

TUGAS AKHIR

ANALISIS PERILAKU KOLOM STRUKTUR PIPIH DAN KOLOM PERSEGI PADA BANGUNAN BERTINGKAT MENGUNAKAN ETABS DAN SPCOLUMN

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



Disusun Oleh :

Aryandhika Putra S.

NIM : 30202300242

Firdian Muhtar Yusuf

NIM : 30202300245

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

2025

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PERILAKU KOLOM STRUKTUR PIPIH
DAN KOLOM PERSEGI PADA BANGUNAN BERTINGKAT
MENGUNAKAN ETABS DAN SPCOLUMN



Aryandhika Putra S.
NIM : 30202300242

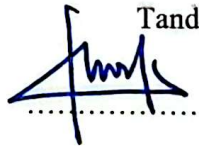


Firdian Muhtar Yusuf
NIM : 30202300245

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 15 Agustus 2025

Tim Penguji

1. **Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.**
NIDN: 0625059102
2. **Prof. Dr. Ir. Antonius, M.T.**
NIDN: 0605046703

Tanda Tangan




Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung



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

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: IG / A.2 / SA - T / VIII / 2025

Pada hari ini tanggal 19 Agustus 2025 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

Nama : Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.,
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing

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

Aryandhika Putra S.
NIM : 30202300242

Firdian Muhtar Yusuf
NIM : 30202300245

Judul : Analisis Perilaku Kolom Struktur Pipih dan Kolom Persegi Pada Bangunan Bertingkat Menggunakan Etabs dan Spcolumn

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	21 April 2025	
2	Seminar Proposal	28 Juni 2025	ACC
3	Pengumpulan data	30 Juni 2025	
4	Analisis data	15 Juli 2025	
5	Penyusunan laporan	30 Juli 2025	
6	Selesai laporan	15 Agustus 2025	ACC

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

Ketua Program Studi Teknik Sipil



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

Dosen Pembimbing



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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Aryandhika Putra S.

NIM : 30202300242

NAMA : Firdian Muhtar Yusuf

NIM : 30202300245

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

“ANALISIS PERILAKU KOLOM STRUKTUR PIPIH DAN KOLOM PERSEGI
PADA BANGUNAN BERTINGKAT MENGGUNAKAN ETABS DAN
SPC COLUMN”

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, 15 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan,



Aryandhika Putra S.

NIM : 30202300242

Firdian Muhtar Yusuf

NIM : 30202300245

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Aryandhika Putra S.

NIM : 30202300242

NAMA : Firdian Muhtar Yusuf

NIM : 30202300245

JUDUL TUGAS AKHIR : ANALISIS PERILAKU KOLOM STRUKTUR
PIPIH DAN KOLOM PERSEGI PADA BANGUNAN BERTINGKAT
MENGUNAKAN ETABS DAN SPCOLUMN

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, 15 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan,

The image shows two handwritten signatures in black ink. Between the signatures is a yellow rectangular stamp with a red border. The stamp features the Garuda Pancasila emblem at the top, the word 'METERAI' in the center, and the number '10000' in large digits. Below the number is the serial number '7201CAMX447662627'.

Aryandhika Putra S.

NIM : 30202300242

Firdian Muhtar Yusuf

NIM : 30202300245

MOTTO

Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia (selama) kamu menyuruh (berbuat) yang makruf, mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Seandainya Ahlulkitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman dan kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik. (Q.S. Ali Imron : 110)

Sapere Aude: Beranilah berpikir mandiri, mencari ilmu dengan keberanian intelektual, dan membebaskan diri dari ketergantungan pikiran orang lain demi kemajuan dan kebenaran.



PERSEMBAHAN

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

1. Keluarga besar terutama orang tua tercinta, yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dan dukungan tiada henti.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Utama, atas bimbingan, arahan, dan masukan berharga sepanjang proses penulisan.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT., selaku Dosen Pembimbing Pendamping, atas saran teknis dan dukungan ilmiah yang sangat berarti.
4. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Sipil Angkatan Kelas Sore UNISSULA, yang selalu siap berbagi ilmu, pengalaman, dan tawa dalam setiap langkah studi.
5. Seluruh civitas akademika Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung, atas ilmu dan fasilitas yang telah penulis manfaatkan selama menempuh Pendidikan.
6. Sahabat-sahabatku, yang dengan setia menemani, menyemangati, dan menghibur penulis di kala susah maupun senang.
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, atas segala bantuan tersurat maupun tersirat dalam penyusunan skripsi ini.

Semoga persembahan ini menjadi ungkapan syukur dan penghargaan penulis kepada seluruh pihak yang terlibat.

Aryandhika Putra S.

NIM : 30202300242

PERSEMBAHAN

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

1. Keluarga besar terutama orang tua tercinta, yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dan dukungan tiada henti.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Utama, atas bimbingan, arahan, dan masukan berharga Ssepanjang proses penulisan.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT., selaku Dosen Pembimbing Pendamping, atas saran teknis dan dukungan ilmiah yang sangat berarti.
4. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Sipil Angkatan Kelas Sore UNISSULA, yang selalu siap berbagi ilmu, pengalaman, dan tawa dalam setiap langkah studi.
5. Seluruh civitas akademika Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung, atas ilmu dan fasilitas yang telah penulis manfaatkan selama menempuh Pendidikan.
6. Sahabat-sahabatku, yang dengan setia menemani, menyemangati, dan menghibur penulis di kala susah maupun senang.
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, atas segala bantuan tersurat maupun tersirat dalam penyusunan skripsi ini.

Semoga persembahan ini menjadi ungkapan syukur dan penghargaan penulis kepada seluruh pihak yang terlibat.

Firdian Muhtar Yusuf

NIM : 30202300245

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullāhi wabarakātuh.

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Analisis Perilaku Kolom Struktur Pipih dan Kolom Persegi pada Bangunan Bertingkat Menggunakan Etabs dan Spcolumn**” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

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

1. Ucapan terima kasih diurutkan dari yang memiliki jabatan tertinggi hingga yang paling rendah. Contohnya bisa dilihat sebagai berikut.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
3. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT., selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

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

Semarang, 15 Agustus 2025

Penulis

DAFTAR ISI

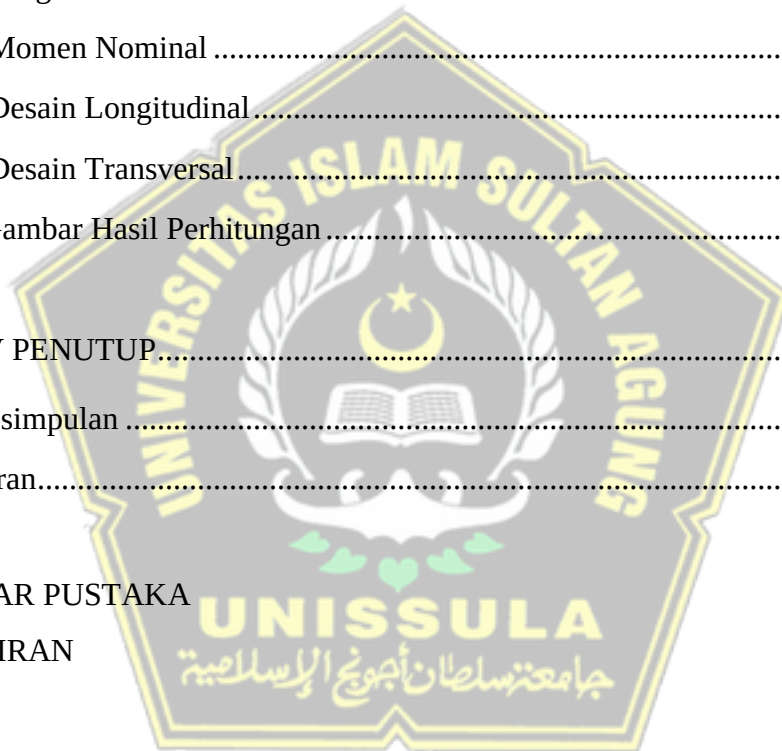
LEMBAR PENGESAHAN	iii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	v
PERNYATAAN KEASLIAN.....	vi
MOTTO.....	vii
PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xx
ABSTRAK.....	xxiii
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1. Pengaturan Utama	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
1.5. Batasan Masalah.....	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1. Struktur.....	5
2.2. Kolom.....	5
2.2.1. Kolom Persegi.....	6
2.2.2. Kolom Pipih	6
2.3 Beban pada Bangunan.....	7
2.3.1. Beban Mati (D)	7
2.3.2. Beban Hidup (L)	8

2.3.3. Beban Mati (Seismic Load)	8
2.4. Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan	9
2.4.1. Kombinasi Pembebanan Terfaktor.....	9
2.4.2. Kombinasi dan Pengaruh Gempa.....	9
2.5. Konsep Dasar Desain Struktur Tahan Gempa	9
2.5.1. Kategori Resiko Bangunan	9
2.5.2. Klasifikasi Situs	10
2.5.3. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Tertarget.....	10
2.5.4. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Desain	11
2.5.5. Spektrum Respon Desain (Design Response Spectrum)	11
2.5.6. Periode Fundamental Pendekatan	12
2.5.7. Kategori Desain Seismik.....	12
2.5.8. Analisis Spektrum Respon Ragam.....	13
2.6. Analisis Dinamik dan Pembebanan Seismik.....	13
2.6.1. Partisipasi Massa.....	13
2.6.2. Distribusi Vertikal Gaya Seismik.....	14
2.6.3. Kombinasi Sistem Perangkai dalam Arah yang Berbeda	15
2.6.4. Geser Dasar Seismik	15
2.6.5. Eksetrisitas dan Torsi	15
2.6.6. Pengaruh P-Delta	16
2.6.7. Simpangan Antar Lantai	17
2.7. Desain Detil Sambungan dan Mekanisme Runtuh.....	17
2.7.1. Hubungan Balok Kolom (joint) pada SRPMK	17
2.7.2. Strong Column Weak Beam.....	18
2.8. Ketidakberaturan Struktur.....	19
2.8.1. Horizontal.....	19
2.8.2. Vertikal.....	20
2.9. Aplikasi Perangkat Lunak untuk Analisis Desain.....	21
2.9.1. Software Etabs	21

2.9.2. Software Sp Column	22
2.9.3. Software Excell	22
2.10. Penelitian Terdahulu	23
2.10.1. Iona Violeta, 2023.....	23
2.10.2. Abdullah Indra Pratama & Eka Susanti, 2021	24
2.10.3. Iona Violeta, 2024.....	24
2.10.4. Teddy Irawan & Ikahariya Pratiwi Matra, 2024	25
2.10.5. Ni Luh Putu Anisya Wandini, 2023	26
2.10.6. Shanti Wahyuni Megasari dkk, 2020	27
 BAB III METODE PENELITIAN.....	28
3.1. Pemodelan Penelitian.....	28
3.2. Data Sekunder	28
3.3. Metode Analisis Data.....	29
3.4. Diagram Alir Proses Penelitian.....	33
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1. Deskripsi Bangunan	34
4.1.1. Dimensi Bangunan.....	34
4.1.2. Spesifikasi Material.....	35
4.2. Analisa Struktur dengan ETABS Versi 20.2.0	35
4.2.1. Pemodelan Stuktur Atas dengan Desain Kolom Persegi dan Pipih	35
4.2.2. Perhitungan Pembebanan.....	39
4.2.3. Model Initialization.....	40
4.2.4. Grid System Data	40
4.2.5. Input Material Properties.....	41
4.2.6. Input Frame Section	42
4.2.7. Hasil Pemodelan.....	45
4.2.8. Input Load Pattern.....	46

4.2.9. Input Respons Spectrum	46
4.2.10. Input load cases	47
4.2.11. Input kombinasi beban	48
4.2.12. Analisa Beban Gempa.....	49
4.2.13. Input Beban Hidup dan Beban Mati.....	58
4.2.14. Runing Pemodelan	59
4.2.15. Cek Deformed Shape Mode	60
4.2.16. Cek Concrete Design.....	63
4.3. Input Gaya Dalam Aksial dan Lentur dari ETABS ke Excell	69
4.4. Cek Ketidakberaturan Stuktur.....	71
4.4.1. Horizontal.....	71
4.4.2. Vertikal.....	74
4.5. Cek Simpangan Antar Lantai.....	79
4.5.1. Batas Izin Simpangan Elastik.....	79
4.5.2. Faktor Redundansi	79
4.5.3. Batas Simpangan Inelastik	79
4.5.4. Ekstraksi Data Perpindahan Tiap Tingkat.....	80
4.5.5. Perhitungan Drift Tiap Tingkat.....	80
4.6. Cek pengaruh P-Delta	81
4.6.1. Rumus Koefisien Stabilitas.....	81
4.6.2. Langkah Perhitungan P-Delta di ETABS	82
4.6.3. Hasil Perhitungan.....	83
4.7. Analisa Kolom dengan spColumn	84
4.7.1. Input General Information.....	84
4.7.2. Input Material Properties.....	85
4.7.3. Input Rectangular Section	86
4.7.4. Input Penulangan.....	86
4.7.5. Input beban dari Data Excell ke spColumn.....	87
4.7.6. Running Pemodelan	88
4.7.7. Cek $\phi M_n \geq M_u$	91

4.8. Analisa Desain Menggunakan Excell	92
4.8.1. Desain Longitudinal	92
4.8.2. Desain Transversal	100
4.9. Perbandingan Hasil Desain dan Analisis	126
4.9.1. Deformed Shaped.....	126
4.9.2. Concrete Design.....	128
4.9.3. Ketidakberaturan Stuktur Vertikal	129
4.9.4. Simpangan Antar Lantai (Story Drift)	129
4.9.5. Pengaruh P-Delta	130
4.9.6. Momen Nominal	131
4.9.7. Desain Longitudinal.....	132
4.9.8. Desain Transversal.....	133
4.10. Gambar Hasil Perhitungan.....	134
 BAB V PENUTUP.....	 135
5.1. Kesimpulan	135
5.2. Saran.....	137
 DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Daftar Berat Bahan Bangunan dan Komponen Gedung	8
Tabel 2. 2. Daftar Beban Hidup Pada Lantai Rumah Tinggal.....	8
Tabel 2. 3. Parameter Ketidakteraturan Struktur dan Strategi Mitigasinya	19
Tabel 2. 4. Parameter Ketidakteraturan Vertikal dan Dampaknya terhadap Kolom serta strategi Mitigasi	20
Tabel 4. 1. Tabel dimensi kolom persegi	34
Tabel 4. 2. Tabel dimensi kolom pipih 150 mm × 1066 mm	34
Tabel 4. 3. Tabel dimensi kolom pipih 200 mm × 800 mm	34
Tabel 4. 4. Tabel dimensi kolom pipih 250 mm × 640 mm	34
Tabel 4. 5. Tabel dimensi kolom pipih 300 mm × 533 mm	35
Tabel 4. 6. Tabel dimensi balok perimeter	35
Tabel 4. 7. Tabel tebal plat lantai	35
Tabel 4. 8. Tabel beban mati tambahan.....	39
Tabel 4. 9. Tabel kombinasi beban.....	48
Tabel 4. 10. Tabel Data Parameter Percepatan Gempa	50
Tabel 4. 11. Tabel Data Parameter Gempa.....	51
Tabel 4. 12. Tabel Data Parameter Struktur	51
Tabel 4. 13. Cek Deformed Shape Mode pada ETABS untuk Kolom persegi 40 cm × 40 cm.....	60
Tabel 4. 14. Cek Deformed Shape Mode pada ETABS untuk Kolom Pipih 150 mm × 1066 mm	61
Tabel 4. 15. Cek Deformed Shape Mode pada ETABS untuk Kolom Pipih 200 mm × 800 mm	62
Tabel 4. 16. Cek Deformed Shape Mode pada ETABS untuk Kolom Pipih 250 mm × 640 mm	62

Tabel 4. 17. Cek Deformed Shape Mode pada ETABS untuk Kolom Pipih 300 mm × 533 mm	63
Tabel 4. 18. Eksport Gaya Dalam Kolom Persegi 400 mm × 400 mm dari ETABS	70
Tabel 4. 19. Eksport Gaya Dalam Kolom Pipih 200 mm × 800 mm dari ETABS	70
Tabel 4. 20. Eksport Gaya Dalam Kolom Pipih 250 mm × 640 mm dari ETABS	70
Tabel 4. 21. Eksport Gaya Dalam Kolom Pipih 300 mm × 533 mm dari ETABS	71
Tabel 4. 22. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Torsi 400 mm x 400 mm	72
Tabel 4. 23. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Torsi 200 mm x 800 mm	72
Tabel 4. 24. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Torsi 250 mm x 640 mm	72
Tabel 4. 25. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Torsi 300 mm x 533 mm	72
Tabel 4. 26. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Sudut Dalam	73
Tabel 4. 27. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma	73
Tabel 4. 28. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak untuk Kolom Persegi 400 mm × 400 mm	74
Tabel 4. 29. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak untuk Kolom Pipih 200 mm × 800 mm	74
Tabel 4. 30. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak untuk Kolom Pipih 250 mm × 640 mm	75
Tabel 4. 31. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak untuk Kolom Pipih 300 mm × 533 mm	75
Tabel 4. 32. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Berat untuk Kolom Persegi 400 mm × 400 mm	75
Tabel 4. 33. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Berat untuk Kolom Pipih 200 mm × 800 mm	76
Tabel 4. 34. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Berat untuk Kolom Pipih 250 mm × 640 mm	76

Tabel 4. 35. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Berat untuk Kolom Pipih 300 mm × 533 mm	76
Tabel 4. 36. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Geometris Vertikal untuk Kolom Persegi 400 mm × 400 mm	76
Tabel 4. 37. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Geometris Vertikal untuk Kolom Pipih 200 mm × 800 mm.....	77
Tabel 4. 38. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Geometris Vertikal untuk Kolom Pipih 250 mm × 640 mm.....	77
Tabel 4. 39. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Geometris Vertikal untuk Kolom Pipih 300 mm × 533 mm.....	77
Tabel 4. 40. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Kekuatan Lateral Tingkat Lemah untuk Kolom Persegi 400 mm × 400 mm	78
Tabel 4. 41. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Kekuatan Lateral Tingkat Lemah untuk Kolom Pipih 200 mm × 800 mm	78
Tabel 4. 42. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Kekuatan Lateral Tingkat Lemah untuk Kolom Pipih 250 mm × 640 mm	78
Tabel 4. 43. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Kekuatan Lateral Tingkat Lemah untuk Kolom Pipih 300 mm × 533 mm	79
Tabel 4. 44. Tabel Perhitungan <i>Drift</i> Tiap Lantai untuk Kolom Persegi 400 mm × 400 mm.....	80
Tabel 4. 45. Tabel Perhitungan <i>Drift</i> Tiap Lantai untuk Kolom Pipih 200 mm × 800 mm.....	80
Tabel 4. 46. Tabel Perhitungan <i>Drift</i> Tiap Lantai untuk Kolom Pipih 250 mm × 640 mm.....	81
Tabel 4. 47. Tabel Perhitungan <i>Drift</i> Tiap Lantai untuk Kolom Pipih 300 mm × 533 mm.....	81
Tabel 4. 48. Perhitungan P-Delta Tiap Tingkat untuk Kolom Persegi 400 mm × 400 mm.....	83
Tabel 4. 49. Perhitungan P-Delta Tiap Tingkat untuk Kolom Pipih 200 mm × 800 mm.....	83

Tabel 4. 50. Perhitungan P-Delta Tiap Tingkat untuk Kolom Pipih 250 mm × 640 mm.....	83
Tabel 4. 51. Perhitungan P-Delta Tiap Tingkat untuk Kolom Pipih 300 mm × 533 mm.....	84
Tabel 4. 52. Tabel output analisis Kolom Persegi 400 mm × 400 mm dari spColumn	91
Tabel 4. 53. Tabel output analisis Kolom Persegi 300 mm × 533 mm dari spColumn	92
Tabel 4. 54. Tabel Ringkasan Properti Material, Penampang, dan Hasil Pengecekan Desain Kolom (Axial–Lentur & Strong-Column Weak-Beam) untuk Kolom Persegi 400 mm × 400 mm	95
Tabel 4. 55. Tabel Ringkasan Properti Material, Penampang, dan Hasil Pengecekan Desain Kolom (Axial–Lentur & Strong-Column Weak-Beam) untuk Kolom Persegi 300 mm × 533 mm	99



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1. Pemodelan Kolom Persegi Ukuran 400 mm x 400 mm	29
Gambar 3. 2. Pemodelan Kolom Persegi Ukuran 300 mm x 533,3 mm	30
Gambar 3. 3. Pemodelan Kolom Persegi Ukuran 250 mm x 640 mm	30
Gambar 3. 4. Pemodelan Kolom Persegi Ukuran 200 mm x 800 mm	30
Gambar 3. 5. Pemodelan Kolom Persegi Ukuran 150 mm x 1066,6 mm	31
Gambar 4. 1. Denah kolom persegi 400 mm × 400 mm	36
Gambar 4. 2. Potongan pada grid kolom persegi 400 mm × 400 mm.....	36
Gambar 4. 3. Denah kolom pipih 150 mm × 1066 mm.....	36
Gambar 4. 4. Potongan pada grid kolom pipih 150 mm × 1066 mm	37
Gambar 4. 5. Denah kolom pipih 200 mm × 800 mm.....	37
Gambar 4. 6. Potongan pada grid kolom pipih 200 mm × 800 mm	37
Gambar 4. 7. Denah kolom pipih 250 mm × 640 mm.....	38
Gambar 4. 8. Potongan pada grid kolom pipih 250 mm × 640 mm	38
Gambar 4. 9. Denah kolom pipih 300 mm × 533 mm.....	38
Gambar 4. 10. Potongan pada grid kolom pipih 300 mm × 533 mm	39
Gambar 4. 11. Tampilan menu <i>Model Initialization</i> pada ETABS	40
Gambar 4. 12. Menentukan Model Awal	40
Gambar 4. 13. <i>Input</i> Mutu Beton.....	41
Gambar 4. 14. <i>Input</i> Mutu Besi Tulangan.....	42
Gambar 4. 15. <i>Input</i> Balok	42
Gambar 4. 16. <i>Input stiffness</i> Modifikasi <i>Factors</i> Balok	42
Gambar 4. 17. <i>Input</i> Kolom.....	43
Gambar 4. 18. <i>Input stiffness</i> Modifikasi <i>Factors</i> Kolom.....	43
Gambar 4. 19. <i>Input</i> Pelat Lantai	44
Gambar 4. 20. <i>Input stiffness</i> Modifikasi <i>Factors</i> Pelat.....	44
Gambar 4. 21. Denah Lantai 1 - 4	45

Gambar 4. 22. Perspektif 3D Rumah Tinggal 4 Lantai	45
Gambar 4. 23. <i>Input load pattern</i>	46
Gambar 4. 24. <i>Input Respons Spectrum</i>	46
Gambar 4. 25. Spektrum respon desain RSA	47
Gambar 4. 26. <i>Input load cases</i>	47
Gambar 4. 27. Periode Modal ETABS	52
Gambar 4. 28. Rasio Massa Partisipasi pada Setiap Moda untuk Kolom Persegi 400 mm × 400 mm	52
Gambar 4. 29. Rasio Massa Partisipasi pada Setiap Moda untuk Kolom Persegi 300 cm × 533 mm	53
Gambar 4. 30. Beban Hidup 1,92 kN/m ² Ruang Pribadi Rumah Tinggal	58
Gambar 4. 31. Beban Mati Tambahan 1,55 kN/m ²	59
Gambar 4. 32. Beban Mati Tambahan Dinding	59
Gambar 4. 33. Hasil Runnig Pemodelan	60
Gambar 4. 34. Model Struktur Kolom Persegi 400 mm × 400 mm tiap Grid	65
Gambar 4. 35. Model Struktur Kolom Pipih 150 mm × 1066 mm tiap Grid	66
Gambar 4. 36. Model Struktur Kolom Pipih 200 mm × 800 mm tiap Grid	67
Gambar 4. 37. Model Struktur Kolom Pipih 250 mm × 640 mm tiap Grid	68
Gambar 4. 38. Model Struktur Kolom Pipih 300 cm × 533 mm Tiap Grid	69
Gambar 4. 39. Input General Information kolom persegi pada SP Column	85
Gambar 4. 40. Input Material Properties kolom persegi pada SP Column	85
Gambar 4. 41. Input dimensi kolom persegi pada SP Column	86
Gambar 4. 42. Input penulangan kolom persegi 400 mm × 400 mm dan kolom 300 mm × 533 mm pada SP Column	87
Gambar 4. 43. Input beban dari data Excel ke SP Column, untuk yang kiri kolom 400 mm × 400 mm dan untuk yang kanan kolom 300 mm × 533 mm	88
Gambar 4. 44. Visualisasi 2D interaction surface Kolom Persegi 400 mm × 400 mm dari SP Column	89
Gambar 4. 45. Visualisasi 3D interaction surface Kolom Persegi 400 mm × 400 mm dari SP Column	90

Gambar 4. 46. Visualisasi 2D interaction surface Kolom Persegi 300 mm × 533 mm dari SP Column.....	91
Gambar 4. 47. Visualisasi 3D interaction surface Kolom Persegi 300 mm × 533 mm dari SP Column.....	91
Gambar 4. 48. Gambar Desain Kolom Persegi 400 mm × 400 mm.....	134
Gambar 4. 49. Gambar Desain Kolom Pipih 300 mm × 533 mm	134



ANALISIS PERILAKU KOLOM STRUKTUR PIPIH DAN KOLOM PERSEGI PADA BANGUNAN BERTINGKAT MENGUNAKAN ETABS DAN SPCOLUMN

ABSTRAK

Penelitian ini mengevaluasi dan membandingkan perilaku kolom persegi dan kolom pipih dengan luas penampang setara pada bangunan 4 lantai berdenah 16×16 m. Aspek yang dikaji mencakup story drift, gaya dalam aksial lentur, efek P-Delta, serta ketidakberaturan struktur mengacu SNI.

Pemodelan global dilakukan di ETABS; kapasitas penampang diverifikasi dengan SpColumn; perhitungan drift/P-Delta/ketidakberaturan dirangkum pada lembar kerja. Respons spektrum lokasi BSD (kelas situs SC) diadopsi sebagai beban gempa. Dua alternatif dibandingkan: kolom persegi 400×400 mm dan kolom pipih 300×533 mm; keduanya kemudian diverifikasi hingga tahap desain.

Kedua alternatif memenuhi persyaratan kode: tidak teridentifikasi ketidakberaturan vertikal, simpangan antarlantai aman, dan efek P-Delta kecil. Secara perilaku, kolom persegi menunjukkan respons lateral yang lebih simetris sehingga distribusi momen geser merata dan kebutuhan kekangan relatif sederhana. Kolom pipih diwakili ukuran 300×533 mm tetap aman namun anisotropik (ada arah pengendali yang jelas), sehingga membutuhkan detailing lebih intensif. Hal ini tercermin pada kebutuhan tulangan kolom persegi memakai 12D19 dengan sengkang 3D10-100 (tumpuan) dan 2D10-100 (lapangan), sedangkan kolom pipih memerlukan 16D19 dengan sengkang 2D10-75 (sumbu lemah) dan 3D10-75 (sumbu kuat) di tumpuan serta 2D10-100 di lapangan. Dengan demikian, kolom pipih layak dipilih bila menuntut profil yang lebih ramping dari sisi arsitektural, sementara kolom persegi menawarkan perilaku yang lebih seimbang dan detailing yang sederhana.

Kata Kunci: efek P-Delta; ketidakberaturan struktur; kolom persegi; kolom pipih; story drift.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Pengaturan Utama

Dalam pembangunan rumah tinggal bertingkat, pemanfaatan setiap meter persegi ruang menjadi sangat penting demi menunjang fungsi ruang, kemudahan pengaturan *interior*, serta kenyamanan penghuni dalam beraktivitas. Untuk menjawab kebutuhan efisiensi tata ruang tersebut, banyak arsitek kini memilih menggunakan kolom pipih sebagai solusi desain. Kolom pipih, yang memiliki dimensi memanjang dalam satu arah dan relatif tipis pada arah lainnya, umumnya diaplikasikan di sepanjang sisi dinding agar tidak mengganggu ruang gerak maupun fungsi interior. Pada proyek rumah tinggal yang mengutamakan estetika dan kelapangan ruang, penggunaan kolom pipih semakin menjadi pilihan, meskipun pemahaman tersebut masih terbatas di kalangan masyarakat awam maupun sebagian pelaku konstruksi.

Dari sisi struktural, kolom pipih tetap dapat memenuhi kebutuhan kekuatan tekan aksial dan menahan momen lentur asalkan dirancang dan dihitung dengan tepat. Dengan demikian, kolom pipih mampu menjawab kebutuhan arsitektural tanpa mengabaikan fungsi struktural bangunan. Namun, penggunaan kolom pipih juga menghadirkan tantangan teknis tersendiri yang harus diperhatikan secara serius. Salah satu kelemahan utama kolom pipih adalah kerentanannya terhadap tekuk pada arah sumbu lemah akibat rasio dimensi yang tidak seimbang. Hal ini menyebabkan kinerja kolom pipih terhadap beban lateral, seperti gaya gempa, menjadi kurang optimal dibandingkan dengan kolom berbentuk persegi. Oleh karena itu, diperlukan analisis struktural yang cermat menggunakan perangkat lunak seperti ETABS dan SpColumn guna memastikan kapasitas kolom berada dalam batas aman.

Kesalahan dalam memahami dan merancang kolom pipih dapat berdampak serius terhadap keamanan struktur, terutama pada bangunan yang terletak di wilayah rawan gempa seperti Indonesia. Oleh sebab itu, kajian ilmiah mengenai kinerja dan keamanan kolom pipih sangat diperlukan agar penggunaannya dapat

dilakukan secara tepat dan memenuhi ketentuan teknis dalam desain struktur bangunan bertingkat..

1.2. Rumusan Masalah

1. Seberapa besar perbandingan gaya dalam (*internal force*) kolom antara kolom persegi dan kolom pipih?
2. Bagaimana stabilitas struktur (simpangan antar lantai (*story drift*), Pengaruh P-Delta dan ketidakberaturan struktur) pada bangunan 4 lantai dengan menggunakan kolom penampang persegi dan kolom pipih?
3. Bagaimana desain struktur atas bangunan 4 lantai dengan menggunakan kolom penampang persegi dan kolom pipih yang harus aman terhadap beban vertikal maupun lateral sesuai SNI?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Membandingkan nilai gaya dalam (*internal force*) kolom antara kolom persegi dan kolom pipih.
2. Menganalisis stabilitas struktur (simpangan antar lantai (*story drift*), Pengaruh P-Delta dan ketidakberaturan struktur) pada bangunan 4 lantai dengan menggunakan kolom penampang persegi dan kolom pipih.
3. Merancang struktur atas bangunan 4 lantai dengan menggunakan kolom penampang persegi dan kolom pipih.

1.4. Manfaat Penelitian

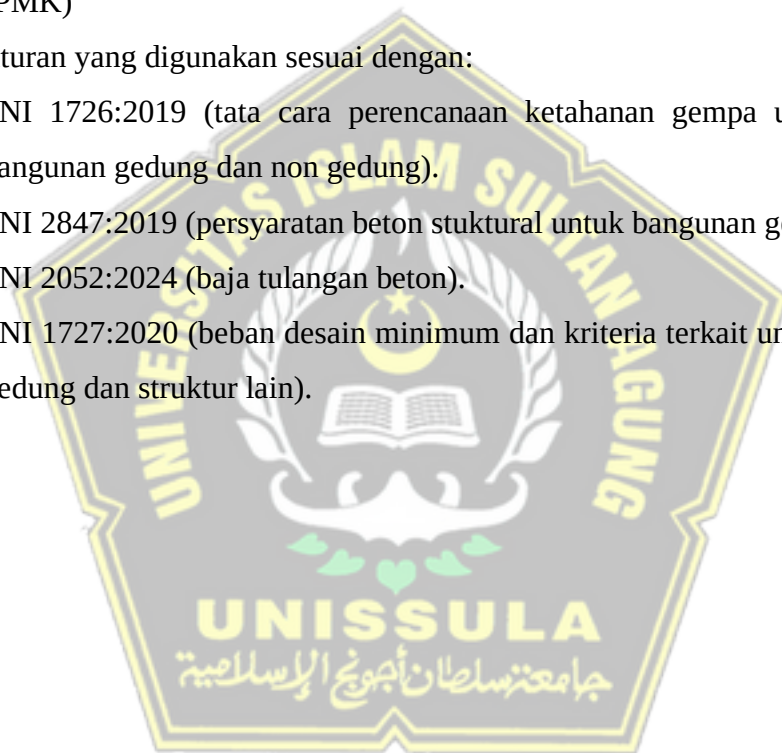
1. Memberi penjelasan kuantitatif tentang dampak penggunaan kolom pipih terhadap stabilitas lateral (*story drift*), efek sekunder akibat beban aksial (P-Delta) serta ketidakberaturan struktur, dengan membandingkan kolom persegi pada bangunan bertingkat rendah.
2. Menyediakan panduan perancangan kolom pipih agar luasan penampang efektif bisa disamakan dengan kolom persegi tanpa mengorbankan kinerja seismik yang bermanfaat bagi insinyur struktur.

3. Mendukung keputusan arsitektural yang menunjukkan potensi kolom pipih untuk meningkatkan estetika dan efisiensi ruang tanpa kompromi signifikan pada keamanan

1.5. Batasan Masalah

1. Pemodelan struktur difokuskan pada bangunan 4 lantai, menggunakan sistem struktur rangka beton bertulang.
2. Parameter gempa berdasarkan respons spektrum berlokasi di BSD, Serpong, Tangerang:
 - a. Lokasi koordinat pemodelan berada pada Lintang -6,3139 dan Bujur 106,6525.
 - b. Berdasarkan peta gempa BMKG dan SNI 1726:2019, lokasi berada pada Kelas Situs SC.
 - c. Parameter respons spektral percepatan gempa yang digunakan:
 - 1) $S_s = 0,8910$ g, Spektral percepatan pada periode pendek
 - 2) $S_1 = 0,4310$ g, Spektral percepatan pada periode 1 detik
3. Elemen struktur yang dianalisis terbatas pada komponen kolom dengan luasan 160.000 mm^2 , dengan dua bentuk penampang, yaitu:
 - a. Kolom pipih berbentuk I
 - 1) Ukuran dimensi 150 mm x 1060,6 mm.
 - 2) Ukuran dimensi 200 mm x 800 mm.
 - 3) Ukuran dimensi 250 mm x 640 mm.
 - 4) Ukuran dimensi 300 mm x 533,3 mm.
 - b. Kolom persegi
 - 1) Ukuran dimensi 400 mm x 400 mm.
4. Pembandingan kinerja struktur hanya dilakukan pada struktur atas spesifik kolom. Tidak memperhitungkan struktur pondasi.
5. Kedua jenis kolom dimodelkan pada bangunan dengan bentang antar kolom 4 meter dan tinggi setiap lantai 4 meter.
6. Analisis struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak:
 - a. ETABS untuk pemodelan dan analisis global struktur bangunan.

- b. SpColumn untuk analisis kapasitas kolom secara elemen menggunakan diagram interaksi antara gaya aksial (P_u) dan momen lentur (M_u).
 - c. Microsoft Excel untuk perhitungan manual dan analisis tambahan untuk pengambilan kesimpulan akhir.
7. Beban yang diperhitungkan dalam pemodelan meliputi:
- a. Beban mati.
 - b. Beban hidup.
 - c. Beban gempa respons spektrum Tangerang (Statik/dinamik).
8. Bangunan di desain menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
9. Peraturan yang digunakan sesuai dengan:
- a. SNI 1726:2019 (tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung).
 - b. SNI 2847:2019 (persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung).
 - c. SNI 2052:2024 (baja tulangan beton).
 - d. SNI 1727:2020 (beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain).



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Struktur

Struktur bangunan merupakan rangkaian elemen yang direkayasa untuk memikul beban serta menjaga keutuhan dan stabilitas keseluruhan sistem. Tiga asas pokoknya adalah:

1. Kekuatan: kemampuan elemen kolom, balok, pelat, dan fondasi menahan beban vertikal (berat sendiri dan beban hidup) maupun beban lateral (angin dan gempa).
2. Kestabilan: ketahanan terhadap aksi lateral agar tidak terjadi keruntuhan, kehilangan kestabilan global, atau deformasi berlebih.
3. Keseimbangan: kondisi resultan gaya dan momen mencapai kesetimbangan statik, sehingga tidak menimbulkan perpindahan atau rotasi yang melampaui batas layanan.

Ditinjau dari fungsinya, sistem struktur dibagi menjadi:

1. Struktur atas (*superstructure*): kolom, balok, pelat, dan atap yang menyalurkan beban ke struktur bawah sekaligus memenuhi persyaratan arsitektural, fungsional, dan keekonomian.
2. Struktur bawah (*substructure*): fondasi yang meneruskan beban ke tanah, dengan tipe fondasi dipilih berdasarkan kondisi tanah setempat dan besaran beban yang harus dipikul.

2.2. Kolom

Kolom adalah elemen tekan vertikal pada rangka bangunan yang menyalurkan beban gravitasi dari lantai/atap ke sistem fondasi, sekaligus berperan menahan aksi lateral akibat angin dan gempa. Berdasarkan ACI 318-19, suatu elemen diklasifikasikan sebagai kolom apabila tinggi bersihnya (*clear height*) melebihi tiga kali dimensi penampang terkecil; implikasinya, elemen tersebut harus dirancang untuk kombinasi beban gravitasi dan lateral. Ketentuan sepadan tercantum pada

SNI 2847:2019 dengan penekanan tambahan pada persyaratan daktilitas serta pembatasan kelangsingan agar tidak terjadi penurunan kapasitas akibat tekuk.

Ditinjau dari bentuk penampang, kolom pada bangunan gedung umumnya dikelompokkan menjadi:

1. Kolom persegi (bujur sangkar),
2. Kolom bundar, dan
3. Kolom pipih/berbentuk khusus (misalnya L, T, atau +).

2.2.1. Kolom Persegi

Kolom persegi adalah elemen tekan dengan penampang bujur sangkar atau hampir persegi ($b \approx h$), sehingga kekakuannya relatif seimbang pada kedua sumbu utama penampang dan perilaku global struktur lebih mudah diprediksi. Tipe kolom ini umum dipilih karena memudahkan proses perencanaan, pelaksanaan, serta detailing tulangan.

Ciri dan implikasi desain utama:

1. Kapasitas aksial maksimum cenderung tercapai akibat distribusi tegangan yang lebih merata pada penampang.
2. Stabilitas *biaxial* lebih baik; radius girasi yang hampir sama di kedua arah menghasilkan kelangsingan yang lebih kecil.
3. Tulangan transversal dapat ditata simetris, sehingga prosedur penulangan dan pengerjaan di lapangan menjadi lebih sederhana.

2.2.2. Kolom Pipih

Kolom pipih adalah elemen tekan dengan salah satu dimensi penampang jauh lebih besar daripada dimensi lainnya sering kali ketebalannya mengikuti lebar dinding sehingga tampil sebagai penampang persegi panjang yang ramping. Dalam praktik bangunan modern, kolom jenis ini kerap dipilih untuk efisiensi tata ruang karena dapat “terintegrasi” dengan dinding (*hidden column*) dan meminimalkan gangguan terhadap layout interior. Kolom pipih lazim ditemukan pada bangunan bertingkat dengan tuntutan luasan efektif dan kontinuitas estetika, dengan bentuk denah dapat berupa persegi panjang tipis, L, T, maupun silang (+), serta umumnya memiliki rasio panjang terhadap lebar $> 3-4$.

Ciri dan implikasi desain utama:

1. Bila rasio aspek melampaui 6, ketentuan ACI/SNI umumnya mengklasifikasikannya sebagai dinding geser sehingga ketentuan detailing mengikuti elemen dinding struktur.
2. Jari-jari girasi pada sumbu tipis yang kecil meningkatkan kelangsingan sehingga memperbesar kerentanan tekuk; kapasitas tekan efektif dapat menurun sekitar 10–25% dibanding kolom persegi yang sebanding.
3. Diperlukan pengekangan transversal (sengkang/ikat) yang lebih rapat untuk membatasi tekuk tulangan longitudinal dan meningkatkan ketahanan geser, sesuai persyaratan detailing ketahanan gempa.

2.3 Beban pada Bangunan

Beban pada struktur adalah segala aksi yang menimbulkan respons internal terutama gaya dalam, tegangan, dan regangan pada elemen-elemen bangunan. Secara bentuk, beban dapat berupa gaya terpusat, beban terdistribusi (seragam maupun tidak seragam), momen, serta pola pembebanan yang bersifat simetris atau antisimetri.

Ditinjau dari sifat dan sumbernya, beban pada bangunan umumnya diklasifikasikan menjadi empat kelompok utama: beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Klasifikasi ini menjadi dasar dalam pemodelan, kombinasi beban, dan verifikasi kapasitas elemen struktur.

2.3.1. Beban Mati (D)

Beban mati adalah berat elemen bangunan yang bersifat permanen baik struktural (misalnya pelat, balok, kolom) maupun nonstruktural termasuk peralatan tetap (*fixed equipment*) yang dipasang permanen dan tidak dipindahkan sepanjang umur layan. Besaran ini konstan dan menjadi bagian integral dari sistem struktur.

Penetapan berat jenis dan berat sendiri berbagai material serta elemen bangunan harus mengacu pada SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

Tabel 2. 1. Daftar Berat Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

No	Jenis Beban Mati	Beban (kN/m ²)
1.	Beban keramik setebal 1 cm	0,18
2.	Beban mortar setebal 3 - 4 cm	0,8
3.	Instalasi MEP	0,25
5.	Beban plafond + Rangka	0,32

2.3.2. Beban Hidup (L)

Beban hidup adalah beban teraruh (*imposed load*) yang timbul akibat aktivitas penghuni serta pemanfaatan bangunan, mencakup barang yang dapat dipindahkan (*moveable equipment*), peralatan, dan mesin yang tidak terpasang permanen pada struktur. Karena sifatnya yang berubah sepanjang umur layan, besaran beban ini dapat berfluktuasi dan terutama berpengaruh pada elemen lantai dan atap.

