \frac{0,85 \times 24,9 \left(\frac{600}{600 + 420} \right)}{420} \\
 &= 0,0304
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_{bs} \\
 &= 0,028
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &= 1,4 / fy \\
 &= 1,4 / 420 \\
 &= 0,0033
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{19,764} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,764 \times 0,31}{420}} \right) \\
 &= 0,000743
 \end{aligned}$$

Karena nilai $\rho_{min} > \rho_{perlu} > \rho_{max}$ maka ρ_{min}

Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned}
 As_{perlu} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0033 \times 300 \times 442 \\
 &= 437,58 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \min} &= \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y} \times b_w \times d \\
 &= \frac{0,25\sqrt{25}}{420} \times 300 \times 442 \\
 &= 318,75 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Atau

$$\begin{aligned}
 A_{s \min} &= \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y} \\
 &= \frac{1,4 \times 300 \times 442}{420} \\
 &= 442 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Gunakan As pakai = 442 mm²

Maka digunakan D16 (AD16 = 200,96 mm²)

$$\begin{aligned}
 n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s \text{ pakai}}}{AD16} \\
 &= \frac{442}{200,96} \\
 &= 2,19 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Tulangan lentur Tarik 2D16 (As = 401,920 mm²)

Tulangan lentur Tekan

Untuk tulangan lentur tekan dapat digunakan sebesar ½ dari kekuatan lentur tarik atau minimal 2 buah berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 8.4.2.1. Digunakan tulangan lentur tekan 2D16 (As = 401,920 mm²).

Kontrol Kapasitas Penampang

- Tinggi balok tegangan persegi ekivalen

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'c \times b} \\
 &= \frac{401,92 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\
 &= 26,479 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{0,85} \\
 &= \frac{26,479}{0,85} \\
 &= 31,15 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Tegangan Tarik

$$\begin{aligned}\varepsilon_t &= 0,003 \times \left(\frac{d}{c} - 1\right) \\ &= 0,003 \times \left(\frac{442}{31,15} - 1\right) \\ &= 0,039\end{aligned}$$

- Dipakai $\Phi = 0,9$ (terkontrol tarik)

$$\begin{aligned}\Phi Mn &= \Phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2}a\right) \\ &= 0,9 \times 401,92 \times 420 \times \left(442 - \frac{1}{2}26,479\right) \\ &= 65139764,820 \text{ Nmm} \\ &= 65,139 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\Phi Mn = 65,139 > M_u = 19,764 \quad (\text{OK})$$

Penulangan Geser

Pembebanan

$$\begin{aligned}\text{Berat sendiri balok} &= 0,3 \times 0,5 \times 24 \\ &= 3,6 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$qD = 3,6 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}qu &= 1,2 \times qD \\ &= 4,32\end{aligned}$$

- $V_u = 0,5 \times qu \times l$
 $= 0,5 \times 4,32 \times 5$
 $= 10,8 \text{ kN}$

- $\Phi V_c = \Phi(0,17\lambda\sqrt{f_c'} \times b \times d)$
 $= 0,75 (0,17 \times 1\sqrt{25} \times 300 \times 442) \times 10^{-1}$
 $= 84,532 \text{ kN}$

$$\frac{1}{2} \Phi V_c \leq V_u$$

$$42,266 \geq 19,422 \text{ (Tidak memenuhi)}$$

Kekuatan geser balok yang tidak memenuhi, dengan demikian harus dipasang tulangan geser minimum

- $V_{c1} = 0,333\sqrt{f_c'} \times b \times d$
 $= 0,333\sqrt{25} \times 300 \times 442 = 2207,9 \text{ kN}$

$$V_s \leq V_{c1}$$

$$0 \leq 2207,9 \text{ kN}$$

Digunakan D10 dua kali ($A_v = 157 \text{ mm}^2$) pada jarak maksimum, yang dipilih dari nilai terkecil antara

$$\bullet S_1 = \frac{d}{2} = \frac{442}{2} = 221 \text{ mm}$$

$$\bullet S_3 = 200$$

Dipakai $s = 200 \text{ mm}$ (dipasang sengkang D10 – 200) di sepanjang sloof

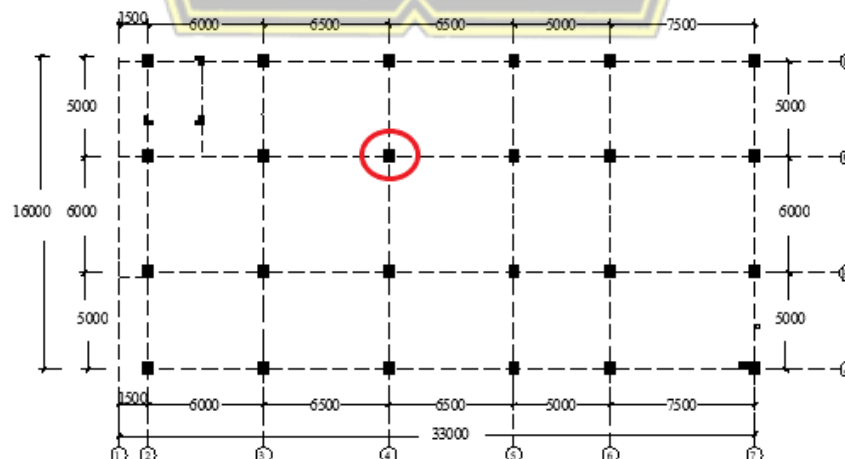
4.12 Perhitungan Pondasi

4.12.1 Desain Tiang Pancang

Pondasi merupakan kerangka bangunan bagian bawah yang memiliki fungsi untuk menyalurkan beban-beban bangunan di atasnya ke tanah pendukung di bawahnya. Melakukan perencanaan pondasi dari suatu kerangka bangunan mempertimbangkan berbagai hal diantaranya adalah jenis tanah, kondisi dan kerangka dari tanah di lokasi yang akan dibangun. Perencanaan yang baik dapat menghasilkan pondasi yang aman, efisien dan ekonomis dalam pelaksanaannya.

4.12.2 Perencanaan Pondasi untuk Titik di Tengah Bangunan

Desain tiang pancang kolom yang digunakan dalam perhitungan ini adalah kolom AS 2-D.



Gambar 4.39 Letak pondasi kolom yang ditinjau

4.12.2.1 Data Perencanaan

Desain tiang pancang yang akan dihitung pada perencanaan pondasi gedung ini menggunakan tiang pancang jenis *spun pile* yang di produksi oleh PT. Wijaya Karya Beton.

- Diameter..tiang..pancang, $d = 400$ mm
- *Thicknes..* = 75 mm
- Kelas.. = A2
- Bending..momen..crack = 5,5 ton.m
- Bending..momen..ultimate = 8,25 ton.m
- *Allowable axial* = 121,1 ton
- Keliling tiang pancang (A_s) = 32,656 m
- Luas tiang pancang (A_p) = 0,1256 m²

Direncanakan *Pile Cap* dengan dimensi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}L &= 2 \text{ m} \\B &= 2 \text{ m} \\t &= 0,6 \text{ m}\end{aligned}$$

Dengan gaya-gaya dalam yang bekerja pada pondasi yang didapatkan dari hasil analisis *ETABS V19.0.0* :

$$\begin{aligned}F_z &= 1934,62 \text{ kN} \\F_x &= 2,5251 \text{ kN} \\F_y &= -13,5711 \text{ kN} \\M_x &= 18,5722 \text{ kNm} \\M_y &= 5,2132 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Perhitungan desain tiang pancang pada gedung ini akan menggunakan kombinasi terbesar dari beban tetap dan beban sementara. Berdasarkan hal tersebut, kombinasi beban sementara akan digunakan acuan gaya dalam sebagai perhitungan desain pondasi. Sehingga didapatkan hasil perhitungan momen *pile cap* sebagai berikut:

$$\begin{aligned}M_{x_o} &= M_x + F_y \times t = 18,5722 + (-13,5711 \times 0,6) = 10,429 \text{ kNm} \\M_{y_o} &= M_y + F_x \times t = 5,2132 + (2,5251 \times 0,6) = 6,7282 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Beban vertikal yang bekerja akibat adanya beban sementara dan beban sendiri *pile cap* adalah:

- Berat sendiri *pile cap* = $2 \times 2 \times 0,6 \times 24 = 57,6$ kN
 - Beban aksial kolom =
 - Beban tetap, $F_z = 1934,62$ kN
- $$\Sigma P = (1,2 \times \text{Berat sendiri } poer) + F_z$$
- $$= 1992,22 \text{ kN}$$

