

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KETIDAKBERATURAN PADA APARTEMEN 12 LANTAI

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



Disusun Oleh :

Nugroho Adi Purnomo

NIM : 30.2017.00.139

Rizaldhy Habibie Firmansyah

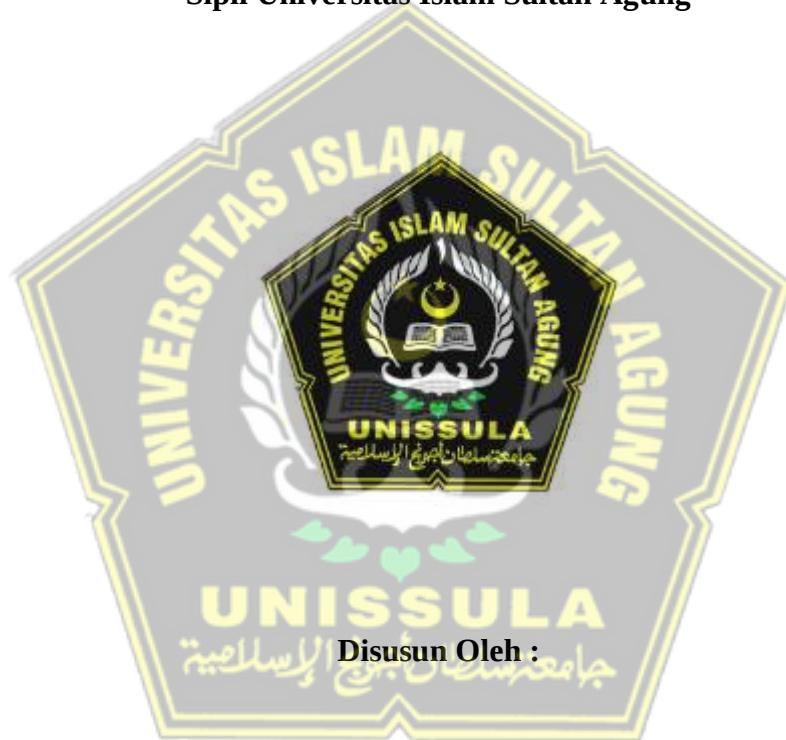
NIM : 30.2017.00.159

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2021**

TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG
KETIDAKBERATURAN PADA APARTEMEN 12 LANTAI**

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



Nugroho Adi Purnomo

NIM : 30.2017.00.139

Rizaldhy Habibie Firmansyah

NIM : 30.2017.00.159

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

2021

HALAMAN PERSETUJUAN

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KETIDAKBERATURAN PADA APARTEMEN 12 LANTAI

Yang diajukan oleh :

Nugroho Adi Purnomo

NIM : 30.2017.00.139

Rizaldhy Habibie Firmansyah

NIM : 30.2017.00.159

Telah disetujui oleh :

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

Tanggal : **4. Agustus 2021**

Pembimbing Pendamping

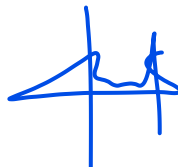


Selvia Agustina. ST,.M.Eng

Tanggal : **4 Agustus 2021**

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar. ST,.M.Eng



**YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)**

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 PO.BOX 1054/SM
Telp. (024)6583584 Fax. (024)6582455 <http://www.unissula.ac.id>

HALAMAN PENGESAHAN

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KETIDAKBERATURAN PADA
APARTEMEN 12 LANTAI**

Oleh :



Nugroho Adi Purnomo
NIM : 3.02.017.00139



Rizaldhy Habibie Firmansyah
NIM : 3.02.017.00159

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 27 Juli 2021

Tim Penguji

1. Prof. Dr. Ir. Antonius ,MT
2. Selvia Agustina ,ST.,M.Eng
3. Lisa Fitriana ,ST.,M,Eng

Tanda Tangan

Universitas Islam Sultan Agung
Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik

Ketua,

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng



**YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)**

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 PO.BOX 1054/SM
Telp. (024)6583584 Fax. (024)6582455 <http://www.unissula.ac.id>

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No:

Pada hari ini tanggal Juli 2021 berdasarkan surat keputusan rektor Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang perihal penunjukan dosen pembimbing dan asisten dosen pembimbing :

1. Nama : Prof. Dr. Ir. Antonius, MT.
Jabatan Akademik : Guru Besar
Jabatan : Dosen Pembimbing I
2. Nama : Selvia Agustina, ST, M.Eng
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing II

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

Nama : Nugroho Adi Purnomo Nama : Rizaldhy Habibie F
NIM : 3.02.017.00139 NIM : 3.02.017.00159

Judul : PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KETIDAKBERATURAN PADA APARTEMEN 12 LANTAI

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	08-04 -2021	ACC
2	Proposal	14-04-2021	ACC
3	Pengumpulan data	24-05-2021	ACC
4	Analisis data	12-06-2021	ACC
5	Penyusunan laporan	30-06-2021	ACC
6	Selesai laporan	20-07-2021	ACC

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

Pembimbing I

(Prof. Dr. Ir. Antonius ,MT)

Pembimbing II

(Selvia Agustina, ST, M.Eng)

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik UNISSULA

(Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng)

PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nugroho Adi Purnomo (30201700139)

Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

**“PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG
KETIDAKBERATURAN PADA APARTEMEN 12 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, ... Juli 2021

Yang membuat pernyataan,



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda – tangan dibawah ini :

NAMA : Nugroho Adi Purnomo 30.2017.00.139
Rizaldhy Habibie Firmansyah 30.2017.00.159

JUDUL SKRIPSI : PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG
KETIDAKBERATURAN PADA APARTEMEN 12
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 ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

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

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, 2021
Yang membuat pernyataan ,

(materai Rp 10.000,-)
Nugroho Adi Purnomo

Semarang, 2021
Yang membuat pernyataan ,

(materai Rp 10.000,-)
Rizaldhy Habibie Firmansyah

MOTTO

طَلَبُ الْعِلْمِ فَرِيضَةٌ عَلَى كُلِّ مُسْلِمٍ

1. Menuntut ilmu adalah kewajiban bagi setiap muslim. (HR. Ibnu Majah)
2. Barangsiapa yang menempuh suatu jalan untuk menuntut ilmu, maka Allah Swt akan memudahkan baginya jalan menuju surga. (HR. Muslim)
3. Ambilah kebaikan dari apa yang dikatakan, jangan melihat siapa yang mengatakan (HR. Nabi Muhammad SAW)
4. Selesaikanlah apa yang sudah kamu mulai. (Anonymous)
5. *Education is the key to unlocking the world, a passport to freedom.* (Oprah Winfrey)
6. Hanya Pendidikan yang bisa menyelamatkan masa depan, tanpa Pendidikan Indonesia tak mungkin bertahan (Najwa Shihab)
7. Pendidikan mempunyai akar yang pahit tapi buahnya manis. (Aristoteles)
8. Bahwa tiada yang orang dapatkan, kecuali yang ia usahakan, dan bahwa usahanya akan kelihatan mestinya. “(Qs. An Najm : 39-40)”

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua saya. Bapak Nuri dan Ibu Azizah yang senantiasa berjuang dan berdo'a agar putranya dapat menyelesaikan program pendidikan tinggi, serta keluarga besar yang telah memberikan segenap kasih sayang, semangat, motivasi, dan do'a untuk keberkahan saya dalam mencari ilmu yang bermanfaat serta memotivasi untuk mengejar impian menjadi manusia yang berpendidikan dan mengedepankan akhlak untuk dunia dan akhirat.
2. Saudara dan keluarga besar saya yang telah memberikan dukungan dan doa sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
3. Prof. Dr. Ir. Antonius ,MT dan Ibu Selvia Agustina, ST., MT. yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Kepada bapak dan ibu dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah banyak mengajarkan saya tentang ilmu-ilmu keteknikan yang didampingi dengan ilmu agama yang sebelumnya saya tidak ketahui serta selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya agar kedepan bisa sukses secara dunia dan akhirat.
5. Rizaldhy Habibie Firmansyah yang sebagai partner Tugas Akhir ini yang telah berjuang bersama-sama dan saling membantu dalam mengerjakan tugas akhir.
6. Teman sedosen pembimbing saya Asfha,Rizaldhy,Alvina,Jambi,Anang.
7. Teman-teman fakultas teknik angkatan 2017 yang turut memberikan semangat kepada saya khususnya teman-teman kelas sipil C 2017.

Nugroho Adi Purnomo

NIM : 30.2017.00.139

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua saya. Bapak Riyanto dan Ibu Roisah yang selalu berjuang agar anaknya dapat menyelesaikan program pendidikan tinggi, serta keluarga besar yang telah memberikan segenap kasih sayang, semangat, motivasi, dan do'a untuk keberkahan saya dalam mencari ilmu yang bermanfaat serta memotivasi untuk mengejar impian menjadi manusia yang mengedepankan akhlak untuk dunia dan akhirat.
2. Kepada dosen pembimbing Bapak Prof. Dr.Ir Antonius., MT dan Ibu Selvia Agustina.,ST,M.Eng saya ucapkan terimakasih yang telah membimbing dari nol hingga gelar sarjana.
3. Kepada dosen-dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah banyak mengajarkan saya tentang ilmu-ilmu keteknikan yang didampingi dengan ilmu agama yang sebelumnya saya tidak ketahui serta selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya agar kedepan bisa sukses secara dunia dan akhirat.
4. Nugroho Adi Purnomo yang sebagai partner Tugas Akhir ini yang telah berjuang bersama-sama dan saling membantu dalam mengerjakan tugas akhir.
5. Sri Haryani yang memberi support selama mengerjakan Tugas Akhir.
6. Kepada keluarga Kost Retro Karmad, Akbar, Luwak, Jerapah, Kipli, Suryadin, Jambi, Goceng yang selalu memberi wejangan disaat mempunyai pikiran mentok.
7. Teman-teman fakultas teknik angkatan 2017 yang turut memberikan semangat kepada saya khususnya teman-teman kelas sipil C 2017.

Rizaldhy Habibie Firmansyah

NIM : 30.2017.00.159

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan Kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KETIDAKBERATURAN PADA APARTEMEN 12 LANTAI”** guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, tiada kata-kata yang lebih tepat untuk diucapkan dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Prof. Dr. Ir. Antonius ,MT yang telah membantu, memberikan saran, dan mengajarkan saya mempelajari ilmu struktur gedung untuk tugas akhir kami.
4. Mas Lintang dan Wildan yang telah membantu, memberikan saran, dan mengajarkan saya mempelajari permodelan dan pengecekan permodelan struktur atas dengan menggunakan *software* ETABS.
5. Semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari keterbatasan ilmu pengetahuan, kemampuan, pemahaman, dan kurangnya pengalaman yang dimiliki, dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dari segi kuantitas maupun kualitas secara ilmu pengetahuan maupun penguasaan materi.

Oleh karena itu, penyusun mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun sehingga dapat memberikan hasil yang lebih baik pada tahun yang akan datang dengan topik yang sama dan dapat bermanfaat bagi institusi pendidikan kedepannya.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Semarang, Juli 2021

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR.....	iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	v
PERNYATAAN KEASLIAN.....	vi
MOTTO	vii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR	xxiii
DAFTAR NOTASI.....	xxv
ABSTRAK	xxviii

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan Tugas Akhir	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 Kriteria Desain Struktur	6
2.2.1 Kemampuan Layan (<i>Serviceability</i>).....	6
2.2.2 Efisiensi	7
2.2.3 Konstruksi	7
2.2.4 Kriteria Berganda	7
2.2.5 Lain-lain	8
2.3 Konsep Dasar Mekanisme Gempa	8
2.4 Persyaratan Peraturan Gempa SNI-1726-2019	8
2.4.1 Kategori Risiko Struktur Bangunan	9
2.4.2 Kategori Desain Seismik.....	11
2.4.3 Wilayah Titik Gempa dan Parameter Respons Spektral Perc gempa .	12
2.4.4 Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Rencana	14
2.4.5 Desain Respon Spektrum	14
2.4.6 Kombinasi Sistem Perangkai Dalam Arah Yang Berbeda.....	15
2.4.7 Batasan Periode Fundamental Struktur	16
2.4.8 Geser Dasar Seismik	17
2.4.9 Penentuan dan Batasan Simpangan Antar Lantai	18
2.5 Analisa Spektrum Respon Ragam	10
2.5.1 Jumlah Ragam	19
2.5.2 Batasan Nilai Gaya Geser Dasar (<i>Base Shear</i>)	19
2.6 Konsep Pembebanan	19
2.6.1 Beban Mati (<i>Dead Load</i>)	20
2.6.2 Beban Hidup (<i>Live Load</i>).....	20
2.6.3 Kombinasi Pembebanan	20
2.7 Perencanaan Struktur Atas	21
2.7.1 Desain Kapasitas	21
2.7.2 Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	23
2.7.3 Sistem Ganda	30

2.7.4 Sistem Dinding Geser (<i>Shear Wall</i>).....	32
2.7.5 Desain Pelat	34
2.8. Perencanaan Struktur Bawah	35
2.8.1 <i>Tie Beam</i>	36
2.8.2 Pondasi <i>Bored Pile</i>	36
2.8.3 Kapasitas Daya Dukung Data Lapangan Berdsarkan Hasil SPT	38
2.8.4 Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Grup.....	38
2.8.5 Efisiensi Grup Tiang	41
2.8.6 Penurunan Pondasi Tiang Pada Batuan (Lapisan Tanah Keras).....	42
2.8.7 Penurunan Tiang Kelompok	44
2.8.8 Beban Maksimum Yang Diterima Oleh Tiang	45
2.8.9 Penulangan Tulangan Utama	45
2.8.10 Perhitungan Tulangan Sengkang.....	48
2.8.11 Perencanaan Tebal <i>Pile Cap</i>	49
2.8.12 Penulangan <i>Pile Cap</i>	49
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Pengumpulan Data.....	51
3.2 Perencanaan dan Analisis Perhitungan Struktur.....	51
3.3 Diagram Alir.....	56
BAB IV ANALISA PERHITUNGAN	
4.1 Pra-Pendimesian dan Permodelan Struktur	58
4.1.1 Pradimensi Komponen Struktur	58
4.1.2 Permodelan Struktur	60
4.2 Formulasi Pembebanan Struktur	61
4.3 Mutu Bahan Struktur	62
4.4 Analisa Desain Seismik	62
4.4.1 Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Gempa	62
4.4.2 Klasifikasi Situs	62
4.4.3 Parameter Respons Spektral Gempa Terpetakan	63
4.4.4 Parameter Respons Spektral Gempa Tertarger	64

4.4.5 Parameter Respons Spektral Gempa Desain	64
4.4.6 Spektrum Respons Desain.....	64
4.4.7 Sistem Struktur dan Parameternya	65
4.4.8 Kategori Desain Seismik dan Penahan Gaya Gempa	67
4.4.9 Analisis Getaran Bebas Struktur	67
4.4.10 Penentuan Perioda Desain.....	69
4.4.11 Kontrol Gaya Geser Dasar Seismik	71
4.4.12 Perhitungan Massa Terpusat Tiap Lantai.....	72
4.4.13 Gaya Geser Dasar (<i>Base Shear</i>).....	73
4.4.14 Distribusi Gaya Gempa Statik Tiap Lantai	73
4.4.15 Gaya Geser Statik Tiap Lantai	74
4.5 Pembebanan Gempa Dinamik Respons Spektra	75
4.6 Relasi Beban Gempa Statik-Dinamik	79
4.7 Beban Gempa Desain	83
4.8 Gaya Gempa Lateral Desain	85
4.9 Kontrol Desain	86
4.10 Analisis Sistem Ganda	92
4.11 Perencanaan Pelat	93
4.11.1 Penentuan Tipe Pelat.....	93
4.11.2 Analisis Pembebanan	93
4.11.3 Penentuan Nilai Momen.....	94
4.11.4 Desain Penulangan Pelat	95
4.12 Perencanaan Balok	98
4.12.1 Perhitungan Tulangan Lentur Balok	98
4.12.2 Cek Persyaratan Momen Balok <i>Design</i>	110
4.12.3 Perhitungan Tulangan Geser Balok	110
4.12.4 Perhitungan Tulangan Torsi	113
4.13 Perencanaan Kolom	119
4.13.1 Cek Penampang Kolom.....	119
4.13.2 Cek Tulangan Longitudinal Penampang Kolom.....	120

4.13.3 Cek Kuat Lentur Minimum	121
4.13.4 Cek Tulangan Transversal.....	121
4.14 Perencanaan Dinding Geser (<i>Shear Wall</i>).....	125
4.14.1 Cek Syarat Tulangan Minimum	126
4.14.2 Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur	127
4.14.3 Perhitungan Tulangan Dinding Geser	128
4.14.4 Cek Kuat Geser Dinding	128
4.14.5 Cek Kebutuhan Elemen Batas Khusus.....	129
4.14.6 Penentuan Elemen Batas Khusus Daerah Kolom	130
4.14.7 Penulangan Elemen Batas Khusus Daerah Badan	132
4.15 Perencanaan Perencanaan <i>Tie Beam</i>	134
4.15.1 Perhitungan Tulangan	134
4.15.2 Perhitungan Tulangan Puntir.....	135
4.15.3 Perhitungan Tulangan Lentur.....	136
4.15.4 Daerah Tumpuan Kanan	138
4.15.5 Daerah Tumpuan Kiri	143
4.15.6 Daerah Lapangan	148
4.15.7 Perhitungan Tulangan Geser	153
4.16 Perencanaan Pondasi <i>Bored Pile</i>	157
4.16.1 Perhitungan Daya Dukung Lapangan Nilai SPT Metode Mayerhof	157
4.16.2 Kebutuhan Jumlah Tiang	159
4.16.3 Perhitungan Efisiensi Tiang	159
4.16.4 Daya Dukung Grup Tiang.....	160
4.16.5 Perhitungan <i>Settlement</i> Pondasi	160
4.16.6 Perhitungan P Maksimum Yang Diterima Pondasi P-12.....	164
4.16.7 Perhitungan Momen Maksimum Pada Pondasi Tipe P-12	164
4.16.8 Perhitungan Tulangan Utama Yang Terjadi Terjadi <i>Bored Pile</i>	166
4.16.9 Perhitungan Tulangan Transversal Pondasi <i>Bored Pile</i>	169
4.17 Perencanaan Tebal <i>Pile Cap</i>	171
4.17.1 Perhitungan Tulangan <i>Pile Cap</i>	172

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan174

5.2 Saran.....176

DAFTAR PUSTAKAxxix

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

2.1 Tabel Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Non Gedung	9
2.2 Tabel Faktor Keutamaan Gempa.	11
2.3 Tabel Kategori Desain Seismik Pada Periode Pendek.....	11
2.4 Tabel Kategori Desain Seismic Pada Periode 1 Detik	12
2.5 Tabel Koefisien Situs Fa	13
2.6 Tabel Koefisien Situs Fv	13
2.7 Tabel Faktor R, C_d, Ω_0 Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa	16
2.8 Tabel Syarat Syarat Pada Aplikasi Tipikal	31
2.9 Tabel Ketebalan Pelat Satu Arah	35
2.10 Tabel Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah.....	35
4.1 Tabel Penampang Balok	58
4.2 Tabel Penampang Kolom.....	58
4.3 Tabel Penampang Pelat.....	59
4.4 Tabel Penampang Dinding Geser	59
4.5 Tabel Nilai N-SPT <i>Site</i> Proyek	63
4.6 Tabel Data Parameter Respons Spektral Terpetakan	63
4.7 Tabel Data Parameter Respons Spektral Tertaget.....	64
4.8 Tabel Data Parameter Spektral Gempa Desain	64
4.9 Tabel Respons Spektrum Desain	65
4.10 Tabel Parameter Sistem Struktur	66

4.11 Tabel Bentuk Ragam dan Waktu Getar Struktur	68
4.12 Tabel <i>Modal Load Participation Ratios</i>	68
4.13 Tabel <i>Modal Direction Factor</i>	68
4.14 Tabel Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	70
4.15 Tabel Koefisien Batas Atas Perioda	70
4.16 Tabel Massa Efektif Tiap Lantai dan Lokasi Titik Berat	73
4.17 Tabel Distribusi Gaya Gempa Statik Ekvivalen Tiap Lantai	74
4.18 Tabel Gaya Geser Statik Tiap Lantai	75
4.19 Tabel Gaya Geser Dinamik Respons Spektrum	78
4.20 Tabel Gaya Geser Dinamik Respons Spektrum Otomatis	78
4.21 Tabel Hasil Perbandingan Gaya Geser Dinamik	78
4.22 Tabel Gaya Geser Dinamik Arah X Tiap Lantai	79
4.23 Tabel Gaya Geser Dinamik Arah Y Tiap Lantai	80
4.24 Tabel Gaya Geser Statik dan Dinamik Tiap Lantai	81
4.25 Tabel Relasi Gaya Gempa Statik-Dinamik	82
4.26 Tabel Gaya Geser Dinamik Terkoreksi (<i>Dinamik Correction</i>)	83
4.27 Tabel Gaya Geser Desain Tiap Lantai	84
4.28 Tabel Gaya Gempa Desain	85
4.29 Tabel Simpangan Maksimum Lantai Akibat Gempa Arah X	86
4.30 Tabel Simpangan Maksimum Lantai Akibat Gempa Arah Y	86
4.31 Tabel Simpangan Antar Tingkat Ijin X	87
4.32 Tabel Simpangan Antar Tingkat Ijin Y	88

4.33 Tabel Beban P (<i>Gravity</i>) Kumulatif.....	90
4.34 Tabel Cek Kestabilan Akibat Gempa X.....	90
4.35 Tabel Cek Kestabilan Akibat Gempa Y	91
4.36 Tabel Pelat Yang Ditinjau.....	95
4.37 Tabel Besaran Gaya-gaya Dalam Balok 400 x 800 mm.....	98
4.38 Tabel Momen Tumpuan dan Lapangan Balok 400 x 800 mm.....	110
4.39 Tabel Gaya Geser Dalam Balok 400 x 800 mm	111
4.40 Tabel Detail Penulangan Balok Bangunan Apartemen.....	118
4.41 Tabel Data Rencana Kolom 700 x 900 mm.....	119
4.42 Tabel Gaya Aksial dan Momen Kolom 800 x 1000 mm	119
4.43 Tabel Detail Penulangan Kolom.....	125
4.44 Tabel Data Rencana Dinding Geser.....	126
4.45 Tabel Gaya Aksial dan Momen Dinding Geser Hasil Analisis Program.....	126
4.46 Tabel Gaya Geser Dinding Hasil Analisis Program	126
4.47 Tabel Penulangan Kolom Sejajar Dinding Geser	133
4.48 Tabel Penulangan Badan Dinding Geser	133
4.49 Tabel Dimensi <i>Tie Beam</i>	156
4.50 Tabel Hubungan SPT Hubungan SPT Dengan Properti Tanah	157
4.51 Tabel Hubungan Jenis Dan Sudut Geser Dalam	157
4.52 Tabel Hasil Dari Ujung Tiang Sampai 4D Diatasnya.....	158
4.53 Tabel Nilai Rata-Rata Sepanjang Tiang.....	158
4.54 Tabel Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah	161

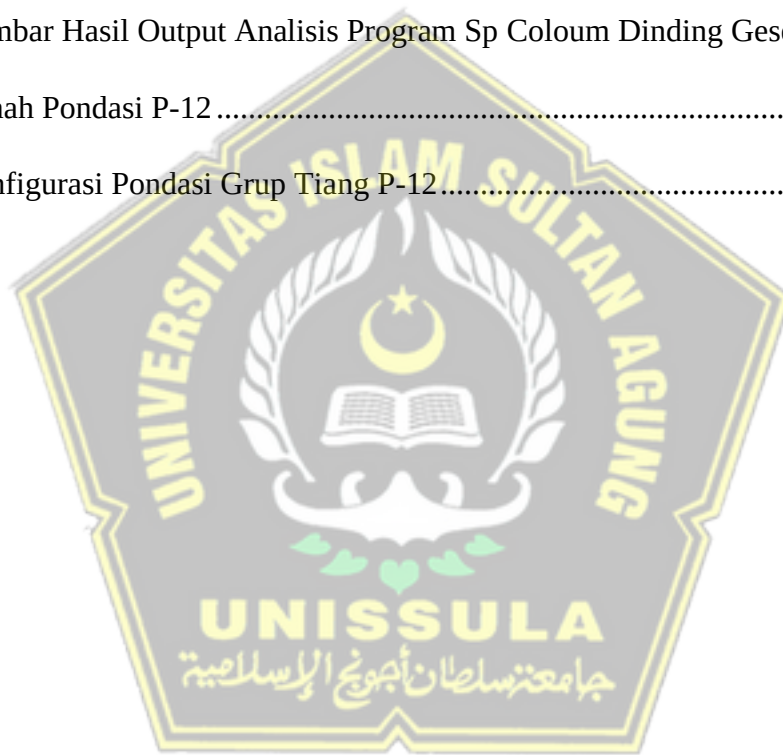
4.55 Tabel Jenis Tanah Dan Nilai <i>Poisson's Ratio</i>	162
4.56 Kriteria Jenis tiang	165



DAFTAR GAMBAR

2.1 Gambar Grafik Spektrum Respons Desain	15
2.2 Gambar Simpangan Antar Lantai.....	18
2.3 Gambar Mekanisme Keruntuhan Rangka	23
2.4 Gambar Sengkang Tertutup	26
2.5 Gambar Geser Rencana Balok	27
2.6 Gambar Sistem Ganda.....	30
2.7 Gambar Gaya Dinding Pada Arah Yang Berlawanan.....	33
2.8 Gambar Konstruksi Grup Tiang.....	39
2.9 Gambar Konfigurasi Tiang Dalam Grup.....	40
2.10 Gambar Mobilisasi Keruntuhan	42
2.11 Gambar Tiga Macam Penurunan Pondasi Tiang Di Lapisan Batuan	42
3.1 Gambar Diagram Alir	56
4.1 Gambar Permodelan Struktur 3d Tampak Depan Perfektif	60
4.2 Gambar Permodelan Struktur 3d Tampak Belakang Perfektif	60
4.3 Gambar Grafik Respons Spektrum Desain	76
4.4 Gambar Kurva Respons Spektrum Desain.....	77
4.5 Gambar Grafik Perbandingan Gempa Statik Dan Dinamik Arah X.....	81
4.6 Gambar Grafik Perbandingan Gempa Statik Dan Dinamik Arah Y	82
4.7 Gambar Simpangan Antar Tingkat Arah X	87
4.8 Gambar Simpangan Antar Tingkat Arah Y	88

4.9 Gambar Tipe Pelat Yang Ditinjau.....	93
4.10 Gambar Detail Penulangan Balok 400 X 800	118
4.11 Gambar Diagram Interaksi Pu,M2,Dan M3 Pada Kolom	120
4.12 Gambar Momen Nominal Kolom Terkecil	121
4.13 Gambar Momen Nominial Kolom Terbesar	123
4.14 Gambar Detail Penulangan Kolom 700 X 900	125
4.15 Gambar Hasil Output Analisis Program Sp Coloum Dinding Geser	129
4.16 Denah Pondasi P-12	159
4.17 Konfigurasi Pondasi Grup Tiang P-12.....	160



DAFTAR NOTASI

$\emptyset$	[-]	faktor reduksi
Θ	[-]	Arc tan d/s
α	[-]	sudut yang menahan orientasi tulangan
δ	[-]	deflsekksi yang terjadi
δ_u	[-]	deflsekksi ultimate yang terjadi
δ_{xe}	[-]	deflsekksi pada lokasi yang disyaratkan pada pasal ini yang ditentukan dengan analisis elastis
Δx	[-]	simpangan antar lantai
λ	[-]	angka kelangsingan
ρ	[-]	rasio tulangan
ρ_t	[-]	rasio penulangan arah horizontal
A_{cv}	[-]	luas penampang total dinding struktural
A_g	[mm ²]	luasan dimensi kolom
A_s	[mm ²]	luas tulangan tarik
A_s'	[mm ²]	luas tulangan tekan
A_{st}	[-]	luas tulangan
b	[mm]	lebar balok
C	[-]	koefisien respon gempa, yang besarnya tergantung wilayah gempa dan waktu getar struktur
C_d	[-]	faktor pembesaran defleksi
DL	[-]	beban mati
d	[mm]	jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan
d_b	[mm]	diameter batang tulangan
E_c	[MPa]	modulus elastisitas beton
E_g	[-]	efisiensi kelompok tiang
E_X	[-]	beban gempa dinamis arah X

EY	[-]	beban gempa dinamis arah Y
f_c'	[MPa]	kuat tekan beton atau mutu beton
f_y	[MPa]	tegangan leleh baja tulangan yang disyaratkan
h	[mm]	tebal atau tinggi total balok
h_f	[mm]	tebal efektif pelat
h_{maks}	[mm]	tebal efektif pelat maksimum
h_{min}	[mm]	tebal efektif pelat minimum
I	[mm ⁴]	momen inersia penampang yang menahan beban luar terfaktor
L	[mm]	panjang bentang balok atau pelat dari as ke as tumpuan
LL	[ton/m]	beban hidup
Ly	[mm]	panjang bentang pelat terpanjang dari as ke as tumpuan
Lx	[mm]	panjang bentang pelat terpendek dari as ke as tumpuan
m	[-]	jumlah baris
M_u	[ton.m]	momen ultimate
n	[-]	jumlah tiang dalam 1 baris
P	[mm]	penutup beton atau selimut beton
P_w	[-]	beban terpusat angin
P_t	[-]	beban terpusat
Q	[ton/m]	beban merata dalam bentuk segitiga atau trapezium
Q_p	[ton]	daya dukung ultimit ujung tiang
Q_s	[ton]	daya dukung ultimit selimut tiang
Q_{ult}	[ton]	daya dukung ultimit tiang
q	[ton/m]	beban merata dalam bentuk persegi
S	[mm]	spasi tulangan geser atau torsi kearah paralel dengan tulangan longitudinal
U	[-]	kuat perlu untuk menahan beban yang telah dikalikan dengan faktor beban atau momen dan gaya yang berhubungan denganny
V_c	[-]	kuat geser nominal yang disumbangkan beton

V_s	[-]	kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser
V_u	[-]	gaya geser terfaktor pada penampang
W_u	[ton/m ²]	beban ultimate
W	[ton]	berat sendiri
X	[mm]	jarak titik pusat berat arah x
Y	[mm]	jarak titik pusat berat arah y



PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KETIDAKBERATURAN PADA APARTEMEN 12 LANTAI

Nugroho Adi Purnomo¹⁾, Rizaldhy Habibie F¹⁾, Antonius²⁾, Selvia Agustina²⁾

ABSTRAK

Perencanaan struktur gedung bertingkat tinggi di Indonesia bukanlah hal yang bisa dianggap remeh karena sebagian besar wilayah Indonesia terletak di wilayah gempa yang mempunyai intensitas moderat hingga tinggi. Pada perencanaan struktur bangunan bertingkat tinggi selain memperhatikan fungsi bangunan, dalam perencanaan suatu struktur bangunan juga harus memperhatikan structural dan geoteknis. Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah merencanakan struktur bangunan tahan gempa pada apartemen dengan ketidakberaturan struktur.

Dalam perencanaan struktur bangunan ketidakberaturan pada apartemen 12 lantai menggunakan bantuan software ETABS v18 untuk permodelan struktur dan software SP Column untuk perencanaan kolom dan shear wall. Peraturan-peraturan yang digunakan yaitu SNI 1726 – 2019 mengenai tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung serta SNI 2847-2019 mengenai persyaratan beton structural untuk bangunan gedung dan SNI 1727-2020 berisi tentang persyaratan beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lainnya.

Berdasarkan hasil yang didapat setelah melakukan perencanaan struktur bangunan ketidakberaturan pada apartemen 12 lantai menggunakan sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus dan dinding geser struktural khusus sebagai sistem bangunan tahan gempa. Hasil dari desain simpangan antar lantai arah X dan Y pada struktur gedung ini dinyatakan aman terhadap batas layan dan batas ultimate. Periode getar hasil dari desain sudah memenuhi syarat peraturan. Hal ini menunjukkan gedung ini dapat menahan gempa rencana dan mempunyai perilaku yang baik untuk menerima gempa.

Kata Kunci : Ketidakberaturan, tahan gempa, SRPMK

^[1]Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung

^[2]Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung

STRUCTURAL PLANNING OF IRREGULAR BUILDING AT 12 FLOOR APARTMENT

Nugroho Adi Purnomo¹⁾, Rizaldhy Habibie F¹⁾, Antonius²⁾, Selvia Agustina²⁾

ABSTRACT

Planning of high-rise building structures in Indonesia is not something that can be underestimated because most of Indonesia's territory is located in earthquakes of moderate to high intensity. In planning the structure of high-rise buildings in addition to paying attention to the function of the building, in planning a building structure must also pay attention to structural and geotechnical. The purpose of this final project is to design earthquake-resistant building structures in apartments with structural irregularities.

In planning the structure of irregular buildings in a 12-storey apartment using ETABS v18 software for structural modeling and SP Column software for column and shear wall planning. The regulations used are SNI 1726 - 2019 regarding procedures for planning earthquake resistance for building and non-building structures and SNI 2847-2019 regarding structural concrete requirements for buildings and SNI 1727-2020 contains minimum load requirements for building planning and construction. other structures.

Based on the results obtained after planning the irregular building structure in a 12-story apartment using a double system with special moment-bearing frames and special structural shear walls as an earthquake-resistant building system. The results of the design of the deviation between floors in the X and Y directions in this building structure are declared safe against the service limit and ultimate limit. The vibration period of the design has met the regulatory requirements. This shows that this building can withstand the design earthquake and has good behavior to receive earthquakes.

Keywords: Irregularity, earthquake resistance, SRPMK

^[1]Civil Engineering Student, Faculty of Engineering, Sultan Agung Islamic University

^[2]Civil Engineering Lecturer, Faculty of Engineering, Sultan Agung Islamic University

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perancangan struktur bangunan gedung tahan gempa di Indonesia bukanlah hal yang bisa dianggap remeh karena sebagian besar wilayah Indonesia terletak di wilayah gempa yang mempunyai intensitas moderat hingga tinggi. Indonesia merupakan negara kepulauan yang merupakan daerah yang rawan terjadi gempa karena Indonesia terletak di daerah tektonik aktif tempat bertemunya beberapa lempeng yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Laut Filipina, dan Lempeng Pasifik sehingga perlu perlakuan khusus dalam merencanakan struktur bangunan gedung yang mampu menahan intensitas beban gempa. Hal ini disebabkan karena beban gempa pada struktur gedung bertingkat lebih rentan terhadap gempa. Dengan kondisi Indonesia yang rawan gempa tersebut maka diperlukan suatu kemampuan dalam mengatasi permasalahan yang muncul oleh bencana gempa tersebut sehingga dapat meminimalkan munculnya korban bencana dan juga mengurangi kerugian material yang disebabkan oleh bencana gempa bumi.

Struktur bangunan gedung bertingkat tinggi atau *high rise building* pada umumnya menggunakan berbagai macam sistem struktur dalam perencanaannya. Setiap sistem pada struktur bangunan akan memberikan fungsi tertentu yang berbeda-beda. Jika pada umumnya bangunan gedung bertingkat tinggi hanya menggunakan sistem rangka kaku murni yang hanya terdiri dari kolom dan balok, namun seiring dalam perkembangannya sistem tersebut sudah mulai digantikan oleh sistem *shear wall* (dinding geser). Dikarenakan sistem *shear wall* memiliki kelebihan dalam menahan gaya gempa yang diterima oleh struktur bangunan.

Dinding geser pada struktur bertingkat sangat penting karena dengan adanya dinding geser pada bangunan gedung, sebagian besar beban gempa akan terserap oleh dinding geser tersebut. Untuk dapat menahan gaya lateral yang disebabkan oleh gempa atau angin maka dinding geser harus dibentuk sedemikian rupa sehingga memenuhi syarat-syarat yang untuk membangun

bangunan tersebut. apabila desain perletakan dinding geser tidak sesuai dengan syarat-syarat tersebut, maka dinding geser tidak berfungsi dengan baik dalam menahan gaya lateral.

Pada tugas akhir ini, sistem peredam gempa yang digunakan dalam perencanaan bangunan gedung tahan gempa menggunakan pedoman peraturan gempa terbaru SNI-1726-2019 dan peraturan beton terbaru SNI-2847-2019. Dengan, penentuan koordinat wilayah gempa menjadi lebih akurat. Pada perencanaan gedung apartemen 12 lantai menggunakan peredam gempa sistem rangka pemikul momen dan *shear wall* (dinding geser) dengan menggunakan bantuan aplikasi ETABS 2018 berdasarkan peraturan perencanaan bangunan gedung yang terbaru.

Untuk mendapatkan bangunan struktur yang dapat menahan beban gempa yang telah direncanakan. Dari penambahan beban gempa tersebut maka dihasilkan kurva gaya geser dan *displacement*. Pada hasil tersebut digunakan untuk menentukan kinerja ketika struktur bangunan gedung menerima beban gempa yang direncanakan.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang di atas, maka dapat diperoleh rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mendesain beban gempa rencana pada struktur bangunan Apartemen 12 lantai menggunakan Respons Spektrum SNI-1726-2019, dengan melakukan kontrol terhadap gaya gempa Ekuivalen ?
2. Bagaimana merencanakan struktur gedung Apartemen 12 lantai menggunakan sistem dinding geser dan sistem portal ?
3. Berapa dimensi struktur kolom, balok, pelat, *Shear Wall*, *Tie Beam* dan pondasi pada gedung Apartemen 12 lantai ?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dan Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah perencanaan dan penilaian pada struktur gedung yang meliputi :

1. Merencanakan beban gempa pada gedung apartemen 12 lantai menggunakan Respons Spektrum SNI-1726-2019, dengan menggunakan kontrol terhadap gaya gempa Ekvivalen.
2. Merencanakan struktur gedung apartemen 12 lantai.
3. Merencanakan desain terhadap dimensi dan penulangan.

1.4 Batasan Masalah

Dalam Tugas Akhir yang membahas “Perencanaan Struktur Gedung Ketidakberaturan pada Apartemen 12 Lantai” memiliki batasan masalah sebagai berikut :

1. Perhitungan struktur beton bertulang (Pondasi, Kolom, Balok, *Shear Wall, Tie Beam*)
2. Perencanaan gedung tanpa mempertimbangkan aspek biaya, arsitektur, maupun pelaksanaan,
3. Peraturan yang digunakan antara lain :
 - a. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2019)
 - b. Pembebanan Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2020)
 - c. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (1726-2019)

1.5 Sistematika Penulisan Tugas Akhir

Dalam sistematika penyusunan Tugas Akhir ini terdiri dari 5 bab, yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas mengenai Latar Belakang, Maksud dan Tujuan, Rumusan Masalah, Batasan Masalah, dan Sistematika Penulisan Tugas Akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi teori atau kajian yang berasal dari berbagai sumber sebagai pedoman yang digunakan, pembebanan yang

digunakan, dan peraturan-peraturan yang dalam merencanakan suatu struktur bangunan.

BAB III METODE PENELITIAN

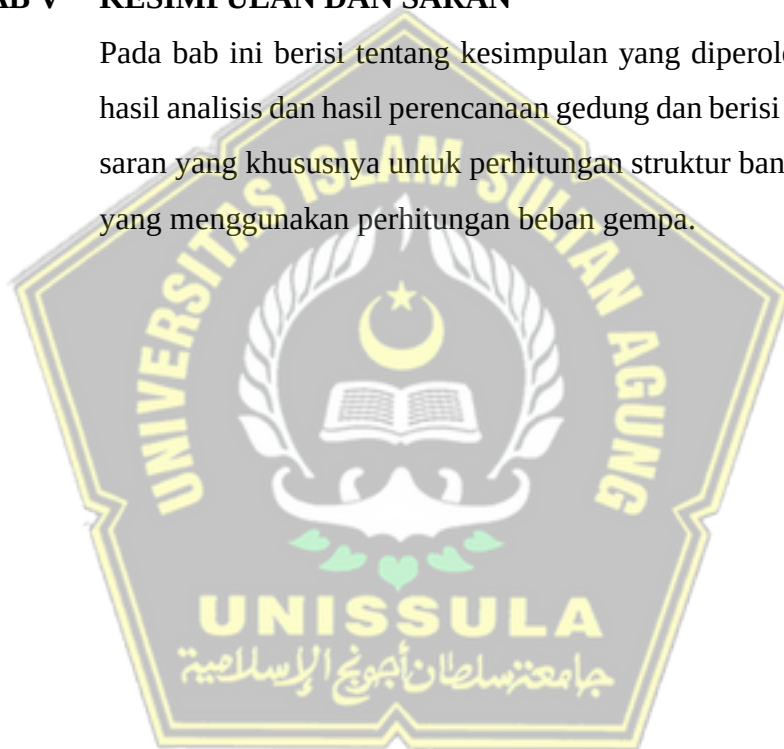
Pada bab ini berisi tentang metode pengumpulan data struktur gedung.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi isi atau bagian penting dari isi penulisan laporan berupa analisis, perhitungan beban, dan pengecekan terhadap persyaratan yang telah ditentukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari proses hasil analisis dan hasil perencanaan gedung dan berisi tentang saran-saran yang khususnya untuk perhitungan struktur bangunan gedung yang menggunakan perhitungan beban gempa.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Struktur bangunan gedung terdiri dari struktur bawah dan struktur atas. Struktur bawah bangunan gedung (*lower structure*) adalah bagian dari struktur bangunan gedung yang berada di bawah permukaan tanah, yang terdiri dari struktur *basement*, struktur *tie beam* dan struktur pondasi. Struktur atas bangunan gedung (*upper structure*) adalah bagian dari struktur bangunan gedung yang berada di atas permukaan tanah seperti kolom, balok, plat, dan *shear wall*.

Prosedur dalam desain seismik dan analisis yang digunakan pada perencanaan struktur bangunan gedung dan macam-macam komponennya harus mempunyai sistem penahan gaya vertikal dan lateral yang lengkap, mampu memberikan kekakuan, kekuatan, dan kapasitas dalam kehilangan energi yang cukup untuk menahan beban dari gerak tanah dalam kebutuhan deformasi dan kekuatan yang direncanakan.

Beban gempa dan distribusinya pada struktur bangunan gedung dalam penerapannya harus mempertimbangkan prosedur yang sesuai yaitu Analisis *respons spektrum* atau analisis gaya lateral ekuivalen, dan deformasi yang terkait komponen-komponen struktur bangunan gedung tersebut harus ditentukan.

Pada perencanaan pondasi harus direncanakan untuk menahan gaya-gaya yang muncul dan dapat mengakomodasi pergerakan yang diterima struktur dari beban gempa. Struktur bawah dan struktur atas dari suatu struktur bangunan gedung dapat diselidiki atau dianalisis terhadap pengaruh rencana gempa secara terpisah, di mana pada struktur atas dapat dianggap menyatu secara lateral pada *basement*. Selanjutnya pada struktur bawah dapat dianggap terpisah dengan struktur atas karena berada di dalam tanah atau di bawah muka tanah yang menerima kombinasi beban yang diterima dari struktur atas. Struktur harus mampu dalam menahan beban dari struktur atas. Desain kekuatan pada struktur

bawah bangunan gedung harus memenuhi persyaratan dari perencanaan beban gempa.

2.2 Kriteria Desain Struktur

Dalam merencanakan dan analisis suatu struktur bangunan gedung perlu ditetapkan kriteria-kriteria yang dapat digunakan untuk menentukan apakah struktur tersebut sesuai dengan fungsi dan tujuannya. Kriteria-kriteria perencanaan struktur bangunan gedung menurut (Schodek,1998) yaitu :

2.2.1 Kemampuan Layan (*Serviceability*)

Dalam merencanakan struktur bangunan gedung harus mempertimbangkan kemampuan struktur dalam menahan beban secara aman tanpa kelebihan tegangan pada material dan mempunyai deformasi yang masih berada di dalam daerah yang diizinkan. Kemampuan suatu struktur bangunan dalam menahan beban tanpa terjadi kelebihan tegangan diperoleh dengan menggunakan *safety factor* dalam merencanakan elemen struktur. Dengan mempertimbangkan bentuk serta ukuran elemen struktur dan material yang dipakai, tingkatan tegangan yang terjadi pada struktur dapat ditentukan pada tingkatan yang masih dapat diterima secara aman, dan sehingga kelebihan tegangan pada material (misalnya ditunjukan pada adanya rekahan) tidak terjadi. Pada dasarnya kriteria kekuatan tersebut merupakan dasar yang sangat diperlukan.

Aspek lain mengenai kemampuan layan pada suatu struktur bangunan adalah deformasi yang disebabkan oleh beban yang diterima struktur apakah masih dalam batas yang dapat ditolerir atau tidak. Kelebihan deformasi dapat menyebabkan terjadinya tegangan suatu bagian struktur. Selain itu, deformasi yang berlebihan terlihat jelas sering tidak diinginkan terjadi. Perlu diperhatikan bahwa ketika terjadi deformasi pada struktur tidak berarti struktur tersebut tidak stabil. Deformasi atau defleksi yang berlebihan dapat diartikan sebagai struktur

yang tidak aman, akan tetapi hal tersebut tidak selalu demikian. Deformasi dibatasi oleh kekakuan struktur bangunan. Kekakuan sangat tergantung pada jenis, besar dan distribusi bahan pada struktur.

Pada struktur bangunan tinggi terdapat gerakan yang diakibatkan oleh beban angin. Oleh karena itu dibutuhkan kriteria mengenai batas beban angin yang diizinkan. Kontrol dapat tercapai melalui manipulasi karakteristik redaman dan kekakuan struktur.

2.2.2 Efisiensi

Efisiensi mencakup tujuan dalam merencanakan struktur bangunan yang relatif lebih ekonomis. Ukuran yang sering dipakai adalah banyaknya jumlah material yang dibutuhkan untuk memikul beban-beban yang diberikan dalam ruang pada kondisi dan kendala yang direncanakan.

2.2.3 Konstruksi

Tinjauan konstruksi sering juga mempengaruhi pilihan struktural. Sangat mungkin juga terjadi perakitan bagian-bagian struktural lebih efisien ketika materialnya mudah dibuat dan disusun. Faktor umum yang mempengaruhi kemudahan pelaksanaan suatu konstruksi adalah kerumitan pelaksanaan konstruksi. Ukuran, bentuk serta berat setiap elemen konstruksi juga penting karena memerlukan macam-macam jenis alat dalam pelaksanaannya. Pada umumnya pelaksanaan yang melibatkan elemen-elemen dengan ukuran dan bentuk yang mudah dikelola dengan peralatan konstruksi yang tersedia adalah hal yang ditentukan.

2.2.4 Kriteria Berganda

Pada suatu struktur jarang sekali suatu struktur hanya berfungsi untuk memenuhi salah satu kriteria. Konsep layan (*serviceability*) dan *safety factor* adalah hal yang berlaku pada semua jenis struktur. Oleh karena itu, faktor tersebut termasuk ke dalam tanggung jawab perencana

struktur dan faktor lain dapat dilibatkan dalam perencanaan, tetapi kemampuan layan (*serviceability*) tetap harus diterapkan.

2.2.5 Lain-lain

Dalam pemilihan jenis struktur ada faktor-faktor yang mempengaruhi. Dibandingkan dengan kriteria-kriteria yang sebelumnya, kriteria relatif yang lebih subjektif juga akan menentukan dalam pemilihan struktur. Yang tidak kalah pentingnya adalah fungsi struktur karena dalam pandangan arsitek, struktur merupakan bagian besar dalam penampilan bangunan.

2.3 Konsep Dasar Mekanisme Gempa

Gempa bumi adalah getaran yang bersifat alamiah yang terjadi pada lokasi tertentu dan bersifat berkelanjutan. Gempa bumi dapat terjadi disebabkan oleh lepasnya energi yang berasal dari hasil tekanan lempeng karena pergerakan dalam lempeng. Proses inilah yang menyebabkan timbulnya getaran partikel menuju ke segala arah yang disebut gelombang gempa.

Pada saat terjadi gempa bumi, akibat beban gempa yang terjadi maka akan berdampak pada struktur bangunan yang masuk ke dalam area gempa. Struktur bangunan akan beresonansi dengan memberikan gaya-gaya dalam. Apabila gaya geser dari beban gempa lebih kecil dari gaya pada struktur, maka struktur akan tetap aman dan mampu menahan gaya gempa. Sebaliknya apabila gaya geser dari beban gempa lebih besar dari gaya pada struktur, maka struktur tidak akan mampu menahan gaya geser yang muncul akibat gempa dan bisa mengakibatkan runtuhnya pada kolom struktur.

2.4 Persyaratan Peraturan Gempa SNI-1726-2019

Pada perencanaan bangunan tahan gempa merupakan tahap awal yang penting dalam proses pembangunan gedung untuk membatasi kemungkinan kerusakan bangunan yang diakibatkan oleh gempa. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%.

2.4.1 Kategori risiko struktur bangunan

Perencanaan bangunan gedung atau non-gedung memiliki fungsi dan nilai-nilai risiko yang berbeda-beda. Dalam berbagai kategori nilai risiko pada perencanaan struktur bangunan gedung atau non-gedung pada Tabel 2.1 serta penyebab gempa yang direncanakan harus dikalikan dengan faktor keutamaan (I_e) menurut pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Kategori risiko bangunan gedung dan non-gedung untuk beban gempa SNI-1726-2019

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Tabel 2.2 Faktor keutamaan Gempa (SNI-1726-2019)

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

2.4.2 Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti pasal ini. Struktur dengan kategori risiko I,II atau III yang berlokasi di mana parameter *respons spektral* percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter *respons spektral* percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter *respons spektral* percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{DI} , sesuai 0. Masing masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain *seismic* yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 2.3 terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur, T .

Tabel 2.3 Kategori desain *seismic* berdasarkan parameter *respons* percepatan pada periode pendek SNI-1726-2019

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau 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 *seismic* berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik SNI-1726-2019

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

2.4.3 Wilayah Titik Gempa dan Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari *respons spektral* percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah *seismic* pada pasal 0 dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R , 2% dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan decimal terhadap percepatan gravitasi. Bila $S_1 \leq 0,04g$ dan $S_s \leq 0,15g$, maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain *seismic* A, dan cukup memenuhi persyaratan dalam 0.

Untuk penentuan *respons spektral* percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter *respons spektral* percepatan pada periode pendek (SMS) dan periode 1 detik ($SM1$) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini: (Sumber Standar Nasional, 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 = parameter *respons spektral* percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek;

S_1 = parameter *respons spektral* percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1,0 detik dan koefisien situs F_a dan F_v mengikuti Tabel 2.5 dan Tabel 2.6.

Tabel 2.5 Koefisien Situs, F_a (SNI 1726:2019)

Kelas situs	Parameter <i>respons spektral</i> percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCER) 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)					

Tabel 2.6 Koefisien Situs, F_v (SNI 1726:2019)

Kelas situs	Parameter <i>respons spektral</i> percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
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 :

Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier

S_s = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 0.

2.4.4 Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Rencana

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui persamaan 2.3 dan persamaan 2.4 sebagai berikut:

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

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

Jika digunakan prosedur desain yang disederhanakan sesuai pasal 8, maka nilai S_{DS} harus ditentukan sesuai 0 dan nilai S_{D1} tidak perlu ditentukan.

2.4.5 Desain Respon Spektrum

Spektrum respon desain (S_a) ditentukan nilai T , T_0 dan T_s dengan mengacu pada SNI 1726 2019 dan mengikuti persamaan 2.5, 2.6, 2.7 berikut,

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

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

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

Nilai $T > T_s$, maka nilai S_a adalah,

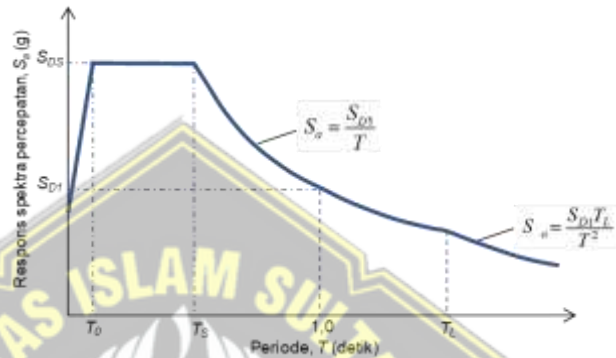
$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.7)$$

Keterangan :

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek,

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1detik

T = periode getar fundamental struktur.



Gambar 2.1 Grafik Spektrum Respons Desain

2.4.6 Kombinasi Sistem Perangkai dalam Arah yang Berbeda

Sistem penahan gaya gempa yang berbeda diizinkan untuk digunakan, untuk menahan gaya gempa masing-masing arah kedua sumbu orthogonal struktur. R , C_d , dan Ω_0 harus dikenakan pada setiap system. (SNI 1726:2019)

Tabel 2.7 Faktor R,Cd, Ω_0 dan untuk system penahan gaya gempa (SNI 1726:2019)

D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB

2.4.7 Batasan Periode Fundamental Struktur

Periode fundamental struktur (T) Tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari SNI 1726: 2019 dan periode fundamental pendekatan (T_a). Nilai T_a ditentukan dari persamaan nilai C_t ditentukan di tabel SNI 1726:2019.

$$T_a = C_t h_n^x \text{ (detik)} \quad (2.8)$$

Keterangan :

h_n adalah ketinggian struktur (m) di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x

$$T_{maks} = C_u T_a \text{ (detik)} \quad (2.9)$$

Nilai T_a untuk struktur dengan ketinggian kurang dari 12 lantai, sistem penahan gempa terdiri dari rangka penahan momen beton secara keseluruhan dan tinggi lantai minimal 3m dihitung dengan persamaan (12),

$$T_a = 0,1 \text{ N (detik)} \quad (2.10)$$

Nilai N merupakan jumlah lantai bangunan gedung yang bersangkutan.

2.4.8 Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar *seismic* , V, dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

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

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan 0

W = berat seismik efektif menurut 0

$$C_s = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.12)$$

Keterangan:

SDS = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek seperti ditentukan dalam 0 atau 0

R = koefisien modifikasi respons dalam tabel 12

I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 0.

Nilai C_s maks dihitung dengan persamaan

$$C_{smaks} = \frac{SD1}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.13)$$

Nilai C_s tidak boleh kurang dari persamaan

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2.14)$$

Nilai C_s dihitung dengan persamaan 0,6g

$$C_s = \frac{0,5S1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.15)$$

Persyaratan gaya geser dasar minimum tidak perlu diterapkan pada komponen konveksi cairan (guncangan) dalam tangki.

Keterangan:

di mana I_e dan R sebagaimana didefinisikan dalam 0, dan

$SD1$ = parameter percepatan respons spektral desain pada periode sebesar 1,0 detik, seperti yang ditentukan dalam 0

T = periode fundamental struktur (detik) yang ditentukan 0

$S1$ = parameter percepatan respons spektral maksimum yang dipetakan yang ditentukan sesuai

2.4.9 Penentuan dan Batasan Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai tingkat rencana dihitung sebagai defleksi pusat massa di tingkat terbawah dan teratas yang ditinjau. Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) (mm) dihitung dengan persamaan 2.16.

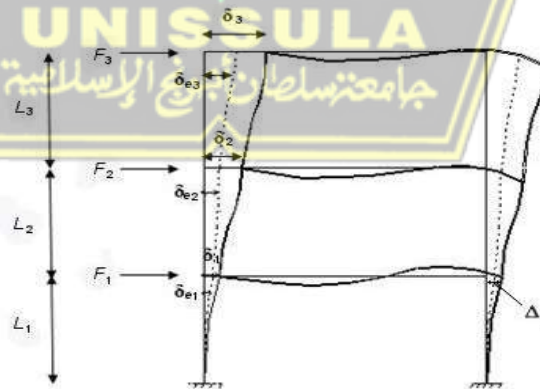
$$\delta_x = \frac{C_d \Delta_{xe}}{I_e} \quad (2.16)$$

Keterangan,

C_d = Faktor amplikasi deflaksi dalam tabel SNI 1726:2019

δ_{xe} = defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada pasal ini yang ditentukan dengan analisis elastis

I_e = Faktor keutamaan gempa



Gambar 2.2 Simpangan Antar Lantai (SNI 1726:2019)

2.5 Analisa Spektrum Respon Ragam

2.5.1 Jumlah Ragam

Analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur. Untuk mencapai ketentuan ini, untuk ragam satu badan kaku (*single rigid body*) dengan periode 0,05 detik, diizinkan untuk mengambil semua ragam dengan periode di bawah 0,05 detik. Besarnya partisipasi massa ragam terkombinasi minimal 90% dari massa actual dari masing masing arah horizontal orthogonal serta yang ditinjau oleh model.

2.5.2 Batasan Nilai Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Geser dasar (V) harus dihitung pada masing masing 2 arah horizontal orthogonal menggunakan periode fundamental struktur bangunan yang dihitung T pada masing masing arah dan prosedur beban gaya lateral ekuivalen.

Jika nilai periode fundamental yang telah dihitung (T) melebihi $C_u T_a$, maka nilai $C_u T_a$ harus digunakan pada perhitungan sebagai pengganti T pada arah itu. Pada kombinasi respons untuk gaya geser dasar ragam (V_t) lebih kecil dari pada gaya geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur beban gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan $0,85 \frac{V}{V_t}$. Apabila respons terkombinasi pada geser dasar ragam (V_t) kurang dari 85% dari $C_s W$, di mana C_s dihitung dari persamaan 20, simpangan antar lantai harus dikalikan $0,85 \frac{C_s W}{V_t}$.

2.6 Konsep Pembebanan

Tahap penentuan permodelan pembebanan dalam rencana struktur menjadi *point* yang sangat penting. Hal tersebut akan berpengaruh terhadap

perhitungan dan *output* beban dalam (bidang M,D,N). Maka dalam melakukan proses analisa desain pada suatu struktur perlu adanya gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besaran beban yang bekerja pada struktur.

2.6.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati (D) adalah beban dari seluruh unsur-unsur dari konstruksi struktur bangunan gedung yang menetap atau terpasang, termasuk lantai, dinding, atap, plafon, tangga, *finishing*, klading gedung, komponen arsitektural dan komponen struktural lainnya serta peralatan yang menetap atau terpasang lain termasuk beban derek dan sistem pengangkut material (SNI 1727:2020).

2.6.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup (L) adalah beban yang tercipta dari aktivitas pengguna atau penghuni suatu bangunan gedung atau struktur lainnya yang tidak termasuk ke dalam beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban gempa, beban angin, beban banjir, beban hujan, ataupun beban mati (SNI 1727:2020).

2.6.3 Kombinasi Pembebanan

Beban yang termasuk ke dalam standar ini harus diperhitungkan dapat bekerja dalam kombinasi sebagai berikut; yang mana akan menghasilkan dampak paling tidak dapat memberi keuntungan pada struktur bangunan gedung, pondasi, atau unsur-unsur struktural yang harus diperhitungkan. Dampak atau efek dari satu atau lebih beban yang belum diperhitungkan dalam perencanaan harus dipertimbangkan juga. Efek dari beban seismik harus dikombinasikan dengan berbagai beban lainnya. (SNI 1727:2020).