Pada atap, beban hidup juga meliputi pengaruh air hujan, baik akibat genangan maupun impuls benturan tetesan (komponen kinetik). Penentuan nilai beban hidup bangunan gedung harus mengikuti ketentuan SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, sebagaimana dirinci dalam **Tabel 2. 2.** Daftar Beban Hidup Pada Lantai Rumah Tinggal.

Tabel 2. 2. Daftar Beban Hidup Pada Lantai Rumah Tinggal

No.	Jenis Ruangan dan Struktur	Beban Merata (kN/m ²)
1.	Ruang pribadi dan koridornya	1,92
2.	Ruang publik	4,79
3.	Kantor ruang publik	4,79

2.3.3. Beban Mati (Seismic Load)

Beban gempa diperlakukan sebagai beban statik ekuivalen yang merepresentasikan respons inersia struktur terhadap getaran tanah akibat aktivitas seismik, yang diturunkan melalui analisis dinamik. Besarnya dipengaruhi oleh tiga aspek utama:

1. Probabilitas tingkat gempa tersebut terlampaui dalam horizon waktu tertentu,
2. Tingkat daktilitas sistem struktur,
3. Kapasitas lebih (*overstrength*) yang dimiliki struktur.

Mengacu SNI 1726:2019, acuan perencanaan menggunakan gempa rencana (tingkat sedang). Namun, bila terjadi gempa besar yang melampaui asumsi perencanaan, efek dalam pada struktur dapat melebihi nilai yang telah dihitung. Dalam standar ini, gempa rencana didefinisikan sebagai gempa dengan peluang terjadinya sebesar 2% dalam umur bangunan 50 tahun.

2.4. Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan

2.4.1. Kombinasi Pembebanan Terfaktor

Kombinasi beban untuk perencanaan kekuatan diatur pada Pasal 5.3.1 SNI 2847:2019. Setiap elemen struktur termasuk komponen dan fondasi wajib dirancang untuk menahan efek dalam (gaya dan momen) yang timbul dari kombinasi beban terfaktor, dengan memastikan kekuatan rencana elemen (ϕR_n) tidak lebih kecil daripada tuntutan akibat gabungan beban tersebut.

2.4.2. Kombinasi dan Pengaruh Gempa

Beban gempa adalah gaya inersia yang bekerja pada struktur akibat percepatan tanah selama peristiwa seismik. Dalam perencanaan struktur tahan gempa, besaran beban rencana diturunkan dari pengaruh *Maximum Considered Earthquake* (MCER) dan, untuk keperluan desain, umumnya diambil sebesar dua pertiga dari respons MCER sesuai pendekatan spektrum desain. Nilai ini selanjutnya digunakan dalam penentuan koefisien respons seismik dan gaya geser dasar struktur.

2.5. Konsep Dasar Desain Struktur Tahan Gempa

2.5.1. Kategori Resiko Bangunan

SNI 1726:2019 menetapkan pengelompokan kategori risiko untuk bangunan gedung maupun non-gedung berdasarkan fungsi layanan dan tingkat konsekuensi kegagalannya. Rinciannya tercantum pada Tabel 3 SNI 1726:2019 yang memuat klasifikasi jenis pemanfaatan bangunan. Selain itu, standar ini juga menetapkan faktor keutamaan gempa yang wajib diterapkan dalam perencanaan dan detailing ketahanan gempa, beserta ketentuan nilai dan penerapannya.

2.5.2. Klasifikasi Situs

Penentuan kelas situs pada analisis ketahanan gempa mengacu pada Pasal 5.3 SNI 1726:2019. Standar ini mengklasifikasikan kondisi tanah/situs ke dalam enam kelas SA, SB, SC, SD, SE, dan SF berdasarkan karakteristik geoteknik dan respons seismik tanah, sebagaimana dirinci pada Tabel 5 SNI 1726:2019.

2.5.3. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Tertarget

Untuk menentukan respons spektral percepatan gempa maksimum yang diperkirakan (MCEr) pada permukaan tanah, digunakan faktor amplifikasi situs untuk dua rentang periode. Faktor F_a merepresentasikan amplifikasi pada periode pendek ($T = 0,2$ detik) dengan koefisien yang ditetapkan menurut Tabel 6 SNI 1726:2019, sedangkan faktor F_v merepresentasikan amplifikasi pada periode 1,0 detik dengan koefisien menurut Tabel 7 SNI 1726:2019. Dengan demikian, respons spektral di permukaan tanah dihitung melalui:

$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots (2. 1)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots (2. 2)$$

Dimana:

S_s = parameter percepatan spektral MCE_r untuk periode pendek

S_1 = parameter percepatan spektral MCE_r untuk periode 1,0 detik

Tahap ini merupakan bagian dari penetapan spektra respons desain gempa sesuai SNI 1726:2019. Peta S_s (MCEr) menyajikan nilai percepatan spektral pada periode 0,2 detik untuk setiap lokasi sebagai dasar bahaya gempa rujukan; nilai tersebut dikoreksi dengan faktor amplifikasi situs F_a guna memperoleh S_{MS} , lalu dikalibrasi menjadi S_{DS} . Sementara itu, peta S_1 (MCEr) memuat nilai percepatan spektral pada periode 1,0 detik yang disesuaikan dengan F_v untuk mendapatkan S_{M1} dan selanjutnya S_{D1} . Kedua peta bersama karakteristik kelas situs menentukan bentuk serta ordinat spektrum respons desain yang menjadi acuan dalam penentuan gaya geser dasar, pengendalian simpangan antar tingkat, dan evaluasi periode struktur. Peta dapat diakses secara interaktif melalui portal resmi Kementerian PUPR di rsa.ciptakarya.pu.go.id.

2.5.4. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Desain

Parameter respons spektral percepatan gempa rencana untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) ditetapkan menurut hubungan baku dalam standar. Nilainya dihitung dari respons MCER di permukaan tanah (S_{MS} dan S_{M1}) yang diperoleh dari parameter bahaya seismik (S_s , S_1) dikalikan faktor amplifikasi situs (F_a , F_v) kemudian dikonversi menjadi besaran desain dengan faktor kalibrasi:

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

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

Dimana:

S_{DS} = parameter percepatan respon spektral desain untuk periode pendek

S_{D1} = parameter percepatan respon spektral desain untuk periode 1,0 detik

2.5.5. Spektrum Respon Desain (Design Response Spectrum)

Dalam SNI 1726:2019 pasal 6.4, Spektrum Respons Desain disusun dari dua parameter utama, yaitu S_{DS} dan S_{D1} , yang diperoleh dari S_{MS} dan S_{M1} (hasil penyesuaian peta bahaya gempa S_s dan S_1 dengan koefisien situs F_a dan F_v , lalu dikalikan 2/3). Spektrum ini didefinisikan secara potongan (*piecewise*) terhadap periode getar T : pada periode sangat pendek hingga T_0 , kurva naik linier dari sekitar 0,4 S_{DS} menuju S_{DS} ; pada rentang T_0 sampai T_s nilai percepatan desain konstan sebesar S_{DS} (datar/*plateau*); dan untuk T di atas T_s , percepatan menurun berbanding terbalik dengan T , sebanding dengan S_{D1}/T . Batas periode karakteristik dihitung sebagai $T_0 = 0,2 \times S_{D1}/S_{DS}$ dan $T_s = S_{D1}/S_{DS}$. Dengan konstruksi ini, spektrum merepresentasikan amplifikasi maksimum yang diharapkan pada berbagai rentang periode struktur di atas tanah lokasi.

Spektrum Respons Desain tersebut menjadi acuan pokok untuk menghitung gaya geser dasar, distribusi gaya lateral per lantai, simpangan antar tingkat, serta pemeriksaan elemen dan sambungan pada analisis elastik setara. Karena nilai-nilainya sudah mewakili tingkat bahaya yang ditargetkan pada lokasi (melalui S_s , S_1 , dan kelas situs), perancang cukup menggunakannya langsung pada perangkat analisis untuk mendapatkan respons struktur yang konsisten dengan ketentuan SNI

1726:2019, tanpa perlu menampilkan ulang tabel atau peta sumbernya di naskah teknis.

2.5.6. Periode Fundamental Pendekatan

Pada pasal 7.8.2.1 SNI 1726:2019 mendefinisikan periode fundamental pendekatan (T_a) sebagai taksiran sederhana periode getar utama struktur yang boleh dipakai dalam Metode Gaya Lateral Ekuivalen. Nilai T_a dihitung dengan hubungan empiris:

$$T_a = C_t H_n^x \dots\dots\dots (2. 5)$$

Dimana:

h^n = tinggi struktur yang efektif (dalam meter),

C_t dan x = koefisien yang ditentukan menurut sistem penahan gaya lateral

Koefisien C_t dan x diambil dari Tabel 18 pada SNI 1726:2019. Untuk sistem campuran, koefisien dipilih secara konservatif mengikuti sistem yang menghasilkan periode lebih kecil (gaya desain lebih besar). Tujuan penggunaan T_a adalah memberi estimasi perioda yang wajar agar gaya geser dasar yang dihitung tidak menjadi terlalu kecil akibat periode yang terlampau besar.

SNI juga mengatur batas atas periode desain T saat menghitung koefisien respons (C_s): bila periode dari analisis numerik menghasilkan nilai yang lebih besar, T tidak boleh melebihi $C_u \times T_a$, dengan C_u adalah koefisien batas atas yang nilainya dirujuk dari tabel pada SNI 1726:2019 (fungsi tingkat bahaya setempat). Dengan demikian, perancang boleh menggunakan periode hasil analisis (modal/spektra) asalkan masih berada di bawah batas tersebut; jika melampaui, T harus dicapping pada $C_u \times T_a$. Pengaturan ini menjaga agar estimasi kekakuan global struktur tetap realistis dan mencegah underestimate gaya seismik desain.

2.5.7. Kategori Desain Seismik

Penetapan Kategori Desain Seismik (KDS) mengacu pada Pasal 6.5 SNI 1726:2019 dan diturunkan dari parameter percepatan spektral desain S_{DS} ($T = 0,2$ s) dan S_{D1} ($T = 1,0$ s) dengan mempertimbangkan kategori risiko bangunan yang berlaku. Nilai S_{DS} dan S_{D1} diperoleh dari parameter bahaya seismik lokasi serta kelas situs, kemudian dipetakan terhadap kategori risiko untuk menetapkan KDS yang sesuai.

Semakin tinggi kategori risiko (misalnya fasilitas esensial), umumnya KDS yang dihasilkan lebih ketat, sehingga persyaratan perencanaan dan detailing ketahanan gempa pada struktur menjadi lebih konservatif.

2.5.8. Analisis Spektrum Respon Ragam

Mengacu Pasal 7.9.1.1 SNI 1726:2019, struktur harus dikenai analisis modal untuk mengidentifikasi ragam getar alaminya (*mode shapes*). Jumlah ragam yang diikutkan wajib memadai sehingga akumulasi partisipasi massa modal mencapai 100% dari massa total struktur. Pada kondisi tertentu—misalnya bila respons didominasi gerak satu-badan kaku (*single rigid body*) dengan periode getar $T \leq 0,05$ detik perhitungan diperkenankan dibatasi pada seluruh ragam yang berperiode kurang dari 0,05 detik.

2.6. Analisis Dinamik dan Pembebanan Seismik

2.6.1. Partisipasi Massa

1. Konsep Massa Modal

Massa modal adalah besaran “efektif” tiap ragam getar yang turut berkontribusi terhadap respons inersia struktur ketika dikenai percepatan tanah. Nilai ini diturunkan dari bentuk ragam (*mode shape*) dan distribusi massa lantai (umumnya dimodelkan pada pusat massa diafragma), terpisah untuk arah translasi X, Y, dan bila relevan torsi.

2. Kontribusi Mode dalam Respons Total

Respons total (gaya geser dasar, simpangan, momen elemen) diperoleh dengan mengombinasikan respons per mode menggunakan metode statistik (SRSS/CQC). Bobot kontribusi tiap mode sebanding dengan faktor partisipasi massanya; mode dengan partisipasi besar mendominasi respons, sementara mode tinggi tetap dihitung untuk menangkap efek lokal dan torsi.

3. Persyaratan Standar

Analisis modal harus menyertakan jumlah ragam yang memadai hingga akumulasi partisipasi massa mencakup 100% massa struktur pada arah yang ditinjau (mengacu ketentuan SNI 1726:2019 terkait analisis ragam). Jika masih

belum tercapai, ragam tambahan perlu disertakan atau digunakan pendekatan verifikasi lain yang disyaratkan standar.

4. Implikasi pada Kolom Pipih dan Persegi

- Kolom pipih (anisotropik kekakuan): kekakuan berbeda antar sumbu menyebabkan periode dan partisipasi massa tidak seimbang di X–Y, meningkatkan kopling translasi–torsi dan potensi ketidakberaturan torsi. Biasanya perlu melibatkan lebih banyak ragam untuk mencapai target partisipasi dan pengendalian drift.
- Kolom persegi (kekakuan lebih seragam): distribusi partisipasi massa cenderung lebih seimbang di kedua arah, respons modal lebih “bersih”, dan kebutuhan jumlah ragam untuk mencapai target partisipasi umumnya lebih sedikit.

2.6.2. Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Gaya seismik lateral F_x (dalam satuan kN) pada suatu tingkat, dihitung menggunakan persamaan:

$$F_x = C_{vx} \times V \dots\dots\dots (2. 6)$$

Dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots\dots\dots (2. 7)$$

Dimana:

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal
 V = Gaya lateral desain total, yaitu gaya geser di dasar struktur (dalam kN)

w_i dan w_x = Bagian dari berat seismik efektif total struktur (w) yang dikenakan pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = Tinggi dari dasar struktur sampai tingkat i atau x (dalam meter)

k = Eksponen distribusi vertikal yang ditentukan berdasarkan periode struktur sebagai berikut:

Jika $T \leq 0,5$ detik, maka $k = 1$

Jika $T \geq 2,5$ detik, maka $k = 2$

Jika $0,5 < T < 2,5$ detik, maka k ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

2.6.3. Kombinasi Sistem Perangkai dalam Arah yang Berbeda

Kombinasi sistem struktur dalam arah yang berbeda adalah praktik menggunakan sistem penahan gaya gempa yang berbeda pada dua sumbu ortogonal bangunan (misalnya, rangka pemikul momen di arah X dan dinding geser di arah Y). Masing-masing arah dianalisis dan didesain terpisah dengan menetapkan faktor R , C_d , dan Ω_0 sesuai jenis sistem pada arah tersebut mengacu Tabel 12, lalu diverifikasi terhadap drift, gaya geser dasar, serta aksi torsi yang relevan. Elemen Bersama seperti kolom, inti lift, diafragma lantai, dan *collector/drag strut* harus mampu menyalurkan aksi dua arah dan memenuhi detailing yang paling ketat dari sistem yang berinteraksi. Penerapan kombinasi pembebanan ortogonal (gempa simultan dua arah) mengikuti ketentuan Pasal 7.2.2. Untuk rincian prosedur, batasan, dan pemilihan nilai faktor, lihat Pasal 7.2.2 dan Tabel 12 SNI 1726:2019.

2.6.4. Geser Dasar Seismik

Geser dasar seismik (V) adalah resultan gaya geser horizontal pada tingkat dasar bangunan yang harus dipikul oleh sistem penahan gaya gempa. Nilainya diturunkan dari koefisien respons seismik (C_s) yang mencerminkan bahaya situs (S_{DS} , S_{D1}), karakteristik sistem struktur dan faktor reduksi (R), faktor keutamaan, serta periode fundamental (T), lalu dikalikan dengan berat seismik efektif (W). Besaran ini menjadi acuan utama untuk memeriksa kapasitas elemen penahan lateral dan untuk menyelaraskan (*scaling*) hasil analisis spektrum ragam agar tidak kurang dari tuntutan minimum peraturan. Prosedur perhitungan, batas minimum–maksimum, dan ketentuan penskalaan hasil analisis diatur rinci pada Pasal 7.8.1 SNI 1726:2019.

2.6.5. Eksentrisitas dan Torsi

Ketentuan mengenai torsi inheren dan torsi tak terduga diatur pada Pasal 7.8.4.1 sampai 7.8.4.3 SNI 1726:2019. Apabila diterapkan eksentrisitas pusat massa sebesar 5% dan gaya gempa dipertimbangkan bekerja serentak pada dua arah ortogonal, penerapan eksentrisitas 5% tersebut tidak wajib dikenakan secara

bersamaan pada kedua arah; eksentrisitas dapat diterapkan terpisah per arah analisis.

Penerapan torsi tak terduga ditujukan untuk struktur yang berpotensi mengalami ketidakberaturan dalam arah horizontal, dengan pengecualian berikut:

1. Struktur dengan Kategori Desain Seismik B yang memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1b, dan
2. Struktur dengan Kategori Desain Seismik C, D, E, atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1a atau 1b.

Untuk struktur pada Kategori Desain Seismik C, D, E, atau F yang menunjukkan ketidakberaturan torsi tipe 1a atau 1b (lihat Tabel 13 & 14 SNI 1726:2019), efek torsi wajib diperbesar dengan mengalikan momen torsi tiap tingkat dengan faktor pembesaran torsi (A_x) sesuai rumus yang ditetapkan dalam standar.

2.6.6. Pengaruh P-Delta

Mengacu Pasal 7.8.7 SNI 1726:2019, pengaruh orde-dua (efek P-Delta) terhadap gaya geser antar tingkat, momen, gaya dalam elemen, dan simpangan antar tingkat dapat diabaikan apabila koefisien stabilitas θ yang dihitung memenuhi $\theta \leq 0,10$. Dengan demikian, selama batas stabilitas tersebut terpenuhi, analisis dapat menggunakan respons orde-satu tanpa memasukkan penguatan akibat ketidaklinieran geometrik dalam perhitungan.

$$\theta = \frac{P_x \times \Delta \times P_x}{V_x \times H_{sx} \times C_d} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana:

P_x = Beban desain vertikal total yang berada pada dan di atas tingkat-x (dalam kN); dalam perhitungan, faktor beban individu tidak perlu melebihi nilai 1,0

Δ = Simpangan antar tingkat pada kondisi desain, yang terjadi bersamaan dengan gaya geser V_x (dalam mm)

I_e = Faktor keutamaan gempa

V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat-x dan tingkat di bawahnya ($x-1$), dalam satuan kN

H_{sx} = Tinggi tingkat di bawah tingkat-x (dalam mm)

C_d = Faktor pembesaran defleksi

2.6.7. Simpangan Antar Lantai

Penentuan simpangan antar tingkat (Δ) mengacu pada Pasal 7.8.6 SNI 1726:2019, yakni selisih perpindahan lateral antara pusat massa (CM) lantai yang ditinjau dan lantai di bawahnya. Apabila pusat massa kedua tingkat berada pada satu garis vertikal (kolinear), nilai Δ diukur sebagai selisih proyeksi vertikal CM lantai atas terhadap lantai bawah. Untuk struktur yang responsnya dipengaruhi orientasi pembebanan gempa, Δ wajib dihitung terpisah pada masing-masing arah (mis. arah X dan Y) dengan menggunakan gaya seismik nominal tanpa penerapan pengurangan akibat faktor tegangan izin. Skema dan detail geometrinya dapat dirujuk pada Gambar 10 SNI 1726:2019.

Simpangan pusat massa di tingkat-x (δ_x) dalam satuan milimeter (mm) harus ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

- C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral pada Tabel 12 SNI 1726:2019
- δ_{xe} = Defleksi pada lokasi yang ditentukan, diperoleh melalui analisis elastis
- I_e = Faktor keutamaan gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1, simpangan antar tingkat rencana (Δ) harus dibatasi agar tidak melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a). Nilai batas Δ_a ditetapkan dalam ketentuan SNI dan dapat dirujuk pada tabel pada bagian berikut.

2.7. Desain Detil Sambungan dan Mekanisme Runtuh

2.7.1. Hubungan Balok Kolom (joint) pada SRPMK

Merupakan area pertemuan antara kolom dan balok yang harus dirancang dengan cermat. Analisis perhitungan sambungan antara balok B dan kolom C3A pada lantai 1 dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan Syarat Panjang *Joint*

Berdasarkan Pasal 18.8.2.3 dari SNI 2847:2019, dimensi kolom yang sejajar dengan tulangan balok tidak boleh (untuk beton normal/*normalweight*) kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar pada balok. Sedangkan

untuk beton ringan (*lightweight*), ukuran tersebut tidak boleh kurang dari 26 kali diameter tulangan

2. Pemeriksaan Tulangan Geser untuk *Confinement*

Berdasarkan Pasal 18.8.3.1 SNI 2847:2019, jumlah tulangan confinement dapat mengacu pada detail tulangan geser kolom sepanjang l_0 .

3. Gaya geser pada joint

Momen balok yang terjadi:

$$M_c = 0,5 \times (M_{pr}^+ - M_{pr}^-) \dots\dots\dots (2. 10)$$

4. Gaya geser pada kolom

$$V_{goyangan} = \frac{M_c + M_c}{l_n} \dots\dots\dots (2. 11)$$

5. Gaya pada tulangan balok longitudinal

a. Luas ruangan atas

$$T_1 = 1,25 \times A_s \times F_y \dots\dots\dots (2. 12)$$

b. Gaya tekan pada beton di sisi kiri hubungan balok-kolom

$$C_1 = T_1 \dots\dots\dots (2. 13)$$

c. Luas tulangan bawah

$$T_2 = 1,25 \times A_s \times F_y \dots\dots\dots (2. 14)$$

d. Gaya tekan pada beton di sisi kanan hubungan balok-kolom

$$T_1 = 1,25 \times A_s \times F_y \dots\dots\dots (2. 15)$$

6. Kuat geser pada joint

$$V_j = T_1 + T_2 - V_{goyangan} \dots\dots\dots (2. 16)$$

7. Kuat geser yang dikekang dari keempat sisinya

$$V_n = 1,7\lambda \sqrt{f'c'} \times A_g \dots\dots\dots (2. 17)$$

$$\phi V_n = 0,85 \times V_n \dots\dots\dots (2. 18)$$

2.7.2. *Strong Column Weak Beam*

Persyaratan untuk mekanisme *strong column – weak beam* (kolom kuat, balok lemah) mengacu pada Pasal 18.7.3.3 SNI 2847:2019, yaitu:

$$\sum M_{nc} > 1,2 \sum M_{nb} \dots\dots\dots (2. 19)$$

Dimana:

ΣM_{nb} = Jumlah momen pada muka join yang berhubungan dengan kuat lentur nominal kolom-kolom yang terhubung pada join tersebut. Nilai ini dihitung dengan mempertimbangkan beban aksial terfaktor dan arah gaya lateral yang menyebabkan momen lentur minimum.

ΣM_{nc} = Jumlah momen pada muka join yang terkait dengan kuat lentur nominal balok-balok (termasuk pelat lantai jika berkontribusi dalam kondisi tarik) yang terhubung pada join tersebut.

2.8. Ketidakberaturan Struktur

2.8.1. Horizontal

Ketidakberaturan horizontal pada bangunan bertingkat terjadi akibat distribusi massa, kekakuan, atau geometri yang tidak simetris pada denah struktur. Jenis utama dan dampaknya pada kolom pipih/persegi adalah sebagai berikut:

1. *Torsional Irregularity*

Terjadi ketika pusat massa (CM) dan pusat kekakuan (CR) tidak berimpit, menyebabkan torsi pada kolom. Pada kolom pipih, efek ini lebih kritis karena kekakuan torsional rendah

2. *Re-entrant Corners*

Terjadi ketika pusat massa (CM) dan pusat kekakuan (CR) tidak berimpit, menyebabkan torsi pada kolom. Pada kolom pipih, efek ini lebih kritis karena kekakuan torsional rendah

3. Denah *T/C-Shape*

- T-Shape*: Asimetri denah meningkatkan risiko tekuk kolom di sayap akibat torsi.
- C-Shape*: Kolom di bagian lengkung mengalami beban kombinasi aksial-lentur-torsi yang kompleks.

4. Metode Pemeriksaan dan Mitigasi

Tabel 2. 3. Parameter Ketidakaturan Struktur dan Strategi Mitigasinya

Parameter	Metode Pemeriksaan	Strategi Mitigasi
<i>Torsional Irregularity</i>	Hitung rasio $r_x = \sqrt{\frac{J}{M}}$ (J = momen inersia, M = massa). Jika $r_x < 1,5r_y$, tergolong irregular.	Tambahkan dinding geser atau kolom tepi dengan kekakuan tinggi.

<i>Re-entrant Corners</i>	Ukur panjang proyeksi sudut (L_{prof}). Jika $L_{proj} > 1,5L_{total}$, perlu <i>reinforcement</i> .	Pisahkan struktur dengan expansion joint atau gunakan tulangan diagonal pada kolom.
Denah <i>T/C-Shape</i>	Analisis <i>pushover</i> untuk identifikasi sendi plastis di kolom.	Optimalkan posisi kolom pipih sebagai <i>boundary element</i> dinding geser.

5. Dampak pada Kolom

- Kolom Persegi: Lebih tahan torsi, tetapi memerlukan penambahan dimensi jika digunakan di sudut *re-entrant*.
- Kolom Pipih: Rentan tekuk lokal di daerah torsi, sehingga perlu tulangan sengkang rapat ($s \leq 6d_b$).

2.8.2. Vertikal

Ketidakteraturan vertikal disebabkan oleh perubahan mendadak kekakuan, massa, atau dimensi kolom antar lantai, yang mengganggu distribusi gaya gempa.

1. *Soft Story*

Lantai dengan kekakuan lateral $\leq 70\%$ lantai di atasnya. Kolom di lantai ini mengalami deformasi inelastis berlebih.

2. *Mass Irregularity*

Perubahan massa $>150\%$ antar lantai menyebabkan kolom bawah menerima beban dinamis lebih besar

3. *Stiffness Irregularity*

Variasi kekakuan kolom $>30\%$ antar lantai memicu konsentrasi tegangan pada kolom kaku.

4. Analisis dan Solusi

Tabel 2. 4. Parameter Ketidakteraturan Vertikal dan Dampaknya terhadap Kolom serta strategi Mitigasi

Parameter	Kriteria	Dampak pada Kolom	Mitigasi
<i>Soft Story</i>	$k_i \leq 0,7k_i + 1$	Kolom mengalami <i>shear failure</i>	Gunakan <i>jacketing</i> atau tambah dinding geser.
<i>Mass Irregularity</i>	$m_i \geq 1,5m_i + 1$	Beban aksial kolom bawah meningkat 25%	Distribusikan massa merata.
<i>Stiffness Irregularity</i>	$\Delta_k \geq 30\%$	Kolom kaku menarik lebih banyak beban	Gunakan kolom pipih dengan dimensi bertahap.

5. Rekomendasi Desain

- a. Kolom Persegi: Pertahankan rasio kekakuan antar lantai ≤ 1.2 dengan menyamakan dimensi.
- b. Kolom Pipih: Hindari penggunaan di lantai dasar *soft story*. Jika diperlukan, tambahkan *confined concrete* pada ujung kolom

2.9. Aplikasi Perangkat Lunak untuk Analisis Desain

2.9.1. Software Etabs

ETABS (*Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems*) adalah perangkat lunak khusus untuk analisis dan perancangan struktur Gedung terutama bangunan bertingkat/tinggi yang mengintegrasikan pemodelan 3D, analisis, dan desain dalam satu ekosistem kerja. Aplikasi ini mendukung evaluasi respons struktur terhadap berbagai aksi pembebanan, termasuk beban mati, beban hidup, angin, dan gempa, serta menyediakan modul desain elemen seperti balok, kolom, dan dinding geser untuk material beton, baja, maupun komposit. ETABS juga kompatibel dengan beragam standar internasional dan nasional (misalnya ACI dan SNI) dan memiliki kapabilitas analisis dinamik serta nonlinear untuk mengkaji respons akibat gempa dan beban ekstrem.

Keunggulan utama ETABS terletak pada ketelitian perhitungan berbasis metode elemen hingga (MEH), efisiensi pemodelan, serta kecepatan komputasi yang relevan untuk siklus desain proyek. Antarmuka visualnya intuitif dan mendukung interoperabilitas dengan perangkat lunak lain, seperti SAP2000 dan SAFE, sehingga alur kerja dari analisis global hingga desain fondasi menjadi lebih lancar. Berfokus pada tipologi gedung, ETABS menawarkan fitur yang terarah mulai dari pemodelan diafragma, sistem penahan gaya lateral, hingga evaluasi drift yang menjadikannya pilihan andalan untuk analisis dan desain struktur bertingkat dan geometri kompleks dengan visualisasi 3D yang mendetail.

2.9.2. Software Sp Column

SpColumn adalah perangkat lunak *StructurePoint* untuk analisis dan perancangan kolom beton bertulang, berfokus pada evaluasi kapasitas penampang terhadap beban aksial dan momen lentur, baik uniaksial maupun biaksial. Aplikasi ini merupakan pengembangan dari PCACol/pcaColumn dan mendukung beragam bentuk penampang persegi panjang, bundar, hingga penampang tak beraturan serta perencanaan tulangan longitudinal dan transversal sesuai standar desain internasional (mis. ACI 318 dan CSA A23.3). Fitur kuncinya adalah penyajian diagram interaksi P–M yang memetakan hubungan kapasitas tekan aksial dan momen, sehingga insinyur dapat menilai kecukupan desain terhadap kombinasi beban yang bekerja.

Alur penggunaannya meliputi pengisian data geometri penampang, mutu material (beton dan baja), detail penulangan, pemilihan standar desain, dan input kombinasi beban (misalnya dari hasil analisis SAP2000/ETABS). Keluaran utamanya berupa diagram interaksi dan rasio utilisasi/keamanan penampang yang mudah diinterpretasikan. Dibandingkan perhitungan manual, spColumn mempercepat proses desain dengan ketelitian tinggi, mendukung penampang kompleks (termasuk bukaan atau elemen batas), dan menyediakan verifikasi yang transparan untuk perencanaan serta pengecekan kolom.

2.9.3. Software Excell

Microsoft Excel adalah aplikasi spreadsheet besutan Microsoft yang andal untuk mengelola data, melakukan perhitungan otomatis, serta menganalisis dan memvisualisasikan informasi dalam tabel, grafik, dan laporan. Excel mendukung input angka, teks, dan rumus kompleks; menyediakan fungsi statistik, logika, lookup, dan optimasi (mis. Solver); serta fitur validasi data dan pivot table yang memudahkan audit dan jejak perhitungan.

Dalam konteks teknik sipil khususnya perencanaan struktur Excel lazim dipakai untuk:

1. Menyusun basis data teknis proyek (fungsi bangunan, lantai, mutu material).
2. Menghitung beban mati/hidup dan menyusun kombinasi beban sesuai SNI.

3. Mengolah parameter seismik (S_s , S_1 , F_a , F_v , SDS , $SD1$) dan koefisien respons untuk estimasi geser dasar merujuk SNI.
 4. Praperhitungan dimensi dan penulangan balok, kolom, serta pelat, termasuk rekap tulangan.
 5. Membuat grafik hubungan beban lendutan atau ringkasan hasil analisis lain.
- Fleksibilitas rumus dan kemampuan kustomisasi template menjadikan Excel alat esensial untuk workflow analisis–desain yang cepat, transparan, dan mudah ditinjau.

2.10. Penelitian Terdahulu

2.10.1. Iona Violeta, 2023

“Analisa Kapasitas Kolom Pipih Terhadap Beban Gravitasi Dengan Diagram Interaksi”

Penggunaan struktur kolom pada umumnya berbentuk persegi dengan dimensi yang cukup besar. Oleh karena itu, diperlukannya penggunaan kolom pipih untuk menyesuaikan lebar dinding. Sehingga adanya masalah pengurangan luas ruangan akibatnya besarnya dimensi kolom dapat teratasi. Selain itu, nilai estetika eksterior maupun interior dapat ditampilkan tanpa terpengaruh kolom dengan dimensi yang besar tersebut. Namun yang perlu diperhatikan adalah kolom pipih memiliki perbedaan kekakuan dalam kedua arah sumbu utamanya yang berpengaruh pada kapasitas kekuatan dan stabilitas struktur secara keseluruhan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kapasitas kekuatan kolom pipih dengan 3 variasi, yaitu dengan dimensi 10 cm x 90 cm, 15 cm x 60 cm, dan 20 cm x 45 cm, dan juga 1 variasi kolom bujur sangkar konvensional dengan dimensi 30 cm x 30 cm, yang kesemuanya memiliki luasan penampang sama yaitu 900 cm².

Dari hasil analisa diperoleh bahwa kolom pipih 10 cm x 90cm tidak aman karena ada kombinasi gaya yang sudah berada di luar cakupan selimut kurva pada arah sumbu lemah. Sementara pada kolom pipih 15 cm x 60 cm dan 20 cm x 45cm, ada kombinasi yang sudah mencapai ambang batas selimut kurva dalam arah sumbu lemah namun secara umum dapat dikatakan masih aman. Oleh karena itu, kolom pipih boleh digunakan dalam perencanaan struktur namun rasio kepipihan harus

tetap dipertimbangkan mengingat ketimpangan kapasitas kekuatan yang besar dalam arah sumbu kuat dan sumbu lemahnya.

2.10.2. Abdullah Indra Pratama & Eka Susanti, 2021

“Analisis Perbandingan Penggunaan Kolom Konvensional dan Kolom Berbentuk Khusus pada Gedung Bertingkat Sedang”

Pentingnya permasalahan terhadap pengurangan luas ruang pada sebuah bangunan akibat kolom konvensional dapat diupayakan dengan penggunaan struktur kolom pipih atau kolom dengan bentuk penampang asimetri (kolom berbentuk khusus) yang meliputi bentuk L, T dan + (*plus*) dengan menyesuaikan konfigurasi peletakan kolom pada denah. Pada penelitian ini, membandingkan analisis pembangunan apartemen beton bertulang dengan penggunaan kolom konvensional dan kolom berbentuk khusus untuk Gedung bertingkat dengan kategori ketinggian sedang sejumlah 6 lantai. Analisis berdasarkan beberapa tipe kolom khusus dengan ketebalan 20 cm. Kondisi bangunan terletak pada tanah keras dan berlokasi di Surabaya. Jenis sistem strukturnya adalah SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah). Desain beban gempa serta desain struktur merujuk pada SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019. Kontrol perilaku struktur yang dilakukan meliputi kontrol terhadap simpangan, periode dan partisipasi massa. Sehingga, menghasilkan gaya dalam yang digunakan sebagai dasar perencanaan penulangan elemen balok, kolom dan sambungan balok-kolom.

Hasil penelitian menunjukkan, pemodelan kolom khusus hanya dapat dilakukan dengan cara custom section (*section designer*), simpangan antar tingkat (arah Y) kolom khusus lebih kecil daripada kolom konvensional (berturut-turut 38,07 mm dan 39,852 mm) dan ragam partisipasi massa menunjukkan kolom khusus lebih getas atau fleksibel daripada kolom konvensional ($T_{\text{khusus}} = 0,756 \text{ det} > T_{\text{konvensional}} = 0,698 \text{ det}$).

2.10.3. Iona Violeta, 2024

“Analisa Pengaruh Variasi Bentuk dan Konfigurasi Kolom terhadap Periode Getar Struktur”

Kolom adalah elemen struktur utama untuk menahan gaya lateral dalam sistem rangka pemikul momen. Terdapat berbagai jenis model bentuk kolom yang lazim ditemui, di antaranya kolom bujur sangkar, lingkaran, maupun kolom pipih. Namun dalam analisis perhitungannya, perlu diperhatikan fleksibilitas struktur dalam kaitannya dengan fungsi servis bangunan. Salah satu yang paling penting untuk ditinjau adalah simpangan dan periode struktur. Penelitian ini meninjau 6 variasi bentuk kolom dan konfigurasi denahnya. Variasi 1 adalah kolom persegi, variasi 2 adalah kolom lingkaran, variasi 3 dan 4 adalah kolom pipih yang orientasi arah ke salah satu sumbu, X dan Y, dan variasi 5 dan 6 adalah kolom pipih yang orientasi arahnya diselang-seling ke arah X dan Y.

Hasil analisis menunjukkan bahwa variasi 6 mempunyai periode struktur terkecil, yaitu 1.008s, disusul oleh variasi 1, dan variasi 2, masing-masing 1.071s dan 1.085s. Sementara nilai simpangan maksimum pada variasi 1, variasi 2, variasi 5, dan variasi 6, tidak berbeda secara signifikan antara arah X dan Y, sedangkan pada variasi 3 dan variasi 4, nilai simpangan maksimum arah X dan arah Y berbeda sangat signifikan. Hal ini disebabkan oleh perbedaan nilai inersia yang besar antara arah X dan Y yang menimbulkan arah kuat di satu sumbu, dan arah lemah di sumbu ortogonal lainnya.

2.10.4. Teddy Irawan & Ikahariya Pratiwi Matra, 2024

“Pengaruh Penggunaan Kolom Tipis Pada Bangunan Beton Untuk Rumah Tinggal Betingkat 2”

Rumah sebagai kebutuhan utama pada zaman sekarang ini. Kebutuhan tempat tinggal sangat penting seiring dengan pertumbuhan ekonomi. renovasi perumahan juga banyak dilakukan yang awalnya dari satu lantai menjadi dua lantai atau lebih. Pada perubahan renovasi tersebut banyak terjadi perubahan beban bangunan seperti beban mati dan beban hidup dikarenakan adanya penambahan ruangan-ruangan. Kolom merupakan salah satu komponen dari struktur bangunan yang berfungsi untuk menyangga beban aksial tekan vertikal. Kolom memiliki peran penting dalam struktur bangunan, yang apabila kolom mengalami kegagalan struktur dapat berakibat langsung pada struktur bangunan yang akan mengakibatkan robohnya bangunan tersebut. Penelitian ini difokuskan pada

Analisis struktur dengan perbandingan ukuran dimensi kolom bantuan aplikasi program SAP2000 versi 14. Analisa struktur kolom yg ditinjau adalah pada bangunan Rumah 2 lantai Ukuran penampang kolom yang digunakan kolom tipis 15 cm x 40 cm dan kolom tebal 30 cm x 30 cm.

Hasil analisis menggunakan program aplikasi Sap2000 selisih yang terjadi pada momen lantai 1 menggunakan kolom tipis 4894 kNmm dan kolom tebal 4895 kNmm dengan selisih 0,02% dan momen lantai 2 kolom tipis 125 kN dan kolom tebal 130 kN dengan selisih 3,84%. Pada Lantai 1 momen. Momen lantai 2 menggunakan kolom tipis 13753 kNmm dan kolom tebal 12327 kNmm dengan selisih 11,5% dan momen lantai 2 kolom tipis 37 kN dan kolom tebal 39 kN dengan selisih 5,12%. Hal itu terjadi karena kapasitas tahanan momen pada kolom tebal lebih besar untuk menahan momen dan gaya aksial

2.10.5. Ni Luh Putu Anisya Wandini, 2023

“Review Struktur Kolom (Kolom Pipih) Pada Bangunan Lantai 2 Proyek Pembangunan Villa Z House”

Dari hasil dan pembahasan review keamanan struktur kolom pipih proyek pembangunan villa Z House berdasarkan SNI 1726:2012 Dapat disimpulkan bahwa hasil Run Analysis akhir pada pemodelan struktur di SAP 2000 v14 menunjukkan bahwa kekuatan struktur kolom pipih mengalami over strength atau melebihi kapasitas maximum untuk menahan beban yang bekerja. Khususnya beban gempa statik dan gempa dinamik.

Menurut SNI 1726:2012 keamanan struktur kolom dengan tulangan yang direncanakan tidak memenuhi syarat, yang dimana syarat dalam SNI ragam efektif minimum adalah 90%. Namun, pada SAP didapatkan hasilnya 69%, angka ini masih terbilang jauh dari kata memenuhi syarat SNI yang berlaku kategori bangunan tahan gempa. Pada perhitungan tulangan kolom manual, setelah dicoba menggunakan tulangan kolom yang direncanakan juga tidak memenuhi nilai P_u (gaya geser aksial) dan M_u (Momen Ultimate) yang diperoleh lebih besar dari nilai $3P_n$ (Kekuatan Penampang).

Hasil ini menunjukkan bahwa perhitungan manual dan SAP sama- sama tidak memenuhi SNI yang digunakan. Sehingga disimpulkan bahwa dimensi kolom pipih

yang direncanakan tidak aman serta rentan patah atau bangunan roboh saat menerima beban gempa static dan dinamik. Tentu hal ini sangat berbahaya apabila benar-benar terjadi. Mengingat bangunan yang direncanakan ini merupakan hunian yang akan ditempati dalam jangka waktu yang lama.

2.10.6. Shanti Wahyuni Megasari dkk, 2020

“Kapasitas Struktur Kolom Pipih Beton Bertulang pada Perumahan Villa Anggrek Kota Pekanbaru”

Evaluasi kapasitas struktur kolom pipih beton bertulang yang digunakan pada proyek renovasi Perumahan Villa Anggrek, dari 1 lantai menjadi 2 lantai. Fokus utama adalah pada perbandingan elemen struktur existing dan struktur rencana, terutama elemen kolom pipih yang didesain rata dengan dinding demi alasan estetika.