4.12.2.2 Daya Dukung Ijin Satu Tiang

Daya dukung ijin satu tiang dihitung berdasarkan nilai N-SPT dari hasil SPT dengan menggunakan rumus perhitungan pondasi MAYERHOF (1956). Perhatikan tabel berikut:

Berdasarkan tabel 4.34 didapatkan hasil N-SPT tiang di dasar, (N_p) pada kedalaman 26 m dan nilai rata-rata N sepanjang tiang, (N_{av}) pada perhitungan dibawah ini:

$$D = 40 \text{ mm} = 0,4 \text{ m}$$

$$8D = 8 \times 0,4 = 26 - 3,2 = 22,8 \text{ m}$$

$$4D = 4 \times 0,5 = 26 + 1,6 = 27,60 \text{ m}$$

Maka:

$$N_p = 31,2$$

$$N_{av} = \frac{Z_{NSPT}}{40} = \frac{294}{40} = 11,307$$

N_{av} yang diambil berdasarkan pada nilai $3 \leq N \leq 50$

Dengan menggunakan perumusan MAYERHOF (1956) didapatkan daya dukung ultimate pada satu tiang pancang yaitu

$$Q_{ult} = 40 \cdot A_p \cdot N_p + \frac{A_s \cdot N_{av}}{5}$$

$$= 40 \times 0,1256 \times 31,2 + \frac{32,656 \cdot 11,3077}{5}$$

$$= 230,60 \text{ ton}$$

$$Q_d = \frac{Q_{ult}}{SF} \rightarrow SF = 2,5$$

$$= \frac{230,60}{2,5} = 92,24 \text{ ton}$$

$Q_{allowable}$ bahan dari tiang diketahui sebesar 121,1 ton. Nilai daya dukung

tanah yang diijinkan pada kedalaman 26 meter sebesar 121,1 ton dengan SF = 2,5. Berdasarkan hasil analisis kekuatan bahan dan kekuatan tanah maka diambil nilai beban daya dukung yang terkecil (Q) diambil 92,24 ton.

4.12.2.3 Tiang Pancang Kelompok

Jumlah tiang pancang untuk tiang pancang kelompok ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$n = \frac{ZP}{PEg}, \text{ dimana:}$$

$$Eg = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n}$$

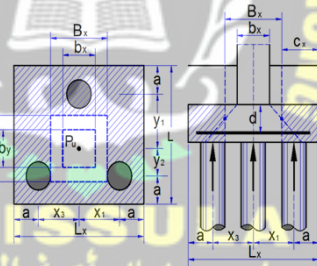
$$= 1 - 17,744 \frac{(2-1)2 + (1-1)2}{90.1.2}$$

$$= 0,9$$

$$n = \frac{1992,22}{121,1 \times 0,9}$$

$$= 2,77 \sim 3 \text{ buah}$$

Maka tiang pancang kelompok akan direncanakan dengan 3 buah pancang dalam satu *pile cap* seperti pada gambar berikut :



Gambar 4. 31 Konfigurasi tiang pancang

Syarat jarak antar tiang pancang (s) menurut SNI 2847-2019 Pasal 13.4.2.2 yaitu:

$$S_x = S_y = 3D = 3 \times 0,4 = 1,2 \text{ m}$$

4.12.2.4 Kontrol Beban Aksial Satu Tiang Pancang

Berdasarkan gambar 4.31 didapatkan jarak dari masing-masing tiang pancang terhadap titik berat *poer*. Perhatikan tabel berikut:

Tabel 4. 60 Kontrol beban aksial satu tiang pancang

Tiang	Sumbu (m)			
	X	X ²	Y	Y ²
P1	0,6	0,36	0,775	0,60
P2	0	0	-0,45	0,41
P3	0,6	0,36		
Σ	0,72		1,01	

Gaya yang dipikul oleh masing-masing tiang pancang ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$P_i = \frac{ZP}{n} + \frac{M_x o y_{max}}{Z_y^2} + \frac{M_y o x_{max}}{Z_x^2}$$

$$P_{max} = \frac{1922,22}{3} + \frac{10,429 \times 0,775}{1,01} + \frac{6,728 \times 0,60}{0,72}$$

$$= 687,41 \text{ kN}$$

$$P_{min} = \frac{1922,22}{3} + \frac{10,429 \times 0,45}{1,01} + \frac{6,728 \times 0,6}{0,72}$$

$$= 650,10 \text{ kN}$$

$$\text{Syarat : } P_{max} \leq \phi P_n$$

$$687,41 < 813,56 \rightarrow \text{AMAN (OK)}$$

Maka tekanan maksimum satu tiang pancang

$$687,41 \text{ kN} \approx 68,741 \text{ ton}$$

Kontrol kapasitas

$$P_{max} \leq P_{Eg}$$

$$68,741 \leq 92,24 \rightarrow \text{memenuhi}$$

(Memenuhi)

Kontrol Tebal *Pile Cap* Kolom

Perencanaan tebal *Pile Cap* harus memenuhi syarat bahwa kekuatan geser nominal harus lebih dari geser ponds yang terjadi.

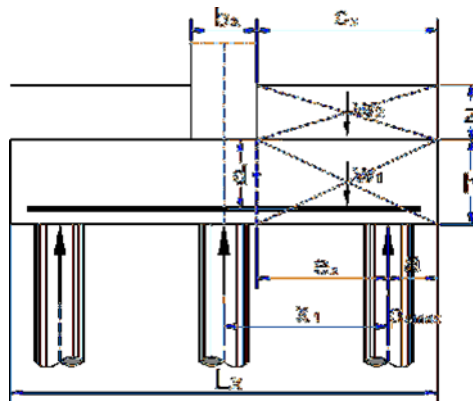
Data perencanaan *Pile Cap*:

- Dimensi kolom = 500 × 650 mm
- Kuat leleh baja tulangan deform = 420 MPa
- Kuat leleh baja tulangan polos = 240 MPa
- Dimensi *poer*, $p \times l$ = 2000 × 2000 mm
- Tebal, t = 600 mm
- Selimut beton = 75 mm
- D tulangan = 19 mm
- Mutu beton = 30 Mpa
- Dimensi tiang pancang = 500 mm
- λ = 1 (Beton Normal)
- α_s = 40 (Kolom Dalam)
- Rasio sisi panjang terhadap daerah reaksi, (β)

$$\beta = \frac{500}{650} = 0,769$$

$$d = 600 - 75 - \left(\frac{19}{2}\right) = 515,5$$

Tinjauan Geser Arah X



Gambar 4. 32 Tinjauan Geser Arah X As 2-D

$$\beta = \frac{500}{650} = 0,769$$

$$d = 600 - 75 - \left(\frac{19}{2}\right) \\ = 515,5 \text{ mm}$$

Jarak bid. kritis terhadap sisi luar,

$$cx = (Lx - bx - d) / 2 = 0,488 \text{ m}$$

Berat beton,

$$W = cx \times Ly \times h \times wc = 13,988 \text{ kN}$$

Gaya geser arah x,

$$Vux = 2 \times Pmax - W = 673,420 \text{ kN}$$

Lebar bidang geser untuk tinjauan arah x,

$$b = Ly = 2000 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 untuk pondasi telapak non-prategang (V_c) yang ditentukan berdasarkan nilai yang terkecil dari poin berikut:

- $V_c = 0,17\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)\lambda\sqrt{f_c' b d} \times 10^{-3}$
 $= 0,17\left(1 + \frac{2}{0,769}\right)1\sqrt{30.2000.515,5} \times 10^{-3}$
 $= 3474,314 \text{ kN}$
- $V_c = 0,17\left(\frac{as \alpha}{b} + 2\right)\lambda\sqrt{f_c' b d} \times 10^{-3}$
 $= 0,17\left(\frac{40 \times 714}{2400} + 2\right)1\sqrt{30.2000.515,5} \times 10^{-3}$
 $= 6066,538,889 \text{ kN}$
- $V_c = 0,33\lambda\sqrt{f_c' b d} \times 10^{-3}$
 $= 0,33\lambda\sqrt{30.2000.714} \times 10^{-3}$
 $= 1930,174 \text{ kN}$