Peningkatan tegangan izin tidak boleh dipakai dengan beban yang diberikan oleh standar tersebut kecuali jika dapat diketahui bahwa peningkatan tersebut dibuktikan dengan perilaku struktural akibat dari laju atau durasi beban.

$$1. \quad 1,4D \quad (2.17)$$

$$2. \quad 1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \quad (2.18)$$

$$3. \quad 1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W) \quad (2.19)$$

$$4. \quad 1,2D + 1,0W + L + 0,5(Lr \text{ atau } 0,5W) \quad (2.20)$$

$$5. \quad 0,9D + 1,0W \quad (2.21)$$

$$6. \quad 1,2D + E_v + E_h + L \quad (2.22)$$

$$7. \quad 0,9D - E_v + E_h \quad (2.23)$$

$$8. \quad 1,0D + 0,7 E_v + 0,7 E_h \quad (2.24)$$

$$9. \quad 1,0D + 0,525E_v + 0,525E_v + 0,75L \quad (2.25)$$

$$10. \quad 0,6D - 0,7 E_v + 0,7 E_h \quad (2.26)$$

2.7 Perencanaan Struktur Atas

Perencanaan struktur atas dibagi menjadi dua struktur, yaitu struktur primer dan struktur sekunder. Pada struktur primer (meliputi balok dan kolom) direncanakan sebagai komponen utama dari Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan prinsip *strong column weak beam*. Sedangkan pada struktur sekunder meliputi pelat, balok anak dan tangga.

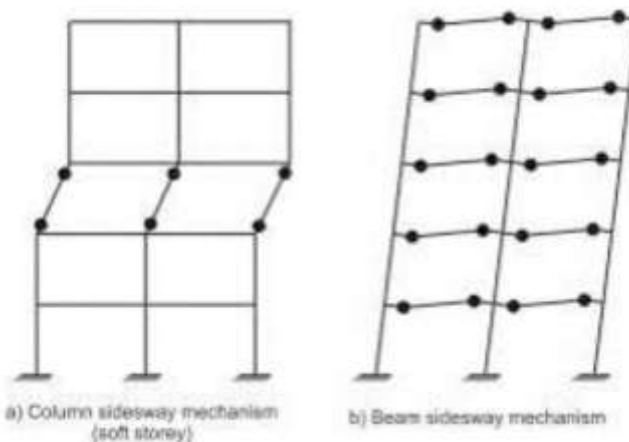
2.7.1 Desain Kapasitas

Struktur bangunan gedung tahan gempa pada umumnya direncanakan dan diperhitungkan mampu menahan beban gempa yang lebih rendah dari beban gempa rencana. Struktur bangunan tidak boleh mengalami *collapse* (keruntuhan) ketika menerima beban gempa rencana meskipun perilaku pada struktur adalah inelastik. Maka untuk menjamin hal tersebut, struktur harus direncanakan dengan baik dan tepat. Salah satu metode dalam perencanaan struktur yang dapat digunakan dalam tujuan tersebut adalah metode desain kapasitas.

Pada dasarnya metode desain kapasitas dipalikasikan pada perencanaan struktur bangunan yang tahan terhadap gempa dengan tujuan agar bentuk keruntuhan yang bersifat getas tidak muncul pada mekanisme disipasi energi yang dihasilkan oleh struktur. Agar dapat

tercapainya tujuan ini maka perlu diperhitungkan suatu tahapan keruntuhan sehingga hanya keruntuhan daktail yang muncul. Keruntuhan lentur merupakan salah satu contoh dari bentuk keruntuhan daktail, sedangkan keruntuhan geser umumnya bersifat getas. Untuk menghindari terjadinya keruntuhan geser, suatu komponen struktur pendisipasi energi biasanya direncanakan dengan kekuatan geser yang lebih besar dari gaya geser maksimum yang mungkin muncul ketika elemen struktur meningkatkan kapasitas lenturnya. Mekanisme desain yang berlandaskan pada metode desain kapasitas ini sering diaplikasikan pada perencanaan elemen-elemen struktur kolom, balok, hubungan kolom balok (*Joint*) dan dinding.

Metode desain kapasitas diaplikasikan agar dapat menjamin keruntuhan yang terjadi di tempat yang direncanakan. Agar hal tersebut dapat terealisasi maka tempat yang tidak runtuh haruslah ditambahkan kekuatan yang lebih besar dibandingkan dengan kekuatan maksimum pada tempat yang direncanakan untuk runtuh. Mekanisme keruntuhan pada struktur seperti pada gambar 2.3 umumnya terjadi pada struktur tarik, lentur tekan, geser, tarik diagonal, kegagalan angkur, kegagalan lekatan tulangan, kegagalan tekan dan lain-lain. Diantara mekanisme tersebut, mekanisme yang menghasilkan perilaku daktail adalah mekanisme lentur tarik. Agar keruntuhan lentur yang didesain terjadi maka keruntuhan yang lain harus diupayakan tidak muncul dalam perilaku yang dihasilkan. Hal ini bisa tercapai dengan cara merencanakan mekanisme yang tidak diinginkan agar mencapai kapasitasnya dengan kekuatan yang lebih besar dibandingkan kekuatan maksimum.



Gambar 2.3 Mekanisme keruntuhan rangka

2.7.2 Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) adalah sistem rangka yang memenuhi ketentuan-ketentuan pada rangka pemikul momen biasa dan juga memenuhi ketentuan-ketentuan pada pasal-pasal di SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.

A. Persyaratan Detailing Komponen Struktur Lentur

Tujuan dari persyaratan dalam detailing komponen struktur lentur ini adalah untuk mengurangi resiko kegagalan geser balok dan kolom selama gempa.

1. Syarat syarat detailing komponen struktur khusus (Budiono,2017)
 - a. Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur, P_u , yang terkait dengan pengaruh gempa tidak melebihi $A_g f'_c / 10$
 - b. Bentang bersih pada komponen struktur, l_n , tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektifnya.
 - c. Lebar komponen, b_w , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari $0,3h$ dan 250 mm

d. Lebar komponen struktur, b_w , tidak boleh melebihi lebar komponen struktur penumpu, c_2 , ditambah jarak pada masing-masing sisi komponen pada struktur penumpu yang sama dengan yang lebih kecil dari (a) dan (b):

Lebar penumpu struktur, c_2

$0,5 \times$ pada dimensi keseluruhan penumpu struktur, c_1

2. Tulangan longitudinal (Imran, 2014)

- a. Luas tulangan bawah atau tulangan atas harus lebih besar dari luas tulangan minimum yang disyaratkan, yaitu $(0,5b_wd\sqrt{f'_c})/f_y$ tetapi tidak boleh kurang dari $1,4b_wd/f_y$, dan rasio tulangan harus melebihi 0,025. Kurang lebih dua batang tulangan harus disediakan menerus pada kedua sisi bawah dan sisi atas.

$$A_{s,min} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad (2.27)$$

Keterangan:

$A_{s,min}$ = luas tulangan tarik minimal

b_w = lebar

d = jarak pusat tulangan tarik longitudinal ke serat tekan terjauh

3. Kekuatan momen positif pada *joint* harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif yang disediakan pada *joint* tersebut. Kekuatan momen negative positif pada penampang sepanjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu *joint* tersebut.
4. Sambungan lewatan tulangan lentur diizinkan jika Sengkang pengekan atau spiral dipasang sepanjang sambungan lewatan. Spasi tulangan transversal yang melingkupi batang tulangan yang disambung tidak boleh melebihi nilai terkecil dari $d/4$ dan 100mm. sambungan lewatan tidak boleh digunakan :

- Dalam *joint*
- Dalam jarak dua kali tinggi balok dari muka *joint*
- Dalam analisis menunjukkan pelelehan lentur diakibatkan pada perpindahan lateral inelastic rangka.

5. Tulangan Transversal

a. Besarnya nilai V_u yang melebihi ϕV_c , maka tulangan geser harus disediakan untuk memenuhi persamaan

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.28)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.29)$$

b. Bila digunakan tulangan geser tegak harus terhadap sumbu komponen struktur, di mana A_v adalah luas tulangan geser yang berada dalam spasi

$$V_s = \frac{A_v \cdot d \cdot f_{yt}}{s} \quad (2.30)$$

$$V_s \leq 0,66 \sqrt{f'_c b_w d} \quad (2.31)$$

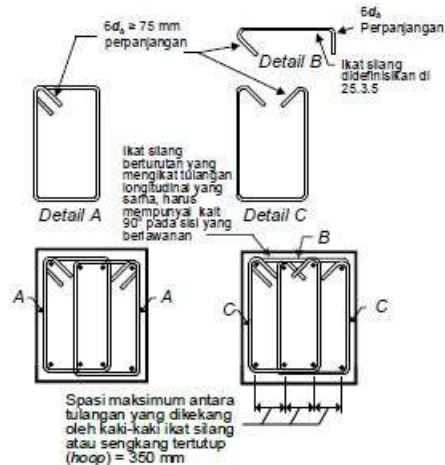
Keterangan :

V_s = gaya geser yang dipikul tulangan

A_v = luas tulangan geser

f_{yt} = kuat leleh tulangan transversal

c. Sengkang dipasang pada daerah komponen struktur rangka dengan syarat Sepanjang rentang atau komponen beban tetap yang mewakili Sebagian besar dari total beban desain, konsentrasi rotasi inelastic dapat terjadi di sepanjang bentang tersebut. Jika kondisi seperti itu diantisipasi, tulangan transversal juga disyaratkan pada daerah di mana kelelehan diharapkan terjadi karena pengelupasan (*spalling*) beton mungkin terjadi.



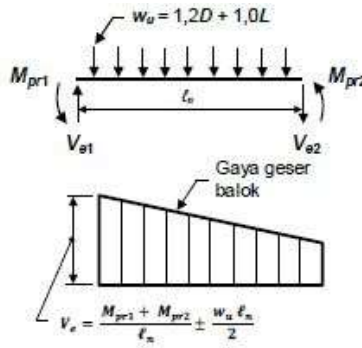
Gambar 2.4 Sengkang tertutup (SNI 2847:2019)

d. Letak sengkang tertutup pertama ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi Sengkang tertutup tidak boleh melebihi $d/4$, $6d_b$ dan 150 mm.

6. Persyaratan tulangan geser (Imran, 2014)

a. Gaya geser desain V_e harus dihitung dari tinjauan gaya-gaya pada bagian balok di antara kedua muka *joint*. Momen-momen dengan tanda berlawanan yang terkait dengan kekuatan momen lentur maksimum yang mungkin terjadi, M_{pr} harus diasumsikan bekerja pada muka-muka *joint* dan balok dibebani dengan beban gravitasi tributary terfaktor di sepanjang bentangnya.

Momen-momen ujung M_{pr} berdasarkan pada tegangan tarik baja sebesar $1,25f_y$ di mana f_y kekuatan leleh yang disyaratkan. Momen momen tersebut harus ditinjau dalam kedua arah, searah jarum jam dan berlawanan jarum jam.



Gambar 2.5 Geser rencana balok oleh kuat lentur maksimum

b. Tulangan transversal sepanjang daerah yang diidentifikasi dalam 18.6.4.1 harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bilamana keduanya saling terjadi maka :

- Gaya geser akibat gempa yang dihitung sesuai 18.6.5.1 mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut.
- Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c / 20$.

A. Persyaratan Detailing Komponen Struktur SRPMK yang Menerima Kombinasi Lentur dan Aksial

1. syarat-syarat (SNI 2847:2019)

- Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur, P_u , harus melebihi $A_g f'_c / 10$.
- Dimensi penampang terpendek, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak boleh kurang dari 300 mm.
- Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.

2. Tulangan memanjang

- Luas tulangan memanjang, A_{st} , tidak boleh kurang dari 0,01 A_g atau lebih dari 0,06 A_g .

- b. Sambungan mekanis tipe 1 untuk penyambungan lentur (dengan kekuatan 125% kuat leleh batang tulangan yang disambung) tidak boleh ditempatkan di lokasi yang berpotensi membentuk sandi plastis.
- c. Pada kolom dengan Sengkang tertutup bulat, jumlah batang tulangan longitudinal minimum harus 6.
- d. Sambungan lewatan diizinkan hanya dalam setengah pusat Panjang komponen struktur, harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik, dan harus dilengkapi dalam tulangan transversal yang memenuhi.
3. Tulangan transversal (Imran, 2014)
- a. Tulangan transversal yang disyaratkan dipasang sepanjang l_o dari setiap muka *joint* dan pada kedua sisinya sembarang penampang di mana pelelehan lentur sepertinya terjadi akibat dari perpindahan inelastic rangka. Panjang l_o tidak boleh kurang dari yang terbesar antara (a)(b)(c):
- (a) Tinggi komponen struktur pada *joint* atau pada penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi
 - (b) Seperenam bentang bersih komponen struktur
 - (c) 450 mm
- b. Tulangan transversal harus disediakan dengan salah satu dari spiral tunggal atau saling tumpuk, sengkang bulat, atau sengkang persegi dengan atau tanpa pengikat silang dengan ukuran batang tulangan sama atau lebih kecil seperti begelnya diizinkan. Setiap ujung pangkat silang harus memegang batang tulangan longitudinal terluar. Pengikat silang yang berurutan harus diseling ujung-ujungnya sepanjang tulangan longitudinal. Spasi pengikat silang atau kaki-kaki Sengkang persegi, h_x , dalam komponen struktur tidak boleh melebihi 350 mm pusat ke pusat.
- c. Spasi tulangan transversal sepanjang l_o komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a),(b),(c):

- (a) Seperempat dimensi komponen struktur minimum
- (b) Enam kali batang tulangan longitudinal yang terkecil
- (c) S_o , seperti didefinisikan oleh persamaan.

$$S_o = \frac{350 - h_x}{3} \quad (2.32)$$

- (d) Nilai S_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak boleh diambil kurang dari 100 mm.

d. jumlah tulangan transversal yang disyaratkan dalam (a) atau (b) harus disediakan kecuali bila mana jumlah yang lebih besar dipersyaratkan oleh kuat geser.

Rasio volume tulangan spiral atau Sengkang bulat, ρ_s , tidak boleh kurang dari yang disyaratkan oleh persamaan:

$$\rho_s = 0,09 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \quad (2.33)$$

4. Persyaratan kekuatan geser (Budiono, 2017)

a. Gaya geser desain, V_e , harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka pertemuan maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka pertemuan (*joints*) di setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya *joint* ini harus ditentukan menggunakan kekuatan momen maksimum yang mungkin, M_{pr} , di setiap ujung komponen struktur yang berhubungan dengan rentang dari beban aksial terfaktor, P_u , yang bekerja pada komponen struktur. Geser komponen struktur tidak perlu melebihi yang ditentukan dari kekuatan *joint* berdasarkan pada M_{pr} komponen struktur transversal yang merangka ke dalam *joint*. Dalam semua kasus V_e tidak boleh kurang dari geser terfaktor yang ditentukan oleh analisis struktur.

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

- (a) Gaya geser ditimbulkan gempa, yang dihitung sesuai dengan point sebelumnya, mewakili setengah atau lebih kekuatan geser perlu maksimum dalam lo
- (b) Gaya tekan aksial terfaktor, P_u , termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c / 10$

2.7.3 Sistem Ganda

Menurut SNI 1726:2019, sistem ganda adalah sistem struktur dengan rangka pemikul momen harus mampu menahan minimal 25% gaya seismik rencana. Tahanan gaya seismik keseluruhan harus disediakan ke dalam kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka *bresing*, dengan distribusi yang sebanding terhadap kekakuannya. (SNI 1726:2019)



Gambar 2.6 Sistem Ganda (Purwono,2005)

Pada Sistem ganda, rangka pemikul momen mampu menahan beban lateral yang disebabkan oleh beban gempa minimal adalah 25% gaya gempa desain. Oleh karena itu, sistem penahan gempa pada sistem ganda adalah sistem rangka pemikul momen menengah dan dinding geser.

Adapun persyaratan yang harus terpenuhi disajikan pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.8 Syarat syarat yang harus dipenuhi pada aplikasi Tipikal (SNI 2847-2019)

Komponen penahan gempa, kecuali jika dinyatakan sebaliknya	Kategori Desain Seismik			
	A (Tidak ada)	B (18.2.1.3)	C (18.2.1.4)	D,E,F (18.2.1.5)
Persyaratan analisis dan desain		18.2.2	18.2.2	18.2.2, 18.2.4
Material		Tidak ada	Tidak ada	18.2.5 - 18.2.8
Komponen sistem rangka pemikul momen		18.3	18.4	18.6 – 18.9
Dinding struktural dan balok kopel		Tidak ada	Tidak ada	18.10
Dinding struktural pracetak	Tidak ada	Tidak ada	18.5	18.5 ^[2] ,18.11
Diafragma dan rangka batang (<i>trusses</i>)		Tidak ada	Tidak ada	18.12
Fondasi		Tidak ada	Tidak ada	18.13
Komponen struktur rangka pemikul momen yang bukan sebagai sistem pemikul beban seismik		Tidak ada	Tidak ada	18.14
Angkur		Tidak ada	18.2.3	18.2.3

- [1] Sebagai tambahan terhadap persyaratan Pasal 1 hingga 17,19 hingga 26, dan ACI 318.2, kecuali yang dimodifikasi oleh Pasal 18. Pasal 14.1.4 juga berlaku pada KDS D,E, dan F
- [2] Sebagaimana diizinkan oleh SNI 1726

2.7.4 Sistem Dinding Geser (*Shear Wall*)

Perencanaan yang tepat dan *detail-detail* struktur bangunan dengan sistem *shear wall* telah menunjukkan perkembangan yang sangat baik. Keberhasilan bangunan gedung dengan sistem dinding geser dalam menahan beban gempa kuat terangkum dalam sebuah kutipan “Tanpa adanya dinding geser kita tidak akan mampu membangun bangunan beton yang kuat menahan beban gempa yang *extreme*” Mark Fintel, Consultan Engineer di USA.

Shear wall atau dinding geser pada lingkungan gempa yang tinggi memerlukan perencanaan yang khusus. Sebagaimana pada saat terjadi gempa terdahulu, meskipun bangunan dinding berjumlah cukup tanpa perencanaan khusus dalam menahan beban gempa (tapi punya perkuatan yang terdistribusi dengan baik) aman dari keruntuhan. Bangunan dengan sistem *shear wall* adalah sistem struktur bangunan tahan gempa yang populer pada beberapa negara dengan intensitas gempa yang tinggi seperti USA, Chile, dan New Zealand. Sistem dinding geser tergolong mudah dibuat, karena pada detail penulangan dinding relatif mudah dan karena itu dinding geser mudah diimplementasikan di lapangan. Sistem dinding geser adalah sistem struktur bangunan tahan gempa yang efisien dalam berbagai hal, baik dalam hal *budgeting* dan efektifitas meminimalisasi dampak kerusakan akibat beban gempa di elemen struktural maupun non-struktural (Murty,2011).

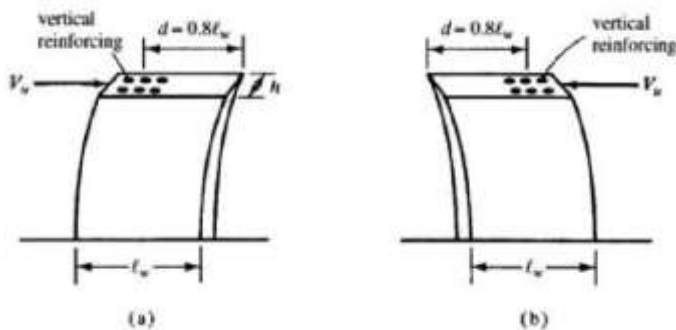
Apabila diperlukan konstruksi bangunan tahan gempa, perlu diingat bahwa bagian struktur bangunan yang relatif kaku akan memicu gaya tarik yang jauh lebih besar dibandingkan dengan bagian yang flexibel. Struktur dengan sistem dinding geser beton bertulang cukup kaku sehingga dapat menyerap beban gempa yang besar. Apabila dinding geser runtuh, sisa-sisa komponen struktur yang lain tidak akan mampu menahan beban gempa yang diterima. Tetapi apabila dinding geser tersebut daktil maka tingkat daktilitas yang baik akan tercapai jika

penulangan dinding geser dengan baik, dinding geser akan sangat efektif dalam menahan beban gempa yang diterima.

Sistem dinding geser yang ditetapkan sebagai bagian dari sistem penahan beban gempa, pada SNI 2847:2019 dikategorikan sebagai berikut:

1. Dinding beton polos struktur biasa (pasal 14)
2. Dinding struktural beton bertulang biasa (pasal 18.10)
3. Dinding struktural pracetak menengah (pasal 16.2)
4. Dinding struktural khusus (pasal 18.5)

Pemilihan dinding struktur khusus sebagai sistem penahan gempa dipengaruhi oleh kekuatan beban gempa, fungsional, kemampuan konstruksi dan *budgeting*. Pada struktur bangunan tinggi hingga rendah, sistem dinding geser secara tipikal adalah sistem penahan gempa yang lebih efektif dalam hal *budgeting* dibandingkan dengan sistem lain seperti Sistem Rangka Pemikul Moment Khusus. Dinding geser pada umumnya digunakan pada bangunan beton bertulang dengan dibatasi tinggi lantai ke lantai atau faktor arsitektural lainnya yang tidak dapat diakomodasi ke dalam balok rangka. Struktur tangga dan *elevator cores* adalah titik lokasi yang biasa menggunakan sistem dinding geser, yang memberi dua fungsi yaitu sebagai pelindung bukaan vertikal dan menyediakan penahan efisian pada gaya aksial dan lateral.



Gambar 2.7 Gaya Dinding Geser pada arah yang berlawanan

Pada gambar 2.7 menunjukkan dinding geser menerima gaya lateral V_u . Dinding geser tersebut sebenarnya adalah sebuah balok kantilever dengan tinggi keseluruhan l_w dan lebar h . Pada gambar 2.6 bagian (a) dinding geser tertekuk dari arah kiri ke arah kanan akibat V_u , dan menyebabkan tulangan perlunya tulangan tarik di sebelah kiri atau pada sisi tarik. Jika V_u diimplementasikan dari sisi kanan seperti yang diperlihatkan pada gambar bagian (b), tulangan tarik diperlukan pada sisi kanan dinding. Maka dapat dilihat bahwa dinding geser membutuhkan tulangan tarik pada kedua sisinya yang disebabkan oleh V_u , bisa juga datang dari kedua arah tersebut.

Dinding geser berfungsi sebagai balok kantilever vertikal yang menyediakan tahanan lateral, dinding geser menerima gaya geser maupun tekuk. Pada dinding geser tersebut, gaya geser maksimum V_u dan momen maksimum M_u terjadi pada dasar dinding. Jika tegangan lentur ikut diperhitungkan, besar tegangan lentur pada dinding geser tersebut akan dipengaruhi oleh beban aksial desain N_u , dan selanjutnya pengaruh tegangan lentur yang terjadi harus diikuti sertakan dalam analisis.

2.7.5 Desain Pelat

A. Pelat Satu Arah

Pada pelat satu arah tebal minimum yang telah ditentukan pada SNI 2847:2019, untuk pelat satu arah yang tidak bertumpu atau melekat pada partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar, ketebalan keseluruhan pelat h tidak boleh kurang dari batas minimum kecuali jika hasil hitungan pada batas lendutan.

Tabel 2.9 ketebalan pelat satu arah

Kondisi tumpuan	$H^{(1)}$ Minimum
Tumpuan sederhana	$l/20$
Satu ujung menerus	$l/24$
Kedua ujung menerus	$l/28$
Kantilever	$l/10$

Catatan : Angka ini berlaku untuk beton normal $f_y = 420$ MPa.

B. Pelat Dua Arah

Pada pelat dua arah dengan balok yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya, ketebalan pelat keseluruhan h harus memenuhi batasan-batasan pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.10 ketebalan minimum pelat dua arah

$\alpha f m [1]$	h minimum, mm	
$\alpha f m \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku	(a)
$0,2 < \alpha f m \leq 2,0$	Terbesar dari :	$\frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (\alpha f m - 0,2)}$
		125
$\alpha f m > 2,0$	Terbesar dari :	$\frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$
		90

Catatan : pada pelat tepi tidak menerus yang sesuai tabel 2.10 harus disediakan balok dengan $\alpha_f \geq 0,80$ atau ketebalan minimum harus memenuhi dan harus diperbesar paling sedikit 10 persen pada panel tepi yang tidak menerus.

2.8 Perencanaan Struktur Bawah

Struktur bawah (*sub structure*) pada suatu bangunan yang berfungsi meneruskan atau menyalurkan beban dari struktur atas ke lapisan tanah dasar.

Pemilihan jenis struktur bawah yang digunakan didasarkan kepada beberapa pertimbangan, yaitu:

1) Keadaan tanah pondasi

Jenis tanah, daya dukung tanah, kedalaman tanah keras, dan beberapa hal yang menyangkut keadaan tanah erat kaitannya dengan jenis pondasi yang dipilih.

2) Batasan-batasan akibat konstruksi di atasnya

Keadaan struktur atas sangat mempengaruhi pemilihan jenis pondasi. Hal ini meliputi kondisi beban (besar beban, arah beban, dan penyebaran beban) dan sifat dinamik bangunan di atasnya (statik tertentu atau tak tertentu, kekakuan, dan sebagainya).

3) Batasan-batasan di lingkungan sekelilingnya

Hal ini menyangkut lokasi proyek, pekerjaan pondasi tidak boleh mengganggu atau membahayakan bangunan dan lingkungan yang telah ada disekitarnya.

2.8.1 ***Tie Beam***

Tie Beam adalah salah satu bagian struktur yang terletak pada struktur bangunan gedung atau pada bangunan yang menggunakan pondasi dalam maupun pondasi setempat. Secara umum *Tie Beam* sama dengan balok (*beam*), yang membedakan hanyalah letaknya berada di struktur bawah.

2.8.2 ***Pondasi Bored Pile***

Pondasi *bored pile* adalah salah satu jenis dari berbagai macam bentuk jenis dan pondasi dalam dengan memiliki bentuk seperti tabung yang terdiri dari campuran beton bertulang dengan dimensi diameter tertentu yang dipasang didalam tanah dengan menggunakan metode pengeboran terkini sampai panjang kedalam dengan tingkat kekerasan daya dukung tanah yang diperlukan untuk sesuatu konstruksi bangunan.

Pemasangan *bored pile* dimulai dengan proses pembuatan lubang di dalam tanah dengan dimensi vertikal menggunakan teknik pengeboran dengan mesin *bored pile*, bisa memakai teknik metode bor kering (*dry boring*) atau bisa menggunakan teknik pengeboran bor basah (*wash boring*). Pelubangan dilakukan sampai dengan kedalaman yang telah ditentukan sebelumnya atau sampai tanah keras yang memenuhi perhitungan daya dukung yang telah diperhitungkan sebelumnya yang biasanya mengikuti data sondir penyelidikan daya dukung tanah sebelum proses pelaksanaan pekerjaan *bored pile*. Biasanya ukuran pondasi yang sering dipakai adalah diameter 20 cm, 30 cm dan 40 cm, sesuai dengan tersedianya mata bor. Seperti layaknya pondasi tiang, maka pondasi pada dudukan *beton pile (pile cap)*. Fungsi dudukan beton adalah mengikatkan tulangan pondasi pada kolom dan *sloof*. Selain itu fungsinya adalah untuk transfer tekanan beban di atasnya.

Terdapat beberapa keuntungan dalam pemakaian pondasi *bored pile* yaitu pada proses pelaksanaannya tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran yang membahayakan bangunan sekitarnya, pondasi *bored pile* dapat dipasang menembus batuan, diameter tiang memungkinkan dibuat besar bila perlu ujung bawah tiang dapat dibuat lebih besar guna mempertinggi kapasitas dukungnya.

Adapun kelemahan dari pondasi *bored pile* yaitu pengecoran *bored pile* dipengaruhi kondisi cuaca, pengecoran beton lebih sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik, mutu beton hasil pengecoran bila tidak terjamin keseragamannya di sepanjang badan *bored pile* mengurangi kapasitas dukung *bored pile* terutama bila *bored pile* cukup dalam, pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil, air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tiang, akan terjadi tanah

runtuh jika tindakan pencegahan tidak dilakukan maka dipasang *temporary casing* untuk mencegah terjadinya kelongsoran.

2.8.3 Kapasitas Daya Dukung Data Lapangan Berdasarkan hasil SPT

Formula empiris untuk menghitung daya dukung *axial* pondasi berdasarkan nilai SPT:

$$Q_e = Q_a \times F_s = 40 \times N_c \times A_e + \frac{N_e \times A_s}{5} \quad (2.34)$$

Dimana :

Q_u dan Q_e = menghitung daya dukung (ton)

N_c = Nilai SPT rata rata dihitung dari ujung tiang sampai 2 kali diameter di bawahnya

N_s = Nilai SPT rata-rata sepanjang selimut tiang

A_e = Luas penampang tiang (m^2)

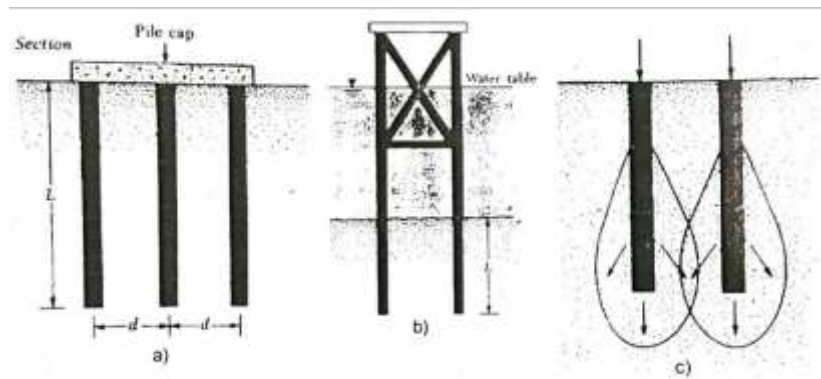
A_s = Luas selimut (m^2)

F_s = 4

2.8.4 Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Grup

Apabila beban struktur atas yang harus ditumpu oleh pondasi tiang terlalu besar, maka secara tunggal pondasi tiang tidak lagi mampu menopang beban tersebut. Untuk itu salah satu cara untuk mengatasinya adalah dengan memasang beberapa tiang menjadi satu kelompok, atau sering disebut dengan pondasi grup tiang.

Masing-masing tiang dalam satu grup selanjutnya diikat bagian atasnya dengan kepala tiang (*pile cap/poor*). Kepala tiang ini bisa terikat langsung diatas atau dibawah permukaan tanah, seperti penggunaan pada umumnya, tetapi juga bisa berada diatas permukaan tanah, seperti biasa dipakai pada bangunan dilaut (*offshore platform*, dll)



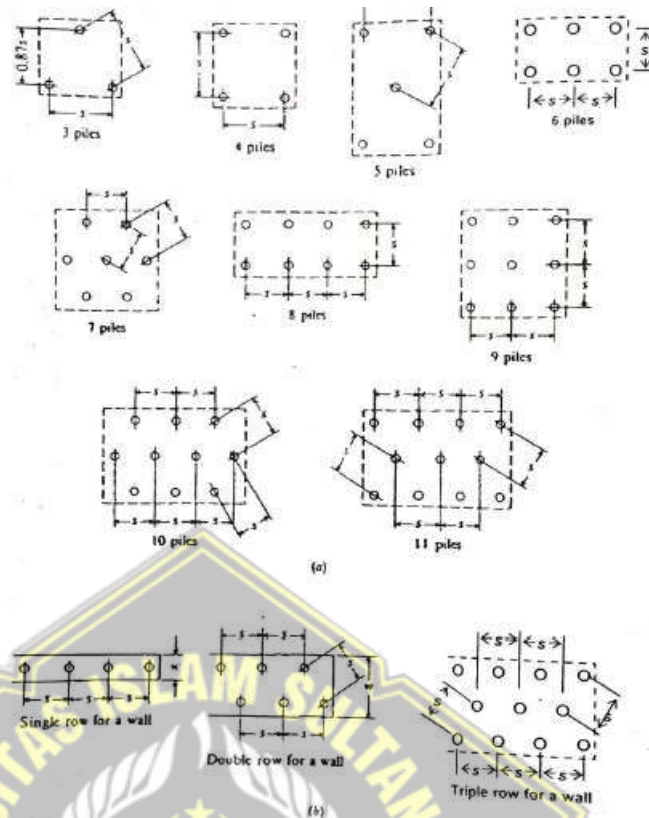
Gambar 2.8 Konstruksi Grup Tiang

Daya dukung grup tiang secara keseluruhan sangat tergantung jarak antar tiang. Apabila jarak antar tiang sangat dekat satu sama lainnya, maka bisa diasumsikan bahwa tegangan-tegangan yang disalurkan oleh tiang ke tanah disekitarnya akan *overlap*, sehingga akan mengurangi daya dukung grup tiang. Untuk itu sangat disarankan agar antara tiang dalam grup mempunyai jarak sedemikian rupa, sehingga daya dukung grup tiang keseluruhan sama dengan jumlah daya dukung tiang tunggal. Secara praktis jarak antara tiang dalam grup minimal adalah 2.5 d (diameter tiang), tetapi pada umumnya jarak ini dibuat melalui 3 sampai 3,5 kali diameter tiang.

Selain itu, jarak antar tiang berdasarkan fungsi tiang disarankan :

- *Friction pile* $S_{min} = 3d$
- *End bearing pile* $S_{min} = 2,5d$

Konfigurasi pengaturan grup tiang dalam satu kepala tiang bisa dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.9 Konfigurasi Tiang dalam Grup

Daya dukung tiang dihitung berdasarkan asumsi:

- Keruntuhan tiang tunggal
- Keruntuhan *block*

Anggapan keruntuhan diatas didasarkan atas klasifikasi tanah dan jarak antar tiang (s) dalam satu grup.

- Dihitung berdasarkan keruntuhan tiang tunggal

Pada c-soils, c- ϕ soils, dan ϕ soils apabila dipenuhi syarat minimum spasi antar tiang, formula daya dukung pada anggapan ini adalah :

$$Q_{ug} = Q_{ut} \times n \times E_g$$

Untuk c-soils, c - ϕ soils $\rightarrow E_g = 0,7$ ($s=3d$) sampai 1

$$(s \geq 8d) \quad (2.35)$$

Untuk ϕ soils

$\rightarrow E_g = 1$

$$(2.36)$$

2.8.5 Efisiensi Grup Tiang

Apabila jarak antar tiang dalam satu grup (kepala tiang) tidak memenuhi jarak minimum yang disyaratkan, maka daya dukung grup tiang tidak akan sama dengan daya dukung satu tiang dikalikan dengan jumlah tiang dalam grup tersebut, melainkan ada satu faktor pengali yang besarnya kurang dari satu dan biasa disebut dengan efisiensi grup tiang. Dengan demikian daya dukung total grup tiang bisa dituliskan:

$$Q_{ug} = Q_{ut} \times n \times E_g \quad (2.37)$$

Dimana :

Q_{ug} = daya dukung grup tiang (ton)

Q_{ut} = daya dukung tiang tunggal (ton)

N = jumlah tiang dalam grup

E_g = efisiensi grup tiang (≤ 1)

Gambar 2.9 Menjelaskan dari efisiensi grup tiang. Gambar a dan b memperlihatkan diagram tegangan mobilisasi keruntuhan berbentuk *bulb pressure* yang tidak saling berpotongan. Pada kondisi ini daya dukung grup tiang sama dengan daya dukung tiang tunggal dikalikan dengan jumlah tiang dalam satu grup. Ada beberapa untuk menghitung efisiensi grup tiang tetapi persamaan bawah (*Lebarre*) adalah yang paling sering dipakai :

$$E_g = 1 - Q \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 mn} \quad (2.38)$$

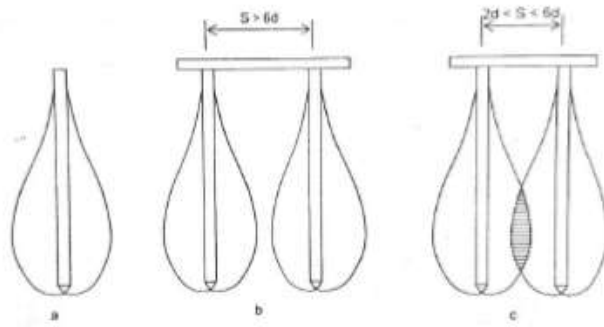
Q = $\tan (d/s)$ dalam derajat

d = diameter tiang

s = jarak antar as tiang

n = jumlah tiang dalam baris

m = jumlah baris



Gambar 2.10 Mobilisasi Keruntuhan (*Bulb Pressure*)

2.8.6 Penurunan Pondasi Tiang Pada Batuan (Lapisan Tanah Keras)

Penurunan suatu pondasi tiang yang menerima beban vertikal (Q_w) akan mengalami 3 macam penurunan, sebagaimana tertulis sebagai berikut:

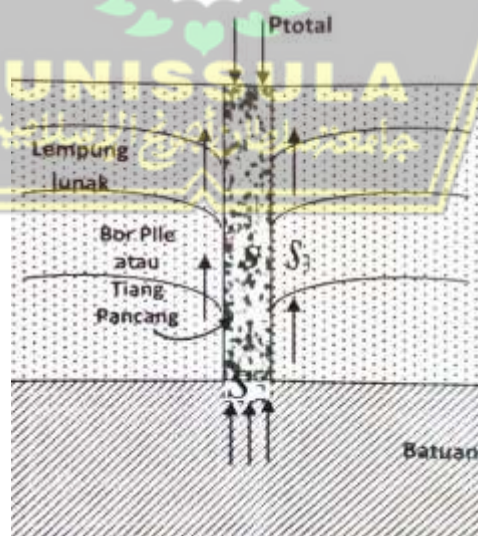
$$S = S_1 + S_2 + S_3 \quad (2.39)$$

Dimana :

S = Penurunan total tiang

S_1 = Penurunan material tiang pondasi

S_3 = Penurunan dari lapisan tanah disepanjang tiang pondasi akibat beban yang ditransfer melalui tiang tersebut



Gambar 2.11 Tiga Macam Penurunan Pondasi Tiang Di Lapisan Batuan

Penjelasan untuk menentukan besaran dari masing-masing penurunan dapat disampingkan sebagai berikut :

a. Menentukan harga S1

Apabila diasumsikan bahwa material dari tiang adalah elastis, maka deformasi dari tiang pondasi dapat dievaluasi dengan menggunakan persamaan dari mekanika bahan sebagai berikut:

$$S1 = \frac{Qp + \xi Qws \times L}{Ap \times Ep} \quad (2.40)$$

Dimana :

Qp = Beban yang didukung oleh ujung pondasi

Qws = Beban yang didukung oleh geseran antara tiang dengan tanah

Ap = Luas penampang tiang pondasi

L = Panjang tiang pondasi

Ep = Modulus dari material tiang

ξ = Besaran yang tergantung pada distribusi alami dari geseran antara tiang dengan tanah.

b. Menentukan harga S2 :

Penurunan dari tiang pondasi yang disebabkan karena beban ujung tiang sama seperti penurunan pada pondasi langsung yaitu :

$$S2 = \frac{qwd D}{E} (1 - \mu s^2) Iwp \quad (2.41)$$

Dimana :

D = Diameter tiang pondasi

Qwp = Tegangan diujung tiang $qwp = \frac{Qwp}{Ap}$

Es = Modulus dari batuan ujung tiang

μs = Angka *poisson's ratio*

Iwp = tiang bulat dan dianggap kaku

c. Menentukan harga S3 :

Penurunan dari tiang pondasi yang disebabkan oleh beban yang diterima oleh dinding tiang akibat adanya gesekan antara tanah dengan tiang dapat dilakukan dengan perhitungan yang

hampir sama dengan perhitungan untuk ujung pondasi (S2). Hanya dihitung adalah tegangan pada dinding tiang.

Perlu dijelaskan disini bahwa penurunan S3 ini untuk pondasi tiang yang didukung oleh lapisan batuan relatif tegangan geser antara tiang dengan tanah hampir tidak ada atau dapat dihilangkan karena hampir semua beban pondasi didukung oleh ujung tiang yang terletak diatas lapisan batuan.

Namun demikian tetap perlu untuk diketahui karena apabila penurunan pada lapisan batuan cukup besar, maka tegangan geser antara tiang dan tanah akan bekerja penuh.

$$S3 = \left(\frac{Qws}{PL} \right) \frac{D}{Es} (1-\mu s^2) Iws \quad (2.42)$$

Dimana :

P = Keliling lingkaran

L = Panjang tiang pondasi

Iws = *Influence* faktor dapat dihitung dari persamaan sebagai berikut :

$$Iws = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} \quad (2.43)$$

2.8.7 Penurunan Tiang Kelompok

Penurunan kelompok tiang umumnya lebih besar dari pada pondasi tiang tunggal karena pengaruh tegangan pada daerah yang lebih luas dan lebih dalam. Vesic (1977) memberikan rumus sederhana sebagai berikut :

$$Sg = s \sqrt{\frac{Bg}{D}} \quad (2.44)$$

Dimana :

S = Penurunan pondasi tiang tunggal

Sg = Penurunan kelompok tiang

Bg = Lebar kelompok tiang

D = Diameter atau sisi kelompok tiang

2.8.8 Beban Maksimum Yang Diterima Oleh Tiang

Besarnya beban maksimum yang diterima oleh tiang adalah :

$$P_{maks} = \frac{\sum P_u}{n} \pm \frac{M_{x,y}}{n y \cdot \sum y^2} \pm \frac{M_{y,x}}{n x \cdot \sum x^2} \quad (2.45)$$

Dimana,

P_{maks} = Beban maksimum yang diterima oleh tiang (ton)

P_v = Jumlah total beban

n = Jumlah tiang dalam grup

M_x, M_y = Momen pada arah x

x_{maks} = Absis terjauh dari tiang terhadap titik kelompok

y_{maks} = Koordinat terjauh tiang terhadap titik berat kelompok

N_x = Banyaknya tiang dalam satu baris arah sumbu x

N_y = Banyaknya tiang dalam satu baris arah sumbu y

2.8.9 Penulangan Tulangan Utama

Penulangan pada pondasi *bored pile* sama halnya penulangan pada kolom, hanya saja penampang yang digunakan ialah bentuk penampang bulat. Formula kuat beban aksial maksimum untuk kolom dengan penulangan spiral dihitung menggunakan rumus:

$$\phi P_n (\text{maks}) = 0,85\phi (0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + (f_y \times A_{st})) \quad (2.46)$$

Dimana,

P_n = Kuat beban aksial nominal

ϕ = Faktor reduksi kekuatan pengikat spiral (0,7)

f_c = Kuat tekan beton

f_y = Tegangan leleh tulangan

A_g = Luas kotor penampang kolom

A_{st} = Luas total penampang tulangan memanjang

Kondisi pembebanan tanpa eksentrisitas yang merupakan keadaan khusus, kuat beban aksial nominal atau teoritis dapat diungkapkan sebagai berikut :

$$P_o = 0,85 f_c (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st} \quad (2.47)$$

Dimana,

P_o = Kuat beban aksial nominal atau teoritis tanpa eksentrisitas

f_c = Kuat tekan beton

f_y = Tegangan leleh tulangan

A_g = Luas kotor penampang kolom

A_{st} = Luas total penampang tulangan memanjang

Untuk kolom penampang bulat misalnya, dalam menghitung gaya tahanan nominal P_n pada eksentrisitas tertentu digunakan keseimbangan momen dan gaya-gaya sama seperti pada penampang kolom persegi empat. Sebagai pendekatan digunakan metode luas penampang persegi ekuivalen. Penampang bulat ditransformasikan menjadi kolom segi-empat ekuivalen. Ekuivalen dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut:

- 1 Tebal penampang ke arah lenturan diambil $0,8h$ dimana h adalah diameter luar kolom bulat.
- 2 Lebar kolom segi-empat ekuivalen b , adalah : $b = A_g / 0,8h$
- 3 Luas tulangan total A_{st} ekuivalen ditentukan dengan cara menempatkan seluruh tulangan total pada dua lapis sejajar bergerak $1/3(2D_s)$ dalam arah lentur, dimana D_s adalah diameter lingkaran tulangan terluar dari pusat ke pusat.

Kapasitas penampang kolom yang menahan kombinasi beban aksial dan momen lentur dapat digambarkan dalam bentuk diagram interaksi. Seperti yang telah dikemukakan terdahulu, diagram interaksi berfungsi sebagai alat bantu analisis, sedangkan untuk proses

perencanaan kolom dengan beban eksentris diagram tersebut digunakan untuk pendekatan coba-coba. Pada penampang kolom pendek yang dibebani dengan beban aksial eksentrisitas besar, yaitu pada $P_n < P_b$ awal keruntuhan ditandai dengan luluhnya baja tarik. Dengan demikian berarti $f_s = f_y$, sedangkan tegangan pada tulangan baja tekan masih terdapat dua kemungkinan sudah mencapai leleh atau belum.

$$P_{nb} = (0,85 f'_c x ab x b) + (A_s' x f_s') - (A_s x f_y) \quad (2.48)$$

$$M_{nb} = [(0,85 f'_c x ab x b) \left(\frac{h}{2} - \frac{ab}{2} \right) + (A_s' x f_s') \left(\frac{d-d'}{2} \right) + (A_s x f_y) \left(\frac{d-d'}{2} \right)] \quad (2.49)$$

$$P_o = 0,85 x f'_c x (A_g - A_{st}) + f_y x A_{st} \quad (2.50)$$

$$P_t = A_{st} x f_y \quad (2.51)$$

Keterangan :

P_{nb} = Kuat beban aksial nominal dalam keadaan seimbang

M_{nb} = Momen aksial nominal dalam keadaan seimbang

P_o = Beban aksial nominal tanpa eksentrisitas

P_t = Beban Tarik yang diterima tulangan

f'_c = Kuat tekan beton

B = Lebar penampang segi empat ekivalen

f_y = Tegangan leleh tulangan

Eksentrisitas dalam keadaan seimbang didapatkan dari perbandingan momen dalam keadaan seimbang dengan beban aksial dalam keadaan seimbang.

2.8.10 Perhitungan Tulangan Sengkang

Perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.52)$$

Dimana,

V_u = gaya geser terfaktor pada penampang

V_n = kuat geser nominal

$$V_n = V_c + V_s$$

Dengan nilai V_c yaitu :

$$\left(1 + \frac{N_u}{14 A_g}\right) \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \quad (2.53)$$

Dimana,

N_u = beban aksial terfaktor (N)

f_c = kuat tekan beton (Mpa)

A_g = Luas kotor penampang (mm^2)

b_w = lebar penampang (mm)

D = tinggi efektif (mm)

Sedangkan, untuk rumus V_s , dipakai :

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \quad (2.54)$$

Dimana,

A_v = Luas tulangan geser (mm^2)

D = tinggi efektif

f_y = tegangan leleh tulangan (Mpa)

S = rentang jarak tulangan Sengkang (mm)

2.8.11 Perencanaan Tebal *Pile cap*

1. Kontrol tegangan geser 2 arah (geser *pons*)

Perhitungan gaya tekan ke atas

$$V_u = \{(b_x \times b_y) - \{(b+d_x) \times (h+d_x)\} \times \frac{\sigma_{maks} + \sigma_{min}}{2} \quad (2.55)$$

Dimana :

d_x = tinggi efektif *pile* dengan rumus $d_x = h$ -selimut beton
-1/2 ϕ_D

M_x = Nilai momen yang bekerja

Q = Kontrol tegangan pada tanah

$$a) \quad V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \frac{\lambda \sqrt{f_c} \times b_o \times d}{6} \quad (2.56)$$

$$b) \quad V_c = \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2\right) \frac{\lambda \sqrt{f_c} \times b_o \times d}{12} \quad (2.57)$$

$$c) \quad V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f_c} \times b_o \times d \quad (2.58)$$

Dari nilai V_c diatas ambil nilai yang paling terkecil lalu bandungkan dengan nilai gaya geser ijin dengan rumus ϕV_c dan nilai dan nilai $\phi = 0,75$ untuk nilai kuat runtuh geser.

2.8.12 Penulangan *Pile Cap*

a. Jarak antar tiang *pile cap*

$$\text{Rumus : } s \geq 2,5 D \quad (2.59)$$

$$s \geq 3 D \quad (2.60)$$

b. Tulangan *Pile cap*

1. Menghitung rasio tulangan

$$\left(\frac{M_{ux}}{b_x \times d^2}\right) = \rho \times \phi \times f_y \left(1 - 0,588 \times \rho \times \frac{f_y}{f_c}\right) \quad (2.61)$$

Dengan syarat rasio tulangan $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$

$M_{ux,y}$ = momen pada arah x atau y

b = lebar *pile cap*

d = tinggi efektif

ρ = rasio tulangan

f_y = tegangan leleh tulangan

f_c = kuat tekan beton

2. Menghitung jumlah tulangan yang digunakan :

$$n \text{ tulangan} = \frac{As \text{ Perlu}}{As \text{ yang digunakan}} \quad (2.62)$$

as perlu = Luas tulangan yang diperlukan

as yang digunakan = Luas tulangan yang digunakan

3. Menghitung jarak tulangan

$$S = \frac{b}{n-1} \quad (2.63)$$

b = Lebar *pile cap*

n = jumlah tulangan



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan pada perencanaan ini menggunakan data sekunder. Data sekunder adalah jenis data dalam penelitian berdasarkan cara memperolehnya, yang artinya sumber data penelitian yang diperoleh dan dikumpulkan peneliti secara tidak langsung melainkan dengan pihak lain. Data sekunder berfungsi sebagai data penting pada proses perencanaan. Data sekunder pada perencanaan ini meliputi:

1. Gambar-gambar yang terkait dengan bangunan gedung,
2. Data tanah pada lokasi bangunan gedung terkait,
3. Data Seismik wilayah (*Website* Kementrian PU).

3.2 Perencanaan dan Analisis Perhitungan Struktur

Tahap perencanaan dan analisis struktur bangunan dilaksanakan pada setiap bagian bangunan gedung. Tahapan-tahapan pada perencanaan serta analisa dengan pedoman-pedoman dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Standar yang digunakan

- SNI 2847-2019 (Persyaratan beton struktural pada struktur bangunan gedung)
- SNI 1726-2019 (Tata cara perencanaan ketahanan gempa pada struktur bangunan gedung dan non gedung)
- SNI 1727-2020 (Pembebanan minimum pada perencanaan bangunan gedung maupun non gedung)

2. Pengolahan Data

Data sekunder pada bangunan gedung yang akan diteliti untuk direncanakan. Data yang diperoleh adalah *shop drawing* (denah, tampak, potongan) gedung Apartemen *Star condotel* Yogyakarta. Data tersebut digunakan dalam permodelan struktur menggunakan program ETABS v2018 yang kemudian dianalisis. Data selanjutnya adalah data tanah yang digunakan berdasarkan lokasi proyek berada, data tanah digunakan sebagai pedoman dalam perencanaan struktur bawah.

3. Analisis Situasi Tanah

Analisis kedalaman dan kondisi tanah dalam bab ini dinyatakan pada sub-sub klasifikasi situs. Penentuan klasifikasi situs bergantung pada parameter-parameter tanah yaitu tahanan penetrasi *standart* rata-rata lapangan, kecepatan rata-rata gelombang geser, dan kuat geser aliran rata-rata. Berdasarkan *point-point* tersebut, maka diketahui situs pada lokasi perencanaan bangunan tersebut apakah tanah lunak, tanah sedang, tanah keras, batuan, ataupun batuan keras.

4. Pradimensi dan Permodelan Struktur

Pelaksanaan tahap pendimensian dan permodelan harus berpedoman pada peraturan-peraturan yang berlaku pada perencanaan dimensi dari elemen struktur. Permodelan struktur berdasarkan dengan gambar yang telah direncanakan. Permodelan ini menggunakan bantuan program aplikasi ETABS v18. Dengan cara membuat grid arah X dan arah Y. Setelah itu mengedit *grid* sesuai dengan yang direncanakan, dilanjutkan dengan mendesain balok, kolom, *shear wall* dan pelat disertai dengan dimensi, setelah pendimensian selesai kemudian dilanjutkan dengan menggambar elemen struktur kolom, balok, pelat dan *shear wall* pada program ETABS v18 yang akan menghasilkan hasil permodelan struktur.

5. Perhitungan Pembebanan (beban mati dan beban hidup)

Perhitungan pembebanan meliputi perhitungan beban-beban yang bekerja pada struktur gedung berupa beban mati dan beban hidup. Beban mati dapat diketahui berdasarkan hasil dari permodelan beban sendiri struktur pada *software* dimasukan dalam *load case super DEAD*, sedangkan berat sendiri tambahan yang tidak dapat dimodelkan dengan *software* dimasukan dalam *load case Super Dead*. Berat sendiri dalam *software* untuk *dead* adalah satu, sedangkan *Super Dead* adalah nol, di mana beban untuk *dead* otomatis akan dihitung oleh program, sedangkan pada beban *Super Dead* perlu dimasukan dengan cara manual sesuai dengan data-data yang ada. Beban hidup yang diinput ke dalam program dinotasikan sebagai *life*.

Beban hidup harus berpedoman dengan peraturan-peraturan yang berlaku. Beban hidup mendapat reduksi oleh beban gempa. Perhitungan beban hidup dalam program ETABS v18 untuk *life* adalah 0, di mana beban hidup harus diinput secara manual sesuai pedoman yang ada.

6. Perhitungan Beban Gempa

Dalam analisa struktur bangunan yang ditinjau, beban gempa dianggap sebagai beban statik ekuivalen pada tiap lantainya. Dalam sub bab ini dijelaskan mengenai prosedur statik ekuivalen tujuannya untuk mendapatkan distribusi beban lateral gempa pada setiap lantainya, tahap-tahap dalam perhitungan gempa adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan kategori resiko gempa dan faktor keutamaan,
- b. Menentukan klasifikasi situs,
- c. Menentukan parameter respons spektral gempa terpetakan (Nilai S_s dan S_1),
- d. Menentukan parameter respons spektral gempa tertarget (Nilai S_{MS} dan S_{M1}),
- e. Menentukan parameter respons spektral gempa desain (Nilai S_{DS} dan S_{D1}),
- f. Menentukan spektrum respons *desain*,
- g. Menentukan kategori *desain* seismik (KDS),
- h. Menghitung massa terpusat pada setiap lantai,
- i. Melakukan analisis terhadap getaran dinamis dan getaran bebas,
- j. Kontrol hasil analisis dinamik gempa
 - Melakukan kontrol bentuk ragam dan partisipasi massa bangunan
 - Melakukan kontrol periode fundamental struktur
 - Melakukan kontrol terhadap gaya geser dasar
 - Melakukan kontrol terhadap simpangan antar lantai

7. Analisa Struktur

Analisa struktur menggunakan Respon Spektrum untuk mendapatkan kurva respon spektrum sesuai dengan koordinat gempa yang di analisa dengan menggunakan bantuan program dari kementerian pekerjaan umum yang bernama Puskim. Data-data yang dibutuhkan dalam analisa

respon spektrum adalah nilai C_a dan C_v . Di mana nilai dari C_a (*Peak Ground Acceleration*) didapat dari percepatan muka tanah maksimum di suatu wilayah.

8. Perencanaan Elemen Struktur

a. Perencanaan struktur atas

Perencanaan struktur atas didefinisikan sebagai perencanaan elemen-elemen struktur bangunan yang berada di atas permukaan tanah. Perencanaan struktur atas meliputi kolom, balok, hubungan kolom balok (*joint*), pelat dan dinding geser.

Adapun detail pada langkah-langkah tersebut dibahas pada bab 4.

- Perencanaan kolom
 - Menentukan data-data gaya aksial dan momen dari ETABS v18
 - Mengecek elemen struktur penahan gempa
 - Menentukan tulangan longitudinal penahan struktur lentur
 - Melakukan kontrol beban aksial kolom terhadap beban aksial terfaktor
 - Pengecekan perilaku struktur
 - Mendesain tulangan transversal sebagai *confinement*
 - Menghitung gaya geser desain (V_e)
- Perencanaan balok
 - Data Moment dan Torsi didapatkan melalui ETABS v18
 - Mengecek persyaratan struktur lentur SRPMK
 - Mendesain tahanan torsi
 - Mendesain penulangan struktur lentur
 - Mendesain tulangan transversal
- Perencanaan dinding geser
 - Pengambilan data-data dari ETABS v18
 - Merencanakan dinding geser

- Perencanaan pelat
 - Menghitung nilai momen pada pelat M_{lx} , M_{ly} , M_{tx} dan M_{ty}
 - Merencanakan penulangan pelat

b. Perencanaan struktur bawah

Perencanaan struktur bawah adalah perencanaan elemen struktur yang terletak di bawah permukaan tanah yang menumpu beban struktur bangunan di atasnya dan menyalurkan beban-beban struktur bangunan menuju tanah keras.