Metode yang digunakan melibatkan analisis struktur tiga dimensi dengan bantuan software ETABS v16.2.0 dan SAFE 16.0.1, serta analisis kekuatan penampang kolom menggunakan SPColumn v6.0. Evaluasi dilakukan terhadap elemen pelat, balok, dan kolom baik pada struktur existing maupun struktur rencana, lalu dikontrol secara manual berdasarkan SNI 2847:2013 dan SNI 1727:2013.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua elemen struktur existing maupun rencana, termasuk kolom pipih, memenuhi persyaratan SNI. Kolom pipih tipe K1, K2, dan K3 mampu menahan beban aksial dan momen lentur dengan nilai $P_u < \phi P_n$ dan $M_u < \phi M_n$. Terdapat peningkatan gaya aksial ultimit pada kolom rencana (hingga 35,92%) namun tetap dalam batas aman. Meskipun kolom pipih memberikan nilai estetika lebih baik karena rata dinding, perlu diperhatikan risiko tekuk akibat dimensi yang lebih kecil dalam satu arah.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Pemodelan Penelitian

Tugas akhir ini bertujuan untuk merancang dan membandingkan struktur kolom pipih dan kolom persegi pada bangunan 4 lantai, dengan fokus utama untuk menentukan batas aman dimensi serta mutu bahan kolom yang digunakan. Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari proses pemodelan struktur menggunakan perangkat lunak ETABS untuk analisis struktur secara keseluruhan, serta SP Column untuk analisis kapasitas kolom. Selain itu, standar-standar teknis dan peraturan yang relevan, seperti Standar Nasional Indonesia (SNI), juga digunakan sebagai acuan dalam proses perencanaan dan evaluasi struktur.

3.2. Data Sekunder

Data sekunder dalam penelitian ini terdiri dari hasil pemodelan numerik dan data teknis peraturan yang relevan, seperti Standar Nasional Indonesia (SNI). Hasil pemodelan diperoleh dari perangkat lunak ETABS dan SP Column, di mana ETABS digunakan untuk memodelkan perilaku struktur bangunan 4 lantai secara keseluruhan. Pemodelan ini mencakup distribusi beban, gaya dalam dan pengecekan hasil analisis struktur.

Sementara itu, perangkat lunak SP Column digunakan secara spesifik untuk menganalisis kapasitas tekan aksial dan interaksi momen pada kolom. Dengan bantuan SP Column, dapat diketahui batas aman dimensi dan mutu bahan dari masing-masing jenis kolom yang ditinjau.

Data sekunder juga mencakup standar dan ketentuan teknis yang digunakan sebagai pedoman dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan. Sumber data sekunder dalam penelitian ini meliputi:

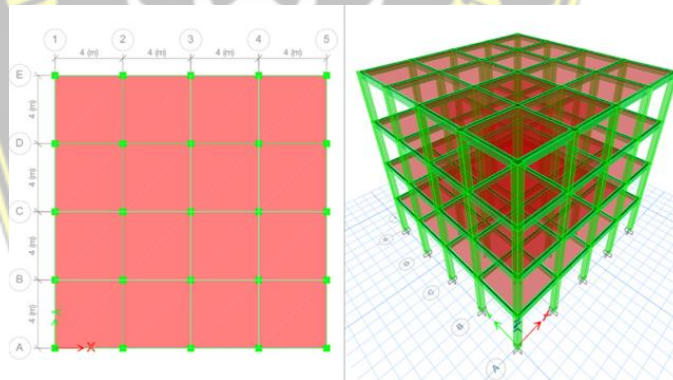
1. SNI 1726:2019 (tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung).

2. SNI 2847:2019 (persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung).
3. SNI 2052:2024 (baja tulangan beton).
4. SNI 1727:2020 (beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain).

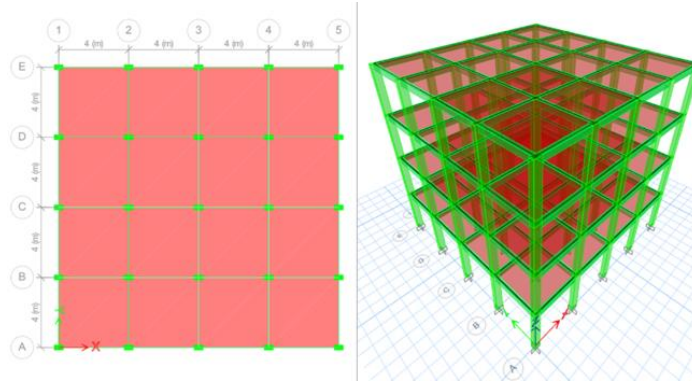
3.3. Metode Analisis Data

Tahapan-tahapan dalam analisis data pada penelitian ini dilakukan berdasarkan data sekunder yang telah dikumpulkan yaitu:

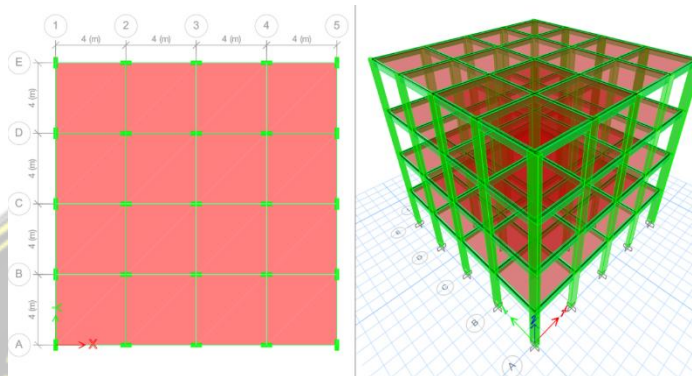
1. Persiapan data & pembebanan (SNI 1727:2020, SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, SNI 2052:2024).
 - a. Tetapkan fungsi bangunan, kategori risiko $\rightarrow$ KDS; tentukan S_s , $S_1 \rightarrow F_a$, $F_v \rightarrow S_{MS}/S_{M1} \rightarrow S_{DS}/S_{D1}$.
 - b. Susun kombinasi beban gravitasi dan gempa; tetapkan R , C_d , dan Ω_0 per arah bila sistem struktur berbeda pada sumbu X–Y.
2. Analisa Menggunakan ETABS Versi 20.2.0 dan Excell
 - a. Definisikan material, mutu, dan memodelkan variasi penampang kolom 400 mm $\times$ 400 mm, 300 mm $\times$ 533 mm, 250 mm $\times$ 640 mm, 200 mm $\times$ 800 mm, 150 mm $\times$ 1066 mm.



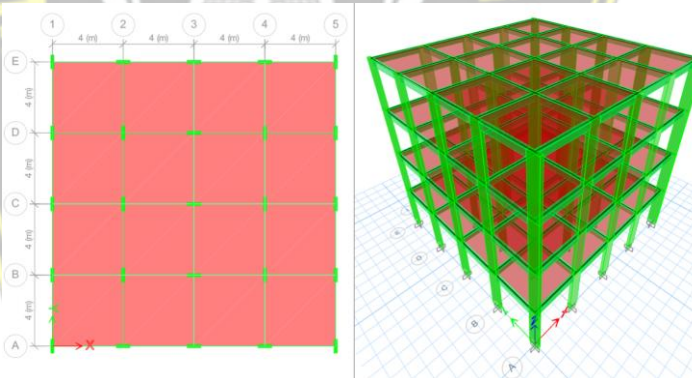
Gambar 3. 1. Pemodelan Kolom Persegi Ukuran 400 mm x 400 mm



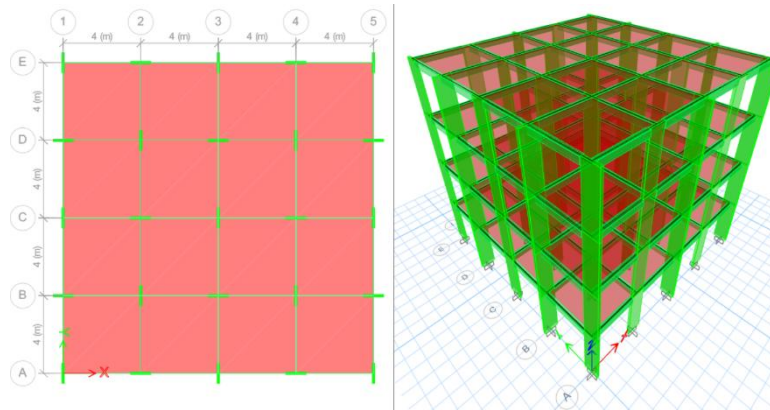
Gambar 3. 2. Pemodelan Kolom Persegi Ukuran 300 mm x 533 mm



Gambar 3. 3. Pemodelan Kolom Persegi Ukuran 250 mm x 640 mm



Gambar 3. 4. Pemodelan Kolom Persegi Ukuran 200 mm x 800 mm

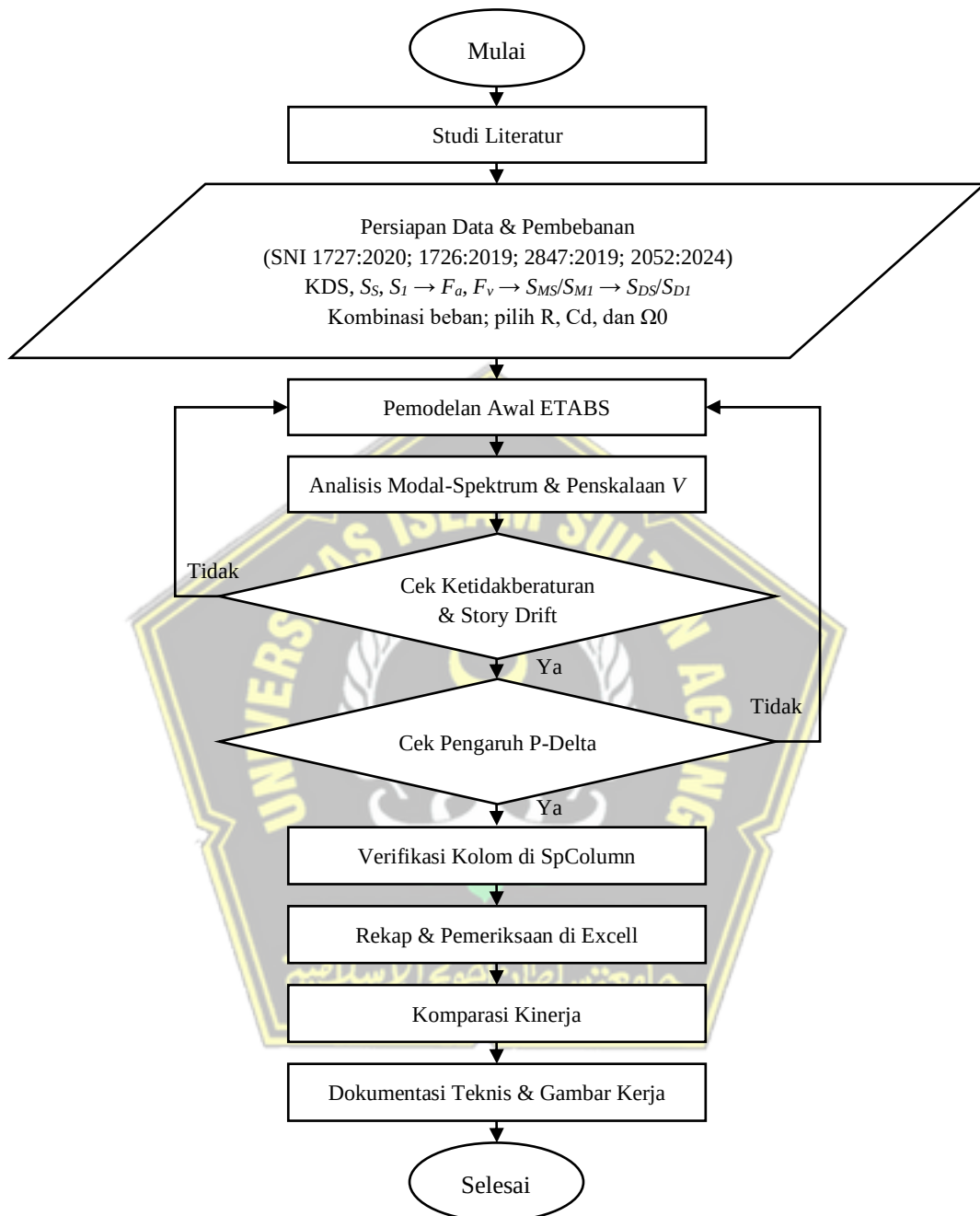


Gambar 3. 5. Pemodelan Kolom Persegi Ukuran 150 mm x 1066,6 mm

- b. Terapkan diafragma semi-rigid, *rigid zone factor* = 0,5 pada *end length offset*, *auto-mesh* untuk elemen rangka $\pm 0,5$ m dan pelat dibagi panel kecil.
 - c. Definisikan *load pattern*, *mass source* (dengan pengali yang tepat), *respons spectrum*, *load case*, dan kombinasi.
3. Analisis Modal–Spektrum dan Penskalaan Geser Dasar
 - a. Sertakan jumlah ragam hingga akumulasi partisipasi massa $\approx 100\%$ per arah; tinjau bentuk ragam (*deformed shape*).
 - b. Jalankan analisis respons spektrum; terapkan torsi tak terduga 5% per arah (tidak simultan) bila disyaratkan.
 - c. Lakukan penskalaan sehingga geser dasar spektral (V_{RS}) tidak kurang dari batas minimum (V_{min}) sesuai Pasal 7.8.1 SNI 1726:2019.
 4. Desain Elemen di ETABS
 - a. Jalankan desain beton; pastikan pemilihan kombinasi desain telah benar dan evaluasi kebutuhan tulangan.
 - b. Ekstrak P_u , M_{ux} , M_{uy} serta gaya geser tiap kolom sebagai dasar verifikasi penampang.
 5. Pemeriksaan Dini
 - a. Evaluasi ketidakberaturan horizontal/vertikal serta torsi; untuk tipe 1a/1b periksa kebutuhan faktor pembesaran torsi (A_x).
 - b. Periksa simpangan antar tingkat: konversi Δ elastik $\rightarrow \Delta$ desain (Pasal 7.8.6) dan bandingkan dengan Δ_a (Pasal 7.12.1).
 - c. Bila tidak memenuhi, lakukan penyesuaian sistem/penampang/penempatan elemen dan ulangi Langkah 3–4.

6. Evaluasi Stabilitas P-Delta (Pasal 7.8.7 SNI 1726:2019)
 - a. Hitung koefisien stabilitas θ per tingkat.
 - 1) $\theta \leq 0,10 \rightarrow$ efek orde-dua (P-Delta) dapat diabaikan.
 - 2) $\theta > 0,10 \rightarrow$ aktifkan analisis P-Delta (nonlinear static; beban gravitasi + lateral representatif) dan lakukan perhitungan ulang.
 - b. Ulangi verifikasi drift dan ketidakberaturan dengan hasil pasca P-Delta hingga seluruh kriteria terpenuhi.
7. Verifikasi Kolom di spColumn
 - a. Masukkan geometri, material, detail tulangan, dan kombinasi beban; hasilkan diagram interaksi P-M.
 - b. Pastikan $\phi M_n \geq M_u$ dan rasio utilisasi aman; lakukan penyesuaian tulangan bila diperlukan.
8. Rekapitulasi dan Pemeriksaan di Excel
 - a. Lakukan cek tulangan longitudinal dan transversal, susun rekap A_s , θ , V , serta status ketidakberaturan/torsi (A_x) secara sistematis.
9. Perbandingan Kinerja Sistem Kolom
 - a. Bandingkan kolom pipih dan kolom persegi pada setiap lantai: simpangan, stabilitas (θ), gaya dalam, kebutuhan tulangan, dan implikasi detailing.
10. Dokumentasi Teknis dan Gambar Kerja.
 - a. Sajikan tabel ringkasan, grafik drift, cuplikan bentuk ragam, keluaran desain, serta gambar penulangan final sebagai bagian dari pelaporan ilmiah.

3.4. Diagram Alir Proses Penelitian



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Deskripsi Bangunan

4.1.1. Dimensi Bangunan

1. Dimensi Kolom Persegi

Kolom berukuran seragam untuk mendukung beban tiap lantai, ditempatkan pada grid $4,00 \text{ m} \times 4,00 \text{ m}$.

Tabel 4. 1. Tabel dimensi kolom persegi

Lantai	Ukuran Kolom (b × h)	Jarak Antar Kolom	Jumlah Kolom
Lantai 1	400 mm × 400 mm	4,00 m	25
Lantai 2	400 mm × 400 mm	4,00 m	25
Lantai 3	400 mm × 400 mm	4,00 m	25
Lantai 4	400 mm × 400 mm	4,00 m	25

2. Dimensi Kolom Pipih

Kolom berbentuk I dan berukuran seragam untuk mendukung beban tiap lantai, ditempatkan pada grid $4,00 \text{ m} \times 4,00 \text{ m}$.

Tabel 4. 2. Tabel dimensi kolom pipih 150 mm × 1066 mm

Lantai	Ukuran Kolom (b × h)	Jarak Antar Kolom	Jumlah Kolom
Lantai 1	150 mm × 1066 mm	4,00 m	25
Lantai 2	150 mm × 1066 mm	4,00 m	25
Lantai 3	150 mm × 1066 mm	4,00 m	25
Lantai 4	150 mm × 1066 mm	4,00 m	25

Tabel 4. 3. Tabel dimensi kolom pipih 200 mm × 800 mm

Lantai	Ukuran Kolom (b × h)	Jarak Antar Kolom	Jumlah Kolom
Lantai 1	200 mm × 800 mm	4,00 m	25
Lantai 2	200 mm × 800 mm	4,00 m	25
Lantai 3	200 mm × 800 mm	4,00 m	25
Lantai 4	200 mm × 800 mm	4,00 m	25

Tabel 4. 4. Tabel dimensi kolom pipih 250 mm × 640 mm

Lantai	Ukuran Kolom (b × h)	Jarak Antar Kolom	Jumlah Kolom
Lantai 1	250 mm × 640 mm	4,00 m	25

Lantai 2	250 mm × 640 mm	4,00 m	25
Lantai 3	250 mm × 640 mm	4,00 m	25
Lantai 4	250 mm × 640 mm	4,00 m	25

Tabel 4. 5. Tabel dimensi kolom pipih 300 mm × 533 mm

Lantai	Ukuran Kolom (b × h)	Jarak Antar Kolom	Jumlah Kolom
Lantai 1	300 mm × 533 mm	4,00 m	25
Lantai 2	300 mm × 533 mm	4,00 m	25
Lantai 3	300 mm × 533 mm	4,00 m	25
Lantai 4	300 mm × 533 mm	4,00 m	25

3. Dimensi Balok

Balok di desain sama di semua lantai, memikul beban pelat dan mendistribusikannya ke kolom.

Tabel 4. 6. Tabel dimensi balok parimeter

Lantai	Balok Perimeter (b × h)	Bentang Tipikal
Lantai 1	250 mm × 400 mm	4,00 m
Lantai 2	250 mm × 400 mm	4,00 m
Lantai 3	250 mm × 400 mm	4,00 m
Lantai 4	250 mm × 400 mm	4,00 m

4. Dimensi Plat Lantai

Pelat beton bertulang dengan ketebalan seragam 120 mm pada setiap lantai.

Tabel 4. 7. Tabel tebal plat lantai

Lantai	Ketebalan Pelat
Lantai 1	—
Lantai 2	120 mm
Lantai 3	120 mm
Lantai 4	120 mm
Atap	120 mm

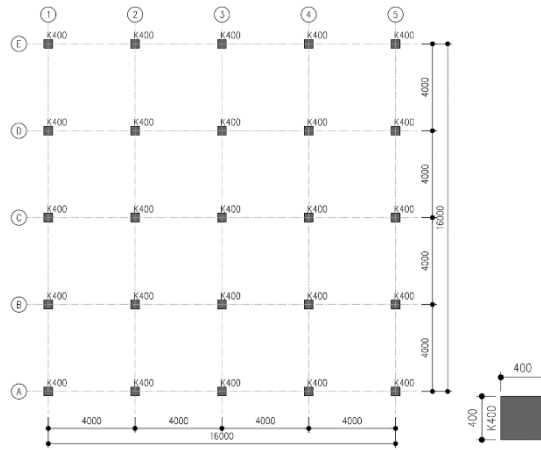
4.1.2. Spesifikasi Material

Mutu beton struktur yang digunakan adalah $f_c' = 25$ MPa dan baja tulangan dengan $f_y = 420$ MPa.

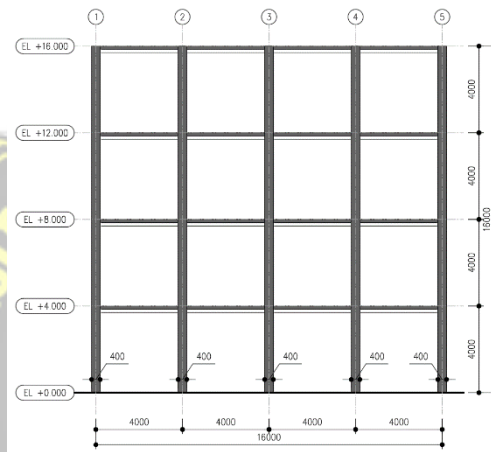
4.2. Analisa Struktur dengan ETABS Versi 20.2.0

4.2.1. Pemodelan Stuktur Atas dengan Desain Kolom Persegi dan Pipih

1. Modeling Kolom Persegi 400 mm × 400 mm

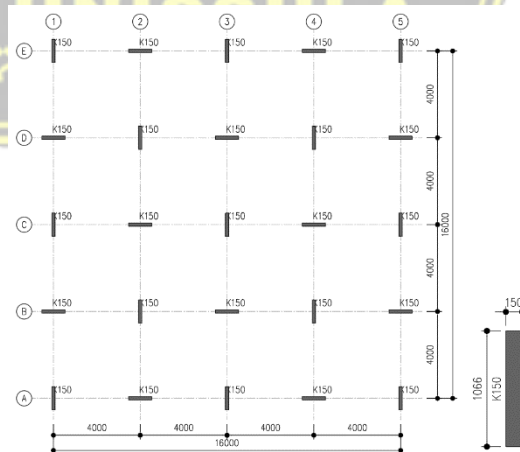


Gambar 4. 1. Denah kolom persegi 400 mm × 400 mm

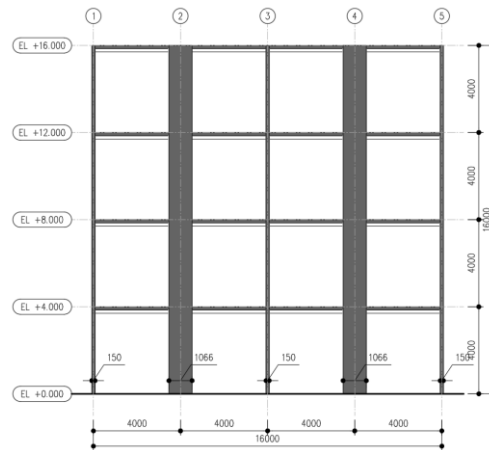


Gambar 4. 2. Potongan pada grid kolom persegi 400 mm × 400 mm

2. Modeling Kolom Pipih 150 mm × 1066 mm

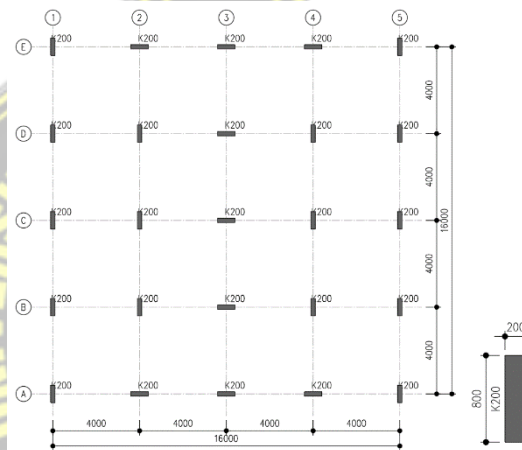


Gambar 4. 3. Denah kolom pipih 150 mm × 1066 mm

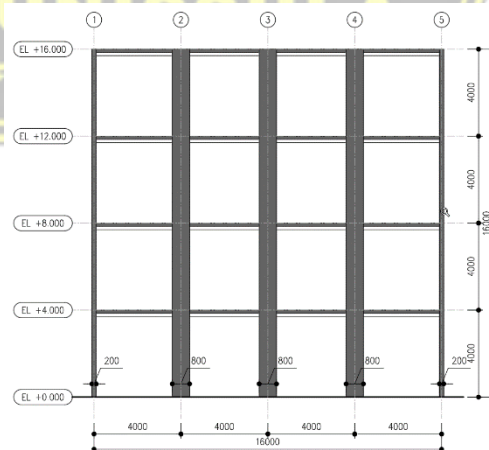


Gambar 4. 4. Potongan pada grid kolom pipih 150 mm × 1066 mm

3. Modeling Kolom Pipih 200 mm × 800 mm

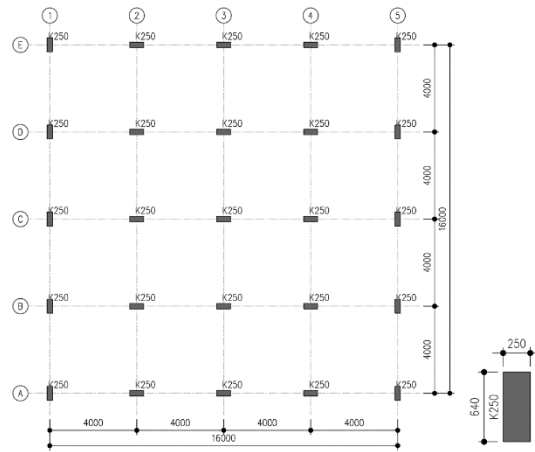


Gambar 4. 5. Denah kolom pipih 200 mm × 800 mm

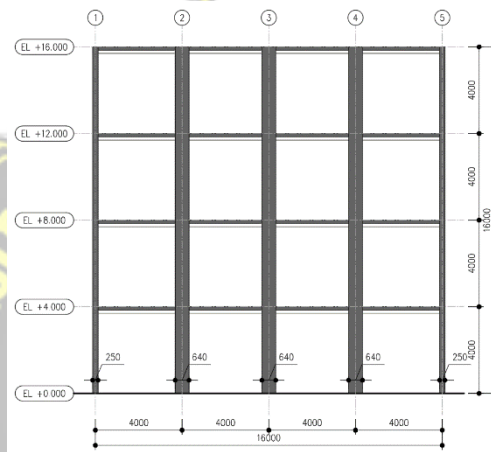


Gambar 4. 6. Potongan pada grid kolom pipih 200 mm × 800 mm

4. Modeling Kolom Pipih 250 mm × 640 mm

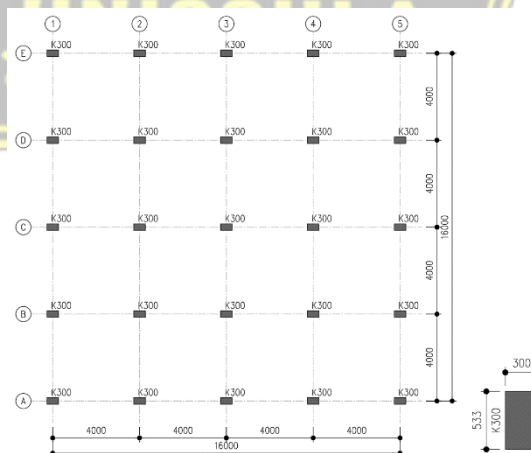


Gambar 4. 7. Denah kolom pipih 250 mm × 640 mm

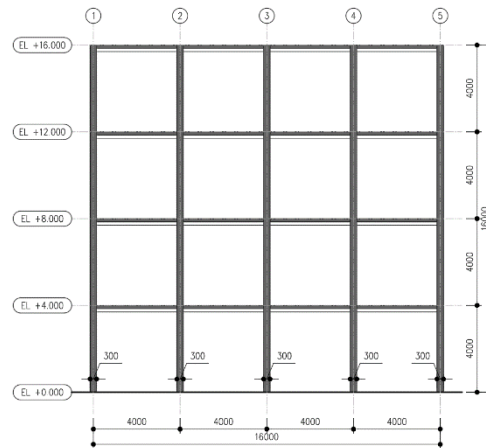


Gambar 4. 8. Potongan pada grid kolom pipih 250 mm × 640 mm

5. Modeling Kolom Pipih 300 mm × 533 mm



Gambar 4. 9. Denah kolom pipih 300 mm × 533 mm



Gambar 4. 10. Potongan pada grid kolom pipih 300 mm × 533 mm

4.2.2. Perhitungan Pembebanan

1. Beban Mati

Beban mati struktural adalah beban yang ditimbulkan oleh elemen-elemen bangunan seperti kolom, balok, dan pelat lantai. Pada perancangan ini, digunakan beton bertulang dengan berat jenis 2,4 kN/m³. Perhitungan beban mati dilakukan secara otomatis dalam ETABS, berdasarkan luas penampang dan beban yang telah dimodelkan.

2. Beban Mati Tambahan (*Superimposed Dead Load*)

Beban mati tambahan adalah beban permanen yang dihasilkan langsung oleh elemen-elemen struktural bangunan itu sendiri.

Tabel 4. 8. Tabel beban mati tambahan

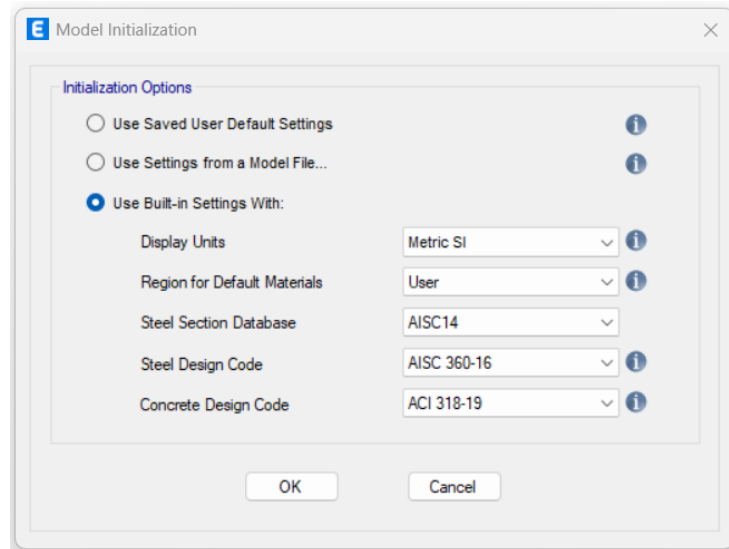
Komponen Beban	Berat Jenis
Keramik	0,18 kN/m ²
Mortar tebal 3 - 4 cm	0,8 kN/m ²
Instalasi MEP	0,25 kN/m ²
Plafond + rangka	0,32 kN/m ²
Dinding	6,00 kN/m'

3. Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban tidak permanen yang dikenakan pada struktur, seperti beban akibat aktivitas penghuni dan perabot yang dapat dipindahkan. Untuk perancangan beban hidup, seluruh ruang di-generalisir sebagai ruang pribadi dengan beban merata 1,92 kN/m² sesuai SNI 1727:2020 tentang pembebanan minimum tabel 4.3.1.

4.2.3. Model Initialization

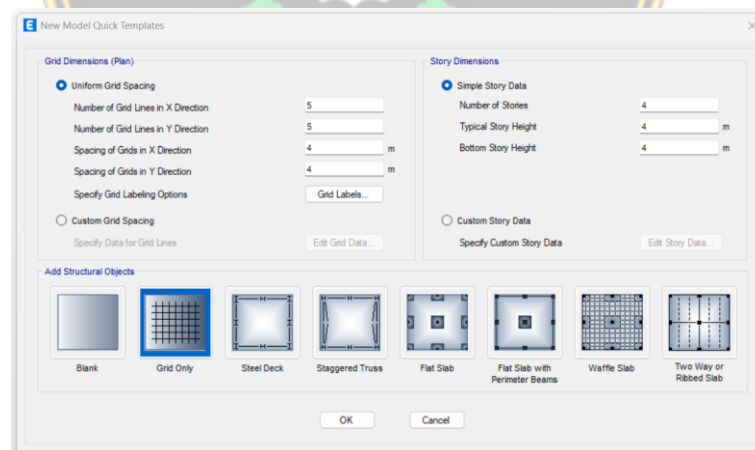
Menentukan pedoman aturan terbaru dalam menganalisa struktur Gedung.



Gambar 4. 11. Tampilan menu *Model Initialization* pada ETABS

4.2.4. Grid System Data

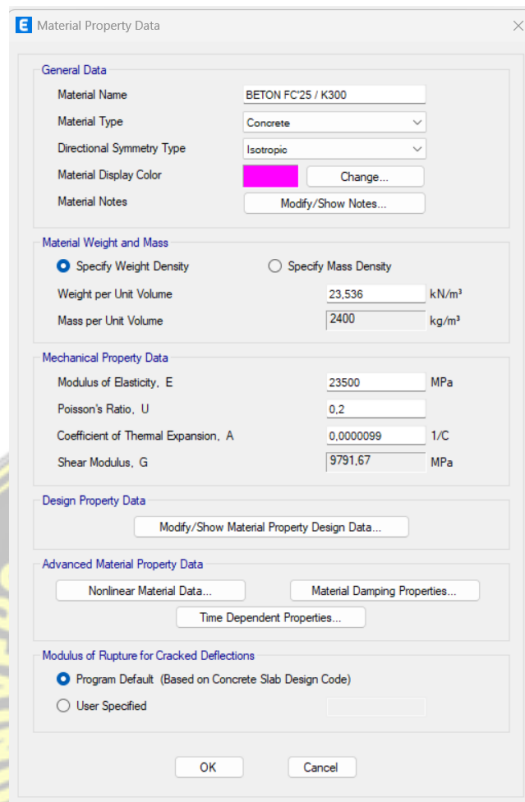
Menentukan dimensi ukuran bangunan dari jumlah kolom, luas ruangan dan jumlah tingkat bangunan yang akan direncanakan.



Gambar 4. 12. Menentukan Model Awal

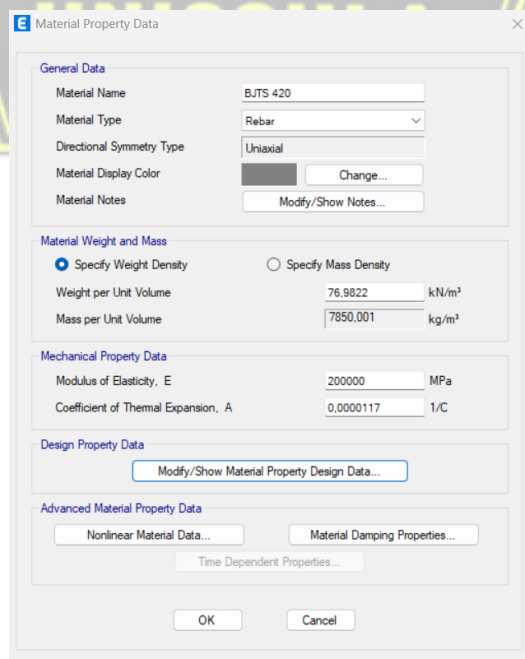
4.2.5. Input Material Properties

Material beton bertulang menggunakan K-300 atau f_c' -25 MPa untuk semua elemen struktur seperti balok, kolom dan pelat, input data material dengan urutan menu pilihan sebagai berikut; *define – material – properties*



The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for a concrete material. The 'General Data' section includes 'Material Name' (BETON FC'25 / K300), 'Material Type' (Concrete), 'Directional Symmetry Type' (Isotropic), 'Material Display Color' (a pink color swatch), and 'Material Notes'. The 'Material Weight and Mass' section has 'Specify Weight Density' selected, with 'Weight per Unit Volume' at 23.536 kN/m³ and 'Mass per Unit Volume' at 2400 kg/m³. The 'Mechanical Property Data' section includes 'Modulus of Elasticity, E' (23500 MPa), 'Poisson's Ratio, U' (0.2), 'Coefficient of Thermal Expansion, A' (0.0000099 1/C), and 'Shear Modulus, G' (9791.67 MPa). The 'Design Property Data' section has a button 'Modify/Show Material Property Design Data...'. The 'Advanced Material Property Data' section has buttons for 'Nonlinear Material Data...', 'Material Damping Properties...', and 'Time Dependent Properties...'. The 'Modulus of Rupture for Cracked Deflections' section has 'Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)' selected. The dialog box has 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

Gambar 4. 13. Input Mutu Beton



The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for a rebar material. The 'General Data' section includes 'Material Name' (BJTS 420), 'Material Type' (Rebar), 'Directional Symmetry Type' (Uniaxial), 'Material Display Color' (a grey color swatch), and 'Material Notes'. The 'Material Weight and Mass' section has 'Specify Weight Density' selected, with 'Weight per Unit Volume' at 76.9822 kN/m³ and 'Mass per Unit Volume' at 7850.001 kg/m³. The 'Mechanical Property Data' section includes 'Modulus of Elasticity, E' (200000 MPa) and 'Coefficient of Thermal Expansion, A' (0.000117 1/C). The 'Design Property Data' section has a button 'Modify/Show Material Property Design Data...'. The 'Advanced Material Property Data' section has buttons for 'Nonlinear Material Data...', 'Material Damping Properties...', and 'Time Dependent Properties...'. The dialog box has 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

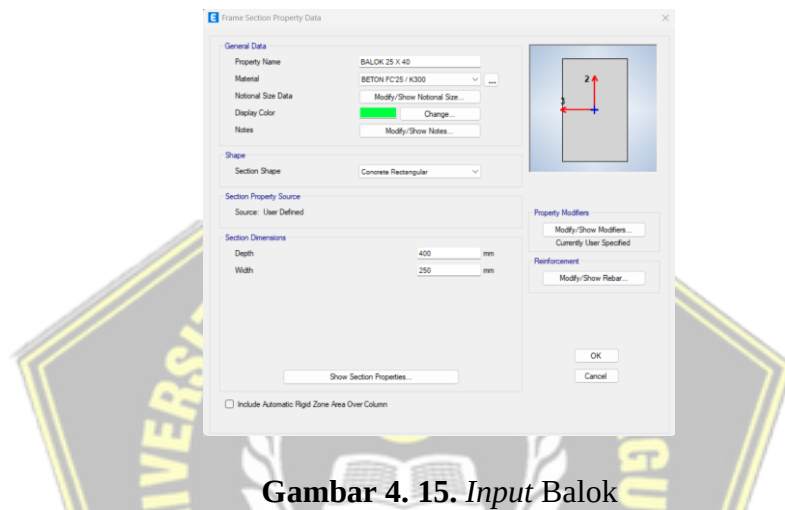
Gambar 4. 14. *Input Mutu Besi Tulangan*

4.2.6. *Input Frame Section*

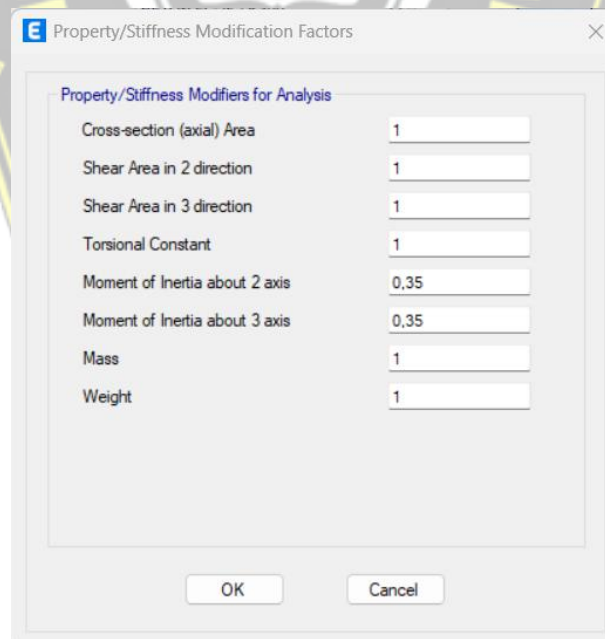
Input data struktur yaitu balok, kolom, pelat dengan urutan menu pilihan sebagai berikut;

1. *Input Data Balok*

Adapun Langkah dalam menginput data balok sebagai berikut : define – section properties – frame section – add new property



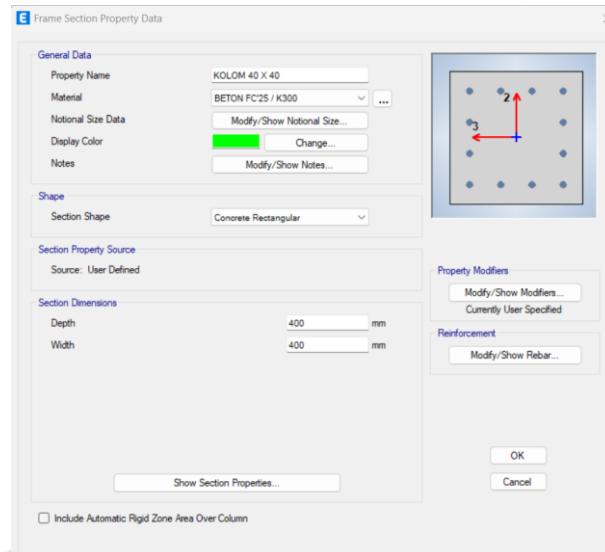
Gambar 4. 15. *Input Balok*



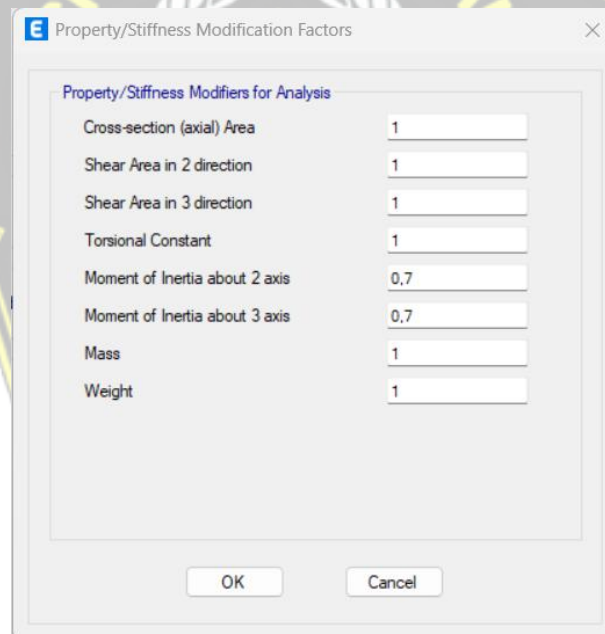
Gambar 4. 16. *Input stiffness Modifikasi Factors Balok*

2. Input Data Kolom

Adapun Langkah dalam menginput data balok sebagai berikut : define – section properties – frame section – add new property



Gambar 4. 17. Input Kolom



Gambar 4. 18. Input stiffness Modifikasi Factors Kolom

3. Input Data Pelat

Adapun Langkah dalam menginput data balok sebagai berikut : define – section properties – slab section – add new property

Slab Property Data

General Data

Property Name: PLAT LANTAI 12 CM

Slab Material: BETON FC'25 / K300

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Shell-Thin

Modifiers (Currently User Specified): Modify/Show...