Diambil, kuat geser pile cap,

$$V_c = 1930,174 \text{ kN}$$

Faktor reduksi kekuatan geser (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1),

$$\phi = 0,75$$

Kuat geser pilecap,

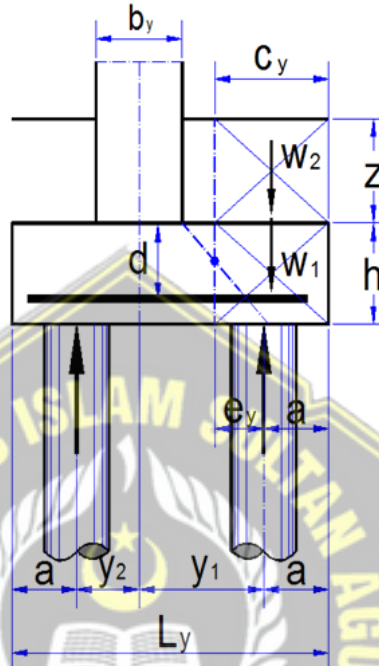
$$\phi V_c = 1447,631 \text{ kN}$$

Syarat yang harus dipenuhi,

$$\phi V_c \geq V_{uy}$$

$$1447,631 > 673,420 \text{ kN} \rightarrow \text{AMAN (OK)}$$

Tinjauan Geser Arah Y



Gambar 4. 33 Tinjauan Geser Arah Y As 2-D

$$\beta = \frac{500}{650} = 0,769$$

$$d = 600 - 71 - \left(\frac{19}{2}\right) = 515,5 \text{ mm}$$

Jarak bid. kritis terhadap sisi luar,

$$c_y = (L_y - b_y - d) / 2 = 0,586 \text{ m}$$

Berat beton,

$$W = c_x \times L_y \times h \times w_c = 16,868 \text{ kN}$$

Gaya geser arah x,

$$V_{uy} = 2 \times P_{max} - W = 670,540 \text{ kN}$$

Lebar bidang geser untuk tinjauan arah x,

$$b = L_y = 2000 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 untuk pondasi telapak non-prategang (V_c) yang ditentukan berdasarkan nilai yang terkecil dari poin berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{a. } V_c &= 0,17\left(1+\frac{2}{\beta}\right)\lambda\sqrt{f'c'b d} \times 10^{-3} \\
 &= 0,17\left(1+\frac{2}{0,769}\right)1\sqrt{30.2000.515,5} \times 10^{-3} \\
 &= 3474,314 \text{ kN} \\
 \text{b. } V_c &= 0,17\left(\frac{as\alpha}{b} + 2\right)\sqrt{f'c'b d} \times 10^{-3} \\
 &= 0,17\left(\frac{40 \times 714}{2400} + 2\right)\lambda\sqrt{30.2000.515,5} \times 10^{-3} \\
 &= 6066,538 \text{ kN} \\
 \text{c. } V_c &= 0,33\lambda\sqrt{f'c'b d} \times 10^{-3} \\
 &= 0,33\lambda\sqrt{30.4000.729} \times 10^{-3} \\
 &= 1930,174 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Diambil, kuat geser pilecap,

$$V_c = 1930,174 \text{ kN}$$

Faktor reduksi kekuatan geser (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1),

$$\phi = 0,75$$

Kuat geser pilecap,

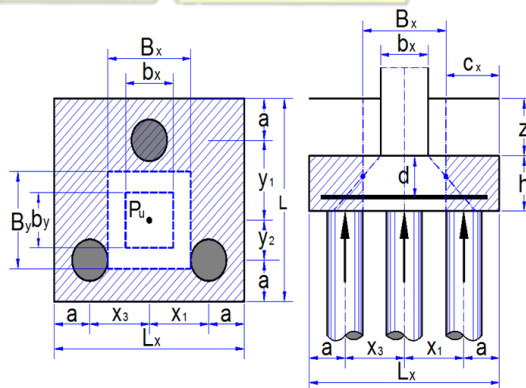
$$\phi V_c = 1447,631 \text{ Kn}$$

Syarat yang harus dipenuhi,

$$\phi V_c \geq V_{uy}$$

$$1447,631 > 670,540 \text{ kN} \rightarrow \text{AMAN (OK)}$$

4.12.2.5 Tinjauan Geser Ponds Dua Arah



Gambar 4. 34 Tinjauan Geser Ponds Dua Arah

Rasio sisi panjang terhadap daerah reaksi, (β)

$$\beta = \frac{500}{650} = 0,769$$

$$d = 600 - 75 - \left(\frac{19}{2}\right) = 515,5 \text{ mm}$$

Lebar bidang geser pons arah x, $Bx = bx + d = 1,029 \text{ m}$

Lebar bidang geser pons arah y, $By = by + d = 1,179 \text{ m}$

Gaya geser pons akibat beban terfaktor pada kolom, $P_{uk} = 1934,620 \text{ kN}$

Luas bidang geser pons,

$$A_p = 2 \times (Bx + By) \times d = 2,333 \text{ m}^2 \text{ Lebar bidang geser pons,}$$

$$b_p = 2 \times (Bx + By) = 4,414 \text{ m}$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 untuk pondasi telapak non-prategang (f_p) yang ditentukan berdasarkan nilai yang terkecil dari poin berikut

$$\begin{aligned} \text{a. } f_p &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \sqrt{f_c'} \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{0,769}\right) \sqrt{30} \\ &= 3,286 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } f_p &= 0,083 \left(\frac{a_s \cdot d}{b_p} + 2\right) \sqrt{f_c'} \\ &= 0,083 \left(\frac{40,714}{5,26} + 2\right) \sqrt{30} \\ &= 3,099 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } f_p &= 0,33 \sqrt{f_c'} \\ &= 0,33 \sqrt{30} \\ &= 1,826 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tegangan geser pons yang disyaratkan,

$$f_p = 1,826 \text{ MPa}$$

Faktor reduksi kekuatan geser pons (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1),

$$\phi = 0,75$$

Kuat geser pons,

$$\phi V_{np} = \phi A_p \times f_p \times 10^3 = 3195,21 \text{ kN}$$

Syarat :

$$\phi V_{np} \geq P_{uk}$$

$$3195,211 > 1934,620 \rightarrow \text{AMAN (OK)}$$

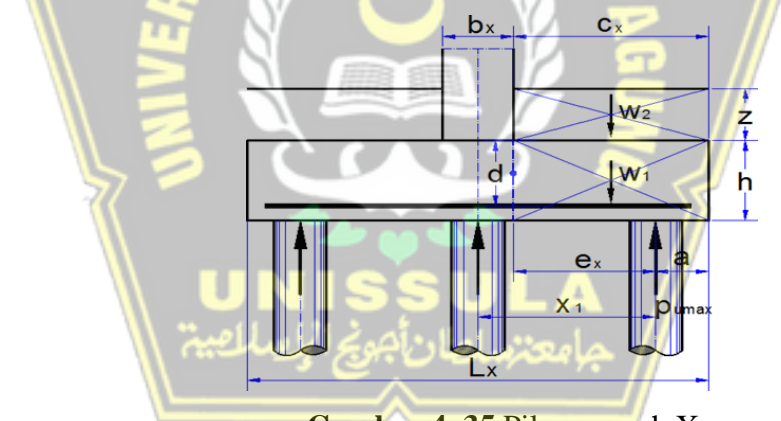
4.12.2.6 Desain Penulangan Pile Cap Kolom

Desain penulangan lentur *pile cap* dianalisis sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Beban yang bekerja adalah berat sendiri *pile cap* (q) dan beban terpusat (P). Penulangan *pile cap* kolom didesain dengan menggunakan bahan tulangan baja dengan data sebagai berikut:

Data Perencanaan :

- Dimensi *Pile Cap*, $B \times L$ = 2000 × 2000 mm
- Tebal *Pile Cape* = 600 mm
- Mutu beton, f_c' = 30 MPa
- Mutu baja, f_y = 420 MPa
- Elastisitas, E_f = 200000 MPa
- Tebal selimut beton = 75 mm
- Tinggi efektif balok *pile cap*
 d = 714 mm

Desain Penulangan Lentur Arah X



Gambar 4. 35 Pile cap arah X

Jarak tepi kolom terhadap sisi luar pile cap,

$$c_x = (L_x - b_x) / 2 = 0,750 \text{ m}$$

Jarak tiang terhadap sisi kolom,

$$e_x = c_x - a = 0,350 \text{ m}$$

Berat beton,

$$W = c_x \times L_y \times h \times w_c = 21,600 \text{ kN}$$

Momen yang terjadi pada pile cap,

$$M_{ux} = 2 \times P_{max} \times e_x - W \times c_x / 2 = 232,493 \text{ kNm}$$

Faktor distribusi tegangan beton,

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot 30}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\ &= 0,0303\end{aligned}$$