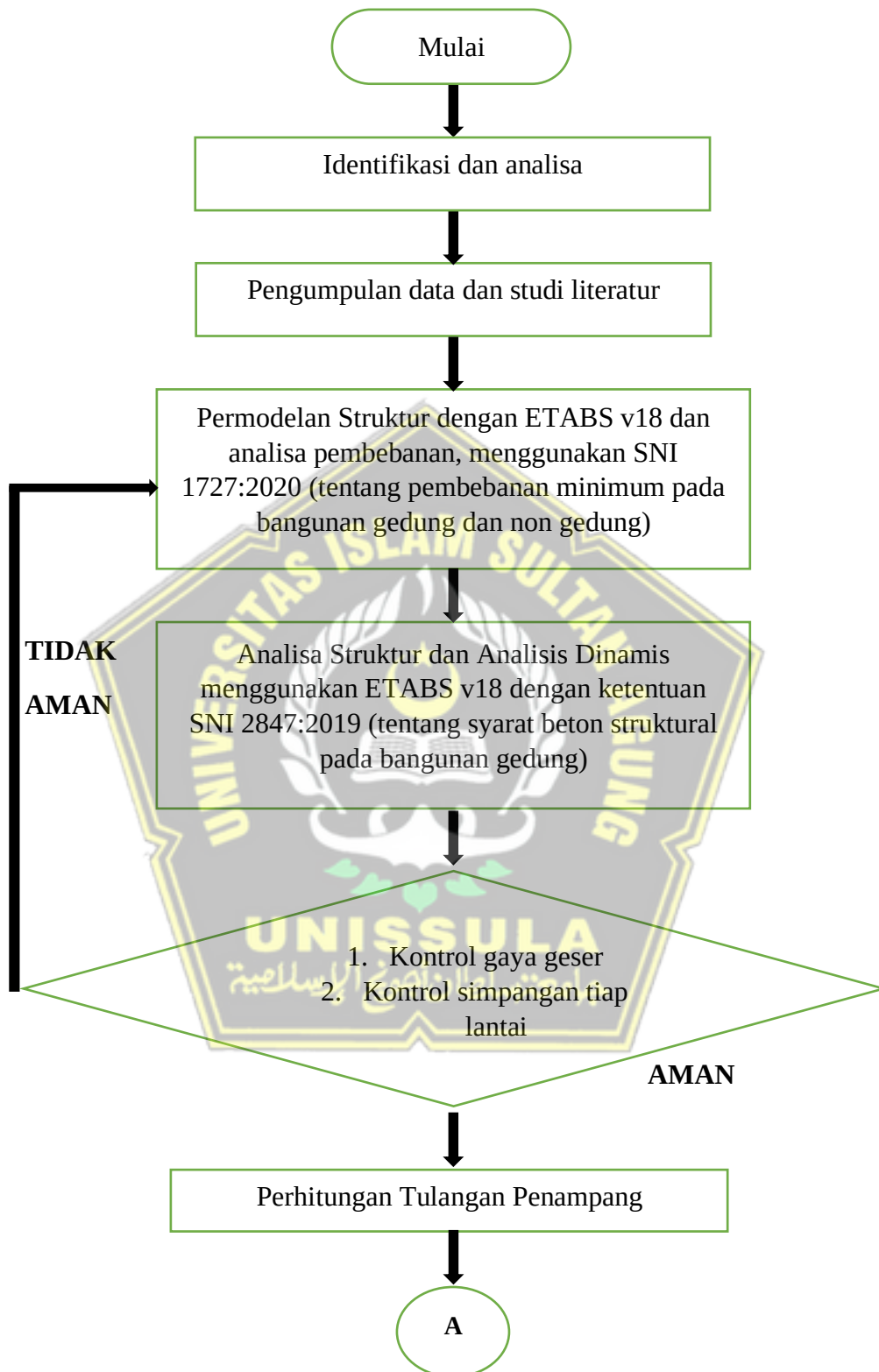
Adapun tahap-tahap perencanaan struktur bawah adalah sebagai berikut:

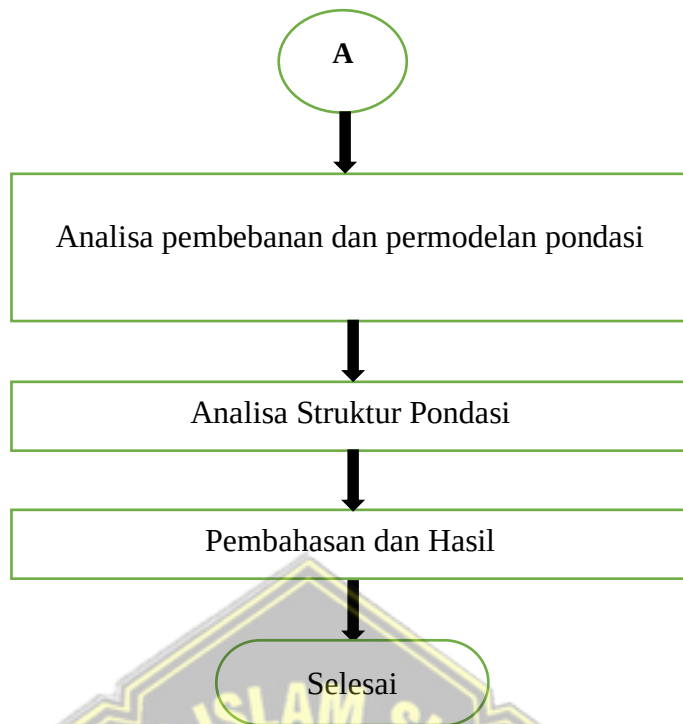
- Perencanaan *Tie Beam*

Pada dasarnya perencanaan *Tie Beam* pada struktur gedung hampir sama dengan perencanaan struktur balok. Namun jika pondasi terletak pada kedalaman tanah keras, maka pada kasus tersebut *Tie Beam* hanya berfungsi sebagai pengikat antar struktur kolom.

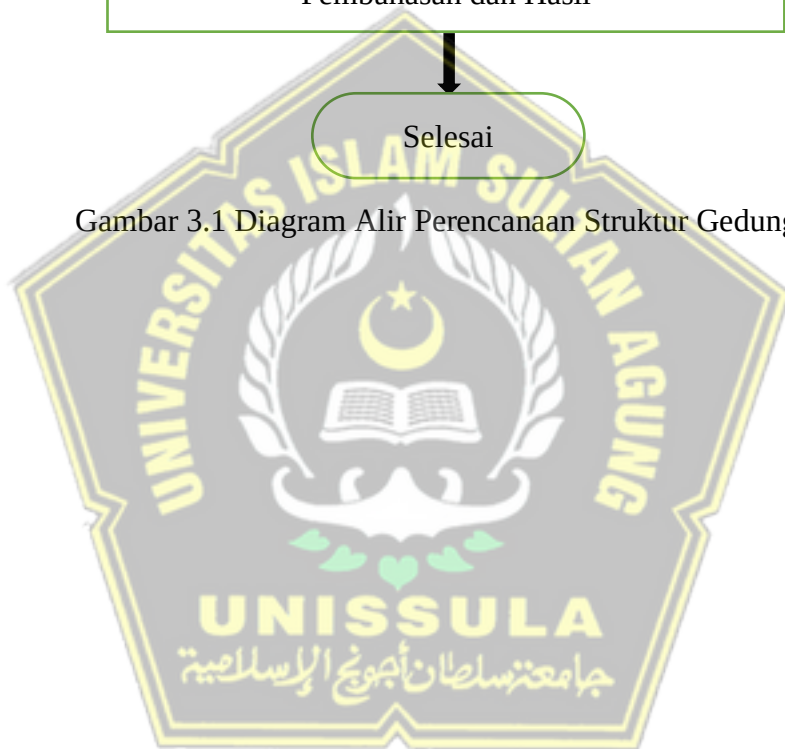
- Perencanaan Pondasi *Bored Pile*
 - Menghitung daya dukung lapangan
 - Kebutuhan jumlah tiang
 - Menghitung efisiensi tiang
 - Menghitung tulangan pondasi
- Perencanaan *Pile Cap*
 - Menghitung tegangan geser 2 arah
 - Menghitung geser yang ditahan beton
 - Menghitung tulangan *pile cap*

3.3 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir Perencanaan Struktur Gedung



BAB IV

ANALISA DAN PERHITUNGAN

4.1 Pra-Pendimensian dan Permodelan Struktur

4.1.1 Pradimensian Komponen Struktur

Dimensi komponen struktur ini direncanakan berdasarkan SNI 2847:2019 persyaratan beton structural untuk bangunan gedung dan SNI 1726:2019 tata cara perencanaan tahan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

1 Penampang Balok

Tabel 4.1 Penampang Balok

No	Kode Balok	Tipe Balok (mm)
1	BL.b	400 x 800
2	BA.a	300 x 650
3	BA.b	300 x 600

2 Penampang Kolom

Tabel 4.2 Penampang Kolom

No	Kode Kolom	Tipe Kolom (mm)
1	K1.a	700 x 1000
2	K1.b	1000 x 700
3	K2.a	700 x 900
4	K2.b	900 x 700

3 Penampang Pelat

Pada SNI 2847:2019 tentang ketebalan minimum pelat dua arah non prategang tanpa balok interior dapat ditentukan sebagai berikut:

Tabel 4.3 Penampang Pelat

No	Nama Pelat Lantai	Tebal Pelat Lantai (mm)
1	PELAT 12	120
2	PELAT 15	150
3	PELAT 20	200

4 Penampang Dinding Geser

Perencanaan dinding geser menggunakan ketebalan yang searagam sepanjang tinggi bangunan. Perencanaan tebal dinding geser dilakukan dengan membagi tinggi per lantai terbesar atau panjang dinding geser yang dibagi dengan 25, diantara kedua nilai tersebut yang digunakan adalah yang terkecil,

$$T_{dinding} = \frac{hw}{25}$$

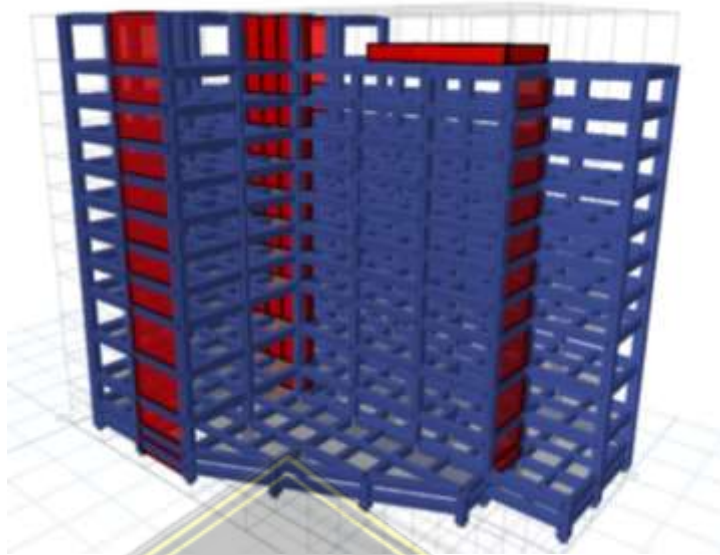
$$T_{dinding} = \frac{lw}{25}$$

Persyaratan kedua yang menjadi acuan dalam penentuan ketebalan dinding geser adalah SNI 2847:2019 pada pasal

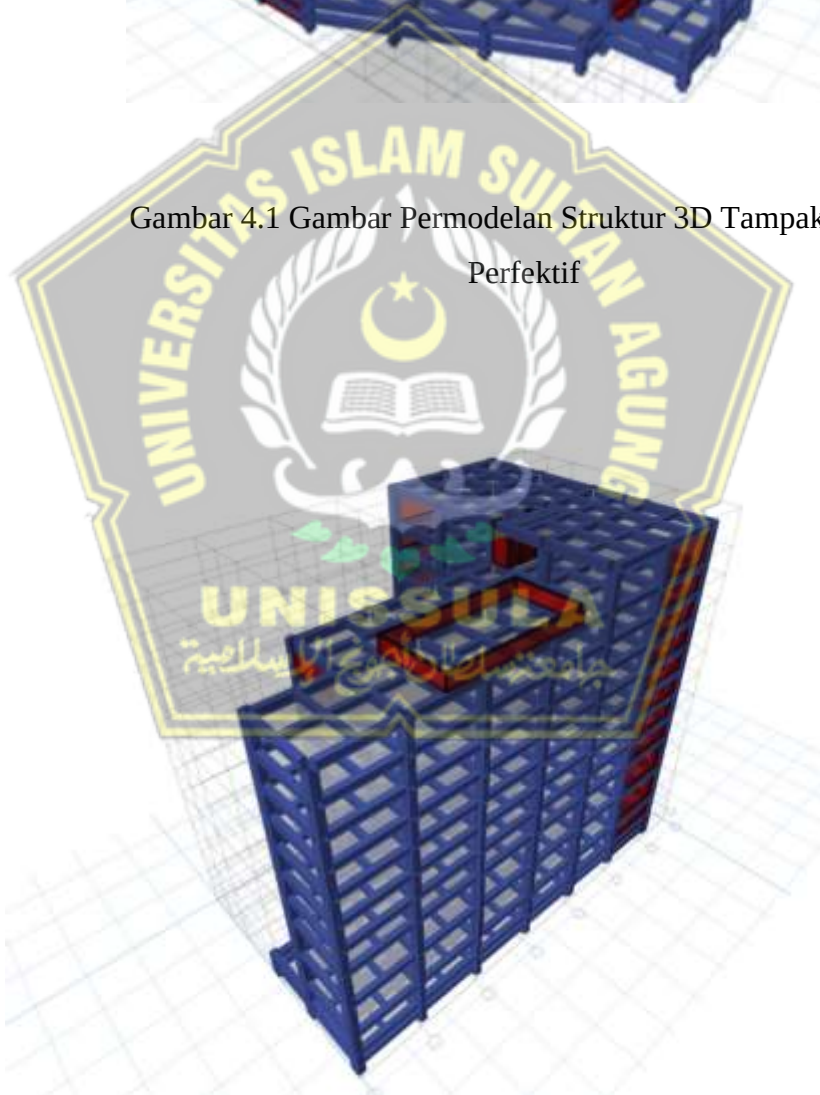
Tabel 4.4 Penampang Dinding Geser

No	Nama	Tebal Wall Lantai (mm)
1	WALL	350

4.1.2 Permodelan Struktur



Gambar 4.1 Gambar Permodelan Struktur 3D Tampak Depan
Perfektif



Gambar 4.2 Gambar Permodelan Struktur 3D Tampak Belakang Perfektif

4.2 Formulasi Pembebanan Struktur

Pada perencanaan struktur gedung Apartemen 12 lantai ini, kombinasi pembebanan yang digunakan berpedoman pada peraturan – peraturan pada SNI 1727:2020 pasal 2.3 dan pasal 2.3.6 yaitu sebagai berikut:

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r \text{ atau } 0,5W)$
5. $0,9D + 1,0W$
6. $1,2D + E_v + E_h + L$
7. $0,9D - E_v + E_h$
8. $1,0D + 0,7E_v + 0,7 E_h$
9. $1,0D + 0,525E_v + 0,525E_h + 0,75L$
10. $0,6D - 0,7E_v + 0,7E_h$

Pembebanan beban mati pada tahap permodelan struktur gedung terdiri dari beban struktur itu sendiri dan beban mati tambahan yang berupa luas beban merata yang di tahan oleh pelat lantai, beban mati tambahan yang dimaksud dapat diasumsikan berupa *plafond*, *finishing*, *penggantung plafond* (*hollow*), dan beban mati tambahan lainnya.

Standar pembebanan beban hidup yang bekerja pada pelat lantai mengacu pada Tabel 4.3.1 SNI 1727:2020. Beban hidup yang diinput berbeda-beda tergantung pada fungsi ruang dan bangunan tersebut. Beban hidup merata yang digunakan dalam analisis struktur adalah sebagai berikut,

- | | |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1. Parkir | $= 1,92 \text{ kN/m}^2$ |
| 2. Lobby | $= 4,79 \text{ kN/m}^2$ |
| 3. Ruang kantor | $= 4,79 \text{ kN/m}^2$ |
| 4. <i>Restaurant</i> | $= 4,79 \text{ kN/m}^2$ |
| 5. Semua ruang kecuali tangga | $= 1,92 \text{ kN/m}^2$ |
| 6. Atap | $= 0,96 \text{ kN/m}^2$ |

4.3 Mutu Bahan Struktur

Mutu bahan yang digunakan pada analisis permodelan struktur adalah sebagai berikut,

1. Mutu beton yang digunakan pada struktur pada pondasi *bored pile*,
 $f_c' = 22 \text{ Mpa}$
2. Mutu beton yang digunakan pada struktur pada *Tie Beam*.
 $f_c' = 30 \text{ Mpa}$
3. Mutu beton yang digunakan pada struktur yaitu *pile cap*, kolom, balok, pelat, dan dinding geser.
 $f_c' = 32 \text{ MPa}$
4. Mutu baja tulangan yang digunakan yaitu
BJTS 420 B = $f_y 420 \text{ MPa}$ dan $f_u 550 \text{ MPa}$ ($D_{tul} > 12 \text{ mm}$ ulir)
BJTS 280 = $f_y 280 \text{ MPa}$ dan $f_u 350 \text{ MPa}$ ($D_{tul} \leq 10 \text{ mm}$ polos)

4.4 Analisis Desain Seismik

Desain pembebanan seismik pada struktur gedung dianalisis menggunakan pedoman yang terdapat pada SNI 1726:2019 mengenai tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

4.4.1 Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Gedung yang direncanakan merupakan gedung yang berfungsi sebagai rumah huni vertikal. Berdasarkan Tabel 3 dan 4 SNI 1726:2019 struktur gedung ini diklasifikasikan ke dalam kategori risiko II dengan nilai faktor keutamaan gempa (I_e) sebesar 1,0.

4.4.2 Klasifikasi Situs

Berdasarkan pada pasal 5.1 SNI 1726:2019, klasifikasi situs dapat ditentukan berdasarkan 3 parameter yaitu kecepatan rata - rata gelombang geser (v_s), tahanan penetrasi standar lapangan rata – rata (N), dan kuat geser niralir rata – rata (s_u) masing – masing pada kedalaman 24 meter paling atas. Penentuan klasifikasi situs menggunakan nilai penetrasi standar atau N-SPT yang diperoleh dari hasil pengujian tanah pada lokasi yang direncanakan dan diuji oleh Laboratorium Mekanikan Tanah Fakultas Teknik Universitas Atma

Jaya Yogyakarta. Dengan analisis perhitungan nilai rata – rata N-SPT dengan kedalaman 24 m dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.5 Nilai N-SPT *Site* Proyek

Kedalaman dari permukaan tanah setempat (m)	N1	Jenis Tanah (pengamatan di lapangan)	Relative Density
0,00 s/d 2,00	8.00	Urugan	Lepas
2,00 s/d 4,00	13.00	Pasir	Sedang
4,00 s/d 6,00	20.00	Pasir Lanau	Sedang
6,00 s/d 8,00	21.00	Pasir	Sedang
8,00 s/d 10,00	21.00	Pasir Kasar	Sedang
10,00 s/d 12,00	20.00	Pasir Kasar	Sedang
12,00 s/d 14,00	18.00	Pasir halus	Sedang
14,00 s/d 16,00	18.00	Lanau Pasir	Sedang
16,00 s/d 18,00	25.00	Pasir Kasar	Sedang
18,00 s/d 20,00	30.00	Pasir kasar	Padat
20,00 s/d 22,00	32.00	Batu Pasir	Padat
22,00 s/d 24,00	40.00	Batu Pasir	Padat
24,00 s/d 26,00	41.00	Pasir Sedang	Padat
26,00 s/d 28,00	45.00	Pasir Sedang	Padat
28,00 s/d 30,00	47.00	Pasir Halus	Padat

4.4.3 Parameter Respons Spektral Gempa Terpetakan (S_s dan S_1)

Penentuan parameter respon spektral gempa didapatkan melalui Aplikasi Desain Spektral Indonesia yang berada di *website* resmi yang disediakan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dengan cara menginput koordinat lokasi yang telah direncanakan pada *website* dan secara otomatis akan diperoleh nilai parameter respons spektral gempa yang ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data Parameter Respons Spektral Terpetakan

Variabel	Nilai
F_{PGA}	0.467
S_s (g)	1.089
S_1 (g)	0.493
F_A	1.064
F_v	1.807

4.4.4 Parameter Respons Spektral Gempa Tertarget (Nilai S_{MS} dan S_{M1})

Penentuan nilai parameter respons spektral gempa tertarget pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs yang diperoleh menggunakan Aplikasi Desain Spektral Indonesia di *website* yang telah disediakan oleh Kementerian Pekerjaan Umum. Dengan menginput data koordinat dari lokasi yang direncanakan pada *website* dan menentukan jenis tanah akan didapatkan nilai parameter respons spektral gempa tertarget berdasarkan persamaan (2.1) dan (2.2) serta ditunjukkan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Data Parameter Respons Spektral Tertarget

Variabel	Nilai
S_{MS} (g)	1.159
S_{M1} (g)	0.890

4.4.5 Parameter Respons Spektral Gempa Desain (Nilai S_{DS} dan S_{D1})

Penentuan respons spektral gempa desain pada periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs yang diperoleh dari *website* yang telah disediakan oleh Kementerian Pekerjaan Umum. Koordinat lokasi yang direncanakan diinput pada *website* tersebut dan menentukan jenis tanahnya maka akan didapat nilai parameter respons spektral gempa desain berdasarkan persamaan (2.3) dan (2.4) serta ditunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Data Parameter Spektral Gempa Desain

Variabel	Nilai
S_{DS} (g)	0.773
S_{D1} (g)	0.594

4.4.6 Spektrum Respons Desain

Spektrum respons desain dapat dianalisis dengan mengacu pada pasal 6.4 SNI 1726:2019. Persamaan – persamaan yang tersedia dapat dianalisis nilai – nilai periode yang dibutuhkan dalam membuat spektrum respons desain dimulai dari T_0 , T_S hingga perioda-perioda berikut nilainya dihitung berdasarkan persamaan

Spektrum respons juga dapat diperoleh secara mudah melalui *website* dan aplikasi yang disediakan oleh Kementerian Pekerjaan Umum sehingga dapat mempermudah dalam menentukan Spektrum Respons Desain. Hasil dari *website* dan aplikasi tersebut didapatkan nilai spektrum percepatan desain dan kemudian menghitung S_a berdasarkan dengan persamaan (2.5, 2.6, dan 2.7) tergantung pada nilai T dan T_0 ditampilkan pada tabel dibawah ini

Tabel 4.9 Respons Spektrum Desain

T (s)	S_a (g)
0	0,309
0,154	0,773
0,768	0,773
1	0,594
2	0,297
3	0,198
4	0,148
5	0,119
6	0,099
7	0,085
8	0,074
9	0,066
10	0,059
11	0,054
12	0,049
13	0,046
14	0,042

4.4.7 Sistem Struktur dan Parameternya

Penentuan sistem struktur berhubungan dengan elemen penahan beban lateral dan juga Kategori Desain Seismik yang direncanakan. Pada perencanaan ini akan menggunakan sistem ganda sebagai penahan beban lateral. Asumsi penentuan sistem struktur dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, misalnya berhubungan dengan ketinggian bangunan, untuk bangunan hingga menengah di bawah 10 lantai biasanya digunakan sistem rangka pemikul momen.

Pada bangunan tinggi untuk mengantisipasi perilaku gempa secara dinamik pada umumnya sistem ganda yang merupakan gabungan antara dinding geser dengan rangka pemikul momen banyak digunakan. Selain dari ketinggian bangunan, wilayah dimana gedung berdiri juga dapat menjadi pertimbangan. Pada daerah yang terletak di zona rawan gempa harus memiliki elemen penahan beban lateral yang lebih baik dibandingkan dengan daerah yang bukan rawan gempa.

Tabel 4.10 Parameter Sistem Struktur

D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan	Koefisien modifikasi respons, R_a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembebanan defleksi i, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB

Pada perencanaan ini sistem struktur yang digunakan adalah sistem ganda dengan Rangka Pemikul Momen Khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa yang ditetapkan dan Dinding Geser Beton Bertulang Khusus.

Berdasarkan sistem struktur yang akan digunakan, maka parameter faktor gempa yang digunakan adalah :

1. Koefisien Modifikasi Respons, $R = 7$
2. Faktor Kuat Lebih Sistem, $\Omega_0 = 2,5$
3. Faktor Pembesaran Defleksi, $C_d = 5,5$

4.4.8 Kategori Desain Seismik dan Penahan Gaya Gempa

Struktur harus ditetapkan mempunyai suatu Kategori Desain Seismik yang sesuai pada Tabel 8 dan 9 SNI 1726:2019. Berdasarkan penentuan sebelumnya, gedung yang direncanakan termasuk kedalam Kategori Risiko II dan memiliki nilai $S_{DS} \geq 0,50$ dan nilai $S_{D1} \geq 0,2$ sehingga penentuan Kategori Desain Seismik dapat menggunakan Tabel (2.) dan (2.). Sehingga dapat diperoleh struktur ini termasuk ke dalam kategori Desain Seismik sedang yaitu D.

Sistem penahan gempa lateral dan vertikal pada struktur gedung ini direncanakan memiliki penahan gaya berupa sistem ganda yang terdiri dari sistem rangka pemikul momen khusus dan sistem dinding geser dari beton bertulang. Mengacu pada Tabel 4.10 mengenai faktor modifikasi respons dan pembesaran defleksi pada SNI 1726:2019 telah ditentukan bahwa koefisien modifikasi respons (R) = 7 dan faktor pembesaran deflaksi (C_d) = 5,5.

4.4.9 Analisis Getaran Bebas Struktur

Analisis getaran bebas akibat beban gempa dilakukan dengan menggunakan bantuan aplikasi ETABS dan menunjukkan ragam gempa yang terjadi. Bentuk ragam yang terjadi ditunjukkan pada tabel 4.11

Tabel 4.11 Bentuk Ragam dan Waktu Getar Struktur



Ragam 1	Ragam 2	Ragam 3
T = 1,474 detik	T = 0,905 detik	T = 0,646 detik
Translasi Arah Y	Translasi Arah X	Translasi Rotasi Z

Tabel 4.12 *Modal Load Participation Ratios*

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
Case	Item Type	Item	Static	Dynamic
			%	%
Modal	Acceleration	UX	99.98	91.62
Modal	Acceleration	UY	100	94.17
Modal	Acceleration	UZ	0	0

Dari hasil tabel 4.12 dapat dilihat bahwa untuk analisis statik partisipasi massa diasumsikan sudah mencapai **100%** di kedua arah orthogonal dan untuk analisis dinamik partisipasi massa telah mencapai lebih dari **90%**, hal ini sudah sesuai dengan persyaratan. Jika tidak tercapai tambahkan jumlah mode yang berkontribusi.

Tabel 4.13 *Modal Direction Factor*

TABLE: Modal Direction Factors						
Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	RZ
		sec				
Modal	1	1.475	0.001	0.854	0	0.145
Modal	2	0.905	0.713	0.057	0	0.23
Modal	3	0.646	0.293	0.142	0	0.565
Modal	4	0.385	0.002	0.846	0	0.152
Modal	5	0.196	0.273	0.608	0	0.119

Case	Mode	Periode	UX	UY	UZ	RZ
Modal	6	0.194	0.467	0.341	0	0.192
Modal	7	0.142	0.269	0.135	0	0.595
Modal	8	0.137	0.005	0.842	0	0.153
Modal	9	0.101	0.004	0.85	0	0.146
Modal	10	0.085	0.763	0.052	0	0.184
Modal	11	0.075	0.01	0.835	0	0.156
Modal	12	0.066	0.254	0.131	0	0.615
Modal	13	0.061	0.007	0.84	0	0.153
Modal	14	0.055	0.788	0.053	0	0.159
Modal	15	0.049	0.011	0.825	0	0.163

Dari hasil tabel 4.13 dapat dilihat bahwa pada mode 1 nilai faktor translasi UY memberikan angka yang paling besar/dominan yaitu **85,4%** hal ini menunjukkan bahwa gerak translasi arah Y terjadi pada mode ini sesuai dengan animasi layar komputer. Pada mode 2 nilai faktor translasi UX memberikan angka yang paling besar/dominan yaitu **71,13%** hal ini menunjukkan bahwa gerak translasi arah X terjadi pada mode ini sesuai dengan animasi layar komputer. Pada mode 3 nilai RZ dominan yaitu **56,5%** hal ini menunjukkan bahwa pada mode ini gerak struktur sudah dominan dalam rotasi. Persyaratan gerak ragam sudah sesuai.

4.4.10 Penentuan Periode Desain

Nilai fundamental struktur (T_a) yang didapatkan dari hasil analisis program struktur dibatasi tidak diizinkan melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari Tabel 17 SNI 1726:2019 dan periode fundamental pendekatan. T_a yang didapat dari persamaan (2.8) SNI 1726:2019 di mana tinggi struktur (h_n) adalah 40 m dan nilai C_t dan x diperoleh dari Tabel 18 SNI 1726:2019.

Tabel 4.14 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik :		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka 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 sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

$$C_t = 0,0488$$

$$x = 0,75$$

$$\begin{aligned}
 T_a &= C_t h_n^x \\
 &= (0,0488) \times (40)^{0,75} \\
 &= 0,7762 \text{ detik} \dots \dots \dots \text{Batas bawah}
 \end{aligned}$$

Mengacu pada SNI 1726:2019, periode getar struktur (T) tidak diizinkan melebihi hasil koefisien untuk batasan periode getar yang dihitung (C_u), seperti yang tercantum pada persamaan (2.9) tabel 17 SNI 1726:2019 maka diperoleh nilai dari perhitungan sebagai berikut,

Tabel 4.15 Koefisien Batas Atas Perioda

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

$$C_u = 1,4 \text{ (Tabel 17 SNI 1726-2019)}$$

$$\begin{aligned}
 T &= C_u \times T_a \\
 &= 1,475 \times 0,7762 \\
 &= 1,0867 \text{ detik} \dots \dots \dots \text{batas atas}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan dari analisis program ETABS, didapatkan nilai perioda berdasarkan *mode* untuk masing-masing arah adalah sebagai berikut :

$$T_y = 1,475 \text{ detik (mode - 1)}$$

$$T_x = 0,905 \text{ detik (mode - 2)}$$

Maka periode desain yang akan digunakan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut ini :

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

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

$$\text{Jika } T_c > C_u T_a, T = C_u T_c,$$

Keterangan :

T = Periode desain

T_c = Periode hasil Analisa aplikasi ETABS

T_a = Batas Bawah/Minimum Periode

$C_u T_a$ = Batas Atas/Maksimum Periode

Jadi Periode Desain yang akan digunakan adalah :

$$T_y = 1,475 \text{ detik} > 1,0867 \text{ detik} \dots\dots\dots T_y = 1,0867 \text{ detik}$$

$$T_x = 0,7762 < 0,905 \text{ detik} < 1,0867 \text{ detik} \dots\dots\dots T_x = 0,905 \text{ detik}$$

4.4.11 Kontrol Gaya Geser Dasar Seismik

Perhitungan nilai gaya geser dasar dihitung berdasarkan SNI 1726:2019 pada Pasal 7.8.1 dengan menghitung nilai koefisien respons seismik (C_s) terlebih dahulu dengan persamaan (2.3 dan 2.4) sebagai berikut :

$$- S_{DS} (g) = 0,773$$

$$- S_{D1} (g) = 0,594$$

Karena periode desain arah x = arah y, maka hanya dilakukan 1 kali penghitungan C_s , namun jika diperoleh periode desain yang berbeda maka dapat dilakukan perhitungan secara terpisah antara arah x dan arah y, rumus berikut terdapat pada persamaan (2.12, dan 2.13).

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,773}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,1104 \text{ g}, \text{ nilai } C_s \text{ yang dihitung tidak perlu}$$

melebihi daripada nilai $C_{s \max}$ berikut ini:

$$C_{s \max} = \frac{SD1}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,594}{1,0867\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,0780 \text{ g}, \text{ nilai } C_{s \max} \text{ harus tidak kurang}$$

dari :

$$\begin{aligned} C_{s \min} &= 0,0488 \times S_{DS} \times I_e \\ &= 0,0488 \times 0,773 \times 1 \geq 0,01 \\ &= 0,0377 \geq 0,01 \end{aligned}$$

Jadi : $C_{sx} = C_{sy} = 0,1093$ (koefisien gaya geser untuk arah x dan y)

4.4.12 Perhitungan Massa Terpusat Tiap Lantai

Perhitungan beban gempa pada suatu struktur dibutuhkan penentuan nilai massa pada setiap lantainya di mana beban yang diterima struktur adalah beban mati yaitu beban struktur itu sendiri dan beban hidup yang bekerja pada pelat lantai. Kombinasi pembebanan struktur yang digunakan yaitu 100% beban mati dan ditambah dengan 30% beban hidup.

$$W_T = 100\% DL + 30\% LL$$

Keterangan :

DL = Beban mati struktur pada setiap lantai

LL = Beban hidup keseluruhan pada setiap lantai

Penentuan massa dan pusat massa pada setiap lantai didapatkan dengan menghitung volume struktur dan digunakan sebagai beban sendiri struktur sedangkan pada beban hidup yang bekerja pada pelat lantai harus sesuai dengan peraturan - peraturan pada tabel 4.3-1 SNI 1727:2020. Hasil dari perhitungan beban pada setiap lantai dapat dilihat pada tabel 4.16.

Tabel 4.16 Massa Efektif Tiap Lantai dan Lokasi Titik Berat

Story	D	Mass X	Mass Y	XCM	YCM	Cum Mass X	Cum Mass Y
		Kg	kg	m	m	kg	kg
Lantai Atap	D1	456179.09	456179.09	13.0284	14.1275	456179.09	456179.09
Lantai 10	D1	960332.74	960332.74	22.8158	18.6395	1416511.83	1416511.83
Lantai 9	D1	894668.95	894668.95	22.6669	18.2178	2311180.78	2311180.78
Lantai 8	D1	894668.95	894668.95	22.6669	18.2178	3205849.73	3205849.73
Lantai 7	D1	894668.95	894668.95	22.6669	18.2178	4100518.68	4100518.68
Lantai 6	D1	895761.61	895761.61	22.6643	18.2175	4996280.29	4996280.29
Lantai 5	D1	895761.61	895761.61	22.6643	18.2175	5892041.9	5892041.9
Lantai 4	D1	895761.61	895761.61	22.6643	18.2175	6787803.51	6787803.51
Lantai 3	D1	934314.8	934314.8	22.6589	18.2258	7722118.31	7722118.31
Lantai 2	D1	1025338.74	1025338.74	22.6502	18.2355	8747457.05	8747457.05
Lantai 1	D1	986785.55	986785.55	22.6548	18.2283	9734242.6	9734242.6
Semi Basement	D1	670173.16	670173.16	20.5443	10.2837	10404415.76	10404415.76
Basement P1	D1	692268.74	692268.74	29.8902	22.0047	11096684.49	11096684.49

Pada tabel hasil *output* ETABS di atas, didapatkan data berat keseluruhan per-lantai dari *mass source* yang dimasukkan sebelumnya. Total berat seismic efektif yang digunakan untuk desain adalah :

$$W_{TOTAL} = 11096684.49 \text{ Kg}$$

4.4.13 Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

$$V = C_s W, \text{ dimana :}$$

$$V = \text{Geser dasar seismic}$$

$$C_s = \text{Koefisien respons seismic desain}$$

$$W = \text{Berat seismic total}$$

$$V_x = 0,1104 \times 11096684.49 = 1225073,97 \text{ Kgf}$$

$$V_y = 0,1104 \times 11096684.49 = 1225073,97 \text{ Kgf}$$

4.4.14 Distribusi Gaya Gempa Statik Tiap Lantai

Distribusi gaya gempa lateral (F) pada setiap lantai diatur dalam persamaan di bawah ini :

$$F = C_v \times V, \text{ dan}$$

$$C_v = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Interpolasi nilai k untuk nilai perioda desain pada rentang $0,5 < T < 2,5$ adalah :

$$k = 0,5 T + 0,75$$

$$k = 0,5 (1,0867) + 0,75$$

$$k = 1,29335$$

Tabel 4.17 Distribusi Gaya Gempa Statik Ekvivalen Tiap Lantai

Story	Wi Kg	hi m	K	h ^k Kgf	w*h ^k Kgf	Cvx Kgf	FX=FY Kgf
Lantai Atap	456179.09	40	1.2933	118.0169	53836840	0.093471643	114509.677
Lantai 10	960332.74	36	1.2933	102.9831	98898057	0.17170703	210353.8126
Lantai 9	894668.95	33	1.2933	92.02251	82329683	0.142940982	175113.2756
Lantai 8	894668.95	30	1.2933	81.35063	72781882	0.126364069	154805.331
Lantai 7	894668.95	27	1.2933	70.98764	63510440	0.110266969	135085.1936
Lantai 6	895761.61	24	1.2933	60.95751	54603395	0.094802537	116140.1207
Lantai 5	895761.61	21	1.2933	51.28923	45942927	0.079766213	97719.51166
Lantai 4	895761.61	18	1.2933	42.01883	37638853	0.065348661	80056.94347
Lantai 3	934314.8	15	1.2933	33.19241	31012163	0.053843387	65962.13165
Lantai 2	1025338.7	10.5	1.2933	20.92686	21457123	0.037253905	45638.78933
Lantai 1	986785.55	6	1.2933	10.14806	10013959	0.017386258	21299.4516
Semi Basement	670173.16	3	1.2933	4.140578	2774904	0.004817794	5902.154553
Basement P1	692268.74	1.5	1.2933	1.689425	1169536	0.002030551	2487.57495
Jumlah	11096685				5.76E+08	1	1225073.968

4.4.15 Gaya Geser Statik Tiap Lantai

Gaya geser pada tiap lantai akibat reaksi beban gempa desain dapat dihitung menggunakan persamaan :

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

Gaya geser merupakan nilai kumulatif dari penjumlahan gaya statik ekuivalen pada tiap lantai.

Tabel 4.18 Gaya Geser Statik Tiap Lantai

Story	Fx kgf	Vx kgf	Fy kgf	Vy Kgf
Lantai Atap	114509.7	114509.7	114509.7	114509.7
Lantai 10	210353.8	324863.5	210353.8	324863.5
Lantai 9	175113.3	499976.8	175113.3	499976.8
Lantai 8	154805.3	654782.1	154805.3	654782.1
Lantai 7	135085.2	789867.3	135085.2	789867.3
Lantai 6	116140.1	906007.4	116140.1	906007.4
Lantai 5	97719.51	1003727	97719.51	1003727
Lantai 4	80056.94	1083784	80056.94	1083784
Lantai 3	65962.13	1149746	65962.13	1149746
Lantai 2	45638.79	1195385	45638.79	1195385
Lantai 1	21299.45	1216684	21299.45	1216684
Semi Basement	5902.155	1222586	5902.155	1222586
Basement P1	2487.575	1225074	2487.575	1225074

Perhitungan :

Gaya Geser Lantai Atap, V_{Atap} , $V_{Atap} = F_{Atap} = 114509,7 \text{ Kgf}$

Gaya Geser Lantai 10 , $V_{10} = V_{Atap} + F_{10} = 324863,5 \text{ Kgf}$

Gaya Geser Lantai 9 , $V_9 = V_{10} + F_9 = 499976.8 \text{ Kgf}$

Gaya Geser Lantai, $V_1 = V_2 + F_1 = 1225074 \text{ Kgf}$

$V_{BASE SHEAR} = 1225,074 \text{ kN}$

4.5 Pembebanan Gempa Dinamik Respons Spektra

Pembebanan gempa dengan respons spektra berguna untuk melihat perilaku dinamik dari pola gaya geser bangunan-bangunan tinggi yang dipengaruhi oleh banyak mode/modal yang berkontribusi. Bangunan-bangunan yang memiliki sisi ketidakberaturan/irregurality juga harus menyertakan analisis gempa dinamik dalam perencanaan. Semakin tinggi bangunan dan semakin banyak mode yang berkontribusi maka perilaku dinamik akan menentukan dan dapat menjadi bahan pertimbangan untuk mendapatkan nilai gaya geser rencana yang juga dibandingkan dengan

analisis statik ekivalennya, sehingga didapat nilai-nilai gaya geser dengan distribusi yang bagus sepanjang tinggi gedung.

Pembebanan gempa dinamik respons spektra dapat dianalisis langsung menggunakan program ETABS dengan terlebih dahulu membuat kurva respons spektrum sesuai parameter spektral wilayah tempat gedung berdiri dan jenis tanahnya.

Kurva Spektrum Respons Desain merupakan fungsi percepatan spectral (S_a) terhadap perioda (T), kurva ini digunakan dalam analisis dinamik untuk mendapatkan nilai percepatan tanah desain dari masing-masing modal yang ada. Perhitungan Kurva Spektrum Respons Desain diatur dalam Pasal 6.4.



Gambar 4.3 Grafik Respons Spektrum Desain

Respons Spektrum Desain dapat dianalisis secara langsung dengan menggunakan *Microsoft Excel* dengan memperhatikan persamaan (2.5, 2.6 dan 2.7) berikut ini :

- a. Untuk perioda yang melebihi dari nilai T_0 ($T > T_0$), spektrum respons desain (S_a) :

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right)$$

- b. Untuk perioda yang lebih besar atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s ($T_0 \leq T \leq T_s$), spektrum respons desain (S_a) :

$$S_a = S_{DS}$$

c. Untuk perioda yang melebihi dari pada nilai T_s ($T > T_s$), spektrum desain (S_a) :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Keterangan :

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

$$T_0 = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

Nilai S_{DS} = 0,773 detik

Nilai S_{D1} = 0,594 detik

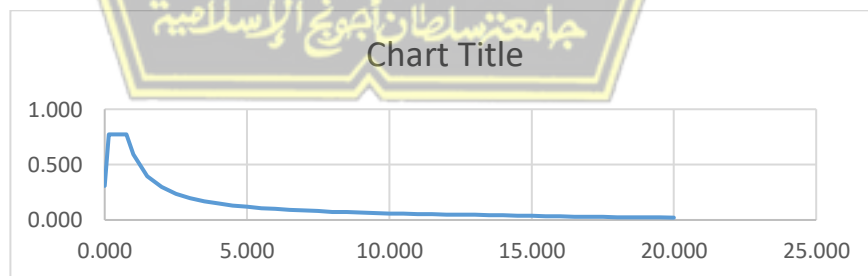
Nilai T_0 = 0,154 detik

Nilai T_s = 0,768 detik

Buat kolom T dan S_a di *ms.excel* dengan interval 0,01 detik dimulai dari 0 detik sampai asumsi 4 detik (nilai asumsi harus lebih dari nilai T_{DESAIN}).

Buat fungsi S_a sesuai dengan rentang perioda yang telah ditentukan pada poin-poin diatas.

Berikut ini akan ditampilkan kurva respons desain dengan SNI 1726 – 2019 :



Gambar 4.4 Kurva Respons Spektrum Desain Kota Yogyakarta pada Tanah Sedang dengan SNI 1726 – 2019

Tabel 4.19 Gaya Geser Dinamik Respons Spektrum

Load	Fx	Fy	FZ	Mx	My	Mz
Case/Combo	Kgf	kgf	kgf	kNm	kNm	kNm
SPEC-X	625551.790	210541.129	0	56956.416	177401.825	178285.455
SPEC-Y	210541.109	443530.802	0	120743.044	61472.037	91031.216

$$V_{\text{SPEC-X}} = 625551.790 \text{ Kgf}$$

$$V_{\text{SPEC-Y}} = 443530.802 \text{ Kgf}$$

Pembebanan gempa dinamik respons spektrum juga dapat dilakukan dengan menggunakan kurva respons spektrum secara otomatis pada program aplikasi ETABS. Seperti halnya pembebanan gempa statik ekuivalen otomatis, kurva respons spektrum juga didapat dengan menggunakan metode ASCE 7 – 16.

Tabel 4.20 Gaya Geser Dinamik Respons Spektrum Otomatis

Load	Fx	Fy	FZ	Mx	My	Mz
Case/Combo	Kgf	kgf	kgf	kNm	kNm	kNm
SPEC-X	549215.957	196732.3831	0	52718.9247	153372.3776	152601.2661
SPEC-Y	196732.3627	385300.3546	0	101857.992	57232.1253	80479.9144

$$V_{\text{SPEC-X}} = 549215.957 \text{ Kgf}$$

$$V_{\text{SPEC-Y}} = 385300.354 \text{ Kgf}$$

Hasil perbandingan gaya geser dengan menggunakan spektrum manual dan otomatis ETABS dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.21 hasil perbandingan Gaya Geser Dinamik

No	METODE	V _x	V _y
		Kgf	Kgf
1	Respons Spektrum Input Manual	625551.790	443530.802
2	Respons Spektrum Otomatis ASCE 7- 16	549215.957	385300.354

4.6 Relasi Beban Gempa Statik – Dinamik

Berdasarkan SNI 1726 – 2019, beban gempa dinamik tidak boleh kurang dari 100% beban gempa statik, atau dengan kata lain $V_{DINAMIK} \geq V_{STATIK}$, jika syarat tersebut tidak terpenuhi maka beban gempa dinamik harus dikalikan dengan faktor skala sebesar :

$$scale\ factor = \frac{1 \times V_{BASE\ STATIK}}{V_{BASE\ DINAMIK}}$$

Pada analisis gempa sebelumnya sudah didapatkan nilai beban gempa menggunakan metode gaya lateral statik ekuivalen dan dinamik respons spektra dengan berbagai metode. Dalam analisis desain ini akan digunakan nilai beban gempa statik ekuivalen hasil dari perhitungan manual berdasarkan beban gempa dinamik respons spektrum dengan metode ASCE 7 – 16 berdasarkan tabel.

Tabel 4.22 Gaya Geser Dinamik Arah X Tiap Lantai

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	M		kN	kN
Lantai Atap	40	Top	622.5305	97.0847
		Bottom	622.5305	97.0847
Lantai 10	36	Top	1734.5291	396.0911
		Bottom	1734.5291	396.0911
Lantai 9	33	Top	2605.0529	718.2634
		Bottom	2605.0529	718.2634
Lantai 8	30	Top	3330.8422	986.706
		Bottom	3330.8422	986.706
Lantai 7	27	Top	3944.4622	1220.9063
		Bottom	3944.4622	1220.9063
Lantai 6	24	Top	4469.6954	1432.4671
		Bottom	4469.6954	1432.4671
Lantai 5	21	Top	4924.7235	1622.1468
		Bottom	4924.7235	1622.1468
Lantai 4	18	Top	5320.7378	1784.9993
		Bottom	5320.7378	1784.9993
Lantai 3	15	Top	5675.9919	1924.0271
		Bottom	5675.9919	1924.0271
Lantai 2	10.5	Top	5941.1728	2015.3584
		Bottom	5941.1728	2015.3584

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	M		kN	kN
Lantai 1	6	Top	6075.9136	2051.5246
		Bottom	6075.9136	2051.5246
Semi Basement	3	Top	6115.9898	2058.6204
		Bottom	6115.9898	2058.6204
Basement P1	1.5	Top	6134.665	2064.736
		Bottom	6134.665	2064.736
Basement P2	0	Top	0	0
		Bottom	0	0

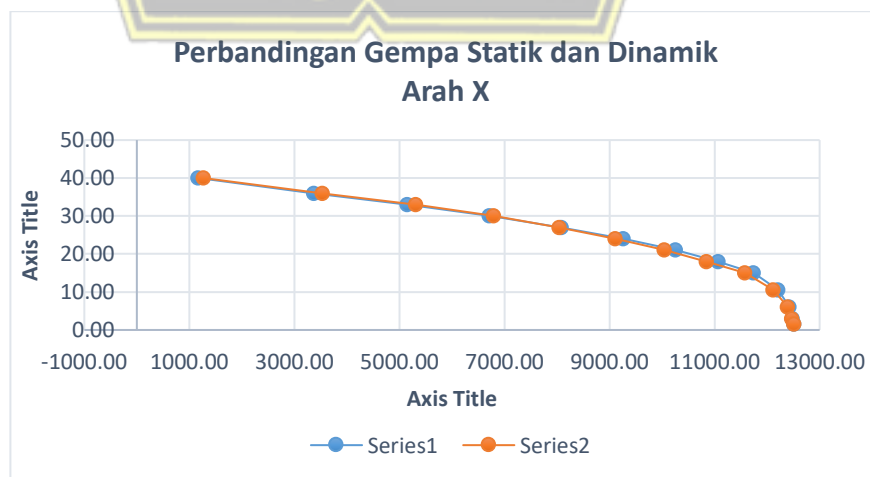
Tabel 4.23 Gaya Geser Dinamik Arah Y Tiap Lantai

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	M		kN	kN
Lantai Atap	40	Top	246.1623	625.2004
		Bottom	246.1623	625.2004
Lantai 10	36	Top	599.6669	1270.5694
		Bottom	599.6669	1270.5694
Lantai 9	33	Top	893.23	1817.8946
		Bottom	893.23	1817.8946
Lantai 8	30	Top	1144.4672	2285.9052
		Bottom	1144.4672	2285.9052
Lantai 7	27	Top	1361.0136	2690.1779
		Bottom	1361.0136	2690.1779
Lantai 6	24	Top	1546.6627	3041.359
		Bottom	1546.6627	3041.359
Lantai 5	21	Top	1702.8223	3348.0581
		Bottom	1702.8223	3348.0581
Lantai 4	18	Top	1831.3214	3624.9327
		Bottom	1831.3214	3624.9327
Lantai 3	15	Top	1939.6846	3899.0609
		Bottom	1939.6846	3899.0609
Lantai 2	10.5	Top	2014.5958	4137.2136
		Bottom	2014.5958	4137.2136
Lantai 1	6	Top	2049.0147	4278.7083
		Bottom	2049.0147	4278.7083

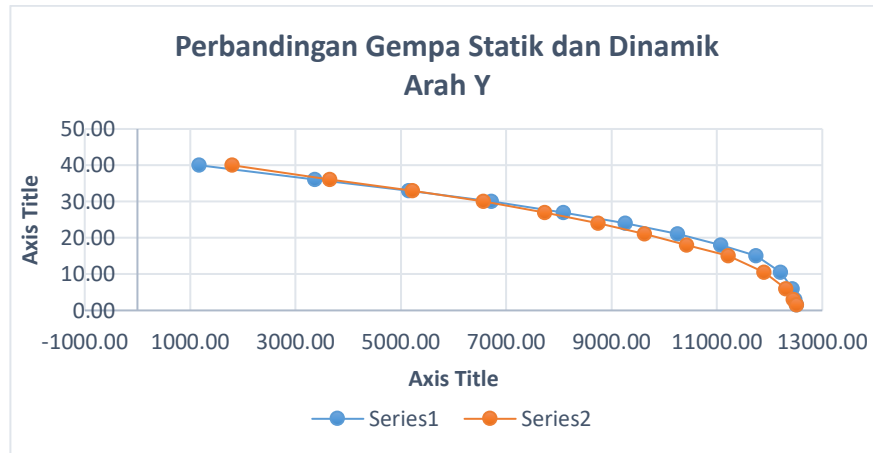
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	M		kN	kN
Semi Basement	3	Top	2060.7473	4330.6178
		Bottom	2060.7473	4330.6178
Basement P1	1.5	Top	2064.7358	4349.6205
		Bottom	2064.7358	4349.6205
Basement P2	0	Top	0	0
		Bottom	0	0

Tabel 4.24 Gaya Geser Statik dan Dinamik Tiap Lantai

Story	STATIK		DINAMIK	
	V _x	V _y	V SPEC - X	V SPEC - Y
	kgf	kgf	kgf	kgf
Lantai Atap	117565.0221	117565.0221	7531681.628	6985623.101
Lantai 10	337460.6079	337460.6079	20537075.13	14992572.62
Lantai 9	515125.4228	515125.4228	30508565.41	21294087.15
Lantai 8	672186.3902	672186.3902	38815703.4	26615388.54
Lantai 7	809239.8822	809239.8822	45837780.77	31133633.36
Lantai 6	927069.5978	927069.5978	51845786.89	35004713.33
Lantai 5	1026210.723	1026210.723	57038466.38	38437795.44
Lantai 4	1107432.327	1107432.327	61545341.54	41585548.16
Lantai 3	1174670.534	1174670.534	65608880.71	44669016.95
Lantai 2	1221355.39	1221355.39	68648380.04	47236578.72
Lantai 1	1243053.251	1243053.251	70161794.31	48645919.35
Semi Basement	1248954.815	1248954.815	70612448.68	49116414.03
Basement P1	1251432.61	1251432.61	70810026.77	49282430.36



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Gempa Statik dan Dinamik Arah X



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Gempa Statik dan Dinamik Arah Y

Tabel 4.25 Relasi Gaya Gempa Statik - Dinamik

GAYA	V _x	V _y
GEMPA	Kgf	Kgf
STATIK	1251432.61	1251432.61
100 % STATIK	1251432.61	1251432.61
DINAMIK	625551.7901	443530.8024

Berdasarkan pada tabel di atas, $V_{DINAMIK} < 100\% V_{STATIK}$, maka faktor skala gaya yang harus diberikan adalah :

$$scale\ factor\ X = \frac{1 \times V_{BASE\ STATIK}}{V_{BASE\ DINAMIK}}$$

$$scale\ factor\ X = \frac{1251432,61}{625551.7901}$$

$$= 2$$

$$scale\ factor\ y = \frac{1 \times V_{BASE\ STATIK}}{V_{BASE\ DINAMIK}}$$

$$scale\ factor\ y = \frac{1251432,61}{443530.8024}$$

$$= 2,821$$

Nilai gaya geser dinamik terkoreksi (Dinamik *Correcttion*) pada struktur gedung ini di tunjukan pada tabel 4.27 di bawah ini.

Tabel 4.26 Gaya Geser Dinamik Terkoreksi (Dinamik *Correction*)

Story	STATIK		DINAMIK		SKALA GAYA		DINAMIK CORRECTION	
	V _x	V _y	V SPEC - X	V SPEC - Y	X-Dir	Y-Dir	Vspec-x	Vspec-y
	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf			Kgf	Kgf
Lantai Atap	117565.02	117565.02	63479.44	63751.68	2.001	2.8215	126992.26	179876.88
Lantai 10	337460.61	337460.61	176869.93	129559.96			353832.90	365556.48
Lantai 9	515125.42	515125.42	265637.24	185370.71			531414.21	523027.83
Lantai 8	672186.39	672186.39	339645.98	233093.75			679470.61	657679.52
Lantai 7	809239.88	809239.88	402216.81	274317.44			804645.18	773993.12
Lantai 6	927069.60	927069.60	455774.84	310127.38			911789.41	875031.70
Lantai 5	1026210.72	1026210.72	502174.06	341401.48			1004612.25	963272.33
Lantai 4	1107432.33	1107432.33	542555.63	369634.39			1085396.64	1042932.13
Lantai 3	1174670.53	1174670.53	578780.89	397587.24			1157866.22	1121801.77
Lantai 2	1221355.39	1221355.39	605821.39	421871.67			1211961.43	1190320.86
Lantai 1	1243053.25	1243053.25	619560.91	436299.89			1239447.70	1231030.41
Semi Basement	1248954.81	1248954.81	623647.48	441593.10			1247622.99	1245965.33
Basement P1	1251432.61	1251432.61	625551.79	443530.80			1251432.61	1251432.61

Nilai gaya geser dinamik terkoreksi tiap lantai juga dapat analisis secara langsung seperti pada tabel di atas dengan contoh perhitungan sebagai berikut :

Arah X :

$$\begin{aligned}
 V \text{ (dinamik terkoreksi) } Lantai Atap &= V_{\text{DINAMIK}} \times \text{Skala Gaya Arah X} \\
 &= 63479.44 \times 2.001 \\
 &= 126992.26 \text{ Kgf}
 \end{aligned}$$

Arah Y :

$$\begin{aligned}
 V \text{ (dinamik terkoreksi) } Lantai Atap &= V_{\text{DINAMIK}} \times \text{Skala Gaya Arah Y} \\
 &= 63751.68 \times 2.8215 \\
 &= 179876.88 \text{ Kgf}
 \end{aligned}$$

4.7 Beban Gempa Desain

Dari hasil relasi antara gempa statik dan dinamik, kita dapat menentukan gaya gempa desain dengan distribusi yang baik dan sesuai sepanjang tinggi gedung. Gaya gempa desain mempertimbangkan nilai antara gaya geser statik

yang disyaratkan adalah (100%) dan gaya gempa dari hasil dinamik respons spektra yang hasilnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.27 Gaya Geser Desain Tiap Lantai

Story	STATIK		DINAMIK CORRECT		GAYA GESER DESAIN	
	Vx	Vy	V SPEC - X	V SPEC - Y	Vx	Vy
	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf
Lantai Atap	117565.02	117565.02	126992.26	179876.88	126992.26	179876.88
Lantai 10	337460.61	337460.61	353832.90	365556.48	353832.90	365556.48
Lantai 9	515125.42	515125.42	531414.21	523027.83	531414.21	523027.83
Lantai 8	672186.39	672186.39	679470.61	657679.52	679470.61	672186.39
Lantai 7	809239.88	809239.88	804645.18	773993.12	809239.88	809239.88
Lantai 6	927069.60	927069.60	911789.41	875031.70	927069.60	927069.60
Lantai 5	1026210.72	1026210.72	1004612.25	963272.33	1026210.72	1026210.72
Lantai 4	1107432.33	1107432.33	1085396.64	1042932.13	1107432.33	1107432.33
Lantai 3	1174670.53	1174670.53	1157866.22	1121801.77	1174670.53	1174670.53
Lantai 2	1221355.39	1221355.39	1211961.43	1190320.86	1221355.39	1221355.39
Lantai 1	1243053.25	1243053.25	1239447.70	1231030.41	1243053.25	1243053.25
Semi Basement	1248954.81	1248954.81	1247622.99	1245965.33	1248954.81	1248954.81
Basement P1	1251432.61	1251432.61	1251432.61	1251432.61	1251432.61	1251432.61

Nilai gaya geser struktur didapat dari nilai maksimum antara gaya gempa 100% static dan gaya gempa dinamik *correction*. Sebagai contoh penentuan gaya geser desain pada lantai atap adalah sebagai berikut :

Arah X :

$$\text{Gaya geser desain Lantai Atap} = \text{MAX} (117565.02 ; 126992.26) \\ = 126992.26 \text{ Kgf}$$

Arah Y :

$$\text{Gaya geser desain Lantai Atap} = \text{MAX} (117565.02 ; 179876.88) \\ = 179876.88 \text{ Kgf}$$

4.8 Gaya Gempa Lateral Desain

Gaya gempa lateral desain tiap lantai didapat dari gaya geser tiap lantai desain hasil analisis sebelumnya. Gaya gempa pada suatu lantai merupakan selisih dari gaya geser antar lantai tersebut, sehingga nilainya masing-masing dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Nilai gaya geser desain yang didapat dari nilai maksimum antara gaya gempa 100% static dan gaya gempa dinamik correction. Pada penentuan gaya geser desain Story 15 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.28 Gaya Gempa Desain

Story	GAYA GESER DESAIN		F. GEMPA DESAIN	
	Vx	Vy	Fx	Fy
	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf
Lantai Atap	126992.26	179876.88	126992.26	179876.88
Lantai 10	353832.90	365556.48	226840.64	185679.60
Lantai 9	531414.21	523027.83	177581.31	157471.35
Lantai 8	679470.61	672186.39	148056.40	149158.56
Lantai 7	809239.88	809239.88	129769.28	137053.49
Lantai 6	927069.60	927069.60	117829.72	117829.72
Lantai 5	1026210.72	1026210.72	99141.13	99141.13
Lantai 4	1107432.33	1107432.33	81221.60	81221.60
Lantai 3	1174670.53	1174670.53	67238.21	67238.21
Lantai 2	1221355.39	1221355.39	46684.86	46684.86
Lantai 1	1243053.25	1243053.25	21697.86	21697.86
Semi Basement	1248954.81	1248954.81	5901.56	5901.56
Basement P1	1251432.61	1251432.61	2477.80	2477.80

Gaya Gempa Desain arah X (Fx)

Lantai Atap = 126992,26

Gaya Gempa Desain arah Y (Fy)

Lantai Atap = 179876,88

4.9 Kontrol Desain

Kontrol desain struktur dilakukan terhadap pengecekan batas simpangan antar lantai yang diatur dalam pasal 7.8.6 dan 7.12.1 serta kestabilan akibat efek P-Delta yang diatur dalam pasal 7.8.7.

