

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN ULANG

STRUKTUR ATAS GEDUNG A RUMAH SUSUN

POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM (PU)

SEMARANG

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan

Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung



Disusun Oleh :

Ananda Fadhil Darmawan

NIM : 30201900036

Bayu Jaya Pratama

NIM : 30201900055

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

2022

TUGAS AKHIR
PERANCANGAN ULANG
STRUKTUR ATAS GEDUNG A RUMAH SUSUN
POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM (PU)
SEMARANG

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



Ananda Fadhil Darmawan
NIM : 30201900036

Bayu Jaya Pratama
NIM : 30201900055

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2022

HALAMAN PENGESAHAN

PERANCANGAN ULANG
STRUKTUR ATAS GEDUNG A RUMAH SUSUN
POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM (PU)
SEMARANG

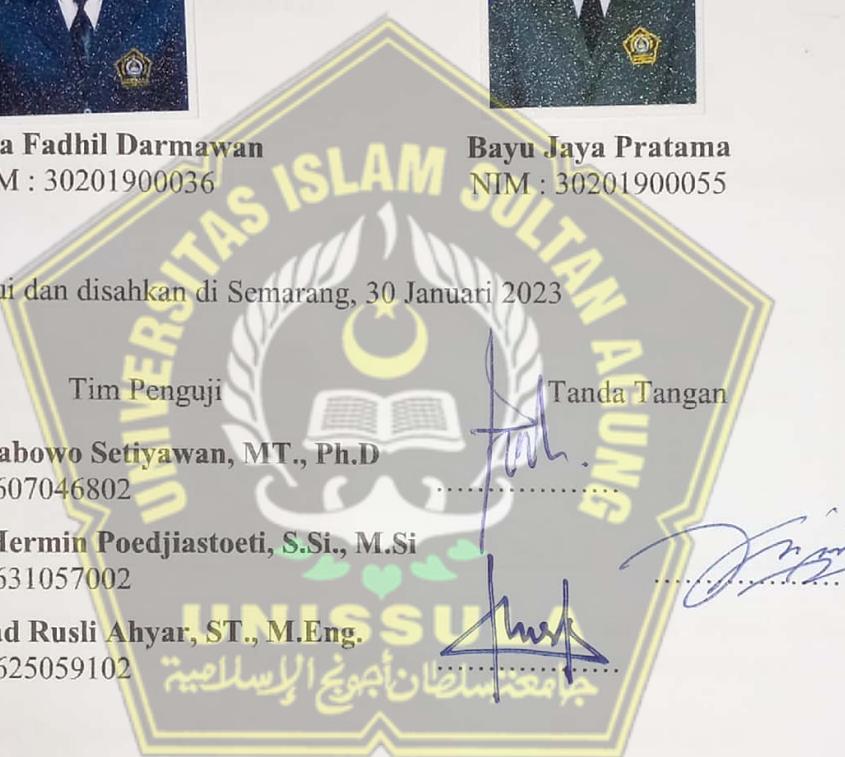


Ananda Fadhil Darmawan
NIM : 30201900036



Bayu Jaya Pratama
NIM : 30201900055

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 30 Januari 2023



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: 21 / A.2 / SA – T / IX / 2022

Pada hari ini tanggal 30 Januari 2023 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II :

1. Nama : Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
2. Nama : Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si., M.Si
Jabatan Akademik : Lektor Kepala

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

Ananda Fadhil Darmawan
NIM : 30201900036

Bayu Jaya Pratama
NIM : 30201900055

Judul : PERANCANGAN ULANG STRUKTUR ATAS GEDUNG A RUMAH SUSUN POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM (PU) SEMARANG

Dengan tahapan sebagai berikut :

| No | Tahapan | Tanggal | Keterangan |
|----|-----------------------------|------------|------------|
| 1 | Penunjukan dosen pembimbing | 16/11/2022 | - |
| 2 | Seminar Proposal | | ACC |
| 3 | Pengumpulan data | | - |
| 4 | Analisis data | | - |
| 5 | Penyusunan laporan | | - |
| 6 | Selesai laporan | 30/1/2023 | ACC |

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

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT.,Ph.D

Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si., M.Si

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

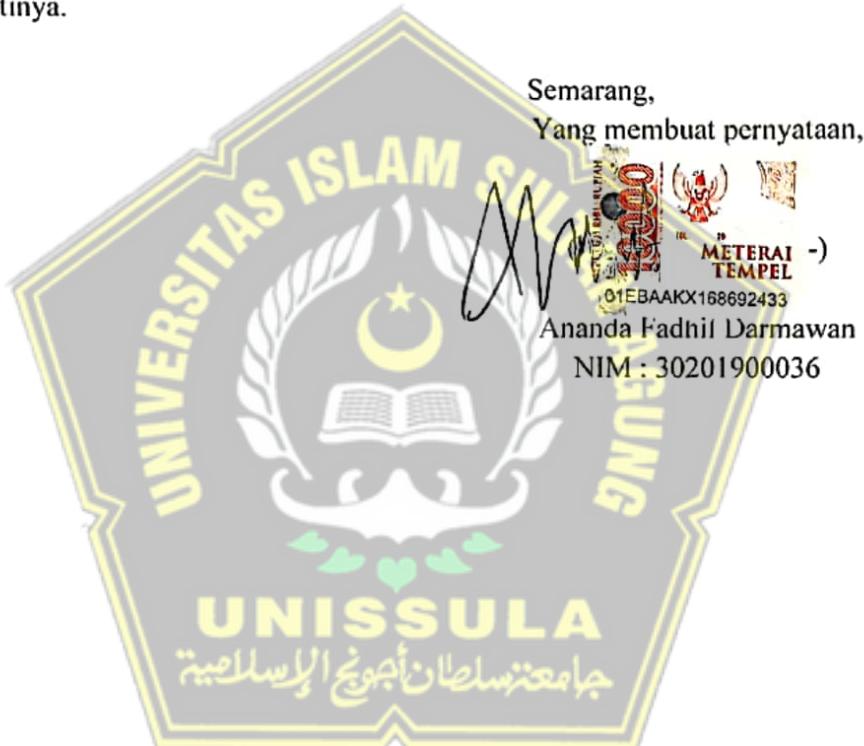
Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Ananda Fadhil Darmawan

NIM : 30201900036

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum (PU) Semarang benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

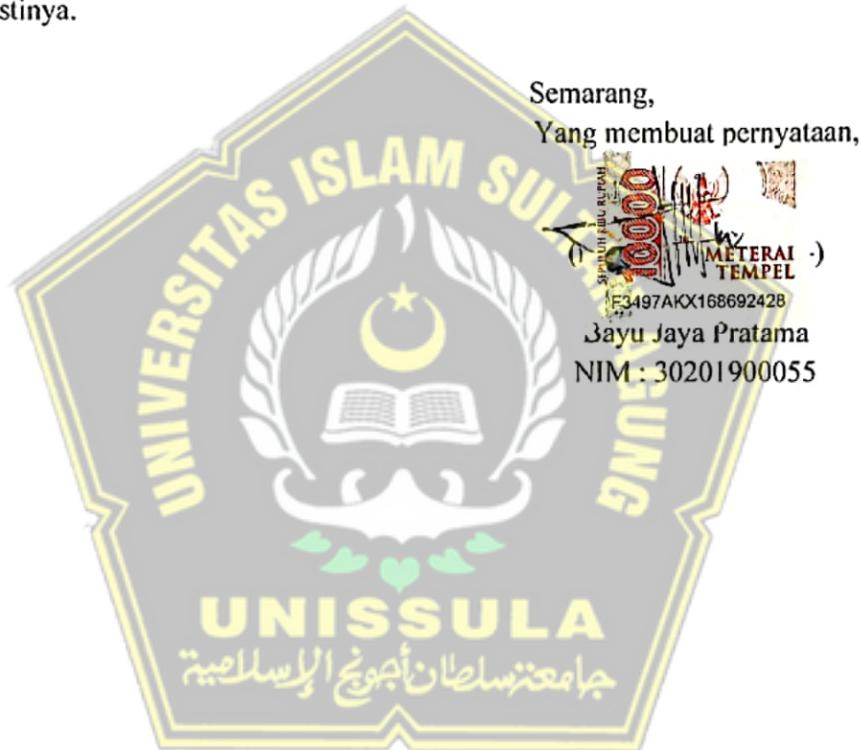
Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Bayu Jaya Pratama

NIM : 30201900055

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum (PU) Semarang benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Ananda Fadhil Darmawan
NIM : 30201900036
JUDUL TUGAS AKHIR : Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum (PU) Semarang

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

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

Demikian pernyataan ini saya buat.



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Bayu Jaya Pratama
NIM : 30201900055
JUDUL TUGAS AKHIR : Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung A Rumah
Susun Politeknik Pekerjaan Umum (PU) Semarang

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

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

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang,
Yang membuat pernyataan,



NIM : 30201900055

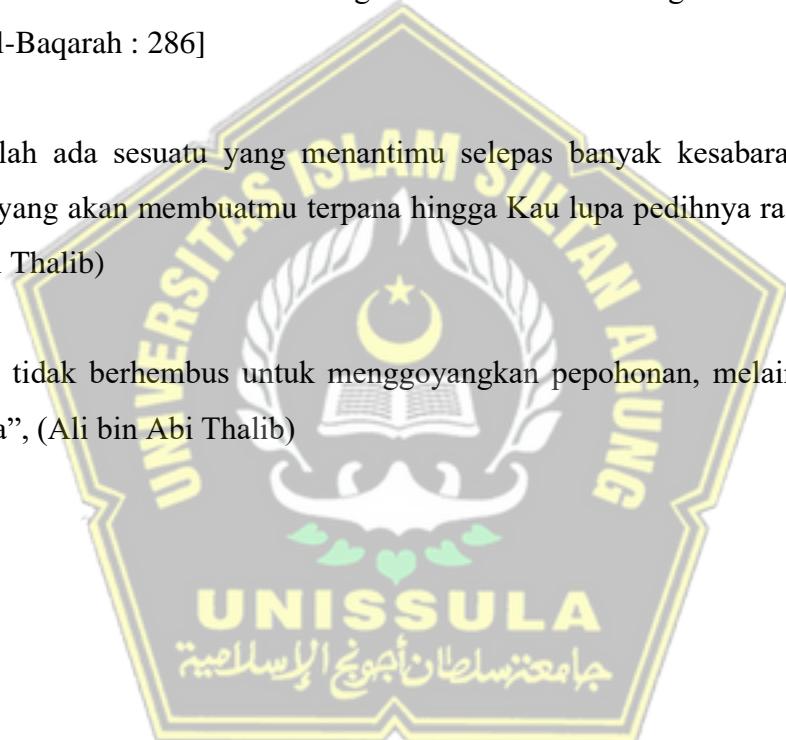
MOTTO

“Kamu adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik”. [Q.S. Ali Imron : 110]

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”. [Q.S Al-Baqarah : 286]

“Yakinlah ada sesuatu yang menantimu selepas banyak kesabaran (yang Kau jalani) yang akan membuatmu terpana hingga Kau lupa pedihnya rasa sakit”. (Ali bin Abi Thalib)

“Angin tidak berhembus untuk menggoangkan pepohonan, melainkan menguji akarnya”, (Ali bin Abi Thalib)



PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua saya, Bapak Heri Nursanto dan Ibu Masrofah, yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat, do'a dan pendidikan mental untuk terus mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat.
2. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., PH.D. dan Ibu Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing saya yang telah sabar mengajarkan saya dalam pembuatan laporan ini.
3. Dosen-dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah mengajarkan saya tentang ilmu-ilmu keteknikan yang sebelumnya saya tidak ketahui dan selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya.
4. Bayu Jaya Pratama selaku rekan yang telah bekerja keras dan berjuang bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Teman–teman saya Samuel Parlindungan Sitopu, Raihan Ihza Nuristyanto, Alfian Nur Hidayat, Aldi Gilang Pradika, Muhammad Dzaky Anshory, Arya Fredy Ananta, Adhitiya Wijaya, Dewa Indra Mastikah, Dhiya Alfad, Elang Bagus Sadewo, Rifqi Hera Athalah dan Arlisa Jikti Khairina yang telah membantu dan memberikan semangat dalam berbagai hal.
6. Teman-teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2019 dan yang lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Ananda Fadhil Darmawan

30201900036

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua saya, Bapak Moch Syafii dan Ibu Suwarsi, yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat, do'a dan pendidikan mental untuk terus mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat.
2. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., PH.D. dan Ibu Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si.,M.Si selaku dosen pembimbing saya yang telah sabar mengajarkan saya dalam pembuatan laporan ini.
3. Dosen-dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah mengajarkan saya tentang ilmu-ilmu keteknikan yang sebelumnya saya tidak ketahui dan selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya.
4. Ananda Fadhil Darmawan selaku rekan yang telah bekerja keras dan berjuang bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Teman–teman saya Abdulloh Mutholib, Adhitiya Wijaya , Aldi Gilang Pradika, Alfian Nur Hidayat, Alvan Dzaky Makarim, Arya Fredy Ananta, Bima Aurel Numuswa, Dewa Indra Mastikah, Dhiya Alfad, Elang Bagus Sadewo, Muhammad Dzaky Anshory, Totti Aditya Susanto dan Zoggy Ardi Eka Saputra yang telah membantu dan memberikan semangat dalam berbagai hal.
6. Teman-teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2019 dan yang lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Bayu Jaya Pratama

30201900055

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “PERANCANGAN ULANG STRUKTUR ATAS GEDUNG A RUMAH SUSUN POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM (PU) SEMARANG”. Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Sarjana Strata 1 (S-1) Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

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

1. Allah SWT dan Rasulullah Muhammad SAW.
2. Kedua orang tua kami yang memberi kami motivasi dan selalu memberi semangat kepada kami.
3. Yth. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT, PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang
4. Yth. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang dan selaku Dosen Pembanding Tugas Akhir.
5. Yth. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
6. Yth. Ibu Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si., M.Si selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.
7. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semarang, Januari 2023

Penyusun

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | ii |
| BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR..... | iii |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI | iv |
| PERNYATAAN KEASLIAN | vi |
| MOTTO | viii |
| PERSEMBAHAN..... | ix |
| KATA PENGANTAR..... | xi |
| DAFTAR ISI..... | xii |
| DAFTAR TABEL..... | xv |
| DAFTAR GAMBAR..... | xix |
| DAFTAR NOTASI..... | xxii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xxix |
| ABSTRAK | xxx |

| | |
|--|----------|
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3. Maksud dan Tujuan | 2 |
| 1.4. Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.5. Sistematika Penulisan..... | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1. Tinjauan Umum | 5 |
| 2.2. Pembebanan Gedung..... | 5 |
| 2.2.1. Beban Mati | 5 |
| 2.2.2. Beban Hidup..... | 8 |
| 2.2.3. Beban Angin..... | 9 |
| 2.2.3. Beban Gempa | 9 |
| 2.3. Syarat Struktur Tahan Gempa..... | 11 |
| 2.3.1. Spektrum Respon Desain..... | 11 |
| 2.3.2. Kategori Desain Seismik..... | 12 |
| 2.3.3. Parameter Percepatan Spektral Desain..... | 13 |
| 2.3.4. Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum Risiko Tertarget | 13 |
| 2.3.5. Kategori Risiko Bangunan Gedung | 14 |
| 2.3.6. Klasifikasi Situs | 16 |
| 2.3.7. Kombinasi Sistem Perangkai Dalam Arah yang Berbeda..... | 18 |
| 2.3.8. Gaya Dasar Seismik | 18 |
| 2.3.9. Pengaruh P - Delta | 19 |
| 2.3.10. Simpangan Antar Tingkat | 19 |
| 2.3.11. Klasifikasi Ketidakberaturan Struktur..... | 21 |
| 2.3.12. Analisis Spektrum Respon Ragam..... | 24 |
| 2.3.13. Periode Fundamental..... | 25 |
| 2.3.14. Kombinasi Pembebanan Dasar | 26 |
| 2.3.15. Kombinasi Beban Gempa | 26 |

| | |
|---|-----------|
| 2.4. Sistem Rangka Pemikul Momen | 27 |
| 2.5. Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus | 28 |
| 2.6. Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus | 30 |
| 2.7. Dinding Geser | 32 |
| 2.8. Pelat..... | 33 |
| 2.9. <i>Tie Beam (Sloof)</i> | 34 |
| 2.10. <i>Joint</i> Rangka Momen Khusus (Hubungan kolom – Balok) | 35 |
| BAB III METODE PERANCANGAN..... | 36 |
| 3.1. Pengumpulan Data | 36 |
| 3.2. Langkah – Langkah Perancangan | 36 |
| 3.3. Diagram Alir | 39 |
| 3.4. Standar yang Digunakan | 40 |
| 3.5. <i>Software</i> yang Digunakan | 40 |
| BAB IV ANALISIS DAN PERANCANGAN | 41 |
| 4.1. Mutu Bahan Struktur..... | 41 |
| 4.2. Pra Dimensi dan Permodelan Struktur..... | 41 |
| 4.2.1. Pra Dimensi Elemen Struktur..... | 41 |
| 4.2.2. Permodelan Struktur..... | 44 |
| 4.3. Formulasi Pembebanan Struktur | 55 |
| 4.4. Analisis Beban seismik | 56 |
| 4.4.1. Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa | 56 |
| 4.4.2. Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Terpetakan | 56 |
| 4.4.3. Klasifikasi Situs..... | 57 |
| 4.4.4. Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Tertarget | 57 |
| 4.4.5. Parameter respon Spektral Percepatan Gempa Desain | 57 |
| 4.4.6. Spektrum Respon Desain | 58 |
| 4.4.7 Kategori Desain Seismik | 58 |
| 4.4.8. Perhitungan Beban dan Model Massa Terpusat Tiap Lantai | 59 |
| 4.5. Alternatif Permodelan | 59 |
| 4.5.1. Alternatif Permodelan 1 | 59 |
| 4.5.2. Alternatif Permodelan 2 | 62 |
| 4.5.3. Alternatif Permodelan 3 | 65 |
| 4.5.3.1. Analisa Dinamik Getaran..... | 66 |
| 4.5.3.2. Kontrol Hasil Analisa Dinamik Gempa | 67 |
| 4.6. Pengecekan Simpangan Antar Tingkat | 72 |
| 4.7. Pengecekan P – Delta..... | 75 |
| 4.8. Pengecekan Eksentrisitas dan Torsi | 77 |
| 4.8.1. Pengecekan Eksentrisit..... | 77 |
| 4.8.2. Perhitungan Ketidakberaturan Torsi | 81 |
| 4.9. Pengecekan Ketidakberaturan Struktur Horizontal dan Vertikal | 81 |
| 4.9.1. Ketidakberaturan Horizontal | 82 |
| 4.9.2. Ketidakberaturan Vertikal | 83 |
| 4.10. Perancangan Pelat | 86 |
| 4.10.1. Identifikasi Pelat Lantai | 86 |
| 4.10.2. Gaya Dalam..... | 88 |
| 4.10.3. Penulangan Lentur Pelat (analisis untuk per m') | 88 |

| | |
|---|---------------|
| 4.10.4. Pengecekan Kapasitas Geser..... | 101 |
| 4.10.5. Pengecekan Lendutan Pelat..... | 101 |
| 4.10.6. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat | 106 |
| 4.11. Perancangan Balok..... | 107 |
| 4.11.1. Properti Material dan Penampang | 107 |
| 4.11.2. Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok | 108 |
| 4.11.3. Perhitungan Tulangan Transversal Balok | 121 |
| 4.11.4. Perhitungan Tulangan Torsi Balok | 128 |
| 4.12. Perancangan Kolom | 139 |
| 4.12.1. Properti Material dan Penampang | 139 |
| 4.12.2. Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom..... | 140 |
| 4.12.3. Perhitungan Tulangan Transversal Kolom..... | 142 |
| 4.12.4. Rekapitulasi Hasil Tulangan Kolom | 148 |
| 4.12.5. Perancangan Strong Column-Weak Beam..... | 148 |
| 4.12.6. Perancangan Hubungan Balok-Kolom (Joint) | 149 |
| 4.12.7. Syarat Panjang Joint..... | 149 |
| 4.12.8. Tulangan Geser untuk Confinement | 149 |
| 4.12.9. Gaya Geser pada Joint..... | 149 |
| 4.12.10. Gaya Geser pada Kolom | 150 |
| 4.12.11. Gaya Geser pada Tulangan Longitudinal Balok | 150 |
| 4.12.12. Kuat Geser pada Joint | 150 |
| 4.12.13. Kuat Geser yang dikekang keempat Sisi..... | 151 |
| 4.13. Perancangan Dinding Geser | 151 |
| 4.13.1. Perhitungan Shear Wall 03..... | 152 |
| 4.13.1.1. Gaya Dalam..... | 152 |
| 4.13.1.2. Pengecekan Geometri..... | 153 |
| 4.13.1.3. Kebutuhan Tulangan Minimum | 153 |
| 4.13.1.4. Pengecekan terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (SPColumn) | 154 |
| 4.13.1.5. Pengecekan Kapasitas Geser | 156 |
| 4.13.1.6. Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus | 157 |
| 4.13.1.7. Penulangan Elemen Batas Khusus | 159 |
| 4.13.2. Perhitungan Shear Wall 04..... | 163 |
| 4.13.2.1. Gaya Dalam..... | 164 |
| 4.13.2.2. Pengecekan Geometri..... | 164 |
| 4.13.2.3. Kebutuhan Tulangan Minimum | 165 |
| 4.13.2.4. Pengecekan terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (SPColumn) | 166 |
| 4.13.2.5. Pengecekan Kapasitas Geser | 168 |
| 4.13.2.6. Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus | 168 |
| 4.13.2.7. Penulangan Elemen Batas Khusus | 170 |
| 4.14. Rekapitulasi Hasil Analisis dan Perancangan | 175 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 184 |
| 5.1. Kesimpulan | 184 |
| 5.2. Saran..... | 185 |
| DAFTAR PUSTAKA | xxxii |
| LAMPIRAN..... | xxxiii |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Beban Mati Minimum Bangunan Gedung..... | 6 |
| Tabel 2.2 Beban Hidup Minimum Bangunan Gedung | 8 |
| Tabel 2.3 Faktor Arah Angin | 9 |
| Tabel 2.4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek | 12 |
| Tabel 2.5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik | 13 |
| Tabel 2.6 Koefisien Situs F_a | 14 |
| Tabel 2.7 Koefisien Situs F_v | 14 |
| Tabel 2.8 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa..... | 15 |
| Tabel 2.9 Faktor Keutamaan Gempa..... | 16 |
| Tabel 2.10 Klasifikasi Situs | 17 |
| Tabel 2.11 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik..... | 18 |
| Tabel 2.12 Simpangan Antar Tingkat Izin | 20 |
| Tabel 2.13 Ketidakberaturan Horizontal..... | 21 |
| Tabel 2.14 Ketidakberaturan Vertikal..... | 23 |
| Tabel 2.15 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung | 25 |
| Tabel 2.16 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x | 26 |
| Tabel 2.17 Transversal Kolom SRPMK | 30 |
| Tabel 2.18 Tulangan Minimum Dinding Geser | 33 |
| Tabel 2.19 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik | 33 |
| Tabel 2.20 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang dengan Balok di Antara Tumpuan Pada Semua Sisinya | 34 |
| Tabel 2.21 $A_{s\min}$ untuk Pelat Dua Arah Nonprategang..... | 34 |
| Tabel 3.1 Peraturan Standar Perancangan..... | 40 |
| Tabel 4.1 Dimensi Balok yang Digunakan Pada Struktur Gedung..... | 41 |

| | |
|--|----|
| Tabel 4.2 Dimensi Kolom yang Digunakan Pada Struktur Gedung | 43 |
| Tabel 4.3 Tebal Minimum Pelat Dua Arah | 43 |
| Tabel 4.4 Dimensi Pelat yang Digunakan Pada Struktur Gedung | 43 |
| Tabel 4.5 Dimensi Dinding Geser yang Digunakan Pada Struktur Gedung | 44 |
| Tabel 4.6 Data Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Terpetakan | 57 |
| Tabel 4.7 Data Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Tertarget..... | 57 |
| Tabel 4.8 Data Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Desain | 58 |
| Tabel 4.9 Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah X Permodelan 1 | 61 |
| Tabel 4.10 Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah Y Permodelan 1 | 61 |
| Tabel 4.11 Pengecekan Struktur SIstem Ganda Permodelan..... | 62 |
| Tabel 4.12 Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah X Permodelan 2 | 64 |
| Tabel 4.13 Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah Y Permodelan 2 | 65 |
| Tabel 4.14 Bentuk Ragam dan Periode Getar ETABS | 66 |
| Tabel 4. 15. Nilai Hasil Partisipasi Massa Bangunan | 67 |
| Tabel 4.16 Output Gaya Geser Dasar Statik | 69 |
| Tabel 4.17 Output Gaya Geser Dasar Dinamik | 70 |
| Tabel 4.18 Rekapitulasi Hasil Pengecekan Faktor Skala..... | 70 |
| Tabel 4.19 Output Gaya Geser Dinamik Setelah Pembesaran Gaya Gempa..... | 71 |
| Tabel 4.20 Gaya Geser Desain..... | 72 |
| Tabel 4.21 Besar Simpangan Antar Lantai Struktur Arah X | 73 |
| Tabel 4.22. Besar Simpangan Antar Lantai Struktur Arah Y | 74 |
| Tabel 4.23 Pengecekan P – Delta Arah X..... | 76 |
| Tabel 4.24 Pengecekan P-Delta Arah Y | 77 |
| Tabel 4.25 Data Eksentrisitas Torsi Bawaan dari ETABS | 78 |
| Tabel 4.26 Data Eksentrisitas Torsi Tidak Terduga..... | 78 |
| Tabel 4.27 Nilai dari δ_{max} , δ_{min} , δ_{avg} dan A_x untuk Gempa Arah X..... | 79 |
| Tabel 4.28 Nilai dari δ_{max} , δ_{min} , δ_{avg} dan A_y untuk Gempa Arah Y..... | 79 |
| Tabel 4.29 Perhitungan Eksentrisitas Desain pada Arah Sumbu X | 80 |

| | |
|---|-----|
| Tabel 4.30 Perhitungan Eksentrisitas Desain pada Arah Sumbu Y | 80 |
| Tabel 4.31 Ketidakberaturan Horizontal Torsi Arah X | 81 |
| Tabel 4.32 Ketidakberaturan Horizontal Torsi Arah Y | 81 |
| Tabel 4.33 Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah X..... | 82 |
| Tabel 4.34 Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah Y..... | 82 |
| Tabel 4.35 Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah X..... | 83 |
| Tabel 4.36 Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah Y | 84 |
| Tabel 4.37 Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah X..... | 84 |
| Tabel 4.38 Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah Y | 84 |
| Tabel 4.39 Cek Ketidakberaturan Berat (Massa) | 85 |
| Tabel 4.40 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 5a..... | 86 |
| Tabel 4.41 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 5b..... | 86 |
| Tabel 4.42. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat | 106 |
| Tabel 4.43. Rekapitulasi Tulangan Balok | 138 |
| Tabel 4.44. Hasil Analisis Interaksi Pn-Mpr Kolom K1..... | 142 |
| Tabel 4.45. Hasil Analisis Interaksi Pn-M Kolom K1 dengan 1,25 fy | 145 |
| Tabel 4.46. Rekapitulasi Tulangan Kolom | 143 |
| Tabel 4.47. Gaya Aksial-Lentur pada Dinding Geser..... | 153 |
| Tabel 4.48. Gaya Geser pada Dinding Geser | 153 |
| Tabel 4.49. Hasil Analisis Interaksi SPColumn Dinding Geser | 155 |
| Tabel 4.50. Gaya Aksial-Lentur pada Dinding Geser..... | 164 |
| Tabel 4.51. Gaya Geser pada Dinding Geser | 164 |
| Tabel 4.52. Hasil Analisis Interaksi SPColumn Dinding Geser | 167 |
| Tabel 4.53. Parameter Respons Spektra..... | 175 |
| Tabel 4.54. Gaya Dalam pada Dinding Geser..... | 179 |
| Tabel 4.55. Gaya Dalam pada Dinding Geser..... | 179 |
| Tabel 4.56. Gaya Dalam pada Dinding Geser..... | 179 |

| | |
|---|-----|
| Tabel 4.57. Gaya Dalam pada Dinding Geser..... | 180 |
| Tabel 4.58. Gaya Dalam pada Dinding Geser..... | 180 |
| Tabel 4.59. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat | 180 |
| Tabel 4.60. Rekapitulasi Tulangan Balok | 181 |
| Tabel 4.61. Rekapitulasi Tulangan Kolom | 181 |
| Tabel 4.62. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 01..... | 182 |
| Tabel 4.63. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 02..... | 182 |
| Tabel 4.64. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 03..... | 182 |
| Tabel 4.65. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 04..... | 183 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Peta Gempa Indonesia berdasarkan parameter gerak tanah S_s gempa maksimum | 10 |
| Gambar 2.2 Peta Gempa Indonesia berdasarkan parameter gerak tanah S_1 gempa maksimum..... | 10 |
| Gambar 2.3 Spektrum Respons Desaim | 12 |
| Gambar 2.4 Penentuan Simpangan Antar Tingkat | 20 |
| Gambar 2.5 Ketidakberaturan Horizontal | 22 |
| Gambar 2.6 Ketidakberaturan Vertikal | 24 |
| Gambar 2.7 Konsep <i>Strong Column Weak Beam</i> | 29 |
| Gambar 2.8 Penulangan Transversal Kolom | 30 |
| Gambar 2.9 Lebar Efektif Maksimum Balok Lebar (<i>Wide Beam</i>) dan Persyaratan Tulangan Transversal | 31 |
| Gambar 2.10 Sengkang Tertutup yang Dipasang Bertumpuk dan Ilustrasi Batasan Maksimum Spasi Horizontal Penumpu Batang Longitudinal | 32 |
| | |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan | 39 |
| Gambar 4.1 Gambar 3D Permodelan Struktur | 44 |
| Gambar 4.2 <i>Input Material Properties</i> | 45 |
| Gambar 4.3 <i>Input</i> Balok G1 400 x 700..... | 46 |
| Gambar 4.4 Input Balok G2 350 x 500..... | 46 |
| Gambar 4.5 Input Balok G3 250 x 500..... | 47 |
| Gambar 4.6 <i>Input</i> Balok G4 200 x 250..... | 47 |
| Gambar 4.7 <i>Input</i> Balok B1 200 x 400 | 48 |
| Gambar 4.8 <i>Input Stiffness Modification Factors</i> Balok | 48 |
| Gambar 4.9 <i>Input</i> Kolom K1 550 x 550 | 49 |
| Gambar 4.10 <i>Input</i> Kolom K2 450 x 450 | 49 |
| Gambar 4.11 <i>Input</i> Kolom K3 400 x 400 | 50 |
| Gambar 4.12 <i>Input Stiffness Modification Factors</i> Kolom..... | 50 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4.13 <i>Input Pelat</i> 120 mm | 51 |
| Gambar 4.14 <i>Input Stiffness Modification Factors Pelat</i> | 51 |
| Gambar 4.15 <i>Input Dinding Geser 1 (Shear Wall)</i> | 52 |
| Gambar 4.16 <i>Input Dinding Geser 2 (Shear Wall)</i> | 52 |
| Gambar 4.17 <i>Input Stiffness Modification Factors Dinding Geser</i> | 53 |
| Gambar 4.18 Penambahan Fungsi Respons Spektrum | 54 |
| Gambar 4.19 Penambahan <i>Load Case Data</i> Respons Spektrum Arah | 54 |
| Gambar 4.20 Penambahan <i>Load Case Data</i> Respons Spektrum Arah Y..... | 55 |
| Gambar 4.21 Grafik Nilai Spektrum Respon Desain..... | 58 |
| Gambar 4.22 Model 3D Permodelan 1 | 60 |
| Gambar 4.23 Diagram <i>Story Drift</i> Arah X Permodelan 1..... | 61 |
| Gambar 4.24 Diagram <i>Story Drift</i> Arah Y Permodelan 1..... | 62 |
| Gambar 4.25 Model 3D Permodelan 2 | 63 |
| Gambar 4.26 Diagram <i>Story Drift</i> Arah X Permodelan 2..... | 64 |
| Gambar 4.27 Diagram <i>Story Drift</i> Arah Y Permodelan 2..... | 64 |
| Gambar 4.28. Model 3D Permodelan 2 | 65 |
| Gambar 4.29. <i>Shear Comparisson to X Axis</i> | 72 |
| Gambar 4.30. <i>Shear Comparisson to Y Axis</i> | 72 |
| Gambar 4.31. Diagram <i>Story Drift</i> Arah X..... | 74 |
| Gambar 4.32. Diagram <i>Story Drift</i> Arah Y..... | 75 |
| Gambar 4.33. Diagram P-Delta Arah X..... | 76 |
| Gambar 4.34. Diagram P-Delta Arah Y..... | 77 |
| Gambar 4.35. Tipe Pelat..... | 87 |
| Gambar 4.36. Penulangan Pelat | 107 |
| Gambar 4.37. Denah Balok G1 Sampel | 107 |
| Gambar 4.38. Momen Ultimit Tumpuan Balok G1 | 109 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 4.39. Momen Ultimit Lapangan Balok G1..... | 109 |
| Gambar 4.40. Gaya Geser Ultimit Tumpuan Balok B1 | 122 |
| Gambar 4.41. Gaya Geser Ultimit Lapangan Balok B1..... | 122 |
| Gambar 4.42. Gaya Torsi Balok B1..... | 129 |
| Gambar 4.43. Potongan Memanjang Balok | 137 |
| Gambar 4.44. Tulangan Tumpuan Balok | 138 |
| Gambar 4.45. Tulangan Lapangan Balok | 138 |
| Gambar 4.46. Denah Kolom K1 Sampel | 139 |
| Gambar 4.47. Tulangan Longitudinal Kolom K1 | 141 |
| Gambar 4.48. Diagram Interaksi Pn-Mpr SPColumn Kolom K1 | 141 |
| Gambar 4.49. Diagram Interaksi Pn-M SPColumn Kolom K1 dengan 1,25 fy . | 144 |
| Gambar 4.50. Potongan Memanjang Kolom K1..... | 147 |
| Gambar 4.51. Tulangan Ujung Kolom K1..... | 147 |
| Gambar 4.52. Tulangan Tengah Kolom K1..... | 147 |
| Gambar 4.53. Hubungan Balok Kolom (Joint) | 151 |
| Gambar 4.54. Denah Dinding Geser Sampel | 152 |
| Gambar 4.55. Diagram Interaksi SPColumn Dinding Geser | 155 |
| Gambar 4.56. Detail Dinding Geser 03..... | 163 |
| Gambar 4.57. Diagram Interaksi SPColumn Dinding Geser | 166 |
| Gambar 4.58. Detail Dinding Geser 04..... | 174 |

DAFTAR NOTASI

- a = Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen (mm)
- A_b = Luas setiap batang atau kawat individu (mm^2)
- A_{ch} = Luas penampang komponen struktur yang diukur sampai tepi luar tulangan transversal (mm^2)
- A_{cp} = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton (mm^2)
- A_{cv} = Luas bruto penampang beton yang dibatasi oleh tebal badan dan panjang penampang dalam arah gaya geser yang ditinjau pada kasus dinding dan luas bruto penampang beton dalam kasus diafragma, tebalnya tidak melebihi lebar diafragma (mm^2)
- A_{cw} = Luas penampang beton pilar tunggal, segmen horizontal dinding, atau balok kopel yang menahan geser (mm^2)
- A_g = Luas bruto penampang (mm^2)
- A_j = Luas penampang efektif pada *joint* di bidang paralel terhadap bidang tulangan yang menimbulkan geser dalam *joint* (mm^2)
- A_l = Luas total tulangan longitudinal untuk menahan torsi (mm^2)
- A_o = Luas bruto yang dilingkupi oleh lintasan alir geser (mm^2)
- A_{oh} = Luas yang dilingkupi oleh garis pusat tulangan torsi transversal tertutup terluar (mm^2)
- A_s = Luas tulangan tarik longitudinal nonprategang (mm^2)
- A_s' = Luas tulangan tekan (mm^2)
- A_{sh} = Luas penampang total tulangan transversal (termasuk ikat silang) dalam spasi s dan tegak lurus terhadap dimensi b_c
- $A_{s \min}$ = Luas minimum tulangan lentur (mm^2)
- A_{st} = Luas total tulangan longitudinal nonprategang (mm^2)
- A_t = Luas 1 kaki sengkang tertutup menahan torsi dalam spasi s (mm^2)
- A_v = Luas tulangan geser dalam spasi s (mm^2)
- $A_{v \min}$ = Luas minimum tulangan geser dalam spasi s (mm^2)
- A_x = Faktor amplifikasi torsi
- A_s' = Luas tulangan tekan (mm^2)
- b = Lebar muka tekan komponen struktur (mm)

- b_c = Dimensi penampang inti komponen struktur yang diukur ke tepi luar tulangan transversal yang membentuk luas A_{sh} (mm)
 b_f = Lebar sayap efektif penampang T (mm)
 b_w = Lebar badan, tebal dinding, diameter penampang lingkaran (mm)
 c = Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral (mm)
 c_c = Selimut bersih (*clear cover*) tulangan (mm)
 c_t = Jarak dari muka interior kolom ke tepi pelat yang diukur parallel terhadap c_1 , tetapi tidak melebihi c_1 (mm)
 c_1 = Dimensi kolom persegi atau persegi ekuivalen, kepala kolom (*capital*), atau braket yang diukur dalam arah bentang dimana momen ditentukan (mm)
 c_2 = Dimensi kolom persegi atau persegi ekuivalen, kepala kolom (*capital*), atau braket yang diukur dalam arah tegak lurus terhadap c_1 (mm)
 C = Konstanta penampang untuk menentukan properti torsi pelat dan balok
 C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral
 C_s = Koefisien respons seismik
 C_u = Koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung
 C_v = Koefisien vertical
 d = Tinggi efektif pelat; jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal (mm)
 d' = Jarak serat tekan jauh ke pusat tulangan tekan longitudinal (mm)
 d_b = Diameter nominal batang tulangan (mm)
 D = Pengaruh beban mati layan
 D_F = Faktor distribusi momen di bagian atas dan kolom yang didesain
 E = Pengaruh gaya gempa horizontal dan vertikal
 E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)
 E_h = Pengaruh gaya seismik horizontal
 E_s = Modulus elastisitas tulangan dan baja struktural (MPa)
 E_v = Pengaruh gaya seismik vertikal
 f_c' = Kekuatan tekan beton (MPa)

| | |
|------------|--|
| f_r | = Modulus hancur (<i>rupture</i>) beton (MPa) |
| f_s | = Tegangan tarik dihitung dalam tulangan saat beban layan (MPa) |
| f_s' | = Tegangan dalam tulangan tekan terkena beban terfaktor (MPa) |
| f_y | = Kekuatan leleh tulangan (MPa) |
| f_{yt} | = Kekuatan leleh tulangan transversal yang disyaratkan f_y (MPa) |
| F_a | = Koefisien situs untuk periode pendek (pada periode 0,2 detik) |
| F_i, F_x | = Bagian dari gaya geser dasar, V , pada tingkat- i atau tingkat- x |
| F_p | = Gaya seismik yang bekerja pada elemen atau komponen dari struktur |
| F_v | = Koefisien situs untuk periode panjang (pada periode 1 detik) |
| F_x | = Gaya seismik lateral (kN) di level-x |
| h | = Tebal atau tinggi keseluruhan komponen struktur (mm) |
| h_n | = Batasan tinggi struktur (m) |
| h_{sx} | = Tinggi tingkat untuk tingkat-x (mm) |
| h_w | = Tinggi dinding keseluruhan dari dasar ke tepi atas atau tinggi bersih segmen dinding atau pilar dinding yang ditinjau (mm) |
| h_x | = Spasi horizontal ikat silang atau kaki sengkang pengekang (<i>hoop</i>) pusat ke pusat maksimum pada semua muka kolom |
| I_{cr} | = Momen inersia penampang retak ditransformasi ke beton (mm^4) |
| I_e | = Faktor keutamaan gempa; momen inersia efektif untuk perhitungan defleksi (mm^4) |
| I_g | = Momen inersia penampang beton bruto terhadap sumbu pusat, yang mengabaikan tulangan (mm^4) |
| k | = Faktor panjang efektif untuk komponen struktur tekan |
| k_f | = Faktor kekuatan beton |
| k_n | = Faktor efektivitas pengekangan |
| l | = Panjang bentang balok atau pelat satu arah (mm) |
| l_c | = Panjang komponen tekan, diukur dari pusat ke pusat <i>joint</i> (mm) |
| l_n | = Panjang bentang bersih diukur muka ke muka tumpuan (mm) |
| l_o | = Panjang, diukur dari muka joint sepanjang sumbu komponen struktur, dimana tulangan transversal khusus disediakan (mm) |

- l_w = Panjang seluruh dinding, atau panjang segmen dinding atau pilar
 dinding yang ditinjau dalam arah gaya geser (mm)
- L = Pengaruh beban hidup layan
- Lr = Pengaruh beban hidup atap layan
- MCE_R = Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget
- M_{cr} = Momen retak (N-mm)
- M_{max} = Momen maksimum terfaktor pada penampang akibat beban luar
 yang bekerja (N-mm)
- M_n = Kekuatan lentur nominal pada penampang (N-mm)
- M_{nb} = Kekuatan lentur nominal balok termasuk pelat bilamana tertarik,
 yang merangka ke dalam *joint* (N-mm)
- M_{nc} = Kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint,
 yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah
 gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur
 yang terendah (N-mm)
- M_{pr} = Kekuatan lentur mungkin komponen struktur, dengan atau tanpa
 beban aksial, yang ditentukan menggunakan properti komponen
 struktur pada muka joint yang mengasumsikan tegangan tarik
 dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit $1,25f_y$
 dan faktor reduksi kekuatan ϕ sebesar 1,0
- M_u = Momen terfaktor pada penampang (N-mm)
- n = Jumlah batang tulangan
- N_i = Tahanan penetrasi standar sesuai SNI 4153:2008
- \bar{N} = Tahanan penetrasi standar rata-rata lapisan 30 m paling atas
- \bar{N}_{ch} = Tahanan penetrasi standar rata-rata tanah nonkohesif dalam
 lapisan 30 m paling atas
- N_u = Gaya aksial terfaktor tegak lurus terhadap penampang yang
 terjadi serentak dengan V_u atau T_u (N-mm)
- p_{cp} = Keliling luar penampang beton (mm)
- p_h = Keliling pusat tulangan torsi transversal tertutup terluar (mm)
- P_n = Kekuatan aksial nominal penampang (N)
- P_u = Gaya aksial terfaktor (N)

| | |
|-------------|---|
| q_u | = Beban terfaktor per satuan luas (N/m^2) |
| Q_E | = Pengaruh gaya seismik horizontal |
| r | = Radius girasi penampang komponen struktur tekan (mm) |
| R | = Koefisien modifikasi respons |
| s | = Spasi pusat ke pusat suatu benda (mm) |
| s_o | = Spasi pusat ke pusat tulangan transversal dalam panjang I_e (mm) |
| s_u | = Kuat geser niralir |
| \bar{s}_u | = Kuat geser niralir rata-rata di dalam lapisan 30 m paling atas |
| s_{ui} | = Kuat geser niralir suatu lapisan tanah kohesif i di dalam lapisan 30 m paling atas |
| S_a | = Respons spektra percepatan |
| S_{DS} | = Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek |
| S_{D1} | = Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik |
| S_{MS} | = Parameter percepatan respons spektral <i>MCE</i> pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs |
| S_{M1} | = Percepatan percepatan respons spektral <i>MCE</i> pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs |
| S_s | = Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek |
| S_1 | = Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik |
| S_n | = Kekuatan momen, geser, aksial, torsi atau tumpu nominal |
| t | = Tebal dinding penampang (mm) |
| T | = Periode fundamental bangunan |
| T_a | = Perioda fundamental pendekatan |
| T_{cr} | = Momen retak torsi (N-mm) |
| T_L | = Peta transisi perioda panjang |
| T_n | = Kekuatan momen torsi nominal (N-mm) |
| T_u | = Momen torsi terfaktor pada penampang (N-mm) |
| U | = Kekuatan perlu untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam yang terkait dengan kombinasinya |

- v_s = Kecepatan rambat gelombang geser pada regangan geser yang kecil (m/detik) ($< 10^{-3}$ persen)
 \bar{v}_s = Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada regangan geser yang kecil, di dalam lapisan 30 m teratas
 v_{si} = Kecepatan rambat gelombang geser dalam lapisan tanah atau batuan ke- i , di dalam lapisan 30 m paling atas
 V = Geser desain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau
 V_c = Kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton (N)
 V_e = Gaya geser desain untuk kombinasi pembebanan termasuk pengaruh gempa (N)
 V_{IX} = Gaya geser dasar inelastik pada arah X
 V_{IY} = Gaya geser dasar inelastik pada arah Y
 V_n = Kekuatan geser nominal (N)
 V_s = Kekuatan geser nominal diberikan oleh penulangan geser (N)
 V_{sway} = Gaya geser rencana berdasarkan momen kapasitas pada balok
 V_t = Nilai desain dari gaya geser dasar akibat seismik
 V_u = Gaya geser terfaktor penampang (N)
 V_x = Geser seismik desain di tingkat-x
 V_X = ELF gaya geser dasar pada arah X
 V_Y = ELF gaya geser dasar pada arah Y
 w_c = Berat volume beton normal atau berat volume ekuivalen beton ringan (kg/m^3)
 w_u = Beban terfaktor per satuan panjang balok atau pelat satu arah (N/mm)
 W = Berat seismik efektif bangunan
 W_t = Berat total struktur
 x = Dimensi keseluruhan bagian persegi penampang yang lebih pendek (mm)
 y = Dimensi keseluruhan bagian persegi penampang yang lebih panjang (mm)
 α = Sudut yang menentukan orientasi tulangan

- α_c = Koefisien yang menentukan kontribusi relatif kekuatan beton terhadap kekuatan geser dinding nominal
- β_1 = Faktor yang menghubungkan tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen dengan tinggi sumbu netral
- δ = Faktor pembesaran momen untuk mencerminkan pengaruh kurvatur komponen struktur antara ujung-ujung komponen struktur tekan
- δ_u = Perpindahan desain
- δ_{\max} = Perpindahan maksimum (mm) di tingkat-x
- δ_{avg} = Rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur di tingkat-x
- δ_x = Defleksi pusat massa di tingkat-x
- δ_{xe} = Defleksi pada lokasi ditentukan dengan analisis elastik
- Δ = Simpangan antar tingkat desain
- Δ_a = Simpangan antar tingkat yang diizinkan
- ε_t = Regangan tarik netto dalam lapisan terjauh baja tarik longitudinal pada kekuatan nominal, tidak termasuk regangan akibat dari prategang efektif, rangkak, susut, dan suhu
- ε_{ty} = Nilai regangan tarik netto pada lapisan terluar dari tulangan tarik longitudinal yang digunakan untuk menentukan penampang terkontrol tekan
- θ = Sudut antara sumbu strut, diagonal tekan, atau bidang tekan dan kord (chord) tarik komponen struktur; Koefisien stabilitas untuk pengaruh P-Delta
- ρ = Rasio A_s terhadap bd ; Faktor redundansi struktur
- ϕ = Faktor reduksi kekuatan
- λ = Faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi dari beton ringan, semuanya relatif terhadap beton normal dengan kekuatan tekan yang sama; Faktor pengaruh waktu
- Ω_0 = Faktor kuat lebih; Faktor amplifikasi untuk memperhitungkan kekuatan lebih sistem penahan gaya seismik yang ditetapkan sesuai dengan tata cara bangunan gedung umum yang diadopsi secara legal

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Berita Acara Seminar Proposal Tugas Akhir
- Lampiran 2 : Berita Acara Seminar Hasil Tugas Akhir
- Lampiran 3 : Lembar Koreksi Tugas Akhir
- Lampiran 4 : Daftar Hadir Dosen Pengaji Seminar Hasil Tugas Akhir
- Lampiran 5 : Daftar Hadir Seminar Hasil Tugas Akhir
- Lampiran 6 : Lembar Bimbingan Tugas Akhir
- Lampiran 7 : Turnitin
- Lampiran 8 : Gambar Kerja



ABSTRAK

Perancangan bangunan merupakan suatu hal yang sangat penting untuk diperhatikan dalam proses akan didirikannya sebuah bangunan. Perancangan merupakan salah satu hal mendasar yang harus dikerjakan terlebih dahulu. Ada banyak aturan – aturan dan spesifikasi yang telah ditetapkan untuk merancang sebuah bangunan.

Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang yang memiliki 8 lantai dirancang menggunakan struktur rangka beton bertulang. Gedung ini memiliki fungsi sebagai tempat tinggal mahasiswa/i Politeknik Pekerjaan Umum Semarang.

Perancangan struktur Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang ini mengacu pada peraturan SNI 1726:2019, SNI 2847:2019 dan SNI 1727:2019. *Software* menggunakan ETABS V18.1.1 yang berfungsi untuk perancangan permodelan, pembebanan, pelat, balok, kolom, dinding geser. Gedung ini menggunakan sistem ganda yaitu, Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK).

Hasil analisis gaya geser lantai akibat beban statik arah x dan arah y diperoleh nilai 1038,6775 kN. Beban gempa dinamik senilai 855,9213 untuk arah x dan 922,1336 untuk arah y. Simpangan antar lantai senilai 147,88 untuk arah x dan 146,18 untuk arah y. Pada perancangan *Strong Column Weak Beam* telah memenuhi syarat $\sum M_{nc} > 1,2M_{nb}$ dengan diperoleh hasil $1068,27 \geq 429,036$

Kata Kunci : Rumah Susun ; SDSK ; SRPMK

ABSTRACT

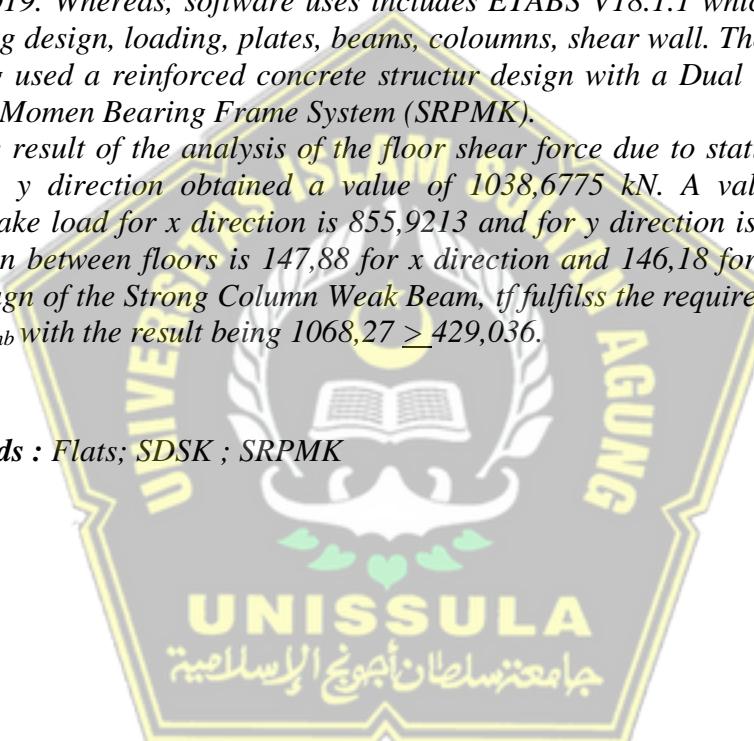
Building design is a very important thing to consider in the process of construction a building. Design is one of the fundamental things that must be done first. There are many rules and specifications for designing a building.

A Building at Flats Public Works Polytechnic of Semarang which has 8 floors, is designed using a reinforced concrete frame structure. This building has a function as a living for students of Public Works Polytechnic of Semarang.

This structural design of A Building Flat Public Works Polytechnic of Semarang refers to the regulations of SNI 1726:2019, SNI 2847:2019 and SNI 1727:2019. Whereas, software uses includes ETABS V18.1.1 which functions for modeling design, loading, plates, beams, columns, shear wall. The design of this building used a reinforced concrete structure design with a Dual System and the Special Moment Bearing Frame System (SRPMK).

The result of the analysis of the floor shear force due to static load in the x and the y direction obtained a value of 1038,6775 kN. A value of dynamic earthquake load for x direction is 855,9213 and for y direction is 922,1336. The deviation between floors is 147,88 for x direction and 146,18 for y direction. In the design of the Strong Column Weak Beam, it fulfills the requirements for $\sum M_{nc} > 1,2M_{nb}$ with the result being $1068,27 \geq 429,036$.

Keywords : Flats; SDSK ; SRPMK



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perancangan bangunan merupakan suatu hal yang sangat penting untuk diperhatikan dalam proses akan didirikannya sebuah bangunan. Perancangan merupakan salah satu hal mendasar yang harus dikerjakan terlebih dahulu. Ada banyak aturan – aturan dan spesifikasi yang telah ditetapkan untuk merancang sebuah bangunan. Penulis memilih Perancangan sebagai Tugas Akhir karena ingin mengetahui lebih dalam mengenai tata cara, aturan – aturan dan spesifikasi apa saja yang perlu diterapkan dalam merancang bangunan, sehingga nantinya Penulis dapat merancang bangunan sesuai kriteria yang telah ditetapkan agar bangunan itu dapat memberi rasa aman dan nyaman bagi para penggunanya.

Dalam era perkembangan zaman Perancangan suatu bangunan selalu berkembang dengan ditemukannya sistem – sistem dan penelitian yang terbaru. Bangunan gedung bertingkat tinggi merupakan salah satu bangunan yang akan terus berkembang dalam beberapa tahun kedepan. Di kota – kota besar bangunan gedung bertingkat tinggi dibutuhkan dalam beberapa hal seperti sebagai tempat tinggal, perkantoran, tempat usaha dan lain sebagainya. Hal itu dikarenakan lahan yang semakin sempit untuk mendirikan bangunan dan harga lahan yang semakin mahal sehingga lebih efisien untuk pembangunan gedung secara bertingkat.

Rumah Susun merupakan bangunan yang dibangun dengan salah satu fungsinya adalah mengantisipasi pertumbuhan penduduk Indonesia yang meningkat pada tiap tahunnya, sehingga kebutuhan untuk tempat tinggal pun akan mengalami peningkatan. Rumah Susun merupakan salah satu bangunan gedung bertingkat tinggi dan bangunan yang komplek, sehingga dalam sistem perancangannya harus benar – benar memperhatikan struktur bangunannya. Struktur bangunan harus dirancang berdasarkan SNI sehingga akan menciptakan struktur bangunan yang kuat dan akan memberikan rasa aman dan nyaman bagi penghuni Rumah Susun nantinya.

Bangunan gedung 8 lantai Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang akan dirancang menggunakan *software* ETABS V18.1.1 menggunakan struktur beton bertulang. Perancangan Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang ini menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK). Perancangan gedung ini disesuaikan dengan Standar Perancangan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2019) dan Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2019).

Redesign merupakan sebuah proses perancangan untuk melakukan suatu perubahan pada struktur dan fungsi suatu benda, bangunan, maupun sistem untuk manfaat yang lebih baik dari desain sebelumnya. Pada perancangan ulang Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang ini Penulis akan merancang kembali dimensi komponen struktur atas dari gedung tersebut agar lebih efisien.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam Perancangan Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang ini adalah seperti yang dinyatakan di bawah ini:

1. Bagaimana cara memodelkan Struktur Bangunan Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang menggunakan ETABS V18.1.1.
2. Bagaimana cara merancang dimensi – dimensi struktur atas Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang.

1.3. Maksud dan Tujuan

Maksud dari Perancangan Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang ini adalah memperluas wawasan dalam ilmu rekayasa sipil khususnya perancangan struktur atas gedung bertingkat.

Tujuan dari Perancangan Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis struktur Gedung bertingkat untuk beban gempa menggunakan standar SNI 1726 – 2019.

2. Mendesain dimensi serta penulangan balok, pelat, kolom, dinding geser dan *joint* menggunakan standar SNI 2847 – 2019.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam Perancangan Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang ini adalah sebagai berikut :

1. Struktur Gedung difungsikan sebagai bangunan asrama.
2. Analisis dan Perancangan Struktur menggunakan *Software* ETABS V18.1.1.
3. Peraturan yang digunakan dalam Perancangan Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang ini adalah sebagai berikut :
 - a. Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Bangunan Lain (SNI 1727:2020).
 - b. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2019)
 - c. Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019).

1.5. Sistematika Tugas Akhir

Sistematika dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini terdiri dari 5 BAB yang disusun sebagai berikut :

BAB I

PENDAHULUAN

BAB ini menerangkan tentang latar belakang, rumusan masalah, maksud dan tujuan, batasan masalah dan sistematika Tugas Akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

BAB ini menerangkan tentang konsep analisis beban gempa dan persyaratan struktur tahan gempa.

BAB III

METODE PERANCANGAN

BAB ini menerangkan tentang pengumpulan data, analisis dan perhitungan, diagram alir, peraturan SNI yang digunakan, serta *software* yang digunakan.

BAB IV ANALISIS DAN PERANCANGAN

BAB ini menerangkan cara analisis dari perancangan struktur berdasarkan ETABS.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

BAB ini menerangkan tentang kesimpulan dari perancangan ulang Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang serta saran ataupun kritik dari Penyusun.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Bangunan gedung bertingkat tinggi merupakan bangunan yang perlu diperhatikan dalam proses perancangannya. Dalam proses perancangan yang dilakukan harus sesuai aturan-aturan yang telah ditetapkan sehingga bangunan tersebut aman dan layak digunakan. Dalam proses perancangan bangunan gedung bertingkat tinggi harus memperhatikan ketahanan strukturnya terhadap berat sendiri bangunannya, beban hidup yang nantinya akan bekerja pada bangunan tersebut dan beban gempa.

Proses perancangan bangunan gedung bertingkat tinggi mengacu pada beberapa peraturan agar dihasilkan struktur yang aman dan kokoh antara lain Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Bangunan Lain (SNI 1727:2020), Standar Perancangan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2019) dan Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847 - 2019).

2.2. Pembebaan Gedung

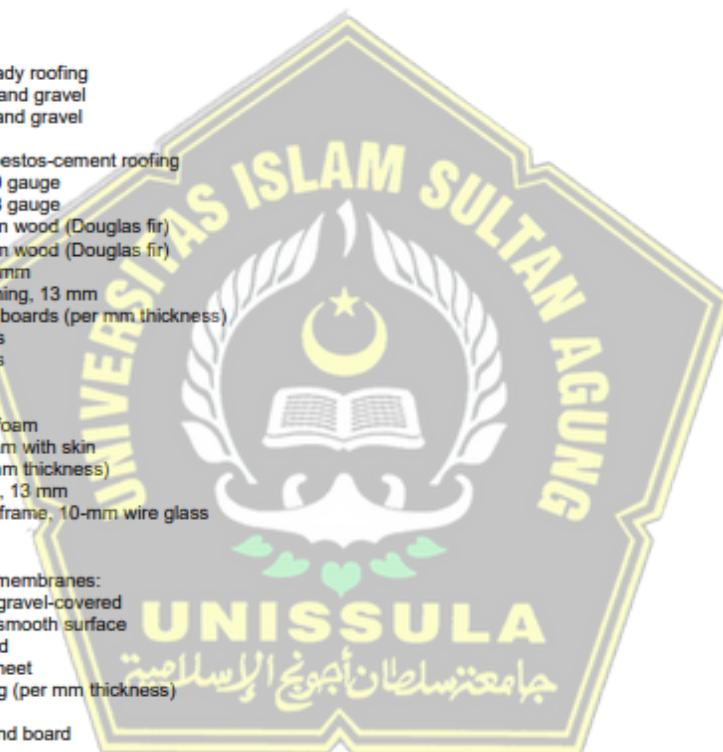
Pembebaan merupakan faktor penting dalam merancang struktur bangunan. Untuk itu dalam merancang struktur perlu mengidentifikasi beban-beban yang bekerja pada gedung. Beban pada gedung meliputi berat sendiri, beban kerja, pengaruh gaya prategang, gempa, kekangan terhadap volume dan perbedaan penurunan.

2.2.1. Beban Mati

Beban mati adalah beban yang didominasi berat sendiri struktur bangunan yang tetap diam dan beberapa perlengkapan serta barang yang tidak bergerak. Nilai besaran beban mati bisa dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Beban Mati Minimum Bangunan Gedung

| Komponen | Beban (kN/m^2) |
|--|---------------------------|
| CEILINGS | |
| Acoustical fiberboard | 0,05 |
| Gypsum board (per mm thickness) | 0,008 |
| Mechanical duct allowance | 0,19 |
| Plaster on tile or concrete | 0,24 |
| Plaster on wood lath | 0,38 |
| Suspended steel channel system | 0,10 |
| Suspended metal lath and cement plaster | 0,72 |
| Suspended metal lath and gypsum plaster | 0,48 |
| Wood furring suspension system | 0,12 |
| COVERINGS, ROOF, AND WALL | |
| Asbestos-cement shingles | 0,19 |
| Asphalt shingles | 0,10 |
| Cement tile | 0,77 |
| Clay tile (for mortar add 0.48 kN/m^2) | |
| Book tile, 51 mm | 0,57 |
| Book tile, 76 mm | 0,96 |
| Ludowici | 0,48 |
| Roman | 0,57 |
| Spanish | 0,91 |
| Composition: | |
| Three-ply ready roofing | 0,05 |
| Four-ply felt and gravel | 0,26 |
| Five-ply felt and gravel | 0,29 |
| Copper or tin | 0,05 |
| Corrugated asbestos-cement roofing | 0,19 |
| Deck, metal, 20 gauge | 0,12 |
| Deck, metal, 18 gauge | 0,14 |
| Decking, 51-mm wood (Douglas fir) | 0,24 |
| Decking, 76-mm wood (Douglas fir) | 0,38 |
| Fiberboard, 13 mm | 0,04 |
| Gypsum sheathing, 13 mm | 0,10 |
| Insulation, roof boards (per mm thickness) | |
| Cellular glass | 0,0013 |
| Fibrous glass | 0,0021 |
| Fiberboard | 0,0028 |
| Perlite | 0,0015 |
| Polystyrene foam | 0,0004 |
| Urethane foam with skin | 0,0009 |
| Plywood (per mm thickness) | 0,006 |
| Rigid insulation, 13 mm | 0,04 |
| Skylight, metal frame, 10-mm wire glass | 0,38 |
| Slate, 5 mm | 0,34 |
| Slate, 6 mm | 0,48 |
| Waterproofing membranes: | |
| Bituminous, gravel-covered | 0,26 |
| Bituminous, smooth surface | 0,07 |
| Liquid applied | 0,05 |
| Single-ply, sheet | 0,03 |
| Wood sheathing (per mm thickness) | |
| Plywood | 0,0057 |
| Oriented strand board | 0,0062 |
| Wood shingles | 0,14 |
| FLOOR FILL | |
| Cinder concrete, per mm | 0,017 |
| Lightweight concrete, per mm | 0,015 |
| Sand, per mm | 0,015 |
| Stone concrete, per mm | 0,023 |
| FLOORS AND FLOOR FINISHES | |
| Asphalt block (51 mm), 13-mm mortar | 1,44 |
| Cement finish (25 mm) on stone-concrete fill | 1,53 |
| Ceramic or quarry tile (19 mm) on 13-mm mortar bed | 0,77 |
| Ceramic or quarry tile (19 mm) on 25-mm mortar bed | 1,10 |



Tabel 2.1 Beban Mati Minimum Bangunan Gedung (Lanjutan)

| Komponen | Beban (kN/m ²) | | | | |
|---|--|--|--|------|------|
| Concrete fill finish (per mm thickness) 0.023 | | 0,023 | | | |
| Hardwood flooring, 22 mm 0.19 | | 0,19 | | | |
| Linoleum or asphalt tile, 6 mm 0.05 | | 0,05 | | | |
| Marble and mortar on stone-concrete fill 1.58 | | 1,58 | | | |
| Slate (per mm thickness) 0.028 | | 0,028 | | | |
| Solid flat tile on 25-mm mortar base 1.10 | | 1,10 | | | |
| Subflooring, 19 mm 0.14 | | 0,14 | | | |
| Terrazzo (38 mm) directly on slab 0.91 | | 0,91 | | | |
| Terrazzo (25 mm) on stone-concrete fill 1.53 | | 1,53 | | | |
| Terrazzo (25 mm), 51-mm stone concrete 1.53 | | 1,53 | | | |
| Wood block (76 mm) on mastic, no fill 0.48 | | 0,48 | | | |
| Wood block (76 mm) on 13-mm mortar base 0.77 | | 0,77 | | | |
| FLOORS, WOOD-JOIST (NO PLASTER) | | | | | |
| DOUBLE WOOD FLOOR | | | | | |
| Joint sizes (mm): | 305-mm spacing (kN/m ²) | 406-mm spacing (kN/m ²) | 610-mm spacing (kN/m ²) | | |
| 51 × 152 | 0,29 | 0,24 | 0,24 | | |
| 51 × 203 | 0,29 | 0,29 | 0,24 | | |
| 51 × 254 | 0,34 | 0,29 | 0,29 | | |
| 51 × 305 | 0,38 | 0,34 | 0,29 | | |
| FRAME PARTITIONS | | | | | |
| Movable steel partitions | | | 0,19 | | |
| Wood or steel studs, 13-mm gypsum board each side | | | 0,38 | | |
| Wood studs, 51 × 102, unplastered | | | 0,19 | | |
| Wood studs, 51 × 102, plastered one side | | | 0,57 | | |
| Wood studs, 51 × 102, plastered two sides | | | 0,96 | | |
| FRAME WALLS | | | | | |
| Exterior stud walls: | | | | | |
| 51 mm × 102 mm@406 mm, 16-mm gypsum, insulated, 10-mm siding | | | 0,53 | | |
| 51 mm × 152 mm@406 mm, 16-mm gypsum, insulated, 10-mm siding | | | 0,57 | | |
| Exterior stud walls with brick veneer | | | 2,30 | | |
| Windows, glass, frame, and sash | | | 0,38 | | |
| Clay brick wythes: | | | | | |
| 102 mm | | | 1,87 | | |
| 203 mm | | | 3,78 | | |
| 305 mm | | | 5,51 | | |
| 406 mm | | | 7,42 | | |
| Hollow concrete masonry unit wythes: | | | | | |
| Wythe thickness (in mm) | 102 | 152 | 203 | 254 | 305 |
| Density of unit (16,49 kN/m ³) with grout spacing as follows: | | | | | |
| No grout | 1,05 | 1,29 | 1,68 | 2,01 | 2,35 |
| 1,219 mm | | 1,48 | 1,92 | 2,35 | 2,78 |
| 1,016 mm | | 1,58 | 2,06 | 2,54 | 3,02 |
| 813 mm | | 1,63 | 2,15 | 2,68 | 3,16 |
| 610 mm | | 1,77 | 2,35 | 2,92 | 3,45 |
| 406 mm | | 2,01 | 2,68 | 3,35 | 4,02 |
| Full grout | | 2,73 | 3,69 | 4,69 | 5,70 |
| Density of unit (19,64 kN/m ³) with grout spacing as follows: | | | | | |
| No grout | 1,25 | 1,34 | 1,72 | 2,11 | 2,39 |
| 1,219 mm | | 1,58 | 2,11 | 2,59 | 2,97 |
| 1,016 mm | | 1,63 | 2,15 | 2,68 | 3,11 |
| 813 mm | | 1,72 | 2,25 | 2,78 | 3,26 |
| 610 mm | | 1,87 | 2,44 | 3,02 | 3,59 |
| 406 mm | | 2,11 | 2,78 | 3,50 | 4,17 |
| Full grout | | 2,82 | 3,88 | 4,88 | 5,89 |
| Density of unit (21,21 kN/m ³) with grout spacing as follows: | | | | | |
| No grout | 1,39 | 1,68 | 2,15 | 2,59 | 3,02 |
| 1,219 mm | | 1,70 | 2,39 | 2,92 | 3,45 |
| 1,016 mm | | 1,72 | 2,54 | 3,11 | 3,69 |
| 813 mm | | 1,82 | 2,63 | 3,26 | 3,83 |
| 610 mm | | 1,96 | 2,82 | 3,50 | 4,12 |
| 406 mm | | 2,25 | 3,16 | 3,93 | 4,69 |
| Full grout | | 3,06 | 4,17 | 5,27 | 6,37 |

Tabel 2.1 Beban Mati Minimum Bangunan Gedung (Lanjutan)

| Komponen | Beban (kN/m ²) | | | | |
|---|----------------------------|------|------|------|------|
| Solid concrete masonry unit | | | | | |
| Wythe thickness (in mm) | 102 | 152 | 203 | 254 | 305 |
| Density of unit (16,49 kN/m ³) | 1,53 | 2,35 | 3,21 | 4,02 | 4,88 |
| Density of unit (19,64 kN/m ³) | 1,82 | 2,82 | 3,78 | 4,79 | 5,79 |
| Density of unit (21,21 kN/m ³) | 1,96 | 3,02 | 4,12 | 5,17 | 6,27 |

(Sumber : SNI 1727:2020)

2.2.2. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh penghuni dan penggunaan bangunan gedung atau struktur lain. Termasuk beban lingkungan seperti beban angin, beban hujan, beban banjir dan beban gempa.

Tabel 2.2 Beban Hidup Minimum Bangunan Gedung

| Hunian atau penggunaan | Merata, L_o psf (kN/m ²) | Reduksi beban hidup dilizinkan? (No. Pasal) | Reduksi beban hidup berlantai banyak dilizinkan? (No. Pasal) | Terpusat lb (kN) | Juga Lihat Pasal |
|---|--|--|--|---------------------|---------------------|
| Apartemen (lihat rumah tinggal) | | | | | |
| Sistem lantai akses | | | | | |
| Ruang kantor | 50 (2,4) | Ya (4.7.2) | Ya (4.7.2) | 2.000 (8,9) | |
| Ruang komputer | 100 (4,79) | Ya (4.7.2) | Ya (4.7.2) | 2.000 (8,9) | |
| Gudang persediaan dan ruang latihan | 150 (7,18) | Tidak (4.7.5) | Tidak (4.7.5) | | |
| Ruang pertemuan | | | | | |
| Kursi tetap (terikat di lantai) | 60 (2,87) | Tidak (4.7.5) | Tidak (4.7.5) | | |
| Lobi | 100 (4,79) | Tidak (4.7.5) | Tidak (4.7.5) | | |
| Kursi dapat dipindahkan | 100 (4,79) | Tidak (4.7.5) | Tidak (4.7.5) | | |
| Panggung pertemuan | 100 (4,79) | Tidak (4.7.5) | Tidak (4.7.5) | | |
| Lantai podium | 150 (7,18) | Tidak (4.7.5) | Tidak (4.7.5) | | |
| Tribun penonton Stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai) | 100 (4,79) | Tidak (4.7.5) | Tidak (4.7.5) | | 4.14 |
| Ruang pertemuan lainnya | 60 (2,87) | Tidak (4.7.5) | Tidak (4.7.5) | | 4.14 |
| Balkon dan dek | 1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihinya 100 psf (4,79 kN/m ²) | Ya (4.7.2) | Ya (4.7.2) | | |
| Jalur untuk akses pemeliharaan | 40 (1,92) | Ya (4.7.2) | Ya (4.7.2) | 300 (1,33) | |
| Koridor | | | | | |
| Lantai pertama | 100 (4,79) | Ya (4.7.2) | Ya (4.7.2) | | |
| Lantai lain | Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain | | | | |
| Ruang makan dan restoran | 100 (4,79) | Tidak (4.7.5) | Tidak (4.7.5) | | |
| Hunian (lihat rumah tinggal) | | | | | |
| Dudukan mesin elevator (pada area 2 in.x 2 in. [50 mm x 50 mm]) | - | - | - | 300 (1,33) | |
| Konstruksi pelat lantai <i>finishing ringan</i> (pada area 1 in.x 1 in. [25 mm x 25 mm]) | - | - | - | 200 (0,89) | |

(Sumber : SNI 1727:2020)

2.2.3. Beban Angin

Beban angin adalah beban pada gedung yang terjadi karena adanya selisih dalam tekanan udara. Arah gaya beban angin tegak lurus dengan bangunan. Gaya terbesar beban angin berada pada bangunan yang paling tinggi. Faktor Arah Angin bisa dilihat di Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Faktor Arah Angin

| Tipe struktur | Faktor arah angin K_d |
|---|-------------------------|
| Bangunan gedung | |
| Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU) | 0,85 |
| Komponen dan Kladding (K&K) | 0,85 |
| Atap lengkung | 0,85 |
| Kubah berbentuk bundar | 1,0 ^a |
| Cerobong, tangki, dan struktur serupa | 0,90 |
| Persegi | 0,95 |
| Segi enam | 1,0 ^a |
| Segi delapan | 1,0 ^a |
| Bundar | |
| Dinding solid yang berdiri bebas, peralatan bagian atap, dan panel petunjuk solid yang berdiri bebas serta panel petunjuk terikat | 0,85 |
| Panel petunjuk terbuka dan rangka terbuka bidang tunggal | 0,85 |
| Rangka batang menara | |
| Segitiga, persegi, atau persegi panjang | 0,85 |
| Semuta penampang lainnya | 0,95 |

(Sumber : SNI 1727:2020)

2.2.4. Beban Gempa

Gempa bumi merupakan beban dinamis, yaitu beban yang besar dan arahnya dapat berganti-ganti menurut waktu. Salah satu akibat dinamis ini adalah gedung akan mengalami simpangan horizontal, apabila suatu bangunan telah melebihi syarat aman dari simpangan horizontal yang telah ditetapkan maka bangunan tersebut akan mengalami keruntuhan. Beban geser dasar nominal statik ekuivalen akibat gempa (V) yang bekerja pada struktur bangunan gedung ditentukan dengan persamaan berikut :

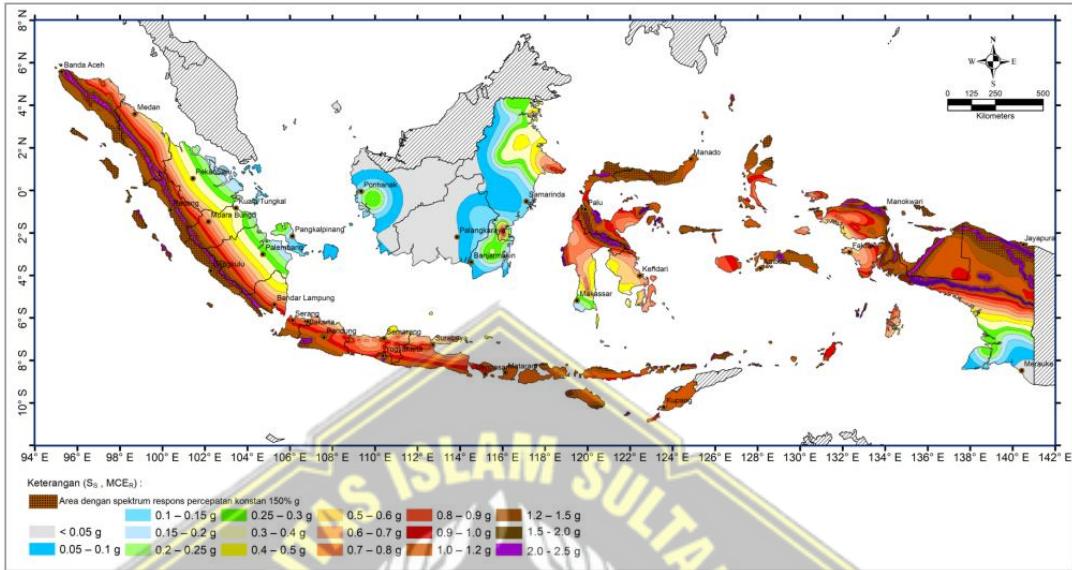
$$V = C_s \times W \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (2.1)$$

Keterangan :

C_s = Koefisien respons seismik

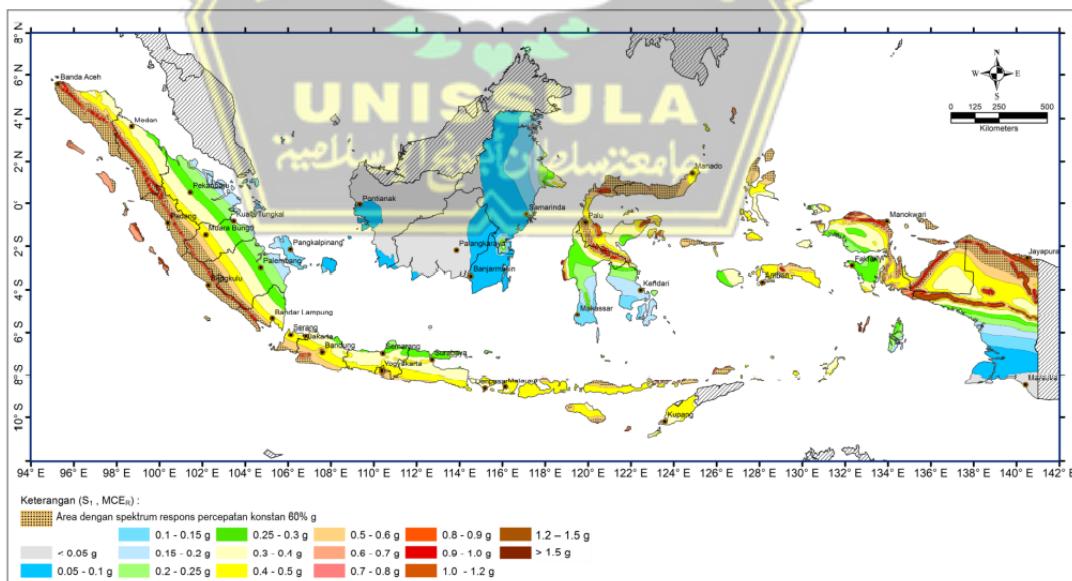
W = Berat seismik efektif

Peta Gempa Indonesia berdasarkan parameter gerak tanah S_s gempa maksimum dan parameter gerak tanah S_1 gempa maksimum dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2.



Gambar 2.1 Peta Gempa Indonesia berdasarkan parameter gerak tanah S_s gempa maksimum

(Sumber : SNI 1726-2019)



Gambar 2.2 Peta Gempa Indonesia berdasarkan parameter gerak tanah S_1 gempa maksimum

(Sumber : SNI 1726-2019)

2.3. Syarat Struktur Tahan Gempa Bangunan Gedung

2.3.1. Spektrum Respon Desain

Dalam menghitung nilai spektrum respon desain dapat mengacu pada Gambar 2.1 dan rumus-rumus berikut sesuai dengan aturan SNI 1726-2019 Pasal 6.4 :

1. Nilai $T < T_0$

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots \dots \dots \quad (2.2)$$

2. Nilai $T_0 \leq T \leq T_s$

$$S_a = S_{DS} \dots \dots \dots \quad (2.3)$$

3. Nilai $T_s \leq T \leq TL$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots \dots \dots \quad (2.4)$$

4. Nilai $TL \leq T$

$$S_a = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2} \dots \dots \dots \quad (2.5)$$

Keterangan :

T = Periode getar fundamental struktur (detik)

S_a = Nilai respon spektrum desain

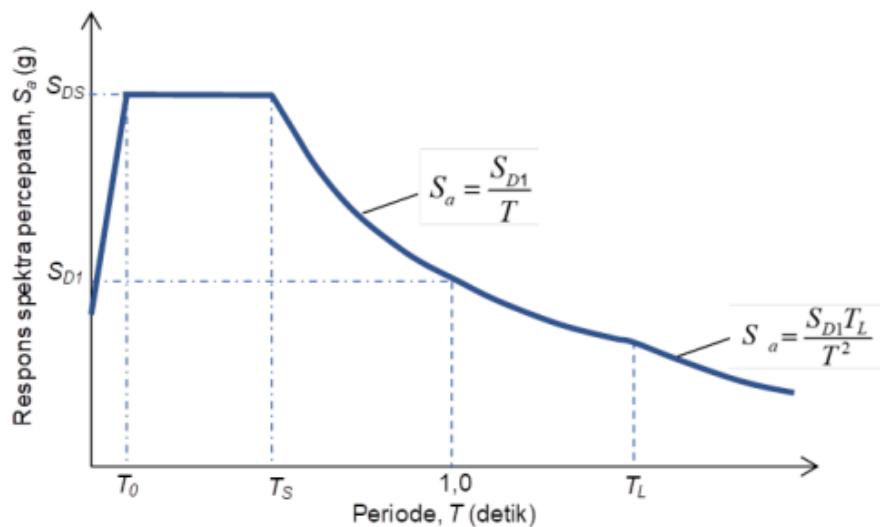
S_{DS} = Parameter respon spektal percepatan desain periode pendek

S_{D1} = Parameter respon spektal percepatan desain periode 1 detik

Nilai T_0 dan T_s diperoleh dari :

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots \dots \dots \quad (2.6)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots \dots \dots \quad (2.7)$$



Gambar 2.3 Spektrum Respons Desain

(Sumber : SNI 1726-2019)

2.3.2. Kategori Desain Seismik

Sebuah bangunan harus diklasifikasikan ke dalam kategori desain seismik untuk menentukan besarnya kemungkinan gempa saat merancang struktur bangunan tahan gempa. Tabel 2.2 dan 2.3 merupakan kategori desain seismik berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 6.5.

Tabel 2.4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

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

(Sumber : SNI 1726-2019)

Tabel 2.5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

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

(Sumber : SNI 1726-2019)

2.3.3. Parameter Percepatan Spektral Desain

Rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung parameter percepatan spektral desain untuk periode S_{DS} dan periode S_{D1} :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad \dots \dots \dots \quad (2.8)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad \dots \dots \dots \quad (2.9)$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter respon spektral percepatan desain periode pendek

S_{D1} = Parameter respon spektral percepatan desain periode 1 detik

2.3.4. Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum Risiko Tertarget

Nilai parameter respon spektral akselerasi pada periode pendek (S_{MS}) dan pada periode 1 detik (S_{M1}) ditentukan masing – masing menggunakan Persamaan 2.10 dan Persamaan 2.11.

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad \dots \dots \dots \quad (2.10)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad \dots \dots \dots \quad (2.11)$$

Keterangan :

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik

Berdasarkan pedoman dalam SNI 1726 – 2019, tabel berikut mencantumkan koefisien tapak untuk F_a dan F_v .

Tabel 2.6 Koefisien Situs F_a

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

(Sumber : SNI 1726-2019)

Tabel 2.7 Koefisien Situs F_v

| Kelas situs | Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_I | | | | | |
|-------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| | $S_I \leq 0,1$ | $S_I = 0,2$ | $S_I = 0,3$ | $S_I = 0,4$ | $S_I = 0,5$ | $S_I \geq 0,6$ |
| SA | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SB | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SC | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,4 |
| SD | 2,4 | 2,2 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,7 |
| SE | 4,2 | 3,3 | 2,8 | 2,4 | 2,2 | 2,0 |
| SF | SS ^(a) | | | | | |

(Sumber : SNI 1726-2019)

2.3.5. Kategori Risiko Bangunan Gedung

Kategori risiko bangunan ditentukan oleh sifat dan tujuan struktur. Kategori risiko bangunan yang tercantum di bawah ini sesuai dengan SNI 1726 - 2019

Tabel 2.8 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

| Jenis pemanfaatan | Kategori risiko |
|--|-----------------|
| Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya | I |
| Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik | II |
| Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo | III |
| Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi | |
| Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran. | |

Tabel 2.8 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa (Lanjutan)

| Jenis pemanfaatan | Kategori risiko |
|--|-----------------|
| <p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p> | IV |

(Sumber : SNI 1726-2019)

Setelah mengetahui kategori resiko bangunannya maka akan diperoleh faktor keutamaan gempanya dengan mengacu pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Faktor Keutamaan Gempa

| Kategori risiko | Faktor keutamaan gempa, I_r |
|-----------------|-------------------------------|
| I atau II | 1,0 |
| III | 1,25 |
| IV | 1,50 |

(Sumber : SNI 1726-2019)

2.3.6. Klasifikasi Situs

Besarnya percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu lokasi harus dikategorikan sebelum membuat kriteria desain seismik untuk bangunan di permukaan tanah. Tabel klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726 – 2019 adalah Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Klasifikasi Situs

| Kelas Situs | \bar{v}_s (m/detik) | \bar{N} atau \bar{N}_{ch} | \bar{s}_u (kPa) |
|--|---|-------------------------------|-------------------|
| SA (batuan keras) | > 1500 | N/A | N/A |
| SB (batuan) | 750 sampai 1500 | N/A | N/A |
| SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak) | 350 sampai 750 | > 50 | ≥ 100 |
| SD (tanah sedang) | 175 sampai 350 | 15 sampai 50 | 50 sampai 100 |
| SE (tanah lunak) | < 175 | < 15 | < 50 |
| | Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : | | |
| | <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir, $\bar{s}_u < 25$ kPa | | |
| SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0) | Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak / setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa | | |

Catatan : N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber : SNI 1726-2019)

2.3.7. Kombinasi Sistem Perangkai Dalam Arah yang Berbeda

Saat menggunakan beberapa sistem gaya gempa, nilai R , D_c dan Ω_0 harus diterapkan pada setiap sistem, bersama dengan batasan struktural yang tercantum dalam Tabel 12 SNI 1726 – 2019. Besaran nilai ditujukan oleh Tabel 2.11.

Keterangan :

R = Koefisien modifikasi respons

C_d = Faktor pembesaran defleksi

Ω_0 = Faktor kuat lebih sistem

Tabel 2.11 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

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

(Sumber : SNI 1726-2019)

2.3.8. Gaya Dasar Seismik

Dalam SNI 1726-2019 gaya dasar seismik dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$V = C_s \times W \quad \dots \dots \dots \quad (2.36)$$

$$C_s = \frac{(S_{DS})}{\frac{R}{I_e}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.37)$$

$$C_s \max = \frac{S_{DS}}{T^2 \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad \dots \dots \dots \quad (2.37)$$

$$C_s \min = 0,004 \times S_{DS} \times I_e > 0,001 \quad \dots \dots \dots \quad (2.38)$$

Persamaan 2.39 digunakan untuk menentukan nilai C_s untuk $S_1 \geq 0,6g$.