Factor reduksi kekuatan lentur,

$$\phi = 0,8$$

$$\begin{aligned}R_{max} &= 0,75 \times \rho_b \times f_y \left(1 - \frac{\frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times f_y}{0,85 \times f_c'} \right) \\ &= 0,75 \times 0,03 \times 420 \left(1 - \frac{\frac{1}{2} \times 0,75 \times 0,03 \times 420}{0,85 \times 25} \right) \\ &= 7,77\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\ &= 290,616 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$R_n = M_n \times 10^6 / (b \times d^2) = 0,52$$

$R_n < R_{max}$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan,

$$\begin{aligned}P_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,52}{0,85 \times 25}} \right) \\ &= 0,0013\end{aligned}$$

$$P_{\text{min}} = \frac{1,4}{420} = 0,0025$$

Syarat $= \rho_{\text{min}} > \rho_{\text{perlu}}$

$$0,0025 > 0,0013$$

Maka dipakai $\rho_{\text{perlu}} = 0,0025$

Luas Tulangan:

$$\begin{aligned}A_s_{\text{perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d_x \\ &= 0,0025 \times 2000 \times 529 \\ &= 2643 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan D 19 mm ($A_{D19} = 217 \text{ mm}^2$)

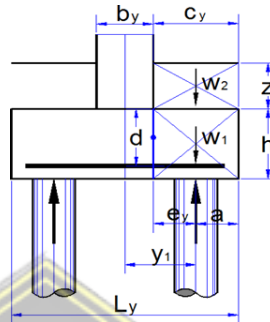
$$\text{Jarak tulangan (s)} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{A_s} = 215 \text{ mm}^2$$

Cek : As perlu < As pakai

: 200 < 215 → OKE

Jadi tulangan yang dipakai untuk arah X adalah D19-200 mm

Desain Penulangan Lentur Arah Y



Gambar 4. 36 Pile cap arah Y

Jarak tepi kolom terhadap sisi luar pile cap,

$$c_y = (L_y - b_y) / 2 = 0,850 \text{ m}$$

Jarak tiang terhadap sisi kolom,

$$e_y = c_y - a = 0,450 \text{ m}$$

Berat beton,

$$W = c_y \times L_x \times h \times w_c = 24,480 \text{ kN}$$

Momen yang terjadi pada pile cap,

$$M_{uy} = 3 \times P_{max} \times e_y - W \times c_y / 2 = 298,930 \text{ kNm}$$

Faktor distribusi tegangan beton,

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot 30}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\ &= 0,0303 \end{aligned}$$

Factor reduksi kekuatan lentur,

$$\phi = 0,8$$

$$\begin{aligned} R_{max} &= 0,75 \times \rho_b \times f_y \left(1 - \frac{\frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times f_y}{0,85 \times f_c'} \right) \\ &= 0,75 \times 0,03 \times 420 \left(1 - \frac{\frac{1}{2} \times 0,75 \times 0,03 \times 420}{0,85 \times 25} \right) \\ &= 7,77 \end{aligned}$$

$$Mn = \frac{Mux}{\phi}$$

$$= 373,662 \text{ kNm}$$

$$Rn = Mn \times 10^6 / (b \times d^2) = 0,668$$

$Rn < Rmax$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan,

$$\rho \text{ perlu} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f_c'}}\right)$$

$$= \frac{0,85 \times 30}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,22}{0,85 \times 25}}\right)$$

$$= 0,0016$$

$$\rho \text{ min} = 0,0025$$

$$\text{Syarat} = \rho \text{ min} < \rho \text{ perlu}$$

$$0,0025 < 0,0016$$

Maka dipakai $\rho \text{ perlu} = 0,0025$

Luas Tulangan:

$$As \text{ perlu} = \rho \text{ perlu} \times b \times dx$$

$$= 0,0025 \times 2000 \times 529$$

$$= 2643 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D 19 mm (A D19 = 217 mm²)

$$\text{Jarak tulangan (s)} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{As} = 215 \text{ mm}^2$$

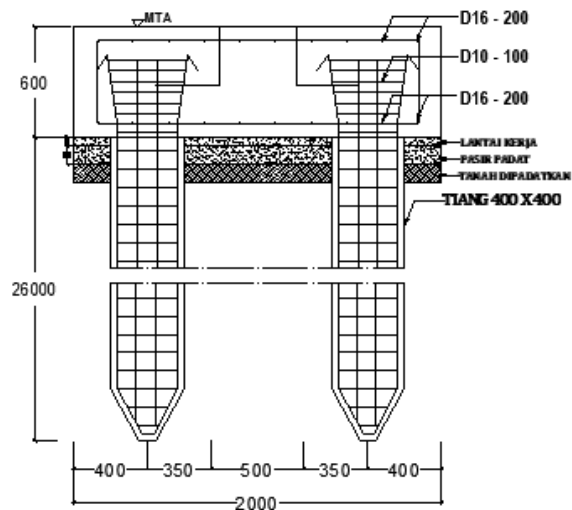
Syarat: $s \leq 3h$ atau 450 mm = $s \leq 3000$ atau 450 mm Maka dipilih yang terkecil yaitu $s = 200 \text{ mm}$

$$As \text{ pakai} = \frac{4000 \times 217}{200} = 2835,29 \text{ mm}^2$$

Cek : $As \text{ perlu} < As \text{ pakai}$

$$: 2643,00 < 2835,29 \rightarrow \text{OKE}$$

Jadi tulangan yang dipakai untuk arah Y adalah D19-200 mm



Gambar 4. 37 Detail penulangan pile cap

Desain Tulangan Susut

$$P_{smin} = 0,0014$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan susut arah x, } A_{sx} &= \rho_{smin} \times b \times d_x \\ &= 0,0014 \times 2000 \times 523 \\ &= 1465 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan susut arah y, } A_{sy} &= \rho_{smin} \times b \times d_y \\ &= 0,0014 \times 2000 \times 529 \\ &= 1480 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diameter tulangan yang digunakan = D12 mm

Jarak tulangan susut arah x,

$$\begin{aligned} S_x &= \pi / 4 \times \phi^2 \times b / A_{sx} \\ &= 3,14 / 4 \times 12^2 \times 2000 / 1480 \\ &= 153 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak tulangan susut maksimum arah x, $S_x \text{ max} = 200 \text{ mm}$

Jarak tulangan susut arah x yang digunakan $\rightarrow S_x = 153 \text{ mm}$

Jarak tulangan susut arah y,

$$\begin{aligned} S_y &= \pi / 4 \times \phi^2 \times b / A_{sy} \\ &= 3,14 / 4 \times 12^2 \times 2000 / 1480 \\ &= 153 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak tulangan susut maksimum arah y, $S_y \text{ max} = 200 \text{ mm}$

Jarak tulangan susut arah y yang digunakan $\rightarrow S_y = 153 \text{ mm}$

Digunakan tulangan susut arah x, $\varnothing 12 - 150 \text{ mm}$

Digunakan tulangan susut arah y, $\varnothing 12 - 150 \text{ mm}$

4.12.3 Perencanaan Pondasi (Titik Di Tepi Bangunan)

Desain tiang pancang yang akan dihitung pada perencanaan pondasi gedung ini menggunakan tiang pancang jenis *spun pile* yang di produksi oleh PT. Wijaya Karya Beton.

- Diameter tiang pancang, $d = 400 \text{ mm}$
- *Thickness* = 75 mm
- Kelas = $A2$
- Bending momen crack = $5,5 \text{ ton.m}$
- Bending momen ultimate = $8,25 \text{ ton.m}$
- *Allowable axial* = $121,1 \text{ ton}$
- Keliling tiang pancang (A_s) = $32,656 \text{ m}$
- Luas tiang pancang (A_p) = $0,1256 \text{ m}^2$

Direncanakan *Pile Cap* dengan dimensi sebagai berikut:

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

$$B = 1,5 \text{ m}$$

$$t = 0,6 \text{ m}$$

Dengan gaya-gaya dalam yang bekerja pada pondasi yang didapatkan dari hasil analisis *ETABS V16.2.1* :

$$F_z = 980,3523 \text{ kN}$$

$$F_x = 0,7387 \text{ kN}$$

$$F_y = 24,26 \text{ kN}$$

$$M_x = 30,97 \text{ kN}$$

$$M_y = 0,7385 \text{ kN}$$

Perhitungan desain tiang pancang pada gedung ini akan menggunakan kombinasi terbesar dari beban tetap dan beban sementara. Berdasarkan hal tersebut, kombinasi beban sementara akan digunakan acuan gaya dalam sebagai perhitungan desain pondasi. Sehingga didapatkan hasil perhitungan momen *pile cap* sebagai berikut:

$$M_{x0} = M_x + F_y \times t = 18,5722 + (24,261 \times 0,6) = 45,526 \text{ kNm}$$

$$M_{yo} = My + Fx \times t = 5,2132 + (0,7387 \times 0,6) = 1,18172 \text{ kNm}$$