Tabel 4.29 Simpangan Maksimum Lantai Akibat Gempa Arah X

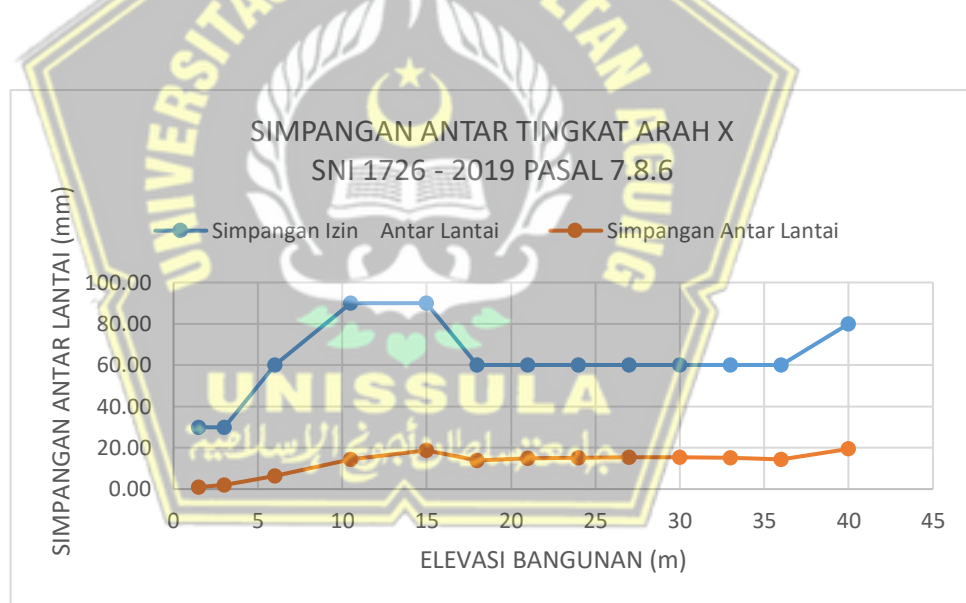
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	M		mm	mm
Lantai Atap	40	Top	30.164	19.017
Lantai 10	36	Top	26.634	27.746
Lantai 9	33	Top	24.021	25.05
Lantai 8	30	Top	21.261	22.18
Lantai 7	27	Top	18.475	19.275
Lantai 6	24	Top	15.674	16.35
Lantai 5	21	Top	12.904	13.453
Lantai 4	18	Top	10.217	10.639
Lantai 3	15	Top	7.683	7.981
Lantai 2	10.5	Top	4.293	4.435
Lantai 1	6	Top	1.685	1.716
Semi Basement	3	Top	0.547	0.492
Basement P1	1.5	Top	0.185	0.176
Basement P2	0	Top	0	0

Tabel 4.30 Simpangan Maksimum Lantai Akibat Gempa Arah Y

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		mm	mm
Lantai Atap	40	Top	20.634	54.699
Lantai 10	36	Top	18.459	50.723
Lantai 9	33	Top	16.862	46.934
Lantai 8	30	Top	15.181	42.611
Lantai 7	27	Top	13.421	37.997
Lantai 6	24	Top	11.608	33.159
Lantai 5	21	Top	9.763	28.156
Lantai 4	18	Top	7.913	23.065
Lantai 3	15	Top	6.106	17.998
Lantai 2	10.5	Top	3.497	10.478
Lantai 1	6	Top	1.384	4.137
Semi Basement	3	Top	0.43	1.258
Basement P1	1.5	Top	0.152	0.425
Basement P2	0	Top	0	0

Tabel 4.31 Simpangan Antar Tingkat Ijin X

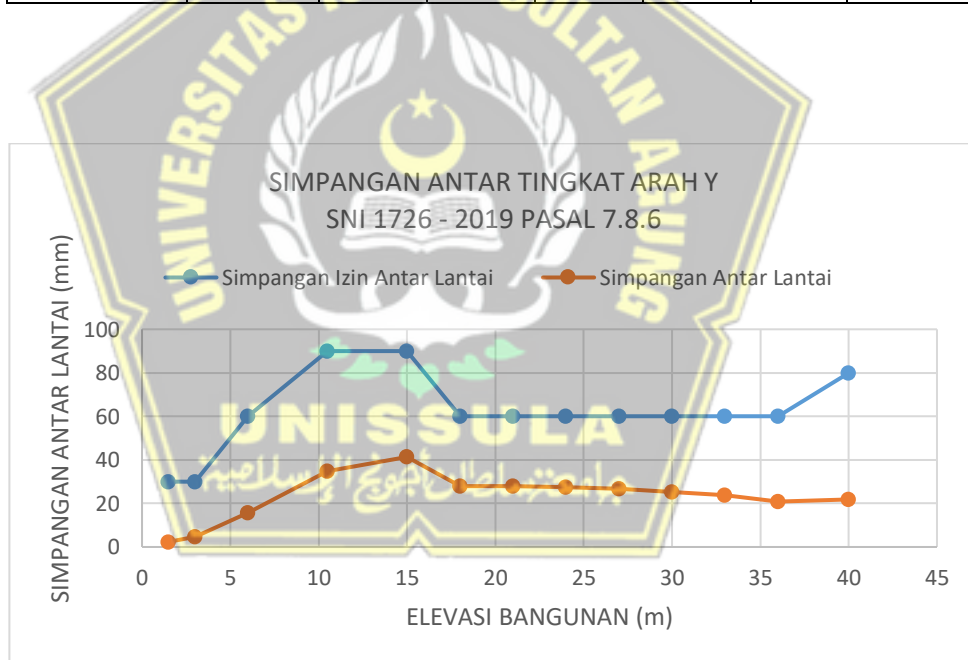
SIMPANGAN ANTAR TINGKAT IJIN X - DIR							
Story	Hsx	H	δ	Δ	Δ_i	Δ_{ijin}	Keterangan
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Lantai Atap	40000	4000.00	30.172	165.95	19.43	80.00	OK
Lantai 10	36000	3000.00	26.64	146.52	14.39	60.00	OK
Lantai 9	33000	3000.00	24.024	132.13	15.18	60.00	OK
Lantai 8	30000	3000.00	21.264	116.95	15.33	60.00	OK
Lantai 7	27000	3000.00	18.476	101.62	15.41	60.00	OK
Lantai 6	24000	3000.00	15.674	86.21	15.24	60.00	OK
Lantai 5	21000	3000.00	12.903	70.97	14.78	60.00	OK
Lantai 4	18000	3000.00	10.216	56.19	13.95	60.00	OK
Lantai 3	15000	4500.00	7.68	42.24	18.65	90.00	OK
Lantai 2	10500	4500.00	4.29	23.60	14.34	90.00	OK
Lantai 1	6000	3000.00	1.683	9.26	6.25	60.00	OK
Semi Basement	3000	1500.00	0.546	3.00	1.99	30.00	OK
Basement P1	1500	1498.00	0.184	1.01	1.01	29.96	OK



Gambar 4.7 Simpangan Antar Tingkat Arah X

Tabel 4.32 Simpangan Antar Tingkat Ijin Y

SIMPANGAN ANTAR TINGKAT IJIN Y - DIR							
Story	hsx	H	δ	Δ	Δ_i	Δ_{ijin}	Keterangan
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Lantai Atap	40000.00	4000.00	54.693	300.81	21.87	80	OK
Lantai 10	36000.00	3000.00	50.716	278.94	20.85	60	OK
Lantai 9	33000.00	3000.00	46.926	258.09	23.79	60	OK
Lantai 8	30000.00	3000.00	42.601	234.31	25.37	60	OK
Lantai 7	27000.00	3000.00	37.988	208.93	26.61	60	OK
Lantai 6	24000.00	3000.00	33.15	182.33	27.52	60	OK
Lantai 5	21000.00	3000.00	28.147	154.81	28.02	60	OK
Lantai 4	18000.00	3000.00	23.053	126.79	27.87	60	OK
Lantai 3	15000.00	4500.00	17.986	98.92	41.35	90	OK
Lantai 2	10500.00	4500.00	10.468	57.57	34.84	90	OK
Lantai 1	6000.00	3000.00	4.133	22.73	15.82	60	OK
Semi Basement	3000.00	1500.00	1.257	6.91	4.58	30	OK
Basement P1	1500.00	1500.00	0.425	2.34	2.34	30	OK



Gambar 4.8 Grafik Simpangan Antar Tingkat Arah Y

Contoh perhitungan penentuan simpangan antar lantai untuk gempa arah Y adalah sebagai berikut :

$$\delta_{Atap} = \frac{C_{d\delta} e_{Atap}}{I_e}$$

$$\delta_{Atap} = \frac{5,5 \times 54.693}{1}$$

$$\delta_{Atap} = 300.81$$

$$\delta_{Atap} = \frac{C_{d\delta} e_{10}}{I_e}$$

$$\delta_{Atap} = \frac{5,5 \times 50.716}{1}$$

$$\delta_{Atap} = 278.94$$

$$\Delta_{atap} = \delta_{Atap} - \delta_{10}$$

$$\Delta_{atap} = 300.81 - 278.94$$

$$\Delta_{atap} = 21.87$$

Berdasarkan tabel 16 Simpangan antar lantai ijin SNI 1726 – 2019 untuk jenis struktur yang masuk kedalam jenis semua struktur gedung lainnya dan berada pada dalam kategori risiko II, pada batas simpangan antar lantai ijin adalah 0,020 h_{sx} merupakan tinggi antar tingkat. Maka hasil dari perhitungan diatas didapat :

$$\Delta_{ijin} = 0,020 \times h_{sx}$$

$$\Delta_{ijin} = 0,020 \times 4000$$

$$\Delta_{ijin} = 80$$

(Maka $\Delta_{atap} < \Delta_{ijin}$) → OK

Pada analisis control berikutnya yaitu pengecekan kestabilan bangunan gedung efek P-Delta, dibutuhkan nilai bebabn kumulatif gravity dalam setiap lantai dengan individu tidak melebihi 1,0. Oleh karena itu diambil kombinasi untuk pengecekan P-Delta adalah :

$$\text{CombP-Delta} = 1,0 \text{ DL} + 0,3 \text{ LL}$$

Tabel 4.33 Beban P (Gravity) Kumulatif

Story	Load case/comb	Location	P (Kgf)
Lantai Atap	Comb P-DELTA	Bottom	582231,2
Lantai 10	Comb P-DELTA	Bottom	1559599
Lantai 9	Comb P-DELTA	Bottom	2511007
Lantai 8	Comb P-DELTA	Bottom	3462415
Lantai 7	Comb P-DELTA	Bottom	4413823
Lantai 6	Comb P-DELTA	Bottom	5366324
Lantai 5	Comb P-DELTA	Bottom	6318825
Lantai 4	Comb P-DELTA	Bottom	7271326
Lantai 3	Comb P-DELTA	Bottom	8318750
Lantai 2	Comb P-DELTA	Bottom	9429137
Lantai 1	Comb P-DELTA	Bottom	10444602
Semi Basement	Comb P-DELTA	Bottom	11216718
Basement P1	Comb P-DELTA	Bottom	12028018

Tabel 4.34 Cek Kestabilan Akibat Gempa X

PEMERIKSAAN KOEFISIEN STABILITAS P-DELTA SNI 1729-2019 PASAL 7.8.7							
Story	Hsx (mm)	Δi (mm)	P Kgf	Vx Kgf	Θ (Koefisien Stabilitas)	Θmax Izin maksimum	Cek
Lantai Atap	40000,00	19,43	582231,2	126992,26	0,004048358	0,090909	STABIL
Lantai 10	36000,00	14,39	1559599	353832,90	0,003202948	0,090909	STABIL
Lantai 9	33000,00	15,18	2511007	531414,21	0,003951936	0,090909	STABIL
Lantai 8	30000,00	15,33	3462415	679470,61	0,004735654	0,090909	STABIL
Lantai 7	27000,00	15,41	4413823	809239,88	0,005660334	0,090909	STABIL
Lantai 6	24000,00	15,24	5366324	927069,60	0,006683283	0,090909	STABIL
Lantai 5	21000,00	14,78	6318825	1026210,72	0,007878584	0,090909	STABIL
Lantai 4	18000,00	13,95	7271326	1107432,33	0,009250669	0,090909	STABIL
Lantai 3	15000,00	18,65	8318750	1174670,53	0,016004806	0,090909	STABIL
Lantai 2	10500,00	14,34	9429137	1221355,39	0,019168214	0,090909	STABIL
Lantai 1	6000,00	6,25	10444602	1243053,25	0,015922505	0,090909	STABIL
Semi Basement	3000,00	1,99	11216718	1248954,81	0,010836933	0,090909	STABIL
Basement P1	1500,00	1,01	12028018	1251432,61	0,011789983	0,090909	STABIL

Tabel 4.35 Cek Kestabilan Akibat Gempa Y

PEMERIKSAAN KOEFISIEN STABILITAS P-DELTA SNI 1729-2019 PASAL 7.8.7							
Story	Hsx	Δi	P	Vy	Θ	Θmax	
	(mm)	(mm)	Kgf	Kgf	(Koefisien Stabilitas)	Izin maksimum	Cek
Lantai Atap	40000,00	21,87	582231,2	179876,88	0,00321822	0,090909	STABIL
Lantai 10	36000,00	20,85	1559599	365556,48	0,004491537	0,090909	STABIL
Lantai 9	33000,00	23,79	2511007	523027,83	0,006292095	0,090909	STABIL
Lantai 8	30000,00	25,37	3462415	672186,39	0,007920482	0,090909	STABIL
Lantai 7	27000,00	26,61	4413823	809239,88	0,009773267	0,090909	STABIL
Lantai 6	24000,00	27,52	5366324	927069,60	0,01206657	0,090909	STABIL
Lantai 5	21000,00	28,02	6318825	1026210,72	0,014936176	0,090909	STABIL
Lantai 4	18000,00	27,87	7271326	1107432,33	0,0184831	0,090909	STABIL
Lantai 3	15000,00	41,35	8318750	1174670,53	0,035493845	0,090909	STABIL
Lantai 2	10500,00	34,84	9429137	1221355,39	0,046578686	0,090909	STABIL
Lantai 1	6000,00	15,82	10444602	1243053,25	0,040275394	0,090909	STABIL
Semi Basement	3000,00	4,58	11216718	1248954,81	0,024906984	0,090909	STABIL
Basement P1	1500,00	2,34	12028018	1251432,61	0,027232297	0,090909	STABIL

Contoh perhitungan kontrol efek P-Delta pada Lantai 5 akibat gempa Y adalah sebagai berikut :

$$\Theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_y h_{sy} C_d}$$

$$\Theta = \frac{6318825 \times 28,02 \times 1}{1026210,72 \times 21000 \times 5,5}$$

$$\Theta = 0,0149$$

$$\Theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25$$

$$\Theta_{\max} = \frac{0,5}{1 \times 5,5} \leq 0,25$$

$$\Theta_{\max} = 0,090 \leq 0,25$$

Karena $\Theta < 0,1$ maka tidak disyaratkan untuk diperhitungkan terhadap pengaruh P-Delta, dan nilai $\Theta < \Theta_{\max}$, sehingga gedung struktur masih dalam kondisi stabil.

4.10 Analisis Sistem Ganda

Pengecekan terhadap gaya geser desain yang ditahan oleh rangka pemikul momen dan dinding geser (shear wall) harus dilakukan sebagai syarat Sistem Ganda. Pada SNI 1726:2019 pasal 7.2.5.1, dalam perencanaan struktur bangunan gedung dengan sistem ganda, struktur rangka pemikul momen khusus harus mampu memikul paling sedikit 25% gaya seismik desain sehingga tahanan gaya gempa keseluruhan yang terjadi harus ditahan oleh kombinasi dari struktur rangka pemikul momen dan dinding geser dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya. Pengecekan kontribusi dari struktur rangka pemikul momen adalah sebagai berikut :

$$V_{shear\ wall} = -10146450.4 \text{ Kgf}$$

$$V_{shear\ wall} = 66 \%$$

$$V_{kolom} = -5140120.66 \text{ Kgf}$$

$$V_{kolom} = 34 \%$$

Berdasarkan tabel diatas, akibat gempa arah Y (EY) *shear wall* dan kolom menahan gaya geser pada lantai dsar sebesar :

$$V_{shear\ wall} = -4769738.769 \text{ Kgf}$$

$$\% V_{shear\ wall} = 51 \%$$

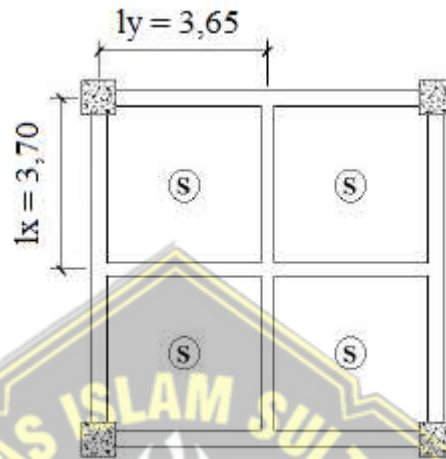
$$V_{kolom} = -4612091.205 \text{ Kgf}$$

$$\% V_{kolom} = 49 \%$$

4.11 Perencanaan Pelat

Perencanaan pelat lantai yang digunakan sebagai contoh perhitungan pelat adalah pelat lantai, adapun metode dalam perhitungan perencanaan pelat adalah sebagai berikut:

4.11.1 Penentuan Tipe Pelat



Gambar 4.9 Tipe Pelat Yang Ditinjau

$$L_x = 3,70 \text{ m}$$

$$L_y = 3,65$$

$$B = \frac{L_x}{L_y} = \frac{3,7}{3,65} = 1,014$$

Menurut hasil Perhitungan di atas, $\beta \leq 2$, maka merupakan jenis pelat 2 arah.

4.11.2 Analisis Pembebanan

a. Beban Mati (Selfweight)

Berat sendiri	= $0,12 \times 24$	= $2,88 \text{ kN/m}^2$
Berat pasir	= $0,03 \times 16$	= $0,48 \text{ kN/m}^2$
Berat keramik	= $0,01 \times 24$	= $0,24 \text{ kN/m}^2$
Berat spesi	= $0,02 \times 21$	= $0,42 \text{ kN/m}^2$
Berat plafond dan penggantung		= $0,18 \text{ kN/m}^2$
Berat MEP		= $0,25 \text{ kN/m}^2$
qd		= $4,45 \text{ kN/m}^2$

b. Beban Hidup

$$\text{Beban hidup pada loby} = q_l = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

c. Kombinasi Pembebanan

$$1,2DL + 1,6LL = 1,2 \times 4,45 + 1,6 \times 4,79 = 13 \text{ kN/m}^2$$

4.11.3 Penentuan Nilai Momen

Penentuan nilai momen pada struktur pelat ditentukan dengan menggunakan tabel PBI 1971. Konfigurasi jenis pelat segi empat yang menumpu pada setiap tepinya sesuai dengan standar yaitu sebagai berikut,

- Jepit penuh terjadi jika penampang pelat yang berada di atas tumpuan tidak berputar akibat menerima pembebanan karena pada setiap tepi pelat merupakan satu kesatuan monolit dengan belok pemikul.
- Apabila suatu tepi pelat merupakan satu kesatuan monolit dengan balok pemikul, maka cara menghitung momen lapangan dalam pelat tepi tersebut harus diasumsikan sebagai tepi yang terletak bebas

Pelat pada bagian tengah direncanakan terjepit penuh dan pelat tepi direncanakan terjepit bebas pada bagian tepi. Rumus untuk perhitungan tepi pelat adalah sebagai berikut :

$$M_{lx} = 0,001 \times W_u \times L_x^2 \times \text{koef}$$

$$M_{ly} = 0,001 \times W_u \times L_y^2 \times \text{koef}$$

$$M_{tx} = -0,001 \times W_u \times L_x^2 \times \text{koef}$$

$$M_{ty} = -0,001 \times W_u \times L_y^2 \times \text{koef}$$

Nilai momen yang terjadi pada pelat dihitung berdasarkan rumus yang menghasilkan nilai pada tabel 4.36.

Tabel 4.36 Momen Pelat yang Ditinjau

Lantai	Momen (kN.m)	
Pelat S1	Mlx	4,4506
	Mly	4,4506
	Mtx	9,0793
	Mty	9,0793

4.11.4 Desain Penulangan Pelat

Data-data yang digunakan dalam perencanaan penulangan pelat adalah sebagai berikut:

- Mutu baja tulangan, f_y = 420 Mpa
- Mutu beton, f'_c = 32 Mpa
- tebal pelat, h = 120 mm
- Tebal selimut beton, p = 20 mm
- Tulangan yang dipakai, D = D - 10
- Tinggi efektif arah x, $d_x = h - p - D/2$ = 120 - 20 - 10/2 = 95 mm
- Tinggi efektif arah y, $d_y = h - p - D - D/2$ = 120 - 20 - 10 - 10/2 = 85 mm

Metode atau langkah-langkah perhitungan perencanaan pelat adalah sebagai berikut

a. Mencari batas-batas rasio tulangan (ρ_{min} , ρ_b , ρ_{max})

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85x f'_c}{f_y} \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 32}{420} 1,014 \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\
 &= 0,039 \\
 \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,039 \\
 &= 0,029
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{420} \\ &= 0,0033\end{aligned}$$

b. Desain penulangan pelat lantai arah x

1) Mencari rasio tulangan (ρ)

$$m = \frac{f_y}{0,85x f'_c} = \frac{420}{0,85x 32} = 15,441$$

Lebar pelat (b) untuk perhitungan diambil per 1000 mm

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{9,0793x10^6}{(0,9)(1000)(95)^2} = 1,118$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{15,441} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2x15,441x1,118}{420}} \right] \\ &= 0,0027\end{aligned}$$

$\rho < \rho_{\min}$ maka, ρ yang digunakan adalah 0,0033

2) Cek tulangan rencana

$$A_{s\min} = \rho_{\min} b d x = 0,0033 (1000) (95) = 316,666 \text{ mm}^2$$

Trial tulangan yang akan dipasang yaitu

$$A_{s\text{pakai}} = \left(\frac{1}{4} \pi D^2 \right) \frac{\text{lebar pelat}}{\text{jarak}} = \frac{1}{4} \pi 10^2 \frac{1000}{150} = 523,333 \text{ mm}^2$$

$A_{s\text{pakai}} > A_{s\min} \rightarrow \text{OK}$

c. Nilai regangan (ϵ) dan faktor reduksi (ϕ) pelat arah x

$$a = \frac{523,333 x 420}{0,85 x 32 x 1000} = 8,080 \text{ mm}$$

$$c = \frac{8,080}{0,705} = 11,462 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{100 - 11,462}{11,462} x 0,003 = 0,0232$$

Karena $\epsilon_s = 0,0232 > 0,005$ jadi penampang termasuk ke dalam terkendali tarik dengan faktor reduksi (ϕ) = 0,9

d. Momen nominal (M_n) arah x

$$M_n = 523,333 \times 420 \left(95 - \frac{8,080}{2} \right) \times 10^{-6} = 19,993 \text{ kN/m}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 19,993 = 17,993 \text{ kN/m} > 9,0793 \rightarrow \text{OK}$$

e. Desain penulangan pelat lantai arah y

1) Mencari rasio tulangan (ρ)

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{420}{0,85 (32)} = 15,441$$

Lebar pelat (b) untuk perhitungan diambil per 1000 mm

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{9,0793 \times 10^6}{(0,9) \times (1000) \times (85)^2} = 1,396$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,441} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 (15,441) (1,396)}{420}} \right] = 0,00341$$

Diketahui bahwa $\rho < \rho_{\min}$, maka $\rho = 0,0033$

2) Cek tulangan rencana

$$A_{s_{\min}} = \rho_{\min} b d_y = 0,0033 (1000) (85) = 283,333 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang akan dipakai yaitu D10-150 mm

$$A_{s_{\text{pakai}}} = \left(\frac{1}{4} \pi D^2 \right) \frac{\text{lebar pelat}}{\text{jarak}}$$

$$= \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \right) \frac{1000}{150} = 523,333 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{pakai}}} > A_{s_{\min}} \rightarrow \text{OK}$$

f. Nilai regangan (ϵ) dan faktor reduksi (ϕ) pelat arah y

Nilai a, c dan regangan (ϵ) dihitung sebagai berikut,

$$a = \frac{523,333 \times 420}{0,85 \times 32 \times 1000} = 8,080 \text{ mm}$$

$$c = \frac{8,080}{0,705} = 11,462$$

$$\epsilon_s = \frac{100 - 11,462}{11,462} \times 0,003 = 0,0232$$

Karena $\epsilon_s = 0,0232 > 0,005$ jadi penampang termasuk ke dalam terkendali tarik dengan faktor reduksi (ϕ) = 0,9

g. Momen nominal (M_n) arah y

$$M_n = 523,333 \times 420 \times \left(85 - \frac{8,080}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$= 17,795 \text{ kN/m}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 17,795 = 16,0154 > 9,079 \text{ kN/m} \rightarrow \text{OK}$$

h. Syarat jarak antar tulangan

$$s_x = 150 \text{ mm} \leq 3 \times \text{tebal pelat} = 3 \times 120 = 360 \text{ mm}$$

(terpenuhi)

$$s_x = 150 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm (terpenuhi)}$$

$$s_y = 150 \text{ mm} \leq 3 \times \text{tebal pelat} = 3 \times 120 = 360 \text{ mm}$$

(terpenuhi)

$$s_y = 150 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm (terpenuhi)}$$

4.12 Perencanaan Balok

4.12.1 Perhitungan Tulangan Lentur Balok

Perhitungan tulangan lentur balok ini dengan momen yang diambil dari program dengan besaran – besaran momen dapat dilihat pada tabel 4.37 berikut:

Tabel 4.37 Besaran Gaya – Gaya Dalam Balok 400 x 800 mm

Gaya - Gaya Dalam Balok 400 x 800 mm		
Mu Tumpuan (-)	-412,99	kN.m
Mu Tumpuan (+)	254,113	kN.m
Mu Lapangan (-)	-134,15	kN.m
Mu Lapangan (+)	178,248	kN.m
Vu Tumpuan	251,3521	kN
Vu Lapangan	176,4114	kN
Tu (Gaya Torsi)	44,3501	kN.m

1. Desain Penulangan Lentur Tumpuan Negatif

Gaya dalam atau momen pada tumpuan negatif telah ditentukan pada analisis program ETABS.v18 dengan momen sebesar - 412,99kN-m.

a. Tinggi Efektif dan nilai beta seperti (Tabel 22.2.2.4.3 SNI 2847:2019)

$$\begin{aligned}
 D &= H - S_b - d_s - D_s/2 \\
 &= 800 - 50 - 13 - 11 \\
 &= 726 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta &= 0,85 - 0,05 \times (f_c' - 28) / 7 \\ &= 0,85 - 0,05 \times (32 - 28) / 7 \\ &= 0,8214\end{aligned}$$

b. Perhitungan Tulangan Lentur

1. Koefisien Penampang

$$\begin{aligned}R_n &= M_u / (0,80 \times 0,85 \times f_c' \times b \times d^2) \\ &= 4.13E + 07 / (0,8 \times 0,85 \times 320 \times 40 \times 726^2) \\ &= 0,0915\end{aligned}$$

2. Indeks Tulangan

$$\begin{aligned}w_n &= 1 - (1 - 2 \times R_n)^{0,5} \\ &= 1 - (1 - 2 \times 0,0915)^{0,5} \\ &= 0,096\end{aligned}$$

3. Rasio Tulangan

$$\begin{aligned}r &= w_n \times 0,85 \times f_c' / f_y \\ &= 0,096 \times 0,85 \times 320 / 4200 \\ &= 0,0062\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}r_{min} &= 14 / f_y \\ &= 14 / 4200 \\ &= 0,00333\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}r_{max} &= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times f_c' / f_y \times 6000 / (6000 + f_y) \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times 320 / 4200 \times 6000 / (6000 + 4200) \\ &= 0,0243\end{aligned}$$

Karena $r_{min} < r < r_{max}$ / $0,00333 < 0,0062 < 0,0243$ maka
 $r_{pakai} = 0,0062$

4. Luas Tulangan

$$\begin{aligned}R_{pakai} &= 0,0062 \\ A_s \text{ pakai} &= r_{pakai} \times b \times d \\ &= 0,0062 \times 40 \times 72,6 \\ &= 18,005 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$D_b = 2,2 \text{ cm}$$

$$A_b = 3,799 \text{ cm}^2$$

$$N_b = A_s / A_b$$

$$= 18,005 / 3,799$$

$$= 4,739 = 5 \text{ D } 22 \text{ (Tulangan Tekan)}$$

c. Cek Persyaratan Tulangan Lentur Balok tulangan 5 D 22

$$A_s = 5 \times (\phi \times 0,25 \times D^2)$$

$$= 5 \times (3,14 \times 0,25 \times 22^2)$$

$$= 1900,664$$

$$A_{s \text{ min1}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \times f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{\sqrt{32}}{4 \times 420} \times 400 \times 726$$

$$= 977,828$$

$$A_{s \text{ min2}} = 1,4 / (4 \times f_y) \times b \times d$$

$$= 1,4 / (4 \times 420) \times 400 \times 726$$

$$= 968$$

$$A_s \text{ pasang} > A_{s \text{ min1}} \text{ dan } A_{s \text{ min2}}$$

$$1900,664 > 977,828 \text{ dan } 968 \text{ (OKE)}$$

d. Menghitung rho tulangan

$$\text{Rho} = A_s / (b \times d)$$

$$= 1900,664 / (400 \times 726)$$

$$= 0,65 \%$$

$$\text{Rho max1} = 0,75 \text{ Rho} = 0,75 \times f_c' \beta_1 \times f_c' / f_y \times (600 / (600 +$$

$$f_y)) = (0,75 \times 32 \times 0,8214 \times 32 / 420 \times (600 / (600 +$$

$$420))) / 0,75$$

$$= 2,35 \%$$

$$\text{Rho max2} = 2,5 \%$$

Karena $\text{rho} < \text{rho max} / 0,65\% < 2,35\% < 2,5\%$ maka rpakai

$$= 0,0065.$$

e. Cek Kapasitas $\phi M_n > M_u$

$$= 0,85 - 0,05 \times (f_c' - 28) / 7$$

1. Menghitung Tinggi Balok Tekan

$$\begin{aligned} a &= A_s \times f_y / (0,85 \times f_c' \times b) \\ &= 1900,664 \times 4200 / (0,85 \times 32 \times 400) \\ &= 73,371 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 73,371 / 0,8214 \\ &= 89,321 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= (d - c) / c \times 0,003 \\ &= (726 - 89,321) / 89,321 \times 0,003 \\ &= 0,021 \end{aligned}$$

2. Cek kapasitas

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times (d - a/2) / 10^6 \\ &= 0,9 \times 1900,664 \times 420 \times (726 - 73,371 / 2) / 10^6 \\ &= 495.238 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$587.961 \geq 412.99 \text{ kN.m (OKE)}$$

2. Desain Penulangan Lentur Tumpuan Positif (Tumpuan Bawah)

Gaya dalam atau momen pada tumpuan positif telah ditentukan pada analisis program ETABS.v18 dengan momen sebesar 254,113 kN-m.

a. Tinggi Efektif dan nilai beta

$$\begin{aligned} D &= H - S_b - d_s - D_s/2 \\ &= 800 - 50 - 13 - 11 \\ &= 726 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= 0,85 - 0,05 \times (32 - 28) / 7 \\ &= 0,8214 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Tulangan Lentur

1. Koefisien Penampang

$$\begin{aligned} R_n &= M_u / (0.80 \times 0.85 \times f_c' \times b \times d^2) \\ &= 2,54 \text{E} \times 10^7 / (0,8 \times 0,85 \times 320 \times 40 \times 726^2) \\ &= 0,056 \end{aligned}$$

2. Indeks Tulangan

$$\begin{aligned} w_n &= 1 - (1 - 2 \times R_n)^{0.5} \\ &= 1 - (1 - 2 \times 0,056)^{0.5} \\ &= 0,058 \end{aligned}$$

3. Rasio Tulangan

$$\begin{aligned} r &= w_n \times 0.85 \times f_c' / f_y \\ &= 0,058 \times 0.85 \times 320 / 4200 \\ &= 0,00376 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{\min} &= 14 / f_y \\ &= 14 / 4200 \\ &= 0,00333 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{\max} &= 0.75 \times 0.85 \times 0.85 \times f_c' / f_y \times 6000 / (6000 + f_y) \\ &= 0.75 \times 0.85 \times 0.85 \times 320 / 4200 \times 6000 / (6000 + 4200) \\ &= 0,02429 \end{aligned}$$

Karena $r_{\min} < r < r_{\max}$ / $0,00333 < 0,00376 < 0,02429$ maka

$$r_{\text{pakai}} = 0,00376$$

4. Luas Tulangan

$$R_{\text{pakai}} = 0,00376$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= r_{\text{pakai}} \times b \times d \\ &= 0,00376 \times 40 \times 726 \\ &= 10,919 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$D_b = 2,2 \text{ cm}$$

$$A_b = 3,799 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 N_b &= A_s / A_b \\
 &= 10,919 / 3,799 \\
 &= 2,874 = 3 \text{ D } 22 \text{ (Tulangan Tarik)}
 \end{aligned}$$

c. Cek Persyaratan Tulangan Lentur Balok tulangan 3 D 22

$$\begin{aligned}
 A_s &= 3 \times (0,25 \times \pi \times D^2) \\
 &= 3 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2) \\
 &= 1139,82 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min1}} &= \frac{\sqrt{f_{c'}}}{4 \times f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{\sqrt{32}}{4 \times 420} \times 400 \times 726 \\
 &= 977,828 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min2}} &= 1,4 / (4 \times f_y) \times b \times d \\
 &= 1,4 / (4 \times 420) \times 400 \times 726 \\
 &= 968 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$A_s \text{ pasang} > A_{s \text{ min1}} \text{ dan } A_{s \text{ min2}}$

$1139,82 > 977,828 \text{ dan } 968 \text{ (OKE)}$

d. Menghitung rho tulangan

$$\begin{aligned}
 \rho &= A_s / (b \times d) \\
 &= 1139,82 / (400 \times 726) \\
 &= 0,39 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{max1}} &= 0,75 \rho_{\text{b}} = 0,75 \times f_c' \beta_1 f_c' / f_y \times \\
 &\quad (600 / (600 + f_y)) \\
 &= (0,75 \times 32 \times 0,8214 \times 32 / 420 \times (600 / (600 \\
 &\quad + 420))) / 0,75 \\
 &= 2,35 \%
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max2}} = 2,5 \%$$

Karena $\rho < \rho_{\text{max}} / 0,39\% < 2,25\% ; 2,5\% \text{ (OKE)}$

e. Cek Kapasitas $\phi M_n > M_u$

3. Menghitung Tinggi Blok Tekan

$$\begin{aligned} a &= A_s \times f_y / (0,85 \times f_c' \times b) \\ &= 1139,82 \times 4200 / (0,85 \times 32 \times 400) \\ &= 44,023 \text{ mm} \\ c &= a / \beta_1 \\ &= 33,023 / 0,8214 = 53,593 \text{ mm} \\ \epsilon_s &= (d - c) / c \times 0,003 \\ &= (726 - 53,593) / 53,593 \times 0,003 = 0,038 \end{aligned}$$

4. Cek kapasitas

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times (d - a/2) / 10^6 \\ &= 0,9 \times 1139,82 \times 420 \times (726 - 44,023 / 2) / 10^6 \\ &= 495.238 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$495.238 \geq 254,113 \text{ kN.m (OKE)}$$

3. Desain Penulangan Lentur Lapangan Negatif (Tulangan Atas)

Gaya dalam atau momen pada tumpuan positif telah ditentukan pada analisis program ETABS.v18 dengan momen sebesar 134,15 kN-m.

1. Menentukan tinggi efektif balok

a. Tinggi Efektif dan nilai beta

$$\begin{aligned} D &= H - S_b - d_s - D_s/2 \\ &= 800 - 50 - 13 - 11 \\ &= 726 \text{ mm} \\ \beta &= 0,85 - 0,05 \times (f_c' - 28) / 7 \\ &= 0,85 - 0,05 \times (32 - 28) / 7 \\ &= 0,8214 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Tulangan Lentur

1. Koefisien Penampang

$$\begin{aligned} R_n &= M_u / (0.80 \times 0.85 \times f_c' \times b \times d^2) \\ &= 1,34E+0^7 / (0,8 \times 0,85 \times 320 \times 40 \times 72,6^2) \\ &= 0,29731 \end{aligned}$$

2. Indeks Tulangan

$$\begin{aligned} w_n &= 1 - (1 - 2 \times R_n)^{0.5} \\ &= 1 - (1 - 2 \times 0,297)^{0.5} \\ &= 0,3628 \end{aligned}$$

3. Rasio Tulangan

$$\begin{aligned} r &= w_n \times 0.85 \times f_c' / f_y \\ &= 0,3628 \times 0.85 \times 320 / 4200 \\ &= 0,00235 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{min} &= 14 / f_y \\ &= 14 / 4200 \\ &= 0,00333 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{max} &= 0.75 \times 0.85 \times 0.85 \times f_c' / f_y \times 6000 / (6000 + f_y) \\ &= 0.75 \times 0.85 \times 0.85 \times 320 / 4200 \times 6000 / (6000 + 4200) \\ &= 0,002429 \end{aligned}$$

Karena $r < r_{min}$ / $0,02353 < 0,00333$ maka $r_{pakai} = 0,00333$.

4. Luas Tulangan

$$R_{pakai} = 0,00333$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= r_{pakai} \times b \times d \\ &= 0,003 \times 40 \times 72,6 \\ &= 8,712 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$D_b = 2,2 \text{ cm}$$

$$A_b = 3,799 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} N_b &= A_s / A_b \\ &= 8,712 / 3,799 \end{aligned}$$

$$= 2,293 = 3 \text{ D } 22 \text{ (Tulangan Tekan)}$$

c. Cek Persyaratan Tulangan Lentur Balok tulangan 3 D 22

$$\begin{aligned} A_s &= 3 \times (0,25 \times \pi \times D^2) \\ &= 3 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2) \\ &= 1139,82 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min1}} &= \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{\sqrt{32}}{4 \times 420} \times 400 \times 726 \\ &= 977,828 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min2}} &= 1,4 / (4 \times f_y) \times b \times d \\ &= 1,4 / (4 \times 420) \times 400 \times 726 \\ &= 968 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ pasang} > A_{s \text{ min1}} \text{ dan } A_{s \text{ min2}}$$

$$1139,82 > 977,828 \text{ dan } 968 \text{ (OKE)}$$

d. Menghitung rho tulangan

$$\begin{aligned} \rho &= A_s / (b \times d) \\ &= 1139,82 / (400 \times 726) \\ &= 0,39 \% \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max1}} = 0,75 \rho_{\text{b}} = 0,75 \times f_c' \beta_1 \times f_c' / f_y \times (600 / (600 + f_y))$$

$$\begin{aligned} &= (0,75 \times 30 \times 0,8214 \times 32 / 420 \times \\ &\quad (600 / (600 + 420))) / 0,75 = 2,35 \% \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max2}} = 2,5 \%$$

Karena $\rho < \rho_{\text{max}} / 0,39\% < 2,35\% < 2,5\%$ (OKE).

e. Cek Kapasitas $\phi M_n > M_u$

1. Menghitung Tinggi Blok Tekan

$$\begin{aligned} a &= A_s \times f_y / (0,85 \times f_c' \times b) \\ &= 1139,82 \times 4200 / (0,85 \times 32 \times 400) \\ &= 44,023 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= a / \beta_1 \\
 &= 44,023 / 0,8214 \\
 &= 53,593 \text{ mm} \\
 \epsilon_s &= (d - c) / c \times 0,003 \\
 &= (726 - 53,593) / 53,593 \times 0,003 \\
 &= 0,038
 \end{aligned}$$

2. Cek kapasitas

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times (d - a/2) / 10^6 \\
 &= 0,9 \times 1139,82 \times 420 \times (726 - 44,023 / 2) / 10^6 \\
 &= 303,469 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &\geq M_u \\
 303,469 &\geq 134,15 \text{ kN.m (OKE)}
 \end{aligned}$$

4. Desain Penulangan Lentur Lapangan Positif (Tulangan Bawah)

Gaya dalam atau momen pada tumpuan positif telah ditentukan pada analisis program ETABS.v18 dengan momen sebesar 178,248 kN-m.

1. Menentukan tinggi efektif balok

a. Tinggi Efektif dan nilai beta

$$\begin{aligned}
 D &= H - S_b - d_s - D_s/2 \\
 &= 800 - 50 - 13 - 11 \\
 &= 726 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta &= 0,85 - 0,05 \times (f_c' - 28) / 7 \\
 &= 0,85 - 0,05 \times (32 - 28) / 7 \\
 &= 0,8214
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Tulangan Lentur

1. Koefisien Penampang

$$\begin{aligned}
 R_n &= M_u / (0,80 \times 0,85 \times f_c' \times b \times d^2) \\
 &= 1,78+07 / (0,8 \times 0,85 \times 320 \times 40 \times 72,6) \\
 &= 0,0395
 \end{aligned}$$

2. Indeks Tulangan

$$\begin{aligned}w_n &= 1 - (1 - 2 \times R_n)^{0.5} \\&= 1 - (1 - 2 \times 0,0395)^{0.5} = 0,0403\end{aligned}$$

3. Rasio Tulangan

$$\begin{aligned}r &= w_n \times 0.85 \times f_c' / f_y \\&= 0,0403 \times 0.85 \times 320 / 4200 = 0,0026\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}r_{min} &= 14/f_y \\&= 14/4200 = 0,00333\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}r_{max} &= 0.75 \times 0.85 \times 0.85 \times f_c'/f_y \times 6000/(6000+f_y) \\&= 0.75 \times 0.85 \times 0.85 \times 320/4200 \\&\quad \times 6000/(6000+4200) = 0,02429\end{aligned}$$

Karena $r < r_{min}$ / $0,002429 < 0,00333$ maka r_{pakai}
 $= 0,00333$.

4. Luas Tulangan

$$R_{pakai} = 0,00333$$

$$\begin{aligned}A_s \text{ pakai} &= r_{pakai} \times \\&= 0,003 \times 40 \times 72,6 = 8,712 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$D_b = 2,2 \text{ cm}$$

$$A_b = 3,799 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}N_b &= A_s/A_b \\&= 8,712 / 3,799\end{aligned}$$

$$= 2,293 = 3 \text{ D } 22 \text{ (Tulangan Tarik)}$$

c. Cek Persyaratan Tulangan Lentur Balok tulangan 3 D 22

$$\begin{aligned}A_s &= 3 \times (0,25 \times \pi \times D^2) \\&= 3 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2) = 1139,82 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{s \text{ min1}} &= \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \times f_y} \times b \times d \\&= \frac{\sqrt{32}}{4 \times 420} \times 400 \times 726 \\&= 977,828 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \min 2} &= 1.4 / (4 \times f_y) \times b \times d \\
 &= 1.4 / (4 \times 420) \times 400 \times 726 \\
 &= 968 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

As pasang > As min 1 dan As min 2

$$1139,82 > 977,828 \text{ dan } 968 \text{ (OKE)}$$

d. Menghitung rho tulangan

$$\begin{aligned}
 \text{Rho} &= A_s / (b \times d) \\
 &= 1139,82 / (400 \times 726) \\
 &= 0,39 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rho max1} &= 0,75 \text{ Rhob} = 0,75 \times f_c' \beta_1 \times f_c' / f_y \\
 &\quad \times (600 / (600 + f_y)) \\
 &= (0,75 \times 32 \times 0,8214 \times 32 / 420) \\
 &\quad \times (600 / (600 + 420)) / 0,75 \\
 &= 2,35 \%
 \end{aligned}$$

$$\text{Rho max2} = 2,5 \%$$

Karena rho < rho max / 0,39% < 2,35% < 2,5% (OKE)

e. Cek Kapasitas $\phi M_n > M_u$

1. Menghitung Tinggi Blok Tekan

$$\begin{aligned}
 a &= A_s \times f_y / (0,85 \times f_c' \times b) \\
 &= 1139,82 \times 4200 / (0,85 \times 32 \times 400) \\
 &= 44,023 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= a / \beta_1 \\
 &= 44,023 / 0,8214 \\
 &= 53,593 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &= (d - c) / c \times 0,003 \\
 &= (726 - 53,593) / 53,593 \times 0,003 \\
 &= 0,038
 \end{aligned}$$

2. Cek kapasitas

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times (d - a/2) / 10^6 \\ &= 0,9 \times 1139,82 \times 420 \times (726 - 44,023/2) / 10^6 \\ &= 303,469 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$303,469 \geq 178,248 \text{ kN.m (OKE)}$$

4.12.2 Cek Persyaratan Momen Balok Design

Persyaratan momen balok design ini ada di SNI 2847 – 2019 dimana suatu balok harus memenuhi persyaratan – persyaratan sebagai berikut :

1. $M_{n+} \text{ Tumpuan} \geq 50\% M_{n-} \text{ Tumpuan}$.
2. $M_{n+} \text{ dan } M_{n-} \text{ Lapangan} \geq 25\% M_{n-} \text{ Tumpuan}$.

Momen Desain bisa dilihat secara detail pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.38 Momen Tumpuan dan Lapangan Balok 400 mm x 800 mm

Momen Tumpuan dan Lapangan Balok 400 mm x 800 mm		
Mn Tumpuan (-)	587,961	kN.m
Mn Tumpuan (+)	495,238	kN.m
Mn Lapangan (-)	303,469	kN.m
Mn Lapangan (+)	303,469	kN.m

1. $M_{n+} \text{ Tumpuan} \geq 50\% M_{n-} \text{ Tumpuan}$

$$495,238 \geq 0,5 \times 587,961$$

$$495,238 \geq 293,98 \text{ (OKE)}$$

2. $M_{n+} \text{ dan } M_{n-} \text{ Lapangan} \geq 25\% M_{n-} \text{ Tumpuan}$.

$$303,469 + 303,469 \geq 0,25 \times 587,961$$

$$606,938 \geq 146,89 \text{ (OKE)}$$

4.12.3 Perhitungan Tulangan Geser Balok

Tulangan geser atau transversal ini sangat penting untuk suatu bangunan yang didesain tahan terhadap beban gempa karena tulangan geser ini berfungsi untuk menahan gaya – gaya horizontal dengan

sangat baik maka dari itu perlu diperhitungkan untuk baik jumlah kaki Sengkang dan diameter sengkang yang dapat menahan gaya geser yang terdapat pada analisis program.

Tabel 4.39 Gaya Geser Dalam Balok 400 x 800 mm

Gaya Geser Dalam Balok 400 x 800 mm		
Vu Tumpuan	251,3521	kN
Vu Lapangan	176,4114	kN
Vg Tumpuan	142,1568	kN

1. Cek Tahanan Geser Beton

$$As^+ = 1900,664 \text{ mm}^2$$

$$As^- = 2280,796 \text{ mm}^2$$

$$apr^+ = 1,25 \times a$$

$$= 1,25 \times 73,371$$

$$= 91,714 \text{ mm}$$

$$apr^- = 1,25 \times a$$

$$= 1,25 \times 88,045$$

$$= 110,057 \text{ mm}$$

$$Mpr^+ = As^+ \times (1,25 \times fy) \times (d - apr^+/2)$$

$$= 1900,664 \times (1,25 \times 420) \times (72,6 - 91,714/2)$$

$$= 678679579 \text{ Nmm}$$

$$Mpr^- = As^- \times (1,25 \times fy) \times (d - apr^-/2)$$

$$= 2280,796 \times (1,25 \times 420) \times (72,6 - 110,057 / 2)$$

$$= 803433495 \text{ Nmm}$$

$$Vpr = (Mpr^+ + Mpr^-) / Ln$$

$$= (678679579 + 803433495) / 6600 = 224563 \text{ N}$$

$$Ve = Vg + Vpr$$

$$= 142,1568 + 224563$$

$$= 366719 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0 ; \text{ jika } V_{pr} \geq 1/2 V_e \\
 &= 224563 \geq 0,5 \times 366719 \\
 &= 224563 \geq 183359,5 \text{ (Tidak Perlu Diperhitungkan)}
 \end{aligned}$$

2. Penulangan Geser Tumpuan

Jumlah kaki Sengkang 4D10 – 100 mm didapat *trial and error* pada aplikasi excel.

$$\begin{aligned}
 A_v &= n \times 3,14 \times d^2 \\
 &= 4 \times 3,14 \times 72,6^2 \\
 &= 530,929 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi Max1} &= d/4 \\
 &= 726 / 4 \\
 &= 181,50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi Max2} &= 6 \times d_b \\
 &= 6 \times 22 = 132 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Spasi max3} = 150 \text{ mm}$$

Cek Spasi < Spasi Max = 100 < 181,50 mm; 132 mm; 150 mm (OKE)

$$\begin{aligned}
 V_s &= A_v \times f_y \times d / s \\
 &= 530,929 \times 420 \times 726 / 100 \\
 &= 1618909 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek kapasitas geser Sengkang 4D10 – 100

$$\phi V_n / V_u \geq 1$$

$$0,75 \times 1084215 / 365719 \geq 1$$

$$2,217 \geq 1 \text{ (OKE)}$$

3. Penulangan Geser Lapangan

Jumlah kaki Sengkang 4D10 – 100 mm didapat *trial and error* pada aplikasi excel.

$$\begin{aligned}
 A_v &= n \times 3,14 \times d^2 \\
 &= 4 \times 3,14 \times 726^2 \\
 &= 265.465 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi Max1} &= d/4 & \text{Spasi Max2} &= 6 \times db \\
 &= 726 / 4 & &= 6 \times 22 \\
 &= 181.50 \text{ mm} & &= 132 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek Spasi < Spasi Max = 100 < 181.50 mm; 132 mm; 150 mm (OKE)

$$\begin{aligned}
 V_s &= A_v \times f_y \times d / s \\
 &= 265.465 \times 420 \times 726 / 100 \\
 &= 809455 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek kapasitas geser Sengkang 4D10 – 100

$$\begin{aligned}
 \phi V_n / V_u &\geq 1 \\
 0,75 \times 1088722 / 1746411,4 &\geq 1 \\
 4,629 &\geq 1 \text{ (OKE)}
 \end{aligned}$$

4.12.4 Perhitungan Tulangan Torsi

Gaya dalam atau momen pada torsi telah ditentukan pada analisis program ETABS.v18 dengan momen sebesar 44,3501 kN-m.

1. Parameter Perhitungan Tulangan Torsi

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= b \times h \\
 &= 400 \times 800 \\
 &= 320000 \text{ mm}^2 \\
 P_{cp} &= 2 \times (b+h) \\
 &= 2 \times (400+800) \\
 &= 2400 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_o &= b - 2C_c - d_s \\
 &= 400 - 2 \times 40 - 13 \\
 &= 287 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_o &= h - 2C_c - d_s \\
 &= 800 - 2 \times 40 - 13 \\
 &= 687 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{oh} &= X_o \times Y_o \\ &= 287 \times 687 \\ &= 197169 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 197169 \\ &= 167594 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times (X_o + Y_o) \\ &= 2 \times (287 + 687) \\ &= 1948 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Cek Apakah Perlu Tulangan Torsi Tabel 22.7.4.1

$$\begin{aligned} T_{cr} &= 0,33 \times (f_c')^{0,5} \times A_{cp}^2 / P_{cp} \\ &= 0,33 \times (32^{0,5}) \times 320000^2 / 2400 \\ &= 79648508 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_u > \phi \times T_{cr} / 4 &= 44.3501 \times 10^6 > 0,75 \times 79648508 / 4 \\ &= 44350100 > 14934095 \\ &= \text{Perlu Tulangan Torsi (Tulangan Pinggang)}. \end{aligned}$$

3. Cek Kecukupan Dimensi Penampang ps 22.7.7.1

$$\phi \times T_{cr} = 59736381 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 366719 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times 32^{0,5} \times 400 \times 726 \\ &= 279268 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\{[V_u / b \times d]^2 + [T_u P_h / (1,7 \times A_{oh}^2)]^2\}^{0,5} \leq \phi \times \{[V_c / (b \times d)]$$

$$0,66 \times (f_c')^{0,5}\}$$

$$2,167 \leq 3,521 \text{ (OKE)}$$

4. Penulangan Transversal Torsi

$$n \text{ kaki tumpuan} = 4$$

$$n \text{ kaki lapangan} = 2$$

$$S \text{ tumpuan} = 100$$

$$S \text{ lapangan} = 100$$

$$\begin{aligned}
A_{v+t} / s \text{ tumpuan pasang} &= n \times 3,14 / 4 \times d_s^2 / s \\
&= 4 \times 3,14 / 4 \times 13^2 / 100 \\
&= 5,309 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
A_{v+t} / s \text{ lapangan pasang} &= n \times 3,14 / 4 \times d_s^2 / s \\
&= 2 \times 3,14 / 4 \times 13^2 / 100 \\
&= 2,655 \text{ mm}^2 / \text{mm} \\
A_t / s &= T_u / (2 \times \emptyset \times A_o \times f_y) \\
&= 44350100 / (2 \times 0,75 \times 167594 \\
&\quad \times 420) \\
&= 0,566 \text{ mm}^2 / \text{mm} \\
A_v / s \text{ Tumpuan Perlu} &= V_u \text{ tumpuan} / (\emptyset \times f_y \times d) \\
&= 2513521 / (0,75 \times 420 \times 726) \\
&= 1,604 \text{ mm}^2 / \text{mm} \\
A_v / s \text{ Lapangan Perlu} &= V_u \text{ lapangan} / (\emptyset \times f_y \times d) \\
&= 1764114 / (0,75 \times 420 \times 726) \\
&= 0,771 \text{ mm}^2 / \text{mm} \\
A_{v+t} / s \text{ Tumpuan Perlu} &= 2 \times A_t / s + A_v / s \\
&= 2 \times 0,644 + 2,711 \\
&= 1,604 \\
A_{v+t} / s \text{ Lapangan Perlu} &= 2 \times A_t / s + A_v / s \\
&= 2 \times 0,566 + 1,604 \\
&= 0,771 \\
A_{v+t} / s \text{ min1} &= 0,062 \times (f_c')^{0,5} \times b / f_y \\
&= 0,062 \times (32^{0,5}) \times 400 \times 420 \\
&= 0,334 \\
A_{v+t} / s \text{ min2} &= 0,35 \times b / f_y \\
&= 0,35 \times 400 \times 420 \\
&= 0,333
\end{aligned}$$

Cek Geser + Torsi Tumpuan

$$A_{v+t} / s \text{ tumpuan pasang} \geq A_{v+t}/s \text{ Tumpuan Perlu}; A_{v+t} / s_{min1}; A_{v+t}/s_{min2}$$

$$5,309 \geq 1,604; 0,334; 0,333 \text{ (OKE)}$$

Cek Geser + Torsi Lapangan

$$A_{v+t} / s \text{ lapangan pasang} \geq A_{v+t}/s \text{ Tumpuan Perlu}; A_{v+t} / s_{min1}; A_{v+t}/s_{min2}$$

$$2,655 \geq 0,771; 0,333 ; 0,333 \text{ (OKE)}$$

5. Penulangan Longitudinal Torsi

$$D_b = 22 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ perlu tumpuan atas} = 1441,868 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu tumpuan bawah} = 877,730 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan atas} = 453,707 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan bawah} = 602,850 \text{ mm}^2$$

$$A_1 = A_t / s \times \phi_h = 0,566 \times 1948 = 1102,122 \text{ mm}^2$$

$$A_1 \text{ min} = 0,42 \times (f_c')^{0,5} \times A_{cp} / f_y - (A_t / s) \times \phi_h$$

$$= 0,42 \times (32)^{0,5} \times 320000 / 420 - (0,566) \times 1948$$

$$= 708,071 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ tumpuan} + A_1 = 1441,868 + 877,730 + 1102,122 = 3421,720 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ lapangan} + A_1 = 453,707 + 602,850 + 1102,122 = 2158,679 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tumpuan atas} = 6$$

$$n \text{ tumpuan tengah (torsi)} = 4$$

$$n \text{ tumpuan bawah} = 5$$

$$\begin{aligned}
 n \text{ tumpuan vertikal} &= 2 + n \text{ tengah} / 2 \\
 &= 2 + (4/2) \\
 &= 4
 \end{aligned}$$

$$n \text{ lapangan atas} = 3$$

$$n \text{ lapangan tengah (torsi)} = 4$$

$$n \text{ lapangan bawah} = 5$$

$$\begin{aligned}
 n \text{ lapangan vertikal} &= 2 + n \text{ tengah} / 2 \\
 &= 2 + (4/2) \\
 &= 4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak horizontal tumpuan} &= (b - 2C_c - 2d_s - d_b) / [\min(n \text{ atas, } n \\
 &\quad \text{bawah}) - 1] \\
 &= 63 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak vertikal tumpuan} &= (h - 2C_c - 2d_s - d_b) / (n \text{ vertikal} - 1) \\
 &= 217 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak horizontal lapangan} &= (b - 2C_c - 2d_s - d_b) / [\min(n \text{ atas, } \\
 &\quad n \text{ bawah}) - 1] \\
 &= 126 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak vertikal lapangan} &= (h - 2C_c - 2d_s - d_b) / (n \text{ vertikal} - 1) \\
 &= 217 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek jarak tulangan longitudinal tumpuan = 63 dan 217 ≤ 300 mm (OKE)

Cek jarak tulangan longitudinal lapangan = 126 dan 217 ≤ 300 mm (OKE)

$$\begin{aligned}
 A_s + A_1 \text{ pasang tumpuan} &= (6 + 4 + 5) \times 3,14 / 4 \times d_b^2 \\
 &= (6 + 4 + 5) \times 3,14 / 4 \times 22^2 \\
 &= 5701,991 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s + A_1 \text{ pasang lapangan} &= (3 + 4 + 3) \times 3,14 / 4 \times d_b^2 \\
 &= (3 + 4 + 3) \times 3,14 / 4 \times 22^2 \\
 &= 3801,327 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

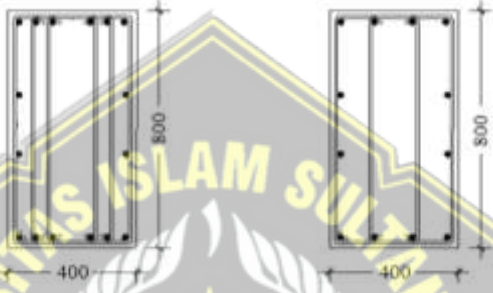
Cek lentur + Torsi Tumpuan = $A_s + A_1 \text{ pasang tumpuan} \geq A_s + A_1 \text{ Perlu}$

$$= 5701,991 \geq 3421,720 \text{ (OKE)}$$

$$\begin{aligned}\text{Cek lentur} + \text{Torsi Lapangan} &= A_s + A_1 \text{ pasang tumpuan} \geq A_s + A_1 \text{ Perlu} \\ &= 3801,327 \geq 2158,679 \text{ (OKE)}\end{aligned}$$

Detail Penulangan balok 400 x 800 mm tulangan longitudinal pada tumpuan, lapangan, torsi, dan penulangan sengkang geser serta geser torsi dapat dilihat pada gambar 4.20 dan detail penulangan balok lainnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tumpuan B 400 x 800 Lapangan B 400 x 800



Balok 400 x 800 mm	Tulangan Tumpuan	Tulangan Lapangan
Tulangan Atas	6 D 22	4 D 22
Tulangan Torsi	4 D 22	4 D 22
Tulangan Bawah	6 D 22	4 D 22
Tulangan Geser	4 $\emptyset$ 13 – 100	2 $\emptyset$ 13 – 100

Gambar 4.10 Detail Penulangan Balok 400 x 800

Tabel.4.40 Detail Penulangan Balok Apartemen

Dimensi	Lokasi	Tulangan Longitudinal		Tulangan Transversal		Tulangan Torsi
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
400 x 800	Atas	6D 22	4D 22	4D13-100	2D10-100	4D 22
	Bawah	6D 22	4D 22			
300 x 650	Atas	4D 22	4D 22	4D10-100	2D10-150	2D 22
	Bawah	4D 22	4D 22			
300 x 600	Atas	4D 22	4D 22	4D13-100	2D10-150	2D 22
	Bawah	4D 22	6D 22			

4.13 Perencanaan Kolom

Perencanaan kolom menggunakan gaya – gaya dalam yang didapat dari program analisis. Pada perencanaan kolom ini dilakukan secara *sampling* dengan cara menganalisis salah satu kolom pada struktur bangunan yaitu kolom Ky dengan mengambil gaya terbesar dari beban kombinasi nominal yang terdapat pada program analisis. Propertis kolom dapat dilihat pada tabel 4.34 berikut :

Tabel 4.41 Data Rencana Kolom 700 x 900 mm

Kolom K1 700 x 900 mm	
Tinggi Kolom	3000 mm
Tinggi Bersih Kolom	2100 mm
Dimensi Kolom	700 x 900 mm
Mutu Beton f_c'	32 MPa
Diameter Tulangan Longitudinal	D 22 mm
Diameter Sengkang	D 13 mm

Gaya dalam yang terjadi pada kolom digunakan gaya aksial dan momen tertinggi yang diperoleh melalui Analisa program dengan hasil beban yang dapat dilihat pada tabel 4.35 dibawah :

Tabel 4.42 Gaya Aksial dan Momen Kolom 800 x 1000 mm

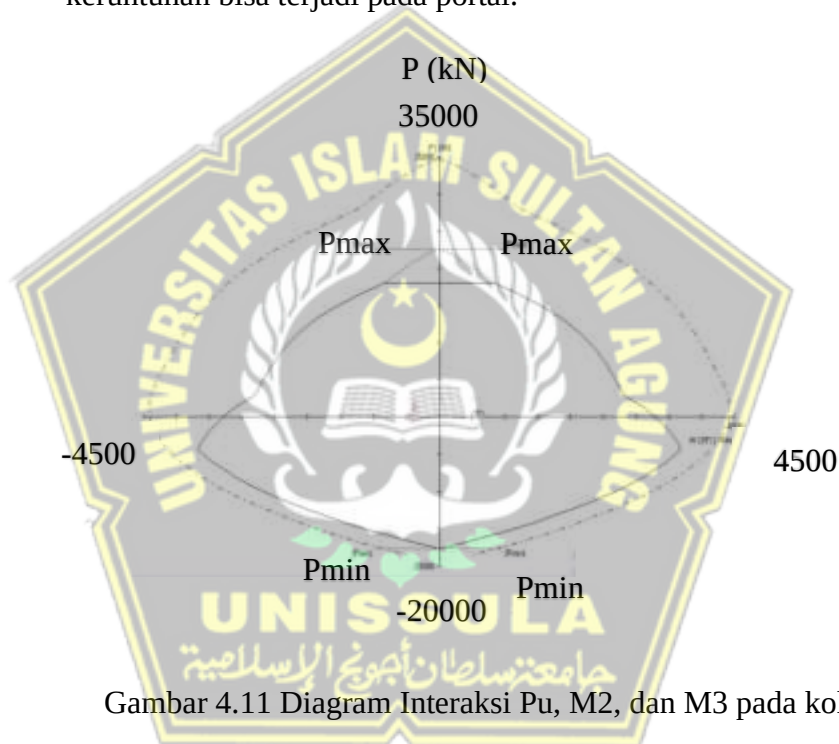
Kombinasi Beban	Pu (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
0,7DL + 1,3 Ex + 0,39 Ey	-157,348	402,239	496,764
1,3DL + 1LL + 1,3Ex + 0,39 Ey	-1573,348	-370,918	-266,345
1,3DL + 1LL + 0,39Ex + 1,3 Ey	-639,874	451,968	371,817
1,3DL + 1LL + 1,3Ex + 0,39 Ey	-314,241	-394,988	-345,378
1,3DL + 1LL + 0,39Ex + 1,3 Ey	-796,767	-645,259	-670,325
1,3DL + 1LL + 1,3Ex + 0,39 Ey	-157,348	402,239	496,764

4.13.1 Cek Penampang Kolom (ps 18.7.2.1 SNI 2847:2019)

1. Dimensi terkecil penampang = 700 mm > 300 mm (OKE)
2. Perbandingan b/h
= 700 / 900 > 0,4
= 0,77 > 0,4 (OKE)

4.13.2 Cek Tulangan Longitudinal Penampang Kolom

Tulangan penampang kolom dianalisis menggunakan program bantu aplikasi SP *Coloum* yaitu dengan cara *trial and error* untuk detail diagram interaksi kolom dapat dilihat pada gambar 4.21 menunjukkan bahwa kolom dinyatakan aman dengan tulangan yang telah direncanakan menggunakan Analisa program SP *Coloum* yaitu 40 D 22. Memang pada desain tulangan longitudinal kolom boros tetapi hal ini dibutuhkan karena kolom harus memenuhi persyaratan SCWB (*Strong Coloum With Beam*) dimana kolom harus kuat dari pada balok sehingga keruntuhan bisa terjadi pada portal.