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\frac{R}{I_e}} \dots \dots \dots \quad (2.39)$$

2.3.9. Pengaruh P-Delta

SNI 1726 – 2019 menyatakan bahwa jika koefisien stabilitas (θ) $\leq 0,10$, tidak perlu memperhitungkan dampak P – delta pada geser dan momen tingkat, tekanan dan momen yang dihasilkan dari elemen struktur atau akibat simpangan antar tingkat.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \dots \dots \dots \quad (2.40)$$

Keterangan :

- P_x = Beban desain vertikal total di atas tingkat X
- Δ = Simpangan antar tingkat desain
- I_e = Faktor keutamaan gempa
- V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antar tingkat X dan X-1
- H_{sx} = Tinggi tingkat di bawah tingkat X
- C_d = Faktor pembesaran defleksi pada SNI 1726-2019 Tabel 12

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi θ_{max} , nilai θ_{max} dapat diperoleh menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \dots \dots \dots \quad (2.41)$$

Dengan β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat X dan X-. β ini diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0 .

2.3.10. Simpangan Antar Tingkat

Perhitungan simpangan antar tingkat rancangan (Δ) sebagai selisih daviasi antara pusat massa dan di bawah tingkat. Rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung simpangan pusat massa pada tingkat -x (δ_x) (mm) :

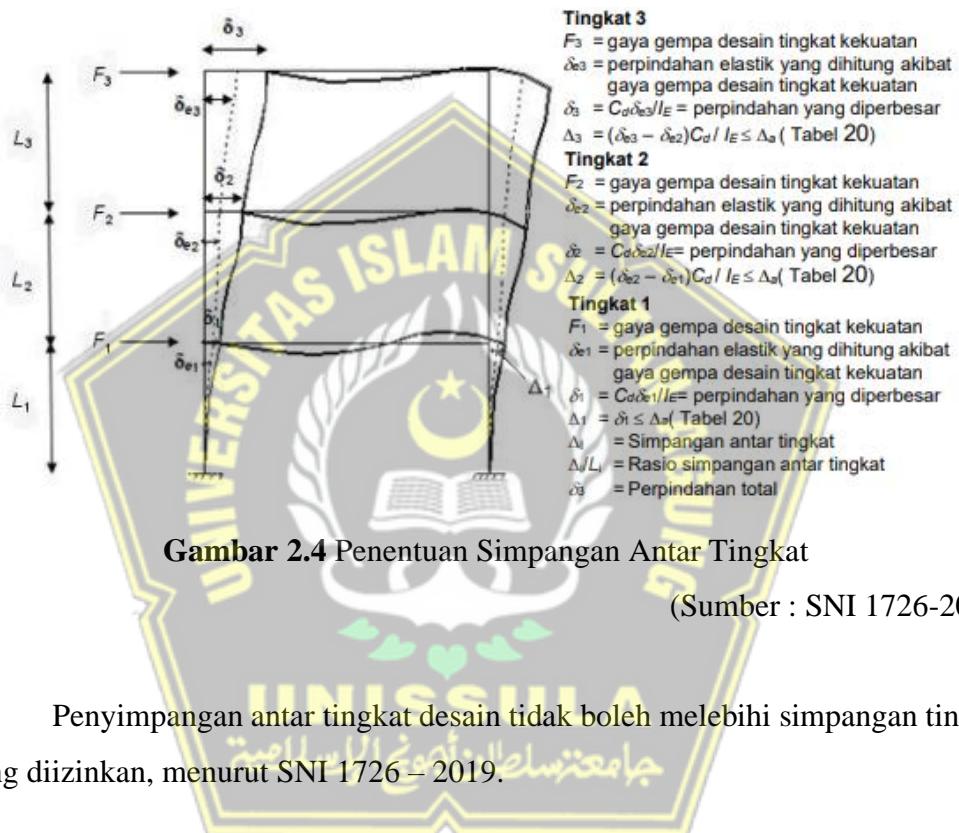
$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad \dots \dots \dots \quad (2.42)$$

Keterangan :

C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral dalam Tabel 12 SNI 1726-2019

δ_{xe} = Simpangan di tingkat -X yang disyaratkan ditentukan dengan analisis elastik

I_e = Faktor keutamaan gempa dalam Tabel 4 SNI 1726 – 2019



Penyimpangan antar tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan tingkat yang diizinkan, menurut SNI 1726 – 2019.

Tabel 2.12 Simpangan Antar Tingkat Izin

| Struktur | Kategori risiko | | |
|---|------------------|----------------|----------------|
| | I atau II | III | IV |
| Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat. | $0,025 h_{xx}^c$ | $0,020 h_{xx}$ | $0,015 h_{xx}$ |
| Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d | $0,010 h_{xx}$ | $0,010 h_{xx}$ | $0,010 h_{xx}$ |
| Struktur dinding geser batu bata lainnya | $0,007 h_{xx}$ | $0,007 h_{xx}$ | $0,007 h_{xx}$ |
| Semua struktur lainnya | $0,020 h_{xx}$ | $0,015 h_{xx}$ | $0,010 h_{xx}$ |

(Sumber : SNI 1726-2019)

2.3.11. Klasifikasi Ketidakberaturan Struktur

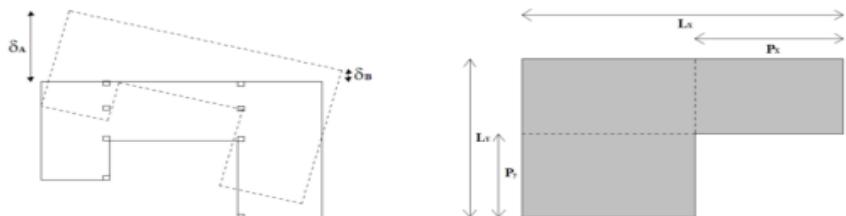
A. Ketidakberaturan Horizontal

Ketidakberaturan struktur horizontal adalah kategori untuk struktur dengan satu atau lebih bentuk ketidakberaturan. Pada Tabel 2.13 merupakan Tabel Ketidakberaturan Horizontal Struktur sesuai ketetapan SNI 1726-2019.

Tabel 2.13 Ketidakberaturan Horizontal

| | Tipe dan penjelasan ketidakberaturan | Pasal referensi | Penerapan kategori desain seismik |
|-----|--|---|--|
| 1a. | Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku. | 0 0 0 0 Tabel 16 0 | D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F |
| 1b. | Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku. | 0 0 0 0 0 0 0 0 Tabel 16 0 | E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D |
| 2. | Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau. | 0 Tabel 16 | D, E, dan F D, E, dan F |
| 3. | Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya. | 0 Tabel 16 | D, E, dan F D, E, dan F |
| 4. | Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral. | 0 0 0 Tabel 16 0 | B, C, D,E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F |
| 5. | Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik. | 0 0 Tabel 16 0 | C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F |

(Sumber SNI 1726-2019)



(a) Ketidakberaturan 1a dan 1b

(b) Ketidakberaturan 2



(c) Ketidakberaturan 3



Gambar 2.5 Ketidakberaturan Horizontal

(Sumber SNI 1726-2019)

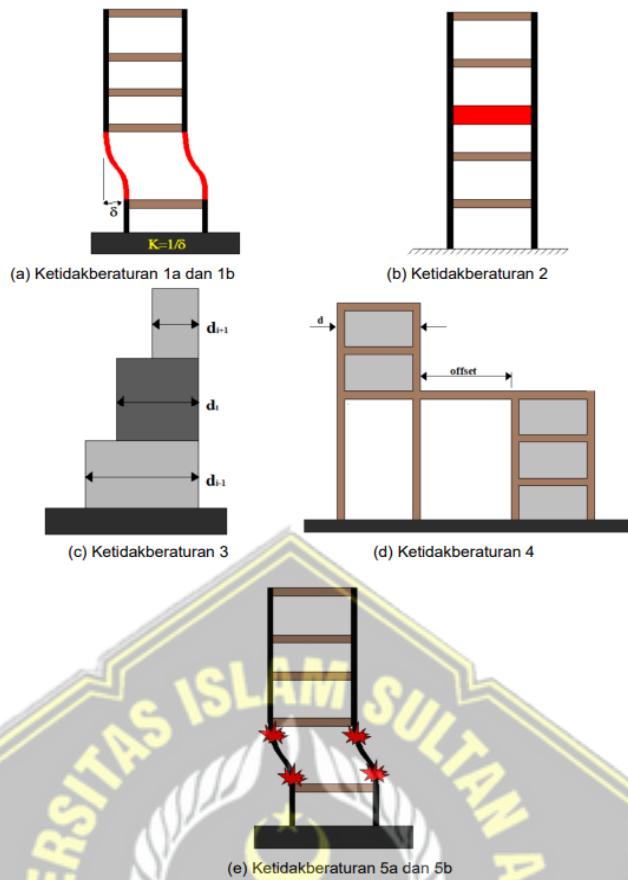
B. Ketidakberaturan Vertikal

Ketidakberaturan struktur vertikal didefinisikan sebagai struktur dengan satu atau lebih bentuk ketidakberaturan. Ketidakberaturan horizontal pada struktur yang tercantum pada Tabel 2.10 telah sesuai dengan pedoman SNI 1726 – 2019.

Tabel 2.14 Ketidakberaturan Vertikal

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

(Sumber SNI 1726-2019)



Gambar 2.6 Ketidakberaturan Vertikal

(Sumber : SNI 1726-2019)

2.3.12. Analisis Spektrum Respons Ragam

A. Jumlah Ragam

Untuk mencapai massa ragam terkombinasi 100% dari massa struktur, maka untuk ragam satu badan kaku (*single rigid body*) dengan periode 0,05 detik diizinkan untuk mengambil semua ragam dengan periode di bawah 0,05 detik.

B. Parameter Respons Ragam

Nilai parameter desain, termasuk simpangan antar lantai, gaya dukung dan gaya elemen struktur individu harus dihitung dengan masing-masing ragam dan spektrum respons didefinisikan dalam 0 atau 0 dibagi kuantitas (R / I_e). Sedangkan nilai untuk perpindahan dan kuantitas simpangan antar lantai harus dikalikan dengan kuantitas (C_d / I_e).

2.3.13. Periode Fundamental

Nilai krusial yang perlu dipertimbangkan saat merancang konstruksi bangunan tahan gempa adalah periode dasar (T). Karakteristik struktural dan karakteristik deformasi bagian pendukung dalam analisis yang diuji dapat digunakan untuk menentukan nilai periode dasar struktur. Periode pendekatan (T_a) juga dapat digunakan secara langsung untuk menentukan nilai peridoe dasar (T). Berdasarkan SNI 1726-2019 nilai T_a dapat dicari menggunakan persamaan berikut :

$$T_{\max} \equiv C_u T_a \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (2.43)$$

$$T_a \equiv C_t h_n^x \dots \quad (2.44)$$

Berikut merupakan persamaan yang menjadi acuan untuk menentukan periode desain yang akan digunakan :

Jika $T_c < T_a$, maka yang diambil adalah dari perhitungan manual T_a

jika $T_a < T_c < C_u \times T_a$, maka yang diambil adalah perhitungan software T_c

Jika $C_u x T_a < T_c$, maka yang diambil adalah perhitungan pendekatan $C_u x T_c$

Keterangan :

T = Periode getar struktur (detik)

C_u = Koefisien untuk batasan atas periode yang dihitung

T_a = Periode pendektan (detik)

T_{max} = Periode maksimum (detik)

H_n = Ketinggian struktur (m)

T_c ≡ Periode fundamental str.

C_t dan X ditentukan dari Tabel 18 SNI 1726-2019

Figure 1. A schematic diagram of the experimental setup. The light source (laser) emits light through a lens and beam splitter. The beam splitter splits the light into two paths: one path goes through a polarizer and a lens to a photomultiplier tube (PMT), and the other path goes through a lens to a beam splitter. The beam splitter splits the light into two paths: one path goes through a lens to a PMT, and the other path goes through a lens to a beam splitter. This process repeats until the light is detected by a PMT.

Tabel 2.15 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

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

(Sumber : SNI 1726-2019)

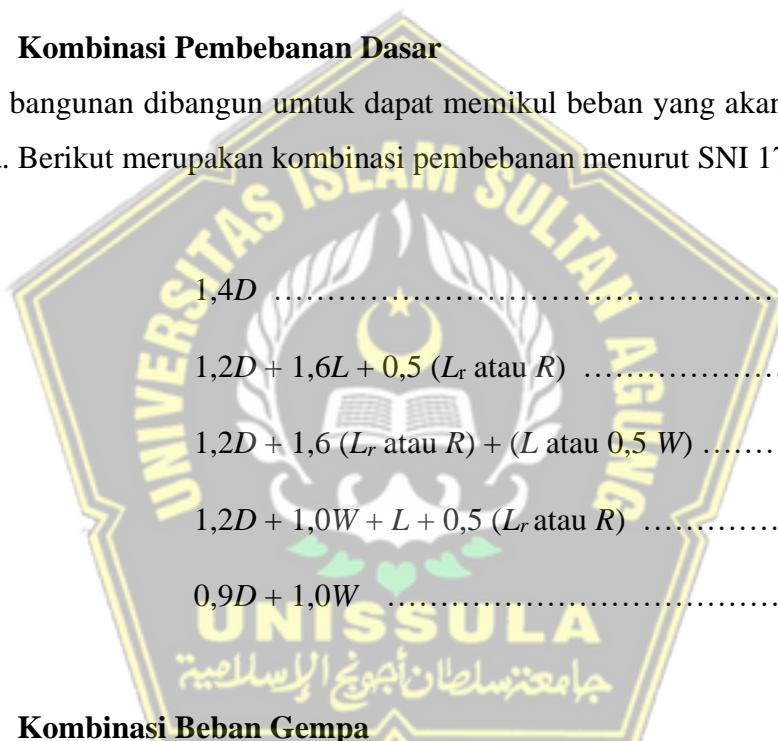
Tabel 2.16 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

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

(Sumber : SNI 1726-2019)

2.3.14. Kombinasi Pembebaan Dasar

Sebuah bangunan dibangun untuk dapat memikul beban yang akan diletakkan di atasnya. Berikut merupakan kombinasi pembebaan menurut SNI 1726-2019.



2.3.15. Kombinasi Beban Gempa

Sangat penting untuk mempertimbangkan perhitungan beban gempa saat merancang bangunan, terutama bangunan bertingkat tinggi, berikut merupakan kombinasi beban gempa menurut peraturan SNI 1726-2019.

$$1,2D + E_y + E_h + L \dots \dots \dots \quad (2.50)$$

$$0,9D - E_y + E_h \dots \dots \dots \quad (2.51)$$

$$1,2D + E_y + E_{mh} + L \dots \dots \dots \quad (2.52)$$

$$0,9D - E_y + E_{mh} \dots \dots \dots \quad (2.53)$$

2.4. Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) adalah sistem rangka pemikul momen yang melalui mekanisme lentur dapat memikul beban lateral yang ditimbulkan oleh gempa bumi serta gravitasi dalam ruang tumpuan lengkap. Beban mati struktur dan beban hidup yang dibawa di dalam gedung itu sendiri bersama – sama membentuk beban gravitasi. Beban angin dan seismik termasuk dalam beban lateral. Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) meliputi tiga tingkatan berdasarkan SNI 1726 – 2019, yaitu:

1) Sistem Rangka pemikul Momen Biasa (SPRMB)

Pada desain seismik kategori A digunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SPRMB). Dengan menggunakan sistem ini, struktur bangunan di zona satu dan dua dengan kegempaan rendah dapat dihitung. Hal – hal yang harus diperhitungkan di sistem ini, antara lain :

- a. Bagian bawah penampang, sisi dan paling sedikit dua tulangan memanjang menerus harus ada pada balok. Luas tulangan bawah menerus harus seperempat luas maksimum tulangan bawah.
- b. Nilai minimum antara gaya geser terikat dan kekuatan momen nominal atau gaya geser maksimum yang ditentukan dari kombinasi beban rancangan harus ada pada kolom dengan panjang tak tertumpu $l_u \leq 5c_1$.

2) Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SPRMM)

Pada desain seismik kategori C, digunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SPRMM). Sistem Rangka yang dikenal dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SPRMM) memiliki elemen struktur yang dapat menahan tegangan lentur, geser dan aksial. Ketentuan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SPRMM) mengacu pada SNI 2847 – 2019, yaitu :

- a. Gaya tekan aksial yang terdapat dalam komponen struktur pada detail tulangan balok tidak melebihi $A_g \times \frac{F_{c'}}{10}$.

- b. Gaya tekan aksial yang dihitung terkait dengan tumbukan gempa yang terdapat pada bagian kaku pada tulangan kolom lebih besar dari $Ag \times \frac{Fc'}{10}$.

3) Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SPRMK)

Pada desain seismik kategori D dan E digunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Sistem rangka ini pada struktur beton bertulang dengan detail menghasilkan struktur yang fleksibel sehingga memiliki daktilitas yang tinggi. Berdasarkan Pasal 18.6 SNI 2847 – 2019, elemen struktur berikut merupakan bagian dari Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK):

- a. SNI 2847 – 2019 Pasal 18.6 ini mengatur tentang Sistem tahan gempa pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
 - b. Gaya tekan aksial terfaktor (P_u) pada komponen struktur

$$P_u < Ag \times \frac{Fc}{10} \dots \dots \dots \quad (2.54)$$

- c. Tinggi efektif (d) dan bentang bersih komponen struktur (ln)

- d. Lebar komponen (b_w)

$$b_w > 0,3h \dots \dots \dots \quad (2.56)$$

e. $250 \text{ mm} < b_w < c + 2 \left(\frac{3}{4} h \right)$ (2.57)

2.5. Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Spesifikasi dimensi penampang kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) menurut SNI 2847 – 2019 adalah sebagai berikut :

- Ukuran penampang terkecil tidak kurang dari 300 mm bila diukur dalam garis lurus melintasi pusat geometri.
 - Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurusnya tidak kurang dari 0,4.

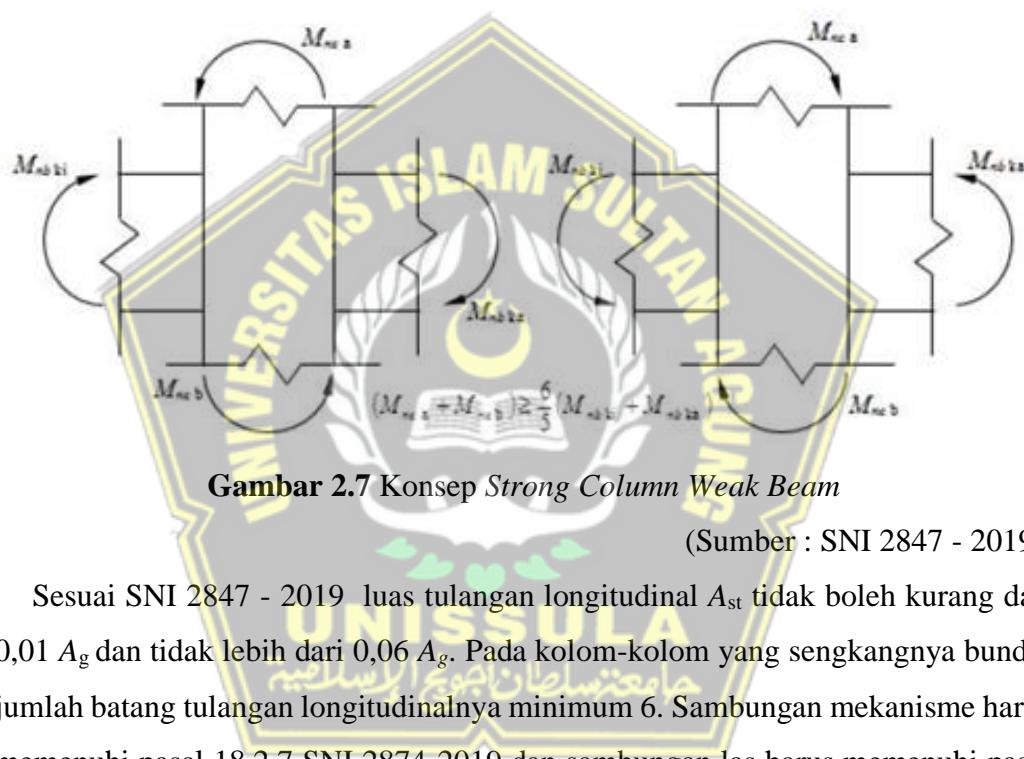
Berdasarkan Pasal 18.7.3.2 SNI 2847 - 2019 kekuatan lentur kolom harus memenuhi syarat seperti persamaan 2.27 agar kolom lebih dari pada balok (*Strong*

Column Weak Beam) dan guna mengurangi kemungkinan leleh pada kolom yang dianggap sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik.

Keterangan :

$\sum M_{nc}$ = Adalah jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangkap kedalam *joint*, yang dievaluasi di muka-muka *joint*.

$\sum M_{nb}$ = Adalah jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi di muka-muka *joint*.



Sesuai SNI 2847 - 2019 luas tulangan longitudinal A_{st} tidak boleh kurang dari 0,01 A_g dan tidak lebih dari 0,06 A_g . Pada kolom-kolom yang sengkangnya bundar jumlah batang tulangan longitudinalnya minimum 6. Sambungan mekanisme harus memenuhi pasal 18.2.7 SNI 2874-2019 dan sambungan las harus memenuhi pasal 18.2.8 SNI 2874-2019. Sambungan lewatan diizinkan hanya dalam daerah tengah tinggi kolom dan harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik dan harus dilingkupi tulangan transversal. Batas bawah luas tulangan longitudinal digunakan untuk mengontrol deformasi jangka panjang dan untuk memiliki momen leleh melebihi momen retaknya.

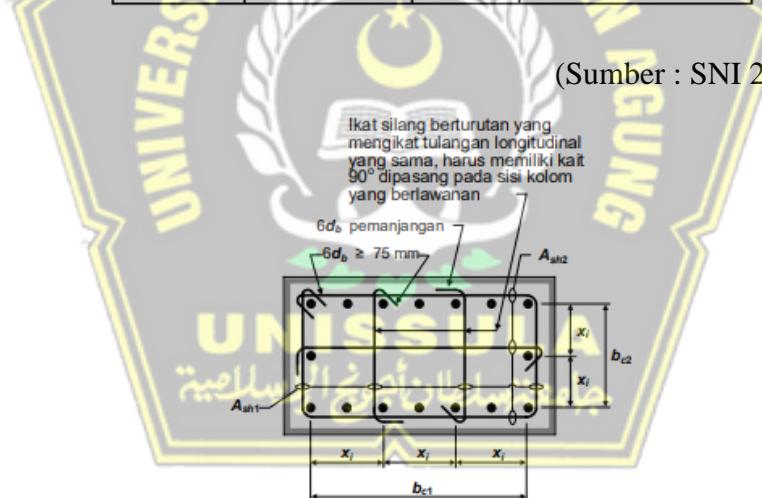
Sesuai SNI 2847 - 2019 tulangan transversal harus dipasang sepanjang l_0 dari masing-masing muka joint dan pada kedua sisi sembarang penampang. Panjang l_0

tidak boleh kurang dari tinggi muka joint, 1/6 tinggi bersih kolom dan 450 mm. Jumlah tulangan transversal harus sesuai dengan Tabel 2.17 sebagai berikut :

Tabel 2.17 Transversal Kolom SRPMK

| Tulangan transversa l | Kondisi | Persamaan yang berlaku |
|--|---|--|
| A_{sh}/sb_c untuk sengkang pengekang persegi | $P_u \leq 0,3A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70 \text{ MPa}$ | Terbesar antara (a) dan (b) $0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (\text{a})$ $0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (\text{b})$ |
| | $P_u > 0,3A_g f'_c$ atau $f'_c > 70 \text{ MPa}$ | Terbesar antara (a), (b) dan (c) $0,2k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}} \quad (\text{c})$ |
| ρ_s untuk spiral ataupun sengkang pengekang lingkaran | $P_u \leq 0,3A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70 \text{ MPa}$ | Terbesar antara (d) dan (e) $0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (\text{d})$ $0,12 \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (\text{e})$ |
| | $P_u > 0,3A_g f'_c$ atau $f'_c > 70 \text{ MPa}$ | Terbesar antara (d), (e) dan (f) $0,35k_f \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}} \quad (\text{f})$ |

(Sumber : SNI 2847 - 2019)



Dimensi x_l antara sumbu-sumbu penampang tulangan longitudinal yang ditopang secara lateral tidak melebihi 350 mm. Nilai h_s dalam Pers. (18.7.5.3) diambil sebagai nilai terbesar dari x_p .

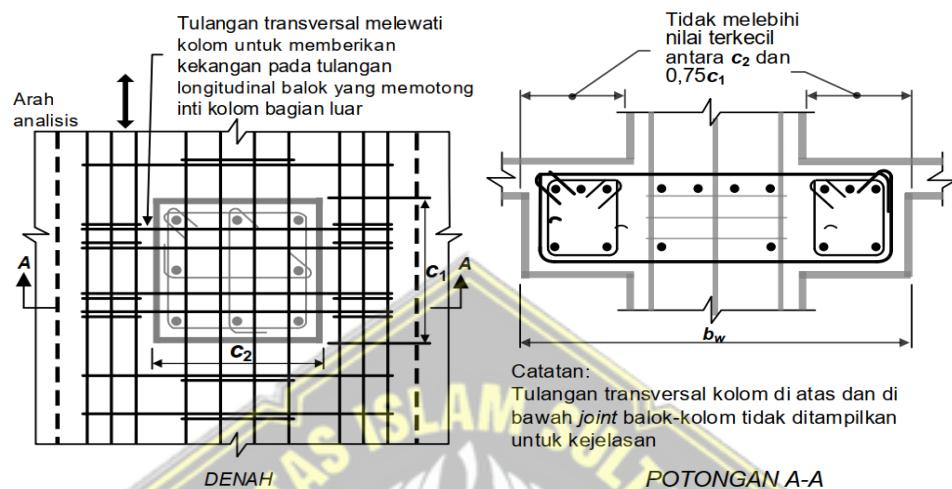
Gambar 2.8 Penulangan Transversal Kolom

(Sumber : SNI 2847 - 2019)

2.6. Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Berdasarkan ketetapan SNI 2847 - 2019 syarat dimensi penampang kolom SRPMK adalah sebagai berikut :

- Bentang bersih l_n harus minimal $4d$
- Lebar penampang b_w harus sekurangnya nilai terkecil dari $0,3h$ dan 250 mm
- Proyek lebar balok yang melampaui kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0,75c_1$ pada masing-masing sisi kolom



Gambar 2.9 Lebar Efektif Maksimum Balok Lebar(Wide Beam) dan

Persyaratan Tulangan Transversal

(Sumber : SNI 2847 - 2019)

Sesuai SNI 2847 - 2019 tulangan longitudinal pada balok harus memiliki setidaknya dua batang tulangan menerus pada sisi atas dan bawah penampang. Pada pertimbangan kerapatan tulangan dan secara langsung membatasi tegangan geser balok dengan proporsi tipikal maka batasan rasio tulangan adalah 0,025. Sambungan lewatan diperbolehkan jika sengkang spiral digunakan di sepanjang sambungan lewatan, tetapi tidak diperbolehkan di dalam sambungan, dalam dua kali kedalaman balok dari permukaan sambungan atau dua kali kedalaman balok dari penampang kritis. Sambungan las harus mengikuti Pasal 18.2.8 SNI 2847 – 2019 serta Pasal 18.2.7 SNI 2847 – 2019 untuk mekanisme penyambungannya.

Sesuai SNI 2847 - 2019 tulangan transversal digunakan sebagai kekangan beton mempertahankan pendukung lateral untuk batang tulangan di lokasi kelelahan terjadi. Sengkang pengekang yang terdapat pada tulangan transversal pada lokasi balok sebagai berikut :

- Di kedua ujung balok, sepanjang garis yang memanjang dua kali tinggi balok dari gelagar ke tengah bentang.
- Peleahan lentur diperkirakan terjadi di sepanjang jarak yang sama dengan dua kali tinggi balok pada kedua sisi penampang.

Sengkang dengan kait seismik pada kedua ujungnya, dua batang tulangan dan pengikat silang untuk penutup dapat digunakan sebagai pengikat pada balok. Sengkang pengekang pertama ditempatkan tidak lebih 50 mm dari muka kolom penumpu. Jarak sengkang pengekang tidak boleh lebih besar dari :

- $d/4$ dengan d adalah diameter tulangan
- Sesuai dengan Pasal 9.7.2.3 SNI 2847 – 2019, tulangan longitudinal samping yaitu enam kali diameter terkecil tulangan lentur utama
- 150 mm



Gambar 2.10 Sengkang Tertutup yang Dipasang Bertumpuk dan Ilustrasi Batasan Maksimum Spasi Horizontal Penumpu Batang Longitudinal

(Sumber : SNI 2847 - 2019)

2.7. Dinding Geser

Dinding Geser merupakan dinding penumpu atau bukan penumpu yang didesain untuk menahan gaya lateral pada bidang dinding. Sesuai dengan ketentuan SNI 1726-2019 Dinding Geser harus memenuhi syarat berikut :

- Ketidakberaturan torsi pada struktur tidak boleh berlebihan.
- Mampu menahan tidak lebih dari 60% dari seluruh gaya seismik ke segala arah tanpa memperhatikan torsi tidak terduga.

Tabel 2.18 Tulangan Minimum Dinding Geser

| Tipe dinding | Tipe dari tulangan nonprategang | Ukuran Tulangan | f_y , MPa | Longitudinal minimum ^[1] , ρ_e | Transversal minimum, ρ_r |
|-------------------------|-------------------------------------|-----------------|-------------|--|-------------------------------|
| Cor di tempat | Batang ulir | ≤ D16 | ≥ 420 | 0,0012 | 0,0020 |
| | | | < 420 | 0,0015 | 0,0025 |
| | | > D16 | Semua | 0,0015 | 0,0025 |
| | Tulangan kawat las | ≤ Ø13 atau D13 | Semua | 0,0012 | 0,0020 |
| Pracetak ^[2] | Batang ulir atau tulangan kawat las | Semua | Semua | 0,0010 | 0,0010 |

(Sumber : SNI 2847 - 2019)

2.8. Pelat

Dalam SNI 2847 - 2019 telah tercantum beberapa aturan dalam merancang pelat dua arah yaitu sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2.19 sampai dengan Tabel 2.21.

Tabel 2.19 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah

Nonprategang Tanpa Balok Interior

| f_y , MPa ^[2] | Tanpa drop panel ^[3] | | Dengan drop panel ^[3] | | | |
|----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------------|----------------|
| | Panel eksterior | | Panel interior | Panel eksterior | | Panel interior |
| | Tanpa balok tepi | Dengan balok tepi ^[4] | | Tanpa balok tepi | Dengan balok tepi ^[4] | |
| 280 | $\ell_n/33$ | $\ell_n/36$ | $\ell_n/36$ | $\ell_n/36$ | $\ell_n/40$ | $\ell_n/40$ |
| 420 | $\ell_n/30$ | $\ell_n/33$ | $\ell_n/33$ | $\ell_n/33$ | $\ell_n/36$ | $\ell_n/36$ |
| 520 | $\ell_n/28$ | $\ell_n/31$ | $\ell_n/31$ | $\ell_n/31$ | $\ell_n/34$ | $\ell_n/34$ |

(Sumber SNI 2847 - 2019)

Tabel 2.20 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang dengan Balok di Antara Tumpuan pada Semua Sisinya

| $\alpha_{fm}^{[1]}$ | h minimum, mm | | |
|------------------------------|--------------------|--|------------------------|
| $\alpha_{fm} \leq 0,2$ | 8.3.1.1 berlaku | | (a) |
| $0,2 < \alpha_{fm} \leq 0,2$ | Terbesar dari : | $\frac{l_n \left(0,08 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (\alpha_{fm} - 0,2)}$ | (b) ^{[2],[3]} |
| | | 125 | (c) |
| $\alpha_{fm} > 0,2$ | Terbesar dari : | $\frac{l_n \left(0,08 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$ | (d) ^{[2],[3]} |
| | | 90 | (e) |

(Sumber SNI 2847 - 2019)

Tabel 2.21 $A_{s,min}$ untuk Pelat Dua Arah Nonprategang

| Jenis Tulangan | F_y , MPa | $A_{s,min}$, mm ² |
|----------------------------|-------------|---|
| Batang ulir | < 420 | 0,0020 A_g |
| Batang ulir atau kawat las | ≥ 420 | Terbesar dari : $\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$ |
| | | 0,0014 A_g |

(Sumber SNI 2847 - 2019)

2.9. Tie Beam (*Sloof*)

Sesuai SNI 2847 – 2019 ada beberapa persyaratan dalam merencanakan *sloof* antara lain sebagai berikut :

- Harus memiliki tulangan longitudinal menerus yang harus disalurkan dalam atau melewati kolom yang ditumpu atau diangkur dalam pondasi telapak.
- Dimensi penampang terendah tidak boleh lebih besar dari 450 mm, tetapi tidak boleh kurang dari ruang kosong antara kolom yang terhubung dibagi 20.

Sengkang untuk pengekangan tertutup harus diberi jarak tidak lebih dari 300 mm atau setengah ukuran penampang ortogonal.

- *Sloof* dan balok-balok yang merupakan bagian pondasi pelat rakit yang dikenai lentur dari kolom yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik harus memenuhi pasal 18.6 SNI 2847 – 2019.

Semua pengikat pondasi diharuskan memiliki kekuatan tarik dan tekan desain yang sekurang – kurangnya sama dengan gaya sebesar 10% S_{DS} dikali nilai terbesar beban mati terfaktor ditambah beban hidup terfaktor pada penutup atau kolom tiang pondasi yang lebih besar sesuai SNI 1726 – 2019 Pasal 7.13.6.2.

2.10. Joint Rangka Momen Khusus (Hubungan Kolom – Balok)

Pada Pasal 18.6.1 SNI 2847 – 2019 dijelaskan bahwa *joint* balok – kolom menghubungkan balok horizontal dan kolom vertikal pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.

Berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 15.2 apabila *joint* dikekang secara lateral pada keempat sisi balok maka pada daerah *joint* balok – kolom interior bangunan tidak membutuhkan tulangan geser. Tulangan transversal dibutuhkan pada *joint* ini untuk mencegah tekuk pada tulangan longitudinal kolom. Luas kaki tulangan transversal pada *joint* balok – kolom berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 15.4.2 diambil dari :

$$0,062 \sqrt{Fc'} \frac{b_s}{f_{yt}} \dots \dots \dots \quad (2.59)$$

$$0,35 \frac{b_s}{f_{vt}} \dots \dots \dots \quad (2.60)$$

Dimana b merupakan dimensi bagian kolom yang tegak lurus terhadap arah yang dipantau.

BAB III

METODE PERANCANGAN

3.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan sebagai proses dari analisis dan perancangan perhitungan struktur. Data primer dan data sekunder tentang gedung ini dibutuhkan dalam perancangan ulang pada Tugas Akhir ini. Beberapa data yang dikumpulkan antara lain :

- 1) Gambar Struktur dan Arsitektur Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang.
 - 2) Data Seismik Wilayah Semarang.
- (Sumber :<http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>)

3.2. Langkah – Langkah Perancangan

Analisis perancangan struktur Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang yang akan dilaksanakan memiliki beberapa tahapan, yaitu :

1) Permodelan Struktur Gedung

Permodelan pada struktur Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang menggunakan *software* ETABS v18.1.1. Fungsi *software* ETABS yaitu untuk menentukan gaya lintang, gaya momen dan gaya normal akibat pembebanan.

2) Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan pada struktur Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang berdasarkan SNI 1727 – 2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Gedung dan Struktur Lain. Tabel tentang Beban Minimum untuk Perancangan Gedung dan Struktur Lain dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan 2.2. Untuk perhitungan beban gempa berdasarkan SNI 2726-2019. Persamaan 2.1, merupakan cara menghitung Gaya Geser Dasar Nominal Statik Ekuivalen akibat gempa.

3) Perancangan dan Permodelan Elemen Struktur

Perancangan dan permodelan struktur pada Tugas Akhir ini hanya fokus pada struktur atas dan berdasarkan pada aturan SNI 2847-2019.

Perancangan pada struktur atas meliputi :

a) Perancangan Pelat Lantai

- Menentukan beban pelat lantai berdasarkan SNI 2847-2019.
Dapat dilihat pada Tabel 2.19 merupakan Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior
- Menghitung M_{lx} , M_{ly} , M_{tx} dan M_{ty} .
- Merancang tulangan pelat.

b) Perancangan Balok

- Menentukan dimensi balok dengan tulangan.
- Membuat permodelan menggunakan *software* ETABS V18.1.1.
- Mengumpulkan data dari momen, gaya geser dan torsi.
- Mendesain penulangan lentur, penulangan transversal dan torsi.

c) Perancangan Kolom

- Mengumpulkan data gaya aksial dan gaya lateral dari *software* ETABS V18.1.1.
- Menentukan dimensi kolom.
- Mendesain tulangan longitudinal.
- Melakukan perhitungan pada momen kapasitas kolom.
- Melakukan kontrol pada *Strong Column Weak Beam*.
- Menghitung tulangan transversal dan gaya geser desain (V_e).

d) Perancangan Hubungan Balok – Kolom (*Joint*)

- Melakukan perhitungan pada gaya geser pada *joint*.
- Melakukan perhitungan tulangan transversal.

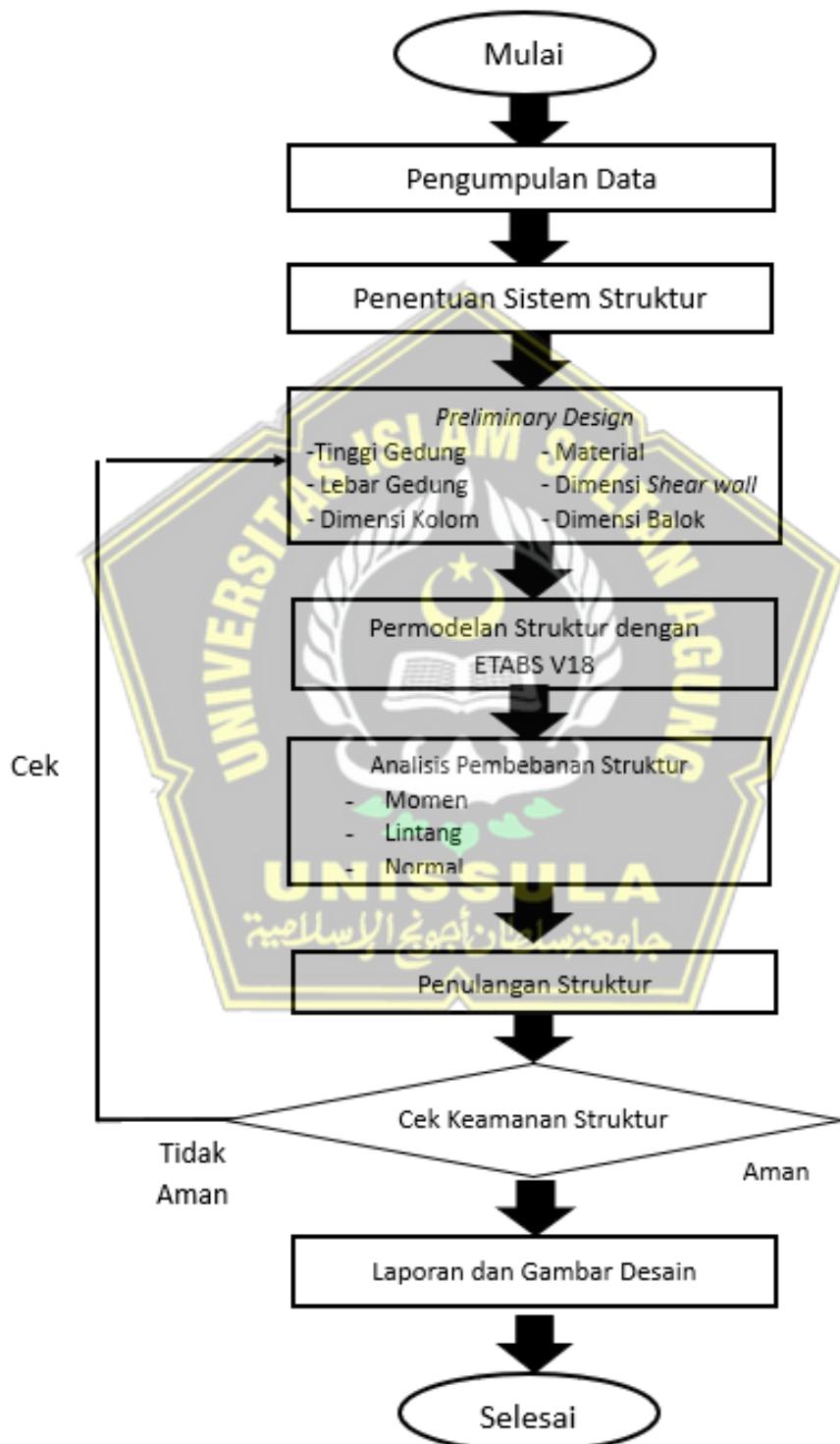
e) Perancangan Dinding Geser (*Shear Wall*)

- Membuat permodelan menggunakan *software* ETABS V18.1.1.
- Mengumpulkan data dari Gaya Dalam Aksial – Lentur
- Menentukan elemen batas khusus
- Mendesain penulangan lentur penulangan transversal, longitudinal dan elemen batas khusus.



3.3. Diagram Alir

Langkah – langkah dalam melakukan perancangan dalam Tugas Akhir dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan

3.4. Standar yang Digunakan

Perancangan Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang menggunakan beberapa peraturan dalam menentukan pembebanan dan perhitungan seperti yang terdapat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Peraturan Standar Perancangan

| No | Nama Peraturan | Tentang |
|----|--|---|
| 1 | SNI 1727:2020 | Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Bangunan Lain |
| 2 | SNI 2847:2019 | Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung |
| 3 | SNI 1726:2019 | Tata Cara Perancangan Ketahanan gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung |
| 4 | Standar peraturan lain yang berlaku di Indonesia | |

3.5. Software yang Digunakan

Perancangan ulang Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang ini menggunakan *software* ETABS V18.1.1 dalam permodelan struktur, analisis dan perancangannya.