Display Color: Change...

Property Notes: Modify/Show...

Property Data

Type: Slab

Thickness: 120 mm

OK Cancel

Gambar 4. 19. *Input Pelat Lantai*

Property/Stiffness Modification Factors

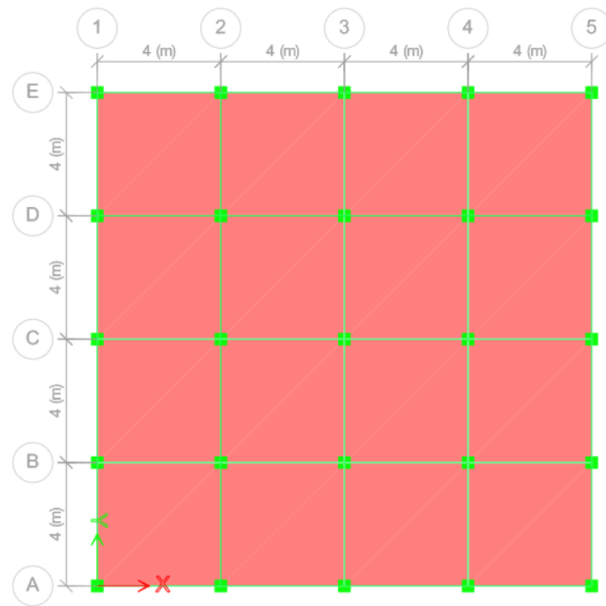
Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Membrane f11 Direction	0,25
Membrane f22 Direction	0,25
Membrane f12 Direction	0,25
Bending m11 Direction	0,25
Bending m22 Direction	0,25
Bending m12 Direction	0,25
Shear v13 Direction	1
Shear v23 Direction	1
Mass	1
Weight	1

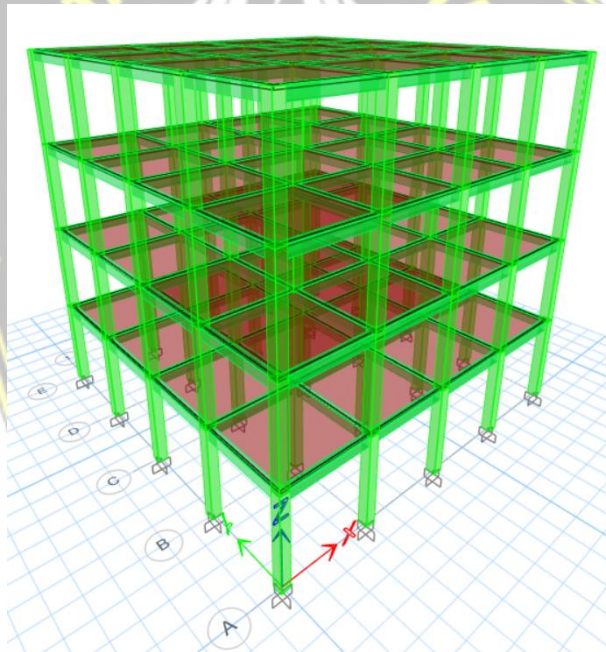
OK Cancel

Gambar 4. 20. *Input stiffness Modifikasi Factors Pelat*

4.2.7. Hasil Pemodelan



Gambar 4. 21. Denah Lantai 1 - 4

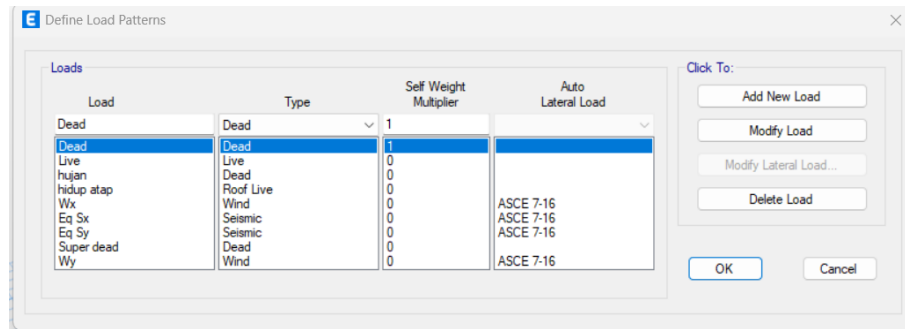


Gambar 4. 22. Perspektif 3D Rumah Tinggal 4 Lantai

4.2.8. Input Load Pattern

Untuk mendefinisikan jenis-jenis beban yang akan bekerja pada struktur, seperti beban mati (dead load), beban hidup (live load), beban angin, gempa, dan lainnya.

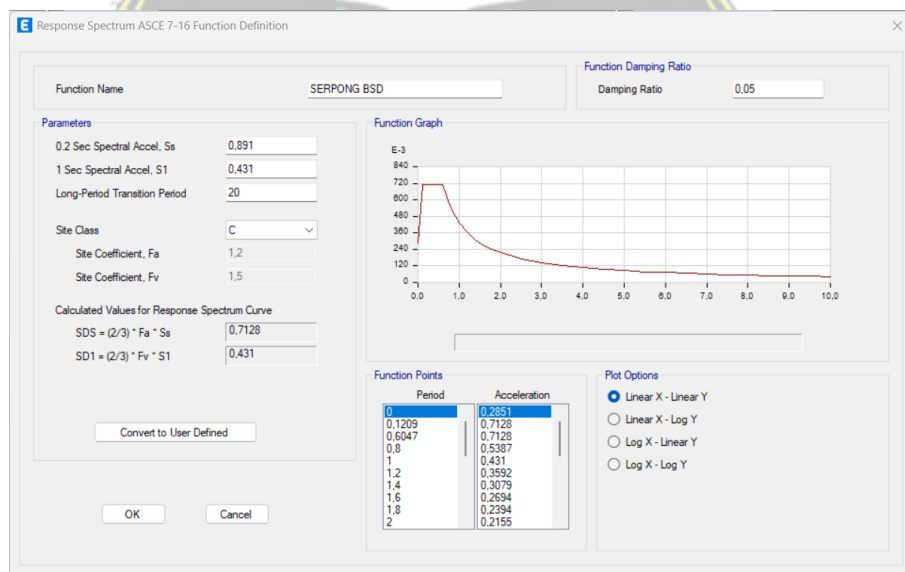
Adapun Langkah dalam menginput sebagai berikut : define – load patterns



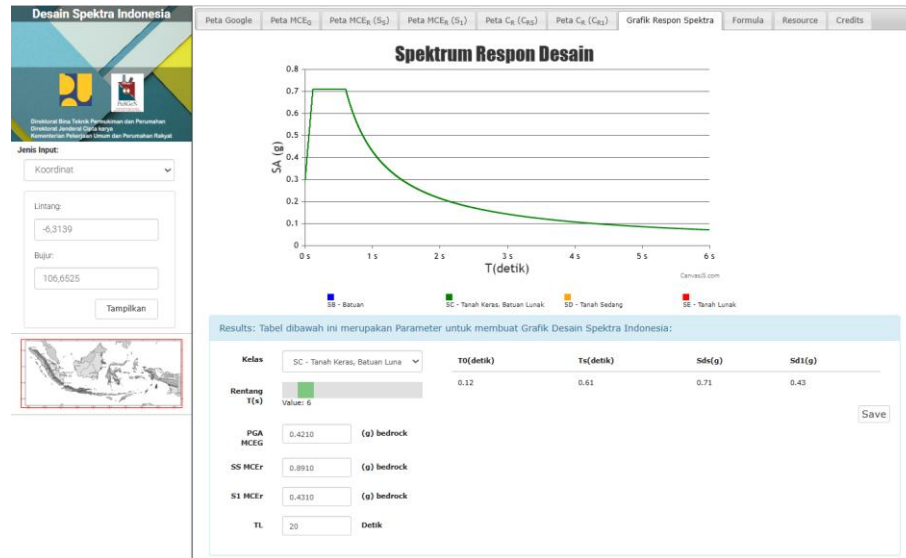
Gambar 4. 23. Input load pattern

4.2.9. Input Respons Spectrum

Untuk mendefinisikan spektrum respons gempa yang digunakan dalam analisis dinamik respons spektrum. Spektrum ini menggambarkan hubungan antara percepatan maksimum yang dialami struktur terhadap periode getarnya akibat gempa. Adapun Langkah dalam menginput sebagai berikut : define – functions – response spectrum



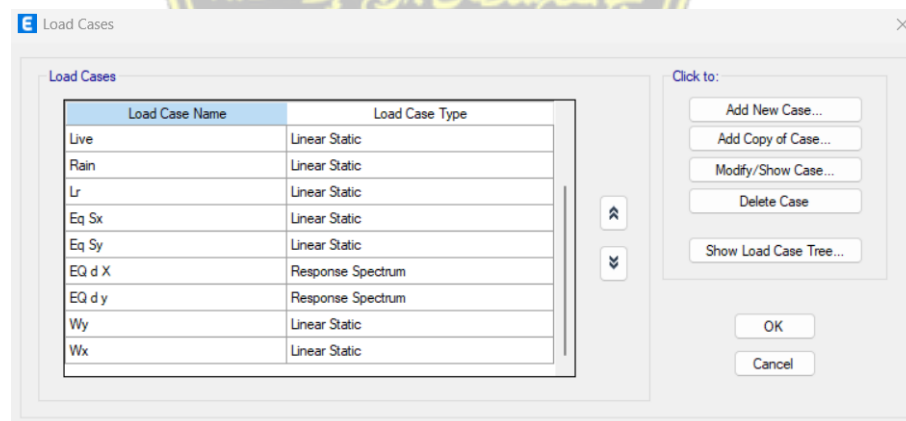
Gambar 4. 24. Input Respons Spectrum



Gambar 4. 25. Spektrum respon desain RSA

4.2.10. Input load cases

Untuk mendefinisikan urutan dan jenis analisis beban yang akan dilakukan terhadap struktur, seperti analisis statik linier, statik nonlinier (*pushover*), dinamik respons spektrum, atau *time history*. *Load case* menggabungkan pola-pola beban (*load pattern*) yang telah ditentukan sebelumnya, serta menentukan bagaimana beban tersebut diterapkan pada struktur. Dengan pengaturan load case, pengguna dapat mensimulasikan berbagai kondisi pembebanan untuk melihat respons struktur secara lebih rinci, seperti perpindahan, gaya dalam, dan tegangan pada elemen-elemen struktur.



Gambar 4. 26. Input load cases

4.2.11. Input kombinasi beban

Perhitungan beban gempa pada struktur ini merujuk pada SNI 1726:2019 tentang pedoman ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan non-gedung. Menurut standar tersebut, beban gempa ditentukan lewat respons spektra yang dihitung untuk probabilitas terulangnya gempa setiap 2.500 tahun. Untuk analisis, kurva respons spektra disesuaikan dengan kondisi di BSD Tangerang dimana data spektra diambil dari peta gempa 2021.

Tabel 4. 9. Tabel kombinasi beban

Nomor	DL	SIDL	LL	Lr	R	Wx	Wy	Ex	Ey
1	1,1	1,4	1,4						
2	2,1	1,2	1,2	1,6	0,5				
	2,2	1,2	1,2	1,6	0,5				
3	3,1	1,2	1,2	1	1,6				
	3,2	1,2	1,2		1,6	0,5			
	3,3	1,2	1,2		1,6		0,5		
	3,4	1,2	1,2		1,6	0,375	0,375		
	3,5	1,2	1,2	1	1,6				
	3,6	1,2	1,2		1,6	0,5			
	3,7	1,2	1,2		1,6		0,5		
	3,8	1,2	1,2		1,6	0,375	0,375		
4	4,1	1,2	1,2	1	0,5	1			
	4,2	1,2	1,2	1	0,5		1		
	4,5	1,2	1,2	1	0,5	0,75	0,75		
	4,3	1,2	1,2	1	0,5	1			
	4,4	1,2	1,2	1	0,5		1		
	4,6	1,2	1,2	1	0,5	0,75	0,75		
5	5,1	0,9	0,9			1			
	5,2	0,9	0,9				1		
	5,3	0,9	0,9			0,75	0,75		
6	6,1	13,451	13,451	1				1,3	0,39
	6,2	13,451	13,451	1				1,3	-0,39
	6,3	13,451	13,451	1				-1,3	0,39
	6,4	13,451	13,451	1				-1,3	-0,39
	6,5	13,451	13,451	1				0,39	1,3
	6,6	13,451	13,451	1				-0,39	1,3
	6,7	13,451	13,451	1				0,39	-1,3
	6,8	13,451	13,451	1				-0,39	-1,3

Nomor	DL	SIDL	LL	Lr	R	Wx	Wy	Ex	Ey
7	7,1	0,7549	0,7549					1,3	0,39
	7,2	0,7549	0,7549					1,3	-0,39
	7,3	0,7549	0,7549					-1,3	0,39
	7,4	0,7549	0,7549					-1,3	-0,39
	7,5	0,7549	0,7549					0,39	1,3
	7,6	0,7549	0,7549					-0,39	1,3
	7,7	0,7549	0,7549					0,39	-1,3
	7,8	0,7549	0,7549					-0,39	-1,3

4.2.12. Analisa Beban Gempa

1. Data Percepatan Gempa

a. Data Input

Pada tahap awal, dilakukan pengumpulan data spektral percepatan gempa yang menjadi basis perhitungan desain. Data ini mencakup nilai Spektral Percepatan Periode Pendek (S_s) dan Spektral Percepatan Periode 1 detik (S_1) yang diambil dari peta respons gempa BMKG untuk lokasi BSD, Serpong, Tangerang. Selain itu, ditentukan pula kelas situs tanah yaitu SC.

b. Penentuan Koefisien Situs

Koefisien situs (F_a dan F_v) menggambarkan pengaruh kondisi geoteknik lokal terhadap respons gempa. Nilai F_a dan F_v ditentukan melalui interpolasi linier pada Tabel 6 dan Tabel 7 SNI 1726:2019 sesuai nilai S_s dan S_1 .

1) Koefisien F_a

Pada Tabel 6 SNI 1726:2019, koefisien F_a disajikan untuk berbagai rentang nilai S_s dan kelas situs. Untuk $S_s = 0,8910$ g pada kelas SC, kita lakukan interpolasi sebagai berikut:

$$F_a = F_{a,1} + \frac{S_s - S_{s,1}}{S_{s,2} - S_{s,1}} (F_{a,2} - F_{a,1})$$

Parameter interpolasi:

$$S_{s,1} = 0,75, F_{a,1} = 1,2$$

$$S_{s,2} = 1,00, F_{a,2} = 1,2$$

Hasil perhitungan:

$$F_a = 1,20$$

2) Koefisien F_v

Analog dengan F_a , Tabel 7 SNI 1726:2019 memuat nilai F_v untuk rentang S_1 . Dengan $S_1 = 0,4310$ g pada kelas SC, diperoleh:

$$F_v = F_{v,1} + \frac{S_1 - S_{1,1}}{S_{1,2} - S_{1,1}} (F_{v,2} - F_{v,1})$$

Parameter interpolasi:

$$S_{1,1} = 0,4, F_{v,1} = 1,5$$

$$S_{1,2} = 0,5, F_{v,2} = 1,5$$

Hasil perhitungan:

$$F_v = 1,50$$

c. Percepatan Spektral Desain

Setelah diperoleh F_a dan F_v , tahap berikutnya adalah menghitung percepatan spektral desain S_{DS} dan S_{D1} . Berdasarkan Pasal 6.4.3 SNI 1726:2019, rumusnya:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} F_a S_s, \quad S_{D1} = \frac{2}{3} F_v S_1$$

Hasil perhitungan:

$$S_{DS} = 0,7128, \quad S_{D1} = 0,4310$$

d. Periode Batas Spektral

Spektra respons gempa memiliki tiga fase: percepatan konstan, kecepatan konstan, dan perpindahan konstan. Periode batas transisi ditentukan oleh:

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

Hasil perhitungan:

$$T_0 = 0,1209, \quad T_s = 0,6047$$

e. Ringkasan Hasil

Ringkasan tabel berikut memudahkan verifikasi cepat hasil perhitungan:

Tabel 4. 10. Tabel Data Parameter Percepatan Gempa

Parameter	Nilai	Satuan
S_s	0,8910	g
S_1	0,4310	g
Kelas situs	SC	
F_a	1,20	
F_v	1,50	
S_{DS}	0,7128	g

S_{DI}	0,4310	g
T_0	0,1209	detik
T_s	0,6947	detik

2. Parameter Gempa

Pada tahap ini, ditentukan parameter-parameter gempa tambahan yang diperlukan untuk merancang spektra respons gempa desain sesuai SNI 1726:2019. Parameter tersebut berfungsi mengakomodasi kategori risiko, karakteristik sistem struktur, cadangan kekuatan, dan deformasi inelastis struktur.

Tabel 4. 11. Tabel Data Parameter Gempa

Parameter	Simbol	Nilai	Keterangan	Sumber
Faktor keutamaan gempa	I_e	1,00	Berdasarkan kategori risiko gedung	SNI 1726:2019 tabel 3 dan 4
Koefisien modifikasi respons	R	8	Sesuai sistem rangka beton pemikul momen	SNI 1726:2019 tabel 12
Faktor kuat lebih sistem	Ω_o	3	Menunjukkan cadangan kekuatan struktur	SNI 1726:2019 tabel 12
Faktor pembesaran defleksi	C_d	5,5	Mengoreksi besaran defleksi plastis	SNI 1726:2019 tabel 12

3. Periode Struktur

Pada tahap ini ditentukan periode struktur yang digunakan dalam perhitungan beban gempa statik ekuivalen. Periode struktur dibatasi oleh nilai maksimum yang diperoleh dari pendekatan empirik, serta dibandingkan dengan periode hasil analisis dinamik (modalan) untuk memastikan konsistensi dalam perancangan. Parameter yang digunakan pada perhitungan periode struktur disajikan pada Tabel berikut:

Tabel 4. 12. Tabel Data Parameter Struktur

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
Percepatan spektral desain 1 detik	S_{DI}	0,4310	g	
Koefisien batas atas periode	C_u	1,4	–	SNI 1726:2019 tabel 17
Parameter periode pendekatan	C_t	0,0466	–	SNI 1726:2019 tabel 18
Eksponen kurva periode	x	0,9	–	SNI 1726:2019 tabel 18
Tinggi bangunan (seismik)	h	45	m	

a. Parameter Periode Pendekatan, C_t dan x

$$T_a = C_t h^x$$

Hasil perhitungan:

$$T_a = 0,5651$$

b. Periode Maksimum, T_{max}

$$T_{max} = C_u T_a$$

Hasil perhitungan:

$$T_{max} = 0,791$$

c. Penentuan Periode Modal Hasil Analisis Dinamik

Untuk memverifikasi nilai T_{max} , periode modal hasil analisis elemen hingga (FEA) diekstrak dari output ETABS:

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ
Modal	1	1,494	0	0,8324	0
Modal	2	1,494	0,8324	0	0
Modal	3	1,295	0	0	0
Modal	4	0,46	0	0,1114	0
Modal	5	0,46	0,1114	0	0
Modal	6	0,404	0	0	0
Modal	7	0,249	0	0,0428	0
Modal	8	0,249	0,0428	0	0
Modal	9	0,222	0	0	0
Modal	10	0,171	0,0069	0,0065	0
Modal	11	0,171	0,0065	0,0069	0
Modal	12	0,154	0	0	0

Gambar 4. 27. Periode Modal ETABS

Apabila kedua periode modal yaitu $T_{c,X} = 1,494$ detik dan $T_{c,Y} = 1,494$ detik tersebut lebih besar daripada nilai T_{max} , maka periode desain yang digunakan adalah $T_{max} = 0,791$ detik.

4. Bentuk dan Jumlah Ragam

Sebelum melanjutkan ke perhitungan beban gempa, perlu dilakukan verifikasi terhadap bentuk mode getar (mode shapes) dan jumlah mode (mode count) yang dihasilkan oleh analisis dinamik.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ
Modal	1	1,494	0	0,8324	0	0	0,8324	0	0,2032	0	0
Modal	2	1,494	0,8324	0	0	0,8324	0,8324	0	0	0,2032	0
Modal	3	1,295	0	0	0	0,8324	0,8324	0	0	0	0,8352
Modal	4	0,46	0	0,1114	0	0,8324	0,9438	0	0,644	2,118E-06	0
Modal	5	0,46	0,1114	0	0	0,9438	0,9438	0	2,118E-06	0,644	0
Modal	6	0,404	0	0	0	0,9438	0,9438	0	0	0	0,1094
Modal	7	0,249	0	0,0428	0	0,9438	0,9666	0	0,0966	0	0
Modal	8	0,249	0,0428	0	0	0,9666	0,9666	0	0	0,0966	0
Modal	9	0,222	0	0	0	0,9666	0,9666	0	0	0	0,042
Modal	10	0,171	0,0069	0,0065	0	0,9935	0,9931	0	0,0262	0,0279	0
Modal	11	0,171	0,0065	0,0069	0	1	1	0	0,0279	0,0262	0
Modal	12	0,154	0	0	0	1	1	0	0	0	0,0133

Gambar 4. 28. Rasio Massa Partisipasi pada Setiap Moda untuk Kolom Persegi 400 mm × 400 mm

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ
Modal	1	1,705	0	0,847	0	0	0,847	0	0,1866	0	0
Modal	2	1,325	0,8165	0	0	0,8165	0,847	0	0	0,2215	0
Modal	3	1,285	0	0	0	0,8165	0,847	0	0	0	0,8292
Modal	4	0,543	0	0,1048	0	0,8165	0,9518	0	0,6815	0	0
Modal	5	0,396	0	0	0	0,8165	0,9518	0	0	0	0,1123
Modal	6	0,393	0,1194	0	0	0,9359	0,9518	0	0	0,6044	0
Modal	7	0,309	0	0,0373	0	0,9359	0,9891	0	0,0836	0	0
Modal	8	0,222	0	0,0109	0	0,9359	1	0	0,0484	0	0
Modal	9	0,214	0	0	0	0,9359	1	0	0	0	0,0442
Modal	10	0,201	0,0483	0	0	0,9841	1	0	0	0,115	0
Modal	11	0,147	0	0	0	0,9841	1	0	0	0	0,0142
Modal	12	0,132	0,0158	0	0	1	1	0	0	0,059	0

Gambar 4. 29. Rasio Massa Partisipasi pada Setiap Moda untuk Kolom Persegi 300 cm × 533 mm

Langkah verifikasi bentuk mode dan jumlah mode berfungsi memastikan bahwa model dinamik struktur menampilkan pola getar yang sesuai dengan karakter fisik bangunan dua mode pertama sebagai translasi pada sumbu Y dan X serta mode ketiga sebagai rotasi torsi sehingga urutan mode yang benar mendukung representasi respons gempa yang akurat. Pengecekan ini memiliki keutamaan tinggi karena dilakukan sebelum penerapan beban gempa, mencegah kesalahan konseptual seperti mode lokal atau torsi yang tertukar, sehingga analisis gaya geser statik ekuivalen maupun respons dinamik struktur menjadi lebih presisi. Manfaatnya terwujud dalam peningkatan keandalan desain elemen struktur melalui penyesuaian kekakuan yang terarah, yang pada gilirannya menghemat waktu dan biaya iterasi desain serta memperkuat keselamatan dan efisiensi struktur.

Langkah verifikasi jumlah ragam modal bertujuan memastikan bahwa akumulasi partisipasi massa modal kumulatif—yakni sum UX dan sum UY, yang dikenal sebagai Modal Participating Mass Ratio (MPMR) mencapai sekurang-kurangnya 90% dengan menggunakan setidaknya 12 mode. Keutamaan tahap ini terletak pada kemampuannya mencegah perhitungan gaya gempa yang meremehkan respons struktur akibat cakupan ragam modal yang tidak memadai, sedangkan manfaatnya mencakup peningkatan akurasi analisis dinamik, keandalan desain struktur, serta efisiensi proses iterasi dengan meminimalkan kebutuhan penambahan mode atau penyesuaian kekakuan struktur.

5. Gaya Geser Dasar Seismik

Perhitungan gaya geser dasar seismik dilakukan melalui beberapa tahapan formal sesuai ketentuan SNI 1726:2019. Setiap langkah dijabarkan secara runtut berikut.

a. Koefisien Respons Seismik (C_s)

Berdasarkan Persamaan (31) SNI 1726:2019, koefisien respons seismik dihitung sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/l_e}$$

Dimana:

$$S_{DS} = 0,7128 \text{ g}$$

$$R = 8$$

$$l_e = 1$$

Maka

$$C_s = 0,0891$$

Nilai C_s ini merepresentasikan porsi percepatan spektral yang diaplikasikan pada struktur setelah dikurangi faktor redaman (R) dan diatur oleh kategori risiko (l_e).

b. Batas Atas Koefisien ($C_{s,max}$)

Menurut Persamaan SNI 1726:2019, batas atas C_s pada periode struktur T adalah

$$C_{s,max} = \frac{S_{D1}}{T(R/l_e)}$$

Dimana:

$$S_{D1} = 0,7128 \text{ g}$$

$$T = 8$$

$$R/l_e = 1$$

Maka

$$C_{s,max} = 0,0681$$

Nilai ini membatasi beban gempa agar tidak melebihi respons pada periode 1 detik yang telah ditentukan.

c. Batas Bawah Koefisien ($C_{s,min}$)

SNI 1726:2019 menetapkan dua alternatif batas bawah:

1) Persamaan untuk semua struktur (jika $I_e \geq 0,01$)

$$C_{s,min1} = 0,04S_{DS}$$

$$C_{s,min1} = 0,314$$

2) Persamaan (jika $S_{D1} \geq 0,6 g$)

$$C_{s,min2} = \frac{0,5S_{D1}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$C_{s,min2} = 0,0269$$

d. Pemilihan Koefisien Respons Desain ($C_{s,pakai}$)

Koefisien desain dipilih sebagai nilai tengah antara batas atas dan bawah:

$$C_{s,pakai} = \max(C_s, C_{s,min}) \text{ dan } C_{s,pakai} \leq C_{s,max}$$

Dimana:

$$C_s = 0,0891$$

$$C_{s,min1} = 0,314 \quad C_{s,min2} = 0,0269$$

$$C_{s,max} = 0,0681$$

Maka:

$$C_{s,pakai} = 0,0891$$

e. Berat Seismik Efektif (W)

Berat total struktur kolom persegi 40 cm x 40 cm yang berkontribusi terhadap beban seismik ditetapkan sebagai:

$$T = 15837 \text{ kN}$$

Berat total struktur kolom pipih 30 cm x 53,3 cm yang berkontribusi terhadap beban seismik ditetapkan sebagai:

$$T = 15823 \text{ kN}$$

6. Penskalaan Gaya

a. Gaya Geser Statik (Manual)

Mengacu pada Persamaan SNI 1726:2019, gaya geser dasar statik diperoleh dari:

$$V = C_{s,pakai} \times W$$

Maka:

$$V_{x,40} = C_{s,pakai,x} \times W$$

$$V_{x,40} = 1078,53 \text{ kN}$$

$$V_{y,40} = C_{s,pakai,y} \times W$$

$$V_{y,40} = 1078,53 \text{ kN}$$

$$V_{x,30} = C_{s,pakai,x} \times W$$

$$V_{x,30} = 1077,58 \text{ kN}$$

$$V_{y,30} = C_{s,pakai,y} \times W$$

$$V_{y,30} = 1077,538 \text{ kN}$$

b. Gaya Geser Statik (ETABS)

Sebagai validasi, gaya geser dasar juga diukur melalui load pattern “Seismic” di ETABS, menghasilkan:

$$V_{x,40} = 1078,24 \text{ kN}$$

$$V_{y,40} = 1344,74 \text{ kN}$$

$$V_{x,30} = 1077,28 \text{ kN}$$

$$V_{y,30} = 1077,28 \text{ kN}$$

c. Faktor Skala Awal

Berdasarkan Pasal 7.9.1.2 SNI 1726:2019, faktor skala awal (SF) dihitung sebagai:

$$SF = \frac{g}{R/I_e}$$

Maka:

$$SF = 1,2258 \text{ m/s}^2$$

$$SF = 1225,83 \text{ mm/s}^2$$

d. Gaya Geser Respon Spektra Unscaled

Sebelum penskalaan, gaya geser total yang dihasilkan oleh analisis spektra respons tanpa mempertimbangkan koefisien respons desain diperoleh langsung dari output load case “Spectrum X” dan “Spectrum Y” di ETABS. Secara teoritis, gaya geser unscaled, V_i , merupakan jumlah kontribusi gaya modalan:

$$V_i = \sum_{i=1}^n M_i S_d(T_i)$$

Dimana M_i adalah massa partisipasi modal ke- i dan $S_d(T_i)$ adalah percepatan spektral desain pada periode mode T_j .

Hasil ekstraksi dari ETABS:

$$V_{i,x,40} = 506,78 \text{ kN}$$

$$V_{i,y,40} = 506,78 \text{ kN}$$

$$V_{i,x,30} = 560,65 \text{ kN}$$

$$V_{i,y,30} = 454,79 \text{ kN}$$

e. Penskalaan Gaya Gempa

Untuk mendapatkan gaya geser desain akhir yang sesuai dengan perhitungan statik ekuivalen, diperlukan faktor penskalaan f bagi masing-masing arah X dan Y. Faktor ini dihitung sebagai rasio antara gaya geser statik manual (V) dan gaya geser unscaled (V_i), dengan batas minimum 1 (agar penskalaan tidak mengurangi beban):

$$f_X = \max\left(1, \frac{V_X}{V_{i,X}}\right), f_Y = \max\left(1, \frac{V_Y}{V_{i,Y}}\right)$$

Maka:

$$f_{X,40} = 2,128$$

$$f_{Y,40} = 2,128$$

$$f_{X,30} = 1,922$$

$$f_{Y,30} = 2,369$$

Pemakaian fungsi $\max(1, \dots)$ menjamin beban gempa tidak diperkecil oleh penskalaan.

f. Faktor Skala Baru

Setelah diperoleh faktor penskalaan dinamik (f_X, f_Y), skala akselerasi spektra pada model diperbarui. Faktor skala baru SF_X dan SF_Y dihitung dari perkalian skala awal (SF) dengan masing-masing f :

$$SF_X = SF \times f_X, SF_Y = SF \times f_Y$$

Maka:

$$SF_{X,40} = 2608,84 \text{ mm/s}^2$$

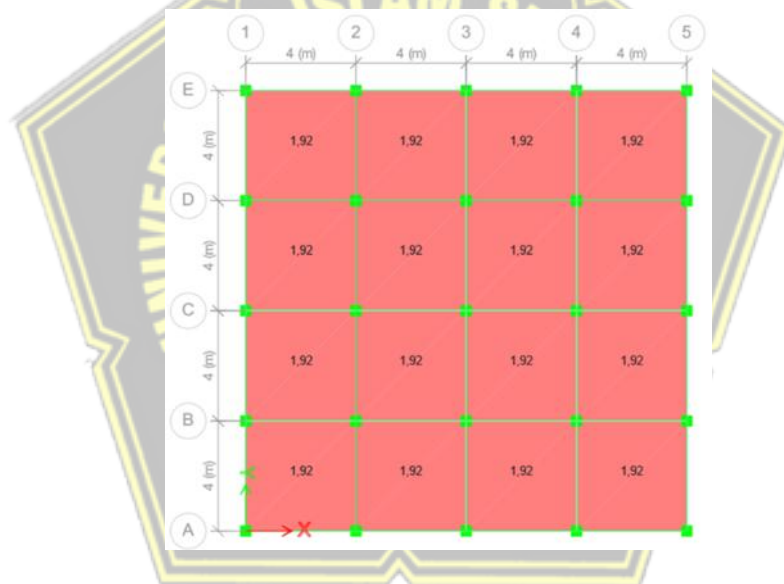
$$SF_{Y,40} = 2608,84 \text{ mm/s}^2$$

$$SF_{X,30} = 2356,08 \text{ mm/s}^2$$

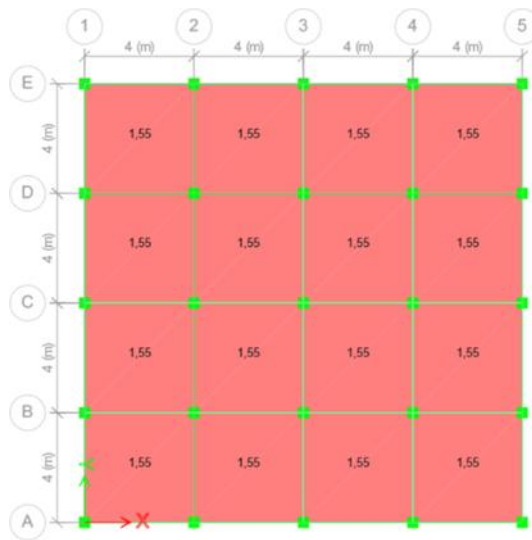
$$SF_{Y,30} = 2904,48 \text{ mm/s}^2$$

4.2.13. Input Beban Hidup dan Beban Mati

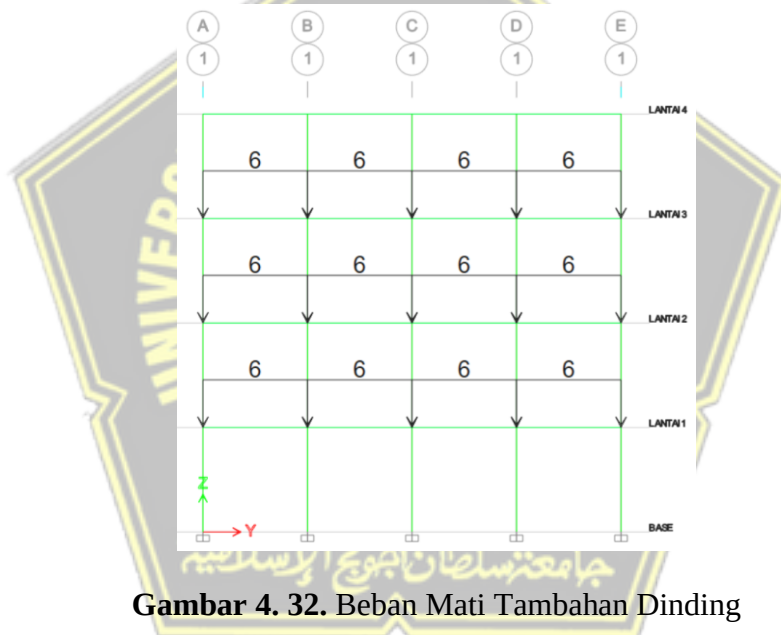
Beban mati (*dead load*) adalah beban tetap dari berat sendiri struktur dan elemen permanen seperti balok, kolom, pelat, dan dinding, yang biasanya sudah otomatis dihitung melalui *self weight* atau ditambah manual jika ada beban permanen lain. Sementara itu, beban hidup (*live load*) adalah beban tidak tetap dari aktivitas penghuni, perabot, atau penggunaan ruang yang dimasukkan secara manual sesuai fungsi lantai. Kedua beban ini diinput sebagai pola beban (*load pattern*) untuk dianalisis dalam perhitungan struktur.



Gambar 4. 30. Beban Hidup 1,92 kN/m² Ruang Pribadi Rumah Tinggal



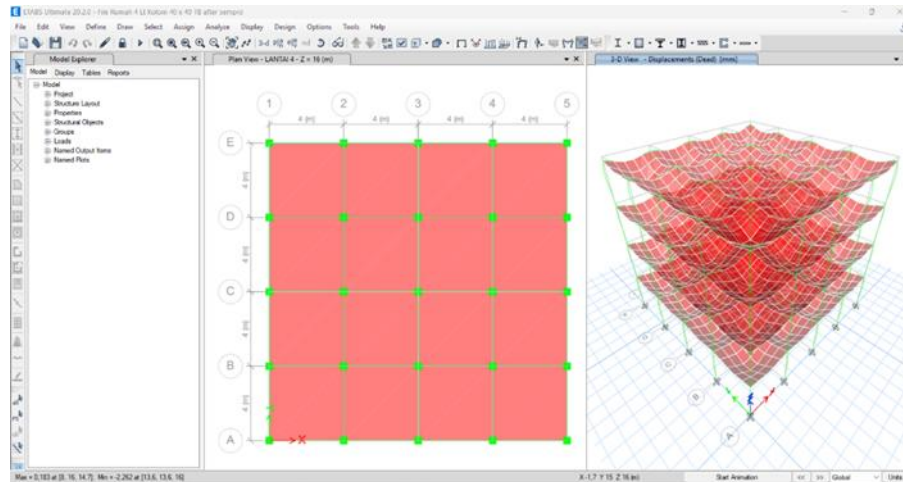
Gambar 4. 31. Beban Mati Tambahan 1,55 kN/m²



Gambar 4. 32. Beban Mati Tambahan Dinding

4.2.14. Runing Pemodelan

Running pemodelan di ETABS adalah proses menjalankan analisis setelah model struktur selesai dibuat dan beban sudah diinput. Saat proses ini dijalankan, ETABS akan menghitung respons struktur seperti gaya-gaya dalam, lendutan, dan reaksi tumpuan berdasarkan material, dimensi, kondisi perletakan, serta kombinasi beban yang telah ditentukan. Hasilnya digunakan untuk evaluasi dan desain elemen struktur agar aman dan efisien.



Gambar 4. 33. Hasil Runnig Pemodelan

4.2.15. Cek Deformed Shape Mode

Cek *Deformed Shape Mode* pada ETABS dilakukan untuk memastikan bahwa setiap mode getar yang dihitung sudah benar-benar mewakili perilaku struktur terhadap beban gempa atau beban dinamis. Tujuan utamanya adalah memastikan arah dominan gerakan struktur pada setiap mode, baik translasi di arah X, Y, Z maupun rotasi di sekitar sumbu, serta memastikan total partisipasi massa yang dihitung sudah mencukupi, biasanya minimal 90% untuk setiap arah utama.

1. Kolom persegi 400 mm × 400 mm

Dari tabel *Participating Mass Ratios* yang ditampilkan, terlihat bahwa pada mode pertama partisipasi massa translasi arah X dan Y masing-masing mencapai 0,8324 atau sekitar 83,24%, dan rotasi sekitar sumbu Z mencapai 0,8352 atau sekitar 83,52%. Setelah beberapa mode digabungkan, nilai akumulasi partisipasi massa arah X (SumUX) dan arah Y (SumUY) mencapai 1,0 atau 100%, yang berarti analisis modal **memenuhi syarat**.

Dengan demikian, hasil pada tabel menunjukkan bahwa deformasi mode yang dihitung telah cukup mewakili respons dinamis struktur.

Tabel 4. 13. Cek Deformed Shape Mode pada ETABS untuk Kolom persegi 40 cm × 40 cm

Case	Mode	Period (sec)	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	1.49	0.00	0.83	0.00	0.00	0.83	0.00	0.20	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00
Modal	2	1.49	0.83	0.00	0.00	0.83	0.83	0.00	0.00	0.20	0.00	0.20	0.20	0.00
Modal	3	1.30	0.00	0.00	0.00	0.83	0.83	0.00	0.00	0.00	0.84	0.20	0.20	0.84
Modal	4	0.46	0.00	0.11	0.00	0.83	0.94	0.00	0.64	0.00	0.00	0.85	0.20	0.84

Modal	5	0.46	0.11	0.00	0.00	0.94	0.94	0.00	0.00	0.64	0.00	0.85	0.85	0.84
Modal	6	0.40	0.00	0.00	0.11	0.94	0.94	0.11	0.00	0.00	0.00	0.85	0.85	0.94
Modal	7	0.25	0.00	0.04	0.00	0.94	0.99	0.11	0.10	0.00	0.00	0.95	0.85	0.94
Modal	8	0.25	0.04	0.00	0.00	0.99	0.99	0.11	0.00	0.10	0.00	0.95	0.95	0.94
Modal	9	0.22	0.00	0.00	0.00	0.99	0.99	0.11	0.04	0.00	0.00	0.95	0.95	0.99
Modal	10	0.17	0.01	0.01	0.00	0.99	0.99	0.11	0.03	0.03	0.00	0.97	0.97	0.99
Modal	11	0.17	0.01	0.01	0.00	1.00	1.00	0.11	0.03	0.03	0.00	1.00	1.00	0.99
Modal	12	0.15	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.11	0.00	0.00	0.01	1.00	1.00	1.00

2. Kolom pipih 150 mm × 1066 mm

Dari tabel *Participating Mass Ratios* yang ditampilkan, terlihat bahwa pada mode pertama partisipasi massa translasi arah X mencapai 0,7771 atau sekitar 77,71%, mode kedua partisipasi massa translasi arah Y mencapai 0,7731 atau sekitar 77,31%, dan mode ketiga partisipasi massa rotasi di sekitar sumbu Z mencapai 0,7741 atau sekitar 77,41%. Setelah beberapa mode digabungkan, nilai akumulasi partisipasi massa arah X (SumUX) dan arah Y (SumUY) mencapai 1,0 atau 100%, yang berarti analisis modal **memenuhi syarat**.

Dengan demikian, hasil pada tabel menunjukkan bahwa deformasi mode yang dihitung telah **memenuhi syarat** respons dinamis struktur dan sudah sesuai: mode 1 dominan arah X/Y, mode 2 dominan arah X/Y, serta mode 3 dominan rotasi arah Z, sehingga kolom pipih yang ideal dalam cek deformed shape mode adalah kolom dengan dimensi 150 mm × 533 mm.