Gambar 4.11 Diagram Interaksi P_u , M_2 , dan M_3 pada kolom

1. Kontrol ρ_{min} dan ρ_{maks} (ps 18.7.4.1 SNI 2847:2019)

Tulangan Longitudinal $0,01A_g < \rho < 0,06A_g$

$$\begin{aligned}\rho &= (38 \times 660) / (700 \times 900) \\ &= (\text{OKE})\end{aligned}$$

2. Cek $P_u > 0,3 \times A_g \times f_c'$

$$\begin{aligned}0,3 \times A_g \times f_c' &= 0,3 \times (700 \times 900) \times 32 \\ &= 6048000 \text{ N} \\ &= 6048 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$P_u > 0,3 \times A_g \times f_c'$$

4.13.3 Cek kuat Lentur Minimum (SCWB)

Kuat lentur minimum ini biasa dikenal dengan istilah *strong coloum with beam* didasarkan pada momen nominal dari balok, dimana kuat lentur kolom lebih besar dari 1,2 tahanan lentur balok.

No	P _u	M _{u1}	M _{u2}	φM _{u1}	φM _{u2}	φM _{u1} /M _{u1}	NA Depth	dt Depth	ρt	φ
	kN	kNm	kNm	kNm	kNm		mm	mm		
1	157.00	432.00	496.00	2012.20	2482.84	0.08	433	943	0.00193	0.745
2	1673.00	-370.00	-384.00	-2523.31	-1814.06	0.820	508	1025	0.00005	0.880
3	630.00	451.00	371.00	2460.67	2030.77	0.474	476	1008	0.00134	0.725
4	314.00	-384.00	-345.00	-2425.56	-2123.81	0.758	464	987	0.00345	0.737
5	796.00	-643.00	-670.00	-2142.77	-2246.60	2.053	463	972	0.00329	0.721

Gambar 4.12 Momen Nominal Kolom Terkecil

Momen nominal kolom terkecil = 1517,976 kN-m

(*output sp coloum*)

Mn- Tumpuan Balok BI = 1217,462 kN-m

Mn+ Tumpuan Balok BI = 1137,793 kN-m

Cek SCWB (ps 18.7.3.2 SNI 2847:2019)

$$2 \times M_{nc} \geq 1,2 \times (M_{n-} + M_{n+})$$

$$2 \times (1517,976) \geq 1,2 \times (1217,462 + 1137,793)$$

$$3035,95 \geq 2826,31 \text{ (OKE)}$$

4.13.4 Cek Tulangan Transversal

1. Cek tulangan transversal tumpuan

Jumlah kaki Sisi Pendek = 4 (*trial and error* dengan excel)

Jumlah kaki sisi Panjang = 5 (*trial and error* dengan excel)

Jarak tulangan = 100 mm

Jarak antar tulangan Xi (ps R18.7.5.2 SNI 2847:2019)

$$X_i = (900 - 2(40) - 2(13) - (\frac{1}{2} 22)$$

$$\times 2) / 10$$

$$= 781 / 10 = 78,1$$

$$A_{sh1} = n \times 3,14 / 4 \times d_s^2$$

$$= 4 \times 3,14 / 4 \times 13^2$$

$$= 530,929 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 Ash2 &= n \times 3,14 / 4 \times ds^2 \\
 &= 5 \times 3,14 / 4 \times 13^2 \\
 &= 663,661 \text{ mm}^2 \\
 Ash1 / s &= 530,929 / 100 \\
 &= 5,309 \text{ mm}^2 / \text{mm} \\
 Ash1 / s &= 663,661 / 100 \\
 &= 6,637 \text{ mm}^2 / \text{mm}
 \end{aligned}$$

2.Cek *Confinement* atau kekangan pada tumpuan

Bc (Lebar Inti Beton) (ps R18.7.5.2 SNI 2847:2019)

$$\begin{aligned}
 Bc &= b - 2Cc \\
 &= 700 - 2(40) \\
 &= 620 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hc (Tinggi Inti beton) (ps R18.7.5.2 SNI 2847:2019)

$$\begin{aligned}
 Hc &= h - 2Cc \\
 &= 820 - 2(40) \\
 &= 720 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ag \text{ (Luas Kotor Kolom)} &= b \times h \\
 &= 700 \times 900 \\
 &= 630000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ach \text{ (Luas Inti Kolom)} &= bc \times hc \\
 &= 620 \times 820 = 508400 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sisi pendek atau Sumbu Lemah SNI 2847 – 2019 Ps 18.7.5.4

$$\begin{aligned}
 Ash / Smin 1 &= 0,3 \times (bc \times fc' / fy) \\
 &\quad \times (Ag / Ach - 1) \\
 &= 0,3 \times (620 \times 32 / 420) \\
 &\quad \times (630000 / 508400 - 1) \\
 &= 3,390 \text{ mm}^2 \\
 Ash / Smin2 &= 0,09 \times bc \times fc' / fy \\
 &= 0,09 \times 620 \times 32 / 420 \\
 &= 4,251 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sisi Panjang atau Sumbu Kuat SNI 2847 – 2019 Ps 18.7.5.4

$$\begin{aligned} A_{sh} / S_{min1} &= 0,3 \times (h_c \times f_c' / f_y) \\ &\times (A_g / A_{ch} - 1) \\ &= 0,3 \times (820 \times 32 / 420) \\ &\times (630000 / 508400 - 1) \end{aligned}$$

$$= 4,483 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{sh} / S_{min2} &= 0,09 \times h_c \times f_c' / f_y \\ &= 0,09 \times 820 \times 32 / 420 \\ &= 5,623 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek jarak Sengkang SNI 2847 – 2019 Ps 18.7.5.3

$$\begin{aligned} S_{max,1} &= b / 4 \\ &= 700 / 4 \\ &= 175 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{max,2} &= 6 \times D_b \\ &= 6 \times 22 \\ &= 132 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_x &= (h - 2 \times (C_c) - d_s - \frac{1}{2} D_b) / n \\ &= (900 - 2 \times (40) - 13 - \frac{1}{2} 22) / 12 \\ &= 66,333 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek jarak} &= S \leq S_{max1} ; S_{max2} \\ &= 100 \leq 175 : 132 \text{ (OKE)} \end{aligned}$$

3. Kuat Geser pada Tumpuan dengan $f_{pr} = 1,25 f_y$

No	P _u	M _{u1}	M _{u2}	g _{1k}	g _{2k}	g _{1k} /kN	RA Depth	dt Depth	ρ	φ
	kN	kNm	kNm	kNm	kNm		mm	mm		
1	187.00	-402.00	-499.00	2212.30	1402.84	9.000	432	942	0.00332	0.749
2	187.00	-279.00	-296.00	2523.21	1874.00	9.020	398	1025	0.00305	0.899
3	939.00	-471.00	371.00	3688.67	2090.77	9.474	476	1098	0.00344	0.729
4	316.00	-984.00	-945.00	-1425.36	-1123.81	8.738	484	987	0.00345	0.737
5	796.00	-945.00	-470.00	-2762.77	-2246.80	5.353	483	870	0.00328	0.723

Gambar 4.13 Momen Nominal Kolom Terbesar

$$\begin{aligned} M_{pr} \text{ kolom (nilai terbesar)} &= 2945,233 \text{ kN-m} \\ &\text{(output SP Coloum)} \end{aligned}$$

Mencari nilai Vu1 (ps 18.7.6.1 SNI 2847:2019)

$$\begin{aligned}Vu1 &= 2 \times M_{prc} / L_n \\ &= 2 \times (2945,233 \times 10^6) / 2100 \\ &= 2804984 \text{ N}\end{aligned}$$

$$Vu2 \text{ Sumbu Lemah} = 332954 \text{ N}$$

$$Vu2 \text{ Sumbu Kuat} = 231097 \text{ N}$$

$$Vu \text{ pakai} = 2894857 \text{ N}$$

Mencari nilai Vc (ps 22.5.6.1 SNI 2847:2019)

$$\begin{aligned}Vc &= 0,17 \times (1 + Nu / 14 \times Ag) \\ &\quad \times (f_c')^{0,5} \times h \times d \\ &= 0,17 \times (1 + (900) / 14 \times 630000) \\ &\quad \times 32^{0,5} \times 900 \times 836 \\ &= 562818 \text{ N}\end{aligned}$$

Mencari nilai Vs Perlu (ps 22.5.10.1 SNI 2847:2019)

$$\begin{aligned}Vs &= (Vu / \phi) - Vc \\ &= (2804984 / 0,75) - 562818 \\ &= 3177161 \text{ N}\end{aligned}$$

Mencari nilai As / s Perlu (ps 22.5.10.5.3 SNI 2847:2019)

$$\begin{aligned}\text{As / s Perlu} &= Vs / (f_y \times d) \\ &= 3177161 / (420 \times 836) \\ &= 9,0486 \text{ mm}^2 / \text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As / S min1} &= 0,062 \times (f_c')^{0,5} \times h / f_y \\ &= 0,062 \times (32)^{0,5} \times 900 / 420 \\ &= 0,5845 \text{ mm}^2 / \text{mm}\end{aligned}$$

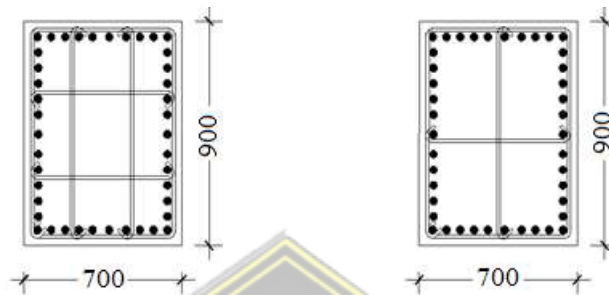
$$\begin{aligned}\text{As / S min2} &= 0,35 \times h / f_y \\ &= 0,35 \times 900 / 420 \\ &= 0,5833 \text{ mm}^2 / \text{mm}\end{aligned}$$

$$\text{Cek As / S} = A_{sh} / S \geq A_s / s_{\min}$$

$$1 = 5,309 \geq 0,5845 ; 0,5833 \text{ (OKE)}$$

Detail Penulangan kolom 700 x 900 mm tulangan longitudinal pada tumpuan, lapangan, dan penulangan sengkang geser dapat dilihat pada gambar 4.14 dan detail penulangan kolom lainnya dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

Tumpuan K 700 x 900 mm Lapangan K 700 x 900



Kolom 700 x 900 mm	Tulangan Tumpuan	Tulangan Lapangan
Tulangan Longitudinal	40 D 22	
Tulangan Geser	4 D 13 – 100	5 D 13 - 100

Gambar 4.14 Detail Penulangan Kolom 700 x 900 cm

Tabel 4.43 Detail Penulangan Kolom Apartemen

Dimensi (mm)	Tul. Pokok	Tul. Geser Tumpuan	Tul. Geser Lapangan
1000 x 700	42 D 22	4D 13 – 100	5D 13 - 100
700 x 900	40 D 22	4D 13 – 100	5D 13 - 100

4.14 Perencanaan Dinding Geser (*Shear Wall*)

Dinding geser ini direncanakan menggunakan gaya dalam yang diambil dari program analisis. Seperti halnya balok dan kolom kami akan menganalisis salah satu dinding geser yang ada pada gambar kerja yaitu dinding geser dengan lajer *pier* 1 yaitu dengan mengambil gaya – gaya paling besar dari beban kombinasi nominal yang ada di dalam program. Propertis untuk dinding geser dapat dilihat pada tabel 4.44 berikut :

Tabel 4.44 Data Rencana Dinding Geser

Dinding Geser (<i>Shear Wall</i>) Laber Pier 1	
Tebal Dinding Geser t_w	3500 mm
Panjang As ke As, L	7400 mm
Tinggi Dinding Geser h_w	40000 mm
Mutu Beton f_c'	32 MPa
Mutu Tulangan f_y	420 MPa
Diameter Tulangan Kolom	D 22 mm
Diameter Tulangan Longitudinal Badan	D 22 mm
Diameter Tulangan Transversal Badan	D 22 mm

Gaya dalam yang terjadi pada struktur dinding geser digunakan gaya aksial dan momen tertinggi yang diperoleh melalui Analisa program dengan hasil beban yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.45 Gaya Aksial dan Momen Dinding Geser Hasil Analisis Program

Kombinasi Beban	P_u (kN)	M_2 (kN-m)	M_3 (kN-m)
1,3DL + 1LL + 1,3Ex + 0,39 Ey	-225,75	-19,07	2361,38
0,7DL + 0,39Ex + 1,3Ey	-21365,2	-943,28	-39097,8
1,3DL + 1LL + 0,39Ex + 1,3 Ey	-12528	-141,10	-19892,60
1,3DL + 1LL + 0,39Ex + 1,3 Ey	-18017,80	-32671,4	-94519,40
0,7DL + 1,3Ex + 0,39Ey	-5858,37	42,90	2762,52
1,3DL + 1LL + 1,3Ex + 0,39 Ey	-21365,20	-943,28	-39097

Tabel 4.46 Gaya Geser Dinding Geser Hasil Analisis Program

Kombinasi Beban	Gaya Geser
1,3DL + 1LL + 1,3Ex + 0,39 Ey	$V_2 = 5238,961$ kN
1,3DL + 1LL + 0,39Ex + 1,3 Ey	$V_3 = 718,913$ kN

4.14.1 Cek Syarat Tulangan Minimum

$$V_u / \phi = 5238,961 \times 1000 / 0,75$$

$$= 69835000 \text{ N}$$

$$A_{cv} = t_w \times l_w$$

$$= 350 \times 8100$$

$$= 2835000 \text{ mm}^2$$

Mencari nilai Batas Zona 1 (ps 18.10.2 SNI 2847: 2019)

$$\begin{aligned}\text{Batas Zona 1} &= 0,083 \times A_{cv} \times (f_c')^{0,5} \\ &= 0,083 \times 2835000 \times (32)^{0,5} \\ &= 1331086 \text{ N}\end{aligned}$$

Mencari nilai Batas Zona 2 (ps 18.10.2 SNI 2847: 2019)

$$\begin{aligned}\text{Batas Zona 2} &= 0,17 \times A_{cv} \times (f_c')^{0,5} \\ &= 0,17 \times 2835000 \times (32)^{0,5} \\ &= 2726321 \text{ N}\end{aligned}$$

$V_u \geq \text{Batas Zona 1}$ maka, rasio tulangan

$$\rho_1 \text{ dan } \rho_2 > 0,0025$$

$V_u \geq \text{Batas Zona 2}$ maka, tulangan perlu
2 lapis tulangan

4.14.2 Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur

Pengecekan terhadap gaya dalam aksial-lentur pada bagian badan dan bagian kolom menggunakan bantuan aplikasi SP *Column*

1. Bagian Badan

$$s = 150 \text{ (Tryal and error)}$$

Spasi tulangan_{max} (ps 18.10.2 SNI 2847: 2019)

$$\begin{aligned}\text{Spasi tulangan}_{\max} &= s \leq 450 \text{ mm} \\ &= 150 \leq 450 \text{ mm}\end{aligned}$$

ρ_l (ps R18.10.6.5 SNI 2847:2019)

$$\begin{aligned}\rho_l &= n \times (0,25/4 \times d_l^2) / (t_w \times s) \\ &= 2 \times (0,25/4 \times 19^2) / (350 \times 150) \\ &= 0,01\end{aligned}$$

Rasio tulangan_{min} (ps 18.10.2, 18.10.4.3 SNI 2847:2019)

$$\begin{aligned}\text{Rasio tulangan}_{\min} &= \rho_l \geq 0,0025 \\ &= 0,01 \geq 0,0025 \text{ (OKE)}\end{aligned}$$

2. Bagian Kolom

$$\begin{aligned}n &= 40 \\ \rho &= n \times (0,25/4 \times d_b^2) / (b_k \times h_k) \\ &= 40 \times (0,25/4 \times 22^2) / (900 \times 700) \\ &= 0,024\end{aligned}$$

4.14.3 Perhitungan Tulangan Dinding Geser

$$\begin{aligned}0,0025 \times A_{cv} &= 0,0025 \times 2835000 \\ &= 708,75 \text{ mm}^2 / \text{m}\end{aligned}$$

Jika dipasang tulangan D22 dalam 2 lapis

$$\begin{aligned}A_s &= 2 \times (1/4 \times 3,14 \times D^2) \\ &= 2 \times (0,25 \times 3,14 \times 19^2) \\ &= 566,77 \\ S &= 566,77 / 708,75 \\ &= 0,799 \text{ m} \\ &= 799 \text{ mm} > 450 \text{ mm (OKE)}\end{aligned}$$

4.14.4 Cek Kuat Geser Dinding

$$\begin{aligned}H_w / l_w &= 40000 / 8100 \\ &= 4,938 > 2 \\ \alpha_c \text{ (ps 18.10.4.1 SNI 2847:2019)} \\ \alpha_c &= 0,17 \\ \rho_t \text{ (ps R18.10.6.5 SNI 2847:2019)} \\ \rho_t &= n \times (3,14/4 \times d_t^2) / (t_w \times s) \\ &= 2 \times (3,14/4 \times 19^2) / (350 \times 200) \\ &= 0,008\end{aligned}$$

V_n (ps 18.10.4.1 SNI 2847:2019)

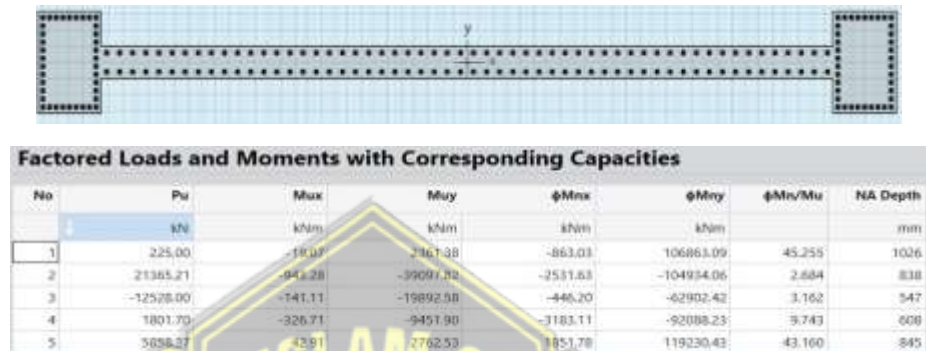
$$\begin{aligned}V_n &= A_{cv} \times (\alpha_c \times \lambda \times (f_c')^{0,5} + \rho_t \times f_y) \\ &= 2835000 \times (0,17 \times (32)^{0,5} + 0,008 \times 420) \\ &= 12371969 \text{ N}\end{aligned}$$

$V_{n \max}$ (ps 18.10.4.4 SNI 2847:2019)

$$\begin{aligned}V_{n \max} &= 0,66 \times A_{cv} \times f_c'^{0,5} \\ &= 10584540 \text{ N} \\ &= 10584,540 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{n \text{ pakai}} &= 10584,540 \text{ kN} \\
 \text{Cek kapasitas geser} &= V_{n \text{ pakai}} \geq V_u \\
 &= 10584,540 \geq 3056,302 \text{ kN (OKE)}
 \end{aligned}$$

4.14.5 Cek Kebutuhan Elemen Batas Khusus



The diagram shows a rectangular column cross-section with width 'b' and height 'h'. The table below provides the results of the analysis for five different load cases.

No	Pu kN	Mux kNm	Muy kNm	φMux kNm	φMuy kNm	φMux/Mu	NA Depth mm
1	225.00	-19.07	2161.38	-863.03	106863.09	45.255	1026
2	21365.21	-943.28	-39097.82	-2531.63	-104954.06	2.684	838
3	-12578.00	-141.11	-19892.98	-446.20	-62902.42	3.162	547
4	1801.70	-326.71	-9451.90	-3183.11	-92088.23	9.743	608
5	5698.37	42.91	2762.53	1851.78	119230.43	43.160	845

Gambar 4.15 Hasil output analisis program SP Coloum dinding geser

Panjang zona tekan, c (ps 18.10.6.4 SNI 2847:2019)

$$c = 954$$

$$\delta u / h_w = 0,005$$

Cek elemen batas khusus *Displacement Based Method* menurut (ps 18.10.6.2 SNI 2847:2019).

$$C \geq L_w / [600 \times (1,5\delta u)]$$

$$954 \geq 8100 / [600 \times (1,5(0,005))]$$

$$954 \geq 4,5 \text{ (Tidak Perlu Batas Khusus)}$$

Cek elemen batas khusus *Strength Based Method*

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Penampang, } A_g &= t_w \times l_n + 2 \times (b_k \times h_k) \\
 &= 350 \times 6700 + 2 \times (900 \times 700) \\
 &= 3605000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Inersia Penampang, } I_g &= 1/12 \times t_w \times l_n^3 + 2 \times [1/12 \times b_k \times h_k^3 \\
 &\quad + b_k \times h_k \times (L/2)^2] \\
 &= 2,61E + 13
 \end{aligned}$$

$$\text{Tegangan Maximum} = P_u / A_g + (M_u / I_g \times L / 2)$$

$$\begin{aligned}
 &= 21365,2091 \times 10^3 / 3605000 \\
 &+ (39097,818 \times 10^6 / 1,98E \\
 &+ 13 \times 7400 / 2) \\
 &= 18,411 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Batas tegangan (ps 18.10.6.3 SNI 2847:2019)

$$\begin{aligned}
 \text{Batas tegangan} &= 0,2 \times f_c' \\
 &= 0,2 \times 32 \\
 &= 6,4 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tagangan Maximum} \geq 0,2f_c'$$

$$18,411 \geq 6,4 \text{ MPa (Perlu)}$$

Cek Tinggi Elemen Batas Khusus (ps 18.10.6.3 SNI 2847:2019)

$$\begin{aligned}
 H_{be} &= h_w - (0,15 \times f_c' / \text{Tegangan}) \times h_w \\
 &= 40000 - (0,15 \times 32 / 18,411) \times 40000 \\
 &= 29572 \text{ mm} \\
 &= 29,572 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4.14.6 Penulangan Elemen Batas Khusus Daerah Kolom

$$\begin{aligned}
 \text{Selimut Beton} &= 40 \text{ mm} \\
 \text{Diameter } d_s &= 13 \text{ mm} \\
 \text{Kaki sejajar lebar kolom} &= 4 \text{ (trial and error)} \\
 \text{Kaki sejajar Panjang kolom} &= 5 \text{ (trial and error)} \\
 s &= 100 \text{ mm (trial and error)} \\
 \text{Ash 1} &= n \times \frac{1}{4} \times 3,15 \times d_s^2 \\
 &= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times 13^2 \\
 &= 530,929 \text{ mm}^2 \\
 \text{Ash2} &= n \times \frac{1}{4} \times 3,15 \times d_s^2 \\
 &= 5 \times 0,25 \times 3,14 \times 13^2 \\
 &= 663,661 \text{ mm}^2 \\
 \text{Ash1 / s} &= 530,929 / 100 \\
 &= 5,309 \text{ mm}^2 / \text{mm} \\
 \text{Ash2 / s} &= 663,661 / 100 \\
 &= 6,637 \text{ mm}^2 / \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{lebar inti beton, } bc &= bk - 2Cc \\ &= 900 - 2 \times (40) \\ &= 820 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Panjang inti beton } hc &= 700 - 2Cc \\ &= 700 - 2 \times (50) \\ &= 620 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas Kolom, } Ag &= bk \times hk \\ &= 900 \times 700 \\ &= 630000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas Inti Beton, } Ach &= bc \times hc \\ &= 820 \times 600 \\ &= 508400 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Cek Jarak Sejajar Lebar Kolom

$$\begin{aligned}Ash / s_{min1} &= 0,3 \times (hc \times fc' / fy) \times (Ag / Ach - 1) \\ &= 0,3 \times (600 \times 32 / 420) \times (630000 / 480000 - 1) \\ &= 4,286 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Ash / s_{min2} &= 0,09 \times hc \times fc' / fy \\ &= 0,09 \times 600 \times 32 / 420 \\ &= 4,114 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$Ash1 / s \geq Ash / s_{min}$$

$$5,309 \geq 4,286 ; 4,114 \text{ (OKE)}$$

Cek Jarak Sejajar Panjang Kolom

$$\begin{aligned}Ash / s_{min1} &= 0,3 \times (bc \times fc' / fy) \times (Ag / Ach - 1) \\ &= 0,3 \times (720 \times 32 / 420) \times (630000 / 480000 - 1) \\ &= 4,483 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Ash / s_{min2} &= 0,09 \times bc \times fc' / fy \\ &= 0,09 \times 720 \times 32 / 420 \\ &= 5,623 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$Ash1 / s \geq Ash / s_{min}$$

$$6,637 \geq 4,483 ; 5,623 \text{ (OKE)}$$

4.14.7 Penulangan Elemen Batas Khusus Daerah Badan

Selimut Beton	= 30 mm
Diameter ds	= 13 mm
Kaki sejajar lebar kolom	= 3 (<i>trial and error</i>)
Kaki sejajar panjang kolom	= 4 (<i>trial and error</i>)
s	= 100 mm (<i>trial and error</i>)
Ash 1	$= n \times \frac{1}{4} \times 3,15 \times ds^2$ $= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times 13^2$ $= 398,197 \text{ mm}^2$
Ash2	$= n \times \frac{1}{4} \times 3,15 \times ds^2$ $= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times 13^2$ $= 530,929 \text{ mm}^2$
Ash1 / s	$= 398,197 / 100$ $= 3,982 \text{ mm}^2 / \text{mm}$
Ash2 / s	$= 530,939 / 100$ $= 5,309 \text{ mm}^2 / \text{mm}$
Panjang EBK badan, bc	$= LBE - hk$ $= 1000 - 700$ $= 300 \text{ mm}$
Tebal Dinding, h	$= tw$ $= 350 \text{ mm}$
Lebar inti beton, bc	$= b - 2Cc$ $= 300 - 2 \times (30)$ $= 240 \text{ mm}$
Panjang inti beton, hc	$= h - 2Cc$ $= 350 - 2 \times (30)$ $= 290 \text{ mm}$
Luas Penampang, Ag	$= b \times h$ $= 300 \times 350$ $= 105000 \text{ mm}^2$
Luas Inti Beton, Ach	$= bc \times hc$ $= 240 \times 290 = 69600 \text{ mm}^2$

Cek Jarak Sejajar Dinding

$$\begin{aligned} A_{sh} / s_{min1} &= 0,3 \times (h_c \times f_c' / f_y) \times (A_g / A_{ch} - 1) \\ &= 0,3 \times (290 \times 32 / 420) \times (105000 / 69600 - 1) \\ &= 3,371 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh} / s_{min2} &= 0,09 \times h_c \times f_c' / f_y \\ &= 0,09 \times 290 \times 32 / 420 \\ &= 1,989 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh1} / s &\geq A_{sh} / s_{min} \\ 3,982 &\geq 3,371; 1,989 \text{ (OKE)} \end{aligned}$$

Cek Jarak Sejajar Panjang Kolom

$$\begin{aligned} A_{sh} / s_{min1} &= 0,3 \times (b_c \times f_c' / f_y) \times (A_g / A_{ch} - 1) \\ &= 0,3 \times (240 \times 32 / 420) \times (105000 / 69600 - 1) \\ &= 2,790 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh} / s_{min2} &= 0,09 \times b_c \times f_c' / f_y \\ &= 0,09 \times 240 \times 32 / 420 \\ &= 1,646 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh1} / s &\geq A_{sh} / s_{min} \\ 5,309 &\geq 2,790; 1,646 \text{ (OKE)} \end{aligned}$$

Detail Penulangan dinding geser sejajar kolom maupun pada badan dinding geser dapat dilihat pada tabel 4.48 dan 4.49 berikut :

Tabel 4.47 Penulangan Kolom Sejajar Dinding Geser

Tulangan Kolom Bagian Dinding Geser	
Longitudinal	40 D 22
Transversal (Sejajar Lebar)	4 D13 – 100
Transversal (Sejajar Panjang)	5 D13 – 100

Tabel 4.48 Penulangan Badan Dinding Geser

Tulangan Badan Dinding Geser	
Longitudinal	2 D22 – 150
Transversal	2 D22 – 200
Confinement EBK (Sejajar Lebar)	3 D13 – 100
Confinement EBK (Sejajar panjang)	4 D13 - 100

4.15 Perencanaan Tie Beam

Perhitungan tulangan balok diambil dari data balok induk BI1 400 mm x 700 mm As I Joint 1-2 pada elevasi ± 0 m. Berikut adalah data-data perencanaan balok bordes, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa ETABS v18 yang selanjutnya akan dihitung menggunakan metode SRPMK.

Data-data perencanaan :

- Bentang Tie Beam, (L) = 7400 mm
- Lebar, (B) = 400 mm
- Tinggi, (H) = 700 mm
- Mutu beton, (f_c') = 30 Mpa
- Kuat leleh tulangan lentur, (f_y) = 400 Mpa
- Kuat leleh tulangan geser, (f_{ys}) = 240 Mpa
- Kuat leleh tulangan puntir, (f_{yt}) = 400 Mpa
- Diameter tulangan lentur, (D) = 19 mm
- Diameter tulangan geser, ($\emptyset$) = 10 mm
- Diameter tulangan puntir, (D) = 13 mm
- Spasi antar tulangan sejajar, = 30 mm
- Tebal selimut beton, $t(\text{decking})$ = 50 mm
- Faktor β_1 = 0,85
- Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) = 0,9
- Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) = 0,75
- Faktor reduksi kekuatan torsi (ϕ) = 0,75

4.15.1 Perhitungan Tulangan

Tinggi efektif

$$\begin{aligned} d_x &= h - t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{tulangan sengkang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 700 - 50 - 10 - (\frac{1}{2} \times 19) \\ &= 630,5 \\ d'' &= t_{\text{decking}} + \emptyset_{\text{tulangan sengkang}} + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 50 + 10 + (\frac{1}{2} \times 19) \\ &= 69,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol dimensi penampang terhadap gaya geser dan torsi

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton :

$$\begin{aligned} A_{cp} &= B \times H \\ &= 400 \times 700 \\ &= 280000 \end{aligned}$$

Parameter luas irisan penampang beton A_{cp} :

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (B+H) \\ &= 2 \times (400 + 700) \\ &= 2200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (B - 2 \times t - \phi_{geser}) \times (H - 2 \times t - \phi_{geser}) \\ &= (400 - 2 \times 50 - 10) \times (700 - 2 \times 50 - 10) \\ &= 171100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$\begin{aligned} P_{oh} &= 2 \times ((B - 2t - \phi) + (H - 2t - \phi)) \\ &= 2 \times ((400 - 2 \times 50 - 10) + (700 - 2 \times 50 - 10)) \\ &= 1760 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.15.2 Perhitungan Tulangan Puntir

Berdasarkan hasil analisa struktur ETABS v18 didapatkan Torsi terbesar.

- Torsi ultimate

$$T_u = 9404900 \text{ N}$$

$$T_n = \frac{9404900}{0,75}$$

$$= 12539866,7 \text{ N}$$

Pengaruh torsi dapat diakibatkan oleh torsi terfaktor T_u , besarnya kurang dari kondisi-kondisi dibawah ini.

$$\begin{aligned} T_{u \text{ min}} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{280000^2}{2200} \right) \\ &= 13365525,848 \text{ N} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk torsi terfaktor maksimal T_u dapat diambil sebesar:

$$\begin{aligned} T_{u \max} &= \phi 0,33 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{280000^2}{2200} \right) \\ &= 53140042,52 \text{ N} \end{aligned}$$

- Kontrol pengaruh torsi

$T_u < T_{u \min}$, maka tulangan torsi diabaikan

$T_u > T_{u \min}$, maka memerlukan tulangan torsi

$T_u > T_{u \min}$

(Tulangan torsi diabaikan, karena ditahan oleh tekanan tanah)

Jadi, penampang *Tie Beam* tidak memerlukan tulangan torsi berupa tulangan memanjang sengkang tertutup.

4.15.3 Perhitungan Tulangan Lentur

- Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{600}{600 + f_y} x d \\ X_b &= \frac{600}{600 + 400} x 19 \\ &= 348,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 348,3 \\ &= 261,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 68 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral rencana

$$X_r = 150 \text{ mm}$$

- Komponen beton tekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_r \\ &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,85 \times 150 \\ &= 1300500 \text{ N} \end{aligned}$$

1. Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{Cc'}{f_y} \\ &= \frac{1300500}{400} \\ &= 3251,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\ M_{nc} &= 3251,25 \times 400 \times \left(630,5 - \frac{0,85 \times 150}{2} \right) \\ &= 737058375 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400} \\ &= 0,004 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \left(\frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \left(\frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,033 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,033 = 0,024 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 + f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 + 30} \\ &= 15,69 \end{aligned}$$

4.15.4 Daerah Tumpuan Kanan

Perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan *Tie Beam* menggunakan momen terbesar.

- Momen lentur ultimate

$$M_u = 114569100 \text{ N}$$

- Momen lentur nominal

$$M_n = \frac{114569100}{0,9}$$

$$M_n = 127299000 \text{ N}$$

- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 127299000 - 737058375$$

$$M_{ns} = -609759375$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

1. Perencanaan Tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{127299000}{400 \times 630,5^2} \\ &= 0,8 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,8}{400}} \right) \\ &= 0,002\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,004 < 0,002 < 0,024 \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Maka nilai ρ diperbesar 30%

$$\rho = 1,3 \times 0,002$$

$$= 0,0026$$

$$A_{\text{Sperlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0026 \times 400 \times 630,5$$

$$= 655,72 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan ukuran D19 untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

2. Jumlah tulangan tarik

$$n = \frac{A_{\text{Sperlu}}}{\text{Luas tulangan}}$$

$$n = \frac{655,75}{0,25 \times 3,14 \times 19^2}$$

$$n = 2,31 = 3 \text{ Buah}$$

Dipasang tulangan tarik sebesar 3D19

$$A_{\text{Spasang}} = n \times A_{\text{Stulangan tarik}}$$

$$= 3 \times \frac{1}{4} 3,14 \times 19^2$$

$$= 850,155 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &\geq A_{s_{perlu}} \\ 850,6 &\geq 655,72 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

3. Jumlah tulangan tekan

$$\begin{aligned} A_{s'_{perlu}} &= 0,3 \times A_{s_{pasang}} \\ &= 0,3 \times 850,6 \\ &= 255,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{s'_{perlu}}}{\text{Luas Tulangan}}$$

$$n = \frac{255,2}{0,25 \times 3,14 \times 19^2}$$

$$n = 0,9 = 3 \text{ Buah}$$

Dipasang tulangan tekan 3D19

$$\begin{aligned} A_{s'_{pasang}} &= n \times A_{s_{tulangan \text{ tekan}}} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \\ &= 567,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas penampang tulangan

$$\begin{aligned} A_{s'_{pasang}} &\geq A_{s'_{perlu}} \\ 567,1 \text{ mm}^2 &\geq 255,2 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = \text{mm (susun 1 lapis)}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = \text{mm (susun lebih dari 1 lapis)}$$

4. Kontrol tegangan tarik

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= \frac{b - (2xt) - (2 \times \text{geser}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3-1} \\
 &= 111,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$111,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{Susun 1 lapis})$$

5. Kontrol tulangan tekan

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= \frac{b - (2xt) - (2 \times \text{geser}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3-1} \\
 &= 111,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$111,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{Susun 1 lapis})$$

Maka dipakai tulangan lentur *Tie Beam* 40/70 untuk daerah tumpuan kanan :

Tulangan lentur tarik susun 1 lapis = 3D19

Tulangan lentur tekan susun 1 lapis = 3D19

- Cek syarat SRPMK untuk kuat lentur pada balok

$$\begin{aligned}
 A_s &= 3 \times (0,25 \times \pi \times D^2) \\
 &= 3 \times (0,25 \times 3,14 \times 19^2) \\
 &= 850,155 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min}1} &= \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \times f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 400} \times 400 \times 630,5 = 763,347 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \min 2} &= 1.4 / (4 \times f_y) \times b \times d \\
 &= 1.4 / (4 \times 400) \times 400 \times 630,5 \\
 &= 220,675 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ pasang}} > A_{s \min 1} \text{ dan } A_{s \min 2}$$

$$850,155 > 763,347 \text{ dan } 220,675 \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kanan dipasangkan tulangan :

$$\text{Tulangan tarik} = 3D19$$

$$\text{Tulangan tekan} = 3D19$$

6. Kontrol kemampuan penampang

$$A_{s \text{ pasang}} \text{ tulangan tarik } 3D19 = 850,155$$

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{850,155 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} \\
 &= 33,34
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \times b \times f_c' \times \alpha \\
 &= 0,85 \times 400 \times 30 \times 33,34 \\
 &= 340068 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_{s \text{ pakai}} \times f_y \\
 &= 850,155 \times 400 \\
 &= 340062 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$M_n = \left(Cc' \times \left(d - \frac{\alpha}{2} \right) \right)$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \left(340068 \times \left(630,5 - \frac{33,34}{2} \right) \right) \\
 &= 208743940 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\phi \cdot M_{n \text{ pasang}} > M_u$$

$$0,8 \times 208743940 > 114569100$$

$$166995152,35 > 114569100 \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur yang digunakan untuk Tie Beam 40/70 dengan bentang 7400 daerah tumpuan kanan adalah

Tulangan lentur tarik 1 lapis = 3D19

Tulangan lentur tekan 1 lapis = 3D19

4.15.5 Daerah Tumpuan Kiri

Perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan Tie Beam menggunakan momen terbesar.

- Momen lentur ultimate

$$M_u = 140491900 \text{ N}$$

- Momen lentur nominal

$$M_n = \frac{140491900}{0,9}$$

$$M_n = 156102111,1 \text{ N}$$

- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 156102111,1 - 737058375$$

$$M_{ns} = -580956263 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

1. Perencanaan Tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{156102111,1}{400 \times 630,5^2} \\ &= 0,98 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,98}{400}} \right) \\ &= 0,0025\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,004 < 0,0025 < 0,024 \text{ (Memenuhi)}$$

Maka nilai ρ diperbesar 30%

$$\begin{aligned}\rho &= 1,3 \times 0,0025 \\ &= 0,0032\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{\text{Sperlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0032 \times 400 \times 630,5 \\ &= 807,04 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan ukuran D19 untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

2. Jumlah tulangan tarik

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_{\text{Sperlu}}}{\text{Luas tulangan}} \\ n &= \frac{807,04}{0,25 \times 3,14 \times 19^2}\end{aligned}$$

$$n = 2,84 = 3 \text{ Buah}$$

Dipasang tulangan tarik sebesar 3D19

$$\begin{aligned}A_{\text{Spasang}} &= n \times A_{\text{Stulangan tarik}} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} 3,14 \times 19^2 \\ &= 850,155 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &\geq A_{s_{perlu}} \\ 850,6 &\geq 807,04 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

3. Jumlah tulangan tekan

$$\begin{aligned} A_{s'_{perlu}} &= 0,3 \times A_{s_{pasang}} \\ &= 0,3 \times 850,6 \\ &= 255,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{s'_{perlu}}}{\text{Luas Tulangan}}$$

$$n = \frac{255,2}{0,25 \times 3,14 \times 19^2}$$

$$n = 0,9 = 3 \text{ Buah}$$

Dipasang tulangan tekan 3D19

$$\begin{aligned} A_{s'_{pasang}} &= n \times A_{s_{tulangan \text{ tekan}}} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \\ &= 567,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas penampang tulangan

$$\begin{aligned} A_{s'_{pasang}} &\geq A_{s'_{perlu}} \\ 567,1 \text{ mm}^2 &\geq 255,2 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang

$$S_{max} \geq S_{sejajar} = \text{mm (susun 1 lapis)}$$

$$S_{max} \leq S_{sejajar} = \text{mm (susun lebih dari 1 lapis)}$$

4. Kontrol tegangan tarik

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= \frac{b - (2xt) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3-1} \\
 &= 111,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$111,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{Susun 1 lapis})$$

5. Kontrol tulangan tekan

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= \frac{b - (2xt) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3-1} \\
 &= 111,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$111,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{Susun 1 lapis})$$

Maka dipakai tulangan lentur *Tie Beam* 40/70 untuk daerah tumpuan kanan :

Tulangan lentur tarik susun 1 lapis = 3D19

Tulangan lentur tekan susun 1 lapis = 3D19

- Cek syarat SRPMK untuk kuat lentur pada balok

$$\begin{aligned}
 A_s &= 3 \times (0,25 \times \pi \times D^2) \\
 &= 3 \times (0,25 \times 3,14 \times 19^2) \\
 &= 850,155 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min1}} &= \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \times f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 400} \times 400 \times 630,5 \\
 &= 763,347 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \min 2} &= 1.4 / (4 \times f_y) \times b \times d \\
 &= 1.4 / (4 \times 400) \times 400 \times 630,5 \\
 &= 220,675 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ pasang}} > A_{s \min 1} \text{ dan } A_{s \min 2}$$

$$850,155 > 763,347 \text{ dan } 220,675 \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kanan dipasangkan tulangan :

$$\text{Tulangan tarik} : 3D19$$

$$\text{Tulangan tekan} : 3D19$$

6. Kontrol kemampuan penampang

$$A_{s \text{ pasang}} \text{ tulangan tarik } 3D19 = 850,155$$

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{850,155 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} \\
 &= 33,34
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \times b \times f_c' \times \alpha \\
 &= 0,85 \times 400 \times 30 \times 33,34 \\
 &= 340068 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_{s \text{ pakai}} \times f_y \\
 &= 850,155 \times 400 \\
 &= 340062 \text{ N}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 M_n &= \left(340068 \times \left(630,5 - \frac{33,34}{2} \right) \right) \\
 &= 208743940 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\phi \cdot M_{n \text{ pasang}} > M_u$$

$$0,8 \times 208743940 > 114569100$$

$$166995152,35 > 114569100 \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur yang digunakan untuk *Tie Beam* 40/70

dengan bentang 7400 daerah tumpuan kanan adalah

- Tulangan lentur tarik 1 lapis = 3D19
- Tulangan lentur tekan 1 lapis = 3D19

4.15.6 Daerah Lapangan

Perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan *Tie Beam* menggunakan momen terbesar.

- Momen lentur ultimate

$$M_u = 50142100 \text{ N}$$

- Momen lentur nominal

$$M_n = \frac{50142100}{0,9}$$

$$M_n = 55713444,4 \text{ N}$$

- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 55713444,4 - 737058375$$

$$M_{ns} = -681344930,5 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

1. Perencanaan Tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{55713444,4}{400 \times 630,5^2} \\ &= 0,35 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,35}{400}} \right) \\ &= 0,001\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,004 < 0,0008 < 0,024 \text{ (Memenuhi)}$$

Maka nilai ρ diperbesar 30%

$$\begin{aligned}\rho &= 1,3 \times 0,001 \\ &= 0,0013\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{\text{Sperlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0013 \times 400 \times 630,5 \\ &= 327,86 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan ukuran D19 untuk tulangan tarik dan tulangan tekan *Tie Beam*.

2. Jumlah tulangan tarik

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_{\text{Sperlu}}}{\text{Luas tulangan}} \\ n &= \frac{327,86}{0,25 \times 3,14 \times 19^2}\end{aligned}$$

$$n = 1,156 = 2 \text{ Buah}$$

Dipasang tulangan tarik sebesar 2D19

$$\begin{aligned}A_{\text{Spasang}} &= n \times A_{\text{Stulangan tarik}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \\ &= 567,1 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$A_{s_{pasang}} \geq A_{s_{perlu}}$$

$$567,1 \geq 327,86 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

3. Jumlah tulangan tekan :

$$A_{s'_{perlu}} = 0,3 \times A_{s_{pasang}}$$

$$= 0,3 \times 567,1$$

$$= 170,1 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s'_{perlu}}}{\text{Luas Tulangan}}$$

$$n = \frac{170,1}{0,25 \times 3,14 \times 19^2}$$

$$n = 0,6 = 2 \text{ Buah}$$

Dipasang tulangan tekan 2D19

$$A_{s'_{pasang}} = n \times A_{s_{tulangan tekan}}$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2$$

$$= 567,1 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas penampang tulangan

$$A_{s'_{pasang}} \geq A_{s'_{perlu}}$$

$$567,1 \text{ mm}^2 \geq 327,86 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = \text{mm (susun 1 lapis)}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = \text{mm (susun lebih dari 1 lapis)}$$

4. Kontrol tegangan tarik

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= \frac{b - (2xt) - (2 \times \text{geser}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3-1} \\
 &= 111,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$111,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{Susun 1 lapis})$$

5. Kontrol tulangan tekan

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= \frac{b - (2xt) - (2 \times \text{geser}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3-1} \\
 &= 111,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$111,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{Susun 1 lapis})$$

Maka dipakai tulangan lentur *Tie Beam* 40/70 untuk daerah tumpuan kanan :

Tulangan lentur tarik susun 1 lapis = 5D19

Tulangan lentur tekan susun 1 lapis = 4D19

- Cek syarat SRPMK untuk kuat lentur pada balok

$$\begin{aligned}
 A_s &= 3 \times (0,25 \times \pi \times D^2) \\
 &= 3 \times (0,25 \times 3,14 \times 19^2) \\
 &= 850,155 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min}1} &= \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \times f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 400} \times 400 \times 630,5 = 763,347 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \min 2} &= 1.4 / (4 \times f_y) \times b \times d \\
 &= 1.4 / (4 \times 400) \times 400 \times 630,5 \\
 &= 220,675 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ pasang}} > A_{s \min 1} \text{ dan } A_{s \min 2}$$

$$850,155 > 763,347 \text{ dan } 220,675 \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kanan dipasangkan tulangan :

$$\text{Tulangan tarik} = 2D19$$

$$\text{Tulangan tekan} = 2D19$$

6. Kontrol kemampuan penampang

$$A_{s \text{ pasang}} \text{ tulangan tarik } 2D19 = 850,155$$

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{850,155 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} \\
 &= 33,34
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \times b \times f_c' \times \alpha \\
 &= 0,85 \times 400 \times 30 \times 33,34 \\
 &= 340068 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_{s \text{ pakai}} \times f_y \\
 &= 850,155 \times 400 \\
 &= 340062 \text{ N}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 M_n &= \left(340068 \times \left(630,5 - \frac{33,34}{2} \right) \right) \\
 &= 208743940 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\phi \cdot M_{n \text{ pasang}} > M_u$$

$$0,8 \times 208743940 > 50142100$$

$$166995152,35 > 50142100 \quad \text{(Memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur yang digunakan untuk *Tie Beam* 40/70 dengan bentang 7400 daerah lapangan adalah

- Tulangan lentur tarik 1 lapis = 2D19
- Tulangan lentur tekan 1 lapis = 2D19

4.15.7 Perhitungan Tulangan Geser

Pada perhitungan kebutuhan tulangan lentur balok didapatkan jumlah tulangan yang dibutuhkan pada tumpuan kanan dan tumpuan kiri balok induk. Luasan tulangan tersebut digunakan untuk mencari momen nominal kiri dan momen nominal kanan. Berdasarkan hasil analisa aplikasi ETABS v18, gaya geser terfaktor yang diperoleh yaitu $V_u = 52294,1$ N.

Cek Tahanan Geser Beton

$$A_{s+} = 850,155 \text{ mm}^2$$

$$A_{s-} = 850,155 \text{ mm}^2$$

$$\alpha = \frac{A_s' \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$= \frac{850,155 \times 240}{0,85 \times 30 \times 400} = 20 \text{ mm}$$

$$a_{pr+} = 1,25 \times a$$

$$= 1,25 \times 20 = 25 \text{ mm}$$

$$a_{pr-} = 1,25 \times a$$

$$= 1,25 \times 20 = 25 \text{ mm}$$

$$M_{pr+} = A_{s+} \times (1,25 \times f_y) \times (d - a_{pr+}/2)$$

$$= 850,155 \times (1,25 \times 400) \times (630,5 - 25/2)$$

$$= 262697895 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr-} &= A_{s-} \times (1,25 \times f_y) \times (d - a_{pr-}/2) \\
 &= 850,155 \times (1,25 \times 400) \times (630,5 - 25/2) \\
 &= 262697895 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{pr} &= (M_{pr+} + M_{pr-}) / L_n \\
 &= (262697895 + 262697895) / 6400 \\
 &= 82093,09 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_e &= V_g + V_{pr} \\
 &= 52294,1 + 82093,09 \\
 &= 134387,192 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0 ; \text{ jika } V_{pr} \geq 1/2 V_e \\
 &= 82093,09 \geq 0,5 \times 134387,192 \\
 &= 82093,09 \geq 67193,596 \text{ (Tidak Perlu)}
 \end{aligned}$$

1. Penulangan Geser Tumpuan

Jumlah kaki Sengkang 4D10 – 100 mm.

$$\begin{aligned}
 A_v &= n \times 3,14/4 \times d^2 \\
 &= 4 \times 3,14/4 \times 10^2 \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi Max1} &= d/4 \\
 &= 630,5 / 4 \\
 &= 157,625 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi Max2} &= 6 \times d_b \\
 &= 6 \times 19 \\
 &= 114 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Spasi max3} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Cek Spasi} < \text{Spasi Max}$$

$$100 < 157,625 \text{ mm}; 114 \text{ mm}; 150 \text{ mm (OKE)}$$

$$V_s = A_v \times f_y \times d / s$$

$$= 157,08 \times 400 \times 630,5 / 100$$

$$= 396155,76 \text{ N}$$

Cek kapasitas geser Sengkang 4D10 – 100

$$\phi = 0,75$$

$$\phi V_n / V_u \geq 1$$

$$0,75 \times 396155,76 / 134387,192 \geq 1$$

$$2,21 \geq 1 \text{ (OKE)}$$

2. Penulangan Geser Lapangan

Jumlah kaki Sengkang 4D10 – 150 mm.

$$A_v = n \times 3,14 \times d^2$$

$$= 4 \times 3,14 \times 102$$

$$= 235,619 \text{ mm}^2$$

$$\text{Spasi Max1} = d/2$$

$$= 630,5 / 2$$

$$= 315,25 \text{ mm}$$

$$\text{Cek Spasi} < \text{Spasi Max} = 150 < 315,25 \text{ mm; (OKE)}$$

$$V_s = A_v \times f_y \times d / s$$

$$= 235,619 \times 400 \times 630,5 / 150$$

$$= 396154,078 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 V_{smax} &= 0,66 \times (f_c')^{0,5} \times b \times d \\
 &= 0,66 \times (30)^{0,5} \times 400 \times 630,5 \\
 &= 911695,151 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times (f_c')^{0,5} \times b \times d \\
 &= 0,17 \times (30)^{0,5} \times 400 \times 630,5 \\
 &= 234830,569 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_c + V_s \\
 &= 234830,569 + 396154,078 \\
 &= 630984,647 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

Cek kapasitas geser Sengkang 4D10 – 100

$$\begin{aligned}
 \phi V_n / V_u &\geq 1 \\
 0,75 \times 630984,647 / 134387,192 &\geq 1 \\
 3,521 &\geq 1 \text{ (OKE)}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.49 Dimensi *tie beam*

Tie Beam			
Keterangan	Tumpuan Kiri	Lapangan	Tumpuan Kanan
Dimensi	400 x 700	400 x 700	400 x 700
Tul. Lentur Atas	3D19	2D19	3D19
Tul. Torsi	-	-	-
Tul. Lentur Bawah	3D19	2D19	3D19
Sengkang	D10-100	D10-150	D10-100

4.16 Perencanaan Pondasi *Bored Pile*

Perencanaan pondasi pada struktur bangunan apartemen ini menggunakan pondasi *bored pile*. Kedalaman pondasi yang direncanakan adalah pada kedalaman 24 m dengan N-SPT 40. Pada perencanaan pondasi menggunakan metode mayerhof sebagai acuannya.