BAB IV

ANALISIS DAN PERANCANGAN

4.1 Mutu Bahan Struktur

Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang dibangun dengan menggunakan bahan – bahan struktural dan mutu sebagai berikut :

1. Mutu Beton

Digunakan untuk pelat, kolom, dan balok yaitu :

$$f_{c'} = 35 \text{ MPa} (\text{K}-421,69)$$

2. Mutu Baja Tulangan

$$f_y = 420 \text{ MPa} (\text{ulir}, d \geq 10 \text{ mm})$$

$$f_y = 280 \text{ MPa} (\text{polos}, d \leq 10 \text{ mm})$$

4.2 Pra Dimensi dan Permodelan Struktur

4.9.1 Pra Dimensi Elemen Struktur

- 1) Balok

Pradimensi balok dapat ditentukan menggunakan SNI 2847–2019

Tabel 9.3.1.1 pada. Oleh sebab itu, didapatkan ukuran balok sebagai berikut :

$$\text{- } B1 \ H_{\min} = \frac{L_1}{16} = \frac{6000}{16} = 375 \text{ mm}$$

$$\text{- } B1 \ B_{\min} = 0,5 \ H = 187,5 \text{ mm}$$

Dimensi balok yang diperlukan ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Dimensi Balok yang Digunakan Pada Struktur Gedung

| BALOK | L terpanjang (mm) | H (mm) | B (mm) |
|-------|----------------------|-----------|-----------|
| G1 | 8400 | 700 | 400 |
| G2 | 6000 | 500 | 350 |
| G3 | 6000 | 500 | 250 |
| G4 | 2400 | 250 | 200 |
| B1 | 6000 | 400 | 200 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

2) Kolom

Untuk menentukan dimensi kolom menggunakan persamaan :

$$b < h \quad (4.1)$$

$$b > 300 \quad (4.2)$$

$$b/I \quad (4.3)$$

Menggunakan metode *tributary area* untuk mendapatkan beban total yang ditempatkan pada. Dengan metode ini, P dapat dihitung dengan cara mengalikan beban per meter persegi yang bekerja diatas kolom yang menggunakan *tributary area* paling besar dengan luas daerah pengaruh dalam meter persegi. Karena dianggap beban aksial tidak hanya ditanggung oleh kolom, maka Penulis berani mengambil *preliminary* (Bambang Budiono, 2017) :

$$A_g \geq \frac{P}{0,4 F_{c'}} \quad (4.4)$$

Efek kelangsungan pada komponen struktur tekan yang tidak terkekang lateral dapat diabaikan sesuai dengan SNI 2847 – 2019 Pasal 6.2.5 jika :

$$k \times \frac{l_u}{r} \leq 22 \quad (4.5)$$

Keterangan :

k = Faktor panjang tekuk (jepit – jepit = 0,65)

l_u = Tinggi kolom

r = Radius giransi penampang komponen struktur kolom

Berdasarkan hasil pengecekan rumus tersebut diperoleh penampang kolom pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Dimensi Kolom yang Digunakan Pada Struktur Gedung

| KOLOM | B (mm) | H (mm) |
|-------|--------|--------|
| K1 | 550 | 550 |
| K2 | 450 | 450 |
| K3 | 400 | 400 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

3) Pelat

Ketebalan minimum balok non prategang atau pelat dua arah ditetapkan sesuai Table 8.3.1.1 SNI 2847 – 2019 sebagai berikut :

Tabel 4.3 Tebal Minimum Pelat Dua Arah

| f_y , MPa ^[2] | Tanpa drop panel ^[3] | | Dengan drop panel ^[3] | | |
|----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------------|
| | Panel eksterior | | Panel interior | Panel eksterior | Panel interior |
| | Tanpa balok tepi | Dengan balok tepi ^[4] | | Tanpa balok tepi | Dengan balok tepi ^[4] |
| 280 | $\ell_u/33$ | $\ell_u/36$ | $\ell_u/36$ | $\ell_u/36$ | $\ell_u/40$ |
| 420 | $\ell_u/30$ | $\ell_u/33$ | $\ell_u/33$ | $\ell_u/33$ | $\ell_u/36$ |
| 520 | $\ell_u/28$ | $\ell_u/31$ | $\ell_u/31$ | $\ell_u/31$ | $\ell_u/34$ |

(Sumber : SNI 2847 – 2019)

Ketebalan pelat keseluruhan h tidak boleh kurang dari batasan Table 4.3 untuk pelat non – prategang tanpa balok interior yang merentang di antara tumpuan pada semua sisi dengan rasio bentang panjang dan bentang pendek maksimum sebesar 2.

Hasil penampang pelat ditunjukkan pada Tabel 4.4 dan didasarkan pada tabel refrensi yang disebutkan di atas.

Tabel 4.4 Dimensi Pelat yang Digunakan Pada Struktur Gedung

| PELAT | Tebal Pelat Lantai (mm) |
|-------|----------------------------|
| 12 cm | 120 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4) Dinding Geser

Tabel 4.5 menampilkan hasil perhitungan dinding geser yang dibuat menggunakan aplikasi ETABS.

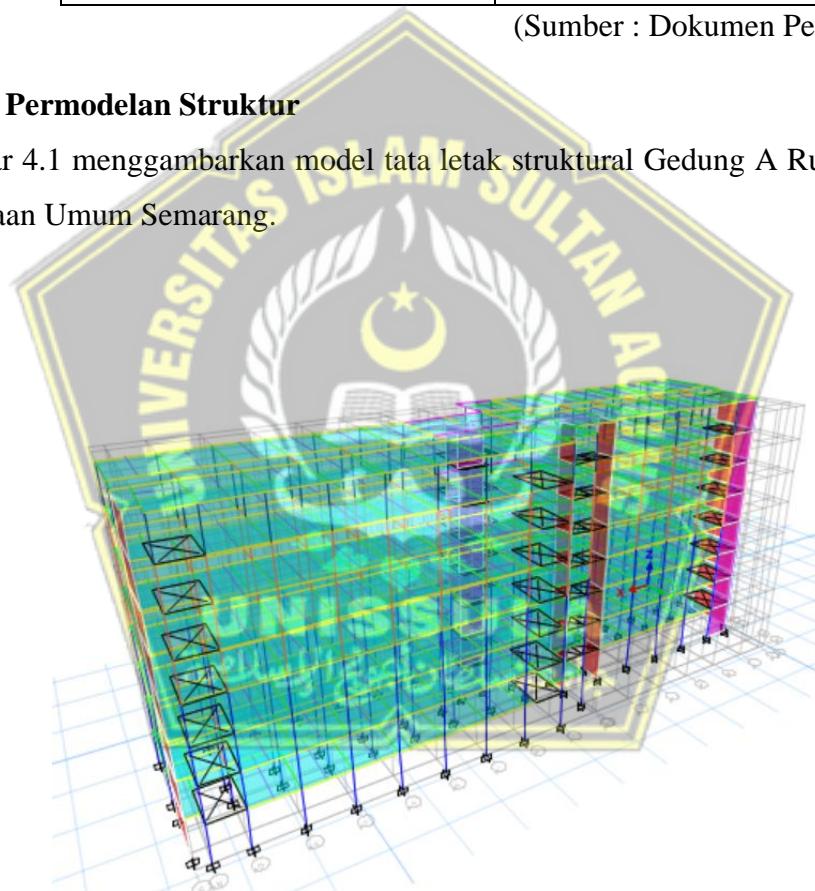
Tabel 4.5 Dimensi Dinding Geser yang Digunakan Pada Struktur Gedung

| Dinding Geser | Tebal Dinding Geser (mm) |
|---------------|--------------------------|
| SW 1 | 200 |
| SW 2 | 300 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.2.2 Permodelan Struktur

Gambar 4.1 menggambarkan model tata letak struktural Gedung A Rumah Susun Pekerjaan Umum Semarang.



Gambar 4.1 Gambar 3D Permodelan Struktur

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

a. Permodelan Menggunakan ETABS V18

Adapun urutan perencanaan pada Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang yang direncanakan menggunakan aplikasi ETABS V18, adalah sebagai berikut :

1) Input Material Properties

Untuk semua komponen struktural utama termasuk balok, kolom dan pelat, bahan konstruksi beton bertulang menggunakan bahan beton F_c' 35 MPa. *Input* data material dilakukan dengan menggunakan ETABS dengan urutan menu pilihan sebagai berikut : *Define – Material – Properties*. Pada Gambar 4.2 ditampilkan tata cara memasukkan data material.



Gambar 4.2 Input Material Properties

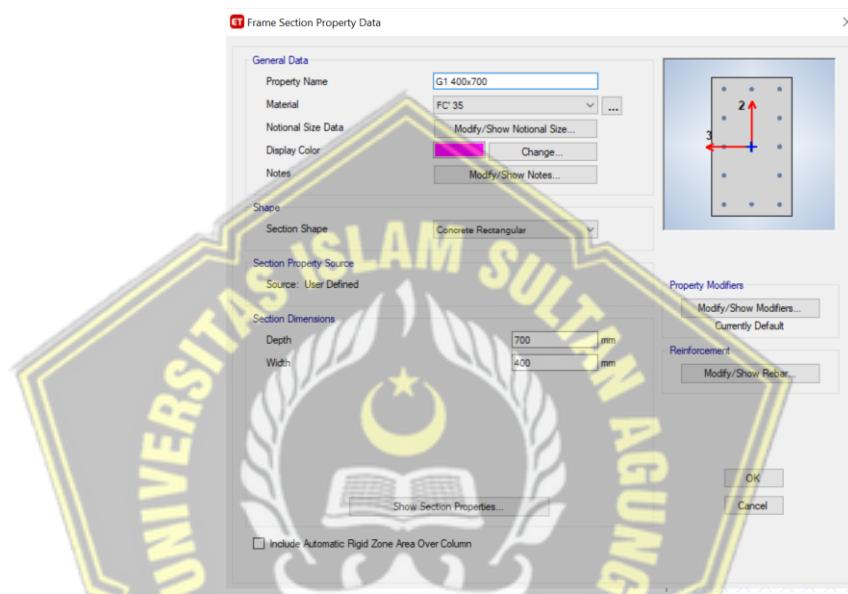
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

2) Input Frame Section (Elemen Struktur)

Input data *Frame section* yaitu struktur primer diantaranya balok, kolom, dan pelat, *Input frame section* dilakukan dengan menggunakan ETABS dengan urutan menu pilihan sebagai berikut :

a. Input Data Balok

Langkah dalam menginput data balok ke aplikasi ETABS balok adalah : *Define – Section Properties – Frame Section – Add New Property*. Gambar 4.3 hingga Gambar 4.8 mengilustrasikan cara memasukan balok.



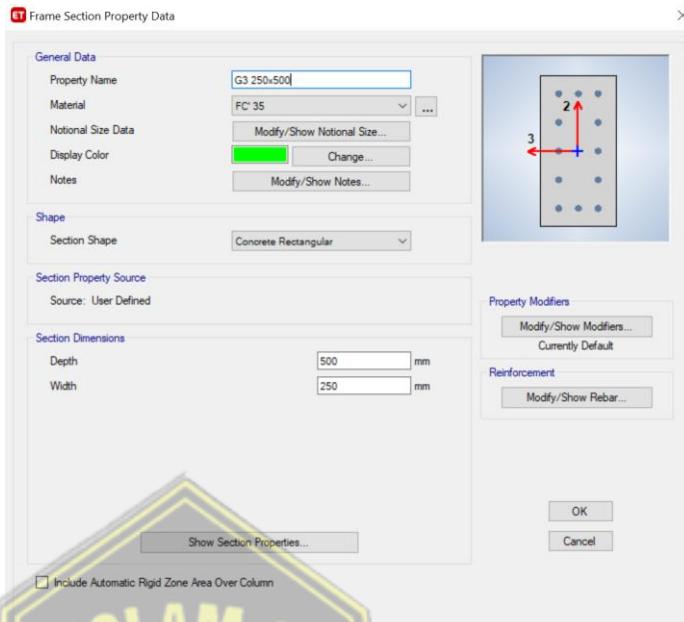
Gambar 4.3 Input Balok G1 400 x 700

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



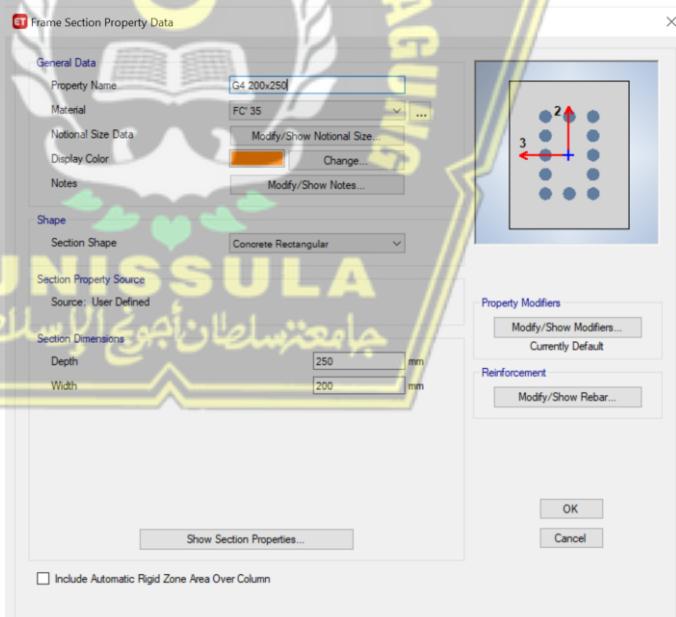
Gambar 4.4 Input Balok G2 350 x 500

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



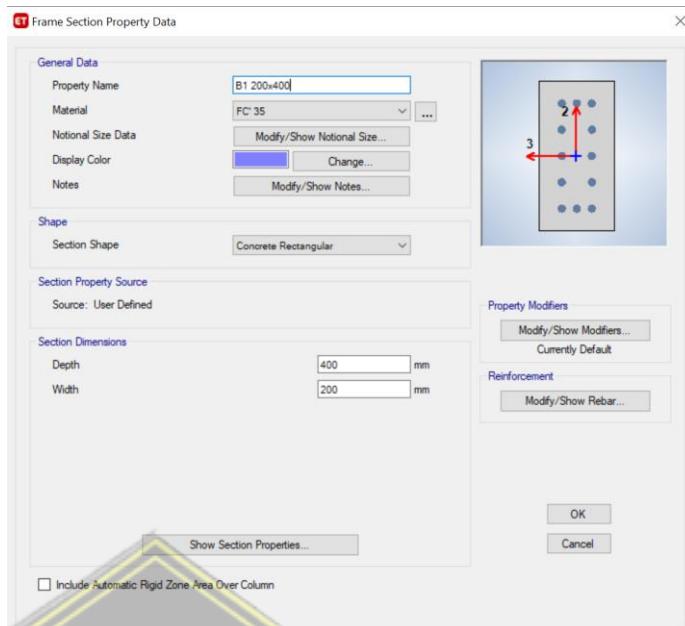
Gambar 4.5 Input Balok G3 250 x 500

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.6 Input Balok G4 200 x 250

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.7 Input Balok B1 200 x 400

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

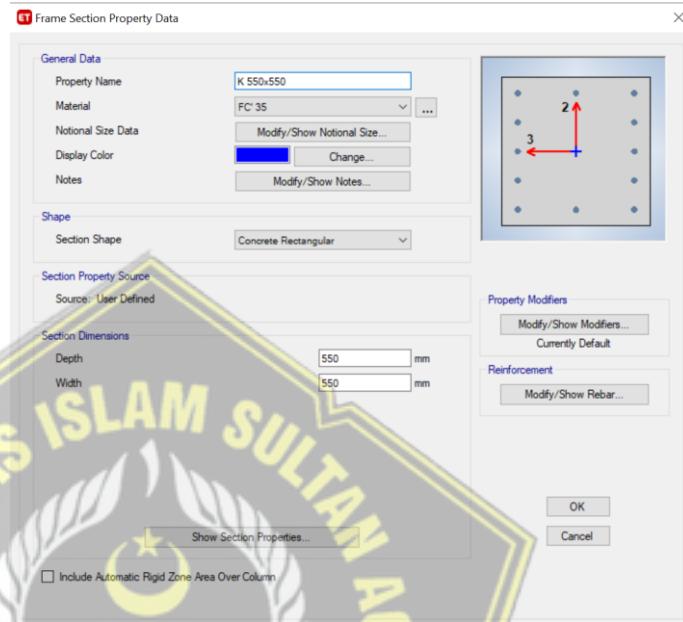


Gambar 4.8 Input Stiffness Modification Factors Balok

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

b. Input Data Kolom

Langkah dalam menginput data kolom ke aplikasi ETABS yaitu : *Define – Section Properties – Frame Section – Add New Property.* Gambar 4.9 hingga Gambar 4.12 mengilustrasikan cara memasukan data kolom.



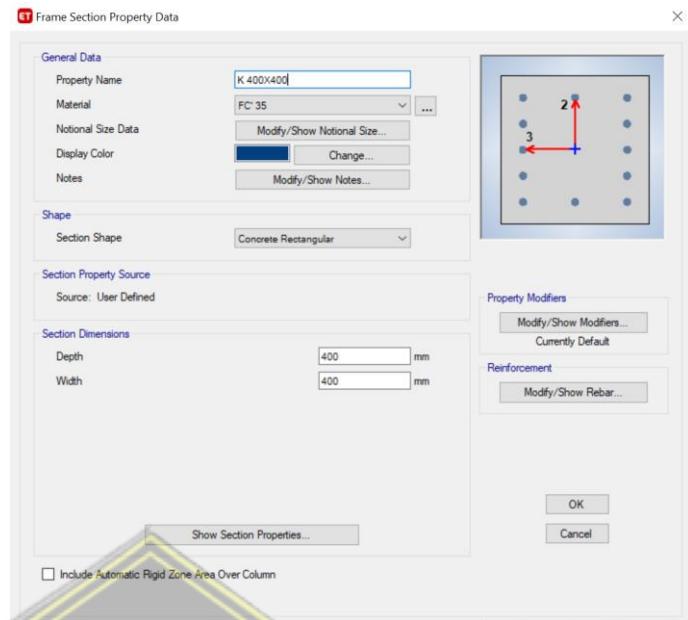
Gambar 4.9 Input Kolom K1 550 x 550

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.10 Input Kolom K2 450 x 450

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.11 Input Kolom K3 400 x 400

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

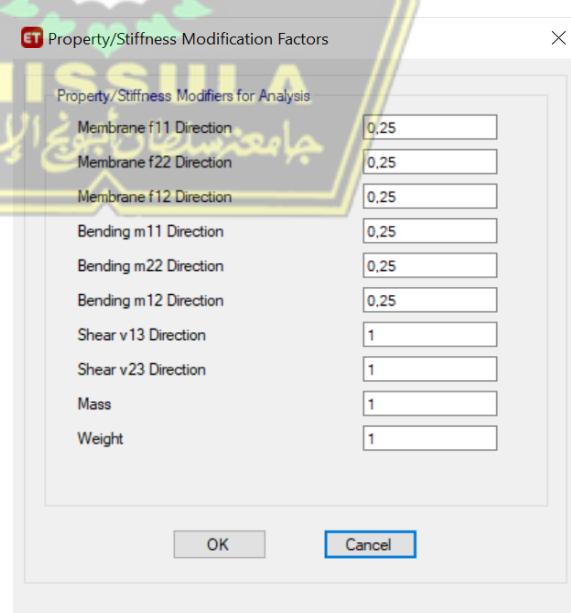
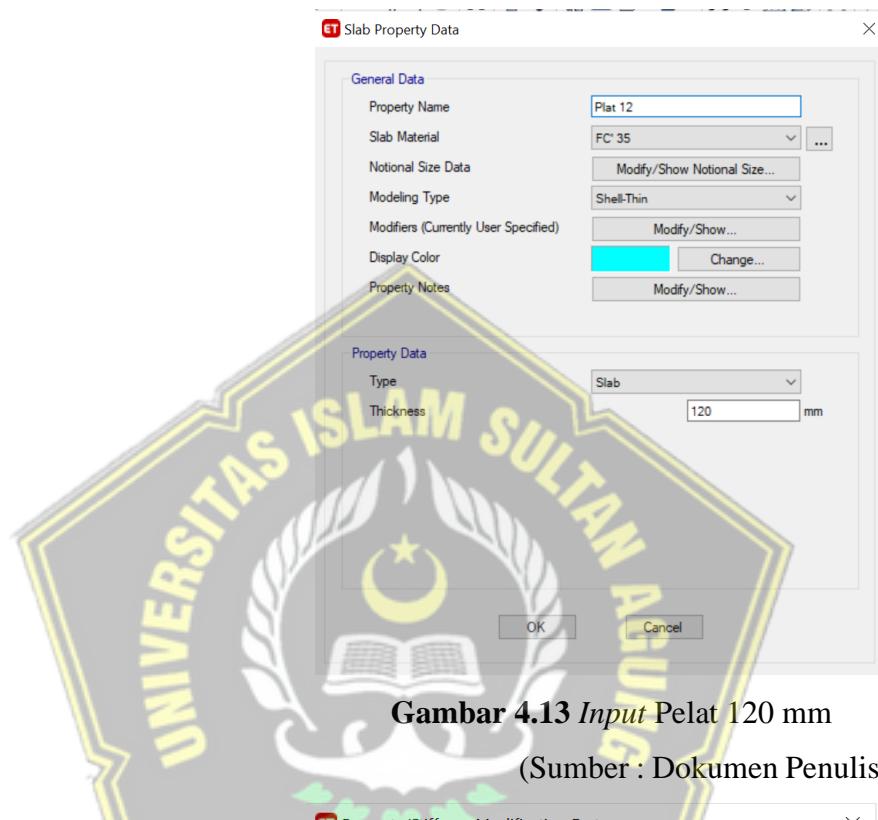


Gambar 4.12 Input Stiffness Modification Factors Kolom

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

c. Input Data Pelat

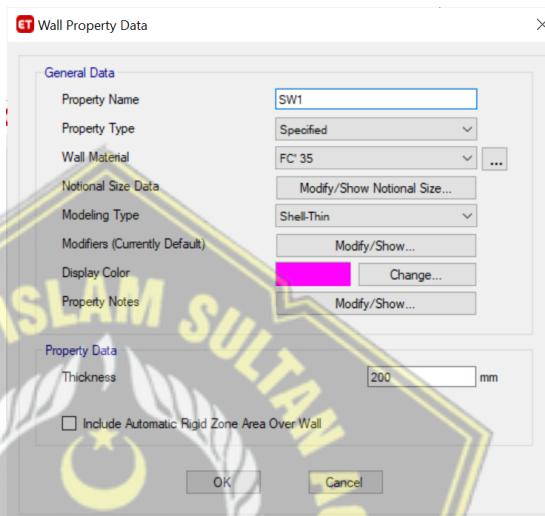
Langkah menginput data pelat ke aplikasi ETABS yaitu : *Define – Section Properties – Slab Section – Add New Property*. Gambar 4.13 hingga Gambar 4.14 mengilustrasikan cara memasukan data pelat.



Gambar 4.14 Input Stiffness Modification Factors Pelat
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

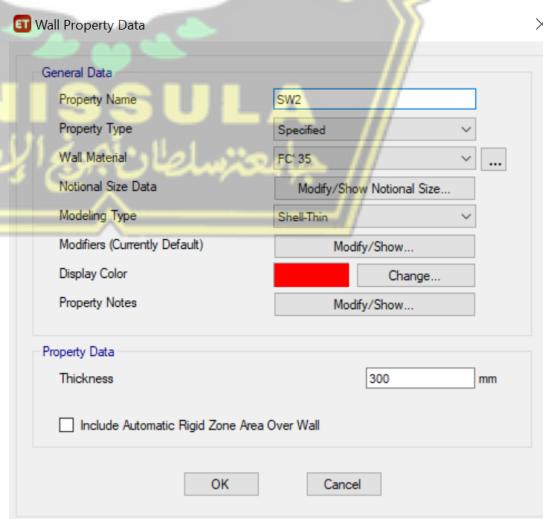
d. Input Data Dinding Geser

Langkah menginput data elemen dinding geser (*shear wall*) pada aplikasi ETABS yaitu : *Draw – Draw Wall Stack – New Wall Stack – Input New Wall Stack – Input Layout Data*. Gambar 4.15 hingga Gambar 4.17 mengilustrasikan cara memasukan data elemen dinding geser.



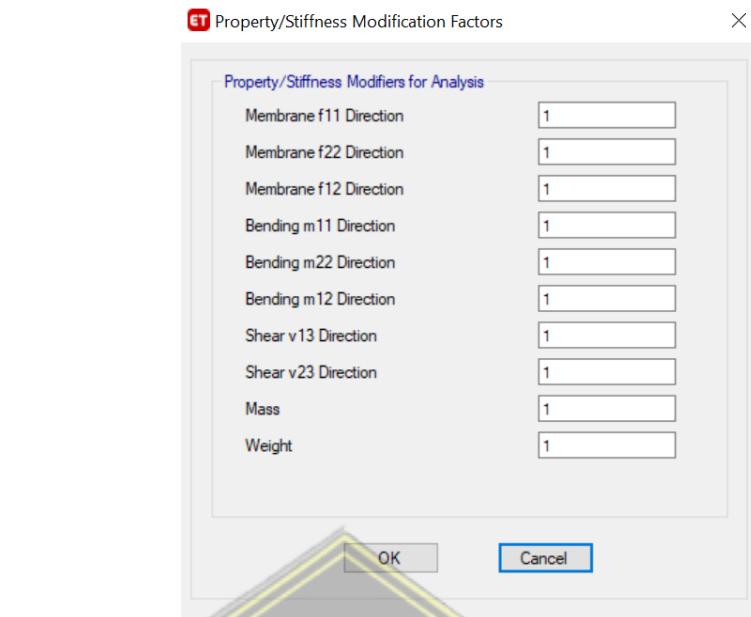
Gambar 4.15 Input Dinding Geser 1 (*Shear Wall*)

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.16 Input Dinding Geser 2 (*Shear Wall*)

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



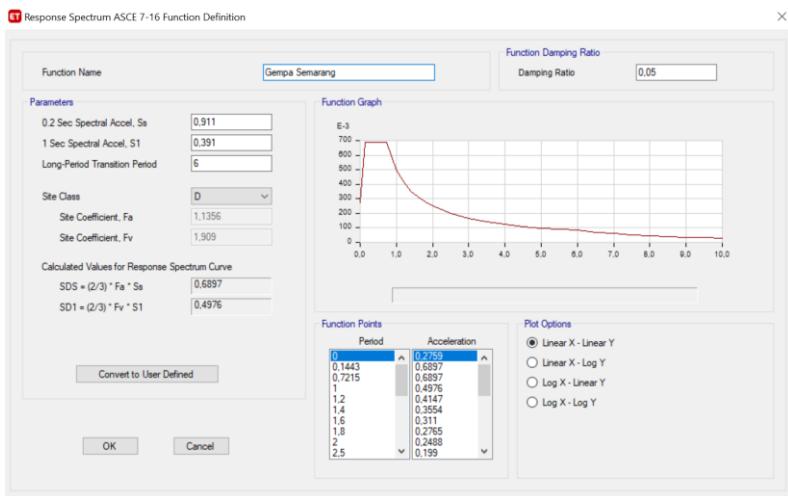
Gambar 4.17 Input Stiffness Modification Factors Dinding Geser
 (Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

3) Input Beban Gempa Respons Spektrum

Mengikuti petunjuk dalam SNI 1726 – 2019, langkah – langkah berikut diambil untuk menghitung beban gempa di Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang :

- a. Peta rawan gempa dari website Design Spektra Indonesia 2022 dapat digunakan untuk menentukan nilai S_s dan S_1 .
- b. Aplikasi ETABS memiliki tahapan berikut untuk memasukkan data untuk respon spektrum :

Define – function – respons spektrum – masukkan data yang telah didapatkan dari website Desain Spektra Indonesia kedalam Respon spektrum function definition. Gambar 4.18 mengilustrasikan penambahan *Spectrume Response Function*.



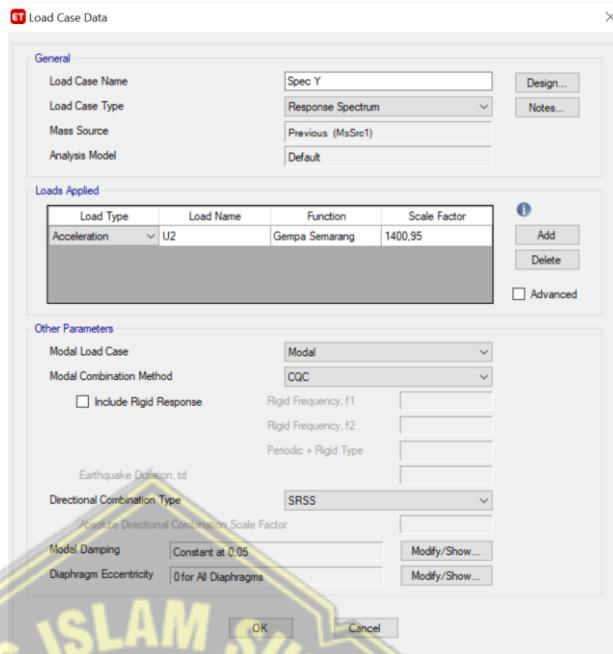
Gambar 4.18 Penambahan Fungsi Respons Spektrum

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

- c. Input beban gempa dari cara diatas ke dalam *Load Case* baik untuk X ataupun arah Y, untuk arah X *Load name* menggunakan U1, untuk arah Y menggunakan *Define - Load name - Add new Case - Load Case Type - Respons Spektrum - Input* sesuai perencanaan. Gambar 4.19 dan 4.20 menunjukan cara *Input Load Case data* respons spektrum.

Gambar 4.19 Penambahan *Load Case Data* Respons Spektrum Arah X

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.20 Penambahan *Load Case* Data Respons Spektrum Arah Y

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.3 Formulasi Pembebanan Struktur

Pada perancangan Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang, kombinasi pembebanan yang akan digunakan disesuaikan dengan peraturan SNI 1726 – 2019 Pasal 2.3.1 dan kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik disesuaikan dengan peraturan SNI 1726 – 2019 Pasal 2.3.6 sebagai berikut :

$$1,4 D (4.6)$$

$$1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) (4.7)$$

$$1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W) (4.8)$$

$$1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) (4.9)$$

$$0,9 D + 1,0 W (4.10)$$

Pembebanan pada permodelan struktur untuk beban mati terdiri dari beban bangunan itu sendiri dan beban mati tambahan seperti beban luasan merata yang berada pada pelat lantai, dengan mengasumsikan beban mati tambahan itu berupa

beban plafond, finishing lantai, penggantung, dan beban mati lainnya yang ada pada bangunan tersebut.

Pembebanan untuk beban hidup yang bekerja pada pelat lantai sesuai dengan peraturan SNI 1726–2019. Sedangkan beban hidup yang akan digunakan dalam analisis struktur sebagai berikut :

1. Ruangan asrama = 1,92 kN/m²
2. Loby Koridor = 4,79 kN/m²
3. Atap Datar = 0,96 kN/m²

4.4 Analisis Beban Seismik

Pembebanan seismik pada struktur Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang dianalisis sesuai dengan peraturan SNI 1726–2019 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung atau Non Gedung.

4.4.1 Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang merupakan gedung yang digunakan untuk ruang perkuliahan. Berdasarkan SNI 1726–2019 Tabel 3 gedung ini termasuk ke dalam kategori risiko IV dengan nilai faktor keutamaan gempa (I_e) = 1,0.

4.4.2 Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Terpetakan

Parameter Respons Spektral Gempa Terpetakan (Nilai S_s dan S_1). Parameter respons tabel pada gempa desain dikerjakan dengan menggunakan Aplikasi Desain Spektra Indonesia tahun 2022 yang telah tersedia pada laman resmi PUPR Indonesia. Caranya dengan memasukkan koordinat atau nama kota yang akan dibangun dan hasil akan otomatis diperoleh.

Nilai parameter respons tabel pada gempa desain pada lokasi Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang akan dibangun sesuai dengan Tabel 4.6 berikut :

Tabel 4.6 Data Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Terpetakan

| Variabel | Nilai |
|----------|--------|
| PGA | 0,4060 |
| S_s | 0,911 |
| S_1 | 0,391 |

(Sumber : <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id>)

4.4.3 Klasifikasi Situs

Berdasarkan SNI 1726–2019 tentang nilai klasifikasi situs (\bar{N}) Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang termasuk kategori Tanah Sedang (SD).

4.4.4 Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Tertarget

Penentuan data koordinat dari lokasi gedung ini dengan menentukan jenis tanahnya kemudian akan didapat nilai parameter respon spektral gempa tertarget yang ada pada Tabel 4.7. Nilai dari parameter respon spektral percepatan gempa tertarget periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) telah sesuai dengan pengaruh klasifikasi situs yang diperoleh dengan menggunakan Aplikasi Desain Spektra Indonesia 2022 pada halaman resmi Kementerian PUPR.

Tabel 4.7 Data Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Tertarget

| Variabel | Nilai |
|----------|-------|
| S_{MS} | 1,035 |
| S_{M1} | 0,746 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.4.5 Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Desain

Penentuan data koordinat dari lokasi gedung ini dengan menentukan jenis tanahnya kemudian akan didapat nilai parameter respon spektral gempa desain yang ada pada Tabel 4.8. Pengaruh kategori site yang ditentukan menggunakan Aplikasi Desain Spektra Indonesia 2022 pada website resmi Kementerian PUPR berkorelasi dengan nilai parameter respon spektral percepatan gempa desain periode pendek (S_{ds}) dan periode 1 detik (S_{d1}).

Tabel 4.8 Data Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Desain

| Variabel | Nilai |
|----------|-------|
| S_{Ds} | 0,69 |
| S_{D1} | 0,50 |

(Sumber : <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id>)

4.4.6 Spektrum Respon Desain

Spektrum respon desain dapat dihitung dengan mengacu pada SNI 1726–2019 Pasal 6.4. Nilai periode yang akan dibutuhkan pada pembuatan spektrum respons desain dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang terdapat pada SNI 1726–2019 yang dimulai dari T_0 , T_s hingga periode selanjutnya.

Nilai spektrum respon desain juga dapat diperoleh secara otomatis melalui laman resmi yang telah disediakan oleh Kementerian PUPR. Nilai yang telah didapat dari laman tersebut ditampilkan dengan grafik hubungan antara periode dan respon percepatan gempa. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Grafik Nilai Spektrum Respon Desain

(Sumber : <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id>)

4.4.7 Kategori Desain Seismik

Kategori Desain Seismik yang digunakan dalam perencanaan ini sesuai dengan SNI 1726–2019 Tabel 8 dan Tabel 9. Berdasarkan peraturan tersebut, gedung ini termasuk ke dalam Kategori Risiko II dan memeliki $S_{Ds} \geq 0.5$ dan nilai $S_{D1} \geq 0,2$

sehingga penentuan Kategori Desain Seismik dapat menggunakan SNI 1726–2019 Tabel 8 dan Tabel 9. Sesuai dengan tabel tersebut, gedung ini termasuk ke dalam Kategori Desain Seismik D.

4.4.8 Perhitungan Beban dan Model Massa Terpusat Tiap Lantai

Perhitungan beban gempa struktur diperlukan penentuan nilai massa di tiap lantainya di mana beban yang digunakan merupakan beban struktur tiap lantai itu sendiri dan beban hidup yang bekerja pada pelat pada lantai. Kombinasi pembebanan yang digunakan yaitu 100% beban mati ditambah minimum 25% beban hidup sesuai dengan SNI 1726 pasal 7.7.2

$$W = 100\% \text{ } DL \pm 25\% \text{ } LL \dots \quad (4.11)$$

Keterangan :

W = Berat Seismik Efektif

D_L = Berat mati (berat sendiri) struktur pada setiap lantai gedung

LL = Beban hidup total pada setiap lantai gedung

Penentuan massa dan pusat massa pada setiap lantai diperoleh dengan menghitung volume struktur beton pada setiap lantai dan digunakan sebagai beban sendiri struktur sedangkan untuk beban hidup yang bekerja pada pelat harus sesuai dengan Tabel 4.3.1 SNI 1727–2019.

4.5 Alternatif Permodelan

Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum (PU) Semarang dirancang menggunakan struktur gedung sistem ganda. Pemodelan gedung dilakukan dengan bantuan program ETABS dengan dimodelkan sebuah sistem *grid*, dengan *grid* sebagai garis titik berat dan elemen struktur yang dimodelkan.

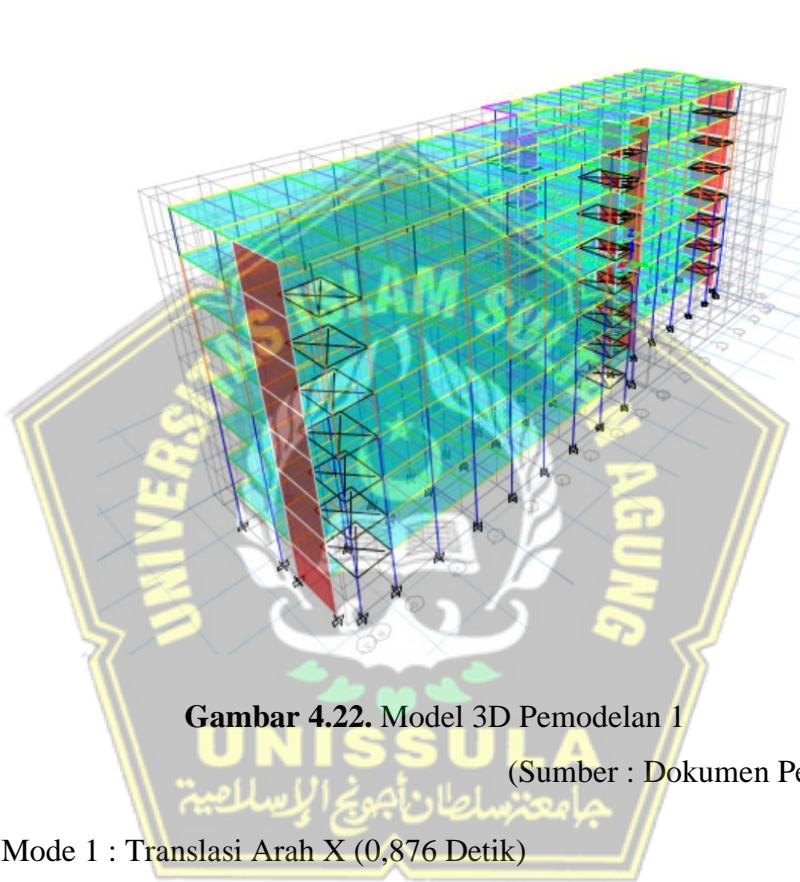
4.5.1 Alternatif Pemodelan 1

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) akan berfungsi sebagai pondasi model pertama. Memiliki persyaratan sebagai berikut :

- Mutu Beton 35 MPa
 - Kolom 550 x 550 untuk kolom lantai 1-4
 - Kolom 450 x 450 untuk kolom lantai 5-7

- Kolom 400 x 400 untuk kolom lantai 8
- Balok 400 x 700, balok 350 x 500, balok 250 x 500 dan balok 200 x 250 untuk balok utama
- Balok 200 x 400 untuk balok anak
- Plat lantai 120 mm

Berikut gambar 3D dari model gedung yang didesain dapat dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22. Model 3D Pemodelan 1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

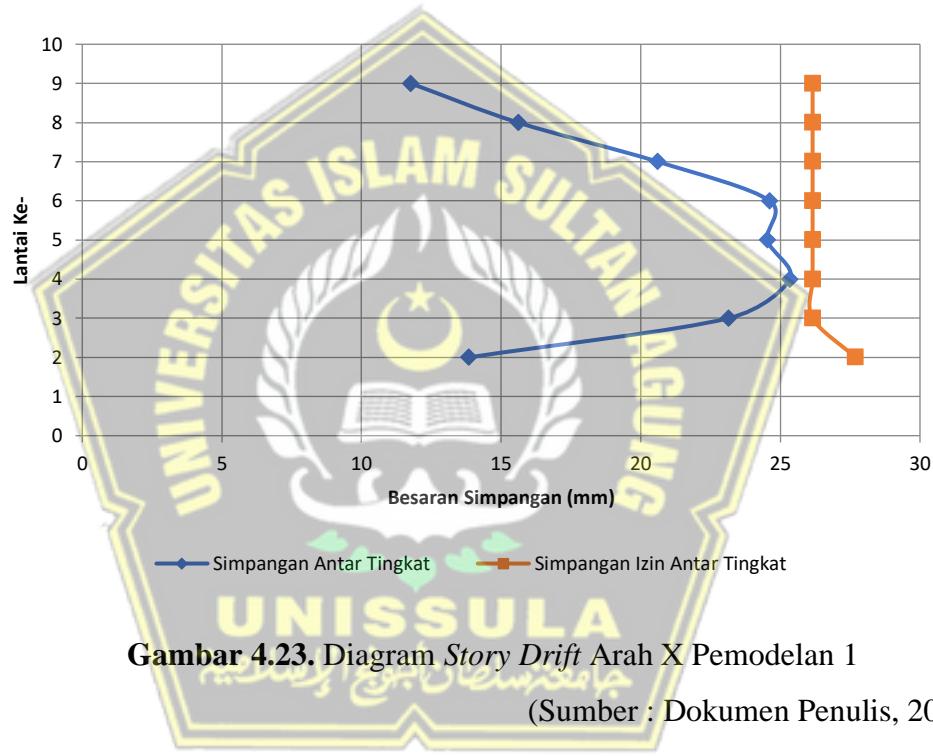
- Mode 1 : Translasi Arah X (0,876 Detik)
- Mode 2 : Translasi Arah Y (0,788 Detik)
- Mode 3 : Rotasi (0,608 Detik)

Tabel 4.9 dan Gambar 4,23 menunjukan hasil analisis simpangan antar tingkat arah X, sedangkan Tabel 4.10 dan Gmabra 4.24 menunjukkan hasil analisis simpangan antar tingkat arah Y dan Tabel 4.11 menampilkan hasil analisis simpangan antar tingkat Struktur Sistem Ganda.

Tabel 4.9. Pengecekan Story Drift Arah X Pemodelan 1

| Story | hsx | δe | Δ | Δi | $\Delta izin$ | Ket |
|-------|------|------------|----------|------------|---------------|-----|
| | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | |
| 9 | 3400 | 28,99 | 159,45 | 11,76 | 26,15 | OK |
| 8 | 3400 | 26,85 | 147,68 | 15,61 | 26,15 | OK |
| 7 | 3400 | 24,01 | 132,07 | 20,61 | 26,15 | OK |
| 6 | 3400 | 20,27 | 111,46 | 24,62 | 26,15 | OK |
| 5 | 3400 | 15,79 | 86,85 | 24,53 | 26,15 | OK |
| 4 | 3400 | 11,33 | 62,32 | 25,34 | 26,15 | OK |
| 3 | 3400 | 6,72 | 36,98 | 23,14 | 26,15 | OK |
| 2 | 3600 | 2,52 | 13,84 | 13,84 | 27,69 | OK |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



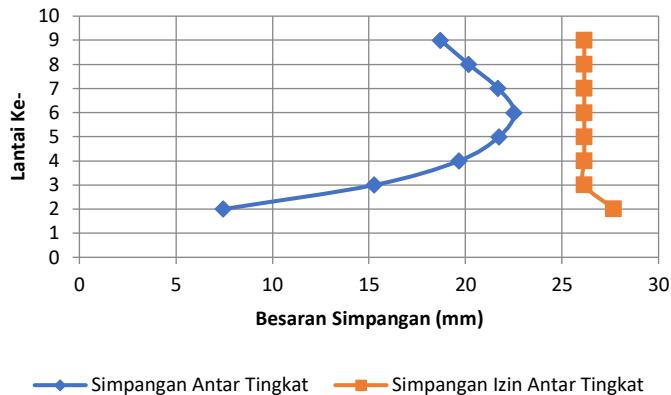
Gambar 4.23. Diagram Story Drift Arah X Pemodelan 1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.10. Pengecekan Story Drift Arah Y Pemodelan 1

| Story | hsx | δe | Δ | Δi | $\Delta izin$ | Ket |
|-------|------|------------|----------|------------|---------------|-----|
| | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | |
| 9 | 3400 | 26,78 | 147,27 | 18,71 | 26,15 | OK |
| 8 | 3400 | 23,38 | 128,56 | 20,17 | 26,15 | OK |
| 7 | 3400 | 19,71 | 108,39 | 21,70 | 26,15 | OK |
| 6 | 3400 | 15,76 | 86,69 | 22,53 | 26,15 | OK |
| 5 | 3400 | 11,67 | 64,16 | 21,74 | 26,15 | OK |
| 4 | 3400 | 7,71 | 42,43 | 19,67 | 26,15 | OK |
| 3 | 3400 | 4,14 | 22,76 | 15,29 | 26,15 | OK |
| 2 | 3600 | 1,36 | 7,47 | 7,47 | 27,69 | OK |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.24. Diagram Story Drift Arah Y Pemodelan 1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.11. Pengecekan Struktur Sistem Ganda Permodelan 1

| Sumbu | V design | V shear wall | V kolom | %V sw | %V kolom | status |
|-------|-------------|-----------------|------------|----------|-------------|--------|
| X | 5896,66 | 2897,8139 | 2998,84 | 49,14332 | 50,85668 | OK |
| Y | 5919,80 | 5249,4867 | 670,31 | 88,67673 | 11,32327 | NOT |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

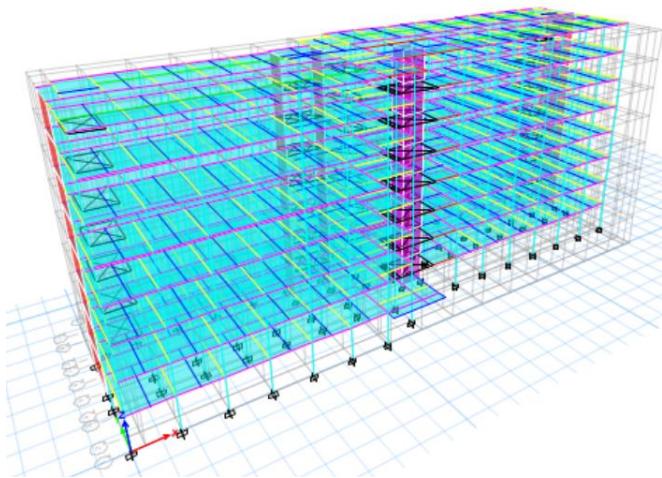
Simpangan antar lantai berdasarkan kontrol simpangan di atas karena tidak ada penyimpangan yang melampaui batas yang diperbolehkan, sedangkan untuk pengecekan sistem struktur ganda di atas, terdapat rangka pemikul momen yang menahan beban melebihi batas yang ditentukan. Untuk mengatasi masalah tersebut, Penulis mencoba memperbesar dimensi kolom dan balok.