Beban vertikal yang bekerja akibat adanya beban sementara dan beban sendiri *pile cap* adalah:

- Berat sendiri *pile cap* = $2 \times 1,5 \times 0,6 \times 24 = 43,2 \text{ kN}$
- Beban aksial kolom
- Beban tetap, $Fz = 980,3523 \text{ kN}$

$$\begin{aligned} \Sigma P &= (1,2 \times \text{Berat sendiri pilecap}) + Fz \\ &= 1023,552 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.12.3.1 Daya Dukung Ijin Satu Tiang

Daya dukung ijin satu tiang dihitung berdasarkan nilai N-SPT dari hasil SPT dengan menggunakan rumus perhitungan pondasi MAYERHOF (1956). Perhatikan tabel berikut:

Berdasarkan tabel 4.34 didapatkan hasil N-SPT tiang di dasar, (N_p) pada kedalaman 26 m dan nilai rata-rata N sepanjang tiang, (N_{av}) pada perhitungan dibawah ini:

$$D = 40 \text{ mm} = 0,4 \text{ m}$$

$$8D = 8 \times 0,4 = 26 - 3,2 = 22,8 \text{ m}$$

$$4D = 4 \times 0,5 = 26 + 1,6 = 27,60 \text{ m}$$

Maka:

$$N_p = 31,2$$

$$N_{av} = \frac{Z_{NSPT}}{40} = \frac{294}{40} = 11,307$$

N_{av} yang diambil berdasarkan pada nilai $3 \leq N \leq 50$

Dengan menggunakan perumusan MAYERHOF (1956) didapatkan daya dukung ultimate pada satu tiang pancang yaitu

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= 40 \cdot A_p \cdot N_p + \frac{A_s \cdot N_{av}}{5} \\ &= 40 \times 0,1256 \times 31,2 + \frac{32,656 \cdot 11,307}{5} \end{aligned}$$

$$= 230,60 \text{ ton}$$

$$Q_d = \frac{Q_{ult}}{SF} \rightarrow SF = 2,5$$

$$= \frac{230,60}{2,5}$$

$$= 92,24 \text{ ton}$$

Qallowable bahan dari tiang diketahui sebesar 121,1 ton. Nilai daya dukung tanah yang diijinkan pada kedalaman 26 meter sebesar 121,1 ton dengan SF = 2,5. Nilai Q_d pada kedalaman 26 meter sebesar 102,72 ton.

Berdasarkan hasil analisis kekuatan bahan dan kekuatan tanah maka diambil nilai beban daya dukung yang terkecil (Q) diambil 92,24 ton.

4.12.3.2 Tiang Pancang Kelompok

Jumlah tiang pancang untuk tiang pancang kelompok ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$n = \frac{ZP}{PE_g}, \text{ dimana:}$$

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n}$$

$$= 1 - 21,801 \frac{(2-1)2 + (1-1)2}{90 \cdot 1 \cdot 2}$$

$$= 0,88$$

$$n = \frac{1023,552}{102,721 \times 0,75}$$

$$= 1,13 \sim 2 \text{ buah}$$

Syarat jarak antar tiang pancang (s) menurut SNI 2847-2019 Pasal 13.4.2.2 yaitu:

$$S_x = S_y = 3D = 3 \times 0,4 = 1,2 \text{ m}$$

4.12.3.2 Kontrol Beban Aksial Satu Tiang Pancang

Gaya yang dipikul oleh masing-masing tiang pancang ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$P_i = \frac{P_u}{n} + \frac{M_{ux} \cdot x_{max}}{\sum x^2}$$

$$P_{max} = \frac{1014,91}{2} + \frac{30,97 \times 0,6}{0,72}$$

$$= 533,26 \text{ kN}$$

$$P_{min} = \frac{1014,91}{2} + \frac{30,97 \times -0,6}{0,72}$$

$$= 481,65 \text{ kN}$$

$$\text{Syarat : } P_{max} \leq \phi P_n$$

$$533,26 < 813,56 \rightarrow \text{AMAN (OK)}$$

Maka tekanan maksimum satu tiang pancang

$$533,26 \text{ kN} \approx 53,326 \text{ ton}$$

Kontrol kapasitas

$$P_{\max} \leq P_{Eg}$$

$$53,326 \text{ ton} \leq 92,24 \text{ (Memenuhi)}$$

Kontrol Tebal *Pile Cap* Kolom

Perencanaan tebal *Pile Cap* harus memenuhi syarat bahwa kekuatan geser nominal harus lebih dari geser ponds yang terjadi.

Data perencanaan *Pile Cap*:

- Dimensi kolom = 500 × 650 mm
- Kuat leleh baja tulangan deform = 420 MPa
- Kuat leleh baja tulangan polos = 240 MPa
- Dimensi *poer*, $p \times l$ = 2000 × 1000 mm
- Tebal, t = 600 mm
- Selimut beton = 75 mm
- D tulangan = 16 mm
- Mutu beton = 30 MPa
- Dimensi tiang pancang = 400 mm
- λ = 1 (Beton Normal)
- α_s = 40 (Kolom Tepi)
- Rasio sisi panjang terhadap daerah reaksi, (β)

$$\beta = \frac{500}{650} = 0,769$$

$$d = 600 - 75 - \left(\frac{19}{2}\right) \\ = 523$$

Tinjauan Geser

Jarak bid. kritis terhadap sisi luar,

$$c_x = (L_x - b_x - d) / 2 = 0,0476 \text{ m}$$

Berat beton,

$$W = c_x \times L_y \times h \times w_c = 6,852 \text{ kN}$$

Gaya geser arah x,

$$V_{ux} = 2 \times P_{max} - W = 526,413 \text{ kN}$$

Lebar bidang geser untuk tinjauan arah x,

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

Berdasarkan SNI 2847-2019 untuk pondasi telapak non-prategang (V_c) yang ditentukan berdasarkan nilai yang terkecil dari poin berikut:

- $$V_c = 0,17(1 + \frac{2}{\beta}) \lambda \sqrt{f_c' b d} \times 10^{-3}$$
$$= 0,17(1 + \frac{2}{0,769}) 1 \sqrt{30.1000.515,5} \times 10^{-3}$$
$$= 1802,226 \text{ kN}$$
- $$V_c = 0,17(\frac{as}{b} + 2) \lambda \sqrt{f_c' b d} \times 10^{-3}$$
$$= 0,17(\frac{40 \times 714}{1000} + 2) \lambda \sqrt{30.1000.515,5} \times 10^{-3}$$
$$= 5991,401 \text{ kN}$$
- $$V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f_c' b d} \times 10^{-3}$$
$$= 0,33 \lambda \sqrt{30.1000.515,5} \times 10^{-3}$$
$$= 1001,237 \text{ kN}$$

Diambil, kuat geser pilecap,

$$V_c = 1001,237 \text{ kN}$$

Faktor reduksi kekuatan geser (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1),

$$\phi = 0,75$$

Kuat geser pilecap,

$$\phi V_c = 750,928 \text{ kN}$$

Syarat yang harus dipenuhi,

$$\phi V_c \geq V_{ux}$$

$$750,928 > 526,413 \rightarrow \text{AMAN (OK)}$$

Pembesian *Pile Cap*

Jarak tepi kolom terhadap sisi luar pilecap,

$$cx = (Lx - bx) / 2 = 0,750 \text{ m}$$

Jarak tiang terhadap sisi kolom,

$$ex = cx - a = 0,350 \text{ m}$$

Berat beton,

$$W = cx \times Ly \times h \times wc = 10,800 \text{ kN}$$

Momen yang terjadi pada pilecap,

$$Mux = 2 \times Pmax \times ex - W \times cx / 2 = 369,236 \text{ kNm}$$

Faktor distribusi tegangan beton,

$$\beta 1 = 0,85$$

$$\begin{aligned} \rho b &= \frac{\beta 1 \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{\beta 1 \cdot 0,85 \cdot 30}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\ &= 0,0303 \end{aligned}$$

Factor reduksi kekuatan lentur,

$$\phi = 0,8$$

$$\begin{aligned} R_{max} &= 0,75 \times \rho b \times f_y \left(1 - \frac{\frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho b \times f_y}{0,85 \times f_c'} \right) \\ &= 0,75 \times 0,03 \times 420 \left(1 - \frac{\frac{1}{2} \times 0,75 \times 0,03 \times 420}{0,85 \times 25} \right) \\ &= 7,77 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mux}{\phi} \\ &= 461,544 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$Rn = Mn \times 10^6 / (b \times d^2) = 1,535$$

$$Rn < Rmax \text{ (OK)}$$

Rasio tulangan yang diperlukan,

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,535}{0,85 \times 25}} \right) \\ &= 0,0038 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{420} = 0,0025$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \rho_{min} > \rho_{perlu} \\ &0,0025 > 0,0038 \end{aligned}$$