Tabel 4.50 Hubungan SPT dengan properti tanah

	Cohesionless Soil				
N	0-10	11-30	31-50	>50	
Unit Weight $\gamma, \text{kN/m}^3$	12-16	14-18	16-20	18-23	
Angle of Friction ϕ	25-32	28-36	30-40	>35	
State	Loose	Medium	Dense	Very Dense	
	Cohesive				
N	<4			16-25	>25
Unit Weight $\gamma, \text{kN/m}^3$	14-18	16-18	16-18	16-20	>20
Angle of Friction ϕ	<25	20-50	30-60	40-200	>100
State	Very Loose	Soft	Medium	Stiff	Hard

Tabel 4.51 Hubungan Jenis dan Sudut Geser Dalam

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam (ϕ)
Kerikil Kepasiran	35° - 40°
Kerikil kerakal	35° - 40°
Pasir Padat	35° - 40°
Pasir Lepas	30°
Lempung Kelanaulan	25° - 30°
Lempung	20° - 25°

4.16.1 Perhitungan Daya Dukung Lapangan Nilai SPT Metode Mayerhof

Menghitung daya dukung ujung

$$\begin{aligned}
 A_e &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,8^2 \\
 &= 0,5024 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

N_e = Nilai SPT rata-rata dihitung dari ujung tiang sampai 4 kali diameter diatasnya (4D diatas)

Tabel 4.52 Hasil dari ujung tiang sampai 4 D diatasnya

Kedalaman (m)	Panjang (m)	NSPT
16-18	18	25
18-20	20	30
20-22	22	32
22-24	24	40
Rata-rata Nspt dihitung dari ujung tiang sampai 4 D diatasnya		102

$$\begin{aligned}
 Q_e &= 40 \times A_e \times N_e \\
 &= 40 \times 0,5024 \times 102 \\
 &= 2049,792 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Menghitung daya dukung friksi

$$\begin{aligned}
 A_s &= \pi \times d \times L \\
 &= 3,14 \times 0,8 \times 24 \\
 &= 60,288 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Ns = Nilai SPT rata-rata sepanjang tiang

Tabel 4.53 Nilai rata-rata sepanjang tiang

Kedalaman (m)	Panjang (m)	NSPT
16-18	18	25
18-20	20	30
20-22	22	32
22-24	24	40
Rata-rata Nspt		127

$$\begin{aligned}
 Q_s &= \frac{N_s \times A_s}{10} \\
 &= \frac{127 \times 60,288}{10} = 765,658 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Menghitung daya dukung ultimate

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= Q_e + Q_s \\
 &= 2049,792 + 765,658 = 2815,45 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

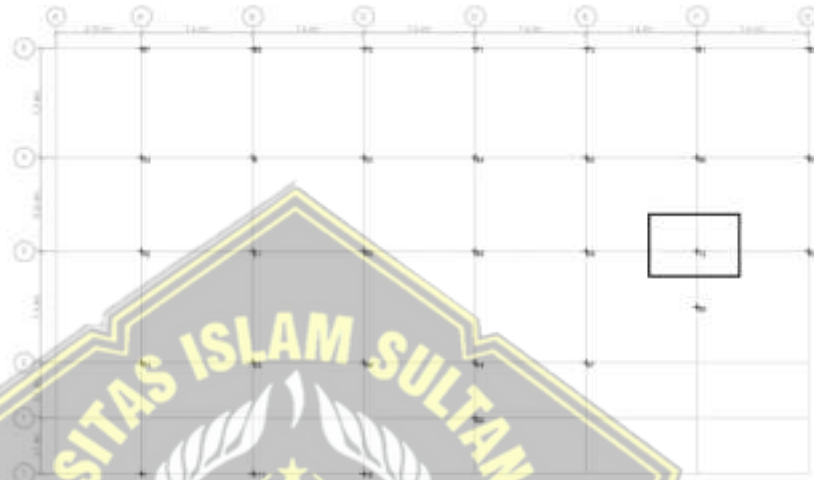
Menghitung daya dukung ijin

$$\begin{aligned}
 Q_{all} &= \frac{Q_{ult}}{3} \\
 &= \frac{2815,45}{3} \\
 &= 938,483 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Jadi hasil dari perhitungan daya dukung lapangan berdasarkan nilai N_{spt} dengan metode Meyerhof didapat hasil 938,483 ton.

4.16.2 Kebutuhan Jumlah Tiang

Pada hasil analisis perhitungan beban menggunakan program ETABS V.18, di dapat data beban bangunan



Gambar 4.16 Denah Pondasi P-12

Join 12 = 20958,886 kN = 2137,21 tonDARI ETABS V.18,

- **Tipikal join 12 dengan tipe pondasi P-12**

$$P_u = 2137,21$$

$$\text{Daya dukung ijin} = 938,483$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Tiang} &= \frac{\text{beban struktur atas}}{\text{daya dukung tiang}} \\ &= \frac{2137,21}{938,483} \\ &= 2,277 \approx 3 \end{aligned}$$

4.16.3 Perhitungan Efisiensi Tiang

- **Efisiensi Tipe Pondasi P-12**

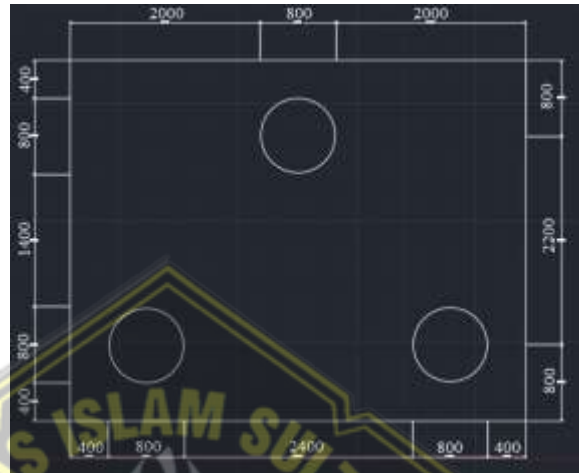
Diketahui :

$$d = 0,8$$

$$S = 3 \times d = 3 \times 0,8 = 2,4 \text{ m}$$

$$m = 4 \quad n = 3$$

$$\begin{aligned}
 E_g &= 1 - \arctan \frac{d}{s} \times \left(\frac{(m-1)n + (n-1)m}{90mn} \right) \\
 &= 1 - \arctan \frac{0,8}{2,4} \times \left(\frac{(4-1)3 + (3-1)4}{90 \times 4 \times 3} \right) \\
 &= 0,682
 \end{aligned}$$



Gambar 4.17 Konfigurasi Pondasi Grup Tiang P-12

4.16.4 Daya Dukung Grup Tiang

- **Tipe Pondasi P-12**

$$P_u = 2137,21 \text{ ton}$$

$$\text{Jumlah tiang} = 3 \text{ buah}$$

$$Q_{ult} = 2815,45 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{ug} &= Q_{ult} \times n \times E_g \\
 &= 2815,45 \times 3 \times 0,682 \\
 &= 5760,411 \geq 2137,21
 \end{aligned}$$

Karena nilai $5760,411 \geq 2137,21$ ton pada joint 12 (P_u Maks) telah memenuhi syarat.

Dari perhitungan diatas dengan diameter 80 cm didapat hasil konfigurasi tiang untuk pondasi tipe P-12.

4.16.5 Perhitungan *Settlement* Pondasi

Perhitungan *Settlement* diperhitungkan berdasarkan bertumpuannya tiang pada tanah keras. Perhitungan ini dibagi menjadi 3 bagian, berdasarkan penurunan pada material pondasi, penurunan

dari lapisan batuan di ujung tiang akibat beban, dan penurunan dari lapisan tanah di sepanjang tiang pondasi akibat beban yang ditransfer melalui tiang, perhitungan penurunan terlebih dahulu dihitung untuk pondasi grup tiang atau tipe P-12 .

a. Penurunan Pada Pondasi Tiang Tunggal Tipe P-12

1. Penurunan Dari Material Tiang Pondasi (S1)

Diketahui :

$$Q_p = 2049,792 \text{ ton}$$

$$Q_{ws} = 765,658 \text{ ton}$$

$$L = 24000 \text{ mm}$$

$$D = 800$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times 800^2 = 502400 \text{ mm}^2$$

$$E_p(\text{beton}) = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{22} = 22044,954 \text{ N/mm}^2 = 2,248 \text{ ton/mm}^2 \text{ maka, besarnya } S_1 \text{ adalah :}$$

$$S_1 = \frac{Q_p + \xi Q_{ws} L}{A_p E_p}$$

$$S_1 = \frac{2049,792 + 0,67 \times 765,658 \times 24000}{502400 \times 2,248} = 10,903 \text{ mm}$$

2. Penurunan dari lapisan batuan di ujung tiang akibat bebabn (S2)

Diketahui :

$$\begin{aligned} q_{wp} &= Q_{wp}/A_p \\ &= 2049,792/502400 \\ &= 4,08 \times 10^{-3} \text{ ton/mm}^2 \end{aligned}$$

$$D = 800 \text{ mm}$$

Untuk nilai E_s , sebagaimana tertera pada Tabel 4.55

Tabel 4.54 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

Macam Tanah	E (kN/m ²)
Lempung	
Sangat Lunak	300-3000
Lunak	2000-4000
Sedang	4500-9000
Keras	7000-20000
Berpasir	30000-42500
Pasir	
Berlanau	5000-20000
Tidak Padat	10000-25000
Padat	50000-100000
Pasir dan Kerikil	
Padat	80000-200000
Tidak Padat	50000-140000
Lanau	2000-20000
Loose	15000-60000
Serpih	140000-1400000

Es untuk tanah pasir dan kerikil padat = 200000 kN/m² = 0,2 ton/mm²

Tabel 4.55 Jenis Tanah dan Nilai *Poisson's Ratio*

Jenis Tanah	<i>Poisson's ratio</i>
Lempung Jenuh	0.4-0.5
Lempung tak Jenuh	0.1-0.3
Lempung berpasir	0.2-0.3
Lanau	0.3-0.35
Pasir	0.1-1.0
Batuan	0.1-0.4
Umum dipakai untuk tanah	0.3-0.4

Maka nilai *Poisson's ratio* tanah lanau diambil = 0.3

$$S_2 = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp}$$

$$S_2 = \frac{4.08 \times 10^{-3} \times 800}{0.2} (1 - 0.3^2) 0.88$$

$$= 13,069 \text{ mm}$$

3. Penurunan dari lapisan tanah di sepanjang tiang pondasi akibat beban yang ditransfer melalui tiang (S3)

$$Q_{ws} = 765,658 \text{ ton}$$

$$P = \pi \times 800 = 2512 \text{ mm}$$

$$L = 24000 \text{ mm}$$

$$D = 800 \text{ mm}$$

$$Es = 0,2 \text{ ton/mm}^2$$

Maka, untuk menghitung penurunan dipakai rumus :

$$S_3 = \left(\frac{Q_{ws}}{PL} \right) \frac{D}{Es} (1 - \mu_s^2) I_{wp}$$

Dan dicari nilai I_{ws} terlebih dahulu dengan menggunakan rumus:

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}}$$

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{24000}{800}} = 3,917$$

Maka nilai $S_3 =$

$$S_3 = \left(\frac{765,658}{2512 \times 24000} \right) \frac{800}{0,2} (1 - 0,3^2) 3,917$$

$$= 0,181 \text{ mm}$$

Total penurunan elastis yang terjadi pada pondasi tipe P-12

$$\text{adalah} = S_1 + S_2 + S_3 = 10,903 + 13,069 + 0,181 = 24,153 \text{ mm}$$

b. Penurunan Pada Pondasi Tiang Grup

Perhitungan penurunan pondasi tiang grup diperhitungkan Vesic (1977), dimana rumus untuk perhitungan perumusan pondasi grup tiang adalah hasil perhitungan penurunan pondasi tiang sebelumnya dikalikan akar dari lebar tiang grup dibagi diameter pondasi. Menghitung penurunan pada pondasi tiang grup digunakan rumus :

$$S_g = s \sqrt{\frac{Bg}{D}}$$

Diketahui :

S = Penurunan pondasi tiang

Didapatkan dari hasil perhitungan sebelumnya, $S = 24,153 \text{ m}$

B_g = Lebar kelompok tiang

$$P-12 = 24000 \text{ mm}$$

$$D = 800 \text{ mm}$$

Perhitungan penurunan pondasi P12 :

$$S_g = 24,153 \sqrt{\frac{24000}{800}} = 132,291 \text{ mm}$$

Untuk hasil perhitungan menunjukkan bahwa S tipe pondasi $\leq S$ ijin maka memenuhi syarat.

4.16.6 Perhitungan P Maksimum Yang Diterima Pondasi P-12

- Pondasi tipe P-12

$$M_x = -4,33 \text{ kN}$$

$$M_y = 1,67 \text{ kN}$$

$$P_u = 2137,21 \text{ ton}$$

$$\text{Diameter Pondasi} = 0,8 \text{ m}$$

$$S_x = 0,9 \text{ m}$$

$$S_y = 1,56 \text{ m}$$

$$n = 3 \text{ buah}$$

jumlah kwadrat absis tiang :

$$\Sigma x^2 = 3 \times 2 \times 0,9^2 = 4,86 \text{ m}^2$$

$$\Sigma y^2 = 3 \times 2 \times 1,56^2 = 14,6 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} P_{\text{maks}} &= \frac{\Sigma P_u}{n} \pm \frac{M_x \cdot y}{n y \cdot \Sigma y^2} \pm \frac{M_y \cdot x}{n x \cdot \Sigma x^2} \\ &= \frac{2137,21}{3} \pm \frac{-4,33 \times 1,56}{3 \times (14,6)} \pm \frac{M_y \cdot x}{3 \times (4,86)} \\ &= 712 \text{ ton} \end{aligned}$$

4.16.7 Perhitungan Momen Maksimum Pada Pondasi Tipe P-12

Perhitungan momen maksimum menggunakan metode brooms, dengan menggunakan *fixed head* pada kondisi tanah halus dengan *short term loading*. Sebelum masuk kepada perhitungan metode brooms, terlebih dahulu tentukan apakah pondasi termasuk kriteria tiang panjang/pendek.

Penentuan kriteria tiang untuk tanah *Normal Consolidated* (NC) dan Pasir.

Nilai ηn untuk tanah lempung lunak berkisar antara 350-700 kN/m³

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p \times I_p}{\eta n}}$$

$$\begin{aligned} E_p &= 4700 \times \sqrt{f'c} \\ &= 4700 \times \sqrt{22} \\ &= 22044,954 \text{ Mpa} = 22044,954 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$I_p = \frac{3,14}{64} \times 0,6^4 = 6,4 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{22044954 \times 6,4 \times 10^{-3}}{350}} = 3,319 \text{ m}$$

Penentuan kriteria tiang ditentukan oleh:

Tabel 4.56 Kriteria jenis tiang

Jenis tiang	Faktor Kekakuan	
	Tanah NC	Tanah OC
Pendek (Kaku)	$L \leq 2T$	$L \leq 2R$
Panjang (elastis)	$L \geq 4T$	$L \geq 3,5R$

Dari hasil perhitungan didapat nilai $T = 3,319 \text{ m}$, dan panjang pondasi ialah 24 m maka, $24 \geq 4(3,319)$, termasuk kedalam kriteria tiang panjang (elastis).

Untuk menentukan nilai H_u pada kondisi *fixed head* dengan *short term loading* pada lempung digunakan rumus:

Diketahui :

$$\text{Nilai } C_u = 0,65 \text{ kg/cm}^2 = 0,065 \text{ ton/m}^2$$

$$L = 2400 \text{ cm} = 24 \text{ m}$$

$$B = 80 \text{ cm} = 0,8 \text{ m}$$

Maka,

$$\Sigma H = 0$$

$$\begin{aligned} H_u &= 9 C_u B (L - 1,5B) \\ &= 9 (0,065)(0,8)(24 - 1,5 \times 0,8) \\ &= 10,670 \text{ ton} \end{aligned}$$

Menghitung nilai $M_{\max}$ dimana letak gaya lintang=0 dengan menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= H_u \times (1/2 (L - 1,5 B) + 1,5 B) \\
 &= 10,670 \times (1/2 (24 - 1,5 \times 0,8) + 1,5 \times 0,8) \\
 &= 134,442 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Jadi, momen maksimum yang terjadi sebesar 134,442 ton

4.16.8 Perhitungan Tulangan Utama Yang Terjadi Pondasi *Bored Pile*

Hasil perhitungan distribusi beban untuk setiap tiang tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan, maka perhitungan tulangan pondasi *bored pile* diambil pada perhitungan pondasi tipe P-12

Diasumsikan :

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter bored pile} &= 800 \text{ mm} \\
 \text{Diameter tulangan utama} &= D 22 \text{ mm} \\
 \text{Diameter tulangan sengkang} &= 12 \text{ mm} \\
 f_c &= 22 \text{ Mpa} \\
 f_y &= 420 \text{ Mpa} \\
 \text{Panjang tiang} &= 24000 \text{ mm} \\
 \text{Selimut beton} &= 75 \text{ mm} \\
 d &= 800 - 98 = 702 \text{ mm} \\
 d' &= \text{Selimut beton} + \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tul utama}} + \varnothing_{\text{tul Sengkang}} \\
 &= 75 + \frac{1}{2} \times 22 + 12 = 98 \text{ mm} \\
 P_u &= 2137,21 \text{ ton} \\
 M_u &= 134,442 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

a. Menghitung eksentrisitas penampang

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{134,442}{2137,21} = 0,063 \text{ m} = 63 \text{ mm}$$

b. Menghitung gaya aksial nominal yang dibutuhkan

$$P_{n\text{perlu}} = \frac{P_u}{\Phi} = \frac{2137,21}{0,7} = 3053,157 \text{ ton}$$

c. Menghitung luas penampang pondasi

$$\text{Diameter pondasi} = 600 \text{ mm}$$

$$A_g = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 800^2 = 502400 \text{ mm}^2$$

Dengan mengambil asumsi (tabel konstanta perencanaan buku istimawan)

Nilai $\rho = 0,0117$, didapatkan :

$$A_s = \rho \frac{\pi d^2}{4} = 0,0117 \frac{\pi 702^2}{4} = 4526,158 \text{ mm}^2$$

d. Menghitung tulangan yang dibutuhkan

$$\text{Diameter tulangan utama} = 22 \text{ mm (D22)}$$

$$A_s \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 = 379,94 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan :

$$\frac{A_s}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{4526,158}{379,94} = 11,912 = 12$$

Maka jumlah tulangan yang dibutuhkan 12 D 22

$$A_{st} = 12 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 = 4559,28 \text{ mm}^2$$

e. Perhitungan kekuatan beban aksial minimum

$$\begin{aligned} \phi P_n (\text{maks}) &= 0,85 \phi (0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + (f_y \times A_{st})) \\ &= 0,85 \times 0,7 (0,85 \times 22 (502400 - 4559,28) + (420 \times 4559,28)) \\ &= 66785888,43 \text{ N } 6678,59 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$P_n \text{ maks} = 6678,59 / 0,7 = 9540,842 \text{ ton} > P_u = 2137,21 \text{ ton}$$

f. Perhitungan kekuatan penampang dalam keadaan seimbang

- Tabel penampang kearah lenturan diambil 0,8h dimana h adalah diameter luar kolom bulat.

$$H \text{ ekuivalen (h)} = 0,8 \times 800 = 640 \text{ mm}$$

- Lebar kolom segi empat ekuivalen b, adalah : $b = A_g / 0,8h$

$$A_g = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 800^2 = 502,400 \text{ mm}^2$$

$$b = 502400 / 640 = 785 \text{ mm}$$

$$d' \text{ kolom bundar} = \text{Selimut beton} + \frac{1}{2} D \text{ tulangan utama} + D$$

Senggang

$$= 75 + \frac{1}{2} \times 22 + 12 = 98 \text{ mm}$$

$$D_s = D - 2 d' \text{ kolom bundar}$$

$$= 800 - 2 (98) = 604 \text{ mm}$$

$$d - d' = \frac{2}{3} \times (604) = 402,667 \text{ mm}$$

$$d' \text{ ekuivalen} = h \text{ ekuivalen} - d' \text{ ekuivalen}$$

$$= 640 - 402,667$$

$$= 199,333 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 d_{ekivalen} &= h'_{ekivalen} - (d-d')/2 \\
 &= 640 - 199,333 \\
 &= 440,667 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= A_s' \\
 &= 0,5 \times 4559,28 \\
 &= 2279,64 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$C_b = \frac{800 \times d}{800 + f_y} = \frac{800 \times 440,667}{800 + 420} = 288,962 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 A_b &= 0,85 \times 288,962 \\
 &= 245,618 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek tegangan tekan, apakah sudah leleh/belum:

$$\begin{aligned}
 F_s' &= \frac{0,003 \times E_s \times (d' - c_b)}{d'} \\
 &= \frac{0,003 \times 200000 \times (199,333 - 288,962)}{199,333} \\
 &= 459 \text{ Mpa} > f_y = 420 \text{ Mpa, tulangan tekan} \\
 &\quad \text{sudah leleh}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan $f_y = 420 \text{ Mpa}$

Menghitung gaya aksial nominal kondisi balance (Pnb)

$$\begin{aligned}
 P_{nb} &= (0,85 \times f'_c \times a_b \times b) + (A_s' \times f_s') - (A_s \times f_y) \\
 &= (0,85 \times 22 \times 245,618 \times 785) + (2279,64 \times 420) - (2279,64 \\
 &\quad \times 420) \\
 &= 360,555 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Menghitung momen nominal kondisi balance (Mnb)

$$\begin{aligned}
 M_{nb} &= \left\{ (0,85 \times f'_c \times a_b \times b) \left(\frac{h_{ekivalen}}{2} - \frac{a}{2} \right) + \right. \\
 &\quad (A_s' \times f_s') \left(\frac{h_{ekivalen}}{2} - d'_{ekivalen} \right) + \\
 &\quad \left. (A_s \times f_y) \left(d_{ekivalen} - \frac{h_{ekivalen}}{2} \right) \right\} \\
 &= \left\{ (0,85 \times 22 \times 245,618 \times 785) \left(\frac{640}{2} - \frac{245,618}{2} \right) + \right. \\
 &\quad (2279,64 \times 459) \left(\frac{640}{2} - 199,333 \right) + \\
 &\quad \left. (2279,64 \times 420) \left(440,667 - \frac{640}{2} \right) \right\} \\
 &= 9,528 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

Eksentrisitas kondisi balance : $e_b = M_{nb}/P_{nb} = 0,026 \text{ m} = 26 \text{ mm}$

- g. Perhitungan kekuatan nominal maksimum penampang ($P_n = P_o$) yang dibebani konsentris

$$\begin{aligned} P_o &= 0,85 \times f'_c \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st} \\ &= 0,85 \times 22 \times (502400 - 4559,28) + 420 \times 4559,28 \\ &= 11224519,06 \text{ N} = 1122,452 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_t &= A_{st} \times f_y \\ &= 4559,28 \times 420 \\ &= 1914897,6 \text{ N} = 191,49 \text{ ton} \end{aligned}$$

- h. Pemeriksaan kekuatan dengan menggunakan diagram interaksi

$$M_u / \phi = 134,442 / 0,7 = 192,06 \text{ ton}$$

$$P_u / \phi = 2137,21 / 0,7 = 3053,157 \text{ ton}$$

4.16.9 Perhitungan Tulangan Transversal Pondasi *Bored Pile*

Diasumsikan :

$$\emptyset = 0,75$$

$$f_c = 22 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$\text{Diameter pondasi} = 800 \text{ mm}$$

$$d = 702 \text{ mm}$$

$$D \text{ sengkang} = 12 \text{ mm}$$

$$D \text{ tul utama} = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah sengkang} = 2$$

$$V_u = 0,433 \text{ ton}$$

$$N_u = P_u = 3053,157 \text{ ton}$$

Perhitungan :

$$A_g = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 800^2 = 502400 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times \text{Jumlah tulangan Sengkang} \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 12^2 \times 3 = 339,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$V_n \text{ perlu} = \frac{V_u}{\emptyset} = \frac{4333}{0,75} = 5777 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \left(1 + \frac{30 \times 10^4}{14 \times 502400}\right) \times 1 \times \sqrt{22} \times 785 \times 702 \\ &= 4,31 \times 10^5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_s \text{ Perlu} = V_n \text{ perlu} - V_c$$

$$= 5777 - 4,31 \times 10^{15} = -4,31 \times 10^{15} \text{ N}$$

$$\emptyset V_c = 4,31 \times 10^{15} / 0,75 = 5,747 \times 10^{15} \text{ N}$$

Karena nilai $\emptyset V_c > V_u$ dan nilai V_s negatif, maka tidak memerlukan tulangan geser dan digunakan geser minimum.

Mencari jarak Senggang untuk tulangan geser :

- $S \leq d/3$
- $S \leq 702/3 = 234 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$
- $S \leq 16 D \text{ tulangan utama}$
- $S \leq 16 (22) = 352 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$
- $S \leq 48 D \text{ tulangan Senggang}$
- $S \leq 48 (16) = 576 \text{ mm} = 500 \text{ mm}$
- $S \leq b \text{ min}$
- $S \leq b \text{ min} = 588,75 = 500 \text{ mm}$

Maka jarak sengkang diambil nilai terkecil = 300 mm

$$\begin{aligned} \diamond A_{v_{\min 1}} &= 0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b \times s}{f_{ys}} \\ &= 0,062 \times \sqrt{22} \times \frac{588,75 \times 300}{240} \\ &= 214,015 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \diamond A_{v_{\min 2}} &= 0,35 \times \frac{b \times s}{f_{ys}} \\ &= 0,35 \times \frac{588,75 \times 300}{240} \\ &= 257,578 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapat :

$$A_v = 339,12 \geq A_{v_{\min 2}} = 257,578 \geq A_{v_{\min 1}} = 214,015 = \text{memenuhi syarat}$$

Maka tulangan sengkang yang digunakan ialah D12-300 mm

4.17 Perencanaan Tebal *Pile Cap*

Direncanakan :

$$P = 350,47 \text{ ton}$$

$$V_u = 0,5 \text{ ton}$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$B_x = 3 \text{ m}$$

$$B_y = 4,3 \text{ m}$$

$$M_{ux} = 16,7 \text{ ton}$$

$$\sigma_t = 93,848 \text{ ton}$$

$$\alpha_s = 40$$

$$\lambda = 1$$

$$\text{Asumsi tebal } pile \text{ cap} = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton} = 75 \text{ mm}$$

$$L_d = 300 \text{ mm}$$

1. Kontrol Tegangan Geser 2 Arah (Geser Pons)

- Perhitungan Tinggi Efektif

$$d_x = h - \text{selimut beton}$$

$$= 1000 - 75$$

$$= 925 \text{ mm}$$

$$\beta_c = h/b = 700/400 = 175$$

$$b_o = 2 \{(b+d) + (h+d)\} = 4875 \text{ mm}$$

2. Perhitungan Gaya Geser yang ditahan beton

$$\begin{aligned} \text{a. } V_c &= \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \frac{\lambda \sqrt{f_c} \times b_o \times d}{6} \\ &= \left(1 + \frac{2}{175}\right) \times \frac{1 \times \sqrt{22} \times 4875 \times 925}{6} \\ &= 3565427,916 \text{ N} = 356,543 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } V_c &= \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2\right) \frac{\lambda \sqrt{f_c} \times b_o \times d}{12} \\ &= \left(\frac{40}{4875} + 2\right) \frac{1 \times \sqrt{22} \times 4875 \times 925}{12} \\ &= 3539602,71 \text{ N} = 353,96 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c. \quad V_c &= 0,33 \lambda \sqrt{f_c} \times b_o \times d \\
 &= 0,33 \times 1 \times \sqrt{22} \times 4875 \times 925 \\
 &= 6979778,377 \text{ N} = 697,978 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Dipilih V_c yang terkecil jadi $V_c = 0,75 \times 353,96 = 265,47 \text{ ton}$

Syarat $V_u < \phi V_c = 0,5 < 265,47 \text{ ton}$, maka tebal *pile cap* bisa digunakan.

4.17.1 Perhitungan Tulangan *Pile Cap*

• Tipe Pondasi P-12

Diketahui :

Tebal *Pile Cap* = 1000 mm

Selimut beton = 75 mm

ϕ tulangan = 22 mm

P_u = 350,47 mm

M_{ux} dari Etabs = 43,3 ton

M_{uy} dari Etabs = 16,7 ton

L_x = 5 m

L_y = 7 m

f_y = 420 Mpa

f_c = 22 Mpa

b_x = 5 m

b_y = 7 m

ϕ = 0,8

β = 0,85

a. Perhitungan *Pile Cap* arah x

$$d_x = h - \text{selimut beton} - \frac{1}{2} \phi_b$$

$$= 1000 - 75 - \frac{1}{2} \times 22$$

$$= 914 \text{ mm} = 0,914 \text{ m}$$

$$\frac{M_{ux}}{b_x \times d^2} = \frac{43,3}{5 \times 0,914^2} = 9,475 \text{ ton/m}^2 = 94,75 \text{ kN/m}^2$$

$$\left(\frac{M_{ux}}{b_x \times d^2} \right) = \rho \times \phi \times f_y \left(1 - 0,588 \times \rho \times \frac{f_y}{f_c} \right)$$

$$0,094 = \rho \times 0,8 \times 420 \left(1 - 0,588 \times \rho \times \frac{420}{22}\right)$$

$$0,094 = 336 \rho - 3435,753 \rho^2$$

$$-3435,753 \rho^2 + 336 \rho - 0,094$$

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 \times a \times c}}{2a} \\ &= \frac{-336 + \sqrt{336^2 - 4 \times 3435,753 \times 0,094}}{2 \times -3435,753} \\ &= 0,000281 \end{aligned}$$

Maka ρ yang digunakan adalah 0,000281

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033$$

$$\rho_{\max} = \frac{\beta \times 450}{1200 + f_y} \times \frac{0,85 \times f_c}{420} = \frac{0,85 \times 450}{1000 + 420} \times \frac{0,85 \times 22}{420} = 0,0198$$

Pemeriksaan syarat rasio penulangan $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0033 < 0,000281 < 0,0198$. Maka menggunakan 0,0198.

Luas tulangan perlu

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,198 \times 5000 \times 914 = 9048,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As } \emptyset - 22 &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 = 379,94 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{\text{As Perlu}}{\text{Asd10}} = \frac{9048,6}{379,94} = 23,816 \text{ buah} \approx 24 \text{ buah}$$

maka diambil tulangan sebanyak 24 buah

$$\begin{aligned} \text{Jarak} &= \frac{By}{n-1} \\ &= \frac{7000}{24-1} \\ &= 304,348 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka diambil spasi tulangan 300 mm

Cek

$$\begin{aligned} \text{As} &= \text{As } \emptyset 22 \times 24 \\ &= 379,94 \times 24 \\ &= 9118,56 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{As perlu} = 9048,6 \text{ mm}^2$$

As = As > As perlu = 9118,56 > 9048,6 mm². Maka syarat luas tulangan yang dipakai memenuhi syarat.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penulisan laporan tugas akhir dengan judul “**Perencanaan Struktur Gedung Ketidakberaturan Pada Apartemen 12 Lantai**” antara lain sebagai berikut,

1. Gaya gempa yang didesain

- a. Kontrol partisipasi massa bangunan dan bentuk ragam

Partisipasi massa pada modal UX dan UY telah memenuhi persyaratan minimal statik (100%) dan dinamik (90%) menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1 mengenai jumlah ragam,

- b. Kontrol gaya geser dasar statik (100%) dan dinamik

Gaya geser dinamik dan statik (100%) yang ditunjukkan pada grafik distribusi gaya geser menunjukkan bahwa telah memenuhi persyaratan dari SNI 1726:2019

- c. Kontrol desain

Pada simpangan antar lantai arah X besaran nilai maksimum adalah 19,43 mm dengan besaran simpangan izin sebesar 80,00 mm dan arah Y maksimum sebesar 21,87 dengan simpangan izin sebesar 80,00 mm,

- d. Kontrol sistem ganda

Dalam perencanaan struktur bangunan gedung dengan sistem ganda, struktur rangka pemikul momen khusus harus mampu memikul paling sedikit 25% gaya seismik desain. Menurut SNI 1726:2019 pasal 7.2.5.1 kontrol sistem ganda pada perencanaan ini sudah memenuhi persyaratan.

2. Perencanaan struktur atas dengan

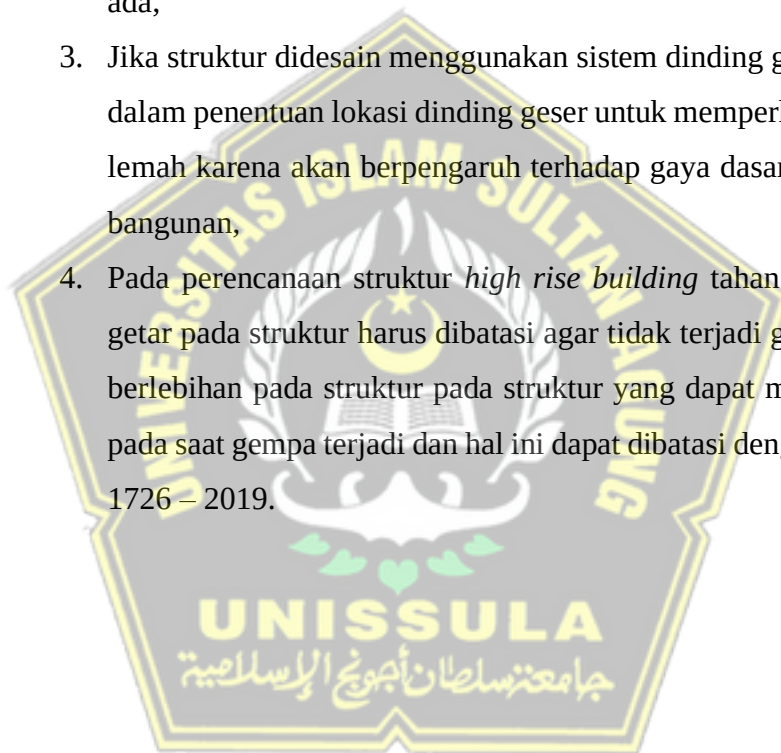
- a. Pelat lantai 1 sampai 10 didesain dengan ketebalan 120 mm dan untuk bagian basement memiliki ketebalan 150 mm berdasarkan SNI 2847 2019, serta penulangan pada pelat 12 D10-150 mm dan

- pelat 15 D10-100 mm dan didapat momen nominal sebesar 19,993 kN/m,
- b. Desain balok yang ditinjau dengan dimensi 400 x 800 menggunakan tulangan longitudinal 4D22 dengan penulangan transversal tumpuan 4D13-100 dan lapangan 2D10-100 serta tulangan torsi 4D22. Untuk balok tipe lain dihitung dan direkapitulasi pada bab pembahasan,
 - c. Desain kolom yang ditinjau adalah kolom 700 x 900 dengan desain penulangan longitudinal menggunakan 4D22 dan penulangan geser tumpuan 4D13-100 serta penulangan geser lapangan 2D13-100. Untuk kolom tipe lain dihitung dan direkapitulasi pada bab pembahasan,
 - d. Desain dinding geser dimana elemen batas khusus (*strength-based*) perlu pada panjang elemen batas khusus sebesar 1 m dan tinggi elemen batas khusus sebesar 29,574 m dari tinggi bangunan, untuk penulangan pada badan dinding geser diperoleh tulangan longitudinal 2D19-150, transversal 2D19-200.
3. Perencanaan struktur bawah meliputi *tie beam* , perencanaan pondasi dan *pile cap*
- a. *Tie beam* memiliki fungsi pada pondasi adalah
 - *Tie beam* merupakan balok pengikat antar *pile cap*
 - Meratakan beban bangunan
 - Bila ada penurunan bangunan pada bagian bangunan, maka penurunan akan sama. Desain *tie beam* menggunakan dimensi 400 x 700 mm,
 - b. Pondasi yang digunakan adalah jenis pondasi *bored pile* dengan diameter tiang 80 cm dengan kedalaman 24 m. Tiang pancang yang direncanakan merupakan tiang grup dengan tulangan longitudinal D25 dan tulangan sengkang D12,
 - c. Desain *pile cap* dengan dimensi 7 m x 5 m tebal 1 m dengan 12 tiang grup menggunakan tulangan D22-300.

5.2 Saran

Laporan tugas akhir dimaksudkan dapat memberikan beberapa saran yang berkaitan dengan perencanaan struktur dimana telah terbitnya SNI terbaru 1726-2019, 2847-2019 dan 1727-2020 yang dapat menjadi referensi untuk rekan – rekan mahasiswa.

1. Tentukan terlebih dahulu sistem struktur yang akan digunakan pada perencanaan struktur bangunan,
2. Struktur tahan gempa juga perlu memperhatikan letak koordinat rencana sehingga bangunan dapat direncanakan sesuai acuan yang ada,
3. Jika struktur didesain menggunakan sistem dinding geser usahakan dalam penentuan lokasi dinding geser untuk memperhatikan sumbu lemah karena akan berpengaruh terhadap gaya dasar sesimik pada bangunan,
4. Pada perencanaan struktur *high rise building* tahan gempa waktu getar pada struktur harus dibatasi agar tidak terjadi goyangan yang berlebihan pada struktur pada struktur yang dapat membahayakan pada saat gempa terjadi dan hal ini dapat dibatasi dengan acuan SNI 1726 – 2019.



DAFTAR PUSTAKA

- Aziz,Achmad. ST.,2019. *“Perencanaan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 1726 2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional
- Aziz,Achmad. ST.,2019. *“Perencanaan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional
- Aziz,Achmad. ST.,2019. *“Perencanaan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 1727 2020 Peraturan Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktural lain..* Jakarta : Badan Standarisasi Nasional
- 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
- Marzuki, D. dan Adi, D. W. 2019. *Redesign Gedung Kuliah Bersama Politeknik Negeri Semarang*. Tugas Akhir Teknik Sipil: Universitas Islam Sultan Agung.
- Purwono, Rahmat. 2005. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa* Surabaya: ITS Press
- Syahidah, F. 2017. *Studi Perbandingan Desain Struktur Menggunakan Sistem Rangka Gedung dengan Sistem Ganda sesuai Sni 1726:2019 dan SNI 2847:2019*. Tugas Akhir Teknik Sipil: Institut Teknologi Sepuluh November
- Setiawan Agus, 2016. *Perancangan Struktur Beton Bertulang (Berdasarkan SNI 2847:2019*. Erlangga.Jakarta,Indonesia

Tavio, Wijaya, U, 2018. *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*. Yogyakarta:
ANDI

Dwi, Nunik dan Zakiah,Salma, 2016.*Perencanaan Pondasi Bored Pile Pada Gedung
Parkir Politeknik Negeri Bandung Bored Pile Foundation Design Of
Parking*. Fakultas Teknik Sipil Politeknik Negeri, Bandung.



LAMPIRAN



LEMBAR ASISTENSI



LEMBAR ASISTENSI **LAPORAN TUGAS AKHIR**

NAMA MAHASISWA : Nugroho Adi Purnomo (30201700139)

Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)

DOSEN PEMBIMBING : Prof. Dr. Ir. Antonius,MT

Selvia Agustina,ST,M.Eng

NO.	TGL ASISTENSI	KETERANGAN	PARAF
1.	31-5/21	- gunakan standar S1 - analisis bisa & letak bisa tidak. - dimensi catuankes di plot. - analisis gempa seli-ting.	
2.	9-6/21	- buat lg. perhitungan tumbukan dan desain plot. - analisis perhit. slope & brot. - uraian & run.	
3	20/6-2021	- perbaiki model dlm ETAB - cek waktu gtar alami (T) - letak shearwall dicek	

LEMBAR ASISTENSI

LAPORAN TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA : Nugroho Adi Purnomo (30201700139)
: Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)

DOSEN PEMBIMBING : Prof. Dr. Ir. Antonius,MT

Selvia Agustina,ST,M.Eng

NO.	TGL ASISTENSI	KETERANGAN	PARAF
4.	1 Juli 2021	- lakukan running setelah model benar termasuk kombinasi beban - ukuran shear wall dan letak dicoba- -coba agar struktur optimal - lanjutkan ke perhitungan detail tulangan	
5.	19 Juli 2021	- desain fondasi, pile cap, dan tie beam - cek kapasitas dan kelompok tiang - lanjutkan dg gambar denah, tampak/potongan, detail	
6.	20 Juli 2021	TA diseminarkan	

LEMBAR ASISTENSI

LAPORAN TUGAS AKHIR

NAMA : Nugroho Adi Purnomo (30201700139)
: Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)

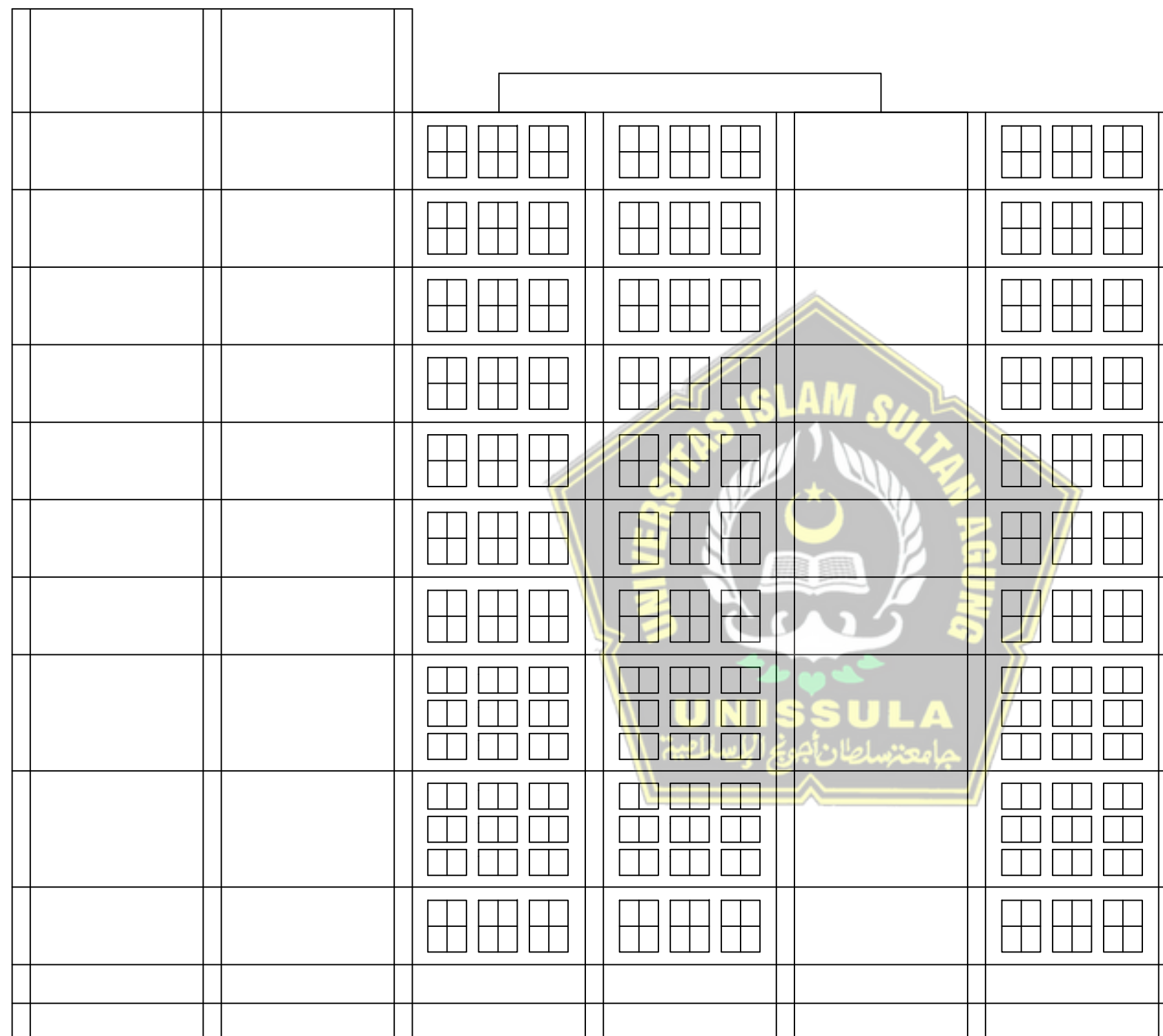
DOSEN PEMBIMBING : Prof. Dr.Ir. Antonius,MT

Selvia Agustina,ST,M.Eng

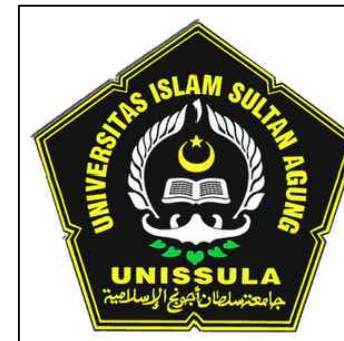
NO.	TGL ASISTENSI	KETERANGAN	PARAF
1.	27-04-2021	- Kata spesifik harus lebih besar - Kata hubung pengganti koma - Tambah kalimat tanya pada rumusan masalah (Bab I)	
2.	03-05-2021	- Tabel dibuat manual - Rumus diberi keterangan (Bab II) - Menggunakan data sekunder (tangan kedua) - Pengolahan data - Diagram alir tambah pembahasan (Bab III)	
3.	10-05-2021	- Cari refrensi tentang pondasi <i>bore pile</i> - Lanjutkan perhitungan	
4.	13-07-2021	- Perbaiki tabel , uraian gambar daftar isi, diagram alir	
5.	20-07-2021	- Ta di Seminarkan	

LAMPIRAN GAMBAR KERJA





TAMPAK DEPAN
SKALA 1 : 250



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2021

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
GEDUNG KETIDAKBERATURAN
PADA APARTEMEN 12 LANTAI

DISUSUN OLEH

Nugroho Adi Purnomo (30201700139)
Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)

DISETUJUI

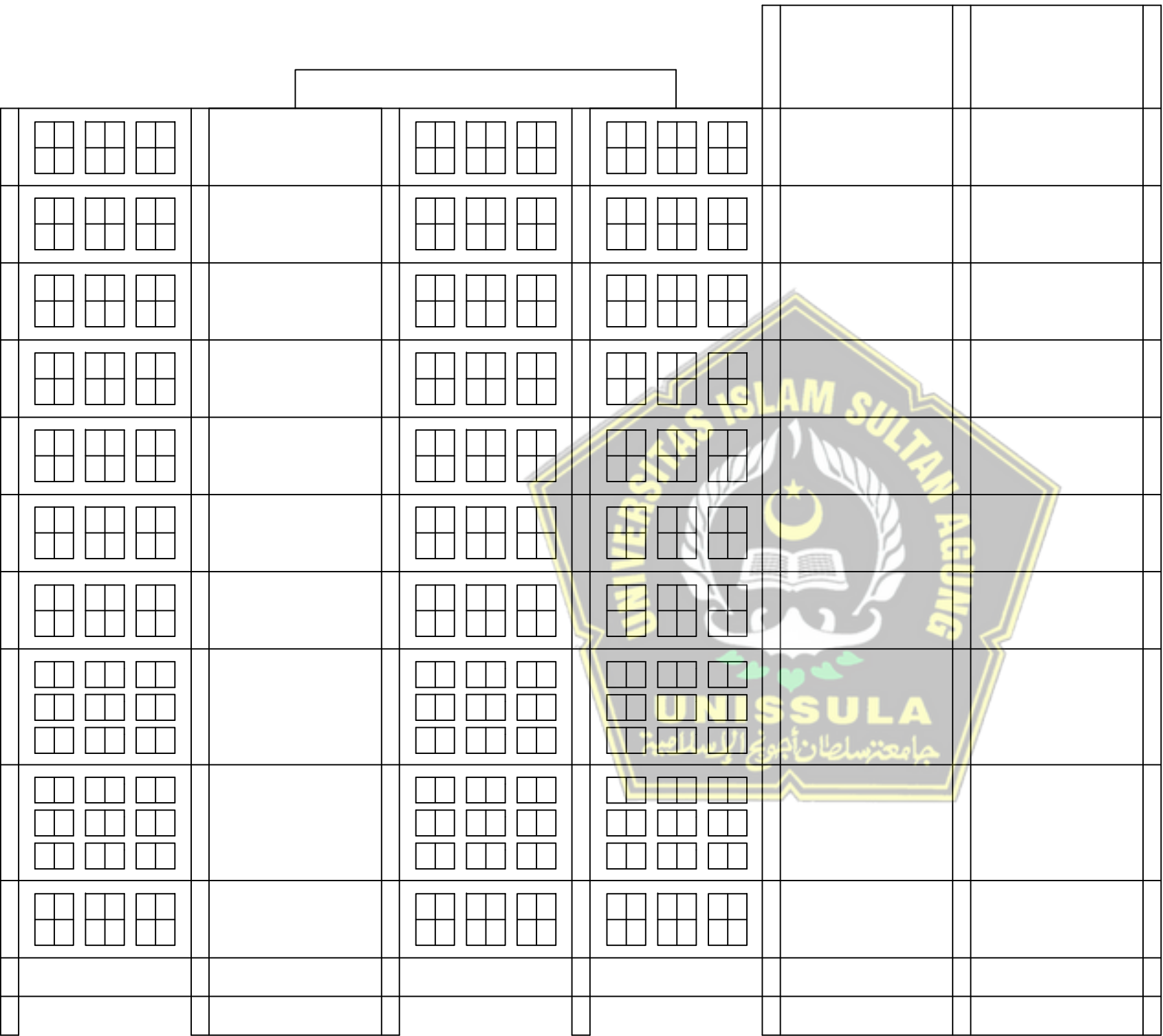
Prof. Dr. Ir. Antonius M.T. Selvia Agustina S.T. M. Eng

JUDUL GAMBAR SKALA

TAMPAK DEPAN 1:250

KETERANGAN Jml. Lembar

No. Lembar



TAMPAK BELAKANG
SKALA 1 : 250



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2021

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
GEDUNG KETIDAKBERATURAN
PADA APARTEMEN 12 LANTAI

DISUSUN OLEH

Nugroho Adi Purnomo (30201700139)
Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)

DISETUJUI

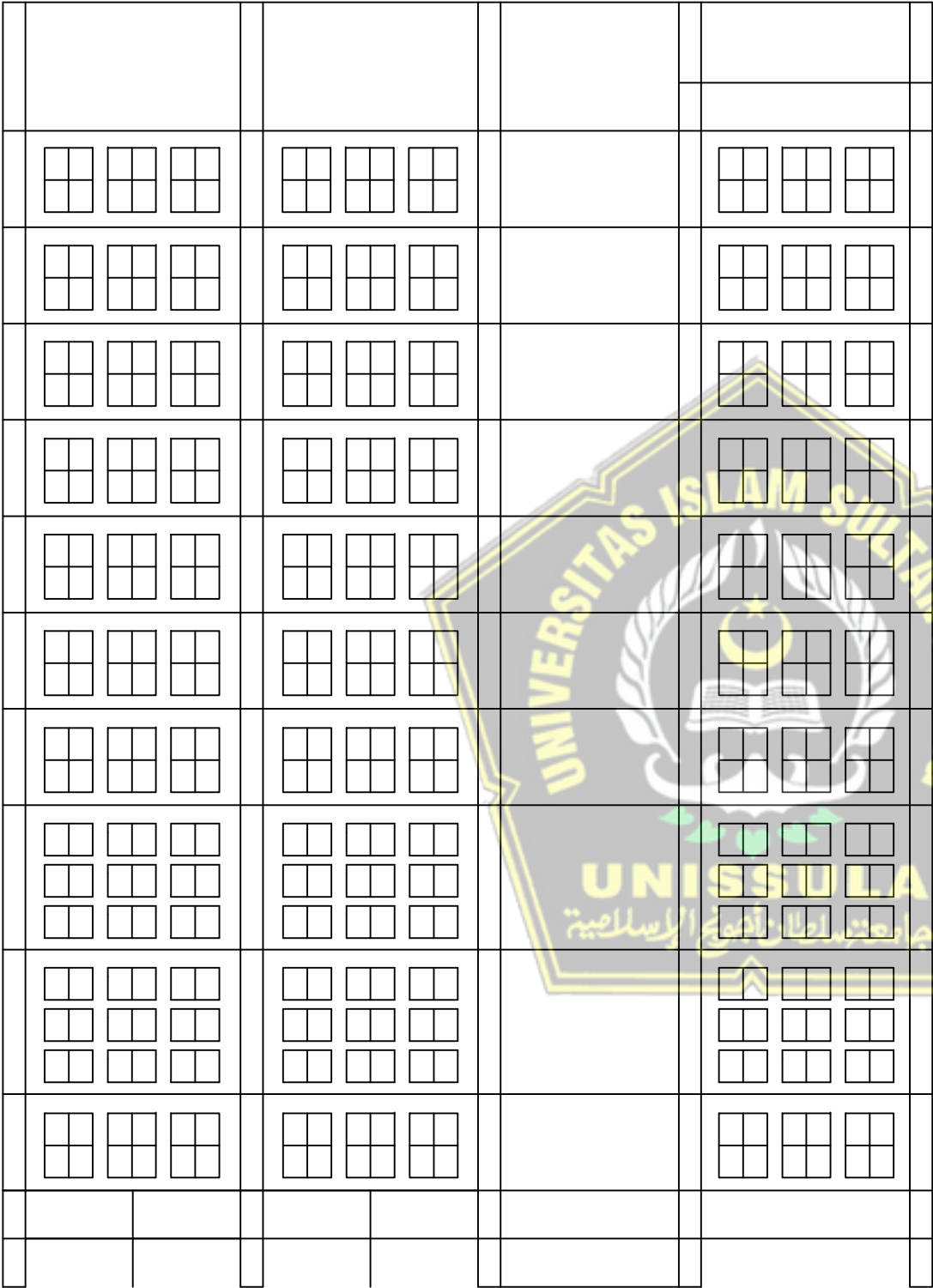
Prof. Dr. Ir. Antonius M.T Selvia Agustina S.T. M. Eng

JUDUL GAMBAR SKALA

TAMPAK BELAKANG 1:250

KETERANGAN Jml. Lembar

No. Lembar



TAMPAK SAMPING KANAN
SKALA 1 : 250



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG 2021	
TUGAS AKHIR	
PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KETIDAKBERATURAN PADA APARTEMEN 12 LANTAI	
DISUSUN OLEH	
Nugroho Adi Purnomo (30201700139) Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)	
DISETUJUI	
Prof. Dr. Ir. Antonius M.T	Selvia Agustina S.T. M. Eng
JUDUL GAMBAR	SKALA
TAMPAK SAMPING KANAN	1:250
KETERANGAN	Jml. Lembar
	No. Lembar



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2021

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KETIDAKBERATURAN PADA APARTEMEN 12 LANTAI

DISUSUN OLEH

Nugroho Adi Purnomo (30201700139)
Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)

DISETUJUI

Prof. Dr. Ir. Antonius M.T

Selvia Agustina S.T. M. Eng

JUDUL GAMBAR

SKALA

TAMPAK SAMPING KIRI

1:250

KETERANGAN

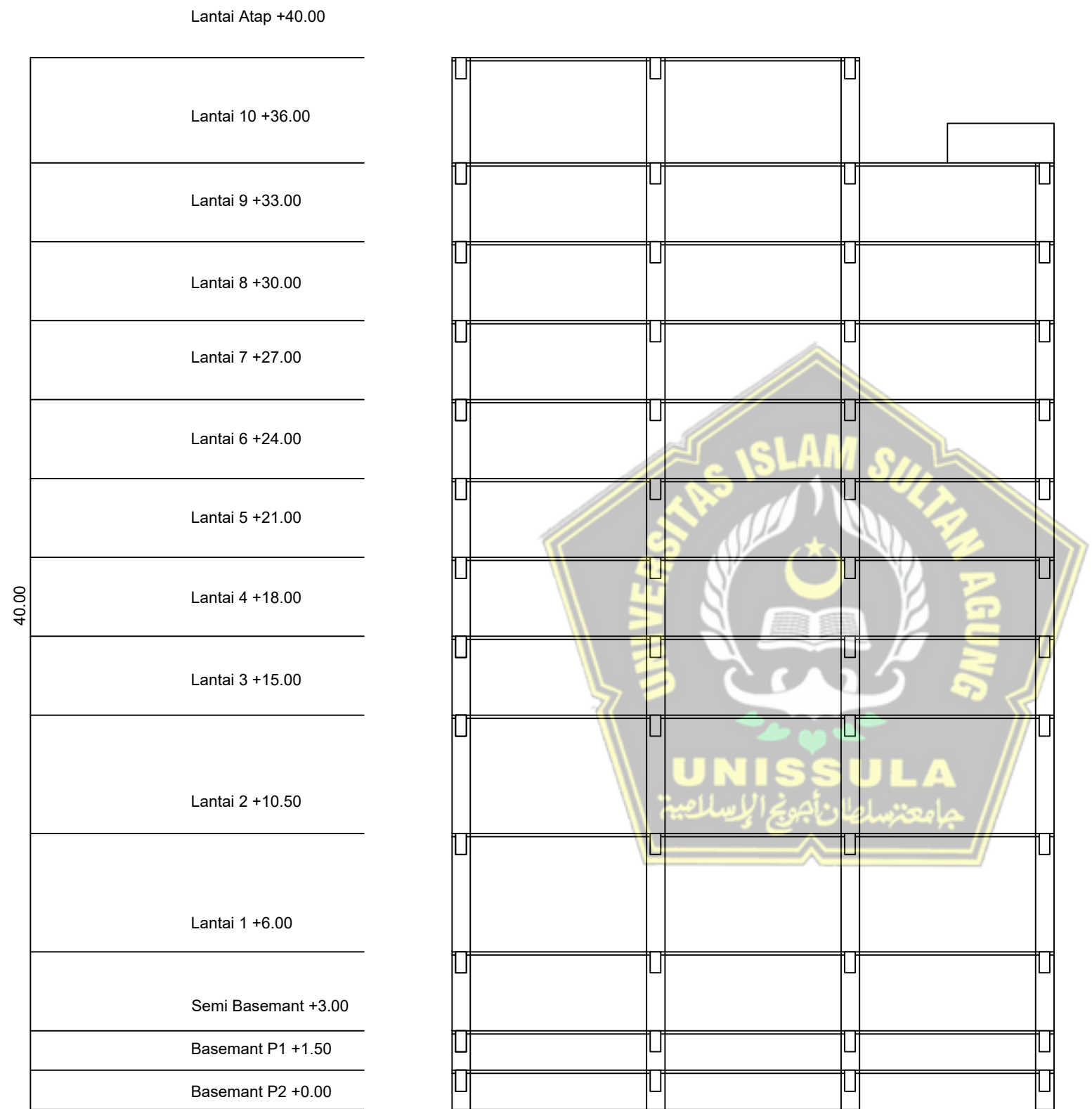
Jml. Lembar

No. Lembar

<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							
<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>								<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></</td></tr></table>					</									
	</																												