4.5.2 Alternatif Pemodelan 2

Pada model kedua, direncanakan berdasarkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Dengan Spesifikasi sebagai Berikut:

- Mutu Beton 35 MPa
- Kolom 500 x 500 (kolom lantai 1-8)
- Balok 400 x 700, balok 400 x 500, balok 300 x 500, balok 300 x 300, balok 200 x 400 dan balok 200 x 300 untuk balok utama
- Balok 200 x 400 untuk balok anak
- Plat lantai 120 mm

Berikut gambar 3D dari model gedung yang didesain dapat dilihat pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25. Model 3D Pemodelan 2

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Pada permodelan kedua, bangunan mengalami:

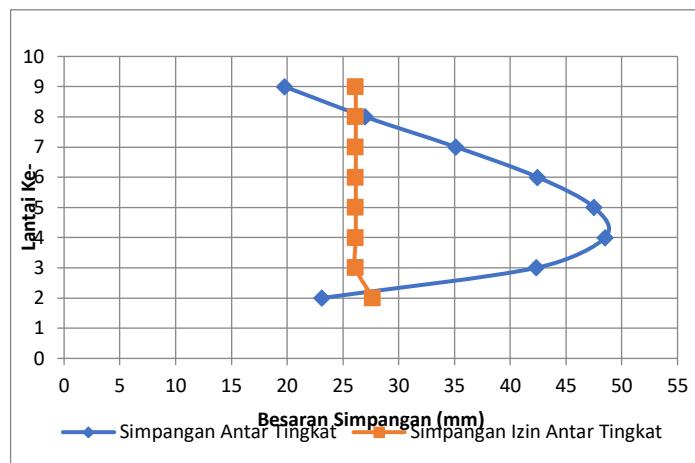
- Mode 1 : Translasi Arah X (1,198Detik)
- Mode 2 : Translasi Arah Y (0,951 Detik)
- Mode 3 : Rotasi (0,718 Detik)

Dan hasil analisis simpangan antar tingkat (story drift) arah X ditunjukkan pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.26, sedangkan hasil analisis simpangan antar tingkat arah Y ditunjukkan pada Tabel 4.13 dan Gambar 4.27 dan hasil analisis Struktur Sistem Ganda pada Tabel 4.14.

Tabel 4.12. Pengecekan Story Drift Arah X Pemodelan 2

| Story | hsx | δe | Δ | Δi | $\Delta izin$ | Ket |
|-------|------|------------|----------|------------|---------------|-----|
| | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | |
| 9 | 3400 | 51,97 | 285,86 | 19,76 | 26,15 | OK |
| 8 | 3400 | 48,38 | 266,10 | 26,99 | 26,15 | NOT |
| 7 | 3400 | 43,47 | 239,10 | 35,13 | 26,15 | NOT |
| 6 | 3400 | 37,09 | 203,97 | 42,47 | 26,15 | NOT |
| 5 | 3400 | 29,36 | 161,50 | 47,52 | 26,15 | NOT |
| 4 | 3400 | 20,72 | 113,98 | 48,50 | 26,15 | NOT |
| 3 | 3400 | 11,91 | 65,48 | 42,34 | 26,15 | NOT |
| 2 | 3600 | 4,21 | 23,14 | 23,14 | 27,69 | OK |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



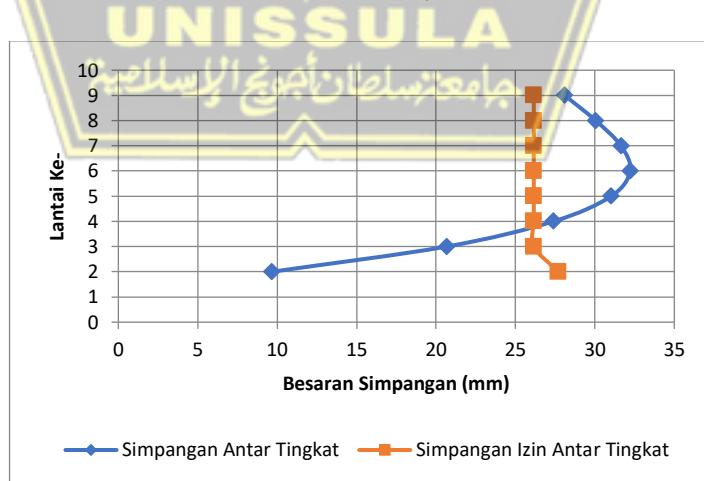
Gambar 4.26. Diagram *Story Drift* Arah X Pemodelan 2

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.13. Pengecekan *Story Drift* Arah Y Pemodelan 2

| Story | hsx | δ_e | Δ | Δ_i | Δ_{izin} | Ket |
|-------|------|------------|----------|------------|-----------------|-----|
| | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | |
| 9 | 3400 | 38,32 | 210,75 | 28,10 | 26,15 | NOT |
| 8 | 3400 | 33,21 | 182,65 | 30,05 | 26,15 | NOT |
| 7 | 3400 | 27,75 | 152,60 | 31,64 | 26,15 | NOT |
| 6 | 3400 | 21,99 | 120,96 | 32,21 | 26,15 | NOT |
| 5 | 3400 | 16,14 | 88,74 | 31,03 | 26,15 | NOT |
| 4 | 3400 | 10,49 | 57,72 | 27,40 | 26,15 | NOT |
| 3 | 3400 | 5,51 | 30,32 | 20,66 | 26,15 | OK |
| 2 | 3600 | 1,76 | 9,66 | 9,66 | 27,69 | OK |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.27. Diagram *Story Drift* Arah Y Pemodelan 2

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

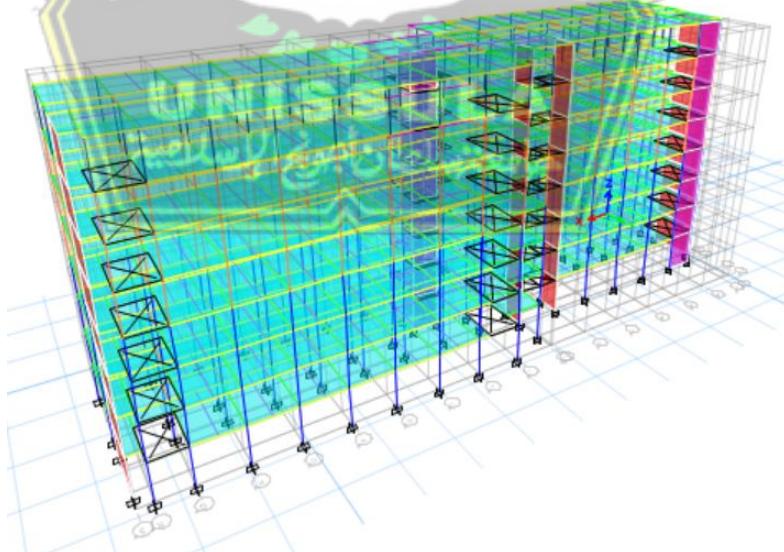
Berdasarkan kontrol simpangan antar lantai di atas, terdapat simpangan yang melebihi batas izinnya. Untuk mengatasi masalah tersebut, Penulis mencoba melakukan perkuatan struktur dengan menambah dinding geser dan memperkecil dimensi balok dan kolom.

4.5.3 Alternatif Pemodelan 3

Pada permodelan ketiga, direncanakan berdasarkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Dengan Spesifikasi sebagai Berikut:

- Mutu Beton 35 MPa
- Kolom 550 x 550 untuk kolom lantai 1-4
- Kolom 450 x 450 untuk kolom lantai 5-7
- Kolom 400 x 400 untuk kolom lantai 8
- Balok 400 x 700, balok 350 x 500, balok 250 x 500 dan balok 200 x 250 untuk balok utama
- Balok 200 x 400 untuk balok anak
- Plat lantai 120 mm

Berikut gambar 3D dari model gedung yang didesain dapat dilihat pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28. Model 3D Pemodelan 3

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.5.3.1. Analisa Dinamik Getaran

Dengan bantuan perangkat lunak ETABS, dilakukan analisis dinamik getaran bebas akibat gempa bumi, dan dimungkinkan untuk mengamati keragaman gempa bumi yang terjadi. Tabel 4.14 menunjukkan jenis varians yang terjadi.

Tabel 4.14 Bentuk Ragam dan Periode Getar ETABS

| | |
|--|--|
| | Mode 1 $T = 0.826$ Translasi Arah X |
| | Mode 2 $T = 0.785$ Translasi Arah Y |
| | Mode 3 $T = 0.601$ Translasi Arah z |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.5.3.2. Kontrol Hasil Analisa Dinamik Gempa

1) Kontrol Bentuk Ragam dan Partisipasi Massa Bangunan

Menurut SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1, setiap arah horizontal ortogonal dari respons yang diperiksa oleh model harus terdiri dari sekurang-kurangnya 100% massa aktual dalam gabungan massa campuran untuk setiap pola getaran yang dianalisis dalam penjumlahan varians. tanggapan. Hasil partisipasi massa dari analisis ETABS yang diberikan pada Tabel 4.15 tercantum di bawah ini.

Tabel 4.15 Nilai Hasil Partisipasi Massa Bangunan

| MODE | Periode (detik) | UX (%) | UY (%) | RZ (%) | Sum UX (%) | Sum UY (%) | Sum RZ (%) |
|------|-----------------|----------|--------|--------|------------|------------|------------|
| 1 | 0,826 | 0,7389 | 0,0063 | 0 | 0,7389 | 0,0063 | 0 |
| 2 | 0,786 | 0,0061 | 0,6994 | 0 | 0,7451 | 0,7057 | 0 |
| 3 | 0,601 | 0,0054 | 0,0029 | 0 | 0,7505 | 0,7087 | 0 |
| 4 | 0,26 | 0,1349 | 0,0001 | 0 | 0,8853 | 0,7087 | 0 |
| 5 | 0,207 | 1,4E-05 | 0,1668 | 0 | 0,8854 | 0,8756 | 0 |
| 21 | 0,022 | 0 | 0,0012 | 0 | 1 | 0,9998 | 0 |
| 22 | 0,022 | 2,49E-06 | 0,0001 | 0 | 1 | 0,9999 | 0 |
| 23 | 0,019 | 8E-07 | 0,0001 | 0 | 1 | 1 | 0 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Dari Tabel 4.15 terlihat bahwa bangunan memiliki partisipasi massa yang di syaratkan berada pada modal ke 23 dengan modal yang ditinjau sebanyak 23 modal.

2) Cek Waktu Getar Alami Struktur

Nilai kontrol Waktu Getar Alami yang didapat dari analisa program dibatasi dengan ketentuan :

- $T_c < T_a$, maka diambil perhitungan manual T_a
- $T_a < T_c < C_u \times T_a$, maka diambil perhitungan manual software T_c
- $C_u \times T_a < T_c$, maka diambil perhitungan $C_u \times T_a$

Nilai Kontrol pendekatan T_c ditetapkan dari Persamaan (2.12) dimana tinggi bangunan (h_n) adalah 27,4 m dan nilai C_t dan x dapat diperoleh dari Tabel 18 SNI 1726–2019 sehingga dapat dihitung sebagai berikut :

- $C_t = 0,0466$ (untuk rangka beton pemikul momen)
- $x = 0,9$ (untuk rangka beton peikul momen)
- $T_a = C_t \times h_n^x$
 $= (0,0466) \times (27,4)^{0,9}$
 $= 0,916983$ detik

Berdasarkan SNI 1726–2019, periode getar struktur (T) tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan pada periode getar yang dihitung (C_u), seperti pada Tabel 17 SNI 1726–2019 didapat nilai berikut :

- $C_u = 1,4$ (Tabel 17 koefisien batas atas periode yang dihitung)
- $T_{max} = C_u \times T_a$
 $= 1,4 \times 0,916983$
 $= 1,283777$ detik

Dari Tabel 4.15 didapatkan nilai periode arah x dan arah y berdasarkan partisipasi massa terbesar yang terjadi pada mode 1 dan 2 yaitu :

- $T_{cx} = 0,826$ detik $< T_a = 0,916983$ detik
- $T_{cy} = 0,785$ detik $< T_a = 0,916983$ detik

Periode getar struktur gedung yang dihasilkan dari perhitungan lebih kecil dari T_a . Gedung ini didesain menggunakan waktu getar alami menggunakan $T_c = 0,916983$ pada arah X dan $T_c = 0,916983$ pada arah Y, bertujuan untuk gaya gempa statik yang cukup besar dan direncanakan struktur mampu menahan gaya gempa tersebut.

3) Perhitungan Gaya Geser Dasar Desain

Pada perhitungan Gaya Geser Dasar dihitung berdasarkan SNI 1726–2019 Pasal 7.8.1.1 dengan menghitung nilai Koefisien Respon Seismik (C_s) sebagai berikut :

- $C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{l_e}\right)} = \frac{0,69}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,0986 \text{ g}$
- $C_s \text{ max} = \frac{S_{D1}}{T \times \left(\frac{R}{l_e}\right)} = \frac{0,50}{0,916983 \times \left(\frac{7}{1}\right)} = 0,0778952 \text{ g}$
- $C_s \text{ min} = 0,044 \times S_{DS} \times l_e = 0,044 \times 0,69 \times 1 = 0,03036 \text{ g}$

Nilai diatas menunjukkan C_s melebihi C_s max maka digunakan yaitu $C_s = 0,0778952 \text{ g}$. Perhitungan Gaya Geser Dasar Seismik Statik yang dihasilkan ETABS didapatkan nilai pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Output Gaya Geser Dasar Statik

| LANTAI | Elevasi (m) | Fx (kN) | Fy (kN) |
|--------------|----------------|------------------|-------------------|
| ATAP | 27,4 | 1038,6775 | 1038,6775 |
| STORY 7 | 24 | 2437,9822 | 2437,9822 |
| STORY 6 | 20,6 | 3626,9081 | 3626,9081 |
| STORY 5 | 17,2 | 4591,5367 | 4591,5367 |
| STORY 4 | 13,8 | 5355,0916 | 5355,0916 |
| STORY 3 | 10,4 | 5918,8333 | 5918,8333 |
| STORY 2 | 7 | 6275,1262 | 6275,1262 |
| STORY 1 | 3,6 | 6445,7373 | 6445,7373 |
| TOTAL | | 35689,893 | 35689,8929 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Perhitungan Gaya Geser Seismik Statik yang dihasilkan ETABS tidak boleh diambil kurang dari 100% sebagai syarat nominal dan perhitungan Gaya Geser Dasar Seismik Dinamik yang dihasilkan pada ETABS didapatkan nilai Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Output Gaya Geser Dasar Dinamik

| LANTAI | Elevasi (m) | Fx (kN) | Fy (kN) |
|--------------|----------------|-------------------|-------------------|
| ATAP | 27,4 | 855,9213 | 922,1336 |
| STORY 7 | 24 | 1916,1629 | 2033,3546 |
| STORY 6 | 20,6 | 2799,9121 | 2914,4708 |
| STORY 5 | 17,2 | 3525,147 | 3612,7171 |
| STORY 4 | 13,8 | 4111,2771 | 4173,3318 |
| STORY 3 | 10,4 | 4566,5833 | 4603,3931 |
| STORY 2 | 7 | 4865,7093 | 4878,4645 |
| STORY 1 | 3,6 | 5000,9243 | 4994,9393 |
| TOTAL | | 27641,6373 | 28132,8048 |

~(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.9.2.5.2, gaya geser dasar, VX dan VY, untuk arah X dan Y, harus ditentukan sesuai dengan Pasal 7.8.1.Untuk tiap gerak tanahyang dianalisis, faktor skala gaya geser dasar ditentukan sebagai berikut :

$$\eta_x = \frac{V_x}{V_{IX}} \geq 1,0$$

$$\eta_y = \frac{V_y}{V_{IY}} \geq 1,0$$

Untuk perhitungan faktor skala dari perbandingan Gaya Geser Statik dan Dinamik adalah sebagai berikut:

$$\eta_x = \frac{V_x}{V_{IX}} = \frac{6445,7373}{5000,9243} = 1,2889$$

$$\eta_y = \frac{V_y}{V_{IY}} = \frac{6445,737}{4994,9393} = 1,2905$$

Maka, diperoleh rekapitulasi hasil pengecekan faktor skala pada Tabel 4.18 sebagai berikut:

Tabel 4.18 Rekapitulasi Hasil Pengecekan Faktor Skala

| | | | |
|------------------------------|----------------|--------------------------------|----|
| W_t (berat total bangunan) | 10286,849 | | kN |
| V_x | 6445,7373 | | kN |
| V_y | 6445,737 | | kN |
| V_{IX} | 5000,9243 | | kN |
| V_{IY} | 4994,9393 | | kN |
| Cek arah X | $V_{IX} < V_x$ | Gaya harus dikali skala faktor | |
| Cek arah Y | $V_{IY} < V_y$ | Gaya harus dikali skala faktor | |

Tabel 4.18 Rekapitulasi Hasil Pengecekan Faktor Skala (Lanjutan)

| | | |
|---------------------|--------|--|
| Faktor skala arah X | 1,2889 | |
| Faktor skala arah Y | 1,2905 | |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.19 Output Gaya Geser Dinamik Setelah Pembesaran Gaya Gempa

| LANTAI | Elevasi (m) | <i>Fx</i> (kN) | <i>Fy</i> (kN) |
|---------|----------------|-------------------|-------------------|
| ATAP | 27,4 | 1104,1413 | 1189,5553 |
| STORY 7 | 24 | 2471,8563 | 2623,0339 |
| STORY 6 | 20,6 | 3611,8956 | 3759,6767 |
| STORY 5 | 17,2 | 4547,451 | 4660,4167 |
| STORY 4 | 13,8 | 5303,5607 | 5383,6114 |
| STORY 3 | 10,4 | 5890,9072 | 5938,3919 |
| STORY 2 | 7 | 6276,7807 | 6293,2349 |
| STORY 1 | 3,6 | 6451,2085 | 6443,4878 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Gaya geser desain yang akan digunakan diambil dari yang terbesar dari Gaya Geser Statik Ekuivalen dan Gaya Geser Dinamik terkoreksi.

Tabel 4.20 menunjukkan gaya geser untuk setiap lantai.

Tabel 4.20 Gaya Geser Desain

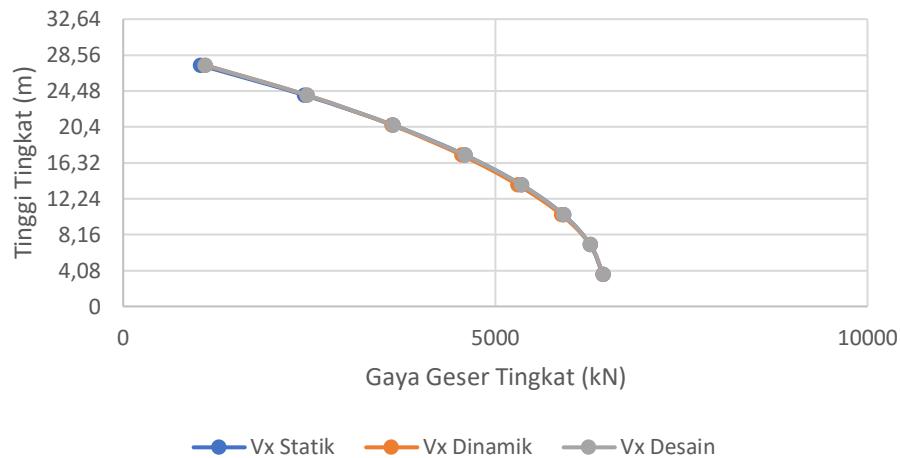
| Story | Elevation (m) | STATIK | | DINAMIK CORRECT | | GAYA GESEN DESAIN | |
|--------|------------------|--------|------|-----------------|---------|----------------------|------|
| | | Vx | Vy | VSPEC-x | VSPEC-y | Vx | Vy |
| | | kN | kN | kN | kN | kN | kN |
| ATAP | 27,4 | 1039 | 1039 | 1104 | 1190 | 1104 | 1190 |
| Story7 | 24 | 2438 | 2438 | 2472 | 2623 | 2472 | 2623 |
| Story6 | 20,6 | 3627 | 3627 | 3612 | 3760 | 3627 | 3760 |
| Story5 | 17,2 | 4592 | 4592 | 4547 | 4660 | 4592 | 4660 |
| Story4 | 13,8 | 5355 | 5355 | 5304 | 5384 | 5355 | 5384 |
| Story3 | 10,4 | 5919 | 5919 | 5891 | 5938 | 5919 | 5938 |
| Story2 | 7 | 6275 | 6275 | 6277 | 6293 | 6277 | 6293 |
| Story1 | 3,6 | 6446 | 6446 | 6451 | 6443 | 6451 | 6446 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Keterangan :

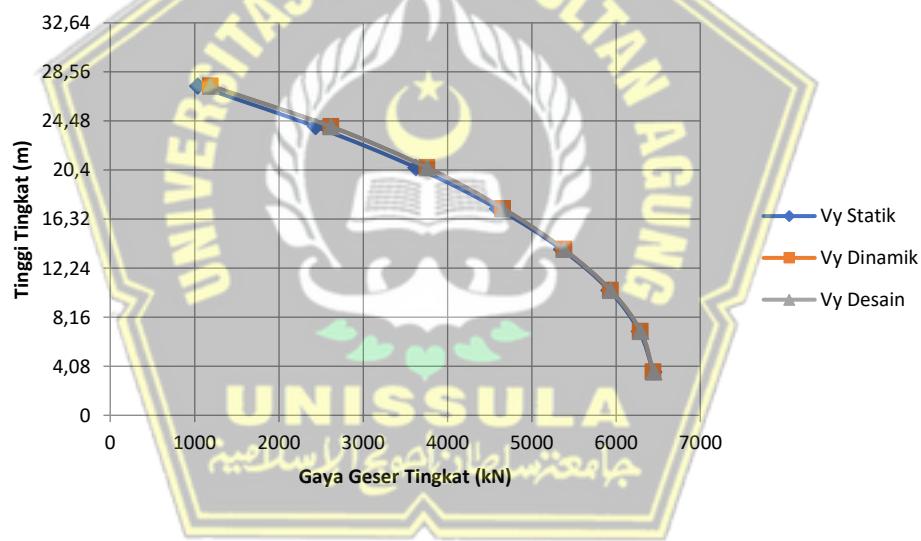
V_{Spec-x} = Gaya geser dinamik arah X

V_{Spec-y} = Gaya geser dinamik arah Y



Gambar 4.29 Shear Comparisson to X Axis

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.30 Shear Comparisson to Y Axis

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.6 Pengecekan Simpangan Antar Tingkat

Kriteria simpangan mengacu pada SNI 1726–2019 dengan faktor sebagai berikut :

- Faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk SRPMK = 5,5 (Tabel 12, SNI 1726–2019)
- Faktor keutamaan gempa (l_e) = 1,0 (Tabel 4, SNI 1726–2019)

- Faktor redundansi untuk gedung dengan Kategori Desain Seismik (KDS) D adalah $\rho = 1,3$ (Pasal 7.3.4.2 1726–2019)

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin untuk Gedung dengan kategori resiko IV adalah $(0,010) \times H$, dimana H adalah tinggi tingkat.

Menurut SNI 1726–2019 Pasal 7.8.6, Simpangan antar lantai dihitung berdasarkan rumus berikut :

$$\text{Simpangan antar lantai} = (\delta_n - \delta_i)$$

Berdasarkan analisis *software* ETABS didapat simpangan arah X dan Y yang ditampilkan pada Tabel 4.21 dan Tabel 4.22.

Tabel 4.21 Besar Simpangan Antar Lantai Struktur Arah X

| STORY | hsx (mm) | δ_e (mm) | Δ (mm) | Δ_i (mm) | Δ_{ijin} (mm) | KETERANGAN |
|----------|-------------|--------------------|------------------|--------------------|-------------------------|------------|
| ATAP | 3400 | 26,89 | 147,88 | 13,40 | 26,15 | OK |
| LANTAI 8 | 3400 | 24,45 | 134,48 | 16,29 | 26,15 | OK |
| LANTAI 7 | 3400 | 21,49 | 118,19 | 19,99 | 26,15 | OK |
| LANTAI 6 | 3400 | 17,85 | 98,20 | 22,89 | 26,15 | OK |
| LANTAI 5 | 3400 | 13,69 | 75,31 | 22,64 | 26,15 | OK |
| LANTAI 4 | 3400 | 9,58 | 52,67 | 22,35 | 26,15 | OK |
| LANTAI 3 | 3400 | 5,51 | 30,32 | 19,29 | 26,15 | OK |
| LANTAI 2 | 3600 | 2,00 | 11,02 | 11,02 | 27,69 | OK |

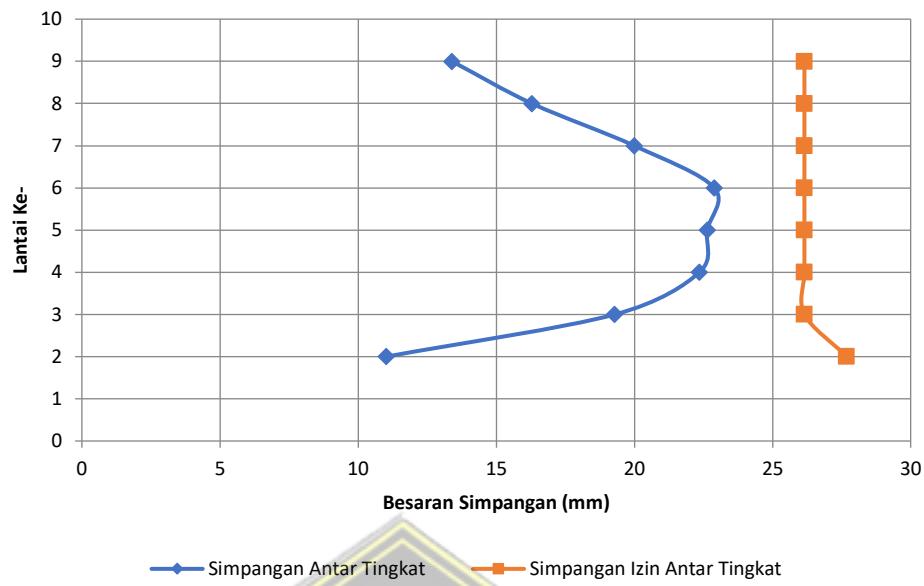
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Keterangan:

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

$$\text{Simpangan antar lantai} = (\delta_n - \delta_i)$$

Diagram dari hasil analisis simpangan antar tingkat arah X dapat dilihat pada Gambar 4.31.



Gambar 4.31 Diagram *Story Drift* Arah X

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.22 Besar Simpangan Antar Lantai Struktur Arah Y

| STORY | hsx (mm) | δ_e (mm) | Δ (mm) | Δ_i (mm) | Δ_{ijin} (mm) | KETERANGAN |
|---------|-------------|--------------------|------------------|--------------------|-------------------------|------------|
| ATAP | 3400 | 26,58 | 146,18 | 18,47 | 26,15 | OK |
| Story 7 | 3400 | 23,22 | 127,71 | 19,94 | 26,15 | OK |
| Story 6 | 3400 | 19,60 | 107,77 | 21,49 | 26,15 | OK |
| Story 5 | 3400 | 15,69 | 86,28 | 22,36 | 26,15 | OK |
| Story 4 | 3400 | 11,62 | 63,92 | 21,62 | 26,15 | OK |
| Story 3 | 3400 | 7,69 | 42,31 | 19,60 | 26,15 | OK |
| Story 2 | 3400 | 4,13 | 22,71 | 15,25 | 26,15 | OK |
| Story 1 | 3600 | 1,36 | 7,46 | 7,46 | 27,69 | OK |

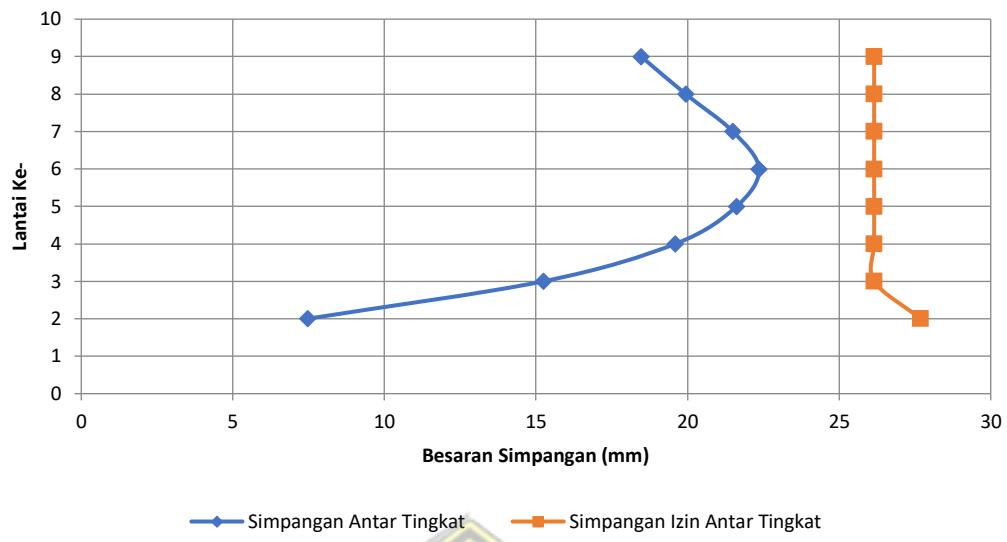
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Keterangan:

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

$$\text{Simpangan antar lantai} = (\delta_n - \delta_i)$$

Diagram dari hasil analisis simpangan antar tingkat arah X dapat dilihat pada Gambar 4.32.



Gambar 4.32 Diagram *Story Drift* Arah Y

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.7 Pengecekan P – Delta

Pengecekan P -delta berdasarkan SNI 1726–2019 pasal 7.8.7, untuk nilai θ merupakan acuan dalam menentukan kestabilan bangunan terhadap P – Delta. Nilai θ maksimum dihitung dengan rumus berikut :

$$\theta = \frac{P_x(\Delta)l_e}{V_x(H_{sx})C_d} \quad \dots \dots \dots \quad (4.12)$$

Keterangan :

P_x = Beban desain vertical total pada bangunan diatas tingkat $-x$ (kN) bila menghitung P_x , faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0

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

l_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 4.1.2.

V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antar tingkat x dan $x-1$ (kN)

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

C_d = Faktor pembesaran defleksi dalam Tabel 12

Jika nilai θ lebih kecil dari nilai θ maks, maka pengaruh P – Delta bisa diabaikan. Nilai θ maksimum dihitung dengan rumus :

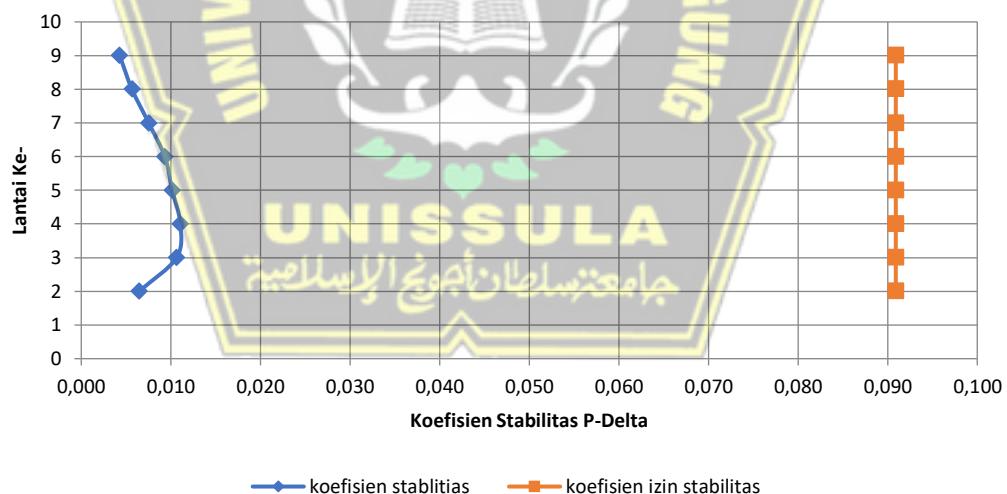
$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad \dots \dots \dots \quad (4.13)$$

Tabel 4.23 Pengecekan P – Delta Arah X

| STORY | hsx (mm) | Δi (mm) | P (kN) | Vx (kN) | θ | θ_{\max} | Keterangan |
|---------|-------------|--------------------|-----------|------------|----------|-----------------|------------|
| ATAP | 3400 | 13,40 | 6606,16 | 1104,14 | 0,0043 | 0,0909 | STABIL |
| Story 7 | 3400 | 16,29 | 16068,22 | 2471,86 | 0,0057 | 0,0909 | STABIL |
| Story 6 | 3400 | 19,99 | 25530,27 | 3626,91 | 0,0075 | 0,0909 | STABIL |
| Story 5 | 3400 | 22,89 | 34992,33 | 4591,54 | 0,0093 | 0,0909 | STABIL |
| Story 4 | 3400 | 22,64 | 44900,77 | 5355,09 | 0,0102 | 0,0909 | STABIL |
| Story 3 | 3400 | 22,35 | 54809,22 | 5918,83 | 0,0111 | 0,0909 | STABIL |
| Story 2 | 3400 | 19,29 | 64717,66 | 6276,78 | 0,0106 | 0,0909 | STABIL |
| Story 1 | 3600 | 11,02 | 75031,58 | 6451,21 | 0,0065 | 0,0909 | STABIL |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Dari pengecekan P-Delta arah X menghasilkan diagram stabilitas P-Delta arah X dapat dilihat di Gambar 4.33.



Gambar 4.33 Diagram P-Delta Arah X

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

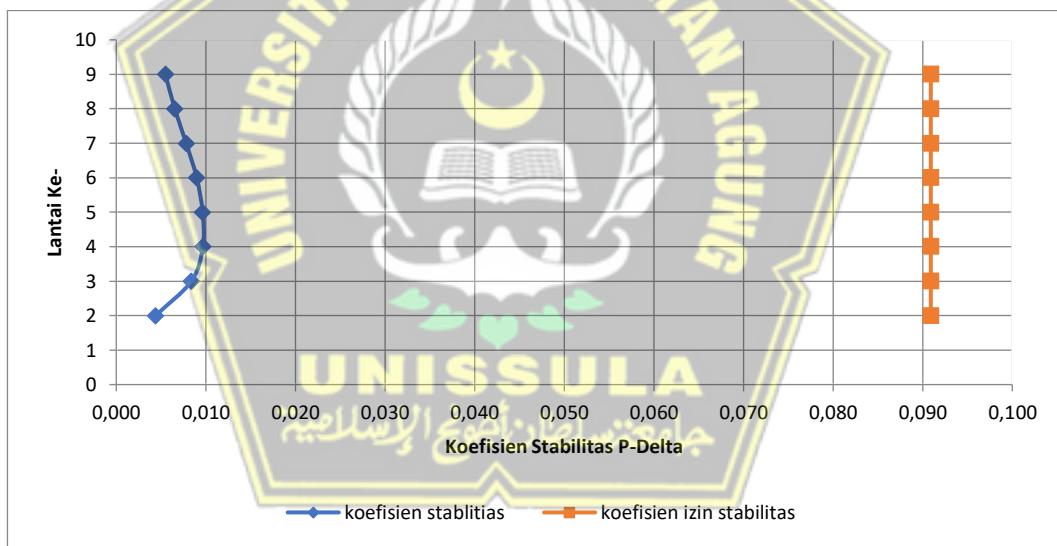
Tabel 4.24 menunjukkan hasil pemeriksaan P-Delta arah Y sebagai berikut :

Tabel 4.24 Pengecekan P -Delta Arah Y

| STORY | hsx (mm) | Δi (mm) | P (kN) | Vx (kN) | θ | θ_{max} | Keterangan |
|---------|---------------|--------------------|-------------|--------------|----------|----------------|------------|
| ATAP | 3400 | 18,47 | 6606,16 | 1189,56 | 0,0055 | 0,0909 | STABIL |
| Story 7 | 3400 | 19,94 | 16068,22 | 2623,03 | 0,0065 | 0,0909 | STABIL |
| Story 6 | 3400 | 21,49 | 25530,27 | 3759,68 | 0,0078 | 0,0909 | STABIL |
| Story 5 | 3400 | 22,36 | 34992,33 | 4660,42 | 0,0090 | 0,0909 | STABIL |
| Story 4 | 3400 | 21,62 | 44900,77 | 5383,61 | 0,0096 | 0,0909 | STABIL |
| Story 3 | 3400 | 19,60 | 54809,22 | 5938,39 | 0,0097 | 0,0909 | STABIL |
| Story 2 | 3400 | 15,25 | 64717,66 | 6293,23 | 0,0084 | 0,0909 | STABIL |
| Story 1 | 3600 | 7,46 | 75031,58 | 6445,74 | 0,0044 | 0,0909 | STABIL |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Dari pengecekan P -Delta arah X menghasilkan diagram stabilitas P -Delta arah Y dapat dilihat di Gambar 4.34.



Gambar 4.34 Diagram P-Delta Arah Y

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.8 Pengecekan Eksentrisitas dan Torsi

4.8.1 Pengecekan Eksentrisit

Menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.8.4.1 dan 7.8.4.2, terdapat dua jenis torsi yaitu torsi tak terduga dan torsi inheren. Program ETABS dapat digunakan untuk menentukan nilai eksentrisitas torsi intrinsik. Data eksentrisitas torsi ditampilkan pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Data Eksentrisitas Torsi Bawaan dari ETABS

| Lantai | XCM m | YCM m | XCR m | YCR m | e_{ox} m | e_{oy} m |
|----------|----------|----------|----------|----------|---------------|---------------|
| Atap Dak | 31,1785 | 9,615 | 30,1258 | 10,9634 | 1,0527 | 1,3484 |
| Story 7 | 31,2463 | 9,8618 | 30,5446 | 11,2012 | 0,7017 | 1,3394 |
| Story 6 | 31,2463 | 9,8618 | 30,5951 | 11,2233 | 0,6512 | 1,3615 |
| Story 5 | 31,238 | 9,8639 | 30,579 | 11,1939 | 0,659 | 1,33 |
| Story 4 | 31,2324 | 9,8652 | 30,5285 | 11,1959 | 0,7039 | 1,3307 |
| Story 3 | 31,2324 | 9,8652 | 30,4724 | 11,1959 | 0,76 | 1,3307 |
| Story 2 | 31,2551 | 9,8542 | 30,4176 | 11,2006 | 0,8375 | 1,3464 |
| Story 1 | 31,3066 | 9,8263 | 30,3739 | 11,2389 | 0,9327 | 1,4126 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Eksentrisitas tambahan torsi tak terduga adalah 5% dari dimensi dalam arah tegak lurus terhadap panjang bentang struktur bangunan, yang merupakan arah di mana gaya seismik bekerja. Tabel 4.26 menampilkan perhitungan eksentrisitas tak terduga.

Tabel 4.26 Data Eksentrisitas Torsi Tidak Terduga

| Lantai | Panjang bentang total sumbu x (L_x) | Panjang bentang total sumbu y (L_y) | $0,05 L_x$ | $0,05 L_y$ |
|----------|--|--|------------|------------|
| | (m) | (m) | (m) | (m) |
| Atap Dak | 63 | 19,2 | 3,15 | 0,96 |
| Story 7 | 63 | 19,2 | 3,15 | 0,96 |
| Story 6 | 63 | 19,2 | 3,15 | 0,96 |
| Story 5 | 63 | 19,2 | 3,15 | 0,96 |
| Story 4 | 63 | 19,2 | 3,15 | 0,96 |
| Story 3 | 63 | 19,2 | 3,15 | 0,96 |
| Story 2 | 63 | 19,2 | 3,15 | 0,96 |
| Story 1 | 63 | 19,2 | 3,15 | 0,96 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Berdasarkan Pasal 7.8.4.3 SNI 1726:2019, eksentrisitas torsi tidak terduga harus dikalikan dengan faktor pembesaran momen torsi tidak terduga (A). Faktor pembesaran torsi tidak terduga (A) ditentukan berdasarkan Persamaan 4.14.

$$A = \left(\frac{\delta_{\max}}{1,2 \times \delta_{\text{avg}}} \right)^2 \geq 1 \quad \dots \quad (4.14)$$

$$\delta_{\text{avg}} = \frac{\delta_{\max} + \delta_{\min}}{2} \quad \dots \quad (4.15)$$

Nilai-nilai δ_{\max} , δ_{\min} , dan δ_{avg} didapat dari beban *envelope* dan merupakan nilai simpangan total bukan simpangan antar tingkat. Hasil perhitungan A_x dan A_y ditunjukkan pada Tabel 4.27 dan 4.28.