Tabel 4. 14. Cek Deformed Shape Mode pada ETABS untuk Kolom Pipih 150 mm × 1066 mm

Case	Mode	Period (sec)	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	1.37	0.78	0.00	0.00	0.78	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.27	0.00
Modal	2	1.36	0.00	0.77	0.00	0.78	0.77	0.00	0.27	0.00	0.00	0.27	0.27	0.00
Modal	3	1.22	0.00	0.00	0.00	0.78	0.77	0.00	0.00	0.00	0.77	0.27	0.27	0.77
Modal	4	0.37	0.14	0.00	0.00	0.92	0.77	0.00	0.00	0.52	0.00	0.27	0.78	0.77
Modal	5	0.36	0.00	0.15	0.00	0.92	0.92	0.00	0.51	0.00	0.00	0.78	0.78	0.77
Modal	6	0.33	0.00	0.00	0.00	0.92	0.92	0.00	0.00	0.00	0.15	0.78	0.78	0.92
Modal	7	0.17	0.06	0.00	0.00	0.98	0.92	0.00	0.00	0.15	0.00	0.78	0.94	0.92
Modal	8	0.16	0.00	0.06	0.00	0.98	0.98	0.00	0.16	0.00	0.00	0.93	0.94	0.92
Modal	9	0.15	0.00	0.00	0.00	0.98	0.98	0.00	0.00	0.00	0.06	0.93	0.94	0.98
Modal	10	0.10	0.02	0.00	0.00	1.00	0.98	0.00	0.00	0.06	0.00	0.93	1.00	0.98
Modal	11	0.10	0.00	0.02	0.00	1.00	1.00	0.00	0.06	0.00	0.00	1.00	1.00	0.98
Modal	12	0.09	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00	1.00	1.00

3. Kolom pipih 200 mm × 800 mm

Dari tabel *Participating Mass Ratios* yang ditampilkan, terlihat bahwa pada mode pertama partisipasi massa translasi arah X mencapai 0,8113 atau sekitar 81,13%, mode kedua partisipasi massa translasi arah Y mencapai 0,8006 atau sekitar 80,06%, dan mode ketiga partisipasi massa rotasi di sekitar sumbu Z mencapai 0,8004 atau sekitar 80,04%. Setelah beberapa mode digabungkan,

nilai akumulasi partisipasi massa arah X (SumUX) dan arah Y (SumUY) mencapai 1,0 atau 100%, yang berarti analisis modal **memenuhi syarat**.

Dengan demikian, hasil pada tabel menunjukkan bahwa deformasi mode yang dihitung telah **memenuhi syarat** respons dinamis struktur dan sudah sesuai: mode 1 dominan arah X/Y, mode 2 dominan arah X/Y, serta mode 3 dominan rotasi arah Z, sehingga kolom pipih yang ideal dalam cek deformed shape mode adalah kolom dengan dimensi 200 mm × 800 mm.

Tabel 4. 15. Cek Deformed Shape Mode pada ETABS untuk Kolom Pipih 200 mm × 800 mm

Case	Mode	Period (sec)	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	1.48	0.81	0.00	0.00	0.81	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	0.23	0.00
Modal	2	1.27	0.00	0.80	0.00	0.81	0.80	0.00	0.24	0.00	0.00	0.24	0.23	0.00
Modal	3	1.08	0.00	0.00	0.00	0.81	0.80	0.00	0.00	0.00	0.80	0.24	0.23	0.80
Modal	4	0.44	0.12	0.00	0.00	0.93	0.80	0.00	0.00	0.59	0.00	0.24	0.82	0.80
Modal	5	0.37	0.00	0.13	0.00	0.93	0.93	0.00	0.57	0.00	0.00	0.81	0.82	0.80
Modal	6	0.31	0.00	0.00	0.00	0.93	0.93	0.00	0.00	0.00	0.13	0.81	0.82	0.93
Modal	7	0.22	0.05	0.00	0.00	0.98	0.93	0.00	0.00	0.12	0.00	0.81	0.94	0.93
Modal	8	0.18	0.00	0.05	0.00	0.98	0.98	0.00	0.13	0.00	0.00	0.94	0.94	0.93
Modal	9	0.15	0.00	0.00	0.00	0.98	0.98	0.00	0.00	0.00	0.05	0.94	0.94	0.98
Modal	10	0.15	0.02	0.00	0.00	1.00	0.98	0.00	0.00	0.06	0.00	0.94	1.00	0.98
Modal	11	0.12	0.00	0.02	0.00	1.00	1.00	0.00	0.06	0.00	0.00	1.00	1.00	0.98
Modal	12	0.10	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00	1.00	1.00

4. Kolom pipih 250 mm × 640 mm

Dari tabel *Participating Mass Ratios* yang ditampilkan, terlihat bahwa pada mode pertama partisipasi massa translasi arah Y mencapai 0,8211 atau sekitar 82,11%, mode kedua partisipasi massa translasi arah X mencapai 0,8177 atau sekitar 81,77%, dan mode ketiga partisipasi massa rotasi di sekitar sumbu Z mencapai 0,8151 atau sekitar 81,51%. Setelah beberapa mode digabungkan, nilai akumulasi partisipasi massa arah X (SumUX) dan arah Y (SumUY) mencapai 1,0 atau 100%, yang berarti analisis modal **memenuhi syarat**.

Dengan demikian, hasil pada tabel menunjukkan bahwa deformasi mode yang dihitung telah **memenuhi syarat** respons dinamis struktur dan sudah sesuai: mode 1 dominan arah X/Y, mode 2 dominan arah X/Y, serta mode 3 dominan rotasi arah Z, sehingga kolom pipih yang ideal dalam cek deformed shape mode adalah kolom dengan dimensi 250 mm × 640 mm.

Tabel 4. 16. Cek Deformed Shape Mode pada ETABS untuk Kolom Pipih 250 mm × 640 mm

Case	Mode	Period (sec)	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	1.51	0.00	0.82	0.00	0.00	0.82	0.00	0.22	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00

Modal	2	1.35	0.82	0.00	0.00	0.82	0.82	0.00	0.00	0.22	0.00	0.22	0.22	0.00
Modal	3	1.16	0.00	0.00	0.00	0.82	0.82	0.00	0.00	0.00	0.82	0.22	0.22	0.82
Modal	4	0.46	0.00	0.12	0.00	0.82	0.94	0.00	0.61	0.00	0.00	0.83	0.22	0.82
Modal	5	0.40	0.12	0.00	0.00	0.94	0.94	0.00	0.00	0.61	0.00	0.83	0.83	0.82
Modal	6	0.35	0.00	0.00	0.00	0.94	0.94	0.00	0.00	0.00	0.12	0.83	0.83	0.93
Modal	7	0.24	0.00	0.05	0.00	0.94	0.98	0.00	0.00	0.11	0.00	0.83	0.94	0.93
Modal	8	0.21	0.05	0.00	0.00	0.98	0.98	0.00	0.00	0.00	0.11	0.83	0.94	0.93
Modal	9	0.18	0.00	0.00	0.00	0.98	0.98	0.00	0.00	0.00	0.05	0.94	0.94	0.98
Modal	10	0.16	0.00	0.02	0.00	0.98	1.00	0.00	0.06	0.00	0.00	1.00	0.94	0.98
Modal	11	0.14	0.02	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.06	0.00	1.00	1.00	0.98
Modal	12	0.12	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00	1.00	1.00

5. Kolom pipih 300 mm × 533 mm

Dari tabel *Participating Mass Ratios* yang ditampilkan, terlihat bahwa pada mode pertama partisipasi massa translasi arah Y mencapai 0,847 atau sekitar 84,7%, mode kedua partisipasi massa translasi arah X mencapai 0,8165 atau sekitar 81,65%, dan mode ketiga partisipasi massa rotasi di sekitar sumbu Z mencapai 0,8292 atau sekitar 82,92%. Setelah beberapa mode digabungkan, nilai akumulasi partisipasi massa arah X (SumUX) dan arah Y (SumUY) mencapai 1,0 atau 100%, yang berarti analisis modal **memenuhi syarat**.

Dengan demikian, hasil pada tabel menunjukkan bahwa deformasi mode yang dihitung telah **memenuhi syarat** respons dinamis struktur dan sudah sesuai: mode 1 dominan arah X/Y, mode 2 dominan arah X/Y, serta mode 3 dominan rotasi arah Z, sehingga kolom pipih yang ideal dalam cek deformed shape mode adalah kolom dengan dimensi 300 cm × 533 mm.

Tabel 4. 17. Cek Deformed Shape Mode pada ETABS untuk Kolom Pipih 300 mm × 533 mm

Case	Mode	Period (sec)	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	1.71	0.00	0.85	0.00	0.00	0.85	0.00	0.19	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00
Modal	2	1.33	0.82	0.00	0.00	0.82	0.85	0.00	0.00	0.22	0.00	0.19	0.22	0.00
Modal	3	1.29	0.00	0.00	0.00	0.82	0.85	0.00	0.00	0.00	0.83	0.19	0.22	0.83
Modal	4	0.54	0.00	0.10	0.00	0.82	0.95	0.00	0.68	0.00	0.00	0.87	0.22	0.83
Modal	5	0.40	0.00	0.00	0.00	0.82	0.95	0.00	0.00	0.11	0.00	0.87	0.33	0.94
Modal	6	0.39	0.00	0.12	0.00	0.94	0.95	0.00	0.00	0.60	0.00	0.87	0.83	0.94
Modal	7	0.31	0.00	0.00	0.04	0.94	0.99	0.00	0.08	0.00	0.00	0.95	0.83	0.94
Modal	8	0.22	0.00	0.01	0.00	0.94	1.00	0.00	0.05	0.00	0.00	1.00	0.83	0.94
Modal	9	0.21	0.00	0.00	0.00	0.94	1.00	0.00	0.00	0.04	0.00	1.00	0.83	0.99
Modal	10	0.20	0.00	0.05	0.00	0.98	1.00	0.00	0.12	0.00	0.01	1.00	0.94	0.99
Modal	11	0.15	0.00	0.00	0.00	0.98	1.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00	0.94	1.00
Modal	12	0.13	0.02	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.06	0.00	1.00	1.00	1.00

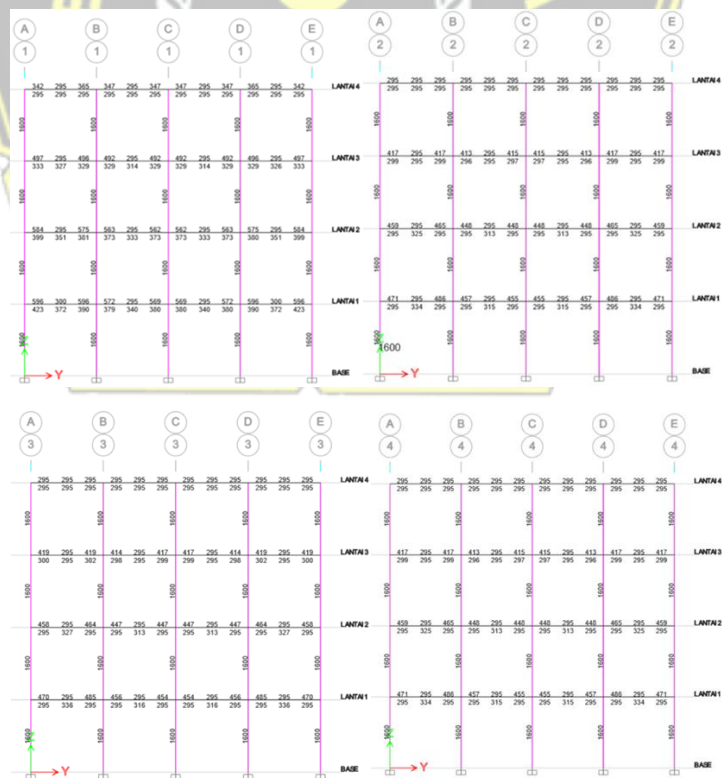
4.2.16. Cek Concrete Design

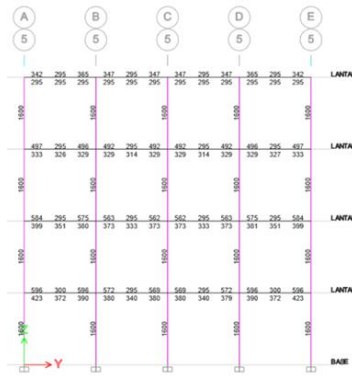
Cek *Concrete Frame Design* pada ETABS adalah proses pemeriksaan elemen struktur beton bertulang, seperti balok dan kolom, berdasarkan kombinasi

pembebanan yang telah dianalisis. Tujuan utama dari proses ini adalah memastikan bahwa setiap elemen memenuhi persyaratan kekuatan (*strength*) dan batas layanan (*serviceability*) sesuai dengan standar desain yang berlaku. Dalam pengecekan ini, ETABS akan memeriksa kapasitas momen, geser, dan aksial terhadap gaya yang terjadi, kemudian memberikan hasil apakah elemen tersebut dinyatakan OK atau perlu penyesuaian dimensi maupun tulangan, yang biasanya ditandai dengan keterangan O/S (*overstressed*). Dengan kata lain, proses ini memastikan bahwa dimensi dan tulangan yang dipilih mampu menahan beban yang bekerja dengan aman.

1. Kolom Persegi 400 mm × 400 mm

Gambar di bawah merupakan hasil model struktur kolom ukuran 400 mm × 400 mm berupa denah grid dan elemen-elemen kolom dari lantai dasar (*BASE*) hingga lantai 4. Terlihat grid kolom A hingga E dan grid 1 hingga 5 dengan bentang antar grid sebesar 4,00 m. Dari gambar ini dapat dilihat bahwa distribusi desain tulangan pada setiap elemen berada dalam kondisi **aman** dan **tidak terdapat elemen yang mengalami O/S**.

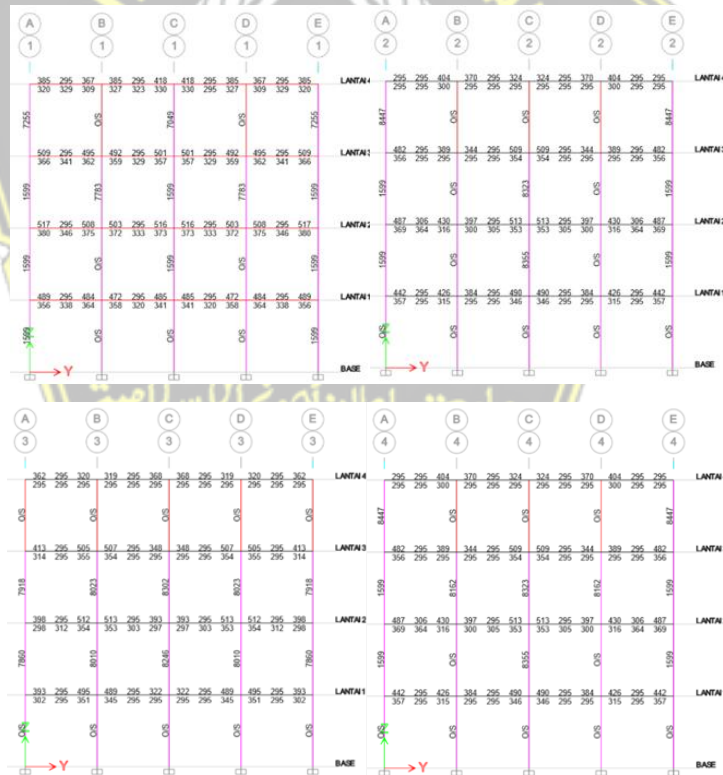


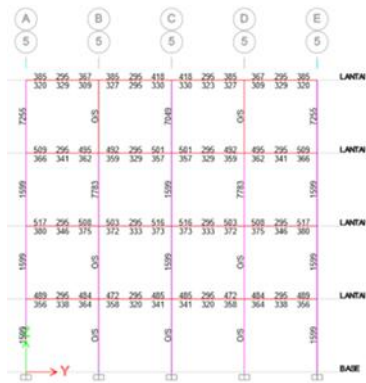


Gambar 4. 34. Model Struktur Kolom Persegi 400 mm × 400 mm tiap Grid

2. Kolom Pipih 150 mm × 1066 mm

Gambar di bawah merupakan hasil model struktur kolom ukuran 200 mm × 800 mm berupa denah grid dan elemen-elemen kolom dari lantai dasar (*BASE*) hingga lantai 4. Terlihat grid kolom A hingga E dan grid 1 hingga 5 dengan bentang antar grid sebesar 4,00 m. Dari gambar ini dapat dilihat bahwa distribusi desain tulangan **terdapat elemen yang mengalami overstress (O/S)**.

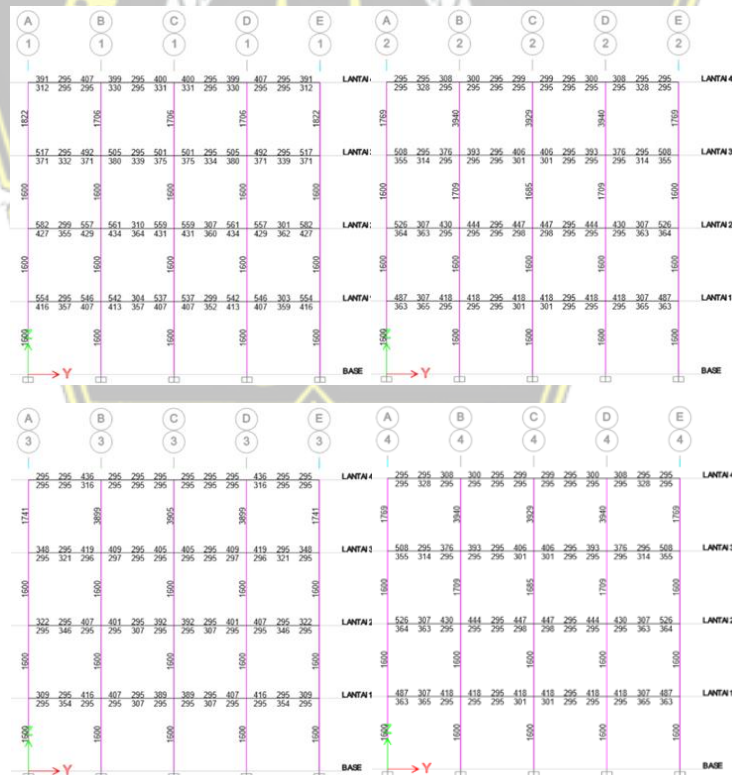


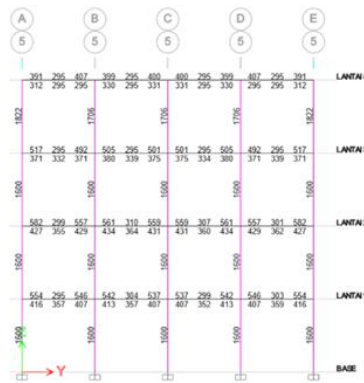


Gambar 4. 35. Model Struktur Kolom Pipih 150 mm × 1066 mm tiap Grid

3. Kolom Pipih 200 mm × 800 mm

Gambar di bawah merupakan hasil model struktur kolom ukuran 200 mm × 800 mm berupa denah grid dan elemen-elemen kolom dari lantai dasar (*BASE*) hingga lantai 4. Terlihat grid kolom A hingga E dan grid 1 hingga 5 dengan bentang antar grid sebesar 4,00 m. Dari gambar ini dapat dilihat bahwa distribusi desain tulangan pada setiap elemen berada dalam kondisi **aman** dan **tidak terdapat elemen yang mengalami O/S**.

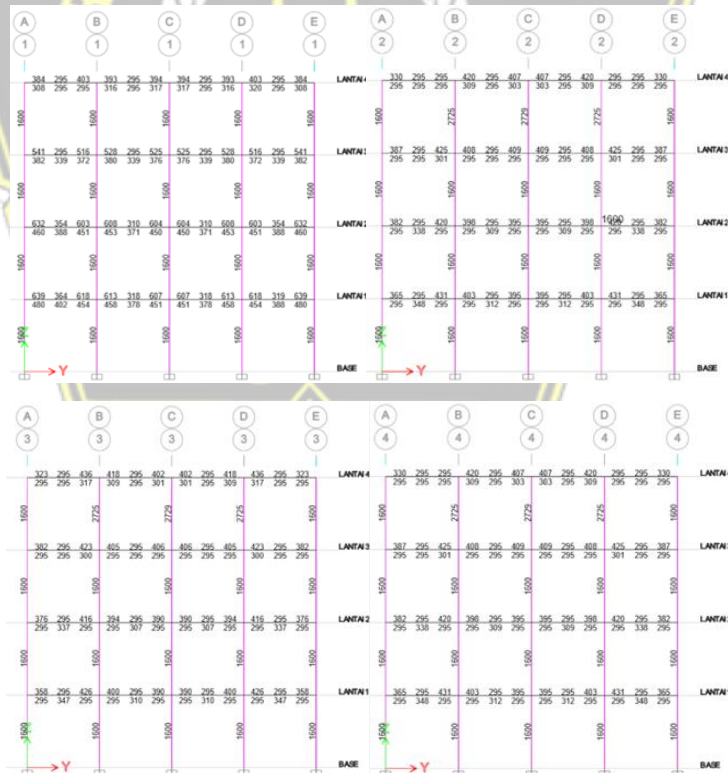


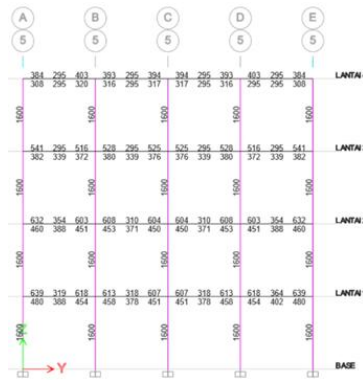


Gambar 4. 36. Model Struktur Kolom Pipih 200 mm × 800 mm tiap Grid

4. Kolom Pipih 250 mm × 640 mm

Gambar di bawah merupakan hasil model struktur kolom ukuran 250 mm × 640 mm berupa denah grid dan elemen-elemen kolom dari lantai dasar (*BASE*) hingga lantai 4. Terlihat grid kolom A hingga E dan grid 1 hingga 5 dengan bentang antar grid sebesar 4,00 m. Dari gambar ini dapat dilihat bahwa distribusi desain tulangan pada setiap elemen berada dalam kondisi **aman** dan **tidak terdapat elemen yang mengalami O/S**.

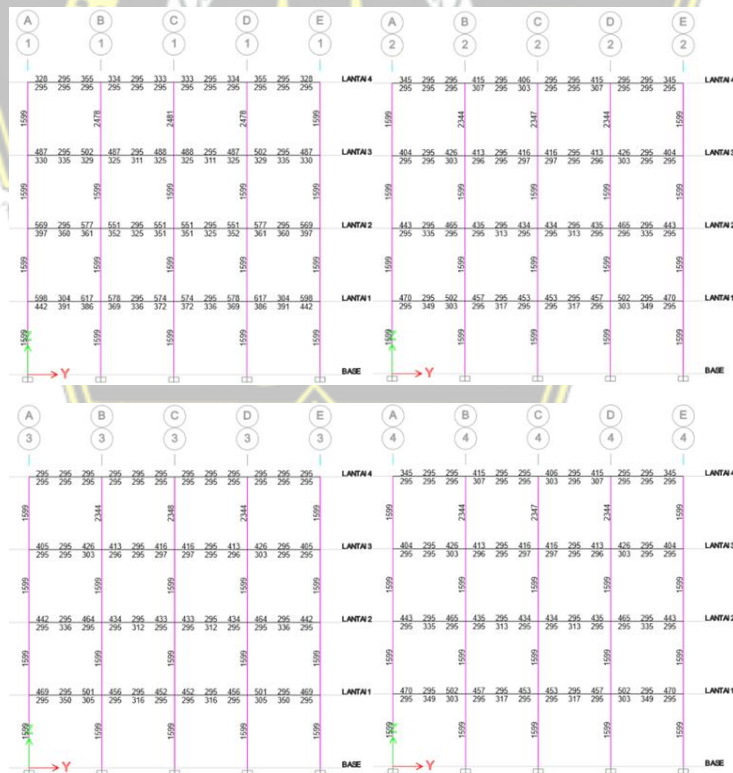


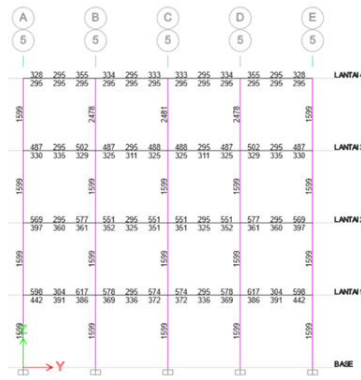


Gambar 4. 37. Model Struktur Kolom Pipih 250 mm × 640 mm tiap Grid

5. Kolom Pipih 300 mm × 533 mm

Gambar di bawah merupakan hasil model struktur kolom ukuran 300 mm × 533 mm berupa denah grid dan elemen-elemen kolom dari lantai dasar (*BASE*) hingga lantai 4. Terlihat grid kolom A hingga E dan grid 1 hingga 5 dengan bentang antar grid sebesar 4,00 m. Dari gambar ini dapat dilihat bahwa distribusi desain tulangan pada setiap elemen berada dalam kondisi **aman** dan **tidak terdapat elemen yang mengalami O/S**.





Gambar 4. 38. Model Struktur Kolom Pipih 300 cm × 533 mm Tiap Grid

4.3. Input Gaya Dalam Aksial dan Lentur dari ETABS ke Excell

Input Gaya Dalam Aksial dan Lentur dari ETABS ke Excel adalah proses memindahkan hasil analisis gaya dalam (aksi aksial, momen lentur, dan gaya geser) dari program ETABS ke dalam lembar kerja Excel. Tujuan dari langkah ini adalah untuk memudahkan proses perhitungan lanjutan desain longitudinal dan desain transversa. Dengan data yang sudah dalam bentuk tabel Excel, perhitungan dapat dilakukan secara otomatis menggunakan rumus atau formula yang telah disiapkan, sehingga menghemat waktu dan mengurangi risiko kesalahan input manual.

Data gaya dalam yang diperoleh dari ETABS, seperti gaya aksial (P) serta momen lentur pada dua sumbu utama (M_2 dan M_3), digunakan sebagai acuan utama saat melakukan perhitungan di SP Column. Program SP Column berfungsi untuk memeriksa interaksi antara gaya aksial dan momen pada penampang kolom, sehingga dapat diketahui apakah kolom yang didesain mampu menahan kombinasi beban yang terjadi. Nilai P_{max} dan P_{min} dari tabel digunakan sebagai beban aksial, sedangkan M_2 dan M_3 yang mencakup momen maksimum maupun minimum di kedua sumbu dimasukkan sebagai momen lentur. Kombinasi P , M_2 , dan M_3 tersebut kemudian dipetakan pada diagram interaksi SP Column untuk memastikan titik beban berada di dalam kapasitas penampang. Jika semua kombinasi berada di dalam diagram interaksi, kolom dinyatakan aman; sebaliknya, bila ada yang keluar, maka diperlukan revisi seperti memperbesar dimensi atau menambah tulangan. Dengan demikian, data hasil analisis ETABS menjadi dasar penting dalam proses desain dan verifikasi kekuatan kolom di SP Column.

Tabel 4. 18. Eksport Gaya Dalam Kolom Persegi 400 mm × 400 mm dari ETABS

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN·m)	M3 (kN·m)
P max	-7.93	24.76	13.62
P min	-700.53	-0.43	0.43
M2 Max	-673.21	75.02	23.30
M2 Min	-684.81	-75.02	-23.30
M3 Max	-673.21	23.30	75.02
M3 Min	-684.81	-23.30	-75.02

Gaya Tekan Terkecil	
Nu (kN)	0.0007

Geser		
Lokasi	V2 (kN)	V3 (kN)
Tumpuan	30.23	30.23
Lapangan	30.23	30.23

Tabel 4. 19. Eksport Gaya Dalam Kolom Pipih 200 mm × 800 mm dari ETABS

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN·m)	M3 (kN·m)
P max	-1.20	-0.97	39.89
P min	-743.45	-7.41	-157.94
M2 Max	-315.13	33.96	24.19
M2 Min	-377.97	-33.96	-25.01
M3 Max	-438.27	9.95	198.32
M3 Min	-533.74	1.02	-198.32

Gaya Tekan Terkecil	
Nu (kN)	0.0052

Geser		
Lokasi	V2 (kN)	V3 (kN)
Tumpuan	59.05	27.12
Lapangan	59.05	27.12

Tabel 4. 20. Eksport Gaya Dalam Kolom Pipih 250 mm × 640 mm dari ETABS

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN·m)	M3 (kN·m)
P max	-3.21	-2.06	36.09
P min	-724.65	-10.40	-125.51
M2 Max	-299.99	41.29	22.10
M2 Min	-395.26	-41.29	-22.10
M3 Max	-452.68	14.35	148.34
M3 Min	-498.41	-0.70	-148.34

Gaya Tekan Terkecil	
Nu (kN)	0.0059

Geser		
Lokasi	V2 (kN)	V3 (kN)
Tumpuan	48.93	21.32
Lapangan	48.93	21.32

Tabel 4. 21. Eksport Gaya Dalam Kolom Pipih 300 mm × 533 mm dari ETABS

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN·m)	M3 (kN·m)
P max	-6.73	11.95	28.29
P min	-701.73	-0.64	0.20
M2 Max	-675.39	60.81	27.64
M2 Min	-692.29	-60.81	-27.64
M3 Max	-669.77	17.78	92.80
M3 Min	-676.87	-17.78	-92.80

Gaya Tekan Terkecil	
Nu (kN)	0.0019

Geser		
Lokasi	V2 (kN)	V3 (kN)
Tumpuan	32.76	27.12
Lapangan	32.76	27.12

4.4. Cek Ketidakberaturan Stuktur

4.4.1. Horizontal

Berikut disajikan prosedur sistematis untuk mengecek ketidakberaturan horizontal menurut SNI 1726:2019, beserta setiap tahapan pelaksanaan dalam perangkat lunak ETABS dan kriteria penilaian.

1. Ketidakberaturan Torsi (*Torsional Irregularity*)

a. Kriteria

1) 1A (torsi ringan):

$$\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} > 1,2$$

2) 1B (torsi berat):

$$\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} > 1,4$$

Δ_{max} = simpangan antar tingkat maksimum (drift) pada suatu lantai

Δ_{avg} = rata-rata *simpangan* antar tingkat pada kedua ujung denah

b. Pengambilan Data

- 1) Display → Show → Story Response Plot, pilih Drift Ratio (center-of-mass).
- 2) Load case: Spectrum X atau Y (unscaled).
- 3) Klik kanan pada kolom rasio, ekstrak nilai $\Delta_{max}/\Delta_{avg}$ untuk tiap lantai.

c. Hasil Perhitungan

Tabel 4. 22. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Torsi 400 mm x 400 mm

Lantai	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek
4	1,001	OK	1,001	OK
3	1	OK	1	OK
2	1	OK	1	OK
1	1,001	OK	1,001	OK

Tabel 4. 23. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Torsi 200 mm x 800 mm

Lantai	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek
4	1,002	OK	1,001	OK
3	1,001	OK	1,002	OK
2	1	OK	1	OK
1	1,003	OK	1,005	OK

Tabel 4. 24. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Torsi 250 mm x 640 mm

Lantai	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek
4	1,001	OK	1,001	OK
3	1,001	OK	1,002	OK
2	1	OK	1	OK
1	1,001	OK	1,005	OK

Tabel 4. 25. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Torsi 300 mm x 533 mm

Lantai	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek
4	1,001	OK	1,001	OK
3	1,001	OK	1	OK
2	1	OK	1	OK
1	1,001	OK	1,001	OK

2. Ketidakberaturan Sudut Dalam (*Re-entrant Corner Irregularity*)

a. Kriteria

$$Re - entrant depth = \frac{L_x}{P_x} > 0,15 \text{ dan } Re - entrant depth = \frac{L_y}{P_y} > 0,15$$

L_x, L_y = panjang denah total pada arah X dan Y

$Re - entrant depth$ = jarak masuknya sudut dalam ke dalam denah

b. Data dan Perhitungan

Tabel 4. 26. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Sudut Dalam

L_x	P_x	L_y	P_y	L_x / P_x	L_y / P_y	Cek
(m)	(m)	(m)	(m)			
16	0	16	0	0	0	OK

3. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma (*Diaphragm Discontinuity*)

a. Kriteria

- 1) Area bukaan > 50 % dari total area lantai, atau
- 2) Stiffness variation > 50 % antar lantai

b. Data dan Perhitungan

Tabel 4. 27. Tabel Pehitungan Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

A_{total}	A_{bukaan}	Cek
(m ²)	(m ²)	
256	0	OK

4. Ketidakberaturan Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang (*Out-of-Plane Offset*)

a. Kriteria

Terdapat elemen LFR (kolom atau shear wall) yang tidak kontinu dari pondasi ke atap pada arah tinjauan.

b. Verifikasi

Tinjau model ETABS, pastikan semua elemen vertikal sejajar dan menerus.

c. Interpretasi

Semua kolom dan dinding geser kontinu, sehingga tidak ada ketidakberaturan tipe 4.

5. Ketidakberaturan Sistem Non-Paralel (*Non-Parallel System*)

a. Kriteria

Elemen vertikal LFR tidak sejajar orthogonal terhadap sumbu global (X atau Y).

b. Verifikasi

Periksa orientasi tiap kolom dan *shear wall*; semua harus tegak lurus sumbu X/Y.

c. Interpretasi

Semua elemen orthogonal, sehingga tidak ada ketidakberaturan tipe 5. Dari kelima jenis ketidakberaturan horizontal, tidak ditemukan kondisi yang melampaui kriteria pada kasus studi ini. Dengan demikian, struktur memenuhi semua persyaratan ketidakberaturan horizontal sesuai SNI 1726:2019 dan dapat melanjutkan ke tahap analisis ketidakberaturan vertikal.

4.4.2. Vertikal

1. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

a. Kriteria SNI

1) 1A (ringan):

$$\frac{K_i}{K_{i-1}} < 0,70 \text{ atau } \frac{K_i}{\frac{1}{3} \sum_{i=i+1}^{i+3} K_i} < 0,80$$

2) 1B (berlebihan):

$$\frac{K_i}{K_{i-1}} < 0,60 \text{ dan } \frac{K_i}{\frac{1}{3} \sum_{i=i+1}^{i+3} K_i} < 0,70$$

Dimana K_i adalah kekakuan lateral antar tingkat ke- i .

b. Metode Ekstraksi dan Perhitungan

1) Display → Show → Story Stiffness di ETABS untuk load case Spectrum X dan Y.

2) Salin nilai K_i (kN/m) setiap tingkat ke lembar kerja Excel.

3) Hitung rasio

c. Hasil Verifikasi

Tabel 4. 28. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak untuk Kolom Persegi 400 mm × 400 mm

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
	kN/m		kN/m	
4	40393,93		40393,93	
3	45672,42	OK	45672,42	OK
2	48875,71	OK	48875,71	OK
1	79670,72	OK	79670,72	OK

Tabel 4. 29. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak untuk Kolom Pipih 200 mm × 800 mm

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
	kN/m		kN/m	
4	34156,74		43005,35	
3	43204,52	OK	56733,92	OK
2	49103,99	OK	66937,34	OK
1	88722,98	OK	126786,37	OK

Tabel 4. 30. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak untuk Kolom Pipih 250 mm × 640 mm

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
	kN/m		kN/m	
4	44463,98		35562,23	
3	53612,29	OK	42817,26	OK
2	59802,89	OK	47188,86	OK
1	105329,67	OK	81936,41	OK

Tabel 4. 31. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak untuk Kolom Pipih 300 mm × 533 mm

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
	kN/m		kN/m	
4	45570,68		34134,00	
3	55189,89	OK	36757,05	OK
2	61779,56	OK	38082,38	OK
1	109529,94	OK	56633,48	OK

2. Ketidakberaturan Berat (Massa)

a. Kriteria SNI

Tipe 2 terjadi apabila:

$$M_i > 1,5M_{i-1} \text{ dan } M_i > 1,5M_{i+1}$$

Bagian atap dikecualikan.

b. Metode Ekstraksi

1) Display → Show → Story Mass di ETABS.

2) Salin massa M_i (kg) tiap tingkat.

c. Hasil Verifikasi

Tabel 4. 32. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Berat untuk Kolom Persegi 400 mm × 400 mm

Lantai	Massa	Cek
--------	-------	-----

	(kg)	
4	345559,42	OK
3	423116,52	OK
2	423116,52	OK
1	423116,52	OK

Tabel 4. 33. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Berat untuk Kolom Pipih 200 mm × 800 mm

Lantai	Massa	Cek
	(kg)	
4	342775,42	OK
3	420332,52	OK
2	420332,52	OK
1	420332,52	OK

Tabel 4. 34. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Berat untuk Kolom Pipih 250 mm × 640 mm

Lantai	Massa	Cek
	(kg)	
4	344133,82	OK
3	421690,92	OK
2	421690,92	OK
1	421690,92	OK

Tabel 4. 35. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Berat untuk Kolom Pipih 300 mm × 533 mm

Lantai	Massa	Cek
	(kg)	
4	345218,62	OK
3	422751,72	OK
2	422751,72	OK
1	422751,72	OK

3. Ketidakberaturan Geometris Vertikal

a. Kriteria SNI

Tipe 3 terjadi jika perbandingan dimensi horizontal elemen LFR (kolom/ shear wall) melampaui 130 %:

$$\frac{d_i}{d_{i+1}} > 1,3$$

b. Data Penampang

Tabel 4. 36. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Geometris Vertikal untuk Kolom Persegi 400 mm × 400 mm

Lantai	L	Cek
	(mm)	
4	400	OK
3	400	OK
2	400	OK
1	400	OK

Tabel 4. 37. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Geometris Vertikal untuk Kolom Pipih 200 mm × 800 mm

Lantai	L	Cek
	(mm)	
4	800	OK
3	800	OK
2	800	OK
1	800	OK

Tabel 4. 38. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Geometris Vertikal untuk Kolom Pipih 250 mm × 640 mm

Lantai	L	Cek
	(mm)	
4	640	OK
3	640	OK
2	640	OK
1	640	OK

Tabel 4. 39. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Geometris Vertikal untuk Kolom Pipih 300 mm × 533 mm

Lantai	L	Cek
	(mm)	
4	533	OK
3	533	OK
2	533	OK
1	533	OK

4. Ketidakberaturan Diskontinuitas Bidang

a. Kriteria SNI

Tipe 4 terjadi jika terdapat offset lateral pada elemen penahan gaya lateral (kolom/ dinding geser) sehingga tidak kontinu dari fondasi ke atap.

b. Verifikasi

Tinjau model 3D dapat dipastikan tidak ada kolom atau shear wall yang terputus atau bergeser pada tingkat tertentu.

5. Ketidakberaturan Kekuatan Lateral Tingkat Lemah

a. Kriteria SNI

1) 5A (ringan):

$$\frac{V_i}{V_{i-1}} < 0,80$$

2) 5B (berlebihan):

$$\frac{V_i}{V_{i-1}} < 0,60$$

b. Metode Ekstraksi

- 1) Display → Show → Story Shear di ETABS.
- 2) Copy gaya geser V_i (kN) setiap tingkat ke Excel.
- 3) Hitung rasio

c. Hasil Verifikasi

Tabel 4. 40. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Kekuatan Lateral Tingkat Lemah untuk Kolom Persegi 400 mm × 400 mm

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan	Cek	Kekuatan	Cek
	(kN)		(kN)	
4	213,1111		213,1111	
3	343,5218	OK	343,5218	OK
2	437,3236	OK	437,3236	OK
1	506,7769	OK	506,7769	OK

Tabel 4. 41. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Kekuatan Lateral Tingkat Lemah untuk Kolom Pipih 200 mm × 800 mm

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan	Cek	Kekuatan	Cek
	(kN)		(kN)	
4	217,5893		240,8431	
3	340,8712	OK	390,4896	OK
2	433,1037	OK	499,7692	OK
1	502,7266	OK	571,991	OK

Tabel 4. 42. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Kekuatan Lateral Tingkat Lemah untuk Kolom Pipih 250 mm × 640 mm

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan	Cek	Kekuatan	Cek
	(kN)		(kN)	
4	228,8966		213,0167	
3	374,5159	OK	336,9126	OK

2	479,9176	OK	428,0580	OK
1	551,6763	OK	497,7088	OK

Tabel 4. 43. Tabel Perhitungan Ketidakberaturan Kekuatan Lateral Tingkat Lemah untuk Kolom Pipih 300 mm × 533 mm

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan	Cek	Kekuatan	Cek
	(kN)		(kN)	
4	232,1211		192,5267	
3	380,909	OK	306,5836	OK
2	488,4322	OK	386,2707	OK
1	560,6452	OK	454,7892	OK

Dari kelima tipe ketidakberaturan vertikal, tidak ditemukan kondisi yang melebihi batas SNI 1726:2019. Struktur memenuhi semua persyaratan *vertical irregularity*.

4.5. Cek Simpangan Antar Lantai

4.5.1. Batas Izin Simpangan Elastik

Berdasarkan Tabel 20 SNI 1726:2019 untuk struktur selain dari struktur dinding geser pada kategori risiko II, batas simpangan antar tingkat elastik dinyatakan sebagai:

$$\Delta_a = 0,025H$$

Artinya drift maksimal pada tiap tingkat tidak boleh melebihi 2 % dari tinggi lantai.

4.5.2. Faktor Redundansi

Sesuai Pasal 7.12.1.1, untuk rangka pemikul momen pada kategori desain seismik D–F diperlukan faktor redundansi:

$$\rho = 1,3$$

Nilai ini merefleksikan cadangan kekakuan dan distribusi beban antar elemen struktur.

4.5.3. Batas Simpangan Inelastik

Untuk memperhitungkan deformasi plastik, simpangan elastik dibagi oleh faktor redundansi:

$$\Delta_{max} = \frac{\Delta_a}{\rho}$$

Maka:

$$\Delta_{max} = \frac{0,025 \times 4}{1,3}$$

$$\Delta_{max} = 0,0769 \text{ m}$$

$$\Delta_{max} = 76,9 \text{ mm}$$

Sehingga simpangan antar tingkat inelastik tidak boleh melebihi 76,9 mm dari tinggi tingkat.