TAMPAK SAMPING KIRI

SKALA 1 : 250

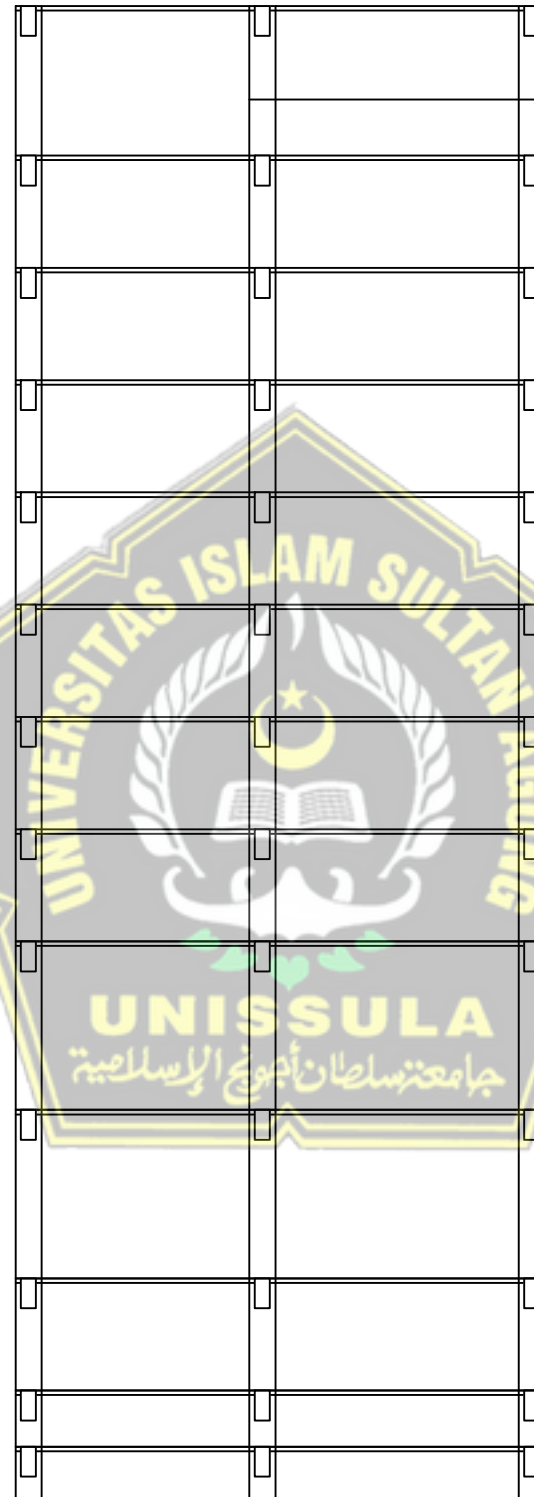


POTONGAN A-A
SKALA 1 : 250



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG 2021	
TUGAS AKHIR	
PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KETIDAKBERATURAN PADA APARTEMEN 12 LANTAI	
DISUSUN OLEH	
Nugroho Adi Purnomo (30201700139) Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)	
DISETUJUI	
Prof. Dr. Ir. Antonius M.T	Selvia Agustina S.T. M. Eng
JUDUL GAMBAR	SKALA
POTONGAN A-A	1:250
KETERANGAN	Jml. Lembar
	No. Lembar

	Lantai Atap +40.00
	Lantai 10 +36.00
	Lantai 9 +33.00
	Lantai 8 +30.00
	Lantai 7 +27.00
	Lantai 6 +24.00
	Lantai 5 +21.00
40.00	Lantai 4 +18.00
	Lantai 3 +15.00
	Lantai 2 +10.50
	Lantai 1 +6.00
	Semi Basemant +3.00
	Basemant P1 +1.50
	Basemant P2 +0.00



POTONGAN B-B
SKALA 1 : 250



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2021

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
GEDUNG KETIDAKBERATURAN
PADA APARTEMEN 12 LANTAI

DISUSUN OLEH

Nugroho Adi Purnomo (30201700139)
Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)

DISETUJUI

Prof. Dr. Ir. Antonius M.T Selvia Agustina S.T. M. Eng

JUDUL GAMBAR

SKALA

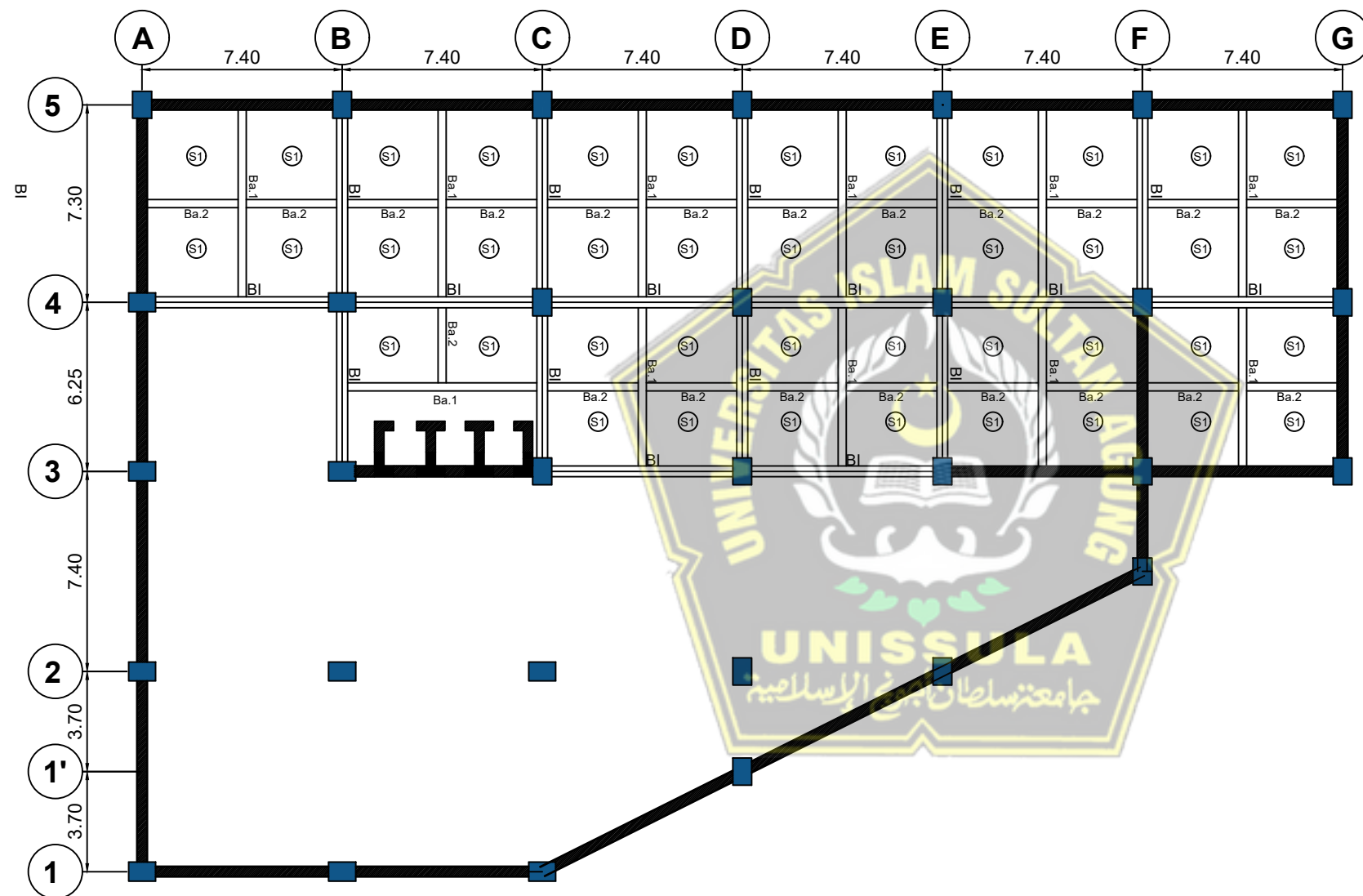
POTONGAN B-B

1:250

KETERANGAN

Jml. Lembar

No. Lembar



DENAH PELAT,BALOK,SHEARWALL BASEMANT P1
SKALA 1 : 250



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2021

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
GEDUNG KETIDAKBERATURAN
PADA APARTEMEN 12 LANTAI

DISUSUN OLEH

Nugroho Adi Purnomo (30201700139)
Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)

DISETUJUI

Prof. Dr. Ir. Antonius M.T

Selvia Agustina S.T. M. Eng

JUDUL GAMBAR

SKALA

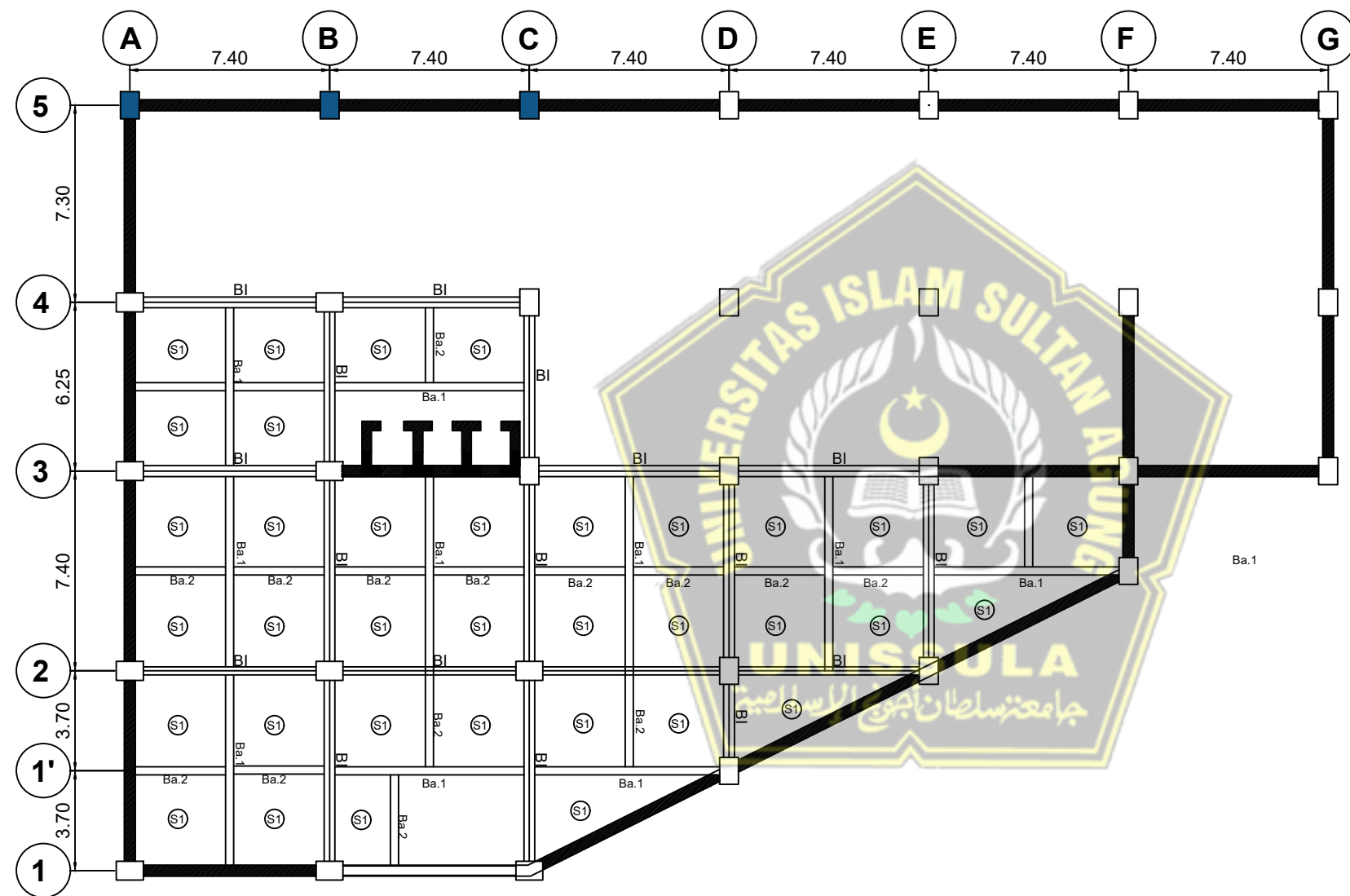
DENAH
PELAT,BALOK,SHEARWALL
BASEMANT P1

1:250

KETERANGAN

Jml. Lembar

No. Lembar



DENAH PELAT,BALOK,SHEARWALL SEMI BASEMANT
SKALA 1 : 250



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2021

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
GEDUNG KETIDAKBERATURAN
PADA APARTEMEN 12 LANTAI

DISUSUN OLEH

Nugroho Adi Purnomo (30201700139)
Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)

DISETUJUI

Prof. Dr. Ir. Antonius M.T

Selvia Agustina S.T. M. Eng

JUDUL GAMBAR

SKALA

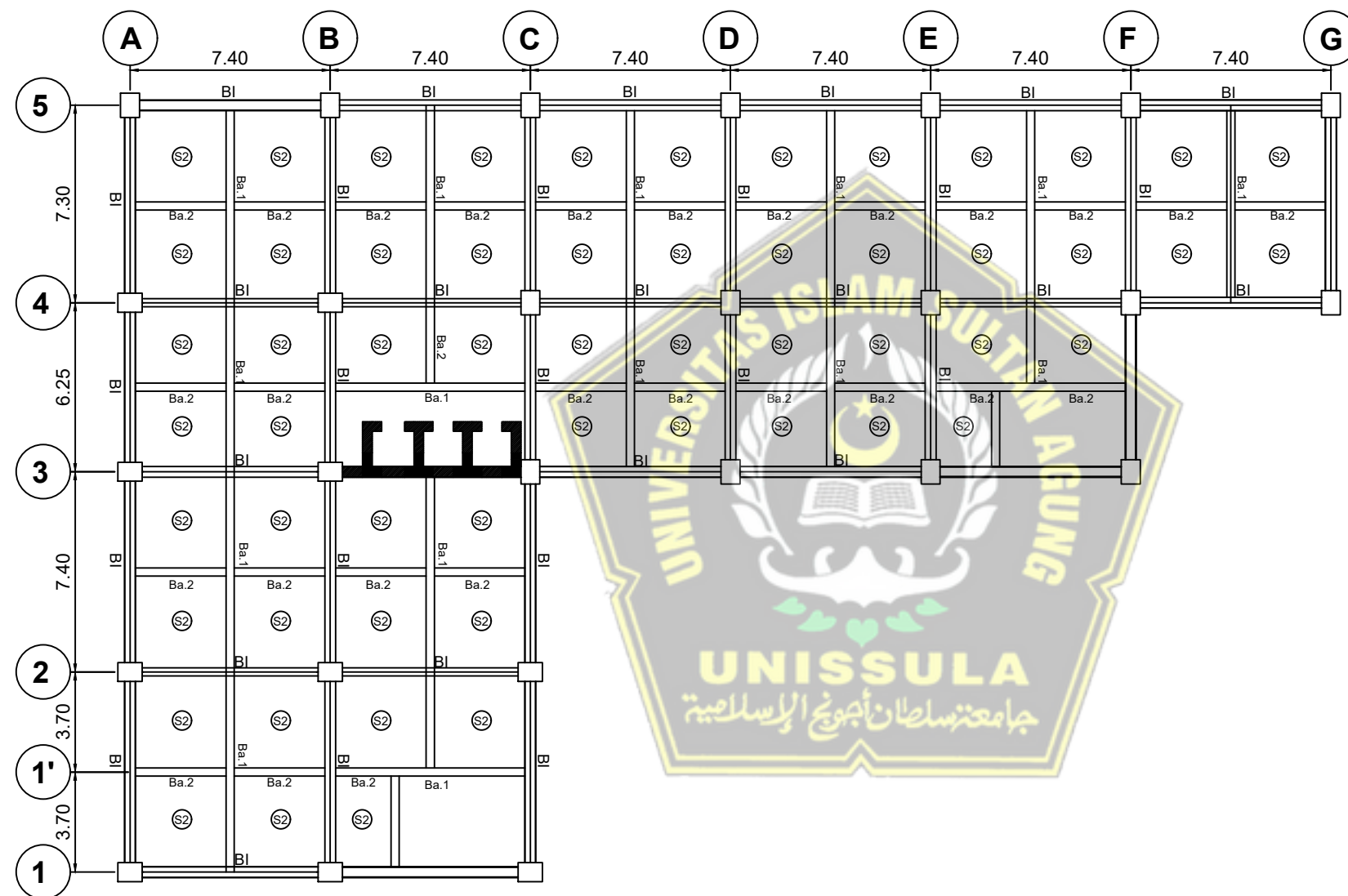
DENAH
PELAT,BALOK,SHEARWALL
SEMI BASEMANT

1:250

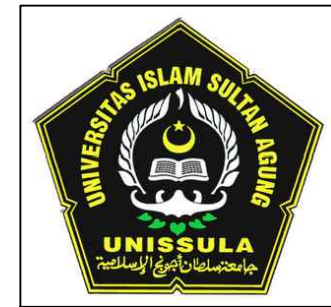
KETERANGAN

Jml. Lembar

No. Lembar



DENAH PELAT,BALOK,SHEARWALL LANTAI 1-9
SKALA 1 : 250



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2021

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
GEDUNG KETIDAKBERATURAN
PADA APARTEMEN 12 LANTAI

DISUSUN OLEH

Nugroho Adi Purnomo (30201700139)
Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)

DISETUJUI

Prof. Dr. Ir. Antonius M.T

Selvia Agustina S.T. M. Eng

JUDUL GAMBAR

SKALA

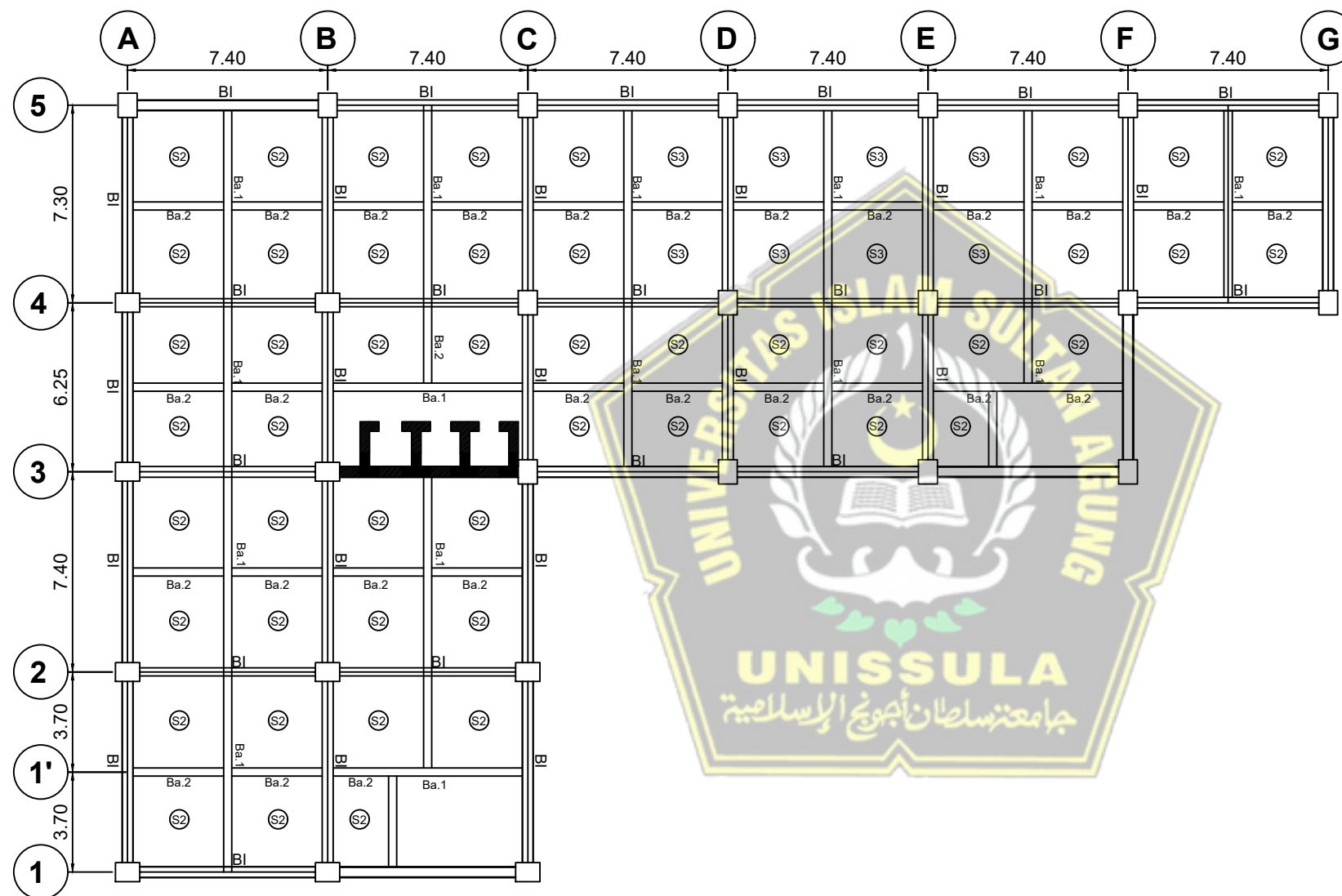
DENAH
PELAT,BALOK,SHEARWALL
LANTAI 1-9

1:250

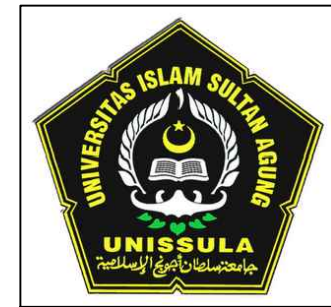
KETERANGAN

Jml. Lembar

No. Lembar



DENAH PELAT,BALOK,SHEARWALL LANTAI 10
SKALA 1 : 250



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2021

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
GEDUNG KETIDAKBERATURAN
PADA APARTEMEN 12 LANTAI

DISUSUN OLEH

Nugroho Adi Purnomo (30201700139)
Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)

DISETUJUI

Prof. Dr. Ir. Antonius M.T

Selvia Agustina S.T. M. Eng

JUDUL GAMBAR

SKALA

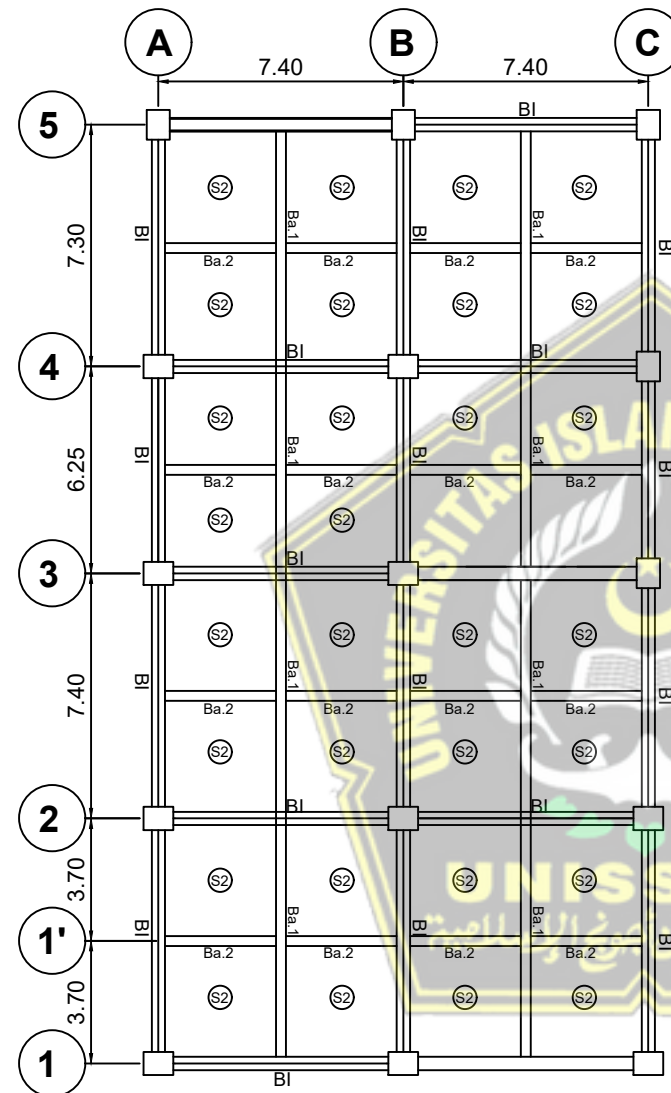
DENAH
PELAT,BALOK,SHEARWALL
LANTAI 10

1:250

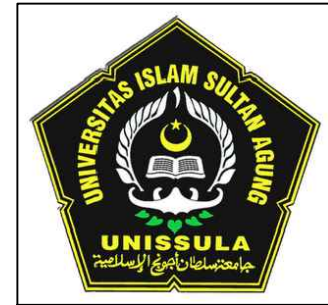
KETERANGAN

Jml. Lembar

No. Lembar



DENAH PELAT,BALOK,SHEARWALL LANTAI ATAP
SKALA 1 : 250



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2021

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
GEDUNG KETIDAKBERATURAN
PADA APARTEMEN 12 LANTAI

DISUSUN OLEH

Nugroho Adi Purnomo (30201700139)
Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)

DISETUJUI

Prof. Dr. Ir. Antonius M.T

Selvia Agustina S.T. M. Eng

JUDUL GAMBAR

SKALA

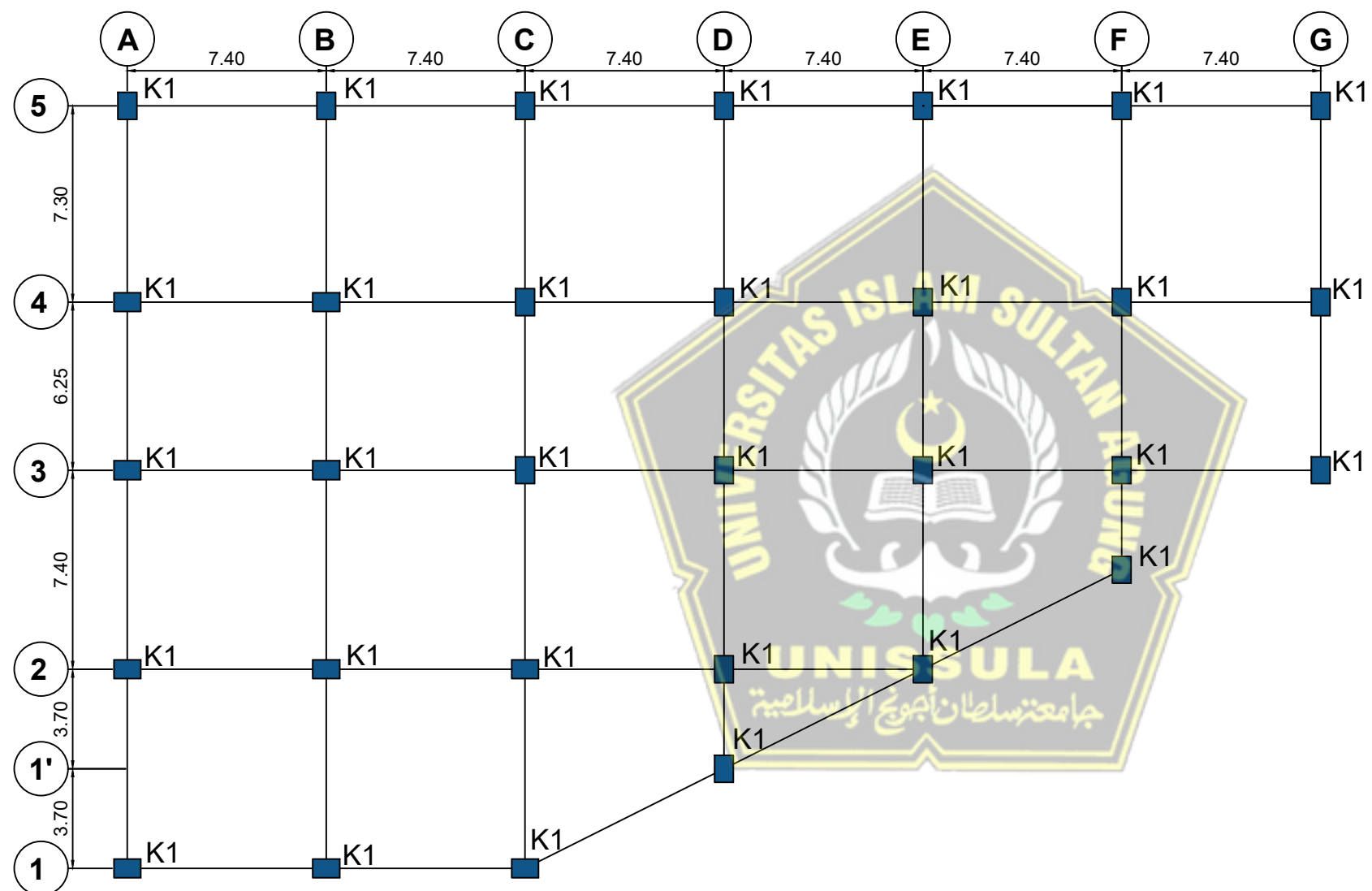
DENAH
PELAT,BALOK,SHEARWALL
LANTAI ATAP

1:250

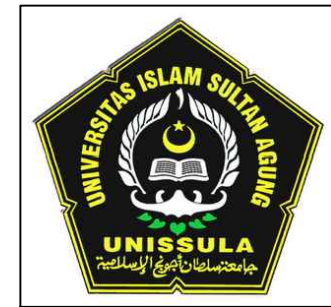
KETERANGAN

Jml. Lembar

No. Lembar



DENAH KOLOM BASEMANT P1
SKALA 1 : 250



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2021

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
GEDUNG KETIDAKBERATURAN
PADA APARTEMEN 12 LANTAI

DISUSUN OLEH

Nugroho Adi Purnomo (30201700139)
Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)

DISETUJUI

Prof. Dr. Ir. Antonius M.T

Selvia Agustina S.T. M. Eng

JUDUL GAMBAR

SKALA

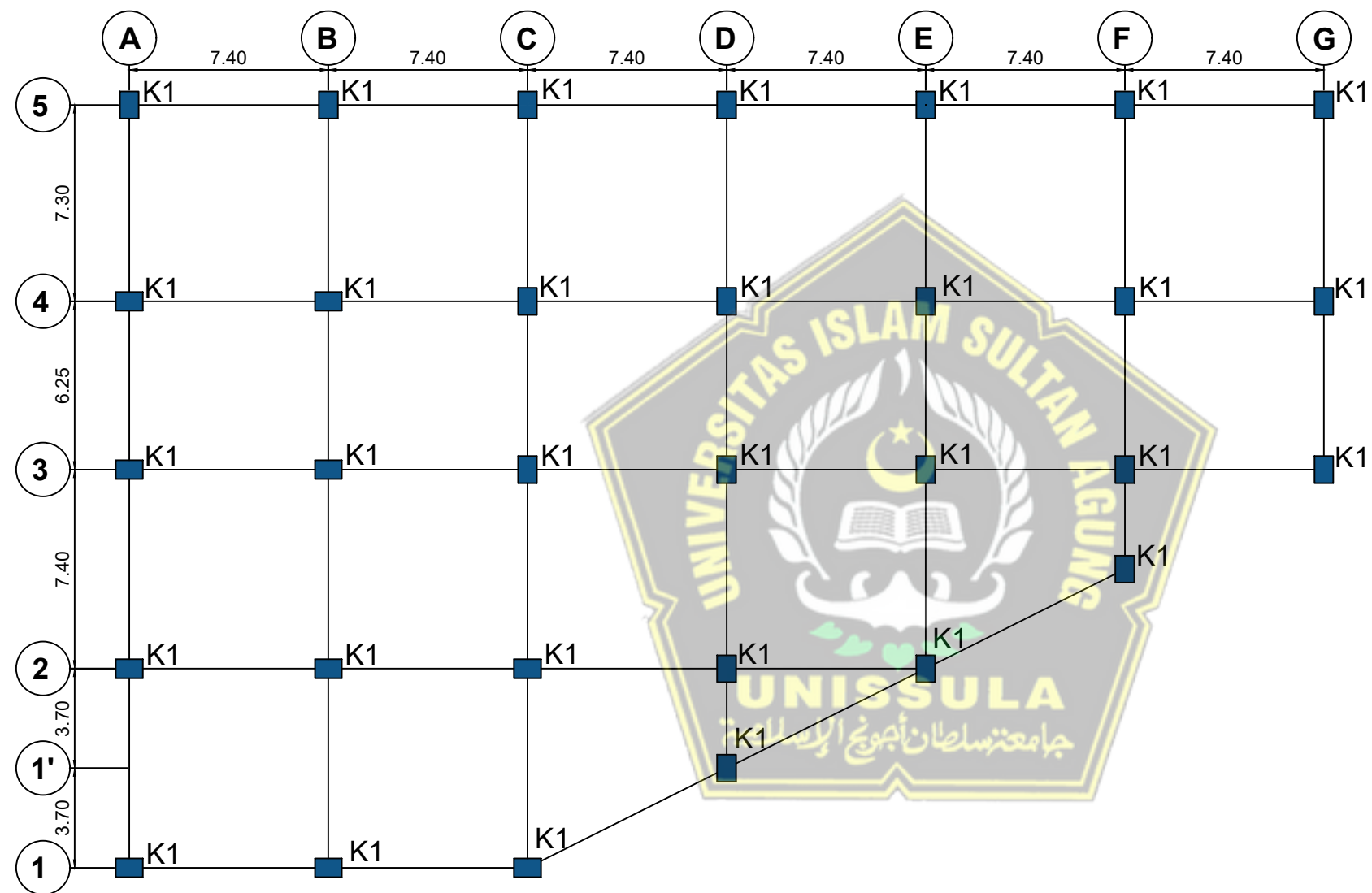
DENAH KOLOM
BASEMANT P1

1:250

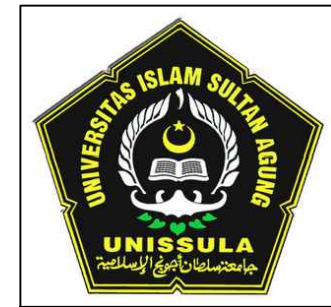
KETERANGAN

Jml. Lembar

No. Lembar



DENAH KOLOM SEMI BASEMANT
SKALA 1 : 250



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2021

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
GEDUNG KETIDAKBERATURAN
PADA APARTEMEN 12 LANTAI

DISUSUN OLEH

Nugroho Adi Purnomo (30201700139)
Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)

DISETUJUI

Prof. Dr. Ir. Antonius M.T

Selvia Agustina S.T. M. Eng

JUDUL GAMBAR

SKALA

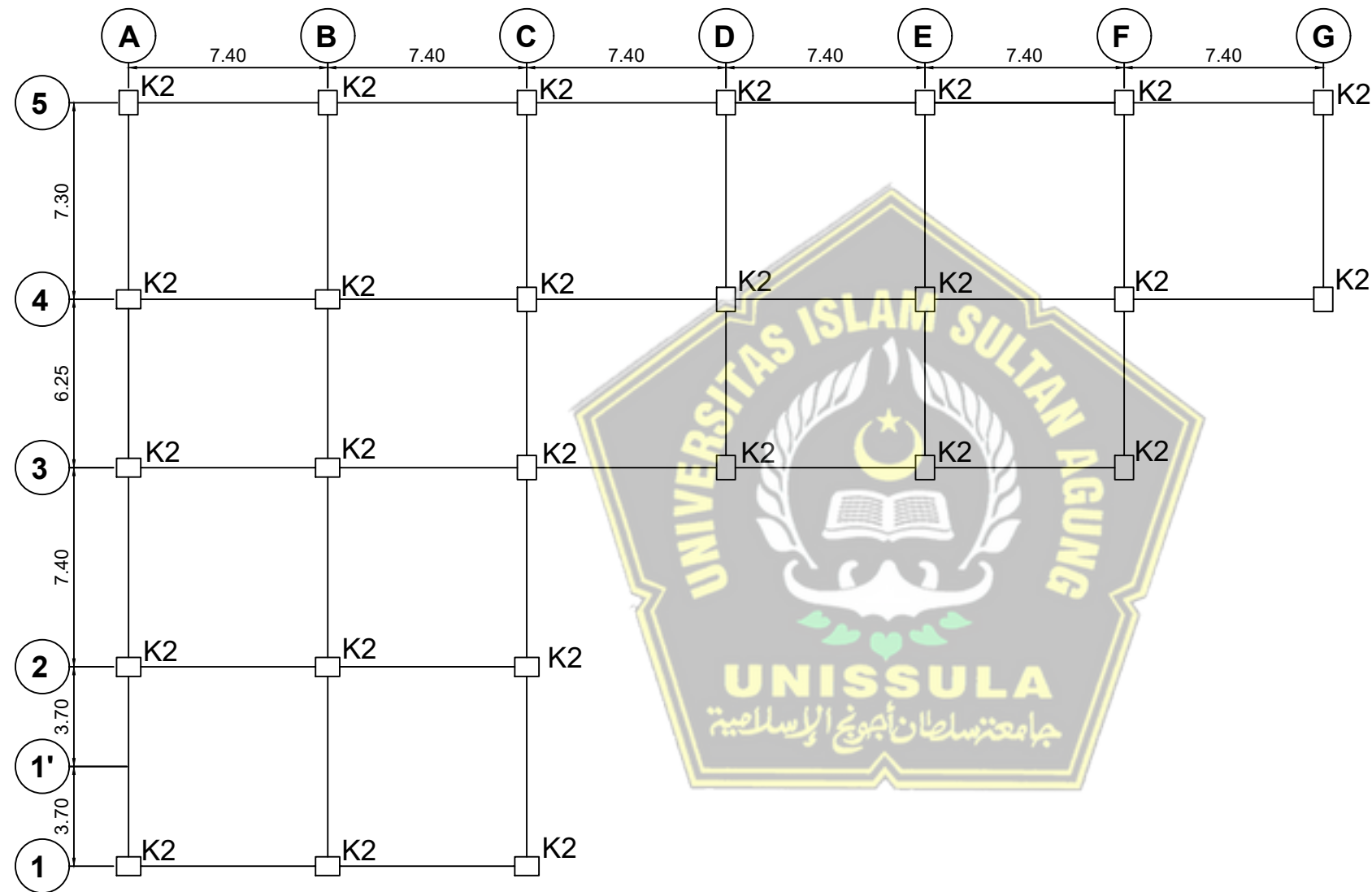
DENAH KOLOM
SEMI BASEMANT

1:250

KETERANGAN

Jml. Lembar

No. Lembar



DENAH KOLOM LANTAI 1-10
SKALA 1 : 250



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2021

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
GEDUNG KETIDAKBERATURAN
PADA APARTEMEN 12 LANTAI

DISUSUN OLEH

Nugroho Adi Purnomo (30201700139)
Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)

DISETUJUI

Prof. Dr. Ir. Antonius M.T

Selvia Agustina S.T. M. Eng

JUDUL GAMBAR

SKALA

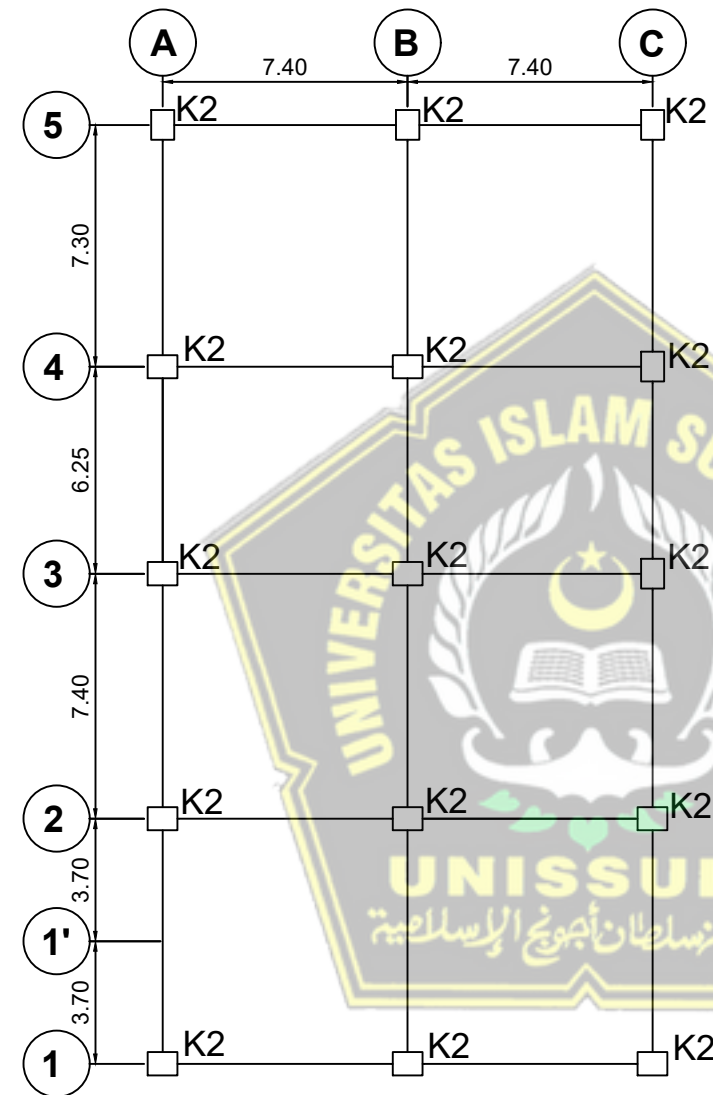
DENAH KOLOM
LANTAI 1-10

1:250

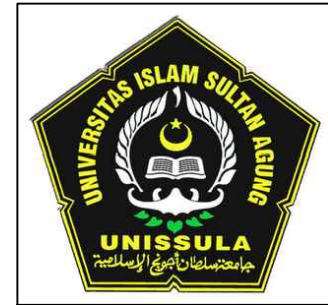
KETERANGAN

Jml. Lembar

No. Lembar



DENAH KOLOM LANTAI ATAP
SKALA 1 : 250



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2021

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
GEDUNG KETIDAKBERATURAN
PADA APARTEMEN 12 LANTAI

DISUSUN OLEH

Nugroho Adi Purnomo (30201700139)
Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)

DISETUJUI

Prof. Dr. Ir. Antonius M.T

Selvia Agustina S.T. M. Eng

JUDUL GAMBAR

SKALA

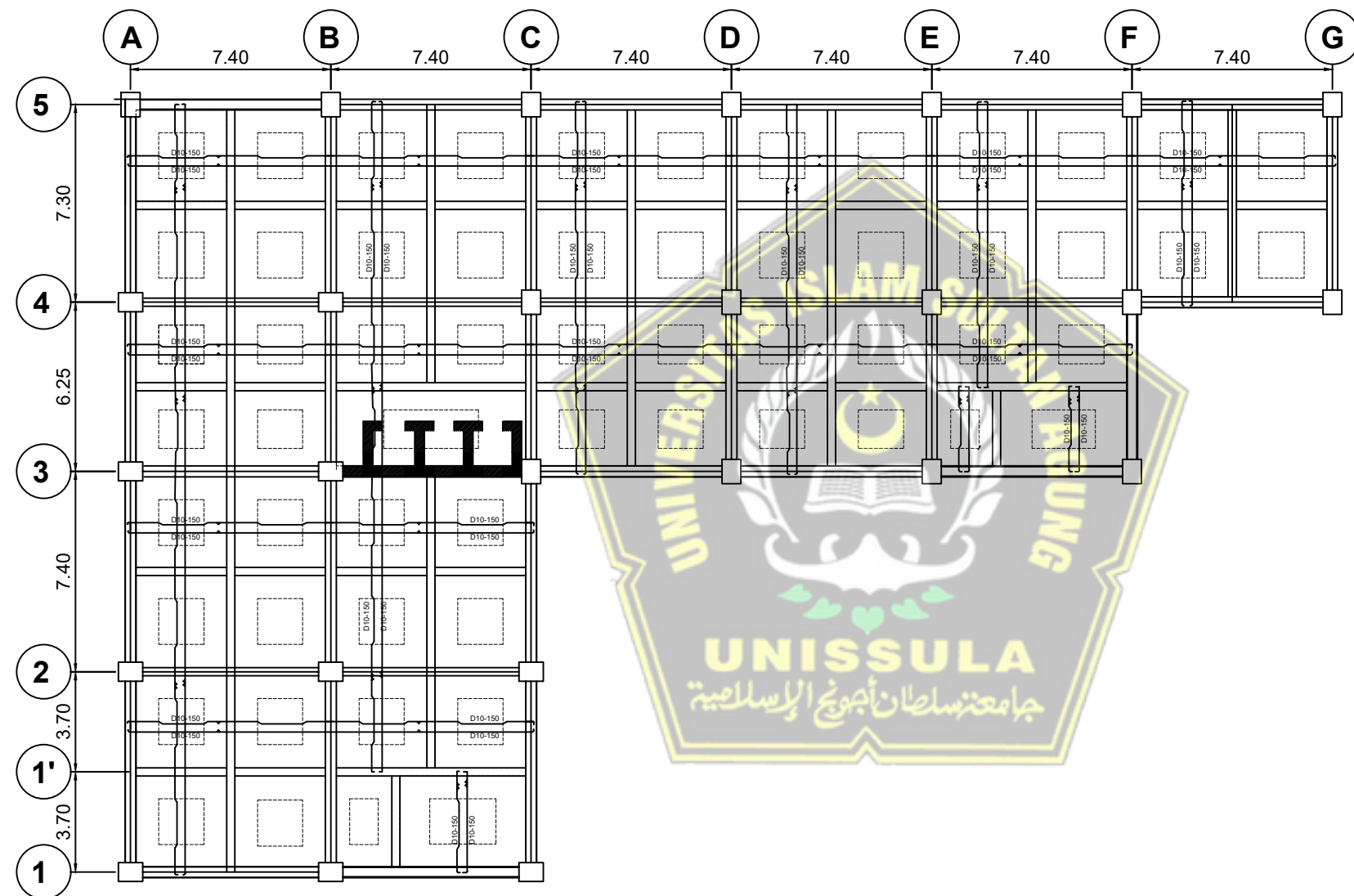
DENAH KOLOM
LANTAI ATAP

1:250

KETERANGAN

Jml. Lembar

No. Lembar



DETAIL PENULANGAN PELAT LANTAI 1-8
SKALA 1 : 250



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2021

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
GEDUNG KETIDAKBERATURAN
PADA APARTEMEN 12 LANTAI

DISUSUN OLEH

Nugroho Adi Purnomo (30201700139)
Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)

DISETUJUI

Prof. Dr. Ir. Antonius M.T

Selvia Agustina S.T. M. Eng

JUDUL GAMBAR

SKALA

DETAIL
PENULANGAN PELAT
LANTAI 1-8

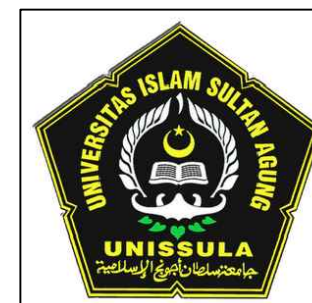
1:250

KETERANGAN

Jml. Lembar

No. Lembar

NAMA BALOK	BI = 400 x 800		
POTONGAN	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
BALOK B2 40X80			
DIMENSI BALOK	400 X 800	400 X 800	400 X 800
TULANGAN ATAS	6 D 22	4 D 22	6 D 22
TULANGAN PINGGANG	4 D 13	4 D 13	4 D 13
TULANGAN BAWAH	6 D 22	4 D 22	6 D 22
SENGKANG	Ø13 - 100	Ø13 - 150	Ø13 - 100
NAMA BALOK	B4 = 300 x 650		
POTONGAN	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
BALOK B4 30X65			
DIMENSI BALOK	300 X 650	300 X 650	300 X 650
TULANGAN ATAS	4 D 22	4 D 22	7 D 22
TULANGAN PINGGANG	2 D 13	2 D 13	2 D 13
TULANGAN BAWAH	4 D 22	4 D 22	4 D 22
SENGKANG	Ø13 - 100	Ø12 - 150	Ø12 - 100
NAMA BALOK	B4 = 300 x 600		
POTONGAN	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
BALOK B4 30X60			
DIMENSI BALOK	300 X 600	300 X 600	300 X 600
TULANGAN ATAS	7 D 22	4 D 22	7 D 22
TULANGAN PINGGANG	2 D 13	2 D 13	2 D 13
TULANGAN BAWAH	4 D 22	7 D 22	4 D 22
SENGKANG	Ø13 - 100	Ø13 - 150	Ø13 - 100



PROGRAMSTUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGUNG
SEMARANG
2021

TUAKSHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
GEDUNG KETIDAKBERATURAN
PADA APARTEMEN 12 LANTAI

DISUSUN OLEH

Nugroho Adi Purnomo 30201700139
Rizaldhy Habibie Firmansyah 30201700159

DISETUJUI

Prof. Dr.Ir Antonius MT

Selvia Agustina ST.M.Eng

JUDUL GAMBAR

SKALA

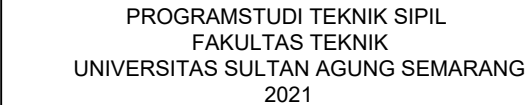
DETAIL BALOK dan
RING BALOK

1 : 250

KETERANGAN

Jml. Lembar

No. Lembar



PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KETIDAKBERATURAN PADA APARTEMEN 12 LANTAI

Nugroho Adi Purnomo 30201700139
Rizaldhy Habibie Firmansyah 30201700159

Prof. Dr.Ir Antonius MT

Selvía Agustina ST.M.Eng

JUDUL GAMBAR

SKALA

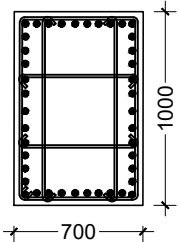
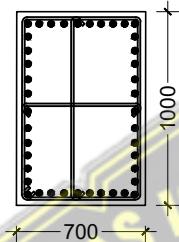
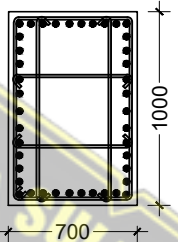
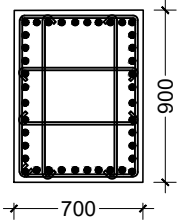
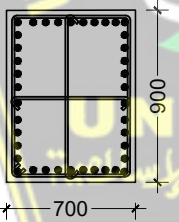
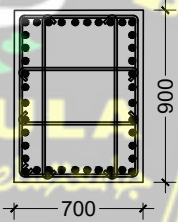
DETAIL KOLOM K1 DAN K2

1 : 250

KETERANGAN

Jml. Lembar

No. Lembar

NAMA KOLOM	K1 = 700 x 1000		
POTONGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
KOLOM			
DIMENSI KOLOM	700 X 900	700 X 900	700 X 900
TULANGAN POKOK	40 D 22	40 D 22	40 D 22
TULANGAN BEGEL 	4 D 13 - 100	2 D 13 - 150	4 D 13 - 100
TULANGAN BEGEL 	4 D 13 - 100	2 D 13 - 150	4 D 13 - 100
NAMA KOLOM	K2 = 700 x 900		
POTONGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
KOLOM			
DIMENSI KOLOM	700 X 900	700 X 900	700 X 900
TULANGAN POKOK	40 D 22	40 D 22	40 D 22
TULANGAN BEGEL 	4 D 13 - 100	2 D 13 - 150	4 D 13 - 100
TULANGAN BEGEL 	4 D 13 - 100	2 D 13 - 150	4 D 13 - 100



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2021

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
GEDUNG KETIDAKBERATURAN
PADA APARTEMEN 12 LANTAI

DISUSUN OLEH

Nugroho Adi Purnomo (30201700139)
Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)

DISETUJUI

Prof. Dr. Ir. Antonius M.T

Selvia Agustina S.T. M. Eng

JUDUL GAMBAR

SKALA

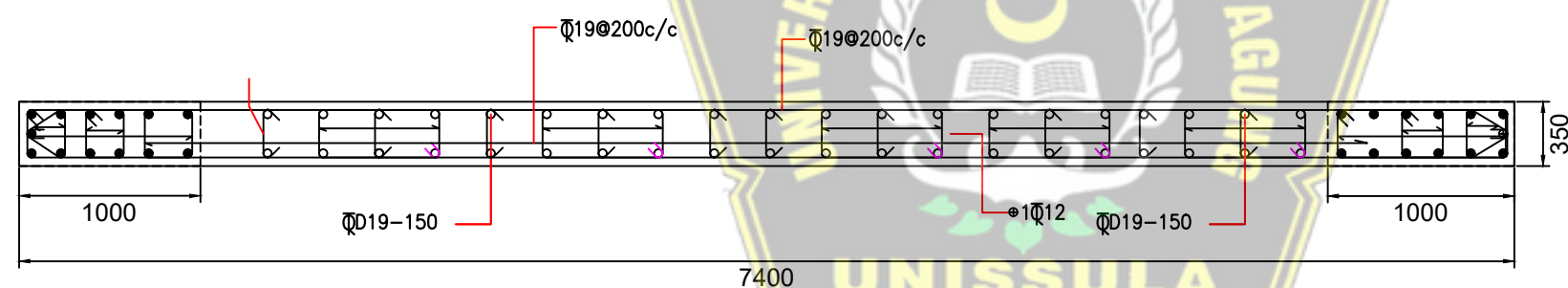
DETAIL SHEAR WALL

1:250

KETERANGAN

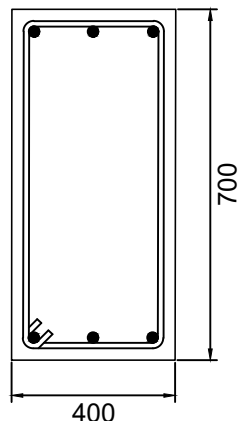
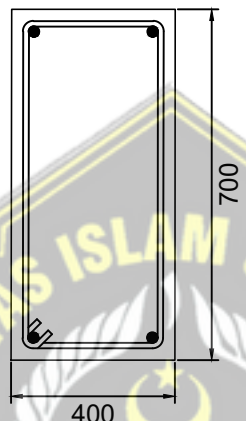
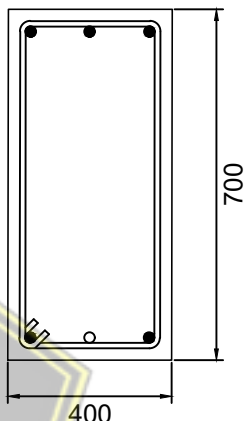
Jml. Lembar

No. Lembar



DETAIL SHEAR WALL

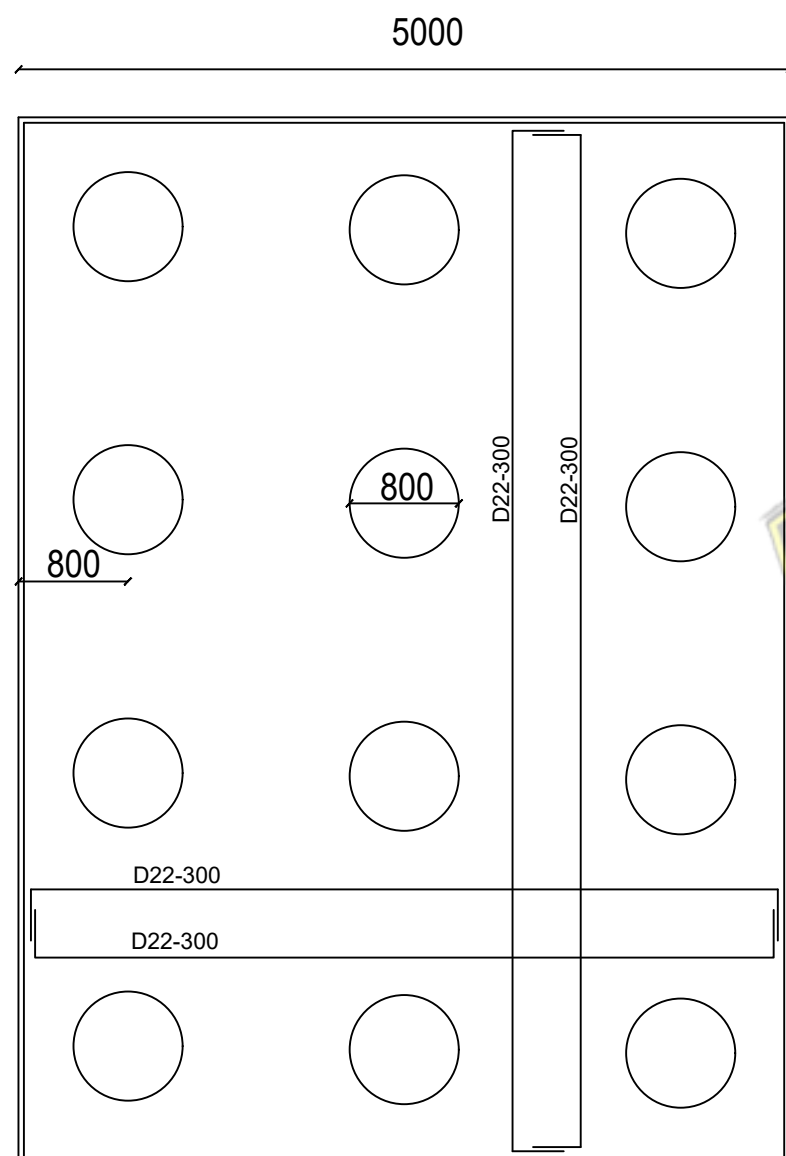
SKALA 1 : 250

NAMA TIE BEAM	TB = 400 x 700		
POTONGAN	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
TIE BEAM 400X700			
DIMENSI SLOOF	400 X 700	400 X 700	400 X 700
TULANGAN ATAS	3 D 19	2 D 22	3 D 19
TULANGAN PINGGANG	-	-	-
TULANGAN BAWAH	3 D 19	2 D 22	3 D 19
SENGKANG	Ø10 - 100	Ø10 - 150	Ø10 - 100

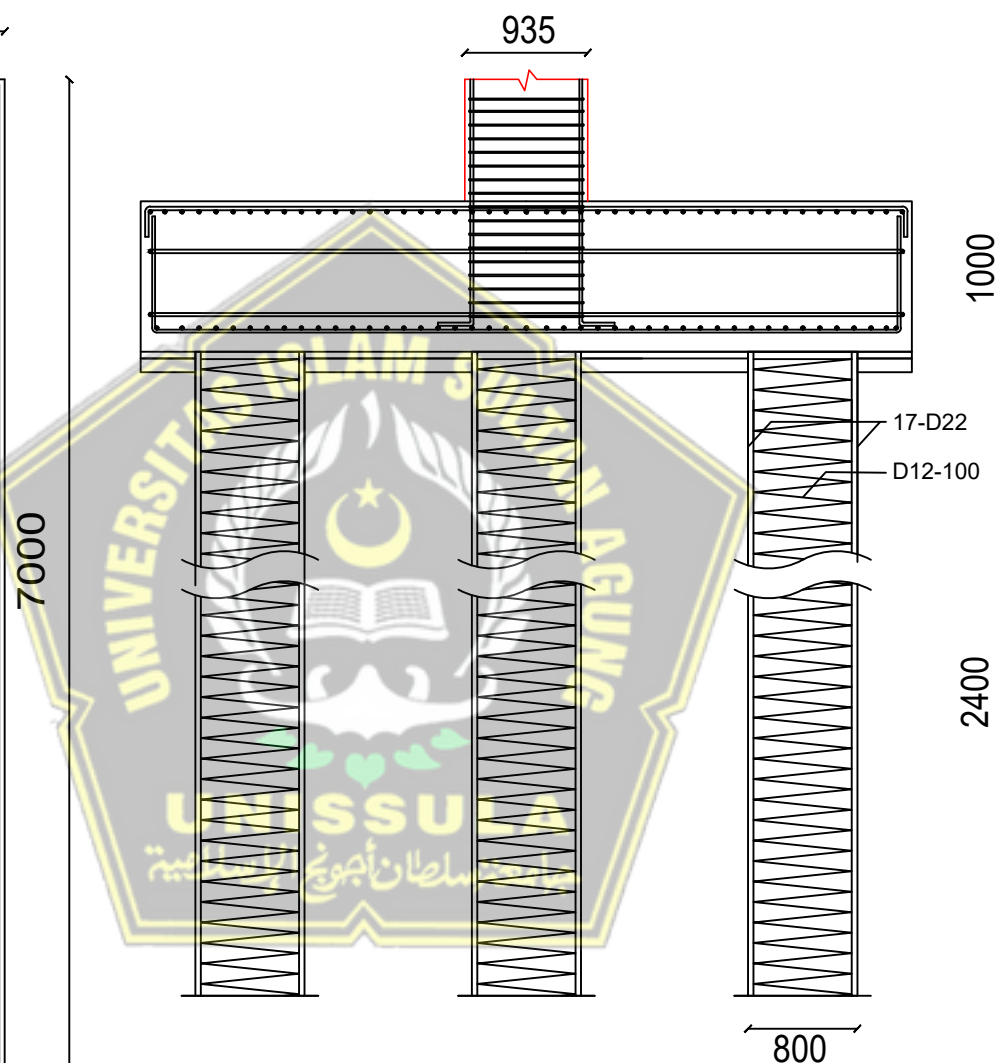
DETAIL TIE BEAM
SKALA 1 : 250



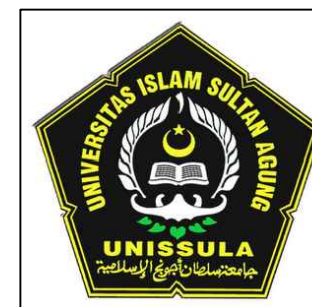
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG 2021	
TUGAS AKHIR	
PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KETIDAKBERATURAN PADA APARTEMEN 12 LANTAI	
DISUSUN OLEH	
Nugroho Adi Purnomo Rizaldhy Habibie Firmansyah	(30201700139) (30201700159)
DISETUJUI	
Prof. Dr. Ir. Antonius M.T Selvia Agustina S.T. M. Eng	
JUDUL GAMBAR	SKALA
DETAIL TIE BEAM	1:250
KETERANGAN	Jml. Lembar
	No. Lembar



TAMPAK ATAS PILE CAP P7
SKALA 1 : 250



DETAIL PONDASI BORED PILE P12
SKALA 1 : 250



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2021

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
GEDUNG KETIDAKBERATURAN
PADA APARTEMEN 12 LANTAI

DISUSUN OLEH

Nugroho Adi Purnomo (30201700139)
Rizaldhy Habibie Firmansyah (30201700159)

DISETUJUI

Prof. Dr. Ir. Antonius M.T

Selvia Agustina S.T. M. Eng

JUDUL GAMBAR

SKALA

GAMBAR TAMPAK ATAS
PILE CAP P7
DETAIL PONDASI BORED
PILE P12

1:250

KETERANGAN

Jml. Lembar

No. Lembar

LAMPIRAN DATA TANAH



LAPORAN PENYELIDIKAN TANAH
PROYEK “STAR CONDOTEL”
CONDONG CATUR, GEJAYAN
YOGYAKARTA



UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK

PPKT

PUSAT PERENCANAAN DAN KONSULTASI TEKNIK

Jl. Babarsari No. 44 Yogyakarta 55281 Indonesia Kotak Pos 1086

Telp. +62-0274-487711 (hunting) Fax. +62-274-487748

Website://www.uajy.ac.id E-mail : fteknik@mail.uajy.ac.id

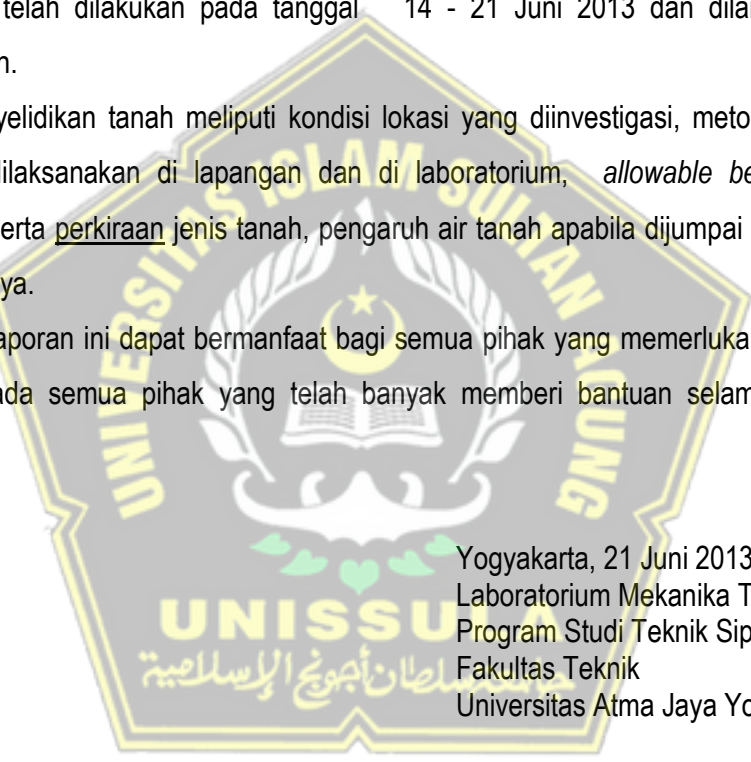
KATA PENGANTAR

Bersama ini disampaikan Laporan sebanyak 1 (satu) eksemplar hasil penyelidikan tanah “STAR CONDOTEL”. Lokasi proyek di Condong Catur Gejayan Yogyakarta. Penyelidikan tanah yang dilakukan oleh Laboratorium Mekanika Tanah Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta, berdasarkan kesepakatan kontrak penyelidikan tanah atas permintaan PT. MAJU MAKMUR SEDAYA tertanggal 27 Mei 2013.