Maka dipakai $\rho_{perlu} = 0,0038$

Luas Tulangan:

$$\begin{aligned} A_{s\ perlu} &= \rho_{perlu} \times b \times dx \\ &= 0,0025 \times 1000 \times 529 \\ &= 2068,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D 16 mm ($A_{D16} = 96 \text{ mm}^2$)

$$\text{Jarak tulangan (s)} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{A_s} = 97 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Cek} &: A_{s\ perlu} < A_{s\ pakai} \\ &: 200 < 217 \rightarrow \text{OKE} \end{aligned}$$

Jadi tulangan yang dipakai untuk arah X adalah D16-180 mm

Luas Tulangan terpakai:

$$\begin{aligned} A_{s\ perlu} &= \rho_{perlu} \times b \times dx \\ &= 0,0038 \times 1000 \times 529 \\ &= 1005,31 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D 16 mm ($A_{D16} = 360 \text{ mm}^2$)

$$\text{Jarak tulangan (s)} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{A_s} = 360 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Cek} &: A_{s\ perlu} < A_{s\ pakai} \\ &: 1117,01 < 1005,31 \rightarrow \text{OKE} \end{aligned}$$

Jadi tulangan yang dipakai untuk arah X adalah D16-200 mm

Desain Tulangan Susut

$$\rho_{smin} = 0,0014$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan susut arah x, } A_{sx} &= \rho_{smin} \times b \times dx \\ &= 0,0014 \times 1500 \times 523 \\ &= 768 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan susut arah } y, A_{sy} &= \rho_{smin} \times b \times d_y \\ &= 0,0018 \times 3000 \times 523 \\ &= 147 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diameter tulangan yang digunakan = Ø12 mm

Jarak tulangan susut arah x,

$$\begin{aligned} S_x &= \pi / 4 \times \phi^2 \times b / A_{sx} \\ &= 3,14 / 4 \times 12^2 \times 3000 / 1465 \\ &= 147 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak (max. Tulangan susut) x, $S_x \text{ max} = 200 \text{ mm}$

Jarak (Tulangan susut) → $S_x = 147 \text{ mm}$

Digunakan x, Ø12 – 150 mm

4.12.4 Kontrol Penurunan Kelompok Tiang

Perhitungan kontrol penurunan terhadap pondasi tiang dilakukan guna mengantisipasi penurunan tiang yang berlebihan akibat beban yang berlebih sehingga dapat mencegah terjadinya kegagalan kerangka bangunan. Berikut ini adalah data yang diperlukan untuk menganalisis penurunan pondasi.

Lapisan I : kedalaman -0.00 m s.d -6.00 m

Jenis tanah: lempung kelanauan, kondisi lunak

Diasumsikan sebagai berikut :

$$\gamma = 1,76 \text{ t/m}^3$$

$$C = 1,80 \text{ t/m}^3$$

$$\phi = 5^0$$

$$e = 1,06$$

$$\mu = 0,15 \rightarrow \text{angka poisson lempung kelanauan tidak padat}$$

E1 = modulus elastisitas lempung kelanauan tidak padat

$$= 1000 \text{ kN/m}^2 = 1000 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Atau} = 10. (N+15) \rightarrow \text{Nrata-rata} = 5,30$$

$$= 10.(5,3+15)$$

$$= 203 \text{ k/ft}^2 = 203. 4,9 = 994,7 \text{ t/m}^2$$

$$\Delta e = \frac{e}{10} \rightarrow \text{perubahan angka pori}$$

$$= \frac{1,06}{10}$$

$$= 0,106$$

$\Delta p = P_s - P_o$ (empiris) \rightarrow perubahan tekanan pori

$$= 10 \text{ kg/cm}^2$$

$$e_o = \frac{e}{0,42}$$

$$= \frac{1,06}{0,42}$$

$$= 2,52 \text{ (empiris)}$$

$mv_1 = \frac{\Delta e}{\Delta p \cdot (1 + e_o)} \rightarrow$ koefisien perubahan volume

$$= \frac{0,106}{10 \cdot (1 + 2,52)}$$

$$= 0,003$$

Lapisan II : kedalaman -0.00 m s.d -26.00 m

Jenis tanah: lempung kelanauan, kondisi lunak

Diasumsikan sebagai berikut :

$$\gamma = 1,89 \text{ t/m}^3$$

$$C = 4 \text{ t/m}^2$$

$$\phi = 4^\circ$$

$$e = 0,99$$

$\mu = 0,15 \rightarrow$ angka poisson lempung kelanauan tidak padat

$E_2 =$ modulus elastisitas lempung kelanauan tidak padat

$$= 1000 \text{ kN/m}^2 = 1000 \text{ t/m}^2$$

Atau $= 6 \cdot (N+15) \rightarrow$ Nrata-rata $= 12,11$

$$= 6 \cdot (12,11 + 15)$$

$$= 162,66 \text{ k/ft}^2 = 162,66 \cdot 4,9 = 797,034 \text{ t/m}^2$$

$\Delta e = \frac{e}{10} \rightarrow$ perubahan angka pori

$$= \frac{0,99}{10}$$

$$= 0,099$$

$\Delta p = P_s - P_o$ (empiris) \rightarrow perubahan tekanan pori

$$= 10 \text{ kg/cm}^2$$

$$e_o = \frac{e}{0,42}$$

$$= \frac{0,99}{0,42}$$

$$= 2,36 \text{ (empiris)}$$

$$mv_2 = \frac{\Delta e}{\Delta p \cdot (1 + e_o)} \rightarrow \text{koefisien perubahan volume}$$

$$= \frac{0,099}{10 \cdot (1 + 2,36)}$$

$$= 0,003$$

$$L_1 = \text{kedalaman tanah keras dari muka tanah rencana}$$

$$= 26,00 \text{ m}$$

$$D_1 = \text{kedalaman lapisan tanah 1 dari muka tanah rencana}$$

$$= 6,00 \text{ m}$$

$$D_2 = \text{kedalaman lapisan tanah 2 s.d tanah keras}$$

$$= 26,00 - 6,00 = 20,00 \text{ m}$$

$$\text{Drakit} = \text{kedalaman dasar pondasi rakit dari muka tanah rencana}$$

$$= \frac{2}{3} \times L \text{ tiang}$$

$$= \frac{2}{3} \times 26$$

$$= 17,33 \text{ m}$$

$$H_1 = \text{Drakit} - D_1$$

$$= 17,33 - 6,00$$

$$= 11,33 \text{ m}$$

$$H_2 = \frac{D_2}{2}$$

$$= \frac{20,00}{2}$$

$$= 10,00 \text{ m}$$

$$P_{\max} = P_{\text{actual}} + P_{\text{nf}}$$

$$= 181,57 \text{ ton}$$

$$B_2 = 2,00 \text{ m} \rightarrow \text{lebar pad}$$

$$B_2' = 2,00 \text{ m} \rightarrow \text{panjang pad}$$

$$B = (B_2 + 2) \times \frac{1}{4} \times D \text{ rakit} \rightarrow \text{lebar dasar pondasi rakit}$$

$$= (2 + 2) \times \frac{1}{4} \times 17,33$$

$$= 10,67 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 L &= (B2' + 2) \times \frac{1}{4} \times D \text{ rakit} \rightarrow \text{panjang dasar pondasi rakit} \\
 &= (2 + 2) \times \frac{1}{4} \times 17,33 \\
 &= 10,67 \text{ m} \\
 qp &= \frac{P_{max}}{B.L} \\
 &= \frac{181,57}{10,67 \cdot 10,67} \\
 &= 1,60 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