4.5.4. Ekstraksi Data Perpindahan Tiap Tingkat

1. Pastikan setiap plat lantai telah di-assign sebagai diaphragm shell untuk menggabungkan kekakuan lantai.
2. Jalankan Story Response Plot (Display → Show → Story Response), pilih output Diaphragm Center-of-Mass Displacement.
3. Salin nilai perpindahan Δ_i dari lantai 1 hingga lantai puncak.

4.5.5. Perhitungan Drift Tiap Tingkat

Tabel 4. 44. Tabel Perhitungan *Drift* Tiap Lantai untuk Kolom Persegi 400 mm × 400 mm

Story	Displacement		Elastic Drift		H	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δeX	δeY	δeX	δeY		ΔX	ΔY		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
4	26,023	26,023	4,160	4,160	4000	22,880	22,880	76,923	OK
3	21,863	21,863	6,954	6,954	4000	38,247	38,247	76,923	OK
2	14,909	14,909	8,736	8,736	4000	48,048	48,048	76,923	OK
1	6,173	6,173	6,173	6,173	4000	33,952	33,952	76,923	OK

Tabel 4. 45. Tabel Perhitungan *Drift* Tiap Lantai untuk Kolom Pipih 200 mm × 800 mm

Story	Displacement		Elastic Drift		H	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δeX	δeY	δeX	δeY		ΔX	ΔY		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		

4	26,238	22,694	4,937	4,558	4000	27,154	25,069	76,923	OK
3	21,301	18,136	7,306	6,506	4000	40,183	35,783	76,923	OK
2	13,995	11,630	8,567	7,271	4000	47,119	39,991	76,923	OK
1	5,428	4,359	5,428	4,359	4000	29,854	23,975	76,923	OK

Tabel 4. 46. Tabel Perhitungan *Drift* Tiap Lantai untuk Kolom Pipih 250 mm × 640 mm

Story	Displacement		Elastic Drift		H	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δeX	δeY	δeX	δeY		ΔX	ΔY		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
4	23,639	26,590	4,188	4,634	4000	23,034	25,487	76,923	OK
3	19,451	21,956	6,556	7,270	4000	36,058	39,985	76,923	OK
2	12,895	14,686	7,832	8,797	4000	43,076	48,384	76,923	OK
1	5,063	5,889	5,063	5,889	4000	27,847	32,390	76,923	OK

Tabel 4. 47. Tabel Perhitungan *Drift* Tiap Lantai untuk Kolom Pipih 300 mm × 533 mm

Story	Displacement		Elastic Drift		H	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δeX	δeY	δeX	δeY		ΔX	ΔY		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
4	23,317	29,436	4,160	4,278	4000	22,880	23,529	76,923	OK
3	19,157	25,158	6,490	7,496	4000	35,695	41,228	76,923	OK
2	12,667	17,662	7,714	9,863	4000	42,427	54,247	76,923	OK
1	4,953	7,799	4,953	7,799	4000	27,242	42,895	76,923	OK

4.6. Cek pengaruh P-Delta

4.6.1. Rumus Koefisien Stabilitas

Koefisien stabilitas dinyatakan oleh Persamaan (45) SNI 1726:2019:

$$\theta = \frac{P_x \times \Delta \times I_e}{V_x \times H_x \times C_d}$$

Dimana:

P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat ke-x (kN)

Δ = simpangan antar tingkat ke-x (mm), diukur secara serentak dengan gaya geser

I_e = faktor keutamaan gempa;

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

H_x = tinggi tingkat di bawah tingkat x (mm);

C_d = faktor pembesaran defleksi

4.6.2. Langkah Perhitungan P-Delta di ETABS

1. Persiapan Output
 - a. Pastikan telah selesai melakukan analisis modal dan penskalaan gaya geser dasar.
 - b. Aktifkan P-Delta Analysis di ETABS: Menu Analyze → Set Analysis Options → Include P-Delta Effects.
2. Ekstraksi Nilai Δ dan V
 - a. Dari Story Response Plot untuk load case gempa X/Y (unscaled), catat simpangan elastik Δ tiap lantai.
 - b. Dari output Base Shear (SF1, SF2) untuk load case gempa tereskalasi, peroleh V untuk arah X dan Y.
3. Jalankan Analisis P-Delta
 - a. Klik Run Analysis kembali setelah opsi P-Delta diaktifkan.
 - b. ETABS akan menghitung ulang gaya dan momen, termasuk tambahan momen P-Delta di setiap elemen.
4. Ambil Output Story Forces
 - a. Menu Display → Show Tables → Story Forces.
 - b. Pilih kombinasi beban P-Delta (biasanya “P-Delta Case X” dan “P-Delta Case Y”).
 - c. Ekspor tabel yang memuat:
 - 1) P = total gaya aksial perantai (kN)
 - 2) Δ = drift aktual setelah P-Delta (m)
 - 3) V = gaya geser dasar baru (kN)

4.6.3. Hasil Perhitungan

Tabel 4. 48. Perhitungan P-Delta Tiap Tingkat untuk Kolom Persegi 400 mm × 400 mm

Story	Inelastic Drift		Story Forces			H (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	ΔX	ΔY	P	V _x	V _y		θX	θY			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
4	22,88	22,88	1950,26	213,11	213,11	4000	0,0095	0,0095	0,1	0,0909	OK
3	38,25	38,25	4661,10	343,52	343,52	4000	0,0236	0,0236	0,1	0,0909	OK
2	48,05	48,05	7371,94	437,32	437,32	4000	0,0368	0,0368	0,1	0,0909	OK
1	33,95	33,95	10082,78	506,78	506,78	4000	0,0307	0,0307	0,1	0,0909	OK

Tabel 4. 49. Perhitungan P-Delta Tiap Tingkat untuk Kolom Pipih 200 mm × 800 mm

Story	Inelastic Drift		Story Forces			H (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	ΔX	ΔY	P	V _x	V _y		θX	θY			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
4	27,15	25,07	1936,61	217,59	240,84	4000	0,0110	0,0092	0,1	0,0909	OK
3	40,18	35,78	4633,80	340,87	390,49	4000	0,0248	0,0193	0,1	0,0909	OK
2	47,12	39,99	7330,99	433,10	499,77	4000	0,0363	0,0267	0,1	0,0909	OK
1	29,85	23,97	10028,17	502,73	571,99	4000	0,0271	0,0191	0,1	0,0909	OK

Tabel 4. 50. Perhitungan P-Delta Tiap Tingkat untuk Kolom Pipih 250 mm × 640 mm

Story	Inelastic Drift		Story Forces			H (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	ΔX	ΔY	P	V _x	V _y		θX	θY			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
4	23,03	25,49	1943,27	228,90	213,02	4000	0,0089	0,0106	0,1	0,0909	OK
3	36,06	39,99	4647,12	374,52	336,91	4000	0,0203	0,0251	0,1	0,0909	OK
2	43,08	48,38	7350,97	479,92	428,06	4000	0,0300	0,0378	0,1	0,0909	OK
1	27,85	32,39	10054,82	551,68	497,71	4000	0,0231	0,0297	0,1	0,0909	OK

Tabel 4. 51. Perhitungan P-Delta Tiap Tingkat untuk Kolom Pipih 300 mm × 533 mm

Story	Inelastic Drift		Story Forces			H (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	ΔX	ΔY	P	V _x	V _y		θX	θY			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
4	22,88	23,53	1948,71	232,12	192,53	4000	0,0087	0,0108	0,10	0,09	OK
3	35,70	41,23	4657,76	380,91	306,58	4000	0,0198	0,0285	0,10	0,09	OK
2	42,43	54,25	7366,81	488,43	386,27	4000	0,0291	0,0470	0,10	0,09	OK
1	27,24	42,89	10075,86	560,65	454,79	4000	0,0223	0,0432	0,10	0,09	OK

4.7. Analisa Kolom dengan spColumn

4.7.1. Input General Information

Input General Information pada SP Column adalah langkah awal untuk mengisi data umum terkait perencanaan atau pemeriksaan kolom yang akan dianalisis. Tujuannya adalah memberikan identitas proyek, menentukan standar desain yang digunakan, memilih satuan perhitungan, menentukan jenis pemeriksaan

(investigasi atau desain), serta mengatur arah pembebanan dan apakah pengaruh kelangsingan (slenderness) perlu diperhitungkan. Dengan pengisian data umum ini, SP Column akan menjalankan analisis sesuai konteks proyek yang sedang direncanakan.

Gambar 4. 39. Input General Information kolom persegi pada SP Column

4.7.2. *Input Material Properties*

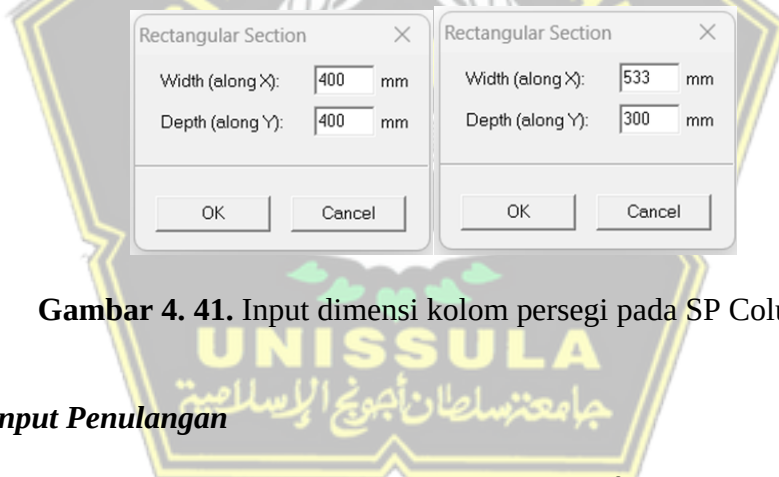
Input Material Properties pada SP Column adalah tahap untuk memasukkan mutu material yang akan digunakan dalam perhitungan kapasitas kolom. Tujuan dari pengisian data ini adalah agar program dapat menghitung diagram interaksi kolom secara akurat sesuai dengan sifat material. Data yang dimasukkan meliputi kekuatan beton dan baja tulangan, serta parameter lain seperti modulus elastisitas, batas regangan, dan faktor reduksi, sehingga perhitungan yang dihasilkan sesuai standar desain dan karakteristik material yang digunakan pada proyek.

Gambar 4. 40. Input Material Properties kolom persegi pada SP Column

4.7.3. Input Rectangular Section

Input Rectangular Section adalah tahap untuk menentukan dimensi penampang kolom berbentuk persegi atau persegi panjang yang akan dianalisis. Tujuannya adalah agar program mengenali ukuran fisik penampang. Dengan mengisi dimensi lebar dan tinggi (atau lebar dan kedalaman) penampang, SP Column dapat membentuk diagram interaksi P-M secara spesifik untuk ukuran tersebut.

Gambar di atas memperlihatkan jendela pengisian data Rectangular Section di SP Column. Pada kolom Width (along X) diinputkan nilai 400 mm sebagai lebar penampang searah sumbu X, sedangkan pada Depth (along Y) diinputkan nilai 400 mm sebagai dimensi penampang searah sumbu Y. Input ini menunjukkan bahwa kolom yang dianalisis memiliki ukuran 400 mm × 400 mm, atau berbentuk bujur sangkar. Dengan memasukkan data dimensi ini, program akan melakukan analisis kapasitas kolom sesuai bentuk dan ukuran yang telah ditentukan.



Gambar 4. 41. Input dimensi kolom persegi pada SP Column

4.7.4. Input Penulangan

Input Penulangan adalah tahap untuk menentukan konfigurasi dan detail tulangan pokok pada penampang kolom yang akan dianalisis. Tujuannya adalah agar program dapat memodelkan distribusi tulangan secara tepat, sehingga kapasitas kolom terhadap kombinasi gaya aksial dan momen dapat direncanakan. Data yang dimasukkan meliputi jumlah batang tulangan, ukuran diameter tulangan, tebal selimut beton, serta jenis tata letak tulangan. Dengan input yang benar, SP Column dapat menyusun diagram interaksi P-M yang akurat dan digunakan sebagai dasar verifikasi atau desain ulang kolom.

Gambar di bawah memperlihatkan jendela pengisian konfigurasi tulangan pada menu All Sides Equal di SP Column. Pada bagian No. of bars diinputkan jumlah

tulangan pokok sebanyak 12 batang. Bar size dipilih ukuran tulangan #19 sesuai perencanaan. Nilai Clear cover diisi 25 mm, yaitu jarak dari tepi beton ke permukaan tulangan. Pada bagian Bar Layout, dipilih opsi Rectangular karena kolom berbentuk persegi atau persegi panjang, bukan lingkaran. Sementara itu, opsi Cover to dipilih Transverse bars, artinya jarak selimut beton diukur dari tulangan sengkang. Dengan konfigurasi ini, SP Column akan memproses kapasitas penampang berdasarkan jumlah dan posisi tulangan yang telah rencanakan.



Gambar 4. 42. Input penulangan kolom persegi 400 mm × 400 mm dan kolom 300 mm × 533 mm pada SP Column

4.7.5. *Input beban dari Data Excell ke spColumn*

Input beban dari data Excel ke SP Column adalah tahap untuk memasukkan kombinasi gaya aksial dan momen hasil analisis ETABS ke dalam SP Column agar program dapat memeriksa atau merencanakan kapasitas kolom sesuai yang direncanakan. Tujuannya adalah supaya SP Column bisa menghitung diagram interaksi P-Mx-My dan memverifikasi apakah kolom dengan dimensi dan tulangan yang sudah ditentukan mampu menahan beban-beban. Proses ini penting karena data dari ETABS berupa gaya dalam (P, M2, M3) adalah hasil dari analisis struktur keseluruhan, sedangkan SP Column fokus memeriksa kapasitas elemen kolom.

Catatan penting pada ETABS, tanda positif atau negatif untuk gaya aksial biasanya berbeda dengan SP Column. Di ETABS, gaya tekan sering ditampilkan bernilai negatif, sedangkan di SP Column gaya tekan dimasukkan dengan nilai positif. Oleh karena itu, saat memindahkan data, perlu diperhatikan dan dibalik sesuai konvensi SP Column agar tidak terjadi kesalahan perhitungan.

Factored Loads (Kiri)

No.	P	Mx	My
1	7.93	24.759	13.618
2	700.526	-0.427	0.427
3	673.214	75.024	23.303
4	684.814	-75.024	-23.303
5	673.214	23.303	75.024
6	684.814	-23.303	-75.024

Factored Loads (kanan)

No.	P	Mx	My
1	6.729	11.95	28.287
2	701.732	-0.639	0.202
3	675.389	60.805	27.643
4	692.29	-60.805	-27.643
5	669.773	17.782	92.802
6	676.865	-17.782	-92.802

Kiri

kanan

Gambar 4. 43. Input beban dari data Excel ke SP Column, untuk yang kiri kolom 400 mm × 400 mm dan untuk yang kanan kolom 300 mm × 533 mm

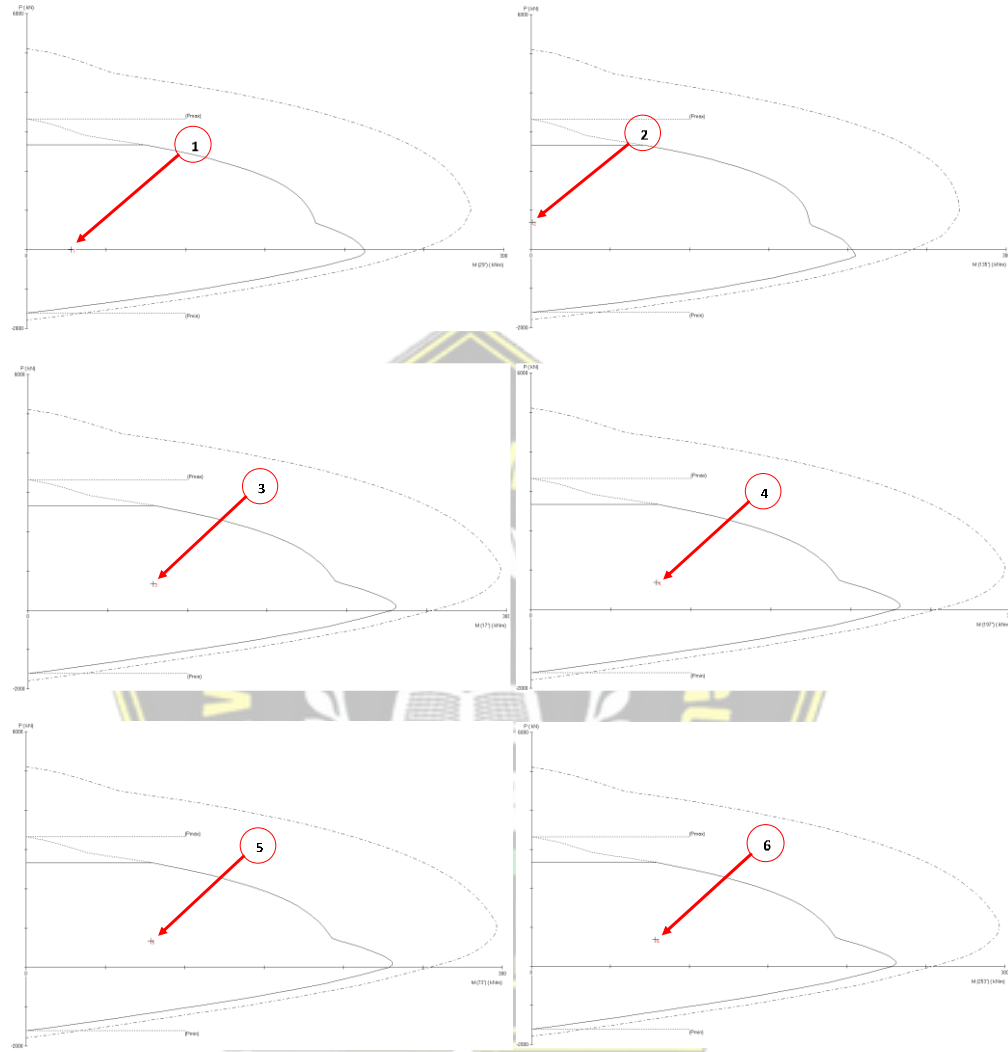
4.7.6. Running Pemodelan

Setelah proses desain penampang kolom selesai, langkah selanjutnya adalah melakukan running pemodelan pada perangkat lunak spColumn. Tahap ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas penampang kolom terhadap kombinasi beban aksial dan momen lentur dalam arah dua sumbu (biaxial bending). Dengan memasukkan data penampang, material beton dan baja, serta konfigurasi tulangan ke dalam spColumn, program akan menghasilkan interaction surface atau permukaan interaksi tiga dimensi. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk memastikan bahwa desain kolom mampu menahan berbagai kombinasi beban dan memastikan bahwa penampang telah memenuhi kriteria kekuatan sesuai standar perencanaan.

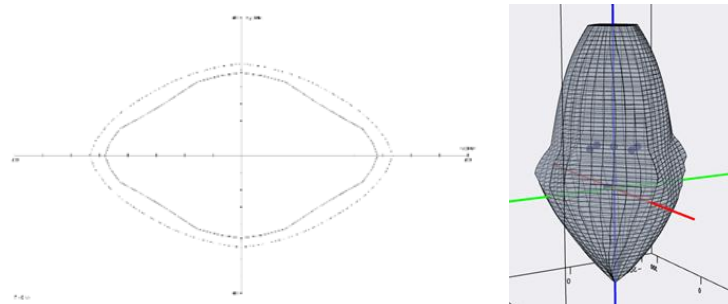
1. Kolom Persegi 400 mm × 400 mm

Gambar dibawah merupakan hasil visualisasi *3D interaction surface* dari hasil pemodelan spColumn. Permukaan ini menggambarkan hubungan antara gaya aksial (P) pada sumbu vertikal, serta momen lentur dua arah (M_x dan M_y) pada sumbu horizontal. Bentuk permukaan ini menunjukkan batas kekuatan penampang kolom terhadap berbagai kombinasi beban aksial dan momen. Setiap titik pada permukaan tersebut mewakili kombinasi maksimum beban aksial dan momen lentur yang masih dapat ditahan oleh penampang kolom. Permukaan ini

sangat penting dalam proses desain dan evaluasi struktur karena untuk melihat kinerja penampang secara menyeluruh terhadap beban tiga dimensi. Jika kombinasi beban aktual berada di dalam permukaan ini, maka kolom $400\text{ mm} \times 400\text{ mm}$ dinyatakan **aman**.



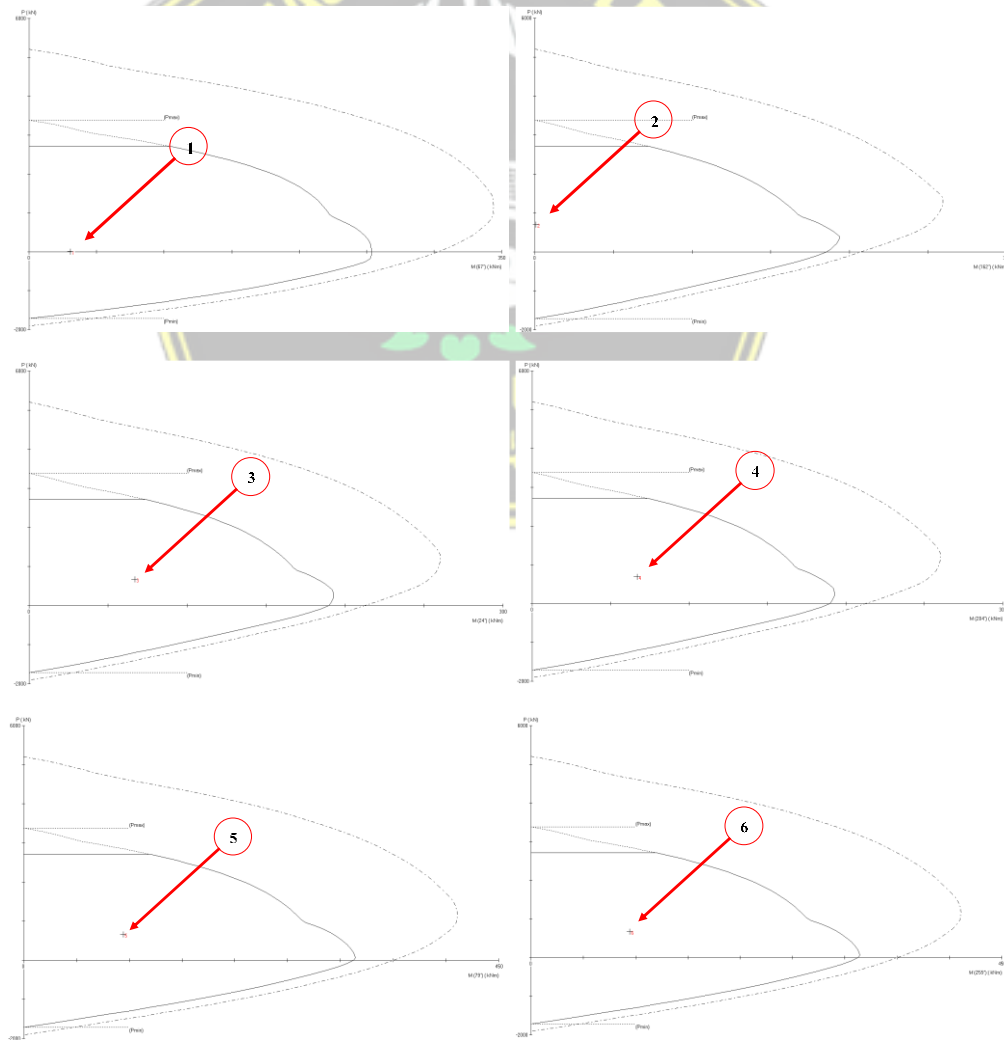
Gambar 4.44. Visualisasi 2D interaction surface Kolom Persegi $400\text{ mm} \times 400\text{ mm}$ dari SP Column



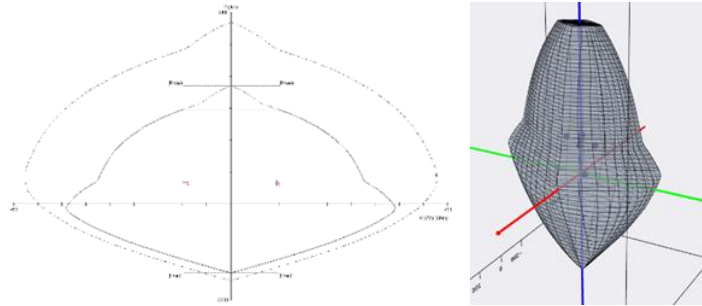
Gambar 4. 45. Visualisasi 3D interaction surface Kolom Persegi 400 mm × 400 mm dari SP Column

2. Kolom Persegi 300 mm × 533 mm

Gambar dibawah merupakan hasil visualisasi 3D interaction surface dari hasil pemodelan spColumn. Permukaan ini menggambarkan hubungan antara gaya aksial (P) pada sumbu vertikal, serta momen lentur dua arah (M_x dan M_y) pada sumbu horizontal. Bentuk permukaan ini menunjukkan batas kekuatan penampang kolom terhadap berbagai kombinasi beban aksial dan momen. Setiap titik pada permukaan tersebut mewakili kombinasi maksimum beban aksial dan momen lentur yang masih dapat ditahan oleh penampang kolom. Permukaan ini sangat penting dalam proses desain dan evaluasi struktur karena untuk melihat kinerja penampang secara menyeluruh terhadap beban tiga dimensi. Jika kombinasi beban aktual berada di dalam permukaan ini, maka kolom 300 mm × 533 mm dinyatakan **aman**.



Gambar 4. 46. Visualisasi 2D interaction surface Kolom Persegi 300 mm × 533 mm dari SP Column



Gambar 4. 47. Visualisasi 3D interaction surface Kolom Persegi 300 mm × 533 mm dari SP Column

4.7.7. Cek $\phi Mn \geq Mu$

Langkah selanjutnya adalah melakukan cek kekuatan momen nominal terfaktor (ϕMn) terhadap momen yang bekerja (Mu). Tujuan dari pengecekan ini adalah untuk memastikan bahwa penampang kolom yang direncanakan memiliki kapasitas momen yang cukup, yaitu nilai ϕMn harus lebih besar atau sama dengan Mu ($\phi Mn \geq Mu$), agar struktur dapat menahan beban momen yang dikenakan dengan aman sesuai peraturan ACI 318. Jika hasil rasio $\phi Mn / Mu \geq 1$, maka penampang dinyatakan aman terhadap momen tersebut. Sebaliknya, jika rasio < 1 , penampang dianggap tidak aman dan perlu dilakukan perbaikan desain.

1. Kolom Persegi 400 mm × 400 mm

Gambar dibawah merupakan hasil output dari analisis spColumn yang menunjukkan enam kombinasi beban aksial dan momen lentur dua arah. Kolom yang disorot kuning menunjukkan nilai rasio $\phi Mn / Mu$, yang merupakan hasil pembagian kapasitas momen total terhadap momen yang bekerja. Terlihat bahwa semua kombinasi memiliki rasio > 1 yang berarti **aman**.

Tabel 4. 52. Tabel output analisis Kolom Persegi 400 mm × 400 mm dari spColumn

No	P_u (kN)	M_{ux} (kN·m)	M_{uy} (kN·m)	$\phi \cdot M_{nux}$ (kN·m)	$\phi \cdot M_{nuy}$ (kN·m)	$\phi Mn/Mu$	NA Depth (mm)	dt Depth (mm)	ϵ_t	Φ
1	7.93	24.76	13.62	171.14	94.13	6.91	177.00	479.00	0.01	0.90
2	700.53	-0.43	0.43	-128.37	128.37	300.64	269.00	501.00	0.00	0.69
3	673.21	75.02	23.30	195.68	60.78	2.61	230.00	457.00	0.00	0.73
4	684.81	-75.02	-23.30	-195.12	-60.60	2.60	231.00	457.00	0.00	0.72
5	673.21	23.30	75.02	60.78	195.68	2.61	230.00	457.00	0.00	0.73

6	684.81	-23.30	-75.02	-60.60	-195.12	2.60	231.00	457.00	0.00	0.72
---	--------	--------	--------	--------	---------	------	--------	--------	------	------

2. Kolom Persegi 300 mm × 533 mm

Gambar dibawah merupakan hasil output dari analisis spColumn yang menunjukkan enam kombinasi beban aksial dan momen lentur dua arah. Kolom yang disorot kuning menunjukkan nilai rasio $\phi M_n / M_u$, yang merupakan hasil pembagian kapasitas momen total terhadap momen yang bekerja. Terlihat bahwa semua kombinasi memiliki rasio > 1 yang berarti **aman**.

Tabel 4. 53. Tabel output analisis Kolom Persegi 300 mm × 533 mm dari spColumn

No	Pu (kN)	Mux (kN·m)	Muy (kN·m)	$\phi \cdot M_{nux}$ (kN·m)	$\phi \cdot M_{nuy}$ (kN·m)	$\phi M_n / M_u$	NA Depth (mm)	dt Depth (mm)	ϵ_t	Φ
1	6.73	11.95	28.29	81.65	193.27	6.832	188.00	500.00	0.00	0.90
2	701.73	-64.00	0.20	-150.33	47.52	235.262	157.00	315.00	0.00	0.73
3	675.39	60.81	27.64	143.64	65.30	2.362	170.00	336.00	0.00	0.72
4	692.29	-60.81	-27.64	-143.02	-65.02	2.352	172.00	336.00	0.00	0.72
5	669.77	17.78	92.80	47.49	247.86	2.671	269.00	546.00	0.00	0.74
6	676.86	-17.78	-92.80	-47.43	-247.53	2.667	270.00	546.00	0.00	0.73

4.8. Analisa Desain Menggunakan Excell

4.8.1. Desain Longitudinal

Desain tulangan longitudinal merupakan salah satu aspek penting dalam perencanaan struktur kolom beton bertulang. Tujuan utama dari desain ini adalah untuk memastikan bahwa kolom memiliki kapasitas yang cukup dalam menahan beban aksial dan momen lentur yang bekerja, serta menjaga kestabilan struktur terhadap gaya-gaya yang ditimbulkan selama masa layan. Tulangan longitudinal berfungsi sebagai tulangan utama yang menahan tarik dan tekan akibat kombinasi beban aksial dan lentur. Oleh karena itu, perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum dan maksimum rasio tulangan sesuai dengan standar seperti SNI 2847:2019, agar kolom tidak mengalami kegagalan baik karena kekuatan yang kurang atau kelebihan tulangan yang menyebabkan pengerjaan tidak efektif, berikut adalah perhitungan desain longitudinal kolom persegi 400 mm × 400 mm dan kolom pipih 300 mm × 533 mm:

1. Kolom Persegi 400 mm × 400 mm

a. Properti Material dan Penampang

1) Panjang/Tinggi Kolom, L: 4000 mm

- 2) Sisi Pendek Kolom, b: 400 mm
- 3) Sisi Panjang Kolom, h: 400 mm
- 4) Diameter Tulangan Longitudinal, db: 19 mm
- 5) Diameter Tulangan Sengkang, ds: 10 mm
- 6) Selimut Bersih, cc: 25 mm
- 7) Kuat Tekan Beton, f'_c : 25 MPa
- 8) Kuat Leleh Tulangan Longitudinal, f_y : 420 MPa
- 9) Kuat Leleh Tulangan Transversal, f_{yv} : 420 MPa
- 10) Tinggi Balok, hb: 400 mm
- 11) Panjang Efektif Kolom, L_n ($L - h_b$) : 3600 mm

b. Syarat Gaya dan Geometri

1) Syarat Gaya Aksial

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.1, syarat gaya aksial berlaku jika:

$$P_u > 0,1 \times A_g \times f'_c$$

Dimana:

P_u = Beban aksial terfaktor minimum (dalam N)

A_g = Luas bruto penampang kolom ($b \times h$)

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

b = Sisi pendek kolom = 400 mm

h = Sisi panjang kolom = 400 mm

f'_c = 25 MPa

$$P_{u(\min)} = 700,526 \text{ kN} = 700526 \times 10^3 \text{ N}$$

Langkah Perhitungan:

a) Hitung luas bruto penampang:

$$A_g = b \times h = 400 \times 400 = 160.000 \text{ mm}^2$$

b) Hitung batas minimum gaya aksial:

$$0,1 \times A_g \times f'_c = 0,1 \times 160.000 \times 25 = 400.000 \text{ N}$$

c) Bandingkan dengan P_u :

$$P_u = 700.526 \times 10^3 = 700.526 \text{ N}$$

Hasil Evaluasi:

Karena $P_u > 0,1 \times A_g \times f'_c \rightarrow 700.526 \text{ N} > 400.000 \text{ N}$. Maka syarat gaya aksial sesuai ketentuan SNI hasil **menenuhi syarat**.

2) Syarat Sisi Terpendek

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1, Syarat Sisi Terpendek berlaku jika:

$$b \geq 300 \text{ mm}$$

Dimana:

b = Sisi pendek kolom = 400 mm

Hasil Evaluasi:

Karena $b \geq 300 \text{ mm} \rightarrow 400 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}$. Maka syarat sisi terpendek sesuai ketentuan SNI hasil **menenuhi syarat**.

3) Syarat Rasio Dimensi Penampang

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1, Syarat Rasio Dimensi Penampang berlaku jika:

$$b/h \geq 0,4$$

Dimana:

b = 400 mm

h = 400 mm

Langkah Perhitungan:

$$b/h = 400 \text{ mm} / 400 \text{ mm} = 1,0$$

Hasil Evaluasi:

Karena $b/h \geq 0,4 \rightarrow 1,0 \geq 0,4$. Maka syarat rasio dimensi penampang sesuai ketentuan SNI hasil **menenuhi syarat**.

c. Pengecekan terhadap gaya dalam aksial-lentur menggunakan SP Column

Cek ρ_{min} dan ρ_{max} , mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4.1, berlaku jika:

$$1\% \leq \rho \leq 6\% \text{ dan } \rho = A_s / (b \times h)$$

Dimana:

n = 12 batang tulangan

db = 19 mm (diameter tulangan longitudinal)

b = Sisi pendek kolom = 400 mm

h = Sisi panjang kolom = 400 mm

Langkah Perhitungan:

Luas Tulangan Longitudinal

$$A_s = n \times (\pi/4) \times d_b^2$$

$$A_s = 12 \times (\pi/4) \times (19)^2 = 3402,3 \text{ mm}^2$$

$$\rho = A_s / (b \times h) = 3402,3 / (400 \times 400) = 2,13\%$$

Hasil Evaluasi:

Karena $1\% \leq \rho \leq 6\% \rightarrow 1\% \leq 2,13\% \leq 6\%$. Maka Cek ρ_{min} dan ρ_{max} sesuai ketentuan SNI hasil **menenuhi syarat**.

d. Pengecekan Strong Column - Weak Beam (SCWB)

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2, berlaku jika:

$$2 \times M_{nc} \geq 1,2 \times (M_n^+ + M_n^-)$$

Dimana:

$$M_{nc} = 83,719 \text{ kNm (momen nominal kolom)}$$

$$M_n^+ = 67,736 \text{ kNm (momen positif balok)}$$

$$M_n^- = 51,592 \text{ kNm (momen negatif balok)}$$

Perhitungan momen nominal kolom dan balok dijelaskan di lampiran

Langkah Perhitungan:

$$2 \times M_{nc} \geq 1,2 \times (M_n^+ + M_n^-)$$

$$2 \times M_{nc} = 2 \times 83,719 = 167,438 \text{ kNm}$$

$$1,2 \times (M_n^+ + M_n^-) = 1,2 \times (67,736 + 51,592) = 143,1936 \text{ kNm}$$

Hasil Evaluasi:

Karena $2 \times M_{nc} \geq 1,2 \times (M_n^+ + M_n^-) \rightarrow 167,438 \text{ kNm} \geq 143,1936 \text{ kNm}$.

Maka pengecekan strong Column - Weak Beam (SCWB) sesuai ketentuan SNI hasil **menenuhi syarat**.

Tabel 4. 54. Tabel Ringkasan Properti Material, Penampang, dan Hasil Pengecekan Desain Kolom (Axial–Lentur & Strong-Column Weak-Beam) untuk Kolom Persegi 400 mm × 400 mm

Properti Material dan Penampang					
Parameter	Pasal Ref. SNI		Persamaan	Satuan	Nilai
	2847:2013	2847:2019			
Panjang/Tinggi Kolom, L			Input	mm	4000
Sisi Pendek Kolom, b			Input	mm	400
Sisi Panjang Kolom, h			Input	mm	400
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b			Input	mm	19

Diameter Tulangan Sengkang, d_s			Input	mm	10
Selimit Bersih, c_c			Input	mm	25
Kuat Tekan Beton, f_c'			Input	MPa	25
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y			Input	MPa	420
Kuat Leleh Tul. Transversal, f_y			Input	MPa	420
Tinggi Balok, h_b			Input	mm	400
L_n			$L-h_b$	mm	3600

Syarat Gaya dan Geometri					
Parameter	Pasal Ref. SNI		Persamaan	Satuan	Nilai
	2847:2013	2847:2019			
Syarat Gaya Aksial	21.6.1	Tidak dipersyaratkan (Baca R18.7.1)	$P_u > 0,1 \cdot A_g \cdot f_c'$		OK
Syarat Sisi Terpendek	21.6.1.1	18.7.2.1	$b \geq 300 \text{ mm}$		OK
Syarat Rasio Dimensi Penampang	21.6.1.2	18.7.2.1	$b/h \geq 0,4$		OK

Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial–Lentur					
Parameter	Pasal Ref. SNI		Persamaan	Satuan	Nilai
	2847:2013	2847:2019			
Jumlah Tulangan, n			Input		12
Luas Tulangan, A_s			$n \cdot \pi/4 \cdot d_b^2$	mm ²	3402,3
Rasio Tulangan, ρ			$A_s/(b \cdot h)$	%	2,13
Cek ρ_{min} dan ρ_{max}	21.6.3.1	18.7.4.1	$1\% \leq \rho \leq 6\%$		OK

Pengecekan Strong-Column – Weak-Beam (SCWB)					
Parameter	Pasal Ref. SNI		Persamaan	Satuan	Nilai
	2847:2013	2847:2019			
Momen Nominal Kolom, M_{nc}			Input (M_n dari kondisi P_{max} & P_{min})	kN·m	83,719
M_n^- Tumpuan Balok			Input	kN·m	67,736
M_n^+ Tumpuan Balok			Input	kN·m	51,592
Cek SCWB	21.6.2.2	18.7.3.2	$2 \cdot M_{nc} \geq 1,2 (M_n^- + M_n^+)$		OK

2. Kolom Pipih 300 mm × 533 mm

Perhitungan dibawah merupakan hasil desain longitudinal elemen kolom berdasarkan SNI 2847:2019, dengan data:

a. Properti Material dan Penampang

- 1) Panjang/Tinggi Kolom, L : 4000 mm
- 2) Sisi Pendek Kolom, b : 300 mm

- 3) Sisi Panjang Kolom, h: 533 mm
- 4) Diameter Tulangan Longitudinal, db: 19 mm
- 5) Diameter Tulangan Sengkang, ds: 10 mm
- 6) Selimut Bersih, cc: 25 mm
- 7) Kuat Tekan Beton, f'_c : 25 MPa
- 8) Kuat Leleh Tulangan Longitudinal, f_y : 420 MPa
- 9) Kuat Leleh Tulangan Transversal, f_{yv} : 420 MPa
- 10) Tinggi Balok, hb: 400 mm
- 11) Panjang Efektif Kolom, L_n ($L - h_b$) : 3600 mm

b. Syarat Gaya dan Geometri

1) Syarat Gaya Aksial

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.1, syarat gaya aksial berlaku jika:

$$P_u > 0,1 \times A_g \times f'_c$$

Dimana:

P_u = Beban aksial terfaktor minimum (dalam N)

A_g = Luas bruto penampang kolom ($b \times h$)

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

b = Sisi pendek kolom = 400 mm

h = Sisi panjang kolom = 533 mm

f'_c = 25 MPa

$P_{u(\min)} = 701,732 \text{ kN} = 701,732 \times 10^3 \text{ N}$

Langkah Perhitungan:

a) Hitung luas bruto penampang :

$$A_g = b \times h = 400 \times 533 = 213.200 \text{ mm}^2$$

b) Hitung batas minimum gaya aksial:

$$0,1 \times A_g \times f'_c = 0,1 \times 213.200 \times 25 = 533.000 \text{ N}$$

c) Bandingkan dengan P_u :

$$P_u = 701,732 \times 10^3 = 701.732 \text{ N}$$

Hasil Evaluasi:

Karena $P_u > 0,1 \times A_g \times f'_c \rightarrow 701,732 \text{ N} > 533.000 \text{ N}$. Maka syarat gaya aksial sesuai ketentuan SNI hasil **menenuhi syarat**.

2) Syarat Sisi Terpendek

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1, Syarat Sisi Terpendek berlaku jika:

$$b \geq 300 \text{ mm}$$

Dimana:

$$b = \text{Sisi pendek kolom} = 300 \text{ mm}$$

Hasil Evaluasi:

Karena $b \geq 300 \text{ mm} \rightarrow 300 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}$. Maka syarat sisi terpendek sesuai ketentuan SNI hasil **menenuhi syarat**.