Penyelidikan tanah meliputi uji di lapangan yaitu: 2 titik uji Cone Penetration Test (CPT) dengan kapasitas 45 kNf dan 1 titik uji dengan kedalaman 30,0m dari muka tanah. Uji lapangan dan laboratorium telah dilakukan pada tanggal 14 - 21 Juni 2013 dan dilanjutkan dengan pembuatan laporan.

Hasil penyelidikan tanah meliputi kondisi lokasi yang diinvestigasi, metode dan standar pengujian yang dilaksanakan di lapangan dan di laboratorium, *allowable bearing capacity*, parameter tanah serta perkiraan jenis tanah, pengaruh air tanah apabila dijumpai muka air tanah, dan rekomendasinya.

Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan, serta ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak memberi bantuan selama pelaksanaan pekerjaan ini.



Yogyakarta, 21 Juni 2013
Laboratorium Mekanika Tanah
Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Sumiyati Gunawan, S.T.,M.T.
Kalab. Mektan UAJY

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	1
DAFTAR ISI	2
A. PENDAHULUAN	3
B. UMUM	4
C. STRATIGRAFI LAPISAN TANAH DAN DAYA DUKUNG TANAH	4
D. MUKA AIR TANAH	5
E. SARAN	6
F. PENUTUP	7
G. REFERENSI	7
LAMPIRAN	
LAY OUT PENYELIDIKAN TANAH SONDIR DAN CORE DRILL	
CONE PENETRATION TEST	
STANDARD PENETRATION TEST	
HASIL LABORATORIUM	



LAPORAN PENYELIDIKAN TANAH

PROYEK : STAR CONDOTEL

ALAMAT : CONDONG CATUR GEJAYAN YOGYAKARTA

A. PENDAHULUAN

1. Atas permintaan :

Nama : PT. MAJU MAKMUR SEDAYA

Ala m a t : JL. KHA. Dahlan No. 132 Yogyakarta

Oleh Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta telah dilaksanakan penyelidikan tanah di “STAR CONDOTEL”. Lokasi proyek di Condong Catur Gejayan Yogyakarta seperti yang tersebut di atas.

2. Maksud penyelidikan tanah adalah untuk mengetahui *allowable bearing capacity*, parameter tanah serta perkiraan jenis tanah yang akan digunakan sebagai data perencanaan fondasi.

3. Pelaksanaan penyelidikan yang meliputi pekerjaan lapangan dan laboratorium telah dilaksanakan pada tanggal 14 - 21 Juni 2013.

B. UMUM

1. Proyek yang diselidiki adalah: penyelidikan tanah “STAR CONDOTEL”. Bangunan direncanakan 10 (Sepuluh) Lantai.

2. Lokasi proyek di Condong Catur Gejayan Yogyakarta. Kondisi lahan proyek relatif datar. Sebelah Utara berbatasan dengan Tanah Kosong dan sebelah Selatan proyek berbatasan dengan Ring Road, Sebelah Timur proyek berbatasan dengan Jalan Kaliurang, sedangkan sebelah Barat proyek berbatasan dengan Sungai.

3. Penyelidikan tanah yang telah dilaksanakan : Pengujian sondir (CPT) sebanyak 2 titik, SB1 dan SB2, untuk mengukur nilai sondir lapisan-lapisan tanah yang dilaksanakan sampai kedalaman tanah padat / keras dengan kapasitas nilai sondir berat maksimum 45 kNf dan 1 titik bor (SPT) dengan kedalaman -30,00m.(lampiran)
5. *Lay out* penyelidikan tanah CPT dan bor (SPT) dapat dilihat pada Lampiran .
6. Sebagai peil referensi (acuan) $\pm 0,00$ m dari permukaan jalan (Lampiran).

C. STRATIGRAFI LAPISAN TANAH DAN DAYA DUKUNG

Pengujian sondir (CPT) yang dilakukan sebanyak 2 titik , yaitu uji sondir SB1 dan SB2 yang menginformasikan sebagai berikut :

Tabel 1. Daya dukung ijin tanah, *static cone resistance* S1

Kedalam dari permukaan tanah setempat (m)	<i>Static cone resistance</i> (Q_c mean) (MPa)	<i>Friction Ratio</i> (%)	Daya dukung ijin rata-rata (MPa)	<u>Perkiraan</u> Jenis tanah (berdasarkan FR)	Kepadatan
-0.20	3.700	2.432	0.123	Top Soil	Lunak
-0.40	5.000	1.500	0.167	Top Soil	Lunak
-0.60	3.100	3.871	0.103	Top Soil	Lunak
-0.80	12.500	0.720	0.417	Pasir	Sedang
-1.00	9.000	1.167	0.300	Pasir	Sedang
-1.20	4.100	2.561	0.137	Lanau / Pasir Halus	Lunak
-1.40	2.100	2.857	0.070	Lanau / Pasir Halus	Lunak
-1.60	1.500	2.000	0.050	Lanau / Pasir Halus	Lunak
-1.80	1.200	2.500	0.040	Lanau / Pasir Halus	Lunak
-2.00	1.000	3.000	0.033	Lanau / Pasir Halus	Lunak
-2.20	3.400	2.647	0.113	Lanau / Pasir Halus	Lunak
-2.40	4.500	1.667	0.150	Pasir	Lunak
-2.60	29.500	0.661	0.983	Pasir	Padat / Keras
-2.80	44.200	0.305	1.473	Pasir	Padat / Keras

Note: Dengan angka aman (safety factor) = 3,00.

1MPa = 10 kg/cm².

Tabel 2. Daya dukung ijin tanah, *static cone resistance* **S2**

Kedalam dari permukaan tanah setempat (m)	<i>Static cone resistance</i> ($q_{c \text{ mean}}$) (MPa)	<i>Friction Ratio</i> (%)	Daya dukung ijin rata-rata (MPa)	Perkiraan Jenis tanah (berdasarkan FR)	Kepadatan
-0.20	0.700	2.143	0.023	Top Soil	Lunak
-0.40	0.900	3.333	0.030	Top Soil	Lunak
-0.60	1.000	3.000	0.033	Top Soil	Lunak
-0.80	4.000	1.875	0.133	Top Soil	Lunak
-1.00	19.000	1.105	0.633	Pasir	Sedang
-1.20	39.500	0.456	1.317	Pasir	Padat / Keras
-1.40	44.500	0.169	1.483	Kerikil Pasir	Padat / Keras

Note: Dengan angka aman (safety factor) = 3,00.

1MPa = 10 kg/cm².

Dari data hasil *core drill* (*Boring*) BH1 dapat diinformasikan lapisan tanah di lokasi proyek adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Kedalaman dan jenis tanah titik *core drill* **BH1**

Kedalaman dari permukaan tanah setempat (m)	N1	Jenis Tanah (pengamatan di lapangan)	Relative Density
0,00 s/d 2,00	8.00	Urugan	Lepas
2,00 s/d 4,00	13.00	Pasir	Sedang
4,00 s/d 6,00	20.00	Pasir Lanau	Sedang
6,00 s/d 8,00	21.00	Pasir	Sedang
8,00 s/d 10,00	21.00	Pasir Kasar	Sedang
10,00 s/d 12,00	20.00	Pasir Kasar	Sedang
12,00 s/d 14,00	18.00	Pasir halus	Sedang
14,00 s/d 16,00	18.00	Lanau Pasir	Sedang
16,00 s/d 18,00	25.00	Pasir Kasar	Sedang
18,00 s/d 20,00	30.00	Pasir kasar	Padat
20,00 s/d 22,00	32.00	Batu Pasir	Padat
22,00 s/d 24,00	40.00	Batu Pasir	Padat
24,00 s/d 26,00	41.00	Pasir Sedang	Padat
26,00 s/d 28,00	45.00	Pasir Sedang	Padat
28,00 s/d 30,00	47.00	Pasir Halus	Padat

Note: Hubungan antara kepadatan relative dan N value (peck, Meyerhof)

catatan: hasil Laboratorium

Catatan : Pengamatan dilapangan, lanau kemungkinan bisa tampak seperti pasir halus atau pasir yang sangat halus

D. MUKA AIR TANAH

Permukaan air tanah pada kedalaman sekitar peil -10,00m dari peil referensi $\pm 0,00$ m pada permukaan jalan. Kondisi permukaan air tanah ini dapat merupakan suatu pertimbangan bagi perencana dalam menentukan kedalaman fondasi dan tipe fondasi yang representatif.

E. SARAN

Berdasar hasil 2 titik sondir 45KPa dan 1 titik pemboran dengan kedalaman -30,0m dari muka tanah, yang menembus tanah di lokasi proyek "STAR CONDOTEL". Lokasi proyek di Condong Catur Gejayan Yogyakarta dan dengan pertimbangan bangunan direncanakan 10 (Sepuluh) Lantai maka saran pondasi adalah sebagai berikut:

Saran Pondasi untuk Star Condotel Condong Catur Gejayan YK			
Bangunan direncanakan untuk 10 (Sepuluh) Lantai			
Menggunakan pondasi <i>bored pile</i> sebagai berikut :			
1. $N_{SPT} = \pm 25$ pada kedalaman sekitar -18,00m			
	<i>Bored Pile</i> Ø60 (cm)	<i>Bored Pile</i> Ø80 (cm)	<i>Bored Pile</i> Ø100 (cm)
GAYA UJUNG			
Tekanan konus rata2 (kg/cm ²)	67.50	67.50	67.50
Gaya Ujung Ultimit (ton)	190.85	339.29	530.14
Daya dukung <i>Bored Pile</i> (ton)	63.62	113.10	176.71
2. $N_{SPT} = \pm 30$ pada kedalaman sekitar -20,00m			
	<i>Bored Pile</i> Ø60 (cm)	<i>Bored Pile</i> Ø80 (cm)	<i>Bored Pile</i> Ø100 (cm)
GAYA UJUNG			
Tekanan konus rata2 (kg/cm ²)	96.25	92.50	92.50
Gaya Ujung Ultimit (ton)	272.14	464.96	726.49
Daya dukung <i>Bored Pile</i> (ton)	90.71	154.99	242.16
3. $N_{SPT} = \pm 40$ pada kedalaman sekitar -24,00m			
	<i>Bored Pile</i> Ø60 (cm)	<i>Bored Pile</i> Ø80 (cm)	<i>Bored Pile</i> Ø100 (cm)
GAYA UJUNG			
Tekanan konus rata2 (kg/cm ²)	135.00	135.00	121.25
Gaya Ujung Ultimit (ton)	381.70	678.58	952.30
Daya dukung <i>Bored Pile</i> (ton)	127.23	226.19	317.43
4. $N_{SPT} = \pm 45$ pada kedalaman sekitar -28,00m			
	<i>Bored Pile</i> Ø60 (cm)	<i>Bored Pile</i> Ø80 (cm)	<i>Bored Pile</i> Ø100 (cm)
GAYA UJUNG			
Tekanan konus rata2 (kg/cm ²)	160.00	160.00	162.00
Gaya Ujung Ultimit (ton)	452.39	804.25	1272.35
Daya dukung <i>Bored Pile</i> (ton)	150.80	268.08	424.12

Catatan : **SANGAT PERLU** diperhatikan ketinggian muka air tanah.

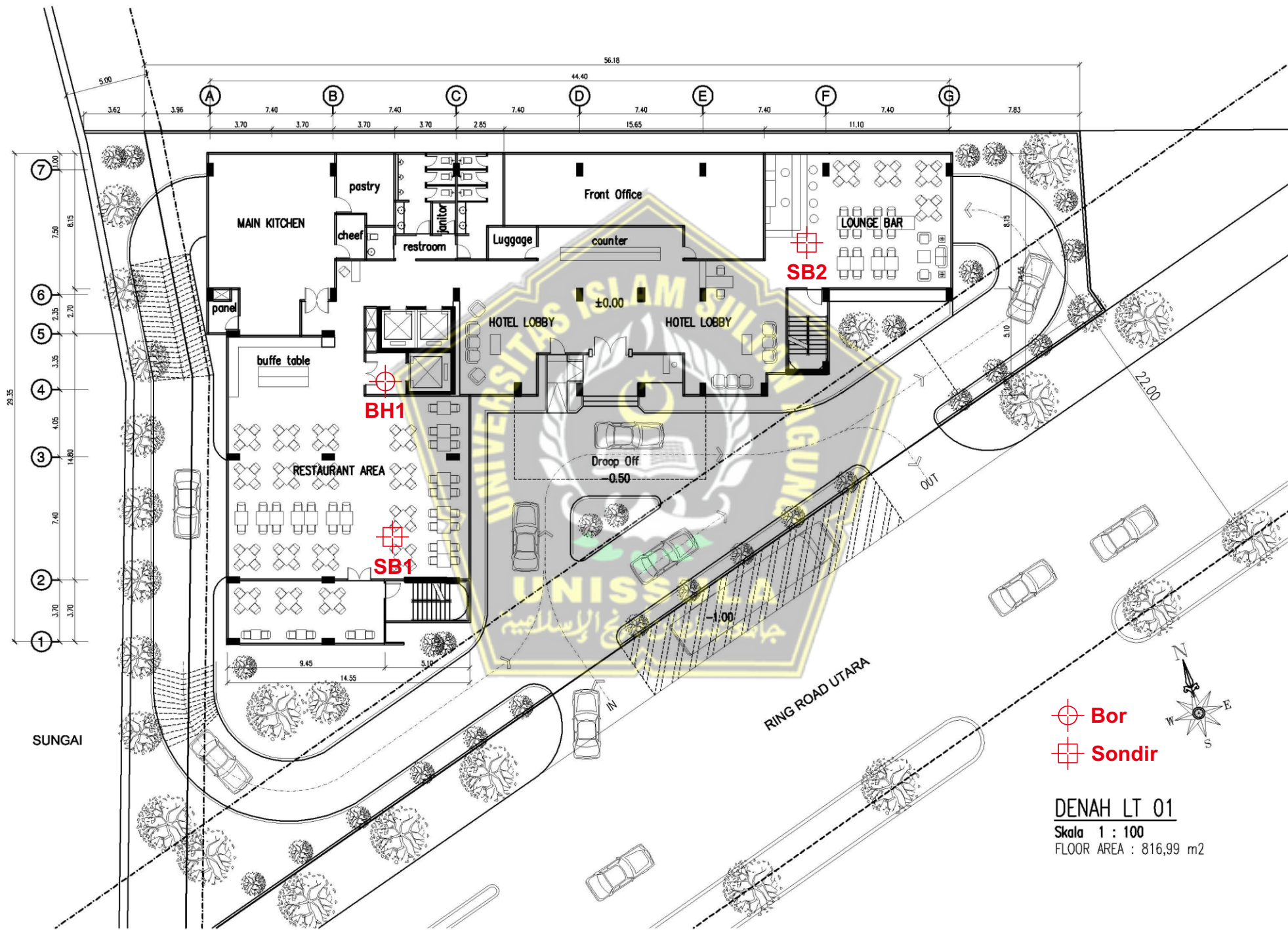
F. PENUTUP

Apabila ternyata dalam pelaksanaan pekerjaan atau pembuatan fondasi nantinya dijumpai hal-hal yang menyimpang/meragukan atau tidak terduga, maka perlu diadakan penyesuaian dengan keadaan tersebut dan keputusan hendaknya diambil oleh pihak-pihak yang menguasai persoalannya.

G. REFERENSI

- AGS, 2005, *Management of Risk Associated with the Preparation of Ground Report and Guidelines for the Preparation of the Ground Report*, Association of Geotechnical & Geoenvironmental Specialists.
- Badan Nasional Indonesia, 2002, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-1726-2002.
- Brouwer, J.J.M., 2002, *Guide to Cone Penetration Testing on Shore and Near Shore*, Lankelma, Cone Penetration Tesring LTD.
- Bowles, J.E., 1970, *Engineering Properties of Soils and Their Measurement*, McGRAW-HILL.
- Bowles, J.E., 1977, *Foundation Analysis and Design*, Second Edition, McGRAW-HILL.
- Budhu, M., 2000, *Soil Mechanics and Foundations*, John Wiley & Sons Inc.
- Peck & Hansen, Teknik Pondasi, Gajah Mada University





DENAH LT 01

Skala 1 : 100

FLOOR AREA : 816,99 m²



SOIL MECHANICS LABORATORY
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING - ATMA JAYA YOGYAKARTA UNIVERSITY

10 TON DUTCH CONE PENETRATION TEST

Location	: Condongcatur, Gejayan, Yogyakarta	Date	: 14 Juni 2013
No. of CPT	: SB. 1	Weather	: Cerah
Elevation	: -0,25 meter dari jalan	Surveyor	: Lab.Mektan FT.UAJY
Ground Water Depth	: -10.00 meter	Project	: Star Condotel

Keda-laman meter	C kg/cm ²	C + F Kg/cm ²	L F Kg/cm ²	T F Kg/cm ¹	Jumlah T F Kg/cm ¹	Keda-laman meter	C kg/cm ²	C + F Kg/cm ²	L F Kg/cm ²	T F Kg/cm ¹	Jumlah T F Kg/cm ¹
0,00	0	0	0,00	0	0						
0,20	37	43	0,90	18	18	9,20					
0,40	50	55	0,75	15	33	9,40					
0,60	31	39	1,20	24	57	9,60					
0,80	125	131	0,90	18	75	9,80					
1,00	90	97	1,05	21	96	10,00					
1,20	41	48	1,05	21	117	10,20					
1,40	21	25	0,60	12	129	10,40					
1,60	15	17	0,30	6	135	10,60					
1,80	12	14	0,30	6	141	10,80					
2,00	10	12	0,30	6	147	11,00					
2,20	34	40	0,90	18	165	11,20					
2,40	45	50	0,75	15	180	11,40					
2,60	295	308	1,95	39	219	11,60					
2,80	442	451	1,35	27	246	11,80					
3,00						12,00					
3,20						12,20					
3,40						12,40					
3,60						12,60					
3,80						12,80					
4,00						13,00					
4,20						13,20					
4,40						13,40					
4,60						13,60					
4,80						13,80					
5,00						14,00					
5,20						14,20					
5,40						14,40					
5,60						14,60					
5,80						14,80					
6,00						15,00					
6,20						15,20					
6,40						15,40					
6,60						15,60					
6,80						15,80					
7,00						16,00					
7,20						16,20					
7,40						16,40					
7,60						16,60					
7,80						16,80					
8,00						17,00					
8,20						17,20					
8,40						17,40					
8,60						17,60					
8,80						17,80					
9,00						18,00					

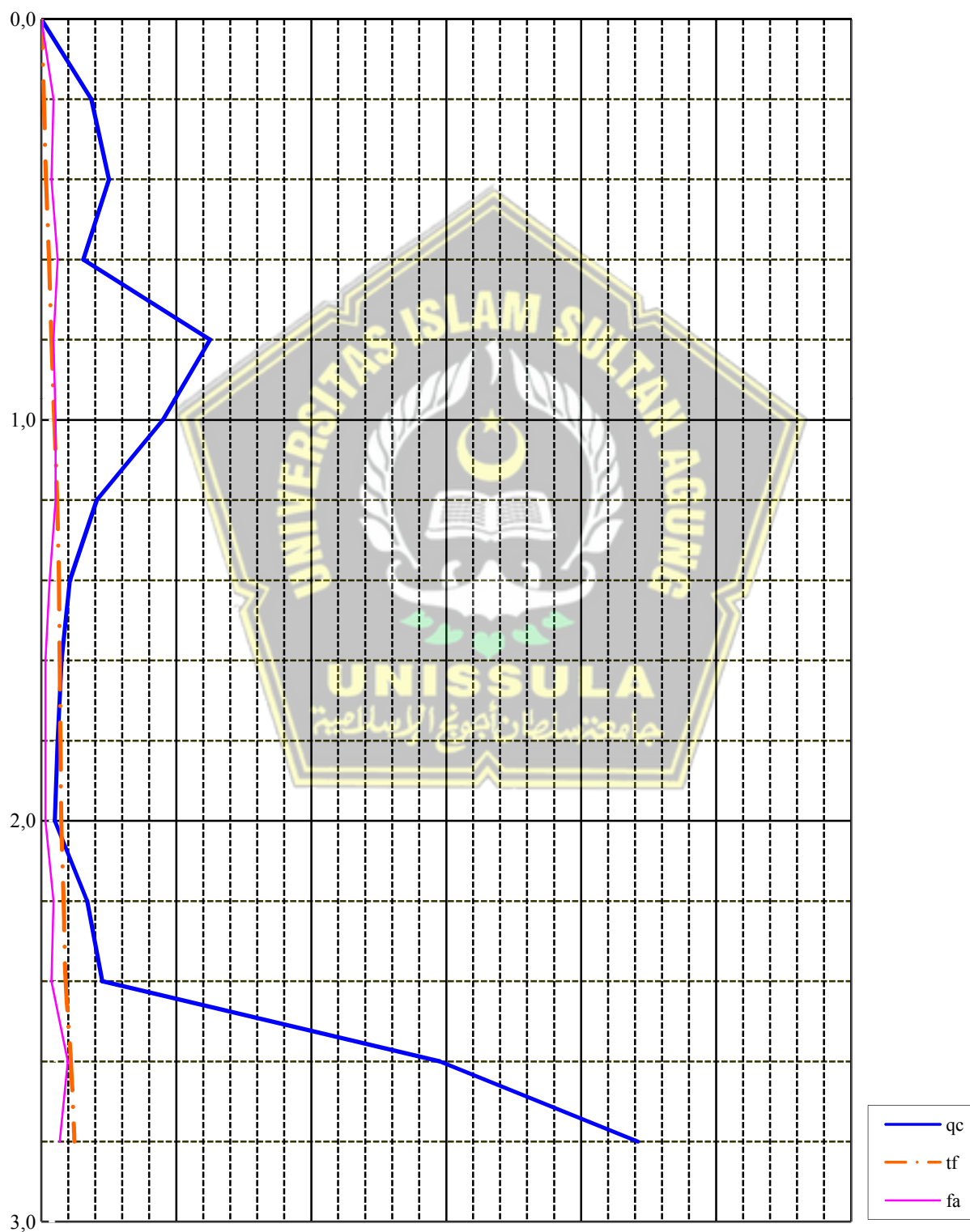


SOIL MECHANICS LABORATORY
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING - ATMA JAYA YOGYAKARTA UNIVERSITY

10 TON DUTCH CONE PENETRATION TEST

Project : Star Condotel - Condongcatur, Gejayan, Yogyakarta
No. of CPT : SB. 1 Elevation : -0,25 meter dari jalan
Date : 14 Juni 2013 Ground Water Depth : -10.00 meter

fa	10	20	30	40	50	60	kg / cm^2
qc	100	200	300	400	500	600	kg / cm^2
tf	1000	2000	3000	4000	5000	6000	kg / cm^1





SOIL MECHANICS LABORATORY
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING - ATMA JAYA YOGYAKARTA UNIVERSITY

10 TON DUTCH CONE PENETRATION TEST

Location	: Condongcatur, Gejayan, Yogyakarta	Date	: 14 Juni 2013
No. of CPT	: SB. 2	Weather	: Cerah
Elevation	: -1.25 meter dari jalan	Surveyor	: Lab.Mektan FT.UAJY
Ground Water Depth	: -10.00 meter	Project	: Star Condotel

Keda-laman meter	C kg/cm ²	C + F Kg/cm ²	L F Kg/cm ²	T F Kg/cm ¹	Jumlah T F Kg/cm ¹	Keda-laman meter	C kg/cm ²	C + F Kg/cm ²	L F Kg/cm ²	T F Kg/cm ¹	Jumlah T F Kg/cm ¹
0,00	0	0	0,00	0	0						
0,20	7	8	0,15	3	3	9,20					
0,40	9	11	0,30	6	9	9,40					
0,60	10	12	0,30	6	15	9,60					
0,80	40	45	0,75	15	30	9,80					
1,00	190	204	2,10	42	72	10,00					
1,20	395	407	1,80	36	108	10,20					
1,40	445	450	0,75	15	123	10,40					
1,60						10,60					
1,80						10,80					
2,00						11,00					
2,20						11,20					
2,40						11,40					
2,60						11,60					
2,80						11,80					
3,00						12,00					
3,20						12,20					
3,40						12,40					
3,60						12,60					
3,80						12,80					
4,00						13,00					
4,20						13,20					
4,40						13,40					
4,60						13,60					
4,80						13,80					
5,00						14,00					
5,20						14,20					
5,40						14,40					
5,60						14,60					
5,80						14,80					
6,00						15,00					
6,20						15,20					
6,40						15,40					
6,60						15,60					
6,80						15,80					
7,00						16,00					
7,20						16,20					
7,40						16,40					
7,60						16,60					
7,80						16,80					
8,00						17,00					
8,20						17,20					
8,40						17,40					
8,60						17,60					
8,80						17,80					
9,00						18,00					

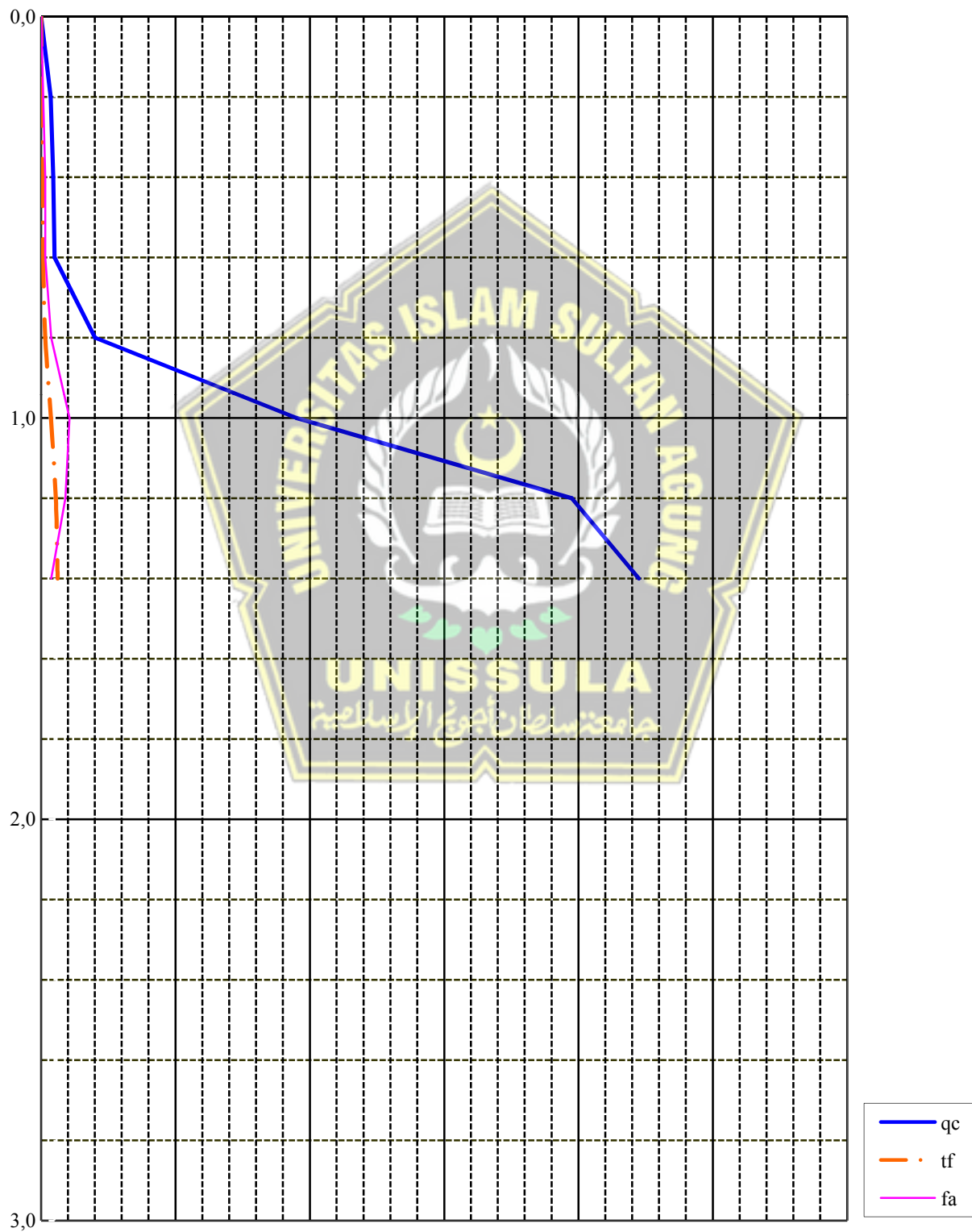


SOIL MECHANICS LABORATORY
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING - ATMA JAYA YOGYAKARTA UNIVERSITY

10 TON DUTCH CONE PENETRATION TEST

Project : Star Condotel - Condongcatur, Gejayan, Yogyakarta
No. of CPT : SB. 2 Elevation : -1.25 meter dari jalan
Date : 14 Juni 2013 Ground Water Depth : -10.00 meter

fa	10	20	30	40	50	60	kg / cm^2
qc	100	200	300	400	500	600	kg / cm^2
tf	1000	2000	3000	4000	5000	6000	kg / cm^1





SOIL MECHANIC LABORATORY
CIVIL ENGINEERING PROGRAM
FACULTY OF ENGINEERING, UAJY
44 BABARSARI STREET, YOGYAKARTA 55281
Tel: +62-274-487711 ext. 1055
Fax: +62-274-487748

Boring Number:

BH-1

BOR LOG

CLIENT:	PROJECT TITLE	: Star Condotel
PROJECT CONTRACT NUMBER:	PROJECT LOCATION	: Condongcatur, Gejayan, Yogyakarta
DATE STARTED: 25 Juni 2013	GROUND ELEVATION	: - 1,25 m from road level
DATE COMPLETED : 25 Juni 2013	HOLE SIZE	: 7.295cm
DRILLING CONTRACTOR: SOIL MECH. LAB. UAJY	GROUND WATER LEVEL	: - 10,00 m from ground level
DRILLING METHOD: ROTARY SPINDLE, SKID MOUNTED TYPE	WEATHER CONDITION	: FINE
LOGGED BY: Mukarob, CS.	ESTIMATED SEASONAL HIGH	: -
CHECKED BY: SOIL MECH. LAB, UAJY		

Depth (m)	Graph Log	Material Description (field observations)	Contact Depth (m)	Sample Number	Blow Counts (N Value)				Water Level Elevation (m)	SPT Value
					N ₁	N ₂	N ₃	N _v		
1		Urug	2							0
2					3	3	5	8		1
3		Pasir (coklat)	2							2
4					5	6	7	13		3
5										4
6		Pasir (coklat, hitam)			6	9	11	20		5
7		terdapat Andesit Ø 10-	5							6
8		15 cm			8	10	11	21		7
9										8
10		Pasir kasar (coklat,		I	8	10	11	21	-10.00	9
11		hitam)	3							10
12					8	9	11	20		11
13										12
14		Pasir halus (coklat,			7	9	9	18		13
15		hitam)	4	II						14
16					7	9	9	18		15
17										16
18		Pasir kasar (coklat,			10	10	15	25		17
19		hitam)	4							18
20					12	15	15	30		19
21										20
22		Batu pasir (coklat,			12	15	17	32		21
23		hitam)	4							22
24					15	18	22	40		23
25										24
26		Pasir sedang (coklat,			15	18	23	41		25
27		hitam)	3							26
28					17	20	25	45		27
29		Pasir halus (coklat,								28
30		hitam)	3							29
					17	21	26	47		30



REKAP HASIL PENGUJIAN TANAH

Proyek : Star Condotel
Lokasi : Condong Catur, Gejayan, Yogyakarta
Tanggal : 17 Juni 2013

Titik	Kedalaman (m)	Kadar Air (%)	Berat Jenis (G)	γ_b (gr/cm ³)	γ_k (gr/cm ³)	Pengujian Geser Langsung	
						c (kg/cm ²)	θ°
BH1	5	20,40	2,44	1,84	1,53	0,00	23,24
	15	27,80	2,49	1,83	1,43	0,00	23,78

Lab. Mekanika Tanah FT-UAJY,
Staf,

Oktoditya Ekaputra





ANALISA BUTIRAN

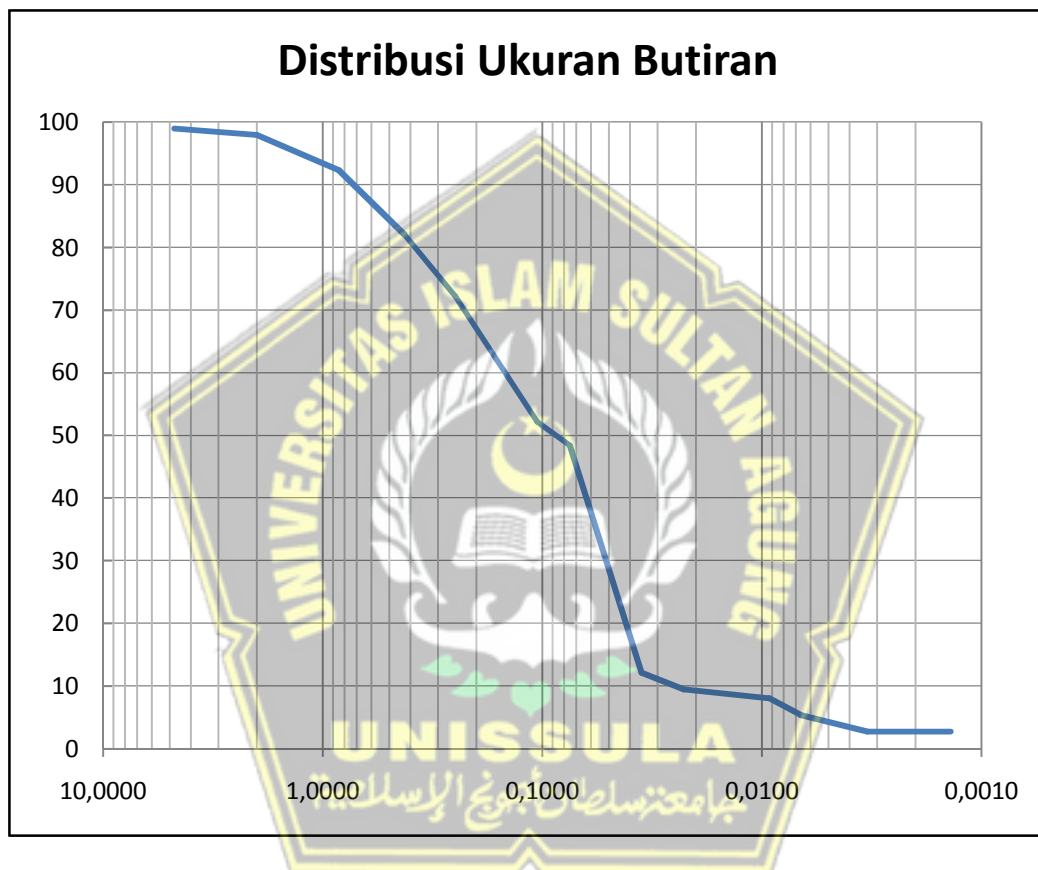
Proyek : Star Condotel

Lokasi : Condong Catur, Gejayan, Yogyakarta

Tanggal : 17 Juni 2013

Titik : BH1

5



No. Sieve	Ukuran Butiran	Berat Tertahan	Berat Lolos	Prosen
4	4,750	1,0	99,0	99,00
10	2,000	1,1	97,9	97,94
20	0,850	5,6	92,33	92,33
40	0,425	10,3	82	82,00
60	0,250	9,8	72,17	72,17
140	0,106	19,9	52,23	52,23
200	0,075	3,8	48,44	48,44
Pan		48,44		



ANALISA BUTIRAN

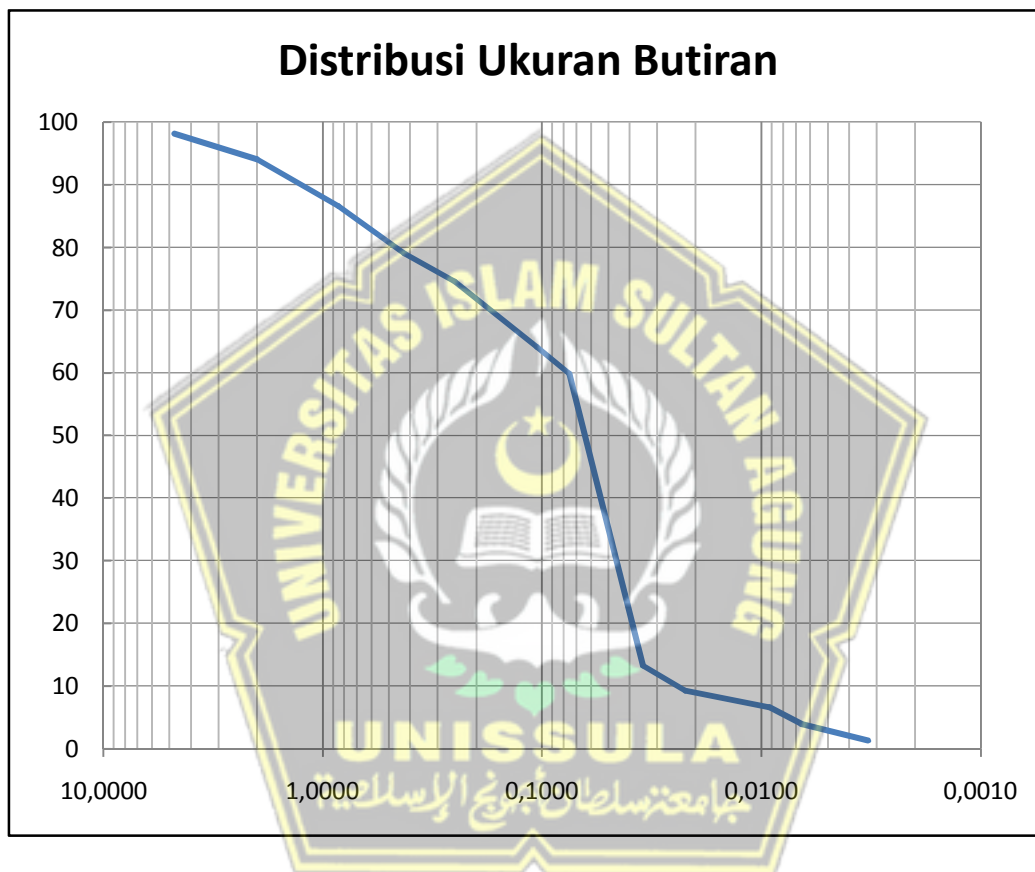
Proyek : Star Condotel

Lokasi : Condong Catur, Gejayan, Yogyakarta

Tanggal : 17 Juni 2013

Titik : BH1

15



No. Sieve	Ukuran Butiran	Berat Tertahan	Berat Lolos	Prosen
4	4,750	1,8	98,2	98,18
10	2,000	4,1	94,0	94,03
20	0,850	7,4	86,6	86,62
40	0,425	7,6	79,1	79,05
60	0,250	4,5	74,5	74,51
140	0,106	10,4	64,11	64,11
200	0,075	4,3	59,9	59,86
Pan		59,9		

DOKUMENTASI
“STAR CONDOTEK”
Condongcatur, Gejayan, Yogyakarta





YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

DOSEN PENGUJI
SEMINAR TUGAS AKHIR

Hari
Tanggal
Jam

Selasa
27 Juli 2021
09.00 WIB

Judul Tugas Akhir

Perencanaan struktur gedung ketidakberaturan pada apartemen 12 lantai

1	Nugroho Adi Purnomo	30201700139	1	
2	Rizaldhy Habibie Firmansyah	30201700159	2	

NO	NAMA	TANDA TANGAN
1	Prof. Dr. Ir. Antonius, MT	1
2	Selvia Agustina, ST, M.Eng	2
3	Lisa Fitriyana, ST, M.Eng	3

Semarang, 27 Juli 2021
Ketua Program Studi Teknik Sipil

M Rusli Ahyar, ST, M.Eng
NIK. 210216089



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

JUDUL TUGAS AKHIR DALAM BAHASA INGGRIS

Hari
Tanggal
Jam

Selasa
27 Juli 2021
09.00 WIB

Judul Tugas Akhir

Perencanaan struktur gedung ketidakberaturan pada apartemen 12 lantai

0

0

JUDUL TUGAS AKHIR DALAM BAHASA INGGRIS

Structural planning of irregular building at 12 floor apartment

1	Nugroho Adi Purnomo	30201700139	1	
2	Rizaldhy Habibie Firmansyah	30201700159	2	

Pembimbing Tugas Akhir

NO	NAMA	TANDA TANGAN	
1	Prof. Dr. Ir. Antonius, MT	1	
2	Selvia Agustina, ST, M.Eng	2	

Semarang, 27 Juli 2021
Ketua Program Studi Teknik Sipil

M Rusli Ahyar, ST, M.Eng
NIK. 210216089



Nomor : 25 / A.2 / SA - T / VII / 2021

Pada hari ini, Selasa Tanggal 27 Juli 2021 telah dilaksanakan

Seminar Tugas Akhir, dengan peserta sebagai berikut :

1 Nama	Nugroho Adi Purnomo	30201700139
2 Nama	Rizaldhy Habibie Firmansyah	30201700159

Judul TA Perencanaan struktur gedung ketidakberaturan pada apartemen 12 lantai
0
0

Dengan Hasil : **Baik, perbaiki sesuai koreksi seminar.**
:
:
:

Demikian Berita Acara Seminar Tugas Akhir ini dibuat untuk diketahui dan digunakan seperlunya.

Dosen Pembimbing I


Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

Dosen Pembimbing II


Selvia Agustina, ST, M.Eng

Dosen Pembimbing


Lisa Fitriyana, ST, M.Eng

Mengetahui ,
Ketua Program Studi Teknik Sipil


M Rusli Anyar, ST, M.Eng



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

DAFTAR HADIR
SEMINAR TUGAS AKHIR
MAHASISWA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG

Hari : Selasa.....
Tanggal : 27 Juli 2021.....
Tempat : Ruang Seminar Lantai 2 Fakultas Teknik

NO	NAMA	NIM	TANDA TANGAN
1	Nugrho Adi Purnomo	30201700139	1
2	Rizaldhy Habibie Firmansyah	30201700159	2
3			3
4			4
5			5
6			6
7			7
8			8
9			9
10			10
11			11
12			12
13			13
14			14
15			15
16			16
17			17
18			18
19			19
20			20
MENGETAHUI			
DOSEN PENGUJI		DOSEN PENGUJI	
... Prof. Dr. Ir. Antonius, MT.....		 Selvia Agustina, ST, M. Eng...	



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

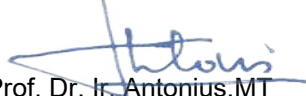
Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM : Nugroho Adi Purnomo / 30201700139
Rizaldhy Habibie Firmansyah / 30201700159
Hari / Tanggal : Selasa, 27 Juli 2021
Judul TA : PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KETIDAKBERATURAN
: PADA APARTMEN 12 LANTAI

NO	
1	Abstrak
2	Revisi judul (Perencanaan struktur gedung ketidakberaturan pada apartemen 12 lantai)
3	
4	
5	

DOSEN PENGUJI



Prof. Dr. Ir. Antonius, MT



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

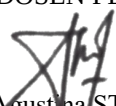
Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM : Nugroho Adi Purnomo / 30201700139
Rizaldhy Habibie Firmansyah / 30201700159
Hari / Tanggal : Selasa, 27 Juli 2021
Judul TA : PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KETIDAKBERATURAN
: PADA APARTEMEN 12 LANTAI

NO	
1	Presentasi : - Tambah Gambar, Tulisan terlalu kecil - Ouput gambar - Kesimpulan
2	Pondasi = Denah kolom pondasi
3	Laporan = - Abstrak (Keyword) - Kesimpulan dicocokkan dengan tujuan
4	
5	

DOSEN PENGUJI



..... Selvia Agustina, ST, M. Eng



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM : Nugroho Adi Purnomo / 30201700139
Rizaldhy Habibie Firmansyah / 30201700159
Hari / Tanggal : Selasa, 27 Juli 2021
Judul TA : PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KETIDAKBERATURAN
: PADA APARTEMEN 12 LANTAI

NO	
1	Presentasi : - Gambar pada perencanaan (ppt) - Revisi judul - Bebas Plagiat cukup 1 lembar - Abstrak (menjelaskan metode) - Sumber (hal.32)
2	Bab 4 Keterangan rumus (persamaan berapa)
3	Bab 5 lebih di rapikan (terlalu panjang)
4	
5	

DOSEN PENGUJI



..... Lisa Fitriana, ST, M. Eng

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KETIDAKBERATURAN PADA APARTEMEN 12 LANTAI

ORIGINALITY REPORT

20%
SIMILARITY INDEX

19%
INTERNET SOURCES

1%
PUBLICATIONS

7%
STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	qdoc.tips Internet Source	5%
2	www.scribd.com Internet Source	2%
3	pt.scribd.com Internet Source	1%
4	docplayer.info Internet Source	1%
5	www.slideshare.net Internet Source	1%
6	core.ac.uk Internet Source	1%
7	idoc.pub Internet Source	1%
8	Submitted to Politeknik Negeri Bandung Student Paper	1%
9	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	1%

10	id.123dok.com Internet Source	1 %
11	lib.unnes.ac.id Internet Source	<1 %
12	www.coursehero.com Internet Source	<1 %
13	Submitted to Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya Student Paper	<1 %
14	id.scribd.com Internet Source	<1 %
15	docobook.com Internet Source	<1 %
16	123dok.com Internet Source	<1 %
17	lppm-unissula.com Internet Source	<1 %
18	repositori.umsu.ac.id Internet Source	<1 %
19	es.scribd.com Internet Source	<1 %
20	herbycalvinpascal.files.wordpress.com Internet Source	<1 %
21	text-id.123dok.com Internet Source	

<1 %

22 [adoc.pub](#)
Internet Source

<1 %

23 [e-journal.uajy.ac.id](#)
Internet Source

<1 %

24 [edoc.pub](#)
Internet Source

<1 %

25 [repository.umsu.ac.id](#)
Internet Source

<1 %

26 [download.garuda.ristekdikti.go.id](#)
Internet Source

<1 %

27 Submitted to Universitas Gunadarma
Student Paper

<1 %

28 [library.universitaspertamina.ac.id](#)
Internet Source

<1 %

29 [eprints.itn.ac.id](#)
Internet Source

<1 %

30 [jurnal.umj.ac.id](#)
Internet Source

<1 %

31 [repository.unissula.ac.id](#)
Internet Source

<1 %

32 [www.ruang-sipil.com](#)
Internet Source

<1 %

33	ejournal.unsrat.ac.id Internet Source	<1 %
34	journal.uwks.ac.id Internet Source	<1 %
35	Submitted to California State University, Fresno Student Paper	<1 %
36	civilejournal.org Internet Source	<1 %
37	Submitted to Technological Institute of the Philippines Student Paper	<1 %
38	Submitted to Anadolu University Student Paper	<1 %
39	Aswin Andre Atmaka. "EVALUATION OF STRUCTURAL PERFORMANCE OF INSTALLATION BUILDING AND INPATIENT WARD IN DISTRICT HOSPITAL OF WATES USING SOFTWARE SAP-2000", Inersia: Jurnal Teknik Sipil, 2020 Publication	<1 %
40	G.J. Padondan, S. Ramadhani. "Kajian Penerapan Fondasi Sumuran Pada Jembatan Pombeve di Kabupaten Sigi Sulawesi Tengah", REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development, 2020 Publication	<1 %

41

Submitted to Fakultas Ekonomi dan Bisnis
Universitas Gadjah Mada

Student Paper

<1 %

42

Submitted to Program Pascasarjana
Universitas Negeri Yogyakarta

Student Paper

<1 %

43

eprints.umm.ac.id

Internet Source

<1 %

44

repositori.usu.ac.id

Internet Source

<1 %

45

repository.untag-sby.ac.id

Internet Source

<1 %

46

Submitted to Shinas College of Technology

Student Paper

<1 %

47

de.slideshare.net

Internet Source

<1 %

48

repository.ummat.ac.id

Internet Source

<1 %

49

Singgih Subagyo. "PENGUNAAN PROGRAM
KOMPUTER PADA GEDUNG BERTINGKAT
MENGUNAKAN PAKET PROGRAM SANSPRO
V 4,7", CivETech, 2020

Publication

<1 %

50

eprints.walisongo.ac.id

Internet Source

<1 %

51	mahasiswa.yai.ac.id Internet Source	<1 %
52	repository.upi.edu Internet Source	<1 %
53	sinta.unud.ac.id Internet Source	<1 %
54	www.sukup.com Internet Source	<1 %
55	pt.slideshare.net Internet Source	<1 %
56	repository.ub.ac.id Internet Source	<1 %
57	repository.utu.ac.id Internet Source	<1 %



Exclude quotes On

Exclude matches

< 5 words

Exclude bibliography On

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KETIDAKBERATURAN PADA APARTEMEN 12 LANTAI

GRADEMARK REPORT

FINAL GRADE

/0

GENERAL COMMENTS

Instructor

PAGE 1

PAGE 2

PAGE 3

PAGE 4

PAGE 5

PAGE 6

PAGE 7

PAGE 8

PAGE 9

PAGE 10

PAGE 11

PAGE 12

PAGE 13

PAGE 14

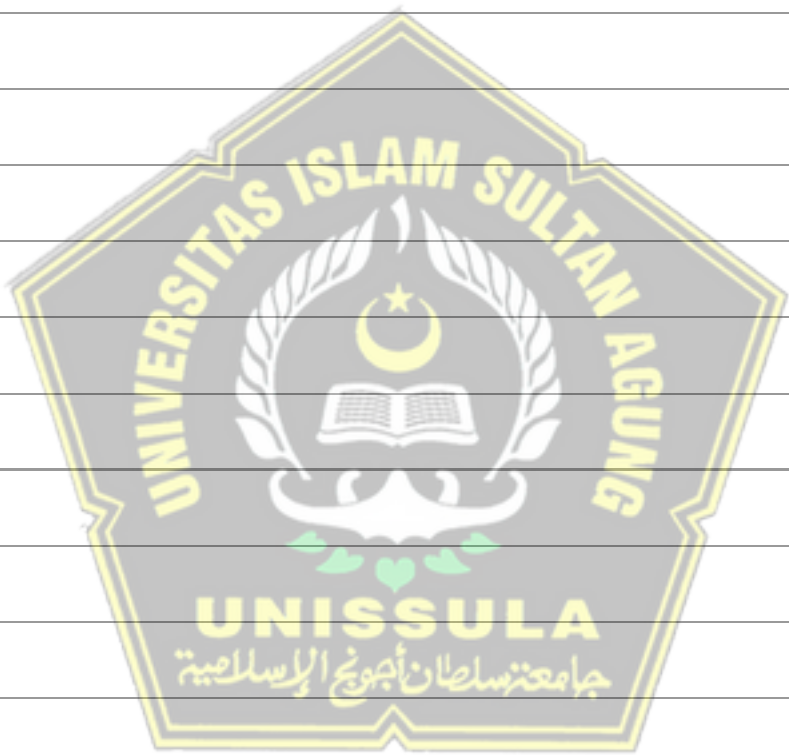
PAGE 15

PAGE 16

PAGE 17

PAGE 18

PAGE 19



PAGE 20

PAGE 21

PAGE 22

PAGE 23

PAGE 24

PAGE 25

PAGE 26

PAGE 27

PAGE 28

PAGE 29

PAGE 30

PAGE 31

PAGE 32

PAGE 33

PAGE 34

PAGE 35

PAGE 36

PAGE 37

PAGE 38

PAGE 39

PAGE 40

PAGE 41

PAGE 42

PAGE 43

PAGE 44

PAGE 45



PAGE 46

PAGE 47

PAGE 48

PAGE 49

PAGE 50

PAGE 51

PAGE 52

PAGE 53

PAGE 54

PAGE 55

PAGE 56

PAGE 57

PAGE 58

PAGE 59

PAGE 60

PAGE 61

PAGE 62

PAGE 63

PAGE 64

PAGE 65

PAGE 66

PAGE 67

PAGE 68

PAGE 69

PAGE 70

PAGE 71



PAGE 72

PAGE 73

PAGE 74

PAGE 75

PAGE 76

PAGE 77

PAGE 78

PAGE 79

PAGE 80

PAGE 81

PAGE 82

PAGE 83

PAGE 84

PAGE 85

PAGE 86

PAGE 87

PAGE 88

PAGE 89

PAGE 90

PAGE 91

PAGE 92

PAGE 93

PAGE 94

PAGE 95

PAGE 96

PAGE 97



PAGE 98

PAGE 99

PAGE 100

PAGE 101

PAGE 102

PAGE 103

PAGE 104

PAGE 105

PAGE 106

PAGE 107

PAGE 108

PAGE 109

PAGE 110

PAGE 111

PAGE 112

PAGE 113

PAGE 114

PAGE 115

PAGE 116

PAGE 117

PAGE 118

PAGE 119

PAGE 120

PAGE 121

PAGE 122

PAGE 123



PAGE 124

PAGE 125

PAGE 126

PAGE 127

PAGE 128

PAGE 129

PAGE 130

PAGE 131

PAGE 132

PAGE 133

PAGE 134

PAGE 135

PAGE 136

PAGE 137

PAGE 138

PAGE 139

PAGE 140

PAGE 141

PAGE 142

PAGE 143

PAGE 144

PAGE 145

PAGE 146

PAGE 147

PAGE 148

PAGE 149



PAGE 150

PAGE 151

PAGE 152

PAGE 153

PAGE 154

PAGE 155

PAGE 156

PAGE 157

PAGE 158

PAGE 159

PAGE 160

PAGE 161

PAGE 162

PAGE 163

PAGE 164

PAGE 165

PAGE 166

PAGE 167

PAGE 168

PAGE 169

PAGE 170

PAGE 171

PAGE 172

PAGE 173

PAGE 174

PAGE 175