A. Penurunan Segera/Awal (*Immediate Settlement*)

Lapisan I : Tanah lapisan I dianggap mempunyai :

$$\begin{aligned}
 E1 &= 994,7 \text{ t/m}^2 \\
 \frac{H1}{B} &= \frac{11,33}{10,67} \\
 &= 1,06 \\
 \frac{L}{B} &= \frac{10,67}{10,67} \\
 &= 1,00 \\
 \frac{D \text{ rakit}}{B} &= \frac{17,33}{10,67} \\
 &= 1,63 \\
 \mu1 &= 0,20 \\
 \mu0 &= 0,80 \\
 S1 &= \frac{(\mu1 \cdot \mu0 \cdot qp \cdot B)}{E1} \\
 &= \frac{(0,20 \cdot 0,8 \cdot 1,60 \cdot 10,67)}{994,7} \\
 &= 0,003 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Lapisan I & II : Tanah lapisan I dianggap mempunyai :

$$\begin{aligned}
 E1 &= 797,03 \text{ t/m}^2 \\
 \frac{H1+D2}{B} &= \frac{11,33+20,00}{10,67} \\
 &= 2,94 \\
 \frac{L}{B} &= \frac{10,67}{10,67} \\
 &= 1,00
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{D_{rakit}}{B} &= \frac{17,33}{10,67} \\ &= 1,63 \\ \mu_1 &= 0,40 \\ \mu_0 &= 0,75 \\ S_1 &= \frac{(\mu_1 \cdot \mu_0 \cdot qp \cdot B)}{E_1} \\ &= \frac{(0,40 \cdot 0,75 \cdot 1,60 \cdot 10,67)}{797,03} \\ &= 0,006 \text{ m} \end{aligned}$$

Lapisan I : Tanah lapisan I dianggap mempunyai :

$$\begin{aligned} E_2 &= 797,03 \text{ t/m}^2 \\ \frac{H_1}{B} &= \frac{11,33}{10,67} \\ &= 1,06 \\ \frac{L}{B} &= \frac{10,67}{10,67} \\ &= 1,00 \\ \frac{D_{rakit}}{B} &= \frac{17,33}{10,67} \\ &= 1,63 \\ \mu_1 &= 0,2 \\ \mu_0 &= 0,8 \\ S_1' &= \frac{(\mu_1 \cdot \mu_0 \cdot qp \cdot B)}{E_1} \\ &= \frac{(0,2 \cdot 0,8 \cdot 1,60 \cdot 10,67)}{797,03} \\ &= 0,003 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka penurunan segera pada lapisan I & II :

$$\begin{aligned} S_i &= S_1 + S_2 - S_1' \\ &= 0,003 + 0,006 - 0,003 \\ &= 0,006 \text{ m} \end{aligned}$$

B. Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement*)

Lapisan I

$$\begin{aligned}\Delta p_1 &= \frac{P_{\max}}{(B+0,5 H_1).(L+0,5H_1)} \\ &= \frac{181,57}{(10,67+0,5 .11,33).(10,67+0,5.11,33)} \\ &= 0,68 \text{ t/m}^2 \\ S_1 &= \Delta p_1 \times m_{v1} \times H_1 \\ &= 0,023 \text{ m}\end{aligned}$$

Lapisan II

$$\begin{aligned}\Delta p_1 &= \frac{P_{\max}}{(B+H_1+ H_2).(L+H_1+H_2)} \\ &= \frac{181,57}{(10,67+ 11,33+10,00).(10,67+ 11,33+10,00)} \\ &= 0,18 \text{ t/m}^2 \\ S_1 &= \Delta p_1 \times m_{v1} \times H_1 \\ &= 0,010 \text{ m} \\ \beta &= \text{faktor reduksi penurunan konsolidasi untuk lempung kelanauan yang} \\ &\text{terkonsolidasi normal} \\ &= 0,85 \\ \text{Maka penurunan segera pada lapisan I \& II :} \\ S_c &= \beta \times (S_1 + S_2) \\ &= 0,85 \times (0,023 + 0,010) \\ &= 0,029 \text{ m}\end{aligned}$$

C. Penurunan Total Kelompok Tiang

$$\begin{aligned}\text{Penurunan total (S)} &= \text{Penurunan Segera (S}_i\text{)} + \text{Penurunan Konsolidasi (S}_c\text{)} \\ &= 0,006 + 0,029 \\ &= 0,034 \text{ m} \quad = 3,434 \text{ cm}\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}S \text{ (penurunan total)} &< S \text{ ijin (10\% x D)} \\ \mathbf{0,034 \text{ m}} &< \mathbf{0,04 \text{ m}} \rightarrow \mathbf{OK}\end{aligned}$$

D. Waktu Penurunan

a. Diasumsikan Waktu Penurunan $t = 5$ tahun

- Konsolidasi drainase lapisan tanah lempung kelanauan adalah lolos air sehingga bersifat ganda dengan data sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H_t &= \frac{H_1 + H_2}{2} \\ &= \frac{11,33 + 10,00}{2} \\ &= 10,67 \text{ m} \end{aligned}$$

$$t = 5 \text{ tahun}$$

$$\begin{aligned} C_v &= \frac{0,197 \times H t^2}{t} \rightarrow \text{koefisien konsolidasi kedalaman } 0 - 6 \text{ m} \\ &= \frac{0,197 \times 10,67^2}{5} = 4,483 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_v &= \frac{C_v \times t}{H t^2} \rightarrow \text{faktor waktu} \\ &= \frac{4,483 \times 5}{10,67^2} = 0,197 \end{aligned}$$

- Dianggap U (derajat konsolidasi) $< 60\%$, maka :

$$\begin{aligned} T_v &= \left\{ \frac{4 \times T_v}{\pi} \right\}^{0,5} \\ &= \left\{ \frac{4 \times 0,197}{\pi} \right\}^{0,5} \\ &= 0,501 < 0,60 \rightarrow \text{asumsi OK} \end{aligned}$$

$$S_c = 0,029 \text{ m} \rightarrow \text{penurunan konsolidasi total}$$

$$\begin{aligned} S_t &= U \times S_c \rightarrow \text{penurunan konsolidasi setelah 5 tahun} \\ &= 0,501 \times 0,029 \\ &= 0,014 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_i &= \text{penurunan segeradengan faktor koreksi kekakuan pondasi sebesar } 0,80 \\ &= 0,80 \times (S_1 + S_2 - S') \\ &= 0,005 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_5 &= (S_i + S_t) \rightarrow \text{penurunan konsolidasi setelah 5 tahun} \\ &= 0,005 + 0,014 \\ &= 0,019 \end{aligned}$$

Maka :

$$0,019 \text{ m} < S \text{ total}$$

$$0,019 \text{ m} < 0,034 \text{ m} \rightarrow \text{OK}$$

b. Diasumsikan Waktu Penurunan $t = 50$ tahun

- Konsolidasi drainase lapisan tanah lempung kelanauan adalah lolos air sehingga bersifat ganda dengan data sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H_t &= \frac{H_1 + H_2}{2} \\ &= \frac{11,33 + 10,00}{2} \\ &= 10,67 \text{ m} \end{aligned}$$

$$t = 50 \text{ tahun}$$

$$\begin{aligned} C_v &= \frac{0,197 \times H_t^2}{t} \rightarrow \text{koefisien konsolidasi kedalaman } 0 - 8 \text{ m} \\ &= \frac{0,197 \times 10,67^2}{50} \\ &= 0,448 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_v &= \frac{C_v \times t}{H_t^2} \rightarrow \text{faktor waktu} \\ &= \frac{0,448 \times 50}{10,67^2} \\ &= 0,020 \end{aligned}$$

- Dianggap U (derajat konsolidasi) $< 60\%$, maka :

$$T_v = (1,781 - 0,933) \times \text{Log} (100 - U\%)$$

$$T_v = (1,781 - 0,933) \times \text{Log} (100 - U\%)$$

$$U = 77,170 > 60\% \rightarrow \text{asumsi OK}$$

$$S_c = 0,029 \text{ m} \rightarrow \text{penurunan konsolidasi total}$$

$$S_t = U \times S_c \rightarrow \text{penurunan konsolidasi setelah 5 tahun}$$

$$= 77,170 \times 0,029$$

$$= 0,022 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} S_i &= \text{penurunan segera dengan faktor koreksi kekakuan pondasi} \\ &\text{sebesar } 0,80 \end{aligned}$$

$$= 0,80 \times (S_1 + S_2 - S')$$

$$= 0,005 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} S_5 &= (S_i + S_t) \rightarrow \text{penurunan konsolidasi setelah 5 tahun} \\ &= 0,005 + 0,022 \\ &= 0,0267 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka :

$$0,0267 \text{ m} < S \text{ total}$$

$$0,0267 \text{ m} < 0,034 \text{ m} \rightarrow \text{OK}$$



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penulisan laporan tugas akhir dengan judul “Perencanaan Struktur Beton Bertulang Untuk Gedung Laboratorium Terpadu 5 Lantai” antara lain sebagai berikut,

1. Data Perencanaan

- Mutu beton : 25 MPa
- Mutu baja : 420 MPa
- Tebal pelat : 120 mm (Lantai)
: 130 mm (Atap)
- Jumlah lantai : 5 lantai
- Ketinggian tiap lantai