Tabel 4.27. Nilai dari δ_{\max} , δ_{\min} , δ_{avg} dan A_x untuk Gempa Arah X

| Lantai | δ_{\max} (mm) | δ_{\min} (mm) | δ_{avg} (mm) | $1,2 \delta_{\text{avg}}$ (mm) | $A_x =$ $(\delta_{\max}/1,2\delta_{\text{avg}})^2$ | Kontrol Torsi |
|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---|------------------------------|
| Atap Dak | 28,037 | 25,811 | 26,924 | 32,309 | 0,932 | Tanpa ketidakberaturan torsi |
| Story 7 | 25,45 | 23,52 | 24,485 | 29,382 | 0,931 | Tanpa ketidakberaturan torsi |
| Story 6 | 22,327 | 20,709 | 21,518 | 25,822 | 0,930 | Tanpa ketidakberaturan torsi |
| Story 5 | 18,518 | 17,234 | 17,876 | 21,451 | 0,929 | Tanpa ketidakberaturan torsi |
| Story 4 | 14,179 | 13,237 | 13,708 | 16,450 | 0,928 | Tanpa ketidakberaturan torsi |
| Story 3 | 9,895 | 9,277 | 9,586 | 11,503 | 0,927 | Tanpa ketidakberaturan torsi |
| Story 2 | 5,68 | 5,354 | 5,517 | 6,620 | 0,926 | Tanpa ketidakberaturan torsi |
| Story 1 | 2,057 | 1,951 | 2,004 | 2,405 | 0,925 | Tanpa ketidakberaturan torsi |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.28. Nilai dari δ_{\max} , δ_{\min} , δ_{avg} dan A_y untuk Gempa Arah Y

| Lantai | δ_{\max} (mm) | δ_{\min} (mm) | δ_{avg} (mm) | $1,2 \delta_{\text{avg}}$ (mm) | $A_y =$ $(\delta_{\max}/1,2\delta_{\text{avg}})^2$ | Kontrol Torsi |
|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---|------------------------------|
| Atap Dak | 29,341 | 23,971 | 26,656 | 31,987 | 0,958 | Tanpa ketidakberaturan torsi |
| Story 7 | 25,58 | 21 | 23,290 | 27,948 | 0,957 | Tanpa ketidakberaturan torsi |
| Story 6 | 21,537 | 17,771 | 19,654 | 23,585 | 0,956 | Tanpa ketidakberaturan torsi |
| Story 5 | 17,203 | 14,265 | 15,734 | 18,881 | 0,955 | Tanpa ketidakberaturan torsi |
| Story 4 | 12,716 | 10,594 | 11,655 | 13,986 | 0,954 | Tanpa ketidakberaturan torsi |
| Story 3 | 8,401 | 7,025 | 7,713 | 9,256 | 0,953 | Tanpa ketidakberaturan torsi |
| Story 2 | 4,503 | 3,777 | 4,140 | 4,968 | 0,952 | Tanpa ketidakberaturan torsi |
| Story 1 | 1,484 | 1,238 | 1,361 | 1,633 | 0,953 | Tanpa ketidakberaturan torsi |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Dari Tabel 4.28, nilai faktor amplifikasi (A) kurang dari satu sehingga untuk menghitung nilai eksentrisitas desain menggunakan nilai faktor amplifikasi (A)

sebesar satu. Eksentrisitas desain merupakan gabungan eksentrisitas torsi bawaan dan torsi tidak terduga dihitung sesuai Persamaan 4.16 dan Persamaan 4.17.

$$e_{\text{dx}} = e_{\text{ox}} - 0,05 L_x \times A_y \quad \dots \quad (4.16)$$

$$e_{dy} = e_{oy} + 0,05 \cdot L_y \times A_x \quad \dots \quad (4.17)$$

Tabel 4.29 dan 4.30 menunjukkan hasil perhitungan eksentrisitas desain pada arah X dan Y.

Tabel 4.29 Perhitungan Eksentrisitas Desain pada Arah Sumbu X

| Lantai | e_{ox} | $0,05 L_x$ | A_y | e_{dx} | Eksentrisitas, x |
|----------|----------|------------|-------|----------|------------------|
| | (m) | (m) | | | (m) |
| Atap Dak | 1,053 | 3,150 | 1,000 | 2,097 | 0,033 |
| Story 7 | 0,702 | 3,150 | 1,000 | 2,448 | 0,039 |
| Story 6 | 0,651 | 3,150 | 1,000 | 2,499 | 0,040 |
| Story 5 | 0,659 | 3,150 | 1,000 | 2,491 | 0,040 |
| Story 4 | 0,704 | 3,150 | 1,000 | 2,446 | 0,039 |
| Story 3 | 0,760 | 3,150 | 1,000 | 2,390 | 0,038 |
| Story 2 | 0,837 | 3,150 | 1,000 | 2,313 | 0,037 |
| Story 1 | 0,933 | 3,150 | 1,000 | 2,217 | 0,035 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.30 Perhitungan Eksentrisitas Desain pada Arah Sumbu Y

| Lantai | e_{oy} | $0,05 L_y$ | A_x | e_{dy} | Eksentrisitas, y |
|----------|----------|------------|-------|----------|------------------|
| | (m) | (m) | | | (m) |
| Atap Dak | 1,348 | 0,960 | 1,000 | 2,308 | 0,120 |
| Story 7 | 1,339 | 0,960 | 1,000 | 2,299 | 0,120 |
| Story 6 | 1,362 | 0,960 | 1,000 | 2,322 | 0,121 |
| Story 5 | 1,330 | 0,960 | 1,000 | 2,290 | 0,119 |
| Story 4 | 1,331 | 0,960 | 1,000 | 2,291 | 0,119 |
| Story 3 | 1,331 | 0,960 | 1,000 | 2,291 | 0,119 |
| Story 2 | 1,346 | 0,960 | 1,000 | 2,306 | 0,120 |
| Story 1 | 1,413 | 0,960 | 1,000 | 2,373 | 0,124 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.8.2 Perhitungan Ketidakberaturan Torsi

Defleksi maksimum (δ_{\max}), defleksi minimum (δ_{\min}), dan defleksi rata-rata (rata-rata) digunakan untuk menentukan jenis ketidakberaturan pada torsi 1a dan 1b berdasarkan SNI 1726-2019.

Tabel 4.31 Ketidakberaturan Horizontal Torsi Arah X

| lantai | δ_{\max} | <i>max story drift</i> | <i>max story drift x Ca</i> | δ_{\min} | <i>min story drift</i> | <i>min story drift x Ca</i> | δ_{avg} | 1,2 δ_{avg} | 1,4 δ_{avg} | Cek x |
|----------|-----------------|------------------------|-----------------------------|-----------------|------------------------|-----------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|-------------|
| | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | |
| Atap Dak | 28,037 | 8,895 | 48,923 | 25,811 | 8,615 | 47,383 | 48,153 | 57,783 | 67,414 | Tanpa Torsi |
| Story 7 | 25,450 | 10,073 | 55,402 | 23,520 | 9,801 | 53,906 | 54,654 | 65,584 | 76,515 | Tanpa Torsi |
| Story 6 | 22,327 | 10,488 | 57,684 | 20,709 | 10,240 | 56,320 | 57,002 | 68,402 | 79,803 | Tanpa Torsi |
| Story 5 | 18,518 | 10,665 | 58,658 | 17,234 | 10,447 | 57,459 | 58,058 | 69,670 | 81,281 | Tanpa Torsi |
| Story 4 | 14,179 | 10,058 | 55,319 | 13,237 | 9,879 | 54,335 | 54,827 | 65,792 | 76,757 | Tanpa Torsi |
| Story 3 | 9,895 | 8,897 | 48,934 | 9,277 | 8,761 | 48,186 | 48,560 | 58,271 | 67,983 | Tanpa Torsi |
| Story 2 | 5,680 | 6,808 | 37,444 | 5,354 | 6,723 | 36,977 | 37,210 | 44,652 | 52,094 | Tanpa Torsi |
| Story 1 | 2,057 | 3,402 | 18,711 | 1,951 | 3,370 | 18,535 | 18,623 | 22,348 | 26,072 | Tanpa Torsi |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.32 Ketidakberaturan Horizontal Torsi Arah Y

| lantai | δ_{\max} | <i>max story drift</i> | <i>max story drift x Ca</i> | δ_{\min} | <i>min story drift</i> | <i>min story drift x Ca</i> | δ_{avg} | 1,2 δ_{avg} | 1,4 δ_{avg} | Cek x |
|----------|-----------------|------------------------|-----------------------------|-----------------|------------------------|-----------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|-------------|
| | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | |
| Atap Dak | 29,34 | 8,70 | 47,87 | 23,97 | 8,24 | 45,34 | 46,60 | 55,93 | 65,25 | Tanpa Torsi |
| Story 7 | 25,58 | 9,91 | 54,49 | 21,00 | 9,46 | 52,05 | 53,27 | 63,92 | 74,58 | Tanpa Torsi |
| Story 6 | 21,54 | 10,34 | 56,88 | 17,77 | 9,94 | 54,66 | 55,77 | 66,92 | 78,07 | Tanpa Torsi |
| Story 5 | 17,20 | 10,56 | 58,05 | 14,27 | 10,20 | 56,11 | 57,08 | 68,50 | 79,91 | Tanpa Torsi |
| Story 4 | 12,72 | 9,98 | 54,87 | 10,59 | 9,69 | 53,29 | 54,08 | 64,89 | 75,71 | Tanpa Torsi |
| Story 3 | 8,40 | 8,86 | 48,71 | 7,03 | 8,64 | 47,54 | 48,13 | 57,75 | 67,38 | Tanpa Torsi |
| Story 2 | 4,50 | 6,80 | 37,39 | 3,78 | 6,67 | 36,68 | 37,03 | 44,44 | 51,85 | Tanpa Torsi |
| Story 1 | 1,48 | 3,41 | 18,73 | 1,24 | 3,36 | 18,47 | 18,60 | 22,32 | 26,05 | Tanpa Torsi |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.9 Pengecekan Ketidakberaturan Struktur Horizontal dan Vertikal

Ketidakberaturan vertikal dan horizontal pada struktur harus diperiksa berdasarkan Tabel 13 dan Tabel 14 SNI 1726:2019. Hasil pengecekan ketidakberaturan horizontal dan vertikal adalah sebagai berikut:

4.9.1 Ketidakberaturan Horizontal

- a) Ketidakberaturan torsi 1a dan 1b

Hasil pengecekan ketidakberaturan torsi 1a dan 1b arah X dan arah Y dapat dilihat pada Tabel 4.33 dan Tabel 4.34.

Tabel 4.33 Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah X

| Lantai | Gaya Lateral | δ_{\max} | δ_{avg} | $\delta_{\max} / \delta_{\text{avg}}$ | Status | | | |
|----------|--------------|-----------------|-----------------------|---------------------------------------|--------|----|-------|----|
| | | | | | Cek | 1a | Cek | 1b |
| Atap Dak | EX | 2,597 | 2,521 | 1,03 | < 1,2 | OK | < 1,4 | OK |
| Story 7 | EX | 3,149 | 3,07 | 1,026 | < 1,2 | OK | < 1,4 | OK |
| Story 6 | EX | 3,84 | 3,755 | 1,023 | < 1,2 | OK | < 1,4 | OK |
| Story 5 | EX | 4,361 | 4,273 | 1,02 | < 1,2 | OK | < 1,4 | OK |
| Story 4 | EX | 4,281 | 4,199 | 1,02 | < 1,2 | OK | < 1,4 | OK |
| Story 3 | EX | 4,193 | 4,119 | 1,018 | < 1,2 | OK | < 1,4 | OK |
| Story 2 | EX | 3,594 | 3,537 | 1,016 | < 1,2 | OK | < 1,4 | OK |
| Story 1 | EX | 2,038 | 2,012 | 1,013 | < 1,2 | OK | < 1,4 | OK |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.34 Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah Y

| Lantai | Gaya Lateral | δ_{\max} | δ_{avg} | $\delta_{\max} / \delta_{\text{avg}}$ | Status | | | |
|----------|--------------|-----------------|-----------------------|---------------------------------------|--------|----|-------|----|
| | | | | | Cek | 1a | Cek | 1b |
| Atap Dak | EY | 2,597 | 2,521 | 1,03 | < 1,2 | OK | < 1,4 | OK |
| Story 7 | EY | 3,149 | 3,07 | 1,026 | < 1,2 | OK | < 1,4 | OK |
| Story 6 | EY | 3,84 | 3,755 | 1,023 | < 1,2 | OK | < 1,4 | OK |
| Story 5 | EY | 4,361 | 4,273 | 1,02 | < 1,2 | OK | < 1,4 | OK |
| Story 4 | EY | 4,281 | 4,199 | 1,02 | < 1,2 | OK | < 1,4 | OK |
| Story 3 | EY | 4,193 | 4,119 | 1,018 | < 1,2 | OK | < 1,4 | OK |
| Story 2 | EY | 3,594 | 3,537 | 1,016 | < 1,2 | OK | < 1,4 | OK |
| Story 1 | EY | 2,038 | 2,012 | 1,013 | < 1,2 | OK | < 1,4 | OK |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tidak ada simpangan tingkat maksimum yang lebih besar dari 1,2 kali simpangan tingkat rata-rata (torsi 1a) dan tidak ada simpangan tingkat maksimum yang kurang dari 1,4 kali simpangan tingkat rata-rata, menurut hasil pengujian ketidakteraturan torsi 1a dan 1b (torsi 1b).

- b) Ketidakberaturan sudut dalam

Struktur mengalami ketidakberaturan sudut dalam dikarenakan bentuk denah yang tidak beraturan yaitu berbentuk siku. Ketika kedua dimensi rencana struktur yang diproyeksikan dari lokasi sudut interior

lebih besar dari 15% dimensi rencana struktural, dihasilkan sudut interior yang tidak beraturan.

c) Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Ketidakberaturan ini terjadi apabila memiliki lubang bukaan suatu lantai dimana ukurannya lebih besar daripada 50% ukuran lantai utuhnya.

d) Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak turus terhadap bidang

Struktur tidak mengalami ketidakberaturan akibat pergeseran tegak turus terhadap bidang dikarenakan dinding geser didesain menerus dari lantai 1 sampai lantai 5.

e) Ketidakberaturan sistem non paralel

Karena dinding geser dibuat tegak lurus satu sama lain terhadap sumbu x dan y, struktur tidak mengalami ketidakteraturan pada sistem tak paralel.

4.9.2 Ketidakberaturan Vertikal

a) Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1a dan 1b

Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1a terjadi jika tingkat kekakuan lateral kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau 80% dari kekakuan rata-rata ketiga tingkat di atasnya. Hasil pengecekan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1a arah X dan arah Y dapat dilihat pada Tabel 4.35 dan Tabel 4.36.

Tabel 4.35 Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah X

| Lantai | Load Case | Shear X | Story drift | Kekakuan kN/m | Cek 70% | Cek 80% |
|----------|-----------|-----------|-------------|------------------|------------|------------|
| | | kN | m | | | |
| Atap Dak | EX | 1038,6775 | 2,521 | 411932,917 | | |
| Story 7 | EX | 2437,9822 | 3,07 | 794137,346 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 6 | EX | 3626,9081 | 3,755 | 965805,316 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 5 | EX | 4591,5367 | 4,273 | 1074484,889 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 4 | EX | 5355,0916 | 4,199 | 1275400,891 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 3 | EX | 5918,8333 | 4,119 | 1437024,421 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 2 | EX | 6275,1262 | 3,537 | 1773915,403 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 1 | EX | 6445,7373 | 2,012 | 3203470,179 | Tidak ada | Tidak ada |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.36 Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah Y

| Lantai | Load Case | Shear Y | Story drift | Kekakuan | Cek 70% | Cek 80% |
|----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| | | kN | m | kN/m | | |
| Atap Dak | EY | 1038,6775 | 3,336 | 311334,954 | | |
| Story 7 | EY | 2437,9822 | 3,613 | 674752,059 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 6 | EY | 3626,9081 | 3,908 | 928060,053 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 5 | EY | 4591,5367 | 4,076 | 1126510,011 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 4 | EY | 5355,0916 | 3,948 | 1356524,104 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 3 | EY | 5918,8333 | 3,583 | 1652149,248 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 2 | EY | 6275,1262 | 2,79 | 2249360,32 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 1 | EY | 6445,7373 | 1,366 | 4718786,808 | Tidak ada | Tidak ada |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Jika tingkat kekakuan lateral pada tingkat lunak 1b kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya, maka akan terjadi ketidakteraturan kekakuan. Tabel 4.37 dan 4.38 menunjukkan temuan dari pemeriksaan kelainan kekakuan pada tingkat lunak 1b pada sumbu X dan Y.

Tabel 4.37 Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah X

| Lantai | Load Case | Shear X | Story drift | Kekakuan | Cek 60% | Cek 70% |
|----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| | | kN | m | kN/m | | |
| Atap Dak | EX | 1038,6775 | 2,521 | 411932,917 | | |
| Story 7 | EX | 2437,9822 | 3,07 | 794137,346 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 6 | EX | 3626,9081 | 3,755 | 965805,316 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 5 | EX | 4591,5367 | 4,273 | 1074484,889 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 4 | EX | 5355,0916 | 4,199 | 1275400,891 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 3 | EX | 5918,8333 | 4,119 | 1437024,421 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 2 | EX | 6275,1262 | 3,537 | 1773915,403 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 1 | EX | 6445,7373 | 2,012 | 3203470,179 | Tidak ada | Tidak ada |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.38 Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah Y

| Lantai | Load Case | Shear Y | Story drift | Kekakuan | Cek 60% | Cek 70% |
|----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| | | kN | m | kN/m | | |
| Atap Dak | EY | 1038,6775 | 3,336 | 311334,954 | | |
| Story 7 | EY | 2437,9822 | 3,613 | 674752,059 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 6 | EY | 3626,9081 | 3,908 | 928060,053 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 5 | EY | 4591,5367 | 4,076 | 1126510,011 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 4 | EY | 5355,0916 | 3,948 | 1356524,104 | Tidak ada | Tidak ada |

Tabel 4.38 Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah Y (Lanjutan)

| | | | | | | |
|---------|----|-----------|-------|-------------|-----------|-----------|
| Story 3 | EY | 5918,8333 | 3,583 | 1652149,248 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 2 | EY | 6275,1262 | 2,79 | 2249360,32 | Tidak ada | Tidak ada |
| Story 1 | EY | 6445,7373 | 1,366 | 4718786,808 | Tidak ada | Tidak ada |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

b) Ketidakberaturan Berat (Massa)

Ketika massa efektif di sisi lain narasi lebih besar dari 150% massa efektif di sisi lain, ketidakteraturan seperti ini berkembang. Tabel 4.39 menampilkan temuan pemeriksaan ketidakteraturan berat (massa).

Tabel 4.39 Cek Ketidakberaturan Berat (Massa)

| Lantai | Massa (kN) | Dibandingkan dengan 1,5 x massa di lantai atas | Dibandingkan dengan 1,5 x massa di lantai bawah |
|----------|------------|--|---|
| Atap Dak | 607626,61 | | OK |
| Story 7 | 954457,04 | OK | OK |
| Story 6 | 968036,26 | OK | OK |
| Story 5 | 968036,26 | OK | OK |
| Story 4 | 989075,29 | OK | OK |
| Story 3 | 1013555,34 | OK | OK |
| Story 2 | 1013555,34 | OK | OK |
| Story 1 | 1048966,72 | OK | |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

c) Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Struktur tidak mengalami ketidakberaturan geometri vertikal dikarenakan dimensi dinding geser yang digunakan memiliki ukuran yang sama sepanjang tinggi bangunan.

d) Ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral

Struktur tidak mengalami ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral dikarenakan dinding geser didesain menerus dari lantai 1 sampai lantai 5.

e) Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat 5a dan 5b

- f) Tabel 4.40 dan 4.41 menampilkan temuan pengujian untuk menentukan apakah kisah lemah tidak beraturan karena diskontinuitas kekuatan lateralnya.

Tabel 4.40 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 5a

| Lantai | Load Case / Combo | Location | V _x | V _y | Cek 80% arah X | Cek 80% arah Y |
|----------|-------------------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Atap Dak | Envelope Max | Bottom | 1038,6775 | 1038,6775 | | |
| Story 7 | Envelope Max | Bottom | 2437,9822 | 2437,9822 | OK | OK |
| Story 6 | Envelope Max | Bottom | 3626,9081 | 3626,9081 | OK | OK |
| Story 5 | Envelope Max | Bottom | 4591,5367 | 4591,5367 | OK | OK |
| Story 4 | Envelope Max | Bottom | 5355,0916 | 5355,0916 | OK | OK |
| Story 3 | Envelope Max | Bottom | 5918,8333 | 5918,8333 | OK | OK |
| Story 2 | Envelope Max | Bottom | 6275,1262 | 6275,1262 | OK | OK |
| Story 1 | Envelope Max | Bottom | 6445,7373 | 6445,7373 | OK | OK |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.41 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 5b

| Lantai | Load Case / Combo | Location | V _x | V _y | Cek 65% arah X | Cek 65% arah Y |
|----------|-------------------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Atap Dak | Envelope Max | Bottom | 1038,6775 | 1038,6775 | | |
| Story 7 | Envelope Max | Bottom | 2437,9822 | 2437,9822 | OK | OK |
| Story 6 | Envelope Max | Bottom | 3626,9081 | 3626,9081 | OK | OK |
| Story 5 | Envelope Max | Bottom | 4591,5367 | 4591,5367 | OK | OK |
| Story 4 | Envelope Max | Bottom | 5355,0916 | 5355,0916 | OK | OK |
| Story 3 | Envelope Max | Bottom | 5918,8333 | 5918,8333 | OK | OK |
| Story 2 | Envelope Max | Bottom | 6275,1262 | 6275,1262 | OK | OK |
| Story 1 | Envelope Max | Bottom | 6445,7373 | 6445,7373 | OK | OK |

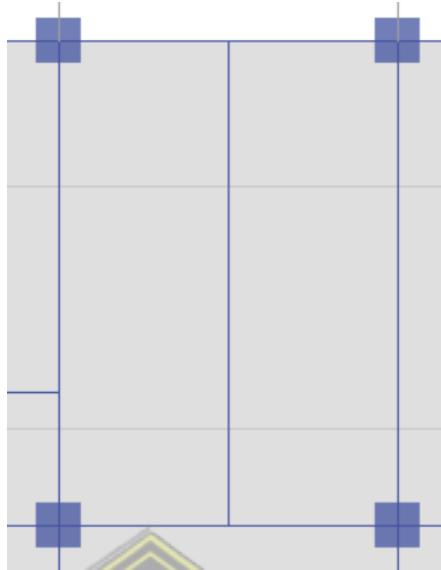
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.10 Perancangan Pelat

Denah lantai mengidentifikasi pelat, momen pada pelat, dan tulangan pada pelat lantai yang diharapkan mampu mendukung beban yang telah disiapkan sebelumnya dan sesuai dengan aturan SNI 2847-2019.

4.10.1 Identifikasi Pelat Lantai

Gambar 4.28 memperlihatkan jenis plat yang akan digunakan sebagai contoh perhitungan.



Gambar 4.35. Tipe Pelat

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

| | |
|--|--|
| Panjang pelat arah sumbu X (L_x) | = 4200 mm |
| Panjang pelat arah sumbu Y (L_y) | = 6000 mm |
| Perbandingan panjang pelat ($\frac{L_y}{L_x}$) | = $\frac{4,2}{6} = 0,7$ |
| Jenis pelat | = 2 arah, karena $L_y / L_x \leq 2$ |
| Tebal pelat (h) | = 120 mm |
| Diamater tulangan (d_b) | = 10 mm |
| Tebal selimut bersih (c_c) | = 20 mm (SNI 2847:2019 Tabel 20.6.1.3.1) |
| Tebal efektif penampang (d) | = $h - c_c - d_s - d_b/2$ = $120 - 20 - 10 - 10/2$ = 85 mm |
| Kuat tekan beton (f_c') | = 35 MPa |
| Kuat leleh tulangan (f_y) | = 420 MPa |
| Modulus elastisitas beton (E_c) | = $4700 \times \sqrt{f_c'}$ = $4700 \times \sqrt{420}$ = 27806 MPa |
| Faktor distribusi tegangan (β_1) | |
| (SNI 2847:2019 Tabel 22.2.2.4.3) | |
| β_1 | = $0,85 - 0,05 \times \frac{(f_c' - 28)}{7}$ = $0,85 - 0,05 \times \frac{(35 - 28)}{7}$ |

$$= 0,8$$

Faktor modifikasi (λ)

(SNI 2847:2019 Tabel 25.4.2.4)

$$\lambda = 1 \text{ (beton normal)}$$

4.10.2 Gaya Dalam

Gaya dalam untuk perancangan pelat diambil dari analisis menggunakan ETABS sebagai berikut:

- M_{\max} akibat $M_{11 \max}$ = 2,429 kN-m
- M_{\min} akibat $M_{11 \min}$ = -4,562 kN-m
- M_{\max} akibat $M_{22 \max}$ = 1,216 kN-m
- M_{\min} akibat $M_{22 \min}$ = -2,225 kN-m
- V_u = 6,789 kN

4.10.3 Penulangan Lentur Pelat (analisis untuk per m²)

a) Momen Positif M_{11}

(Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu X)

- Spasi tulangan (s)
 $s = 200 \text{ mm}$
- Spasi maksimum (s_{\max})
 (SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)
 $s_{\max} = 2 \times h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 200 < 240 \rightarrow \text{OK}$$

- Jumlah tulangan negatif tumpuan (n)

$$n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{200} = \frac{1000}{200} = 5$$

- Diamater tulangan (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$s - d_b = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

Syarat = Jarak bersih $\geq d_b = 190 \geq 10 \rightarrow$ OK

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 392,699 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum (A_s min)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

- Untuk $f_y < 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= 0,2\% \times b \times h \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \text{ (tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa)} \end{aligned}$$

- Untuk $f_y \geq 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min1}} &= (0,18\% \times \frac{420}{f_y}) \times b \times h \\ &= (0,18\% \times \frac{420}{420}) \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min2}} &= 0,14\% \times b \times h \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 120 \\ &= 168 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_{s \text{ min}} = 216 \text{ mm}^2$ (dipilih yang terbesar)

- Cek A_s min :

Syarat = A_s pasang $\geq A_s$ min = $392,699 \geq 216 \rightarrow$ OK

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= 392,699 \times \frac{420}{0,85 \times 35 \times 1000} \\ &= 5,544 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \times 10^{-6}$$

$$= 392,699 \times 420 \times (85 - \frac{5,544}{2}) \times 10^{-6}$$

$$= 13,562 \text{ kN-m}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{5,544}{0,8} = 6,930 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ε_t)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan Pasal 22.2.2.1)

$$\begin{aligned}\varepsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(85-6,930)}{6,930} \times 0,003 \\ &= 0,034\end{aligned}$$

- Regangan tulangan tarik lapisan terluar (ε_{ty})

$$\varepsilon_{ty} = 0,002 \text{ (beton non prategang)}$$

- Batas tulangan regangan tarik

$$\text{Batas } = 0,005$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

- Untuk $\varepsilon_t < \varepsilon_{ty}$

$$\phi = 0,65$$

- Untuk $\varepsilon_{ty} < \varepsilon_t < 0,005$

$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(\varepsilon_t - \varepsilon_{ty})}{(0,005 - \varepsilon_{ty})} \\ &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(0,034 - 0,002)}{(0,005 - 0,002)} \\ &= 3,32\end{aligned}$$

- Untuk $\varepsilon_t \geq 0,005$

$$\phi = 0,90$$

$$\phi_{\text{dipakai}} = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,025 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 0,90 \times 11,913$$

$$= 10,722 \text{ kN-m}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}
 M_u &= |M_{\max} \text{ akibat } M_{11 \max}| \\
 &= |1,216| \\
 &= 1,216 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\
 &= 10,722 > 1,216 \text{ OK}
 \end{aligned}$$

- Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 - 200

b) Momen Negatif M_{11}

(Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu X)

- Spasi tulangan (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum (s_{\max})

(SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)

$$s_{\max} = 2 \times h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 120 < 240 \rightarrow \text{OK}$$

- Jumlah tulangan negatif tumpuan (n)

$$n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{200} = \frac{1000}{200} = 5$$

- Diamater tulangan (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$s - d_b = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\text{Syarat} = \text{Jarak bersih} \geq d_b = 190 \geq 10 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang dipasang ($A_{s \text{ pasang}}$)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\
 &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\
 &= 392,699 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum ($A_{s \min}$)
(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

- Untuk $f_y < 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= 0,2\% \times b \times h \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 (\text{tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa}) \end{aligned}$$

- Untuk $f_y \geq 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_{s \min 1} &= (0,18\% \times \frac{420}{f_y}) \times b \times h \\ &= (0,18\% \times \frac{420}{420}) \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \min 2} &= 0,14\% \times b \times h \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 120 \\ &= 168 \text{ mm}^2 \\ A_{s \min} &= 216 \text{ mm}^2 (\text{dipilih yang terbesar}) \end{aligned}$$

- Cek $A_{s \ min}$:

Syarat $= A_{s \ pasang} \geq A_{s \ min} = 392,699 \geq 216 \rightarrow \text{OK}$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= 392,699 \times \frac{420}{0,85 \times 35 \times 1000} \\ &= 5,544 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \times 10^{-6} \\ &= 392,699 \times 420 \times (85 - \frac{5,544}{2}) \times 10^{-6} \\ &= 13,562 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{5,544}{0,8} = 6,930 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ε_t)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan Pasal 22.2.2.1)

$$\varepsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{(85-6,930)}{6,930} \times 0,003 \\ = 0,034$$

- Regangan tulangan tarik lapisan terluar (ε_{ty})

$$\varepsilon_{ty} = 0,002 \text{ (beton non prategang)}$$

- Batas tulangan regangan tarik

$$\text{Batas} = 0,005$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

- Untuk $\varepsilon_t < \varepsilon_{ty}$

$$\phi = 0,65$$

- Untuk $\varepsilon_{ty} < \varepsilon_t < 0,005$

$$\phi = 0,65 + 0,25 \times \frac{(\varepsilon_t - \varepsilon_{ty})}{(0,005 - \varepsilon_{ty})} \\ = 0,65 + 0,25 \times \frac{(0,034 - 0,002)}{(0,005 - 0,002)} \\ = 3,32$$

- Untuk $\varepsilon_t \geq 0,005$

$$\phi = 0,90$$

$$\phi_{\text{dipakai}} = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,025 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 0,90 \times 13,562 \\ = 12,206 \text{ kN-m}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$M_u = |M_{\min} \text{ akibat } M_{11 \min}| \\ = |-4,562| \\ = 4,562 \text{ kN-m}$$

- Cek kapasitas :

$$\text{Syarat} = \phi M_n > M_u \\ = 12,206 > 4,562 \rightarrow \text{OK}$$

- Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 - 200

c) Momen Positif M_{22}

(Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu Y)

- Spasi tulangan (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum (s_{\max})

(SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)

$$s_{\max} = 2 \times h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 200 < 240 \rightarrow \text{OK}$$

- Jumlah tulangan negatif tumpuan (n)

$$n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{200} = 5$$

- Diamater tulangan (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$s - d_b = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\text{Syarat} = \text{Jarak bersih} \geq d_b = 190 \geq 10 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 392,699 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum ($A_{s \min}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

- Untuk $f_y < 420 \text{ MPa}$

$$A_{s \min} = 0,2\% \times b \times h$$

$$= 0,2\% \times 1000 \times 120$$

$$= 240 \text{ mm}^2 (\text{tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa})$$

- Untuk $f_y \geq 420 \text{ MPa}$

$$A_{s \min} = (0,18\% \times \frac{420}{f_y}) \times b \times h$$

$$= (0,18\% \times \frac{420}{420}) \times 1000 \times 120$$

$$= 216 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{s \min 1} &= (0,18\% \times \frac{420}{f_y}) \times b \times h \\ &= (0,18\% \times \frac{420}{420}) \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \ min 2} &= 0,14\% \times b \times h \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 120 \\ &= 168 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s \ min} = 216 \text{ mm}^2 (\text{dipilih yang terbesar})$$

- Cek $A_{s \ min}$:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_s \text{ pasang} \geq A_{s \ min} \\ &= 392,699 \geq 216 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= 392,699 \times \frac{420}{0,85 \times 35 \times 1000} \\ &= 5,544 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \times 10^{-6} \\ &= 392,699 \times 420 \times (85 - \frac{5,544}{2}) \times 10^{-6} \\ &= 11,913 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{5,544}{0,8} = 6,93 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ε_t)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan Pasal 22.2.2.1)

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(85-6,93)}{6,93} \times 0,003 \\ &= 0,034 \end{aligned}$$

- Regangan tulangan tarik lapisan terluar (ε_{ty})

$$\varepsilon_{ty} = 0,002 \text{ (beton non prategang)}$$
 - Batas tulangan regangan tarik

$$\text{Batas} = 0,005$$
 - Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

 - Untuk $\varepsilon_t < \varepsilon_{ty}$
$$\phi = 0,65$$
 - Untuk $\varepsilon_{ty} < \varepsilon_t < 0,005$
$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(\varepsilon_t - \varepsilon_{ty})}{(0,005 - \varepsilon_{ty})} \\ &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(0,034 - 0,002)}{(0,005 - 0,002)} \\ &= 3,32\end{aligned}$$
 - Untuk $\varepsilon_t \geq 0,005$
$$\begin{aligned}\phi &= 0,90 \\ \phi_{\text{dipakai}} &= 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,025 \geq 0,005)\end{aligned}$$
 - Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 11,913 \\ &= 10,722 \text{ kN-m}\end{aligned}$$
 - Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}M_u &= |M_{\max} \text{ akibat } M_{22 \max}| \\ &= |1,216| \\ &= 1,216 \text{ kN-m}\end{aligned}$$
 - Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 10,722 > 1,216 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$
 - Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 - 200
- d) Momen Negatif M_{22}**
- (Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu Y)

- Spasi tulangan (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum (s_{\max})

(SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)

$$s_{\max} = 2 \times h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 200 < 240 \rightarrow \text{OK}$$

- Jumlah tulangan negatif tumpuan (n)

$$n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{200} = \frac{1000}{200} = 5$$

- Diamater tulangan (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$s - d_b = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\text{Syarat } = \text{Jarak bersih} \geq d_b = 190 \geq 10 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang dipasang ($A_s \text{ pasang}$)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 392,699 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum ($A_{s \min}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

- Untuk $f_y < 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= 0,2\% \times b \times h \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 (\text{tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa}) \end{aligned}$$

- Untuk $f_y \geq 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_{s \min 1} &= (0,18\% \times \frac{420}{f_y}) \times b \times h \\ &= (0,18\% \times \frac{420}{420}) \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s \min 2} = 0,14\% \times b \times h$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,14\% \times 1000 \times 120 \\
 &= 168 \text{ mm}^2 \\
 A_{s \min} &= 216 \text{ mm}^2 \text{ (dipilih yang terbesar)}
 \end{aligned}$$

- Cek $A_{s \min}$:

$$\text{Syarat } = A_s \text{ pasang} \geq A_{s \min} = 392,699 \geq 216 \rightarrow \text{OK}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
 a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= 392,699 \times \frac{420}{0,85 \times 35 \times 1000} \\
 &= 5,544 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\
 &= 392,699 \times 420 \times \left(85 - \frac{5,544}{2}\right) \times 10^{-6} \\
 &= 11,913 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{5,544}{0,8} = 6,390 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ε_t)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan Pasal 22.2.2.1)

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{(85-6,39)}{6,39} \times 0,003 \\
 &= 0,034
 \end{aligned}$$

- Regangan tulangan tarik lapisan terluar (ε_{ty})

$$\varepsilon_{ty} = 0,002 \text{ (beton non prategang)}$$

- Batas tulangan regangan tarik

$$\text{Batas} = 0,005$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

- Untuk $\varepsilon_t < \varepsilon_{ty}$

$$\phi = 0,65$$

- Untuk $\varepsilon_{ty} < \varepsilon_t < 0,005$

$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(\varepsilon_t - \varepsilon_{ty})}{(0,005 - \varepsilon_{ty})} \\ &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(0,034 - 0,002)}{(0,005 - 0,002)} \\ &= 3,32\end{aligned}$$

- Untuk $\varepsilon_t \geq 0,005$

$$\begin{aligned}\phi &= 0,90 \\ \phi_{\text{dipakai}} &= 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,025 \geq 0,005)\end{aligned}$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 11,913 \\ &= 10,722 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}M_u &= |M_{\min} \text{ akibat } M_{22 \min}| \\ &= |-2,225| \\ &= 2,225 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}\text{Syarat } &\phi M_n > M_u \\ &= 10,722 > 2,225 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 – 200

e) Tulangan Minimum

(untuk Tumpuan Bawah dan Lapangan Atas, Arah X dan Y)

- Spasi tulangan (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum (s_{\max})

(SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)

$$s_{\max} = 2 \times h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 200 < 240 \rightarrow \text{OK}$$

- Diamater tulangan (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$s - d_b = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih
(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \text{Jarak bersih} \geq d_b \\ &= 190 \geq 10 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 392,699 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum (A_s min)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

- Untuk $f_y < 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= 0,2\% \times b \times h \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \text{ (tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa)} \end{aligned}$$

- Untuk $f_y \geq 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min1}} &= (0,18\% \times \frac{420}{f_y}) \times b \times h \\ &= (0,18\% \times \frac{420}{420}) \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min2}} &= 0,14\% \times b \times h \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 130 \\ &= 168 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ min} = 216 \text{ mm}^2 \text{ (dipilih yang terbesar)}$$

- Cek A_s min :

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ min} \\ &= 392,699 \geq 216 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 - 200

4.10.4 Pengecekan Kapasitas Geser

- Kapasitas geser beton (V_c)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{35} \times 1000 \times 85/1000 \\ &= 85,487 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

$$\phi = 0,75$$

- Ambang batas geser pelat

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.3.1)

$$\begin{aligned} \text{Batas} &= 0,5 \times \phi \times V_c \\ &= 0,5 \times 0,75 \times 85,487 \\ &= 32,058 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Cek keperluan tulangan geser pelat

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= V_u > 0,5 \times \phi \times V_c \\ &= 6,789 < 32,058 \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser} \end{aligned}$$

4.10.5 Pengecekan Lendutan Pelat

a) Kapasitas Retak Lentur

- Momen inersia pelat (I_g)

$$I_g = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 1000 \times 120^3 = 144000000 \text{ mm}^4$$

- Tegangan retak (f_r)

$$f_r = 0,62 \times \sqrt{f'_c} = 0,62 \times \sqrt{35} = 3,668 \text{ MPa}$$

- Garis netral (y)

$$y = \frac{h}{2} = \frac{120}{2} = 60 \text{ mm}$$

- Kapasitas retak lentur (M_{cr})

$$\begin{aligned} M_{cr} &= f_r \times \frac{I_g}{y} \times 10^{-6} \\ &= 3,668 \times \frac{144000000}{60} \times 10^{-6} \\ &= 8,803 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Momen inersia retak (I_{cr})

$$I_{cr} = 0,25 \times I_g = 0,25 \times 144000000 = 36000000 \text{ mm}^4$$

b) Lendutan Arah Sumbu X

- Gaya dalam yang diperoleh dalam ETABS :

| | |
|---|---------------|
| - $M_{11 \text{ max}}$ akibat <i>DL</i> | = 2,79 kN-m |
| - $M_{11 \text{ min}}$ akibat <i>DL</i> | = -3,218 kN-m |
| - $M_{11 \text{ max}}$ akibat <i>SIDL</i> | = 3,905 kN-m |
| - $M_{11 \text{ min}}$ akibat <i>SIDL</i> | = -1,242 kN-m |
| - $M_{11 \text{ max}}$ akibat <i>LL</i> | = 2,58 kN-m |
| - $M_{11 \text{ min}}$ akibat <i>LL</i> | = -2,646 kN-m |

- Data hasil olah gaya dalam :

| | |
|---------------------------|---|
| - M_a lapangan (+) | $= \sum M_{11 \text{ max}}$ |
| | $= 2,79 + 3,905 + 2,58$ |
| | $= 9,275 \text{ kN-m}$ |
| - M_a tumpuan (-) | $= \sum M_{11 \text{ min}}$ |
| | $= -3,21 + (-1,242) + (-2,646)$ |
| | $= -7,106 \text{ kN-m}$ |
| - M_{cr} / M_a lapangan | $= 8,803 / 9,275$ |
| | $= 0,949 \text{ kN-m}$ |
| - M_{cr} / M_a tumpuan | $= 8,803 / 7,106$ |
| | $= 1,239 \text{ kN-m}$ |
| - I_e lapangan | $= \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] \times I_{cr}$ |
| | $= (0,949)^3 \times 1,44 \times 10^8 + [1 - (0,949)^3] \times 3,6 \times 10^7$ |
| | $= 128340636 \text{ mm}^4$ |

$$I_e \text{ lapangan dipakai} = I_g = 128340636 \text{ mm}^4 \text{ (karena } I_e \text{ lapangan} > I_g)$$

$$\begin{aligned} - I_e \text{ tumpuan} &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] \times I_{cr} \\ &= (1,239)^3 \times 1,44 \times 10^8 + [1 - (1,239)^3] \times 3,6 \times 10^7 \\ &= 144000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$I_e \text{ tumpuan dipakai} = I_g = 144000000 \text{ mm}^4 \text{ (karena } I_e \text{ tumpuan} > I_g)$$

$$\begin{aligned} - I_e \text{ rata-rata} &= 0,5 \times I_e \text{ lapangan} + 0,5 \times I_e \text{ tumpuan} \\ &= 0,5 \times 128340636 + 0,5 \times 144000000 \\ &= 136170318 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Lendutan seketika akibat DL (δ_{DL})

$$\begin{aligned}\delta_{DL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_e \text{ rata-rata}} \times 10^6 \\ &= \frac{\frac{5}{48} \times 4200 \times (2,58 + 0,2 \times 2,646)}{27806 \times 136170318} \times 10^6 \\ &= 1,666 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Lendutan seketika akibat $SIDL$ (δ_{SIDL})

$$\begin{aligned}\delta_{SIDL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_e \text{ rata-rata}} \times 10^6 \\ &= \frac{\frac{5}{48} \times 4200 \times (3,905 + 0,2 \times 1,242)}{27806 \times 136170318} \times 10^6 \\ &= 2,016 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Lendutan seketika akibat LL (δ_{LL})

$$\begin{aligned}\delta_{LL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_e \text{ rata-rata}} \times 10^6 \\ &= \frac{\frac{5}{48} \times 4200 \times (2,58 + 0,2 \times 2,646)}{27806 \times 136170318} \times 10^6 \\ &= 1,509 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Syarat lendutan seketika akibat LL (δ_{LL})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\text{Syarat} \quad = \frac{L}{360} = \frac{4800}{360} = 11,667 \text{ mm}$$

- Cek lendutan seketika akibat LL (δ_{LL})

$$\begin{aligned}\text{Cek} \quad &= \delta_{LL} < \frac{L}{360} \\ &= 1,509 < 11,667 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Rasio tulangan pelat (ρ)

$$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \times d} = \frac{392,699}{1000 \times 85} = 0,004134$$

- Faktor jangka panjang (λ)

$$\lambda = \frac{2}{1 + 50 \times \rho} = \frac{2}{1 + 50 \times 0,004134} = 1,625$$

- Lendutan jangka panjang (δ_{LT})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\delta_{LT} = \lambda \times (\delta_{DL} + \delta_{SIDL}) + \delta_{LL}$$

$$= 1,625 \times (1,66 + 2,016) + 1,509$$

$$= 7,491 \text{ mm}$$

- Syarat lendutan jangka panjang (δ_{LT})
(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)
- Syarat $= \frac{L}{240} = \frac{4200}{240} = 17,500 \text{ mm}$
- Cek lendutan jangka panjang (δ_{LT})
- Cek $= \delta_{LT} < \frac{L}{240}$
 $= 7,491 < 17,500 \rightarrow \text{OK}$

c) Lendutan Arah Sumbu Y

- Gaya dalam yang diperoleh dalam ETABS :
- $M_{22 \text{ max}} \text{ akibat } DL = 2,789 \text{ kN-m}$
 - $M_{22 \text{ min}} \text{ akibat } DL = -3,045 \text{ kN-m}$
 - $M_{22 \text{ max}} \text{ akibat } SIDL = 3,905 \text{ kN-m}$
 - $M_{22 \text{ min}} \text{ akibat } SIDL = -3,975 \text{ kN-m}$
 - $M_{22 \text{ max}} \text{ akibat } LL = 2,579 \text{ kN-m}$
 - $M_{22 \text{ min}} \text{ akibat } LL = -2,646 \text{ kN-m}$
- Data hasil olah gaya dalam :
- $M_a \text{ lapangan (+)} = \sum M_{22 \text{ max}}$
 $= 2,789 + 3,905 + 2,579$
 $= 9,273 \text{ kN-m}$
 - $M_a \text{ tumpuan (-)} = \sum M_{22 \text{ min}}$
 $= -3,045 + (-3,975) + (-2,646)$
 $= -9,666 \text{ kN-m}$
 - $M_{cr} / M_a \text{ lapangan} = 8,803 / 9,273$
 $= 0,949 \text{ kN-m}$
 - $M_{cr} / M_a \text{ tumpuan} = 8,803 / 9,666$
 $= 0,911 \text{ kN-m}$
 - $I_e \text{ lapangan} = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \times I_{cr}$
 $= (0,949)^3 \times 1,44 \times 10^8 + [1 - (0,949)^3] \times 3,6 \times 10^7$
 $= 128400397 \text{ mm}^4$
 - $I_e \text{ lapangan dipakai} = 128400397 \text{ mm}^4 \text{ (karena } I_e \text{ lapangan} < I_g\text{)}$

$- I_e$ tumpuan $= \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] \times I_{cr}$
 $= (0,911)^3 \times 1,44 \times 10^8 + [1 - (0,911)^3] \times 3,6 \times 10^7$
 $= 117581980 \text{ mm}^4$

I_e tumpuan dipakai $= I_g = 117581980 \text{ mm}^4$ (karena I_e tumpuan $> I_g$)
 $- I_e$ rata-rata $= 0,5 \times I_e$ lapangan $+ 0,5 \times I_e$ tumpuan
 $= 0,5 \times 128400397 + 0,5 \times 117581980$
 $= 122991189 \text{ mm}^4$

- Lendutan seketika akibat DL (δ_{DL})

$$\delta_{DL} = \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_e \text{ rata-rata}} \times 10^6$$

$$= \frac{\frac{5}{48} \times 6000 \times (2,789 + 0,2 \times 3,045)}{27806 \times 136170318} \times 10^6$$

$$= 3,76 \text{ mm}$$

- Lendutan seketika akibat $SIDL$ (δ_{SIDL})

$$\delta_{SIDL} = \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_e \text{ rata-rata}} \times 10^6$$

$$= \frac{\frac{5}{48} \times 6000 \times (3,905 + 0,2 \times 3,975)}{27806 \times 136170318} \times 10^6$$

$$= 5,154 \text{ mm}$$

- Lendutan seketika akibat LL (δ_{LL})

$$\delta_{LL} = \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_e \text{ rata-rata}} \times 10^6$$

$$= \frac{\frac{5}{48} \times 6000 \times (2,579 + 0,2 \times 2,646)}{27806 \times 136170318} \times 10^6$$

$$= 3,408 \text{ mm}$$

- Syarat lendutan seketika akibat LL (δ_{LL})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

Syarat $= \frac{L}{360} = \frac{6000}{360} = 16,667 \text{ mm}$

- Cek lendutan seketika akibat LL (δ_{LL})

Cek $= \delta_{LL} < \frac{L}{360}$

$$= 3,408 < 16,667 \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan pelat (ρ)

$$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \times d} = \frac{392,699}{1000 \times 85} = 0,004134$$

- Faktor jangka panjang (λ)

$$\lambda = \frac{2}{1 + 50 \times \rho} = \frac{2}{1 + 50 \times 0,004134} = 1,625$$

- Lendutan jangka panjang (δ_{LT})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\delta_{LT} = \lambda \times (\delta_{DL} + \delta_{SIDL}) + \delta_{LL}$$

$$= 1,625 \times (3,726 + 5,154) + 3,408$$

$$= 17,835 \text{ mm}$$

- Syarat lendutan jangka panjang (δ_{LT})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\text{Syarat} = \frac{L}{240} = \frac{6000}{240} = 25,000 \text{ mm}$$

- Cek lendutan jangka panjang (δ_{LT})

$$\text{Cek} = \delta_{LT} < \frac{L}{240}$$

$$= 17,835 < 25,000 \rightarrow \text{OK}$$

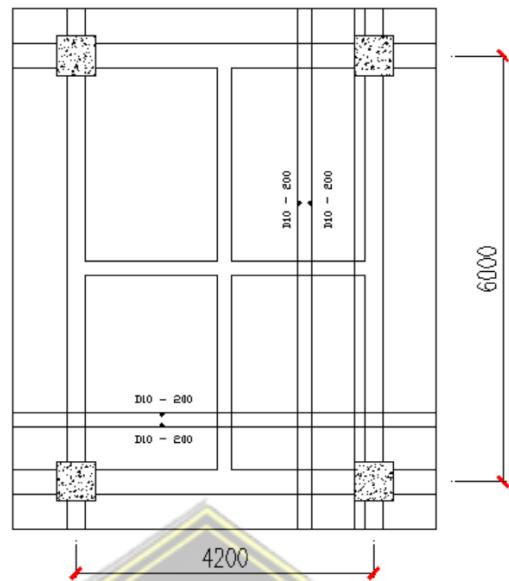
4.10.6 Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat

Tabel 4.42 dan Gambar 4.36 memberikan rekapitulasi hasil penulangan pelat beton dan gambar yang digunakan dalam perencanaan.