3) Syarat Rasio Dimensi Penampang

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1, Syarat Rasio Dimensi Penampang berlaku jika:

$$b/h \geq 0,4$$

Dimana:

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 533 \text{ mm}$$

Langkah Perhitungan:

$$b/h = 300 \text{ mm} / 533 \text{ mm} = 0,563$$

Hasil Evaluasi:

Karena $b/h \geq 0,4 \rightarrow 0,563 \geq 0,4$. Maka syarat rasio dimensi penampang sesuai ketentuan SNI hasil **menenuhi syarat**.

c. Pengecekan terhadap gaya dalam aksial-lentur menggunakan SP Column

Cek ρ_{min} dan ρ_{max} , mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4.1, berlaku jika:

$$1\% \leq \rho \leq 6\% \text{ dan } \rho = A_s / (b \times h)$$

Dimana:

$$n = 16 \text{ batang tulangan}$$

$$d_b = 19 \text{ mm (diameter tulangan longitudinal)}$$

$$b = \text{Sisi pendek kolom} = 300 \text{ mm}$$

$$h = \text{Sisi panjang kolom} = 533 \text{ mm}$$

Langkah Perhitungan:

Luas Tulangan Longitudinal

$$As = n \times (\pi/4) \times db^2$$

$$As = 16 \times (\pi/4) \times (19)^2 = 4536,5 \text{ mm}^2$$

$$\rho = As / (b \times h) = 4536,5 / (300 \times 533) = 2,84\%$$

Hasil Evaluasi:

Karena $1\% \leq \rho \leq 6\% \rightarrow 1\% \leq 2,84\% \leq 6\%$. Maka cek ρ_{min} dan ρ_{max} sesuai ketentuan SNI hasil **menenuhi syarat**.

d. Pengecekan Strong Column - Weak Beam (SCWB)

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2, berlaku jika:

$$2 \times Mnc \geq 1,2 \times (Mn^+ + Mn^-)$$

Dimana:

$Mnc = 77,085 \text{ kNm}$ (momen nominal kolom)

$Mn^+ = 67,736 \text{ kNm}$ (momen positif balok)

$Mn^- = 51,592 \text{ kNm}$ (momen negatif balok)

Perhitungan momen nominal kolom dan balok dijelaskan di lampiran

Langkah Perhitungan:

$$2 \times Mnc \geq 1,2 \times (Mn^+ + Mn^-)$$

$$2 \times Mnc = 2 \times 77,085 = 154,17 \text{ kNm}$$

$$1,2 \times (Mn^+ + Mn^-) = 1,2 \times (67,736 + 51,592) = 143,1936 \text{ kNm}$$

Hasil Evaluasi:

Karena $2 \times Mnc \geq 1,2 \times (Mn^+ + Mn^-) = 154,17 \text{ kNm} \geq 143,1936 \text{ kNm}$. Maka pengecekan Strong Column - Weak Beam (SCWB) sesuai ketentuan SNI hasil **menenuhi syarat**.

Tabel 4. 55. Tabel Ringkasan Properti Material, Penampang, dan Hasil Pengecekan Desain Kolom (Axial-Lentur & Strong-Column Weak-Beam) untuk Kolom Persegi 300 mm × 533 mm

Properti Material dan Penampang					
Parameter	Pasal Ref. SNI		Persamaan	Satuan	Nilai
	2847:2013	2847:2019			
Panjang/Tinggi Kolom, L			Input	mm	4000
Sisi Pendek Kolom, b			Input	mm	300
Sisi Panjang Kolom, h			Input	mm	533
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b			Input	mm	19
Diameter Tulangan Sengkang, d_s			Input	mm	10
Selimum Bersih, c_c			Input	mm	25

Kuat Tekan Beton, f_c'			Input	MPa	25
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y			Input	MPa	420
Kuat Leleh Tul. Transversal, f_y			Input	MPa	420
Tinggi Balok, h_b			Input	mm	400
L_n			L-hb	mm	3600

Syarat Gaya dan Geometri					
Parameter	Pasal Ref. SNI		Persamaan	Satuan	Nilai
	2847:2013	2847:2019			
Syarat Gaya Aksial	21.6.1	Tidak dipersyaratkan (Baca R18.7.1)	$P_u > 0,1 \cdot A_g \cdot f_c'$		OK
Syarat Sisi Terpendek	21.6.1.1	18.7.2.1	$b \geq 300 \text{ mm}$		OK
Syarat Rasio Dimensi Penampang	21.6.1.2	18.7.2.1	$b/h \geq 0,4$		OK

Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur					
Parameter	Pasal Ref. SNI		Persamaan	Satuan	Nilai
	2847:2013	2847:2019			
Jumlah Tulangan, n			Input		16
Luas Tulangan, A_s			$n \cdot \pi/4 \cdot d_b^2$	mm ²	4536,5
Rasio Tulangan, ρ			$A_s/(b \cdot h)$	%	2,84
Cek ρ_{min} dan ρ_{max}	21.6.3.1	18.7.4.1	$1\% \leq \rho \leq 6\%$		OK

Pengecekan Strong-Column – Weak-Beam (SCWB)					
Parameter	Pasal Ref. SNI		Persamaan	Satuan	Nilai
	2847:2013	2847:2019			
Momen Nominal Kolom, M_{nc}			Input (M_n dari kondisi P_{max} & P_{min})	kN·m	77,085
M_n^- Tumpuan Balok			Input	kN·m	67,736
M_n^+ Tumpuan Balok			Input	kN·m	51,592
Cek SCWB	21.6.2.2	18.7.3.2	$2 \cdot M_{nc} \geq 1,2 (M_n^- + M_n^+)$		OK

4.8.2. Desain Transversal

Desain tulangan transversal pada struktur kolom beton bertulang adalah elemen penting yang berfungsi untuk menahan gaya geser, mengikat tulangan longitudinal, serta memberikan kekangan pada inti beton terutama pada zona sendi plastis. Tujuan utama dari desain ini adalah untuk meningkatkan daktilitas struktur, memperlambat keruntuhan, dan memastikan bahwa kolom mampu menyerap beban saat terjadi gempa atau beban lateral lainnya. Tulangan transversal biasanya berupa

senggang atau spiral yang dipasang dengan spasi tertentu sesuai dengan standar SNI 2847:2019, berikut adalah perhitungan desain longitudinal kolom persegi 400 mm × 400 mm dan kolom pipih 300 mm × 533 mm:

1. Kolom Persegi 400 mm × 400 mm

Perhitungan dibawah merupakan hasil desain transversal elemen kolom berdasarkan SNI 2847:2019, dengan data:

a. Properti Material dan Penampang

- 1) Panjang/Tinggi Kolom, L: 4000 mm
- 2) Sisi Pendek Kolom, b: 400 mm
- 3) Sisi Panjang Kolom, h: 400 mm
- 4) Diameter Tulangan Longitudinal, db: 19 mm
- 5) Diameter Tulangan Senggang, ds: 10 mm
- 6) Selimut Bersih, cc: 25 mm
- 7) Kuat Tekan Beton, f_c' : 25 MPa
- 8) Kuat Leleh Tulangan Longitudinal, f_y : 420 MPa
- 9) Kuat Leleh Tulangan Transversal, f_{yv} : 420 MPa
- 10) Tinggi Balok, hb: 400 mm
- 11) Panjang Efektif Kolom, L_n (L - hb) : 3600 mm

b. Panjang Zona Sendi Plastis

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.1, berlaku jika:

- 1) l_{o1} = Sisi Panjang Kolom (h) = 400 mm
- 2) l_{o2} = Tinggi bersih kolom dibagi 6 ($L_n / 6$) = 600 mm
- 3) l_{o3} = nilai minimum sesuai SNI = 450 mm
- 4) l_o = panjang zona sendi plastis,

Dimana nilai maksimum dari l_{o1} , l_{o2} , l_{o3} = 600 mm

c. Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis/Tumpuan

Rumus yang Digunakan:

$$A_{sh} = n \times \pi/4 \times d_s^2$$

Dimana:

Jumlah kaki sengkang sisi pendek, n_1 = 3

Jumlah kaki sengkang sisi Panjang, n_2 = 3

Spasi Sengkang, s = 100 mm

Spasi Kaki Terbesar, $x_i \text{ max}$ menurut SNI 2847:2019 pasal R18.7.5.2 = 250 mm

Langkah Perhitungan:

$$A_{sh\ 1} = n \times \pi/4 \times d_s^2$$

$$A_{sh\ 1} = 3 \times \pi/4 \times 10^2$$

$$A_{sh\ 1} = 235,619 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh\ 2} = n \times \pi/4 \times d_s^2$$

$$A_{sh\ 2} = 3 \times \pi/4 \times 10^2$$

$$A_{sh\ 2} = 235,619 \text{ mm}^2$$

Maka:

$$A_{sh/s\ 1} = 235,619 / 100$$

$$= 2,356 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh/s\ 2} = 235,619 / 100$$

$$= 2,356 \text{ mm}^2$$

d. Confinement/Kekangan Zona Sendi Plastis

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.2, berlaku jika:

1) Lebar Penampang Inti Beton

$$b_c = b - 2c_c$$

$$b_c = 400 - 2 \times 25$$

$$b_c = 350 \text{ mm}$$

2) Panjang Penampang Inti Beton

$$h_c = b - 2c_c$$

$$b_c = 400 - 2 \times 25$$

$$b_c = 350 \text{ mm}$$

3) Luas Penampang Kolom, A_g

$$A_g = b \times h$$

$$A_g = 400 \times 400$$

$$A_g = 160000 \text{ mm}^2$$

4) Luas Penampang Luas Penampang Inti Beton, A_{ch}

$$A_{ch} = b_c \times h_c$$

$$A_{ch} = 350 \times 350$$

$$A_{ch} = 122500 \text{ mm}^2$$

5) Sisi Pendek/Sumbu Lemah,

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.4, berlaku jika:

a) Ash/s min, 1

$$\begin{aligned} &= 0,3 (hc \times fc' / fyv) \times (Ag / Ach - 1) \\ &= 0,3 (350 \times 25 / 420) \times (160000 / 122500 - 1) \\ &= 1,913 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

b) Ash/s min, 2

$$\begin{aligned} &= 0,09 \times bc \times fc' / fyv \\ &= 0,09 \times 350 \times 25 / 420 \\ &= 1,875 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Hasil Evaluasi Sisi Pendek/Sumbu Lemah :

$$\begin{aligned} &= Ash/s \geq Ash/s \text{ min1 atau } Ash/s \text{ min2} \\ &= 2,356 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 1,913 \text{ mm}^2 \text{ atau } 1,875 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka Sisi Pendek/Sumbu Lemah sesuai ketentuan SNI hasil memenuhi syarat.

6) Sisi Panjang/Sumbu Kuat,

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.4, berlaku jika:

a) Ash/s min, 1

$$\begin{aligned} &= 0,3 (hc \times fc' / fyv) \times (Ag / Ach - 1) \\ &= 0,3 (350 \times 25 / 420) \times (160000 / 122500 - 1) \\ &= 1,913 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

b) Ash/s min, 2

$$\begin{aligned} &= 0,09 \times bc \times fc' / fyv \\ &= 0,09 \times 350 \times 25 / 420 \\ &= 1,875 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Hasil Evaluasi Sisi Panjang/Sumbu Kuat:

$$\begin{aligned} &= Ash/s \geq Ash/s \text{ min1 atau } Ash/s \text{ min2} \\ &= 2,356 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 1,913 \text{ mm}^2 \text{ atau } 1,875 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka Sisi Pendek/Sumbu Lemah sesuai ketentuan SNI hasil memenuhi syarat.

7) Cek Spasi

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3, berlaku jika:

a) $s_{\max,1} = b / 4$

$$s_{\max,1} = 400 / 4$$

$$s_{\max,1} = 100 \text{ mm}$$

b) $s_{\max,2} = 6 \times d_b$

$$s_{\max,1} = 6 \times 19$$

$$s_{\max,1} = 114 \text{ mm}$$

c) $h_x = x_i \text{ max}$

$$h_x = 250 \text{ mm}$$

d) $s_{\max,3} = s_o$

$$100 \text{ mm} \leq 100 + (350 - h_x) / 3 \leq 150 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} \leq 100 + (350 - 250) / 3 \leq 150 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} \leq 133,33 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm}$$

e) $s_{\max}$

$$s_{\max} = \text{Min} (s_{\max,1}, s_{\max,2}, s_{\max,3})$$

$$s_{\max,1} = 100 \text{ mm (dipilih S terkecil)}$$

$$s_{\max,2} = 114 \text{ mm}$$

$$s_{\max,3} = 133,33 \text{ mm}$$

e. Kuat Geser Zona Sendi Plastis

1) Gaya Geser Desain

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.1, berlaku jika:

$$V_u 1 = 2 \times M_{pr} \text{ Kolom} / L_n$$

Dimana:

$$M_{pr} \text{ Kolom} = 282,83 \text{ kNm}$$

Perhitungan momen kolom dijelaskan di lampiran

$$L_n = 3600 \text{ mm}$$

Langkah perhitungan:

$$V_u 1 = 2 \times M_{pr} \text{ Kolom} / L_n$$

$$V_u 1 = 2 \times 282,83 / 3600$$

$$V_u 1 = 157131 \text{ N}$$

2) Gaya Geser Hasil Analisis Struktur

$$V_{u2}, \text{ Sumbu Lemah} = 30226 \text{ N (data berasal dari ETABS)}$$

V_{u2} , Sumbu kuat = 30226 N (data berasal dari ETABS)

3) Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

a) $V_u = \text{Max}(V_{u1}, V_{u2})$

$V_{u1} = 157131 \text{ N}$ (Ambil Nilai Terbanyak)

$V_{u2} = 30226 \text{ N}$

b) $\Phi = 0,75$ Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1

c) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.6.1, berlaku jika:

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h \times (b - c_c - d_s - d_b / 2)$$

Dimana:

$N_u = 0,0007 \text{ kN} = 0,7 \text{ N}$

$A_g = 400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$

$f_c' = 25 \text{ MPa}$

$b = 400 \text{ mm}$

$h = 400 \text{ mm}$

$c_c = 25 \text{ mm}$

$d_s = 10 \text{ mm}$

$d_b = 19 \text{ mm}$

Langkah perhitungan:

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h \times (b - c_c - d_s - d_b / 2)$$

$$V_c = 0.17 (1 + 0,7 / (14 \times 160000)) (25)^{0.5} 400 \times (400 - 25 - 10 - 19/2)$$

$$V_c = 120870 \text{ N}$$

d) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.1, berlaku jika:

$$V_s \text{ Perlu} = V_u / \phi - V_c$$

Dimana:

$V_u = 157131 \text{ N}$

$\phi = 0,75$

$V_c = 120870 \text{ N}$

Langkah perhitungan:

$$V_s \text{ Perlu} = V_u / \phi - V_c$$

$$V_s \text{ Perlu} = 157131 / 0,75 - 120870$$

$$V_s \text{ Perlu} = 88638 \text{ N}$$

- e) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.5.3, berlaku jika:

$$As/s \text{ Perlu} = Vs \text{ Perlu} / (f_{yv} \times (b - cc - ds - db / 2))$$

Dimana:

$$Vs \text{ Perlu} = 88638 \text{ N}$$

$$B = 400 \text{ mm}$$

$$f_{yv} = 420 \text{ Mpa}$$

$$cc = 25 \text{ mm}$$

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

$$db = 19 \text{ mm}$$

Langkah perhitungan:

$$As/s \text{ Perlu} = Vs \text{ Perlu} / (f_{yv} \times (b - cc - ds - db / 2))$$

$$As/s \text{ Perlu} = 88638 / (420 \times (400 - 25 - 10 - 19/2))$$

$$As/s \text{ Perlu} = 0,5936 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- f) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 10.6.2.2, berlaku jika:

$$As/s \text{ Min } 1 = 0.062 (f_c')^{0.5} h / f_{yv}$$

Dimana:

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$f_{yv} = 420 \text{ Mpa}$$

Langkah perhitungan:

$$As/s \text{ Min } 1 = 0.062 (f_c')^{0.5} h / f_{yv}$$

$$As/s \text{ Min } 1 = 0.062 (25)^{0.5} 400 / 420$$

$$As/s \text{ Min } 1 = 0,2952 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- g) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 10.6.2.2, berlaku jika:

$$As/s \text{ Min } 2 = 0.35 \times h / f_{yv}$$

Dimana:

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$f_{yv} = 420 \text{ Mpa}$$

Langkah perhitungan:

$$As/s \text{ Min } 2 = 0.35 \times h / f_{yv}$$

$$As/s \text{ Min } 2 = 0.35 \times 400 / 420$$

$$As/s \text{ Min } 2 = 0,3333 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Hasil Evaluasi Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah :

$$= Ash/s \ 1 \geq \text{Max} (As/s \text{ Perlu atau } As/s \text{ Min})$$

$$= 2,356 \geq \text{Max} (0,5936; 0,2952; \text{atau } 0,3333)$$

$$= 2,356 \geq 0,5936$$

Maka Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah sesuai ketentuan SNI hasil memenuhi syarat.

4) Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$a) V_u = \text{Max} (V_{u1}, V_{u2})$$

$$V_{u1} = 157131 \text{ N (Ambil Nilai Terbanyak)}$$

$$V_{u2} = 30226 \text{ N}$$

$$b) \Phi = 0,75 \text{ Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1}$$

$$c) \text{ Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.6.1, berlaku jika:}$$

$$V_c = 0,17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0,5} h \times (b - c_c - d_s - d_b / 2)$$

Dimana:

$$N_u = 0,0007 \text{ kN} = 0,7 \text{ N}$$

$$A_g = 400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$c_c = 25 \text{ mm}$$

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

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

Langkah perhitungan:

$$V_c = 0,17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0,5} h \times (b - c_c - d_s - d_b / 2)$$

$$V_c = 0,17 (1 + 0,7 / (14 \times 160000)) (25)^{0,5} 400 \times (400 - 25 - 10 - 19 / 2)$$

$$V_c = 120870 \text{ N}$$

$$d) \text{ Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.1, berlaku jika:}$$

$$V_s \text{ Perlu} = V_u / \phi - V_c$$

Dimana:

$$V_u = 157131 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 120870 \text{ N}$$

Langkah perhitungan:

$$V_s \text{ Perlu} = V_u / \phi - V_c$$

$$V_s \text{ Perlu} = 157131 / 0,75 - 120870$$

$$V_s \text{ Perlu} = 88638 \text{ N}$$

- e) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.5.3, berlaku jika:

$$A_s/s \text{ Perlu} = V_s \text{ Perlu} / (f_{yv} \times (b - c_c - d_s - d_b / 2))$$

Dimana:

$$V_s \text{ Perlu} = 88638 \text{ N}$$

$$B = 400 \text{ mm}$$

$$f_{yv} = 420 \text{ Mpa}$$

$$c_c = 25 \text{ mm}$$

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

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

Langkah perhitungan:

$$A_s/s \text{ Perlu} = V_s \text{ Perlu} / (f_{yv} \times (b - c_c - d_s - d_b / 2))$$

$$A_s/s \text{ Perlu} = 88638 / (420 \times (400 - 25 - 10 - 19/2))$$

$$A_s/s \text{ Perlu} = 0,5936 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- f) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 10.6.2.2, berlaku jika:

$$A_s/s \text{ Min } 1 = 0.062 (f_c')^{0.5} h / f_{yv}$$

Dimana: جامعته سلطان أبوبوع الإسلامية

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$f_{yv} = 420 \text{ Mpa}$$

Langkah perhitungan:

$$A_s/s \text{ Min } 1 = 0.062 (f_c')^{0.5} h / f_{yv}$$

$$A_s/s \text{ Min } 1 = 0.062 (25)^{0.5} 400 / 420$$

$$A_s/s \text{ Min } 1 = 0,2952 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- g) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 10.6.2.2, berlaku jika:

$$A_s/s \text{ Min } 2 = 0.35 \times h / f_{yv}$$

Dimana:

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$f_{yv} = 420 \text{ Mpa}$$

Langkah perhitungan:

$$A_{s/s \text{ Min } 2} = 0.35 \times h / f_{yv}$$

$$A_{s/s \text{ Min } 2} = 0.35 \times 400 / 420$$

$$A_{s/s \text{ Min } 2} = 0,3333 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Hasil Evaluasi Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah :

$$= A_{sh}/s \geq \text{Max} (A_{sh}/s \text{ Perlu atau } A_{sh}/s \text{ Min})$$

$$= 2,356 \geq \text{Max} (0,5936; 0,2952 \text{ atau } 0,3333)$$

$$= 2,356 \geq 0,5936$$

Maka Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah sesuai ketentuan SNI hasil **menenuhi syarat.**

h) Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis/Tumpuan

Rumus yang Digunakan :

$$A_{sh} = n \times \pi/4 \times d_s^2$$

Dimana:

Jumlah kaki sengkang sisi pendek, $n_1 = 2$

Jumlah kaki sengkang sisi Panjang, $n_2 = 2$

Spasi Sengkang, $s = 100 \text{ mm}$

Langkah Perhitungan:

$$A_{v \text{ Sumbu Lemah}} = n \times \pi/4 \times d_s^2$$

$$A_{v \text{ Sumbu Lemah}} = 2 \times \pi/4 \times 10^2$$

$$A_{v \text{ Sumbu Lemah}} = 157,080 \text{ mm}^2$$

$$A_{v \text{ Sumbu Kuat}} = n \times \pi/4 \times d_s^2$$

$$A_{v \text{ Sumbu Kuat}} = 2 \times \pi/4 \times 10^2$$

$$A_{v \text{ Sumbu Kuat}} = 157,080 \text{ mm}^2$$

i) Confinement/Kekangan Luar Zona Sendi Plastis

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.5, berlaku jika:

$$(1) \quad s_{max,1} = 6 \times d_b$$

$$s_{max,1} = 6 \times 19$$

$$s_{max,1} = 114 \text{ mm}$$

$$(2) \quad s_{max,2} = 150 \text{ mm (sesuai pada pasal 18.7.5.5)}$$

Hasil Evaluasi Confinement/Kekangan Luar Zona Sendi Plastis:

= Spasi, $s \leq s_{max,1}$ atau $s_{max,2}$

= $100 \text{ mm} \leq (114 \text{ mm atau } 150 \text{ mm})$

Maka Confinement/Kekangan Luar Zona Sendi Plastis sesuai ketentuan SNI hasil memenuhi syarat

5) Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

a) $V_u = 30226 \text{ N}$ (data berasal dari ETABS)

b) $\Phi = 0,75$ Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1

c) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.6.1, berlaku jika:

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h \times (b - c_c - d_s - d_b / 2)$$

Dimana:

$N_u = 0,0007 \text{ kN} = 0,7 \text{ N}$

$A_g = 400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$

$f_c' = 25 \text{ MPa}$

$b = 400 \text{ mm}$

$h = 400 \text{ mm}$

$c_c = 25 \text{ mm}$

$d_s = 10 \text{ mm}$

$d_b = 19 \text{ mm}$

Langkah perhitungan:

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h \times (b - c_c - d_s - d_b / 2)$$

$$V_c = 0.17 (1 + 0,7 / (14 \times 160000)) (25)^{0.5} 400 \times (400 - 25 - 10 - 19/2)$$

$$V_c = 120870 \text{ N}$$

d) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.1, berlaku jika:

$$V_s \text{ Perlu} = V_u / \phi - V_c$$

Dimana:

$V_u = 30226 \text{ N}$

$\Phi = 0,75$

$V_c = 120870 \text{ N}$

Langkah perhitungan:

$$V_s \text{ Perlu} = V_u / \phi - V_c$$

$$V_s \text{ Perlu} = 30226 / 0,75 - 120870$$

$$V_s \text{ Perlu} = - 88638 \text{ N}$$

Karena hasilnya negatif, maka nilainya akan diambil 0.

$$V_s \text{ Perlu} = 0 \text{ N}$$

- e) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.5.3, berlaku jika:

$$A_s/s \text{ Perlu} = V_s \text{ Perlu} / (f_{yv} \times (b - c_c - d_s - d_b / 2))$$

Dimana:

$$V_s \text{ Perlu} = 0 \text{ N}$$

$$B = 400 \text{ mm}$$

$$F_{yv} = 420 \text{ Mpa}$$

$$C_c = 25 \text{ mm}$$

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

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

Langkah perhitungan:

$$A_s/s \text{ Perlu} = V_s \text{ Perlu} / (f_{yv} \times (b - c_c - d_s - d_b / 2))$$

$$A_s/s \text{ Perlu} = 0 / (420 \times (400 - 25 - 10 - 19/2))$$

$$A_s/s \text{ Perlu} = 0,0000 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- f) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 10.6.2.2, berlaku jika:

$$A_s/s \text{ Min } 1 = 0.062 (f_c')^{0.5} h / f_{yv}$$

Dengan catatan Jika $V_s \text{ Perlu} > 0$, maka menggunakan rumus

$$A_s/s \text{ Min } 1 = 0.062 (f_c')^{0.5} h / f_{yv}$$

Jika $V_s \text{ Perlu} \leq 0$, maka $A_s/s \text{ Min } 1 = 0,0000 \text{ mm}^2/\text{mm}$

- g) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 10.6.2.2, berlaku jika:

$$A_s/s \text{ Min } 2 = 0.35 \times h / f_{yv}$$

Dengan catatan Jika $V_s \text{ Perlu} > 0$, maka menggunakan rumus

$$A_s/s \text{ Min } 2 = 0.35 \times h / f_{yv}$$

Jika $V_s \text{ Perlu} \leq 0$, maka $A_s/s \text{ Min } 2 = 0,0000 \text{ mm}^2/\text{mm}$

Hasil Evaluasi Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah :

$$= A_v/s \text{ 1} \geq \text{Max} (A_s/s \text{ Perlu atau } A_s/s \text{ Min})$$

$$= 157,08/100 \geq \text{Max} (0,0000; 0,0000 \text{ atau } 0,0000)$$

$$= 1,5708 \geq 0,0000$$

Maka Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah sesuai ketentuan SNI hasil **menenuhi syarat.**

6) Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

a) $V_u = 30226 \text{ N}$ (data berasal dari ETABS)

b) $\Phi = 0,75$ Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1

c) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.6.1, berlaku jika:

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h \times (b - c_c - d_s - d_b / 2)$$

Dimana:

$$N_u = 0,0007 \text{ kN} = 0,7 \text{ N}$$

$$A_g = 400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$c_c = 25 \text{ mm}$$

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

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

Langkah perhitungan:

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h \times (b - c_c - d_s - d_b / 2)$$

$$V_c = 0.17 (1 + 0,7 / (14 \times 160000)) (25)^{0.5} 400 \times (400 - 25 - 10 - 19 / 2)$$

$$V_c = 120870 \text{ N}$$

d) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.1, berlaku jika:

$$V_s \text{ Perlu} = V_u / \phi - V_c$$

Dimana:

$$V_u = 30226 \text{ N}$$

$$\Phi = 0,75$$

$$V_c = 120870 \text{ N}$$

Langkah perhitungan:

$$V_s \text{ Perlu} = V_u / \phi - V_c$$

$$V_s \text{ Perlu} = 30226 / 0,75 - 120870$$

$$V_s \text{ Perlu} = - 88638 \text{ N}$$

Karena hasilnya negatif, maka nilainya akan diambil 0.

$$V_s \text{ Perlu} = 0 \text{ N}$$

- e) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.5.3, berlaku jika:

$$As/s \text{ Perlu} = Vs \text{ Perlu} / (f_{yv} \times (b - cc - ds - db / 2))$$

Dimana:

$$Vs \text{ Perlu} = 0 \text{ N}$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$f_{yv} = 420 \text{ Mpa}$$

$$cc = 25 \text{ mm}$$

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

$$db = 19 \text{ mm}$$

Langkah perhitungan:

$$As/s \text{ Perlu} = Vs \text{ Perlu} / (f_{yv} \times (b - cc - ds - db / 2))$$

$$As/s \text{ Perlu} = 0 / (420 \times (400 - 25 - 10 - 19/2))$$

$$As/s \text{ Perlu} = 0,0000 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- f) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 10.6.2.2, berlaku jika:

$$As/s \text{ Min } 1 = 0.062 (f_c')^{0.5} h / f_{yv}$$

Dengan catatan Jika $Vs \text{ Perlu} > 0$, maka menggunakan rumus

$$As/s \text{ Min } 1 = 0.062 (f_c')^{0.5} h / f_{yv}$$

Jika $Vs \text{ Perlu} \leq 0$, maka $As/s \text{ Min } 1 = 0,0000 \text{ mm}^2/\text{mm}$

- g) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 10.6.2.2, berlaku jika:

$$As/s \text{ Min } 2 = 0.35 \times h / f_{yv}$$

Dengan catatan Jika $Vs \text{ Perlu} > 0$, maka menggunakan rumus

$$As/s \text{ Min } 2 = 0.35 \times h / f_{yv}$$

Jika $Vs \text{ Perlu} \leq 0$, maka $As/s \text{ Min } 2 = 0,0000 \text{ mm}^2/\text{mm}$

Hasil Evaluasi Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah :

$$= Av/s \ 1 \geq \text{Max} (As/s \text{ Perlu} \text{ atau } As/s \text{ Min})$$

$$= 157,08/100 \geq \text{Max} (0,0000; 0,0000 \text{ atau } 0,0000)$$

$$= 1,5708 \geq 0,0000$$

Maka Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah sesuai ketentuan SNI hasil **menenuhi syarat.**

2. Kolom Pipih 300 mm × 533 mm

Perhitungan dibawah merupakan hasil desain transversal elemen kolom berdasarkan SNI 2847:2019, dengan data:

a. Properti Material dan Penampang

- 1) Panjang/Tinggi Kolom, L: 4000 mm
- 2) Sisi Pendek Kolom, b: 300 mm
- 3) Sisi Panjang Kolom, h: 533 mm
- 4) Diameter Tulangan Longitudinal, db: 19 mm
- 5) Diameter Tulangan Sengkang, ds: 10 mm
- 6) Selimut Bersih, cc: 25 mm
- 7) Kuat Tekan Beton, f_c' : 25 MPa
- 8) Kuat Leleh Tulangan Longitudinal, f_y : 420 MPa
- 9) Kuat Leleh Tulangan Transversal, f_{yv} : 420 MPa
- 10) Tinggi Balok, hb: 400 mm
- 11) Panjang Efektif Kolom, L_n ($L - h_b$): 3600 mm

b. Panjang Zona Sendi Plastis

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.1, berlaku jika:

- 1) l_{o1} = Sisi Panjang Kolom (h) = 533 mm
- 2) l_{o2} = Tinggi bersih kolom dibagi 6 ($L_n / 6$) = 600 mm
- 3) l_{o3} = nilai minimum sesuai SNI = 450 mm
- 4) l_o = panjang zona sendi plastis,
Dimana nilai maksimum dari l_{o1} , l_{o2} , l_{o3} = 600 mm

c. Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis/Tumpuan

Rumus yang Digunakan:

$$A_{sh} = n \times \pi/4 \times d_s^2$$

Dimana:

Jumlah kaki sengkang sisi pendek, $n_1 = 2$

Jumlah kaki sengkang sisi Panjang, $n_2 = 3$

Spasi Sengkang, $s = 75$ mm

Spasi Kaki Terbesar, x_i max menurut SNI 2847:2019 pasal R18.7.5.2 = 250 mm

Langkah Perhitungan:

$$Ash\ 1 = n \times \pi/4 \times ds^2$$

$$Ash\ 1 = 2 \times \pi/4 \times 10^2$$

$$Ash\ 1 = 157,080\ mm^2$$

$$Ash\ 2 = n \times \pi/4 \times ds^2$$

$$Ash\ 2 = 3 \times \pi/4 \times 10^2$$

$$Ash\ 2 = 235,619\ mm^2$$

Maka:

$$Ash\ /s\ 1 = 157,080 / 75$$

$$= 2,094\ mm^2$$

$$Ash\ /s\ 2 = 235,619 / 75$$

$$= 3,142\ mm^2$$

d. Confinement/Kekangan Zona Sendi Plastis

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.2, berlaku jika:

1) Lebar Penampang Inti Beton

$$bc = b - 2cc$$

$$bc = 300 - 2 \times 25$$

$$bc = 250\ mm$$

2) Panjang Penampang Inti Beton

$$hc = b - 2cc$$

$$bc = 533 - 2 \times 25$$

$$bc = 483\ mm$$

3) Luas Penampang Kolom, A_g

$$A_g = b \times h$$

$$A_g = 300 \times 533$$

$$A_g = 159900\ mm^2$$

4) Luas Penampang Luas Penampang Inti Beton, A_{ch}

$$A_{ch} = bc \times hc$$

$$A_{ch} = 250 \times 483$$

$$A_{ch} = 120750\ mm^2$$

5) Sisi Pendek/Sumbu Lemah,

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.4, berlaku jika:

a) $Ash/s\ min, 1$

$$\begin{aligned}
&= 0,3 (hc \times fc' / fyv) \times (Ag / Ach - 1) \\
&= 0,3 (483 \times 25 / 420) \times (159900 / 120750 - 1) \\
&= 1,447 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

b) Ash/s min, 2

$$\begin{aligned}
&= 0,09 \times bc \times fc' / fyv \\
&= 0,09 \times 250 \times 25 / 420 \\
&= 1,339 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Hasil Evaluasi Sisi Pendek/Sumbu Lemah :

$$\begin{aligned}
&= Ash/s \ 1 \geq Ash/s \ min1 \text{ atau } Ash/s \ min2 \\
&= 2,094 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 1,447 \text{ mm}^2 \text{ atau } 1,339 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Maka Sisi Pendek/Sumbu Lemah sesuai ketentuan SNI hasil **menenuhi syarat**.

6) Sisi Panjang/Sumbu Kuat,

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.4, berlaku jika:

a) Ash/s min, 1

$$\begin{aligned}
&= 0,3 (hc \times fc' / fyv) \times (Ag / Ach - 1) \\
&= 0,3 (483 \times 25 / 420) \times (159900 / 120750 - 1) \\
&= 2,796 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

b) Ash/s min, 2

$$\begin{aligned}
&= 0,09 \times bc \times fc' / fyv \\
&= 0,09 \times 483 \times 25 / 420 \\
&= 2,588 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Hasil Evaluasi Sisi Panjang/Sumbu Kuat:

$$\begin{aligned}
&= Ash/s \ 2 \geq Ash/s \ min1 \text{ atau } Ash/s \ min2 \\
&= 3,142 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 2,796 \text{ mm}^2 \text{ atau } 2,588 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Maka Sisi Pendek/Sumbu Lemah sesuai ketentuan SNI hasil memenuhi syarat.

7) Cek Spasi

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3, berlaku jika:

$$a) \ s_{max,1} = b / 4$$

$$s_{max,1} = 300 / 4$$

$$s_{max,1} = 75 \text{ mm}$$

b) $s_{max,2} = 6 \times d_b$

$s_{max,1} = 6 \times 19$

$s_{max,1} = 114 \text{ mm}$

c) $h_x = x_i \text{ max}$

$h_x = 250 \text{ mm}$

d) $s_{max,3} = s_o$

$100 \text{ mm} \leq 100 + (350 - h_x) / 3 \leq 150 \text{ mm}$

$100 \text{ mm} \leq 100 + (350 - 250) / 3 \leq 150 \text{ mm}$

$100 \text{ mm} \leq 133,33 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm}$

e) s_{max}

$s_{max} = \text{Min} (s_{max1}, s_{max2}, s_{max3})$

$s_{max1} = 75 \text{ mm}$ (dipilih S terkecil)

$s_{max2} = 114 \text{ mm}$

$s_{max3} = 133,33 \text{ mm}$

e. Kuat Geser Zona Sendi Plastis

1) Gaya Geser Desain

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.1, berlaku jika:

$$V_u 1 = 2 \times M_{pr} \text{ Kolom} / L_n$$

Dimana:

$M_{pr} \text{ Kolom} = 418,98 \text{ kNm}$

Perhitungan momen kolom dijelaskan di lampiran

$L_n = 3600 \text{ mm}$

Langkah perhitungan:

$$V_u 1 = 2 \times M_{pr} \text{ Kolom} / L_n$$

$V_u 1 = 2 \times 418,980 \times 10^6 / 3600$

$V_u 1 = 232767 \text{ N}$

2) Gaya Geser Hasil Analisis Struktur

$V_{u2}, \text{ Sumbu Lemah} = 32764 \text{ N}$ (data berasal dari ETABS)

$V_{u2}, \text{ Sumbu kuat} = 27115 \text{ N}$ (data berasal dari ETABS)

3) Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

a) $V_u = \text{Max} (V_{u1}, V_{u2})$

$V_{u1} = 232767 \text{ N}$ (Ambil Nilai Terbanyak)

$$V_{u2} = 32764 \text{ N}$$

b) $\Phi = 0,75$ Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1

c) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.6.1, berlaku jika:

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h \times (b - c_c - d_s - d_b / 2)$$

Dimana:

$$N_u = 0,0019 \text{ kN} = 1,9 \text{ N}$$

$$A_g = 300 \text{ mm} \times 577 \text{ mm}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 533 \text{ mm}$$

$$c_c = 25 \text{ mm}$$

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

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

Langkah perhitungan:

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h \times (b - c_c - d_s - d_b / 2)$$

$$V_c = 0.17 (1 + 1,9 / (14 \times 159900)) (25)^{0.5} 400 \times (300 - 25 - 10 - 19/2)$$

$$V_c = 115754 \text{ N}$$

d) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.1, berlaku jika:

$$V_s \text{ Perlu} = V_u / \phi - V_c$$

Dimana:

$$V_u = 232767 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 115754 \text{ N}$$

Langkah perhitungan:

$$V_s \text{ Perlu} = V_u / \phi - V_c$$

$$V_s \text{ Perlu} = 232767 / 0,75 - 115754$$

$$V_s \text{ Perlu} = 194601 \text{ N}$$

e) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.5.3, berlaku jika:

$$A_s/s \text{ Perlu} = V_s \text{ Perlu} / (f_{yv} \times (b - c_c - d_s - d_b / 2))$$

Dimana:

$$V_s \text{ Perlu} = 88638 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 B &= 300 \text{ mm} \\
 f_{yv} &= 420 \text{ Mpa} \\
 cc &= 25 \text{ mm} \\
 ds &= 10 \text{ mm} \\
 db &= 19 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Langkah perhitungan:

$$As/s \text{ Perlu} = V_s \text{ Perlu} / (f_{yv} \times (b - cc - ds - db / 2))$$

$$As/s \text{ Perlu} = 194601 / (420 \times (300 - 25 - 10 - 19/2))$$

$$As/s \text{ Perlu} = 1,8134 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

f) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 10.6.2.2, berlaku jika:

$$As/s \text{ Min } 1 = 0.062 (f_c')^{0.5} h / f_{yv}$$

Dimana:

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$h = 533 \text{ mm}$$

$$f_{yv} = 420 \text{ Mpa}$$

Langkah perhitungan:

$$As/s \text{ Min } 1 = 0.062 (f_c')^{0.5} h / f_{yv}$$

$$As/s \text{ Min } 1 = 0.062 \times (25)^{0.5} \times 533 / 420$$

$$As/s \text{ Min } 1 = 0,3934 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

g) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 10.6.2.2, berlaku jika:

$$As/s \text{ Min } 2 = 0.35 \times h / f_{yv}$$

Dimana: جامعته سلطان أبوبوع الإسلامية

$$H = 533 \text{ mm}$$

$$f_{yv} = 420 \text{ Mpa}$$

Langkah perhitungan:

$$As/s \text{ Min } 2 = 0.35 \times h / f_{yv}$$

$$As/s \text{ Min } 2 = 0.35 \times 533 / 420$$

$$As/s \text{ Min } 2 = 0,4442 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Hasil Evaluasi Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah :

$$= Ash/s \text{ } 1 \geq \text{Max} (As/s \text{ Perlu atau } As/s \text{ Min})$$

$$= 2,094 \geq \text{Max} (1,8134 ; 0,3934 \text{ atau } 0,4442)$$

$$= 2,356 \geq 1,8134$$

Maka Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah sesuai ketentuan SNI hasil memenuhi syarat.

4) Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

a) $V_u = \text{Max} (V_{u1}, V_{u2})$

$V_{u1} = 232767 \text{ N}$ (Ambil Nilai Terbanyak)

$V_{u2} = 27115 \text{ N}$

b) $\Phi = 0,75$ Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1

c) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.6.1, berlaku jika:

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h \times (b - c_c - d_s - d_b / 2)$$

Dimana:

$N_u = 0,0019 \text{ kN} = 1,9 \text{ N}$

$A_g = 300 \text{ mm} \times 577 \text{ mm}$

$f_c' = 25 \text{ MPa}$

$b = 300 \text{ mm}$

$h = 533 \text{ mm}$

$c_c = 25 \text{ mm}$

$d_s = 10 \text{ mm}$

$d_b = 19 \text{ mm}$

Langkah perhitungan:

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h \times (b - c_c - d_s - d_b / 2)$$

$$V_c = 0.17 (1 + 1,9 / (14 \times 159900)) (25)^{0.5} \times 533 \times (300 - 25 - 1 - 19/2)$$

$$V_c = 124568 \text{ N}$$

d) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.1, berlaku jika:

$$V_s \text{ Perlu} = V_u / \phi - V_c$$

Dimana:

$V_u = 232767 \text{ N}$

$\phi = 0,75$

$V_c = 124568 \text{ N}$

Langkah perhitungan:

$$V_s \text{ Perlu} = V_u / \phi - V_c$$

$$V_s \text{ Perlu} = 232767 / 0,75 - 124568$$

$$V_s \text{ Perlu} = 185788 \text{ N}$$

- e) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.5.3, berlaku jika:

$$As/s \text{ Perlu} = Vs \text{ Perlu} / (f_{yv} \times (h - cc - ds - db / 2))$$

Dimana:

$$Vs \text{ Perlu} = 185788 \text{ N}$$

$$B = 300 \text{ mm}$$

$$f_{yv} = 420 \text{ Mpa}$$

$$cc = 25 \text{ mm}$$

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

$$db = 19 \text{ mm}$$

Langkah perhitungan:

$$As/s \text{ Perlu} = Vs \text{ Perlu} / (f_{yv} \times (h - cc - ds - db / 2))$$

$$As/s \text{ Perlu} = 185788 / (420 \times (533 - 25 - 10 - 19/2))$$

$$As/s \text{ Perlu} = 0,9055 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- f) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 10.6.2.2, berlaku jika:

$$As/s \text{ Min } 1 = 0.062 (f_c')^{0.5} b / f_{yv}$$

Dimana:

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$f_{yv} = 420 \text{ Mpa}$$

Langkah perhitungan:

$$As/s \text{ Min } 1 = 0.062 (f_c')^{0.5} b / f_{yv}$$

$$As/s \text{ Min } 1 = 0.062 (25)^{0.5} 300 / 420$$

$$As/s \text{ Min } 1 = 0,2214 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- g) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 10.6.2.2, berlaku jika:

$$As/s \text{ Min } 2 = 0.35 \times b / f_{yv}$$

Dimana:

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$f_{yv} = 420 \text{ Mpa}$$

Langkah perhitungan:

$$As/s \text{ Min } 2 = 0.35 \times h / f_{yv}$$

$$As/s \text{ Min } 2 = 0.35 \times 300 / 420$$

$$A_s/s \text{ Min } 2 = 0,2500 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Hasil Evaluasi Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah :

$$= A_{sh}/s \geq \text{Max} (A_s/s \text{ Perlu atau } A_s/s \text{ Min})$$

$$= 3,142 \geq \text{Max} (0,9055 ; 0,2214 \text{ atau } 0,2500)$$

$$= 3,142 \geq 0,9055$$

Maka Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah sesuai ketentuan SNI hasil **menenuhi syarat.**

h) Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis/Tumpuan

Rumus yang Digunakan :

$$A_{sh} = n \times \pi/4 \times d_s^2$$

Dimana:

Jumlah kaki sengkang sisi pendek, $n_1 = 2$

Jumlah kaki sengkang sisi Panjang, $n_2 = 2$

Spasi Sengkang, $s = 100 \text{ mm}$

Langkah Perhitungan:

$$A_v \text{ Sumbu Lemah} = n \times \pi/4 \times d_s^2$$

$$A_v \text{ Sumbu Lemah} = 2 \times \pi/4 \times 10^2$$

$$A_v \text{ Sumbu Lemah} = 157,080 \text{ mm}^2$$

$$A_v \text{ Sumbu Kuat} = n \times \pi/4 \times d_s^2$$

$$A_v \text{ Sumbu Kuat} = 2 \times \pi/4 \times 10^2$$

$$A_v \text{ Sumbu Kuat} = 157,080 \text{ mm}^2$$

i) Confinement/Kekangan Luar Zona Sendi Plastis

Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.5, berlaku jika:

$$(1) \quad s_{\max,1} = 6 \times d_b$$

$$s_{\max,1} = 6 \times 19$$

$$s_{\max,1} = 114 \text{ mm}$$

$$(2) \quad s_{\max,2} = 150 \text{ mm (sesuai pada pasal 18.7.5.5)}$$

Hasil Evaluasi Confinement/Kekangan Luar Zona Sendi Plastis:

$$= \text{Spasi}, s \leq s_{\max,1} \text{ atau } s_{\max,2}$$

$$= 100 \text{ mm} \leq (114 \text{ mm atau } 150 \text{ mm})$$

Maka Confinement/Kekangan Luar Zona Sendi Plastis sesuai ketentuan SNI hasil memenuhi syarat

5) Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

a) $V_u = 32764 \text{ N}$ (data berasal dari ETABS)

b) $\Phi = 0,75$ Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1

c) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.6.1, berlaku jika:

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h \times (b - c_c - d_s - d_b / 2)$$

Dimana:

$$N_u = 0,0019 \text{ kN} = 1,9 \text{ N}$$

$$A_g = 300 \text{ mm} \times 577 \text{ mm}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 533 \text{ mm}$$

$$c_c = 25 \text{ mm}$$

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

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

Langkah perhitungan:

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h \times (b - c_c - d_s - d_b / 2)$$

$$V_c = 0.17 (1 + 1,9 / (14 \times 159900)) (25)^{0.5} 400 \times (300 - 25 - 10 - 19/2)$$

$$V_c = 115754 \text{ N}$$

d) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.1, berlaku jika:

$$V_s \text{ Perlu} = V_u / \phi - V_c$$

Dimana:

$$V_u = 32764 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 115754 \text{ N}$$

Langkah perhitungan:

$$V_s \text{ Perlu} = V_u / \phi - V_c$$

$$V_s \text{ Perlu} = 32764 / 0,75 - 115754$$

$$V_s \text{ Perlu} = -72069 \text{ N}$$

Karena hasilnya negatif, maka nilainya akan diambil 0.

$$V_s \text{ Perlu} = 0 \text{ N}$$

- e) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.5.3, berlaku jika:

$$As/s \text{ Perlu} = Vs \text{ Perlu} / (f_{yv} \times (b - cc - ds - db / 2))$$

Dimana:

$$Vs \text{ Perlu} = 0 \text{ N}$$

$$B = 300 \text{ mm}$$

$$f_{yv} = 420 \text{ Mpa}$$

$$cc = 25 \text{ mm}$$

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

$$db = 19 \text{ mm}$$

Langkah perhitungan:

$$As/s \text{ Perlu} = Vs \text{ Perlu} / (f_{yv} \times (b - cc - ds - db / 2))$$

$$As/s \text{ Perlu} = 0 / (420 \times (300 - 25 - 10 - 19/2))$$

$$As/s \text{ Perlu} = 0,0000 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- f) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 10.6.2.2, berlaku jika:

$$As/s \text{ Min } 1 = 0.062 (f_c')^{0.5} h / f_{yv}$$

Dengan catatan Jika $Vs \text{ Perlu} > 0$, maka menggunakan rumus

$$As/s \text{ Min } 1 = 0.062 (f_c')^{0.5} h / f_{yv}$$

Jika $Vs \text{ Perlu} \leq 0$, maka $As/s \text{ Min } 1 = 0,0000 \text{ mm}^2/\text{mm}$

- g) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 10.6.2.2, berlaku jika:

$$As/s \text{ Min } 2 = 0.35 \times h / f_{yv}$$

Dengan catatan Jika $Vs \text{ Perlu} > 0$, maka menggunakan rumus

$$As/s \text{ Min } 2 = 0.35 \times h / f_{yv}$$

Jika $Vs \text{ Perlu} \leq 0$, maka $As/s \text{ Min } 2 = 0,0000 \text{ mm}^2/\text{mm}$

Hasil Evaluasi Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah :

$$= Av/s \ 1 \geq \text{Max} (As/s \text{ Perlu} \text{ atau } As/s \text{ Min})$$

$$= 157,08/100 \geq \text{Max} (0,0000; 0,0000 \text{ atau } 0,0000)$$

$$= 1,5708 \geq 0,0000$$

Maka Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah sesuai ketentuan SNI hasil **menenuhi syarat.**

- 6) Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

- a) $V_u = 27115 \text{ N}$ (data berasal dari ETABS)

b) $\Phi = 0,75$ Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1

c) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.6.1, berlaku jika:

$$V_c = 0.17 (1 + Nu/(14 A_g)) (f_c')^{0.5} h \times (b - c_c - d_s - d_b / 2)$$

Dimana:

$$N_u = 0,0019 \text{ kN} = 1,9 \text{ N}$$

$$A_g = 300 \text{ mm} \times 577 \text{ mm}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 533 \text{ mm}$$

$$c_c = 25 \text{ mm}$$

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

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

Langkah perhitungan:

$$V_c = 0.17 (1 + Nu/(14 A_g)) (f_c')^{0.5} h \times (b - c_c - d_s - d_b / 2)$$

$$V_c = 0.17 (1 + 1,9/(14 \times 159900)) (25)^{0.5} \times 533 \times (300 - 25 - 10 - 19/2)$$

$$V_c = 124568 \text{ N}$$

d) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.1, berlaku jika:

$$V_s \text{ Perlu} = V_u / \phi - V_c$$

Dimana:

$$V_u = 27115 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 124568 \text{ N}$$

Langkah perhitungan:

$$V_s \text{ Perlu} = V_u / \phi - V_c$$

$$V_s \text{ Perlu} = 27115 / 0,75 - 124568$$

$$V_s \text{ Perlu} = - 88415 \text{ N}$$

Karena hasilnya negatif, maka nilainya akan diambil 0.

$$V_s \text{ Perlu} = 0 \text{ N}$$

e) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.5.3, berlaku jika:

$$A_s/s \text{ Perlu} = V_s \text{ Perlu} / (f_y \times (h - c_c - d_s - d_b / 2))$$

Dimana:

$V_s \text{ Perlu} = 0 \text{ N}$
 $H = 533 \text{ mm}$
 $f_{yv} = 420 \text{ Mpa}$
 $cc = 25 \text{ mm}$
 $ds = 10 \text{ mm}$
 $db = 19 \text{ mm}$

Langkah perhitungan:

$$As/s \text{ Perlu} = V_s \text{ Perlu} / (f_{yv} \times (b - cc - ds - db / 2))$$

$$As/s \text{ Perlu} = 0 / (420 \times (533 - 25 - 10 - 19/2))$$

$$As/s \text{ Perlu} = 0,0000 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

f) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 10.6.2.2, berlaku jika:

$$As/s \text{ Min } 1 = 0.062 (f_c')^{0.5} h / f_{yv}$$

Dengan catatan Jika $V_s \text{ Perlu} > 0$, maka menggunakan rumus

$$As/s \text{ Min } 1 = 0.062 (f_c')^{0.5} h / f_{yv}$$

Jika $V_s \text{ Perlu} \leq 0$, maka $As/s \text{ Min } 1 = 0,0000 \text{ mm}^2/\text{mm}$

g) Mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 10.6.2.2, berlaku jika:

$$As/s \text{ Min } 2 = 0.35 \times h / f_{yv}$$

Dengan catatan Jika $V_s \text{ Perlu} > 0$, maka menggunakan rumus

$$As/s \text{ Min } 2 = 0.35 \times h / f_{yv}$$

Jika $V_s \text{ Perlu} \leq 0$, maka $As/s \text{ Min } 2 = 0,0000 \text{ mm}^2/\text{mm}$

Hasil Evaluasi Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah :

$$= A_v/s \geq \text{Max} (As/s \text{ Perlu atau } As/s \text{ Min})$$

$$= 157,08/100 \geq \text{Max} (0,0000; 0,0000 \text{ atau } 0,0000)$$

$$= 1,5708 \geq 0,0000$$

Maka Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah sesuai ketentuan SNI hasil **menenuhi syarat.**

4.9. Perbandingan Hasil Desain dan Analisis

4.9.1. Deformed Shaped

1. Kolom persegi 400 mm × 400 mm

Tabel rasio partisipasi massa menunjukkan bahwa pada mode bentuk getar pertama, kontribusi massa untuk translasi sumbu X dan Y masing-masing sekitar

83,24%, sedangkan untuk rotasi terhadap sumbu Z sekitar 83,52%. Setelah beberapa mode digabungkan, akumulasi partisipasi massa di arah X (ΣUX) dan Y (ΣUY) mencapai 1,00 atau 100%, menandakan analisis modal telah **memenuhi kriteria**.

2. Kolom pipih 150 mm $\times$ 1066 mm

Tabel rasio partisipasi massa menunjukkan bahwa partisipasi massa translasi arah X tercatat 77,71%; pada mode kedua, translasi arah Y 77,31%; dan pada mode ketiga, rotasi terhadap sumbu Z 77,41%. Setelah beberapa mode digabungkan, akumulasi partisipasi massa di arah X (ΣUX) dan Y (ΣUY) mencapai 1,00 atau 100%, menandakan analisis modal telah **memenuhi kriteria**.

3. Kolom pipih 200 mm $\times$ 800 mm

Tabel rasio partisipasi massa menunjukkan bahwa partisipasi massa translasi arah X tercatat 81,13%; pada mode kedua, translasi arah Y 80,06%; dan pada mode ketiga, rotasi terhadap sumbu Z 80,04%. Setelah beberapa mode digabungkan, akumulasi partisipasi massa di arah X (ΣUX) dan Y (ΣUY) mencapai 1,00 atau 100%, menandakan analisis modal telah **memenuhi kriteria**.

4. Kolom pipih 250 mm $\times$ 640 mm

Tabel rasio partisipasi massa menunjukkan bahwa partisipasi massa translasi arah Y tercatat 82,11%; pada mode kedua, translasi arah X 81,77%; dan pada mode ketiga, rotasi terhadap sumbu Z 81,51%. Setelah beberapa mode digabungkan, akumulasi partisipasi massa di arah X (ΣUX) dan Y (ΣUY) mencapai 1,00 atau 100%, menandakan analisis modal telah **memenuhi kriteria**.

5. Kolom pipih 300 mm $\times$ 533 mm

Tabel rasio partisipasi massa menunjukkan bahwa partisipasi massa translasi arah Y tercatat 84,7%; pada mode kedua, translasi arah X 81,65%; dan pada mode ketiga, rotasi terhadap sumbu Z 82,92%. Setelah beberapa mode digabungkan, akumulasi partisipasi massa di arah X (ΣUX) dan Y (ΣUY) mencapai 1,00 atau 100%, menandakan analisis modal telah **memenuhi kriteria**.

4.9.2. Concrete Design

1. Kolom persegi 400 mm × 400 mm

Hasil model struktur kolom ukuran 400 mm × 400 mm memperlihatkan denah grid A–E dan 1–5 dari BASE hingga lantai 4, dengan jarak antar grid 4,00 m. Pemeriksaan distribusi penulangan menunjukkan seluruh elemen berada pada kondisi **aman** tanpa elemen yang O/S.

2. Kolom pipih 150 mm × 1066 mm

Hasil model struktur kolom ukuran 150 mm × 1066 mm memperlihatkan denah grid A–E dan 1–5 dari BASE hingga lantai 4, dengan jarak antar grid 4,00 m. Pemeriksaan distribusi penulangan menunjukkan seluruh elemen berada pada kondisi **tidak aman** karena terdapat elemen yang mengalami overstress (O/S). Sehingga kolom ukuran 150 mm × 1066 mm dieliminasi.

3. Kolom pipih 200 mm × 800 mm

Hasil model struktur kolom ukuran 200 mm × 800 mm memperlihatkan denah grid A–E dan 1–5 dari BASE hingga lantai 4, dengan jarak antar grid 4,00 m. Pemeriksaan distribusi penulangan menunjukkan seluruh elemen berada pada kondisi **aman** tanpa elemen yang O/S.

4. Kolom pipih 250 mm × 640 mm

Hasil model struktur kolom ukuran 250 mm × 640 mm memperlihatkan denah grid A–E dan 1–5 dari BASE hingga lantai 4, dengan jarak antar grid 4,00 m. Pemeriksaan distribusi penulangan menunjukkan seluruh elemen berada pada kondisi **aman** tanpa elemen yang O/S.

5. Kolom pipih 300 mm × 533 mm

Hasil model struktur kolom ukuran 300 mm × 533 mm memperlihatkan denah grid A–E dan 1–5 dari BASE hingga lantai 4, dengan jarak antar grid 4,00 m. Pemeriksaan distribusi penulangan menunjukkan seluruh elemen berada pada kondisi **aman** tanpa elemen yang O/S.

4.9.3. Ketidakberaturan Stuktur Vertikal

1. Kolom persegi 400 mm × 400 mm

Tidak terindikasi tingkat lunak maupun tingkat lemah di kedua arah, rasio kekakuan antar lantai (X dan Y) dinyatakan OK pada Lantai 3 hingga Lantai 1 dan kekuatan lateral juga OK pada Lantai 3 hingga Lantai 1 (baris Lantai 4 wajar tanpa “cek” karena tidak dibandingkan dengan lantai di atas). Distribusi massa antarlantai seragam (OK) dan geometri vertikal konstan ($L = 400$ mm, OK). Sehingga konfigurasi simetris ini memenuhi seluruh pemeriksaan.

2. Kolom pipih 200 mm × 800 mm

Kekakuan arah $Y > X$ (sesuai sumbu kuat 800 mm), namun rasio antar-lantai di kedua arah tetap OK (Lantai 3 hingga Lantai 1). Kekuatan lateral juga OK di X dan Y (Lantai 3 hingga Lantai 1). Massa antar lantai seragam (OK) dan geometri vertikal konstan ($L = 800$ mm, OK). Sehingga semua uji lolos ketidakberaturan vertikal, perhatikan kontrol drift/detailing terutama pada arah X yang relatif lebih lemah.

3. Kolom pipih 250 mm × 640 mm

Kekakuan arah $X > Y$ (sesuai sumbu kuat 640 mm), namun rasio antar-lantai di kedua arah tetap OK (Lantai 3 hingga Lantai 1). Kekuatan lateral juga OK di X dan Y (Lantai 3 hingga Lantai 1). Massa antar lantai seragam (OK) dan geometri vertikal konstan ($L = 640$ mm, OK). Sehingga semua uji lolos ketidakberaturan vertikal, perhatikan kontrol drift/detailing terutama pada arah Y yang relatif lebih lemah.

4. Kolom pipih 300 mm × 533 mm

Kekakuan arah $X > Y$ (sesuai sumbu kuat 533 mm), namun rasio antar-lantai di kedua arah tetap OK (Lantai 3 hingga Lantai 1). Kekuatan lateral juga OK di X dan Y (Lantai 3 hingga Lantai 1). Massa antar lantai seragam (OK) dan geometri vertikal konstan ($L = 533$ mm, OK). Sehingga semua uji lolos ketidakberaturan vertikal, perhatikan kontrol drift/detailing terutama pada arah Y yang relatif lebih lemah.

4.9.4. Simpangan Antar Lantai (Story Drift)

1. Kolom persegi 400 mm × 400 mm

Semua inelastic drift jauh di bawah drift limit 76,923 mm. Nilai puncak terjadi di L2: $\Delta X = \Delta Y = 48,048$ mm ($\approx 62,5\%$ dari batas), menyisakan margin 37,5% atau 28,9 mm. Respons simetris ($X \approx Y$), sehingga perilaku antargirder seimbang dan tidak ada arah pengendali khusus. Seluruh lantai aman terhadap kriteria drift.

2. Kolom pipih 200 mm $\times$ 800 mm

Semua inelastic drift jauh di bawah drift limit 76,923 mm. Nilai puncak terjadi di L2–X = 47,119 mm ($\approx 61,3\%$ dari batas; margin 38,7% $\approx$ 29,8 mm). Arah Y lebih kaku (maks 39,991 mm, $\approx 52,0\%$; margin $\approx$ 36,9 mm). Mengartikan arah X menjadi pengendali, namun masih memiliki cadangan yang aman. Disarankan penguatan/pengekangan nonstruktural diprioritaskan pada arah X.

3. Kolom pipih 250 mm $\times$ 640 mm

Semua inelastic drift jauh di bawah drift limit 76,923 mm. Nilai puncak terjadi di L2–Y = 48,384 mm ($\approx 62,9\%$ dari batas; margin 37,1% $\approx$ 28,5 mm). Arah X lebih kaku (maks 43,076 mm, $\approx 56,0\%$; margin $\approx$ 33,8 mm). Mengartikan arah Y menjadi pengendali, namun masih memiliki cadangan yang aman. Disarankan penguatan/pengekangan nonstruktural diprioritaskan pada arah Y.

4. Kolom pipih 300 mm $\times$ 533 mm

Semua inelastic drift jauh di bawah drift limit 76,923 mm. Nilai puncak terjadi di L2–Y = 54,247 mm ($\approx 70,5\%$ dari batas; margin 29,5% $\approx$ 22,7 mm). Arah X lebih kaku (maks 42,427 mm, $\approx 55,2\%$; margin $\approx$ 34,5 mm). Mengartikan arah Y menjadi pengendali, namun masih memiliki cadangan yang aman. Disarankan penguatan/pengekangan nonstruktural diprioritaskan pada arah Y.

4.9.5. Pengaruh P-Delta

1. Kolom persegi 400 mm $\times$ 400 mm

Semua koefisien stabilitas (θ_x, θ_y) berada jauh di bawah dua ambang: Batas P-Delta = 0,10 dan Batas stabilitas struktur $\theta_{max} = 0,0909$. Nilai pengendali muncul di L2 pada $X = Y \approx 0,0368 \rightarrow$ setara 40,5% dari θ_{max} (sisanya margin 59,5%) dan 36,8% dari 0,10 (margin 63,2%). Respons X–Y simetris, menunjukkan efek P-Delta rendah tanpa arah kritis.

2. Kolom pipih 200 mm $\times$ 800 mm

Semua koefisien stabilitas (θ_x, θ_y) berada jauh di bawah dua ambang: Batas P-Delta = 0,10 dan batas stabilitas struktur $\theta_{max} = 0,0909$. Nilai tertinggi di L2-X $\approx 0,0363 \rightarrow 39,9\%$ dari θ_{max} (margin 60,1%) dan 36,3% dari 0,10 (margin 63,7%). Arah X menjadi pengendali, sedangkan arah Y lebih kaku (puncak $\approx 0,0267$). Secara umum stabil, dengan sensitivitas P-Delta rendah-sedang pada arah X.

3. Kolom pipih 250 mm $\times$ 640 mm

Semua koefisien stabilitas (θ_x, θ_y) berada jauh di bawah dua ambang: Batas P-Delta = 0,10 dan batas stabilitas struktur $\theta_{max} = 0,0909$. Nilai tertinggi di L2-Y $\approx 0,0378 \rightarrow 41,6\%$ dari θ_{max} (margin 58,4%) dan 37,8% dari 0,10 (margin 62,2%). Arah Y menjadi pengendali, sedangkan arah X lebih kaku (puncak $\approx 0,0300$). Secara cadangan stabilitas masih lebar dan efek P-Delta tetap terkendali.

4. Kolom pipih 300 mm $\times$ 533 mm

Semua koefisien stabilitas (θ_x, θ_y) berada jauh di bawah dua ambang: Batas P-Delta = 0,10 dan Batas stabilitas struktur $\theta_{max} = 0,0909$. Nilai tertinggi di L2-Y $\approx 0,0470 \rightarrow 51,7\%$ dari θ_{max} (margin 48,3%) dan 47,0% dari 0,10 (margin 53,0%). Ini adalah varian paling mendekati batas di antara semua tipe, menandakan arah Y sebagai pengendali. Meski demikian, stabilitas global tetap aman tanpa kebutuhan tindakan khusus terkait P-Delta.

4.9.6. Momen Nominal

1. Kolom persegi 400 mm $\times$ 400 mm

Semua kombinasi menghasilkan $\phi M_n / \mu > 1$ (**aman**). Kombinasi pengendali memiliki $\phi M_n / \mu = 2,60$; setara pemanfaatan kapasitas $\approx 38,5\%$ dan cadangan $\approx 61,5\%$. Rasio maksimum $\approx 300,64$ muncul pada kondisi momen kecil sehingga bukan penentu desain. Kesimpulan: kolom 400 $\times$ 400 mm aman dengan margin kapasitas yang memadai untuk seluruh kombinasi.

2. Kolom pipih 300 mm $\times$ 533 mm

Semua kombinasi menghasilkan $\phi M_n / \mu > 1$ (**aman**). Kombinasi pengendali memiliki $\phi M_n / \mu = 2,35$; setara pemanfaatan kapasitas $\approx 42,6\%$ dan cadangan $\approx 57,4\%$. Rasio maksimum $\approx 235,26$ muncul pada kondisi momen kecil sehingga

bukan penentu desain. Kesimpulan: kolom 300×533 mm aman dengan margin kapasitas yang memadai untuk seluruh kombinasi.

4.9.7. Desain Longitudinal

1. Kolom persegi $400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$

Seluruh syarat geometri dan batas gaya aksial terpenuhi ($b = 400 \text{ mm}$; $b/h = 1,00$; $P_u > 0,1 \cdot A_g \cdot f'_c$). Tulangan longitudinal juga memadai ($n = 12$; $A_s = 3.402,3 \text{ mm}^2$; $\rho = 2,13\%$ berada dalam rentang 1–6%). Pemeriksaan strong column–weak beam (SCWB) lulus: $2 \cdot M_{nc} = 167,44 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq 1,2 \cdot (M_n^+ + M_n^-) = 147,99 \text{ kN} \cdot \text{m}$, sehingga utilisasi 88,39% dengan sisa margin 11,61%. Kesimpulan: elemen aman dengan cadangan kapasitas yang nyaman serta hierarki kolom-lebih-kuat terjaga.

2. Kolom pipih $200 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$

Syarat geometri dan batas gaya aksial tidak terpenuhi ($b = 200 \text{ mm}$; $b/h = 0,25$; $P_u > 0,1 \cdot A_g \cdot f'_c$). Kesimpulan: kolom pipih $200 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$ tidak memenuhi syarat karena $b/h \geq 0,4$ tidak terpenuhi dan lebar minimum $b \geq 300 \text{ mm}$ juga tidak tercapai.

3. Kolom pipih $250 \text{ mm} \times 640 \text{ mm}$

Syarat geometri dan batas gaya aksial tidak terpenuhi ($b = 250 \text{ mm}$; $b/h = 0,39$; $P_u > 0,1 \cdot A_g \cdot f'_c$). Kesimpulan: kolom pipih $250 \text{ mm} \times 640 \text{ mm}$ tidak memenuhi syarat karena $b/h \geq 0,4$ tidak terpenuhi dan lebar minimum $b \geq 300 \text{ mm}$ juga tidak tercapai.

4. Kolom pipih $300 \text{ mm} \times 533 \text{ mm}$

Seluruh syarat geometri dan batas gaya aksial terpenuhi ($b = 300 \text{ mm}$; $b/h = 0,56$; $P_u > 0,1 \cdot A_g \cdot f'_c$). Tulangan longitudinal cukup ($n = 16$; $A_s = 4.536,5 \text{ mm}^2$; $\rho = 2,84\%$ dalam rentang 1–6%). Pemeriksaan SCWB juga lulus: $2 \cdot M_{nc} = 154,17 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq 1,2 \cdot (M_n^+ + M_n^-) = 143,19 \text{ kN} \cdot \text{m}$, menghasilkan utilisasi 92,88% dengan margin 7,12%. Kesimpulan: elemen aman; namun cadangan kapasitas lebih tipis dibanding kolom 400×400 , sehingga kontrol detailing pada arah lemah perlu diperhatikan.

4.9.8. Desain Transversal

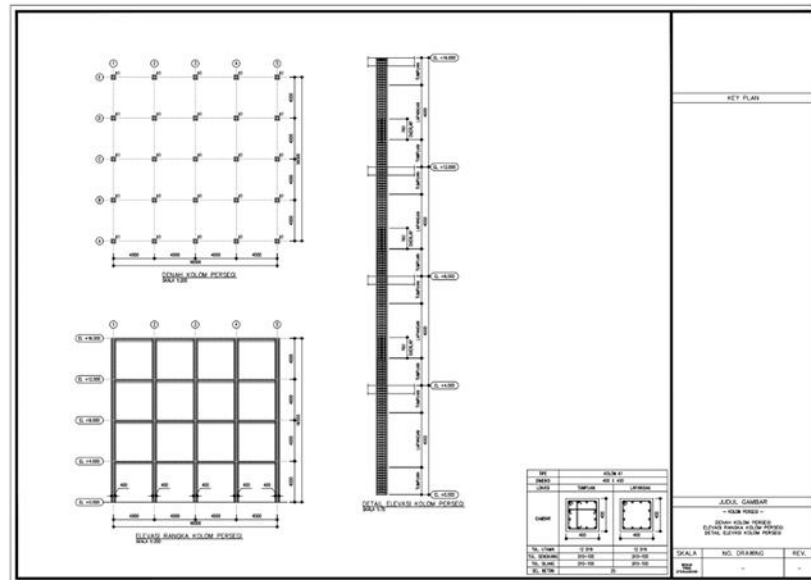
1. Kolom persegi 400 mm × 400 mm

Seluruh verifikasi SNI 2847:2019 untuk tulangan transversal, kekangan, spasi, dan geser lulus. Pada sumbu lemah, kapasitas kekangan terpasang $A_{sh}/s = 2,356 \text{ mm}^2/\text{mm}$ melebihi kebutuhan $1,913 \text{ mm}^2/\text{mm}$; pada sumbu kuat, $A_{sh}/s = 2,356 \text{ mm}^2/\text{mm}$ juga lebih besar dari $1,875 \text{ mm}^2/\text{mm}$. Di zona sendi plastis, spasi sengkang $s = 100 \text{ mm}$ tepat pada $s_{max} = 100 \text{ mm}$, sedangkan di luar sendi plastis $s = 100 \text{ mm} \leq s_{max} = 114 \text{ mm}$. Tahanan geser di kedua sumbu dikendalikan oleh nilai minimum ($V_s \text{ perlu} = 0$), sehingga $A_{sh}/s \text{ min} = 0,295 \text{ mm}^2/\text{mm}$ sudah memadai. Kesimpulan: elemen aman; sumbu pengendali = lemah dengan margin kekangan $\approx 0,443 \text{ mm}^2/\text{mm}$, sementara sumbu kuat memiliki margin $\approx 0,481 \text{ mm}^2/\text{mm}$.

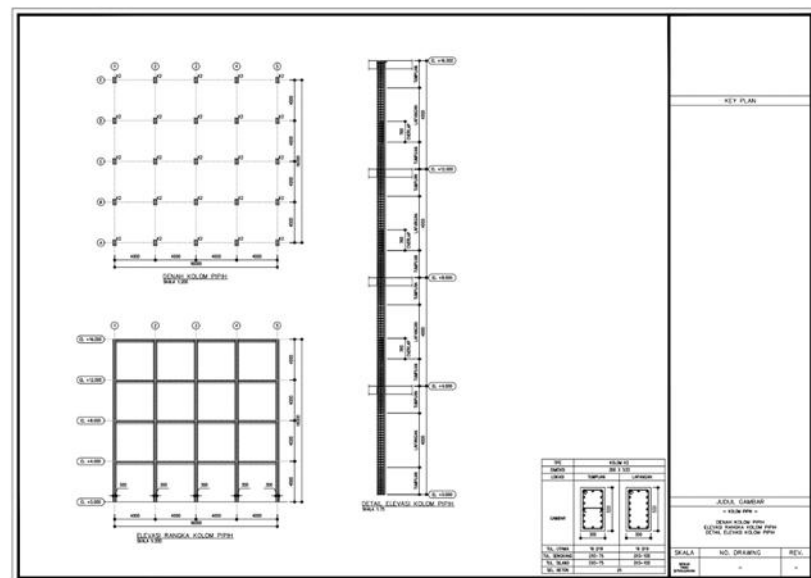
2. Kolom pipih 300 mm × 533 mm

Seluruh pemeriksaan SNI 2847:2019 untuk tulangan transversal, kekangan, spasi, dan geser terpenuhi. Pada sumbu lemah, $A_{sh}/s = 2,094 \text{ mm}^2/\text{mm}$ melampaui kebutuhan $1,447 \text{ mm}^2/\text{mm}$; pada sumbu kuat, $A_{sh}/s = 3,142 \text{ mm}^2/\text{mm}$ lebih besar dari $2,858 \text{ mm}^2/\text{mm}$. Di zona sendi plastis, spasi sengkang $s = 75 \text{ mm}$ persis pada $s_{max} = 75 \text{ mm}$, sedangkan di luar sendi plastis $s = 100 \text{ mm} \leq s_{max} = 114 \text{ mm}$. Desain geser kedua sumbu kembali dikendalikan oleh minimum ($V_s \text{ perlu} = 0$, kebutuhan minimum $\approx 0,25\text{--}0,22 \text{ mm}^2/\text{mm}$ sudah tercapai). Kesimpulan: elemen aman; sumbu pengendali = kuat dengan margin kekangan $\approx 0,284 \text{ mm}^2/\text{mm}$, sedangkan sumbu lemah memiliki margin $\approx 0,647 \text{ mm}^2/\text{mm}$.

4.10. Gambar Hasil Perhitungan



Gambar 4. 48. Gambar Desain Kolom Persegi 400 mm × 400 mm



Gambar 4. 49. Gambar Desain Kolom Pipih 300 mm × 533 mm

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Secara aksial, keempat tipe kolom bekerja pada tingkat kompresi yang hampir sama. Nilai tekan maksimum (dalam tanda negatif) berkisar $P_{min} \approx -700$ s.d. -743 kN masing-masing: 400×400 ($-700,5$), 200×800 ($-743,5$), 250×640 ($-724,7$), dan 300×533 ($-701,7$) sementara P_{max} mendekati nol (≈ -1 s.d. -8 kN). Temuan ini menunjukkan bahwa perbedaan bentuk penampang tidak banyak memengaruhi besar gaya tekan global, performa aksial seluruh varian dapat dianggap setara.

Perbedaan nyata muncul pada momen dan gaya geser akibat sifat anisotropi kolom pipih. Kolom persegi 400×400 paling seimbang ($V_2 = V_3 = 30,23$ kN; $M_{2max} = 75,02$ kN·m; $M_{3max} = 23,30$ kN·m). Kolom pipih 200×800 memperlihatkan konsentrasi terbesar pada sumbu kuat ($M_{3max} = 198,32$ kN·m vs $M_{2max} = 33,96$ kN·m; $V_2 = 59,05$ kN vs $V_3 = 27,12$ kN). Varian 250×640 masih anisotropik ($M_{3max} = 148,34$ vs $M_{2max} = 41,29$ kN·m; $V_2 = 48,93$ vs $V_3 = 21,32$ kN), sedangkan 300×533 paling seimbang di antara kolom pipih ($M_{3max} = 92,80$ vs $M_{2max} = 60,81$ kN·m; $V_2 = 32,76$ vs $V_3 = 27,12$ kN). Ringkasnya, semakin pipih penampang, semakin besar ketidakseimbangan respons momen/geser antar sumbu; kolom persegi bersifat paling isotropik, sedangkan kolom pipih terutama 200×800 memerlukan perhatian lebih pada arah pengendali/sumbu lemah dalam detailing.

2. Berdasarkan evaluasi ketidakberaturan vertikal, seluruh konfigurasi kolom persegi 400×400 maupun pipih 200×800 , 250×640 , dan 300×533 tidak menunjukkan tingkat lunak maupun tingkat lemah: rasio kekakuan antarlantai dan kekuatan lateral pada L3–L1 dinyatakan OK, distribusi massa seragam, serta geometri vertikal konstan ($L = 400; 800; 640; 533$ mm). Kolom persegi memberikan respons yang simetris ($X \approx Y$), sedangkan kolom pipih bersifat anisotropik sesuai sumbu kuatnya: 200×800 ($Y > X$), 250×640 ($X > Y$), dan

300×533 ($X > Y$), sehingga arah yang lebih lemah menjadi perhatian dalam detailing.

Kinerja drift dan P-Delta juga berada dalam batas aman. Semua inelastic drift berada di bawah drift limit 76,923 mm, dengan nilai puncak: 400×400 $\Delta_{max} = 48,048$ mm (L2, $X=Y \approx 62,5\%$ batas); 200×800 $\Delta_{max} = 47,119$ mm (L2– $X \approx 61,3\%$); 250×640 $\Delta_{max} = 48,384$ mm (L2– $Y \approx 62,9\%$); dan 300×533 $\Delta_{max} = 54,247$ mm (L2– $Y \approx 70,5\%$, paling mendekati batas namun masih menyisakan margin $\approx 29,5\%$). Koefisien stabilitas maksimum θ juga jauh di bawah Batas P-Delta = 0,10 dan $\theta_{max} = 0,0909$: 400×400 $\theta_{max} \approx 0,0368$; 200×800 $\theta_{max} \approx 0,0363$; 250×640 $\theta_{max} \approx 0,0378$; 300×533 $\theta_{max} \approx 0,0470$ ($\approx 51,7\% \theta_{max}$). Dengan demikian, untuk bangunan 4 lantai yang ditinjau, stabilitas struktur terpenuhi pada seluruh tipe kolom; kolom persegi memberi respons paling seimbang, sedangkan kolom pipih tetap aman dengan arah pengendali masing-masing (200×800: X; 250×640: Y; 300×533: Y) yang perlu diakomodasi dalam kontrol drift dan detailing non-struktural.

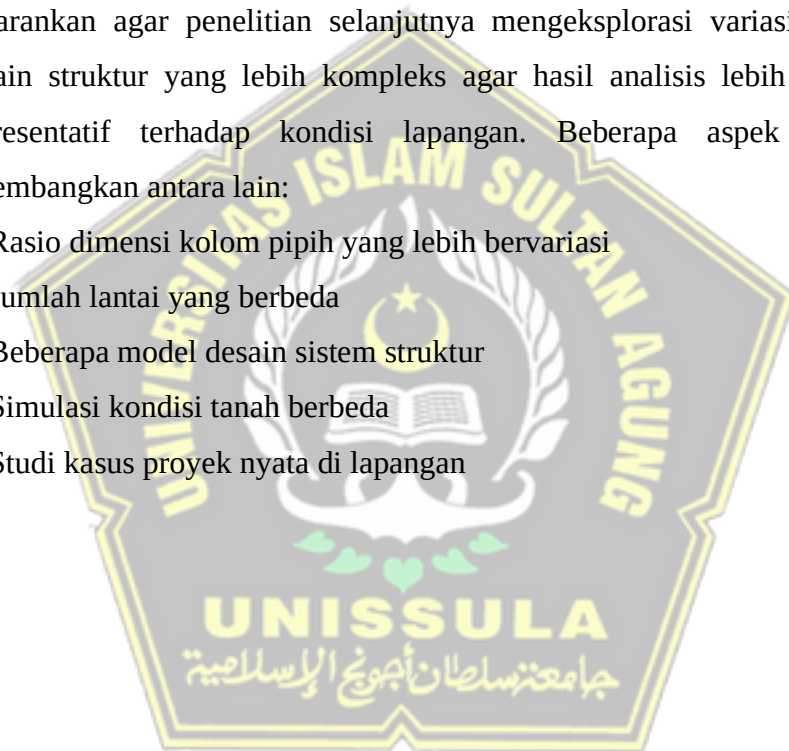
3. Perancangan struktur atas 4 lantai terpenuhi baik dengan kolom persegi 400×400 mm maupun kolom pipih 300×533 mm. Keduanya lolos pemeriksaan geometri gaya, kapasitas lentur, dan kapasitas geser (semua OK), sehingga layak sebagai elemen gravitasi dan lateral pada bangunan empat lantai. Secara naratif: kolom persegi memberi perilaku yang lebih seimbang (simetris), sedangkan kolom pipih tetap aman namun memerlukan kekangan yang lebih rapat di zona tumpuan karena sifatnya yang anisotropik.

Rincian penulangan menunjukkan kebutuhan yang realistis untuk konstruksi. Kolom 400×400 mm menggunakan tulangan longitudinal 12D19, dengan sengkang tumpuan 3D10–100 pada sumbu lemah dan kuat, serta sengkang lapangan 2D10–100 pada kedua sumbu. Kolom 300×533 mm memakai longitudinal 16D19, dengan sengkang tumpuan 2D10–75 (sumbu lemah) dan 3D10–75 (sumbu kuat), serta sengkang lapangan 2D10–100 pada kedua sumbu. Artinya, opsi pipih membutuhkan lebih banyak batang memanjang dan kekangan lebih rapat ($s=75$ mm) di tumpuan, sedangkan opsi persegi relatif seragam ($s=100$ mm). Dengan spesifikasi tersebut, kedua alternatif kolom

mencapai kinerja dan detailing yang memadai; pemilihan akhir dapat disesuaikan dengan kebutuhan arsitektural dan preferensi konstruksi lapangan.

5.2. Saran

1. Penggunaan kolom pipih sebaiknya dilakukan hanya bila sangat diperlukan secara arsitektural, karena performa struktur terhadap beban lateral tidak sebaik kolom persegi.
2. Kolaborasi antara arsitek dan insinyur struktur sangat penting sejak tahap awal desain, agar pemilihan kolom pipih dapat tetap memenuhi kriteria kekuatan dan kestabilan, tidak hanya estetika.
3. Disarankan agar penelitian selanjutnya mengeksplorasi variasi dan kondisi desain struktur yang lebih kompleks agar hasil analisis lebih aplikatif dan representatif terhadap kondisi lapangan. Beberapa aspek yang dapat dikembangkan antara lain:
 - a. Rasio dimensi kolom pipih yang lebih bervariasi
 - b. Jumlah lantai yang berbeda
 - c. Beberapa model desain sistem struktur
 - d. Simulasi kondisi tanah berbeda
 - e. Studi kasus proyek nyata di lapangan



DAFTAR PUSTAKA

- lhamid, Thalha, Dan Budur Anufia. "Resume: Instrumen Pengumpulan D Ata." *Sorong: Sekolah Tinggi Agama Islam Negeri (Stain)*, 2019, 1–20.
- Armalisa, Aslinda. "Metode Crashing Terhadap Penambahan Jam Kerja Optimum Pada Proyek Konstruksi." *Jurnal Teknik Sipil Universitas Serang Raya* 1, No. 1 (2021): 41–58.
- Saragi, Tiurma Elita, Dan Ruth Uli A Situmorang. "Optimasi Waktu Dan Biaya Percepatan Proyek Menggunakan Metode Time Cost Trade Off Dengan Alternatif Penambahan Tenaga Kerja Dan Jam Kerja (Lembur)(Studi Kasus: Pembangunan Gedung Convention Hall Kab. Deli Serdang)." *Jurnal Construct* 1, No. 2 (2022): 53–69.
- Rama. (2022). Review Struktur Kolom (Kolom Pipih) pada Bangunan Lantai 2 Proyek Pembangunan Villa Z House [Tugas Akhir, Politeknik Negeri Bali]. Repository PNB. Diakses di: <https://repository.pnb.ac.id/id/eprint/10206>.
- Universitas Nusa Cendana. (2023). Analisa Perilaku Struktur Bangunan dengan Variasi Bentuk Kolom Pipih [Skripsi]. Diakses di: http://skripsi.undana.ac.id/index.php?p=show_detail&id=5629.
- Universitas Gadjah Mada. (2020). Analisis Efisiensi Kolom Pipih terhadap Gaya Lateral pada Bangunan Bertingkat [Tesis]. Diakses di: <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/197769>.
- Aplus.co.id. (2023). Struktur Bangunan: Pengertian, Jenis, dan Komponen. Diakses di: <https://www.aplus.co.id/news/struktur-bangunan-pengertian-jenis-dan-komponen/>.
- HIMTES BINUS. (2022). 2 Jenis Struktur Bangunan yang Perlu Kamu Ketahui!. Diakses di: <https://student-activity.binus.ac.id/himtes/2022/07/30/2-jenis-struktur-bangunan-yang-perlu-kamu-ketahui/>.