No	Lantai	Tinggi Bangunan (m)
1	dak	19,9
2	Ring Balk	17,6
3	Lantai 5	16,6
4	Lantai 4	12,6
5	Lantai 3	8,4
6	Lantai 2	4,2
7	Lantai 1	0

2. Perencanaan kerangka atas dengan mengacu pada standard peraturan yang berlaku di Indonesia menghasilkan desain sebagai berikut,

a. Desain rangka atap

- Batang Diagonal
Profil 2L 70.70.7
Profil 2L 60.60.6
- Batang Horizontal

Profil Pipa 4"

- b. Desain kolom dan balok yang ditinjau dengan digunakan tulangan sebagai berikut ini :

No	Tipe Kolom	Kode Kolom	Tulangan Utama		Sengkang Geser	
			Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan
1	K(500x650)	K1	20D19	20D19	2D13-100	3D13-100
2	K(400x600)	K2	18D19	18D19	D10-100	2D10-100
3	K(300x400)	K3	12D16	12D16	D10-150	2D10-100

No	Tipe Balok	Kode Balok	Bagian	Tulangan Utama		Sengkang Geser	
				Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan
1	300 X 600	G1	atas	5D19	6D19	2D10-150	3D10-100
			bawah	6D19	3D19		
			pinggang	4D10	4D10		
2	250 X 600	G2	atas	3D19	5D19	2D10-150	2D10-100
			bawah	5D19	3D19		
			pinggang	4D10	4D10		
3	250 X 500	G3	atas	3D19	5D19	2D10-150	2D10-100
			bawah	5D19	3D19		
			pinggang	2D10	2D10		
4	250 X 450	G4	atas	3D19	3D19	2D10-150	2D10-100
			bawah	3D19	3D19		
			pinggang	2D10	2D10		
5	250 X 450	B1	atas	3D19	3D19	2D10-150	2D10-100
			bawah	3D19	3D19		
			pinggang	2D10	2D10		
6	200 X 400	B2	atas	2D16	2D16	2D10-150	D10-100
			bawah	2D16	2D16		
			pinggang	2D10	2D10		

7	200 X 300	B3	atas	2D16	3D16	D10-150	D10-100
			bawah	3D16	2D16		
			pinggang	-	-		
8	250 X 400	B4	atas	3D16	3D16	D10-150	D10-100
			bawah	3D16	2D16		
			pinggang	2D10	2D10		
9	150 X 250	BA	atas	2D10	2D10	D10-150	D10-100
			bawah	2D10	2D10		
			pinggang	-	-		

c. Desain pelat

Pelat	Tebal Pelat	Arah	
		Arah X	Arah Y
S1	120 mm	D10-150	D10-150

Pelat	Posisi	Tumpuan	Lapangan	Susut
S2	Atas	D13-300	D13-150	D13-400
	Bawah	D13-300	D13-150	

Pelat	Posisi	Tumpuan	Lapangan	Susut
S3	Atas	D10-300	D10-150	D10-400
	Bawah	D10-300	D10-150	

Pelat	Tebal Pelat	Arah	
		Arah X	Arah Y
S4	130 mm	D10-150	D10-150

d. Desain Sloof

Dimensi Sloof = 300mm x 500mm

Tulangan lentur = 2D16

Tulangan Senggang = D10 – 200

e. Tangga

Tebal pelat tangga = 150 mm

Tebal selimut beton = 40 mm

Tulangan lentur = D13-150 mm

Tulangan susut = D10-200

f. Lift

Merk = PT Hyundai Elevator

Tipe lift = Passenger Elevator / Lift penumpang

Kapasitas = 6 kN

Kecepatan = 60 MPM

Dimensi sangkar (Car Size)

Car Wide (CW) = 1400 mm

Car Depth (CD) = 1100 mm

Opening = 800 mm

Dimensi ruang luncur (Hoistway)

Hoistway Width (HW) = 1800 mm

Hoistway Depth (HD) = 1750 mm

Beban ruang mesin

R1 = 35 kN

R2 = 27 kN

Tulangan Sengakang : D10 – 200

Tulangan lentur Tekan : 2D22

Tulanagn Lentur Tarik : 2D19

g. Desain kerangka bawah yang terdiri dari fondasi, *pilecap* menghasilkan desain elemen sebagai berikut,

- Fondasi yang digunakan adalah tiang pancang prestressed dengan diameter 40 cm dipancang hingga kedalaman 26m. Tiang pancang yang direncanakan merupakan tiang grup.

- Desain pilecap type P1

Dimensi 2000 x 1000 x 600 dengan 2 tiang grup menggunakan tulangan D16-200 pada wilayah tarik dan D16-200 di wilayah tekan. Diameter tulangan susut yang digunakan adalah $\varnothing 12 - 150$ mm.

- Desain pilecap type P2

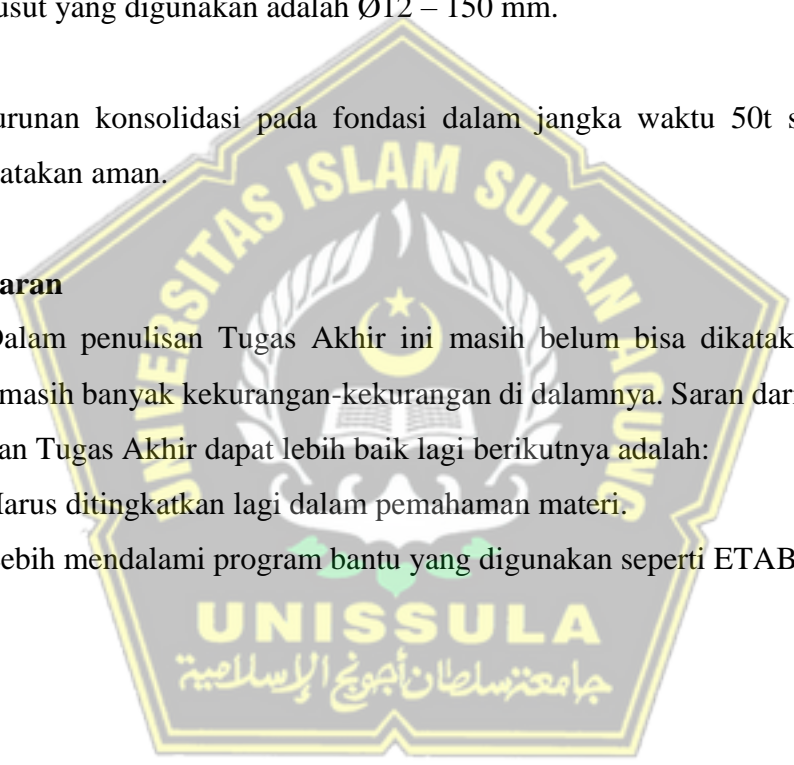
Dimensi 2000 x 2000 x 600 dengan 3 tiang grup menggunakan tulangan D19-200 pada wilayah tarik dan D19-200 di wilayah tekan. Diameter tulangan susut yang digunakan adalah $\varnothing 12 - 150$ mm.

- h. Penurunan konsolidasi pada fondasi dalam jangka waktu 50t sbesar 0,34m dinyatakan aman.

5.2 Saran

Dalam penulisan Tugas Akhir ini masih belum bisa dikatakan sempurna karena masih banyak kekurangan-kekurangan di dalamnya. Saran dari penulis agar penulisan Tugas Akhir dapat lebih baik lagi berikutnya adalah:

1. Harus ditingkatkan lagi dalam pemahaman materi.
2. Lebih mendalami program bantu yang digunakan seperti ETABS V.19.0.0.



DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). SNI 1729:2020 Spesifikasi Bangunan Gedung Baja Struktural. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Fadli, M. Hamzah. (2015). *Aplikasi ETABS pada Perancangan Gedung 15 Lantai Dengan Struktur Beton Bertulang Menggunakan Sistem Ganda Sebagai Penahan Beban Gempa Sesuai SNI 1726:2012*. Jakarta: Universitas Gunadarma
- Imran, I. dan Zulkifli, E. (2014). *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*. Bandung: ITB Press
- Imran, I. dan Hendrik, F. (2016). *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*. Bandung: ITB Press
- KH, Sunggono. 1984. *Buku Teknik Sipil*. Bandung: Nova
- Puspita, Rizka Rahmi. (2017). *Desain Struktur Gedung Hotel Swiss-Bellin Darmocentrum Surabaya Menggunakan Sistem Ganda dan Metode Pelaksanaan Pekerjaan Balok – Plat Lantai*. Surabaya: ITS Digilib