Tabel 4.42. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat

| Pelat | L_x (m) | L_y (m) | Arah | Tumpuan | | Lapangan | |
|-------|--------------|--------------|------|---------|---------|----------|---------|
| | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| S1 | 4,2 | 6 | X | D10-200 | D10-200 | D10-200 | D10-200 |
| | | | Y | D10-200 | D10-200 | D10-200 | D10-200 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.36. Penulangan Pelat

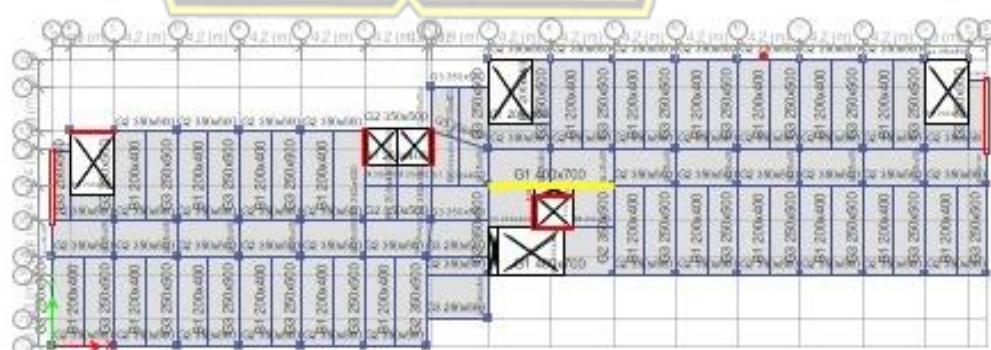
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.11 Perancangan Balok

Sebagai bagian dari studi kapasitas desain balok berdasarkan SRPMK, perhitungan tulangan lentur, tulangan geser, dan torsi balok dilakukan secara konvensional untuk memperkirakan jumlah beban yang diperlukan.

4.11.1 Properti Material dan Penampang

Balok G1 pada tingkat kelima, seperti terlihat pada Gambar 4.37, merupakan jenis balok yang akan digunakan sebagai contoh perhitungan.



Gambar 4.37. Denah Balok G1 Sampel

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

| | |
|--|---|
| Panjang balok (L) | = 8400 mm |
| Lebar balok (b) | = 400 mm |
| Tinggi balok (h) | = 700 mm |
| Panjang tumpuan | = $2 \times h = 2 \times 700 = 1400$ mm |
| Diamater tulangan longitudinal (d_b) | = 22 mm |
| Diamater tulangan pinggang (d_{bt}) | = 10 mm |
| Diamater tulangan sengkang (d_s) | = 10 mm |
| Tebal selimut bersih (c_c) | = 30 mm |
| Tebal efektif balok (d) | = $h - c_c - d_s - d_b/2$ = $700 - 30 - 10 - 22/2$ = 649 mm |
| Kuat tekan beton (f'_c) | = 35 MPa |
| Kuat leleh tulangan longitudinal (f_y) | = 420 MPa |
| Kuat leleh tulangan transversal (f_y) | = 420 MPa |
| Faktor distribusi tegangan (β_1) | = $0,85 - 0,05 \times \frac{(f'_c - 28)}{7}$ = $0,85 - 0,05 \times \frac{(35 - 28)}{7}$ = 0,8 |
| Panjang Kolom (c_1) | = 550 mm |
| Lebar Kolom (c_2) | = 550 mm |
| Panjang bersih balok (L_n) | = $L - c_1 = 8400 - 550 = 7850$ mm |
| Faktor modifikasi (λ) | = 1 (beton normal) |

4.11.2 Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok

Tahapan-tahapan perhitungan tulangan longitudinal balok yang dilakukan, antara lain:

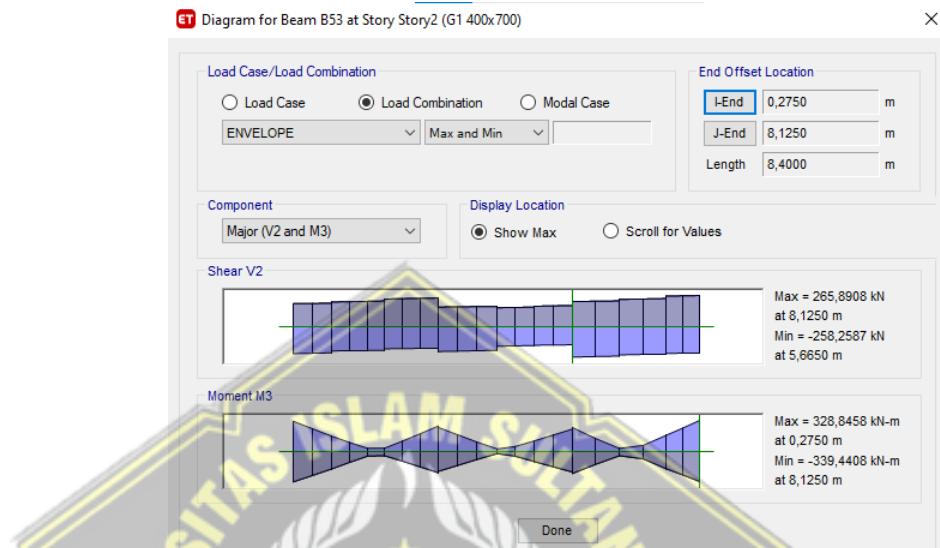
1. Gaya Dalam

Gaya dalam digunakan untuk membangun tulangan longitudinal balok B1 berupa momen ultimate tumpuan dan lapangan dari ETABS.

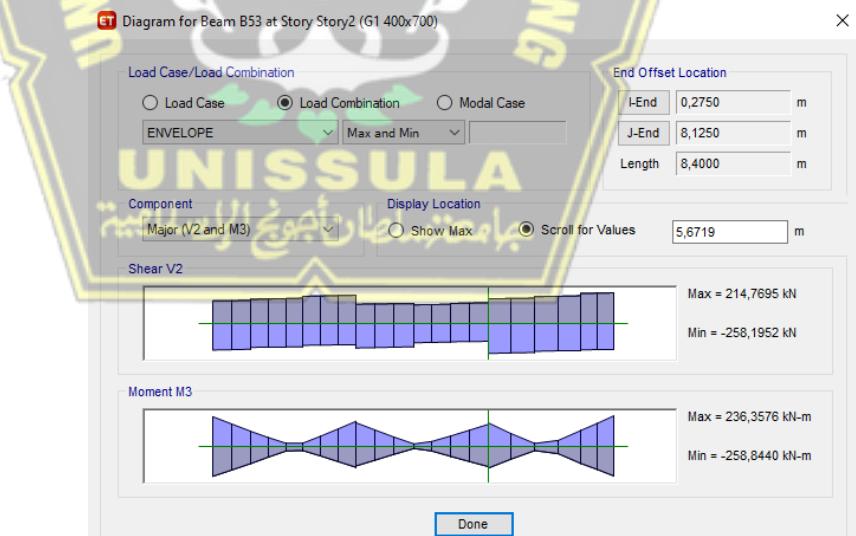
- M_u tumpuan (-) = -339,4408 kN-m
- M_u tumpuan (+) = 328,8458 kN-m
- M_u lapangan (-) = -258,844 kN-m

- M_u lapangan (+) = 236,3576 kN-m
- P_u = 0 kN

Gambar 4.38 dan Gambar 4.39 menunjukkan momen tumpuan dan medan ultimit balok B1 seperti yang diperoleh dari ETABS.



Gambar 4.38. Momen Ultimit Tumpuan Balok G1
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.39. Momen Ultimit Lapangan Balok G1
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

2. Syarat Gaya dan Geometri

a) Syarat Gaya Aksial

(SNI 2847:2019 pada Penjelasan R18.6.1 dan Pasal 18.6.4.7)

$$\begin{aligned}\text{Syarat } &= P_u \leq 0,1 A_g \times f_c' \\ &= 0 \leq 0,1 \times 400 \times 700 \times 35 \\ &= 0 \leq 980000 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

b) Syarat Tinggi Efektif

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat } &= L_n \geq 4 d \\ &= 7850 \geq 4 \times 649 \\ &= 7850 \geq 2596 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

c) Syarat Lebar 1

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat } &= b \geq \text{minimal (}0,3 h \text{ atau } 250 \text{ mm)} \rightarrow \text{ambil nilai terkecil} \\ &= 400 \geq \text{minimal (}0,3 \times 700 \text{ atau } 250 \text{ mm)} \\ &= 350 \geq \text{minimal (}210 \text{ atau } 250 \text{ mm)} \\ &= 350 \geq 210 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

d) Syarat Lebar 2

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat } &= b \leq c_2 + 2 \times \text{minimal (}c_2 \text{ atau } 0,75 c_1\text{)} \rightarrow \text{ambil terkecil} \\ &= 400 \leq 550 + 2 \times \text{minimal (}550 \text{ atau } 0,75 \times 550\text{)} \\ &= 400 \leq 550 + 2 \times \text{minimal (}550 \text{ atau } 412,5\text{)} \\ &= 400 \leq 550 + 2 \times 412,5 \\ &= 400 \leq 1375 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

3. Tulangan Tumpuan Atas

- Jumlah tulangan tumpuan atas (n)

$$n = 7$$

- Diamater tulangan longitudinal (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned}\text{Jarak bersih} &= \frac{b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 7 \times 22}{7 - 1}\end{aligned}$$

$$= 27,667 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih
(SNI 2847:2019 pada Pasal 25.2.1)
Syarat = Jarak Bersih \geq maksimal (d_b dan 25 mm)
 $= 27,667 \geq$ maksimal (19 dan 25) \rightarrow ambil nilai terbesar
 $= 27,200 \geq 25 \rightarrow \text{OK}$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 7 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 2659,580 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum (A_s min)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.1.2)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{420} \times 400 \times 649 \\ &= 914,175 \text{ mm}^2 \\ A_{s \text{ min } 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 649 \\ &= 865,333 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= \text{maksimum } (A_{s \text{ min } 1} \text{ atau } A_{s \text{ min } 2}) \\ &= 914,175 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek $A_{s \text{ min}}$:

$$\begin{aligned} \text{Syarat } A_s \text{ pasang} &\geq A_{s \text{ min}} \\ &= 2659,580 \geq 914,175 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_s \text{ pasang}}{b \times d} = \frac{2659,580}{400 \times 649} = 0,0102$$

- Rasio tulangan maksimum (ρ_{\max})

$$\begin{aligned} \rho_{\max 1} &= 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= 0,75 \times 0,8357 \times 0,8 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{600+420} \\ &= 0,025 \end{aligned}$$

$\rho_{\max 2} = 0,025$ (SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.3.1)

$\rho_{\max} = \text{maksimum } (\rho_{\max 1} \text{ atau } \rho_{\max 2})$

$$= 0,025$$

- Cek $A_{s \max}$:

Syarat $= \rho \leq \rho_{\max}$

$$= 0,0102 \leq 0,025 \rightarrow \text{OK}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= 26559,580 \times \frac{420}{0,85 \times 35 \times 400} \\ &= 93,868 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 26559,580 \times 420 \times \left(649 - \frac{93,868}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 672,522 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{93,868}{0,8} = 117,334 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ε_t)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(649-117,334)}{117,334} \times 0,003 \end{aligned}$$

$$= 0,014$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\phi = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,017 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 0,90 \times 672,522$$

$$= 605,27 \text{ kN-m}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}
 M_u &= |M_{u \text{ tumpuan } (-)}| \\
 &= |-339,4408| \\
 &= 339,4408 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\
 &= 605,27 > \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan ($A_s \text{ perlu}$)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= \frac{M_u}{f_y \times (d - \frac{a}{2})} \times 339,4408 \times 10^6 \\
 &= \frac{339,4408}{420 \times (649 - \frac{93,868}{2})} \times 10^6 \\
 &= 1342,365 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

4. Tulangan Tumpuan Bawah

- Jumlah tulangan tumpuan bawah (n)

$$n = 5$$

- Diamater tulangan longitudinal (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak bersih} &= \frac{b - 2c_c - 2d_s - n \times d_b}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 5 \times 22}{3 - 1} \\
 &= 52,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 pada Pasal 25.2.1)

Syarat = Jarak bersih \geq maksimal (d_b dan 25 mm)

$$\begin{aligned}
 &= 52,5 \geq \text{maksimal (19 dan 25)} \rightarrow \text{ambil nilai terbesar} \\
 &= 52,5 \geq 25 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang dipasang ($A_s \text{ pasang}$)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\
 &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\
 &= 1900,664 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum ($A_{s \min}$)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.1.2 dan 18.6.3.2)

$$A_{s \min 1} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{420} \times 400 \times 649$$

$$= 914,175 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min 2} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 649$$

$$= 865,33 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min 3} = 0,5 \times A_s \text{ tumpuan (-)}$$

$$= 0,5 \times 2659,580$$

$$= 1329,790 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min} = \text{maksimum } (A_{s \min 1}; A_{s \min 2}; \text{ atau } A_{s \min 3})$$

$$= 1329,790 \text{ mm}^2$$

- Cek $A_{s \min}$:
Syarat $= A_s \text{ pasang} \geq A_{s \min}$
 $= 1900,664 \geq 1329,790 \rightarrow \text{OK}$

- Rasio tulangan (ρ)
 $\rho = \frac{A_s \text{ pasang}}{b \times d} = \frac{1900,664}{400 \times 649} = 0,0073$

- Rasio tulangan maksimum (ρ_{\max})

$$\rho_{\max 1} = 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y}$$

$$= 0,75 \times 0,8 \times 0,85 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{600+420}$$

$$= 0,025$$

$$\rho_{\max 2} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.3.1)}$$

$$\rho_{\max} = \text{maksimum } (\rho_{\max 1} \text{ atau } \rho_{\max 2})$$

$$= 0,025$$

- Cek $A_{s \max}$:
Syarat $= \rho \leq \rho_{\max}$
 $= 0,0073 \leq 0,025 \rightarrow \text{OK}$

- Tinggi blok beton (a)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
 a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= 1900,664 \times \frac{420}{0,85 \times 30 \times 400} \\
 &= 67,082 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\
 &= 1900,664 \times 420 \times \left(649 - \frac{67,082}{2}\right) \times 10^{-6} \\
 &= 491,308 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{67,082}{0,8} = 83,853 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ε_t)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{(649-83,853)}{83,853} \times 0,003 \\
 &= 0,020
 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\phi = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,037 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times M_n \\
 &= 0,90 \times 491,308 \\
 &= 442,177 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}
 M_u &= |M_u \text{ tumpuan (+)}| \\
 &= |328,8458| \\
 &= 328,846 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat } &\phi M_n > M_u \\
 &= 442,177 > 328,846 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan (A_s perlu)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= \frac{M_u}{f_y \times (d - \frac{\alpha}{2})} \times 10^6 \\
 &= \frac{328,846}{420 \times (649 - \frac{67,082}{2})} \times 10^6 \\
 &= 328,846 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

5. Tulangan Lapangan Atas

- Jumlah tulangan lapangan atas (n)

$$n = 5$$

- Diamater tulangan longitudinal (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

Jarak bersih

$$\begin{aligned}
 &= \frac{b - 2c_c - 2d_s - n \times d_b}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 5 \times 22}{4 - 1} \\
 &= 52,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 pada Pasal 25.2.1)

Syarat = Jarak Bersih \geq maksimal (d_b dan 25 mm)

$= 52,5 \geq$ maksimal (19 dan 25) \rightarrow ambil nilai terbesar

$= 52,5 \geq 25 \rightarrow \text{OK}$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\
 &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\
 &= 1900,664 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum ($A_{s \text{ min}}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.1.2 dan 18.6.3.2)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{420} \times 400 \times 649 \\
 &= 914,175 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \min 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 649 \\
 &= 865,333 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \min 3} &= 0,25 \times A_{s \text{ tumpuan}} (-) \\
 &= 0,25 \times 2659,580 \\
 &= 664,895 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \min} &= \text{maksimum} (A_{s \min 1}; A_{s \min 2}; \text{atau } A_{s \min 3}) \\
 &= 914,175 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Cek $A_{s \min}$:

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat } A_{s \text{ pasang}} &\geq A_{s \min} \\
 &= 1900,664 \geq 914,175 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_{s \text{ pasang}}}{b \times d} = \frac{1900,664}{400 \times 649} = 0,0073$$

- Rasio tulangan maksimum (ρ_{\max})

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max 1} &= 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\
 &= 0,75 \times 0,8 \times 0,85 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{600+420} \\
 &= 0,025
 \end{aligned}$$

$\rho_{\max 2} = 0,025$ (SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.3.1)

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= \text{maksimum} (\rho_{\max 1} \text{ atau } \rho_{\max 2}) \\
 &= 0,025
 \end{aligned}$$

- Cek $A_{s \max}$:

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat } \rho &\leq \rho_{\max} \\
 &= 0,0073 \leq 0,025 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
 a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= 1900,664 \times \frac{420}{0,85 \times 35 \times 400} \\
 &= 67,082 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \times 10^{-6}$$

$$= 1900,664 \times 420 \times (649 - \frac{67,082}{2}) \times 10^{-6}$$

$$= 491,308 \text{ kN-m}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{67,082}{0,8} = 83,853 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ε_t)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\varepsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{(649-83,853)}{83,853} \times 0,003$$

$$= 0,020$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\phi = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,027 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 0,90 \times 491,308$$

$$= 442,177 \text{ kN-m}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$M_u = |M_{u \text{ lapangan}}| (-)$$

$$= |-258,844|$$

$$= 258,844 \text{ kN-m}$$

- Cek kapasitas :

$$\text{Syarat} = \phi M_n > M_u$$

$$= 442,177 > 258,844 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang diperlukan (A_s perlu)

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{M_u}{f_y \times (d - \frac{a}{2})} \times 10^6$$

$$= \frac{258,844}{420 \times (649 - \frac{67,082}{2})} \times 10^6$$

$$= 1001,359 \text{ mm}^2$$

6. Tulangan Lapangan Bawah

- Jumlah tulangan lapangan bawah (n)

$$n = 7$$

- Diamater tulangan longitudinal (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned} \text{Jarak bersih} &= \frac{b - 2c_c - 2d_s - n \times d_b}{n-1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 5 \times 22}{7-1} \\ &= 27,667 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 pada Pasal 25.2.1)

Syarat = Jarak bersih \geq maksimal (d_b dan 25 mm)

$$= 27,667 \geq \text{maksimal (19 dan 25)} \rightarrow \text{ambil nilai terbesar}$$

$$= 27,667 \geq 25 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 7 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 2660,929 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum ($A_{s \min}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.1.2 dan 18.6.3.2)

$$\begin{aligned} A_{s \min 1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{420} \times 400 \times 649 \\ &= 914,175 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \min 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 649 \\ &= 865,333 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \min 3} &= 0,25 \times A_s \text{ tumpuan (-)} \\ &= 0,25 \times 2659,580 \\ &= 664,895 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s \min} = \text{maksimum } (A_{s \min 1}; A_{s \min 2}; \text{ atau } A_{s \min 3})$$

$$= 914,175 \text{ mm}^2$$

- Cek $A_{s\ min}$:

$$\text{Syarat } = A_s \text{ pasang} \geq A_{s\ min}$$

$$= 2660,929 \geq 914,175 \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_s \text{ pasang}}{b \times d} = \frac{2660,929}{400 \times 649} = 0,010$$

- Rasio tulangan maksimum (ρ_{\max})

$$\begin{aligned}\rho_{\max 1} &= 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= 0,75 \times 0,8 \times 0,85 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{600+420} \\ &= 0,025\end{aligned}$$

$$\rho_{\max 2} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.3.1)}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= \text{maksimum } (\rho_{\max 1} \text{ atau } \rho_{\max 2}) \\ &= 0,025\end{aligned}$$

- Cek $A_{s\ max}$:

$$\text{Syarat } = \rho \leq \rho_{\max}$$

$$= 0,010 \leq 0,025 \rightarrow \text{OK}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= 2660,929 \times \frac{420}{0,85 \times 30 \times 350} \\ &= 93,915 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}M_n &= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \times 10^{-6} \\ &= 2660,929 \times 420 \times (649 - \frac{93,915}{2}) \times 10^{-6} \\ &= 672,837 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{93,915}{0,8} = 117,394 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ε_t)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{(649 - 117,394)}{117,394} \times 0,003 \\
 &= 0,014
 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\phi = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,021 \geq 0,005\text{)}$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times M_n \\
 &= 0,90 \times 672,837 \\
 &= 605,553 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}
 M_u &= |M_{u \text{ lapangan}} (+)| \\
 &= |236,358| \\
 &= 236,358 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\
 &= 605,553 > 236,358 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan ($A_s \text{ perlu}$)

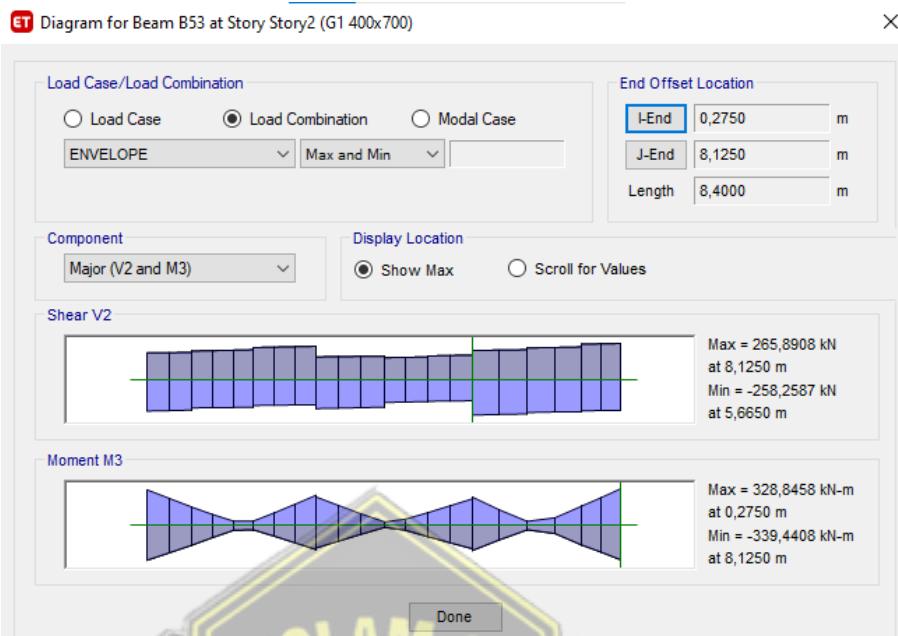
$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= \frac{M_u}{f_y \times (d - \frac{a}{2})} \times 10^6 \\
 &= \frac{236,358}{420 \times (649 - \frac{93,915}{2})} \times 10^6 \\
 &= 934,745 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

4.11.3 Perhitungan Tulangan Transversal Balok

Tulangan transversal pada balok merupakan tulangan yang berguna untuk menahan gaya geser ultimit yang diterima balok. Tahapan-tahapan perhitungan tulangan transversal balok yang dilakukan, antara lain:

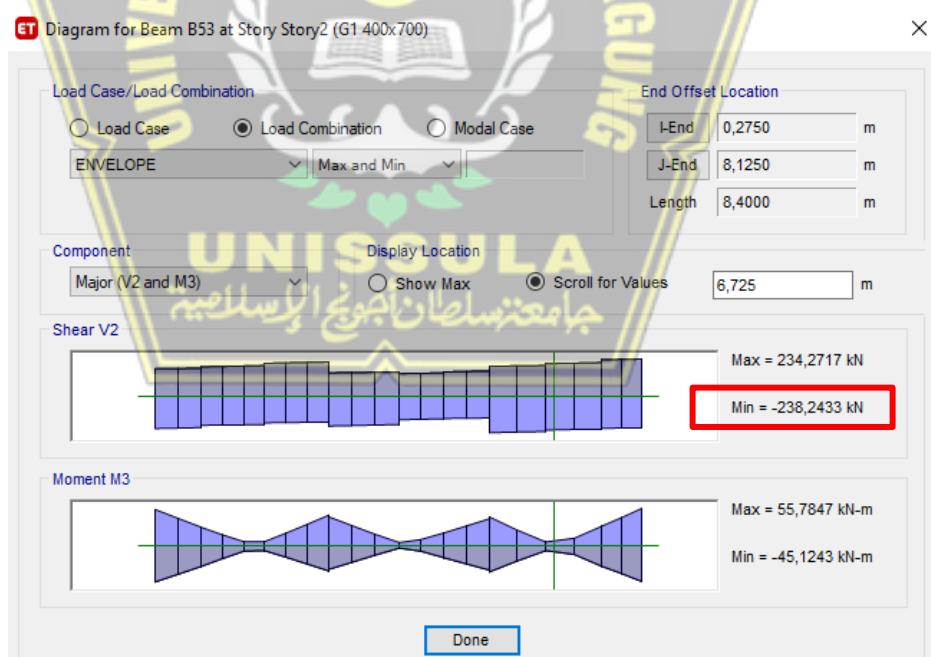
1. Gaya Dalam

Gaya dalam berupa gaya geser ultimit tumpuan dan lapangan pada balok G1. Gambar 4.40 dan Gambar 4.41 memperlihatkan visualisasi gaya geser ultimate dari tumpuan dan medan pada balok G1 sebagaimana ditentukan dari ETABS.



Gambar 4.40. Gaya Geser Ultimit Tumpuan Balok B1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.41. Gaya Geser Ultimit Lapangan Balok B1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Gaya-gaya dalam dari ETABS digunakan untuk membangun tulangan transversal balok B1 pada abutment dan lapangan dalam bentuk gaya geser ultimate :

- $V_{u \text{ tumpuan}} = 265,8908 \text{ kN}$
- $V_{u \text{ lapangan}} = 234,2717 \text{ kN}$

2. Tulangan Transversal Tumpuan

a) Gaya Desain

(SNI 2847:2019 pada Penjelasan Pasal R18.6.5)

Gaya geser terfaktor akibat beban gravitasi dengan kombinasi $1,2 D + L$ yang didapat dari ETABS didapatkan hasil sebagai berikut:

$$V_{g \text{ tumpuan}} = 28,0305 \text{ kN}$$

Dari hasil perhitungan tulangan longitudinal balok di atas, didapatkan luas tulangan pada daerah tumpuan sebagai berikut:

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

$$A_s^- \text{ tumpuan} = 2659,580 \text{ mm}^2$$

• Probable Moment Capacities (M_{pr})

$$\begin{aligned} a_{pr}^+ &= 1,25 a \text{ (tumpuan positif desain lentur)} \\ &= 1,25 \times 67,082 \\ &= 83,853 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{pr}^- &= 1,25 a \text{ (tumpuan negatif desain lentur)} \\ &= 1,25 \times 93,868 \\ &= 117,334 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^+ &= A_s^+ \times 1,25 f_y \times \left(d - \frac{a_{pr}^+}{2}\right) \\ &= 1900,664 \times 1,25 \times 420 \times \left(649 - \frac{83,853}{2}\right) \\ &= 605767398 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^- &= A_s^- \times 1,25 f_y \times \left(d - \frac{a_{pr}^-}{2}\right) \\ &= 2659,580 \times 1,25 \times 420 \times \left(649 - \frac{117,334}{2}\right) \\ &= 824269579 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

• Gaya Geser Akibat Goyangan (V_{sway})

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.5.1)

Gaya geser akibat goyangan dihitung dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned} V_{\text{sway}} \text{ atau } V_{\text{pr}} &= \frac{M_{\text{pr}}^+ + M_{\text{pr}}^-}{L_n} \\ &= \frac{605767398 + 824269579}{7850} \\ &= 182170 \text{ N} \end{aligned}$$

- Gaya Geser Desain Akibat Goyangan (V_e)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.5.1)

Gaya geser desain akibat goyangan dihitung dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned} V_e &= V_g + V_{\text{pr}} \\ &= 28,0305 \times 10^3 + 182170 \\ &= 210201 \text{ N} \end{aligned}$$

b) Tahanan Geser Beton

- Gaya Geser Akibat Goyangan (V_{sway})
 $V_{\text{sway}} \text{ atau } V_{\text{pr}} = 182170 \text{ N}$
- $\frac{1}{2}$ Gaya Geser Desain Akibat Goyangan ($\frac{1}{2} V_e$)
 $\frac{1}{2} V_e = \frac{1}{2} \times 210201 = 105100 \text{ N}$
- Gaya Aksial Terfaktor (P_u)
 $P_u = 0 \text{ N}$
- Menghitung $A_g f_c'$ / 20 :

$$\frac{A_g f_c'}{20} = \frac{400 \times 700 \times 35}{20} = 490000 \text{ N}$$

- Kuat Geser Nominal Beton (V_c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.5.2)

$$\text{Syarat} \quad = V_c = 0, \text{ jika } V_{\text{pr}} \geq \frac{1}{2} V_e \text{ dan } P_u < \frac{A_g f_c'}{20}$$

$$V_{\text{pr}} \geq \frac{1}{2} V_e \quad = 182170 \geq 105100 \rightarrow \text{OK}$$

$$P_u < \frac{A_g f_c'}{20} \quad = 0 < 490000 \rightarrow \text{OK}$$

$$V_c = 0$$

c) Penulangan Geser

- Jumlah kaki (n)

$$n = 3$$

- Luas tulangan geser (A_v)

$$\begin{aligned}
 A_v &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\
 &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\
 &= 235,619 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Spasi tulangan (s)

$$s = 100 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum (s_{\max})

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.4.4)

$$\begin{aligned}
 s_{\max 1} &= \frac{1}{4} \times d = \frac{1}{4} \times 649 = 162,25 \text{ mm} \\
 s_{\max 2} &= 6 \times d_b = 6 \times 22 = 132,00 \text{ mm} \\
 s_{\max 3} &= 150 \text{ mm} \\
 s_{\max} &= \text{minimal } (s_{\max 1}; s_{\max 2}; \text{ atau } s_{\max 3}) \\
 &= 132,00 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 100 < 132,00 \rightarrow \text{OK}$$

- Kuat geser nominal akibat penulangan geser (V_s)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.10.5.3)

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\
 &= \frac{235,619 \times 420 \times 649}{100} \\
 &= 642251 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Batas kuat geser nominal akibat penulangan geser (V_s) :

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.1.2)

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\
 &= 0,66 \times \sqrt{35} \times 400 \times 649 \\
 &= 1013637 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kuat geser (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 12.5.3.2 dan 21.2.4)

$$\phi = 0,75$$

- Kuat geser nominal (V_n)

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_c + V_s \\
 &= 0 + 642251
 \end{aligned}$$

$$= 642251 \text{ N}$$

- Kapasitas geser tereduksi (ϕV_n)

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi \times V_n \\ &= 0,75 \times 642251 \\ &= 481688,25 \text{ N}\end{aligned}$$

- Gaya geser ultimit (V_u)

$$\begin{aligned}V_u &= V_u \text{ tumpuan} \times 10^3 \\ &= 265,8908 \times 10^3 \\ &= 265891 \text{ N}\end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}\text{Syarat } \frac{\phi V_n}{V_u} &\geq 1 \\ &= \frac{481688,25}{265891} \geq 1 \\ &= 1,812 \geq 1 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

3. Tulangan Transversal Lapangan

a) Gaya Dalam

$$V_u \text{ lapangan} = 234,2717 \text{ kN}$$

b) Penulangan Geser

- Jumlah kaki (n)

$$n = 3$$

- Luas tulangan geser (A_v)

$$\begin{aligned}A_v &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 235,619 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Spasi tulangan (s)

$$s = 150 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum (s_{\max})

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.4.6)

$$s_{\max} = \frac{1}{2} \times d = \frac{1}{2} \times 649 = 324,50 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 150 < 324,50 \rightarrow \text{OK}$$

- Kuat geser nominal akibat penulangan geser (V_s)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.10.5.3)

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

$$= \frac{235,619 \times 420 \times 649}{150}$$

$$= 428168 \text{ N}$$

- Batas kuat geser nominal akibat penulangan geser (V_s) :

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.1.2)

$$\text{Batas } V_s = 0,66 \times \sqrt{f_c} \times b \times d$$

$$= 0,66 \times \sqrt{35} \times 400 \times 649$$

$$= 1013637 \text{ N}$$

- Kuat geser nominal beton (V_c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.5.1)

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f_c} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times \sqrt{35} \times 400 \times 649$$

$$= 261088 \text{ N}$$

- Faktor reduksi kuat geser (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 12.5.3.2 dan 21.2.4)

$$\phi = 0,75$$

- Kuat geser nominal (V_n)

$$V_n = V_c + V_s$$

$$= 261088 + 428168$$

$$= 689256 \text{ N}$$

- Kapasitas geser tereduksi (ϕV_n)

$$\phi V_n = \phi \times V_n$$

$$= 0,75 \times 689256$$

$$= 516942 \text{ N}$$

- Gaya geser ultimit (V_u)

$$V_u = V_{u \text{ lapangan}} \times 10^3$$

$$= 234,2717 \times 10^3$$

$$= 234271,7 \text{ N}$$

- Cek kapasitas :

$$\text{Syarat} = \frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1$$

$$= \frac{516942}{234271,7} \geq 1 \\ = 2,207 \geq 1 \rightarrow \text{OK}$$

4.11.4 Perhitungan Tulangan Torsi Balok

Tulangan torsi pada balok merupakan tulangan yang berguna untuk menahan gaya torsi yang diterima balok. Tahapan-tahapan perhitungan tulangan transversal balok yang dilakukan, antara lain:

1. Parameter Umum untuk Perhitungan Torsi

- Luas dibatasi keliling luar penampang beton (A_{cp})

$$A_{cp} = b \times h = 400 \times 700 = 280000 \text{ mm}^2$$

- Keliling luar penampang beton (p_{cp})

$$p_{cp} = 2 \times (b + h) \\ = 2 \times (400 + 700) \\ = 2200 \text{ mm}$$

- $x_0 = b - 2c_c - d_s$
 $= 400 - 2 \times 30 - 10$
 $= 330 \text{ mm}$
- $y_0 = h - 2c_c - d_s$
 $= 700 - 2 \times 30 - 10$
 $= 630 \text{ mm}$

- Luas lingkup garis pusat tulangan torsi (A_{oh})

(SNI 2847:2019 pada Penjelasan Pasal R22.7.6.1.1)

$$A_{oh} = x_0 \times y_0 \\ = 330 \times 630 \\ = 207900 \text{ mm}^2$$

- Luas bruto lingkup lintasan alir geser (A_o)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1.1)

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} \\ = 0,85 \times 207900 \\ = 176715 \text{ mm}^2$$

- Keliling garis pusat tulangan torsi (p_h)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1)

$$p_h = 2 \times (x_0 + y_0)$$

$$= 2 \times (330 + 630) \\ = 1920 \text{ mm}$$

- Kuat leleh tulangan (f_y)

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

- Kuat leleh tulangan torsi (f_{yt})

$$f_{yt} = f_y = 420 \text{ MPa}$$

- Menghitung f_y / f_{yt} :

$$\frac{f_y}{f_{yt}} = \frac{420}{420} = 1$$

- Sudut antara sumbu *strut* dan kord (θ)

(SNI 2847:2019 pada Tabel 22.7.6.1.2)

$$\theta = 45^\circ \text{ (non prategang)}$$

2. Gaya Dalam

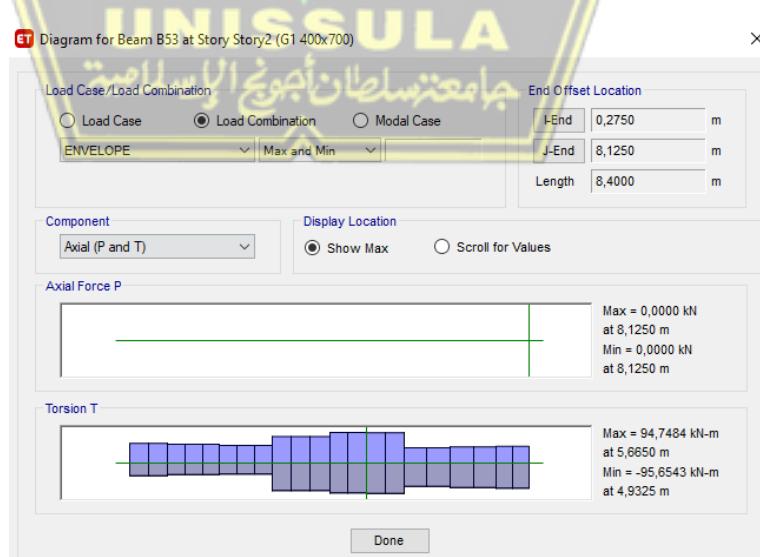
Gaya dalam berupa gaya torsi pada balok B1 yang didapat dari ETABS yang digunakan untuk mendesain tulangan torsi balok sebagai berikut:

$$T_u = 94,7484 \text{ kN-m}$$

$$= 94,7484 \times 10^6$$

$$= 94748400 \text{ N-mm}$$

Tampilan gaya torsi pada balok B1 yang didapat dari ETABS dapat dilihat pada Gambar 4.42.



Gambar 4.42. Gaya Torsi Balok B1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

3. Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi

- Momen retak torsi (T_{cr})

$$\begin{aligned}T_{cr} &= 0,33 \times \sqrt{f_c} \times \frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \\&= 0,33 \times \sqrt{30} \times \frac{280000^2}{2200} \\&= 69573098 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

- Faktor reduksi kuat torsi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.1)

$$\phi = 0,75$$

- Kapasitas torsi tereduksi (ϕT_{cr})

$$\begin{aligned}\phi T_{cr} &= \phi \times T_{cr} \\&= 0,75 \times 69573098 \\&= 52179823,69 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

- Cek perlu tulangan torsi :

(SNI 2847:2019 pada Tabel 22.7.4.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= T_u > \frac{1}{4} \phi T_{cr} \\&= 94748400 > \frac{1}{4} \times 13044956 \\&= 94748400 > 9686986,92 \rightarrow \text{Perlu}\end{aligned}$$

4. Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang

- Momen torsi ultimit yang dipakai (T_u pakai)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.3.2 dan 22.7.5)

$$\begin{aligned}T_u \text{ pakai} &= \text{minimal } (\phi T_{cr} \text{ atau } T_u) \\&= \text{minimal } (52179823,69 \text{ atau } 94748400) \\&= 52179823,69 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

- Gaya geser ultimit (V_u)

$$\begin{aligned}V_u &= V_u \text{ tumpuan} \times 10^3 \\&= 265,891 \times 10^3 \\&= 265891 \text{ N}\end{aligned}$$

- Kuat geser nominal beton (V_c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.5.1)

$$\begin{aligned}V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\&= 0,17 \times \sqrt{35} \times 400 \times 649\end{aligned}$$

$$= 261088 \text{ N}$$

- Tegangan ultimit geser + torsi
(SNI 2847:2019 pada Tabel 22.7.7.1)

Tegangan ultimit geser + torsi

$$\begin{aligned} &= \sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times p_h}{1,7 \times A_{oh}}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{265891}{400 \times 649}\right)^2 + \left(\frac{52179823,69 \times 1920}{1,7 \times 207900^2}\right)^2} \\ &= 1,705 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Kapasitas tegangan beton
(SNI 2847:2019 pada Tabel 22.7.7.1)

Kapasitas tegangan beton

$$\begin{aligned} &= \phi \times \left(\frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times \sqrt{f_c} \right) \\ &= \phi \times \left(\frac{261088}{400 \times 649} + 0,66 \times \sqrt{35} \right) \\ &= 3,683 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Cek dimensi penampang :

$$\begin{aligned} &= \sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times p_h}{1,7 \times A_{oh}}\right)^2} \leq \phi \times \left(\frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times \sqrt{f_c} \right) \\ &= 1,705 \leq 3,683 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

5. Penulangan Transversal Torsi

- Jumlah kaki (n)

$$n_{\text{tumpuan}} = 3$$

$$n_{\text{lapangan}} = 3$$

- Spasi tulangan (s)

$$s_{\text{tumpuan}} = 100 \text{ mm}$$

$$s_{\text{lapangan}} = 150 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum (s_{\max})

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.7.6.3.3)

$$s_{\max 1} = \frac{1}{8} \times p_h = \frac{1}{8} \times 1920 = 240 \text{ mm}$$

$$s_{\max 2} = 300 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = \text{minimal } (s_{\max 1} \text{ atau } s_{\max 2})$$

$$= 240 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s_{\text{tumpuan}} < s_{\max} = 100 < 240 \rightarrow \text{OK}$$

$$s_{\text{lapangan}} < s_{\text{max}} = 150 < 240 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t})

$$A_{v+t \text{ tumpuan}} = n_{\text{tumpuan}} \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2$$

$$= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2$$

$$= 235,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{v+t \text{ lapangan}} = n_{\text{lapangan}} \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2$$

$$= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2$$

$$= 235,5 \text{ mm}^2$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t}) / spasi pasang (s_{pasang})

$$A_{v+t} / s_{\text{tumpuan pasang}} = \frac{A_{v+t \text{ tumpuan}}}{s_{\text{tumpuan pasang}}}$$

$$= \frac{235,5}{100} \\ = 2,356 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{v+t} / s_{\text{lapangan pasang}} = \frac{A_{v+t \text{ lapangan}}}{s_{\text{lapangan pasang}}}$$

$$= \frac{235,5}{150} \\ = 1,571 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Luas satu kaki sengkang penahan torsi (A_t) / spasi (s)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1)

$$A_t / s = \frac{T_u}{2 \times \phi \times A_o \times f_{yt}}$$

$$= \frac{17852000}{2 \times 0,75 \times 176715 \times 420}$$

$$= 0,469 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Luas tulangan geser (A_v) / spasi perlu (s_{perlu})

$$A_v / s_{\text{tumpuan perlu}} = \left(\frac{V_u \text{ tumpuan}}{\phi} - V_c \text{ tumpuan} \right) / (f_y \times d)$$

$$= \left(\frac{265891}{0,75} - 0 \right) / (420 \times 649)$$

$$= 1,301 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_v / s_{\text{lapangan perlu}} = \left(\frac{V_u \text{ lapangan}}{\phi} - V_c \text{ lapangan} \right) / (f_y \times d)$$

$$= \left(\frac{234271,7}{0,75} - 261088 \right) / (420 \times 649)$$

$$= 0,188 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t}) / spasi perlu (s_{perlu})
(SNI 2847:2019 pada Penjelasan Pasal R9.5.4.3)

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{\text{tumpuan perlu}} &= 2 \times (A_t / s) + (A_v / s_{\text{tumpuan perlu}}) \\ &= 2 \times 0,469 + 1,301 \\ &= 2,238 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{\text{lapangan perlu}} &= 2 \times (A_t / s) + (A_v / s_{\text{lapangan perlu}}) \\ &= 2 \times 0,469 + 0,188 \\ &= 1,125 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t}) / spasi minimum (s_{\min})
(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.4.2)

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{\min 1} &= 0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b}{f_y} \\ &= 0,062 \times \sqrt{35} \times \frac{400}{420} \\ &= 0,349 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{\min 2} &= 0,35 \times \frac{b}{f_y} \\ &= 0,35 \times \frac{400}{420} \\ &= 0,333 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{\min} &= \text{maks } (A_{v+t} / s_{\min 1} \text{ atau } A_{v+t} / s_{\min 2}) \\ &= 0,349 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Cek geser + torsi :

$$A_{v+t} / s_{\text{tumpuan pasang}} \geq \text{maksimum } (A_{v+t} / s_{\text{perlu}} \text{ atau } A_{v+t} / s_{\min})$$

$$2,356 \geq \text{maksimum } (2,238 \text{ atau } 0,349)$$

$$2,356 \geq 2,238 \rightarrow \text{OK}$$

$$A_{v+t} / s_{\text{lapangan pasang}} \geq \text{maksimum } (A_{v+t} / s_{\text{perlu}} \text{ atau } A_{v+t} / s_{\min})$$

$$1,571 \geq \text{maksimum } (1,125 \text{ atau } 0,349)$$

$$1,571 \geq 1,125 \rightarrow \text{OK}$$

6. Penulangan Longitudinal Torsi

- Diameter tulangan pinggang (d_b)
- $$d_b = 10 \text{ mm}$$
- Diameter tulangan pinggang minimum ($d_{b \min}$)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.7.5.2)
- $$d_{b \min} = 0,042 s$$

$$\begin{aligned}
&= 0,042 \times \text{maksimum } (s_{\text{tumpuan}} \text{ atau } s_{\text{lapangan}}) \\
&= 0,042 \times 150 \\
&= 6,3 \text{ mm}
\end{aligned}$$

- Cek d_b :

$$\begin{aligned}
\text{Syarat} &= d_b \geq d_{b \text{ min}} \\
&= 10 \geq 6,3 \rightarrow \text{OK}
\end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan (A_s perlu)

$$A_s \text{ perlu tumpuan atas} = 1342,365 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu tumpuan bawah} = 1272,167 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan atas} = 1001,359 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan bawah} = 934,745 \text{ mm}^2$$

- Luas tulangan longitudinal torsi (A_l)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1)

$$\begin{aligned}
A_l &= (A_t / s) \times p_h \\
&= 0,469 \times 1920 \\
&= 899,891 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

- Luas tulangan longitudinal torsi minimum ($A_{l \min}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.4.3)

$$\begin{aligned}
A_{l \min} &= 0,42 \times \sqrt{f_c} \times \frac{A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s} \right) \times p_h \\
&= 0,42 \times \sqrt{35} \times \frac{280000}{420} - 0,469 \times 1920 \\
&= 756,611 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

- Luas tulangan longitudinal (A_s)

$$\begin{aligned}
A_s &= \text{maksimum } (A_l \text{ atau } A_{l \min}) \\
&= \text{maksimum } (899,891 \text{ atau } 756,611) \\
&= 899,891 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

- Luas tulangan longitudinal torsi perlu (A_l perlu)

$$\begin{aligned}
A_l \text{ perlu tumpuan} &= A_s \text{ perlu tumpuan atas} + A_s \text{ perlu tumpuan bawah} \\
&= 1342,365 + 1272,167 \\
&= 2614,532 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_l \text{ perlu lapangan} &= A_s \text{ perlu lapangan atas} + A_s \text{ perlu lapangan bawah} \\
&= 1001,359 + 934,745
\end{aligned}$$

$$= 1936,104 \text{ mm}^2$$

- Luas tul. longitudinal (A_s) + luas tul. longitudinal torsi perlu (A_l perlu)

$$\begin{aligned} A_s + A_l \text{ perlu tumpuan} &= 899,891 + 2614,532 \\ &= 3514,422 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s + A_l \text{ perlu lapangan} &= 899,891 + 1936,104 \\ &= 2835,995 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan negatif (n)

$$\begin{aligned} n \text{ tumpuan atas} &= 7 \\ n \text{ tumpuan tengah} &= 2 \text{ (angka kelipatan 2)} \\ n \text{ tumpuan bawah} &= 5 \\ n \text{ tumpuan vertikal} &= 2 + n \text{ tumpuan tengah} / 2 \\ &= 2 + 2 / 2 \\ &= 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ lapangan atas} &= 5 \\ n \text{ lapangan tengah} &= 4 \text{ (angka kelipatan 2)} \\ n \text{ lapangan bawah} &= 7 \\ n \text{ lapangan vertikal} &= 2 + n \text{ lapangan tengah} / 2 \\ &= 2 + 4 / 2 \\ &= 4 \end{aligned}$$

- Minimal n (n_{atas} atau n_{bawah})

$$\begin{aligned} \text{Minimal } n \text{ tumpuan} &= \text{minimal } (n \text{ tumpuan atas atau } n \text{ tumpuan bawah}) \\ &= \text{minimal } (7 \text{ atau } 5) \\ &= 5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Minimal } n \text{ lapangan} &= \text{minimal } (n \text{ lapangan atas atau } n \text{ lapangan bawah}) \\ &= \text{minimal } (5 \text{ atau } 7) \\ &= 5 \end{aligned}$$

- Spasi tumpuan (s_{tumpuan})

$$\begin{aligned} s_{\text{horizontal tumpuan}} &= \frac{b - 2c_c - 2d_s - d_b}{\min(n_{\text{atas}} \text{ atau } n_{\text{bawah}}) - 1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 22}{5 - 1} \\ &= 75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s_{\text{vertikal tumpuan}} = \frac{h - 2c_c - 2d_s - d_b}{n_{\text{vertikal}} - 1}$$

$$= \frac{700 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 22}{4 - 1}$$

$$= 299$$

s_{tumpuan} = maksimum ($s_{\text{horizontal}}$ atau s_{vertikal})

= maksimum (75 atau 299)

$$= 299$$

- Spasi lapangan (s_{lapangan})

$$s_{\text{horizontal lapangan}} = \frac{b - 2c_c - 2d_s - d_b}{\min(n_{\text{atas}} \text{ atau } n_{\text{bawah}}) - 1}$$

$$= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 22}{5 - 1}$$

$$= 75 \text{ mm}$$

$$s_{\text{vertikal lapangan}} = \frac{h - 2c_c - 2d_s - d_b}{n_{\text{vertikal}} - 1}$$

$$= \frac{700 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 22}{4 - 1}$$

$$= 199$$

s_{lapangan} = maksimum ($s_{\text{horizontal}}$ atau s_{vertikal})

= maksimum (75 atau 199)

$$= 199$$

- Cek spasi tulangan longitudinal :

$$s_{\text{tumpuan}} \leq 300 = 299 \leq 300 \rightarrow \text{OK}$$

$$s_{\text{lapangan}} \leq 300 = 199 \leq 300 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan longitudinal (A_s)

$$A_s \text{ tumpuan} = (n_{\text{atas}} + n_{\text{bawah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

$$= (7 + 5) \times \frac{3,14}{4} \times 22^2$$

$$= 4561,592533 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ lapangan} = (n_{\text{atas}} + n_{\text{bawah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

$$= (4 + 5) \times \frac{3,14}{4} \times 22^2$$

$$= 4561,592533 \text{ mm}^2$$

- Luas tulangan longitudinal torsi pasang (A_l pasang)

$$A_l \text{ pasang tumpuan} = (n_{\text{tengah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_{bt}^2$$

$$= 2 \times \frac{3,14}{4} \times 10^2$$

$$= 157 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{l \text{ pasang lapangan}} &= (n_{\text{tengah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_{bt}^2 \\
 &= 4 \times \frac{3,14}{4} \times 10^2 \\
 &= 314 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Luas tul. longitudinal (A_s) + luas tul. longitudinal torsi pasang (A_l pasang)

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ tumpuan} + A_{l \text{ pasang}} \text{ tumpuan} &= 4561,592533 + 157 \\
 &= 4718,672 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ lapangan} + A_{l \text{ pasang}} \text{ lapangan} &= 4561,592533 + 314 \\
 &= 4875,752 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Cek lentur + torsi :

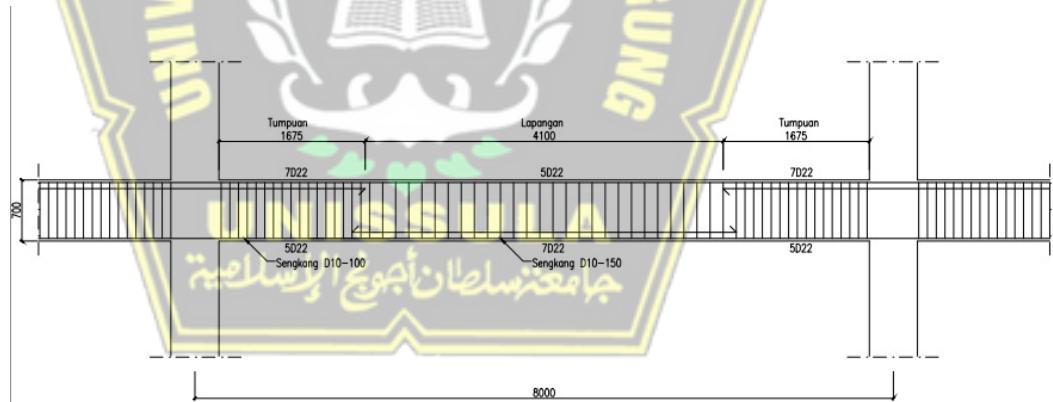
$$A_s \text{ tumpuan} + A_{l \text{ pasang}} \text{ tumpuan} \geq A_s + A_{l \text{ perlu}} \text{ tumpuan}$$

$$4718,672 \geq 3514,422 \rightarrow \text{OK}$$

$$A_s \text{ lapangan} + A_{l \text{ pasang}} \text{ lapangan} \geq A_s + A_{l \text{ perlu}} \text{ lapangan}$$

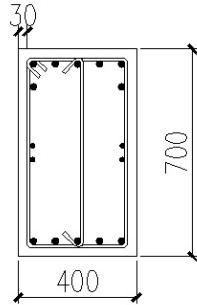
$$4875,752 \geq 2835,995 \rightarrow \text{OK}$$

Gambar tulangan balok B1 yang didapat berdasarkan perhitungan di atas dapat dilihat pada Gambar 4.43 sampai Gambar 4.45.



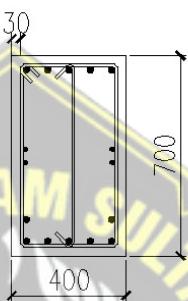
Gambar 4.43. Potongan Memanjang Balok

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.44. Tulangan Tumpuan Balok

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.45. Tulangan Lapangan Balok

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

7. Rekapitulasi Hasil Tulangan Balok

Rekapitulasi tulangan balok berdasarkan hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 4.43 di bawah ini.

Tabel 4.43. Rekapitulasi Tulangan Balok

| Balok Kode | Dimensi (cm) | Lokasi | Tulangan Longitudinal | | Tulangan Transversal | | Tulangan Torsi |
|------------|--------------|--------|-----------------------|----------|----------------------|----------|----------------|
| | | | Tumpuan | Lapangan | Tumpuan | Lapangan | |
| G1 | 40x70 | Atas | 7 D 22 | 5 D 22 | 3D10-100 | 3D10-150 | 4 D 10 |
| | | Bawah | 5 D 22 | 7 D 22 | | | |
| G2 | 35x50 | Atas | 6 D 19 | 4 D 19 | 3D10-100 | 3D10-150 | 2 D 10 |
| | | Bawah | 4 D 19 | 6 D 19 | | | |
| G3 | 25x50 | Atas | 4 D 19 | 3 D 19 | 2D10-100 | 2D10-150 | 2 D 10 |
| | | Bawah | 3 D 19 | 4 D 19 | | | |
| G4 | 20x35 | Atas | 3 D 19 | 3 D 19 | 2D10-100 | 2D-100 | 2 D 10 |
| | | Bawah | 3 D 19 | 3 D 19 | | | |
| B1 | 20x40 | Atas | 3 D 19 | 3 D 19 | 2D10-100 | 2D-100 | 2 D 10 |
| | | Bawah | 3 D 19 | 3 D 19 | | | |

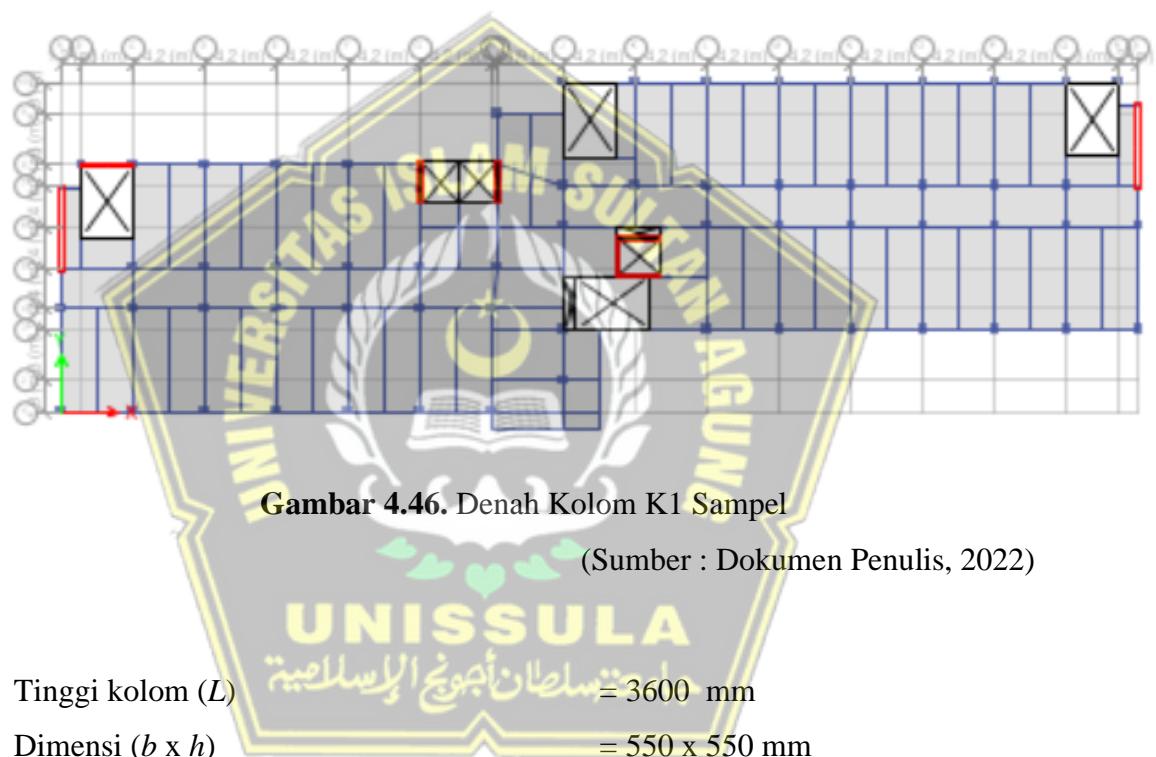
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.12 Perancangan Kolom

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

4.12.1 Properti Material dan Penampang

Kolom K1 pada tingkat pertama Gambar 4.46 adalah jenis kolom yang akan digunakan sebagai model perhitungan.



Gambar 4.46. Denah Kolom K1 Sampel

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

$$\text{Tinggi kolom } (L) = 3600 \text{ mm}$$

$$\text{Dimensi } (b \times h) = 550 \times 550 \text{ mm}$$

$$\text{Luas penampang } (A_g) = 302500 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tebal selimut bersih } (c_c) = 30 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan longitudinal } (d_b) = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan sengkang } (d_s) = 13 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif kolom } (d) &= b - c_c - d_s - d_b/2 \\ &= 550 - 30 - 13 - 22/2 \\ &= 496 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Kuat tekan beton } (f'_c) = 35 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat leleh baja tulangan } (f_y) = 420 \text{ MPa}$$

| | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Faktor reduksi kekuatan (ϕ) | = 0,65 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1) |
| Momen kapasitas balok (M_{nb+}) | = 202,67 kNm |
| Momen kapasitas balok (M_{nb-}) | = 154,86 kNm |

4.12.2 Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom

Tahapan-tahapan perhitungan tulangan longitudinal kolom yang dilakukan, antara lain:

1. Gaya Dalam

Tulangan longitudinal kolom dirancang dengan menggunakan gaya geser pada kolom K1 dan kolom overlay yang diperoleh dari ETABS dan gaya dalam yang dialami kolom berupa gaya tekan aksial.

- P_u kolom atas = 2077,384 kN
- P_u kolom desain = 2371,156 kN
- V_u kolom desain = 57,2296 kN

2. Cek Dimensi

Batasan dimensi untuk struktur kolom sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1 harus memenuhi :

- a) Dimensi terkecil penampang tidak kurang dari 300 mm

$$\text{Syarat } b \geq 300 = 550 \geq 300 \rightarrow \text{OK}$$

- b) Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4

$$\text{Syarat } \frac{b}{h} \geq 0,4 = \frac{550}{550} \geq 0,4 = 1 \geq 0,4 \rightarrow \text{OK}$$

3. Cek syarat komponen struktur tahan gempa

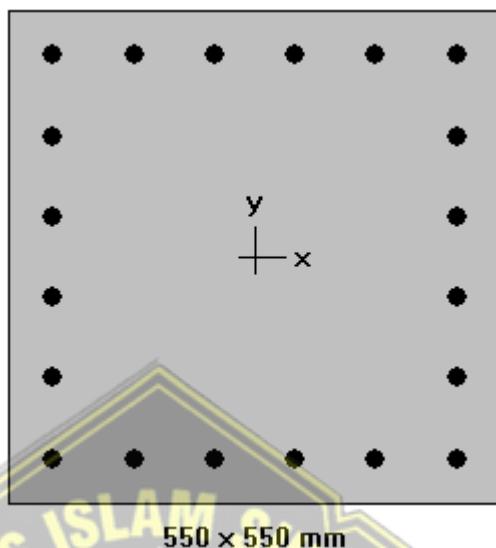
Gaya tekan aksial P_u akibat kombinasi beban yang kurang dari $0,3 A_g f_c`$

$$\begin{aligned} \text{Syarat } P_u &= P_u \leq 0,3 A_g \times f_c` \\ &= 2371,156 \leq 0,3 \times 302500 \times 30 \times 10^{-3} \\ &= 2371,156 \leq 3176,25 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

4. Menentukan tulangan longitudinal penahan lentur

SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4 menyatakan luas tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih besar dari $0,06A_g$. Dengan menggunakan program SPColumn, seperti yang diilustrasikan pada

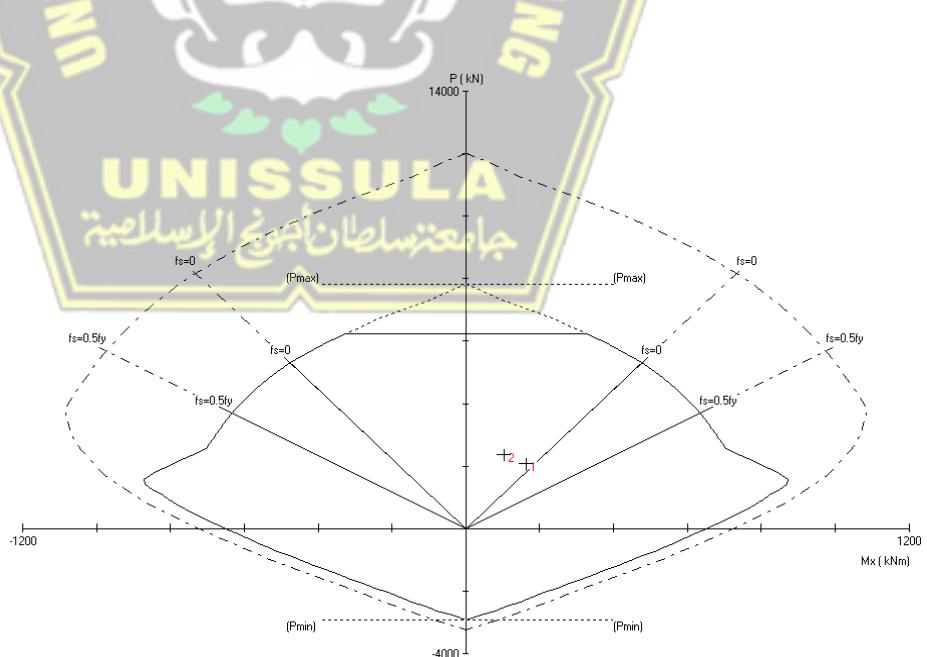
Gambar 4.47, hasil desain tulangan lentur kolom K1 ditemukan secara *trial and error*.



Gambar 4.47. Tulangan Longitudinal Kolom K1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Gambar 4.48 dan Tabel 4.44 menunjukkan diagram interaksi P_n - M_{pr} SPColumn kolom K1 dan hasil analisis interaksi P_n - M_{pr} kolom K1.



Gambar 4.48. Diagram Interaksi P_n - M_{pr} SPColumn Kolom K1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.44. Hasil Analisis Interaksi P_n - M_{pr} Kolom K1

| No | P _u (kN) | M _{ux} (kNm) | φM _{nx} (kNm) | φM _n /Mu | NA depth (mm) | dt depth (mm) | ε _t | φ |
|----|------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------|------------------|------------------|----------------|-------|
| 1 | 2077,00 | 164,00 | 790,52 | 4,820 | 241 | 499 | 0,00322 | 0,747 |
| 2 | 2371,00 | 104,00 | 734,99 | 7,067 | 275 | 499 | 0,00245 | 0,681 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

$$0,01 \text{ Ag} = 0,01 \times 302500 \\ = 3025 \text{ mm}^2$$

$$0,06 \text{ Ag} = 0,06 \times 302500 \\ = 18150 \text{ mm}^2$$

$$\text{Ast} = n \times 1/4 \times \pi \times D^2 \\ = 24 \times 1/4 \times 3,14 \times 484 \\ = 7978,74 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat} = 0,01 \text{ Ag} < \text{Ast} < 0,06 \text{ Ag} \\ = 3025 < 7978,74 < 18150 \rightarrow \text{OK}$$

4.12.3 Perhitungan Tulangan Transversal Kolom

Tahapan-tahapan perhitungan tulangan transversal kolom yang dilakukan, antara lain:

1. Analisis Tulangan Geser sebagai *Confinement*

Pada analisis tulangan geser sebagai kolom ini melalui beberapa tahap, yaitu:

a) Menentukan daerah pemasangan tulangan sengkang persegi (*hoop*), tulangan *hoop* diperlukan sepanjang ℓ_o dari ujung-ujung kolom.

Sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.4.3.3 dengan ℓ_o merupakan nilai terbesar dari:

a. 1/6 tinggi bersih kolom = $4100 / 6 = 683,3 \text{ mm}$

b. Dimensi maksimum kolom = 1000 mm

c. 450 mm

Jadi, jarak ℓ_o digunakan 550 mm

b) Penentuan s_{\max} merupakan nilai terbesar dari:

a. 1/4 dimensi komponen struktur minimum = $550 / 4 = 137,5 \text{ mm}$

- b. $6D = 6 \times 22 = 132$ mm
- c. s_o , tidak melebihi 150 mm dan tidak kurang dari 100 mm
 $s_o = 100 + \frac{350 - 221}{3} = 143$ mm
 Ambil jarak tulangan transversal 100 mm

c) Penentuan luas tulangan *confinement*

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 18.7.5.4. Untuk daerah sepanjang ℓ_o dari ujung-ujung kolom total luas penampang *hoop* tidak boleh kurang dari salah satu yang terbesar di antara :

- Tinggi penampang inti beton yang tertekan (b_{c1})
 $b_{c1} = h - (2 \times c_c) = 550 - (2 \times 30) = 490$ mm
- Lebar penampang inti beton yang tertekan (b_{c2})
 $b_{c2} = b - (2 \times c_c) = 1000 - (2 \times 30) = 490$ mm
- Luas penampang inti beton (A_{ch})
 $A_{ch} = b_c \times b_{c2} = 490 \times 490 = \text{mm}^2$
- Faktor kekuatan beton (k_f) 240100
 $k_f = \frac{f_c'}{175} + 0,6 = \frac{35}{175} + 0,6 = 0,8 \Rightarrow \text{minimal } 1$
- Faktor efektivitas pengekangan (k_n)
 $k_n = \frac{n_i}{n_i - 2} = \frac{20}{20 - 2} = 1,11$
- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})

$$A_{sh1} = 0,3 \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \times \frac{f_c'}{f_{yt}}$$

$$= 0,3 \times \left(\frac{302500}{240100} - 1 \right) \times \frac{35}{420}$$

$$= 0,0065 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0,09 \times \frac{f_c'}{f_{yt}}$$

$$= 0,09 \times \frac{35}{420}$$

$$= 0,0075 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh3} = 0,2 \times k_f \times k_n \times \frac{P_u}{f_{yt} \times A_{ch}}$$

$$= 0,2 \times 1 \times 1,11 \times \frac{2371,156 \times 10^3}{420 \times 240100,00}$$

$$= 0,00523 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = b_c \times A_{sh \max}$$

$$= 490 \times 0,0075$$

$$= 3,675 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} = s \times \frac{A_{sh}}{s}$$

$$= 100 \times 3,675$$

$$= 367,5 \text{ mm}^2$$

Maka dapat digunakan Sengkang (*hoop*) 4 D13-100

$$A_s \text{ pasang} = 4 \text{ kaki} \times 1/4 \times 3,14 \times 13^2 = 530,66 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat } A_s \text{ pasang} > A_{sh}$$

$$= 530,66 > 367,5 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.5. Untuk daerah di luar ℓ_0 diberi sengkang dengan spasi tidak melebihi nilai terkecil dari:

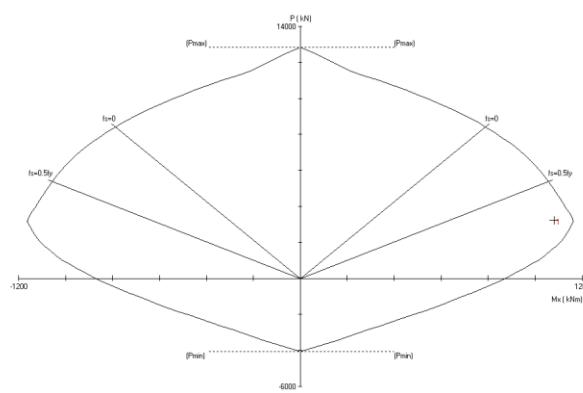
a. $6D = 6 \times 22 = 122 \text{ mm}$

b. 150 mm

Maka $s_{\max} = 150 \text{ mm}$ dan dapat digunakan spasi (s) = 150 mm sepanjang sisa kolom bersih.

2. Analisis Gaya Geser Desain Tulangan Sengkang Kolom

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.1.1, gaya geser V_e harus dikurangkan dari gaya geser yang berkaitan dengan engsel plastis pada kedua ujung kolom. Dengan mengasumsikan bahwa $\phi = 1$ dan kuat tarik longitudinal minimum $1,25f_y$, nilai M_{pr} untuk kolom dapat dihitung. Untuk diagram interaksi P_n - M *SPColumn* dengan $1,25 f_y$ dan hasil analisis interaksi P_n - M *SPColumn* dengan $1,25 f_y$ dapat dilihat pada Gambar 4.49 dan Tabel 4.45.



Gambar 4.49. Diagram Interaksi P_n - M *SPColumn* Kolom K1 dengan $1,25 f_y$

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.45. Hasil Analisis Interaksi P_n - M Kolom K1 dengan $1,25 f_y$

| No | P_u (kN) | M_{ux} (kNm) | ϕM_{nx} (kNm) | $\phi M_n / M_u$ | NA depth (mm) | d_t depth (mm) | ε_t | ϕ |
|----|---------------|-------------------|------------------------|------------------|---------------------|------------------------|-----------------|--------|
| 1 | 3242 | 1080 | 1164,04 | 1,078 | 267 | 499 | 0,00261 | 1,000 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

- *Probable Moment of Column ($M_{pr\ c}$)*

$$M_{pr\ c} = 1164,04 \text{ kNm}$$

- Tinggi bersih kolom (L_n)

$$\begin{aligned} L_n &= \text{Tinggi Kolom} - \text{Tinggi Balok} \\ &= 3600 - 700 \\ &= 3100 \text{ mm} \\ &= 3,10 \text{ m} \end{aligned}$$

- *Probable Moment of Beam ($M_{pr\ b}$)*

$$M_{pr\ b \text{ atas}} = 187768299,2 \text{ Nmm} = 187,77 \text{ kNm}$$

$$M_{pr\ b \text{ bawah}} = 244287698,5 \text{ Nmm} = 244,29 \text{ kNm}$$

$$\sum M_{pr\ b} = 187,77 + 244,29 = 432,06 \text{ kNm}$$

- Faktor distribusi kolom (D_f)

$$D_f = 0,5 \text{ (atas dan bawah dianggap sama)}$$

- Faktor reduksi geser (ϕ)

$$\phi = 0,75$$

- Gaya geser desain (V_e)

$$\begin{aligned} V_{e1} &= \frac{M_{pr\ b \text{ atas}} + M_{pr\ b \text{ bawah}}}{L_n} \\ &= \frac{1164,04 + 1164,04}{3,10} \\ &= 750,99 \text{ kN} \end{aligned}$$

V_e tidak perlu melebihi dari:

$$\begin{aligned} V_{e2} &= \frac{\sum M_{pr\ b} \times D_f \text{ atas} + \sum M_{pr\ b} \times D_f \text{ bawah}}{L_n} \\ &= \frac{432,06 \times 0,5 + 432,06 \times 0,5}{3,10} \\ &= 139,37 \text{ kN} \end{aligned}$$

V_e tidak boleh kurang dari gaya geser terfaktor hasil analisis:

$$V_{e3} = 104,83 \text{ kN}$$

- Dari nilai V_e yang telah dihitung, maka diambil $V_u = 139,37$ kN.
Asumsi kuat geser yang disumbang oleh beton, $V_c = 0$. Maka:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} = \frac{139,37}{0,75} = 185,83 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \times d} = \frac{185,83}{420 \times 496} = 0,892 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Untuk $s = 100$ mm, maka:

$$A_v = \frac{A_v}{s} \times 100 = 0,892 \times 100 = 89,2 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Cek $A_{sh} > A_v$

Syarat $= A_{sh} > A_v$
 $= 530,66 > 89,2 \rightarrow \text{OK}$

Digunakan 4 D13-100 untuk sengkang tertutup dan ikat silang dengan $A_{sh} = 530,66 \text{ mm}^2$.

3. Menghitung nilai V_c daerah di luar ℓ_0

(SNI 2847:2019 Pasal 22.5.6.1)

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{P_u}{14A_g}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$= 0,17 \times \left(1 + \frac{2371,156 \times 10^3}{14 \times 302500}\right) \times 1 \times \sqrt{35} \times 550 \times 496$$

$$= 427,979 \text{ kN}$$

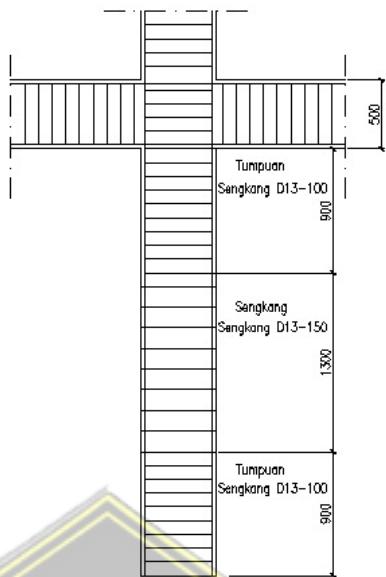
Karena $V_c > V_u$ ($V_u = 139,37$ kN) maka daerah di luar ℓ_0 dipasang tulangan

sengkang dengan jarak:

$$s = \frac{d}{2} = \frac{496}{2} = 248 \text{ mm}$$

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.5, tulangan melintang tidak boleh melewati ℓ_0 lebih dari 150 mm atau $6d_b$ (150 mm). Jarak maksimum yang dipasang adalah 150 mm.

Hasil perhitungan yang digambarkan pada Gambar 4.50 sampai dengan Gambar 4.52 ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



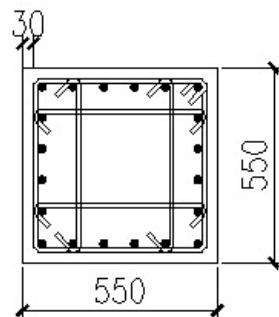
Gambar 4.50. Potongan Memanjang Kolom K1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.51. Tulangan Ujung Kolom K1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.52. Tulangan Tengah Kolom K1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.12.4 Rekapitulasi Hasil Tulangan Kolom

Hasil penulangan kolom yang direkapitulasi pada Tabel 4.46 dirangkum di bawah ini berdasarkan hasil perhitungan tulangan untuk semua jenis kolom yang telah dilakukan.

Tabel 4.46. Rekapitulasi Tulangan Kolom

| No | Tipe Kolom | Dimensi Kolom | Tulangan Pokok | Tulangan Geser | |
|----|------------|---------------|----------------|----------------|-----------|
| | | | | Tumpuan | Lapangan |
| 1 | K550x550 | 550 × 550 | 20 D22 | 4 D13-100 | 4 D13-150 |
| 2 | K450x450 | 450 × 450 | 16 D22 | 3 D13-100 | 3 D13-150 |
| 3 | K400x400 | 400 × 400 | 16 D22 | 3 D13-100 | 3 D13-150 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.12.5 Perancangan *Strong Column-Weak Beam*

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi Persamaan 4.13 sesuai SNI 2847:2019

Pasal 18.7.3.2 sebagai berikut:

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$$

1. Menentukan nilai $\sum M_{nb}$

$$\begin{aligned}\sum M_{nb} &= M_{nb}^+ + M_{nb}^- \\ &= 202,67 + 154,86 \\ &= 357,53 \text{ kNm}\end{aligned}$$

2. Menentukan nilai $\sum M_{nc}$

Nilai M_{nc} dapat dicari dengan mencari gaya aksial yang dihasilkan oleh kombinasi beban pada kolom atas dan kolom bawah pada diagram interaksi P_n - M SPColumn. Nilai M_{nc} atas dan bawah adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\sum M_{nc} &= M_{nc} \text{ atas} + M_{nc} \text{ bawah} \\ &= 1068,27 + 0 \\ &= 1068,27 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat} \quad &= \sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \\ &= 1068,27 \geq 1,2 \times 357,53 \\ &= 1068,27 \geq 429,036 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

4.12.6 Perancangan Hubungan Balok-Kolom (*Joint*)

Hubungan balok-kolom (*joint*) merupakan daerah pertemuan antara kolom dan balok yang harus didetailkan dengan baik. Analisis perhitungan hubungan balok B3 dengan kolom K1 lantai 1 dengan langkah-langkah sebagai berikut:

4.12.7 Syarat Panjang *Joint*

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.2.3, dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton normal.

- Lebar kolom (b)

$$b = h = 550 \text{ mm}$$

- Diameter tulangan longitudinal terbesar balok (d_b)

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

$$20d_b = 20 \times 22 = 440 \text{ mm}$$

- Cek $b > 20d_b$

$$\text{Syarat } b > 20d_b = 550 > 440 \rightarrow \text{OK}$$

4.12.8 Tulangan Geser untuk *Confinement*

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.3.1, jumlah tulangan *confinement* dapat menggunakan seperti pada detail tulangan geser kolom pada ℓ_0 . Dari hasil analisis tulangan geser kolom di atas digunakan tulangan geser 4 D13-100.

4.12.9 Gaya Geser pada *Joint*

Momen balok yang timbul:

- *Probable Moment of Beam Positive* (M_{prb}^+)

$$M_{\text{prb}}^+ = 187,77 \text{ kNm}$$

- *Probable Moment of Beam Negative* (M_{prb}^-)

$$M_{\text{prb}}^- = 244,29 \text{ kNm}$$

- Faktor distribusi kolom (D_f)

$$D_f = 0,5 \rightarrow \text{OK}$$

- Momen terfaktori diperbesar (M_c)

$$M_c = 0,5 \times (M_{\text{prb}}^+ + M_{\text{prb}}^-)$$

$$= 0,5 \times (187,77 + 244,29)$$

$$= 216,03 \text{ kNm}$$

4.12.10 Gaya Geser pada Kolom

- Tinggi efektif kolom (L_n)

$$\begin{aligned}
 L_n &= \text{Tinggi Kolom} - \text{Tinggi Balok} \\
 &= 3600 - 500 \\
 &= 3100 \text{ mm} \\
 &= 3,10 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Gaya geser kolom (V_h)

$$\begin{aligned}
 V_h &= \frac{M_c}{L_n} \\
 &= \frac{216,03}{3,10} \\
 &= 69,69 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4.12.11 Gaya Geser pada Tulangan Longitudinal Balok

- Luas tulangan atas 4 D19, $A_s = 1133,540 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
 T_1 &= 1,25 \times A_s \times f_y \\
 &= 1,25 \times 1133,540 \times 420 \\
 &= 595,11 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada beton di sisi kiri hubungan balok kolom, sebesar:

$$C_1 = T_1 = 595,11 \text{ kN}$$

- Luas tulangan bawah 3 D19, $A_s = 850,586 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
 T_2 &= 1,25 \times A_s \times F_y \\
 &= 1,25 \times 850,59 \times 420 \\
 &= 446,56 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada beton di sisi kanan hubungan balok kolom sebesar :

$$C_2 = T_2 = 446,56 \text{ kN}$$

4.12.12 Kuat Geser pada Joint

- Kuat geser pada joint (V_j) sebesar:

$$\begin{aligned}
 V_j &= T_1 + T_2 - V_h \\
 &= 595,11 + 446,56 - 69,69
 \end{aligned}$$

$$= 971,98$$

4.12.13 Kuat Geser yang dikekang keempat Sisi

- Kuat geser nominal (V_n)

$$\begin{aligned} V_n &= 1,7 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times A_g \\ &= 1,7 \times 1 \times \sqrt{35} \times 302500 \times 10^{-3} \\ &= 3042,34 \text{ kN} \end{aligned}$$

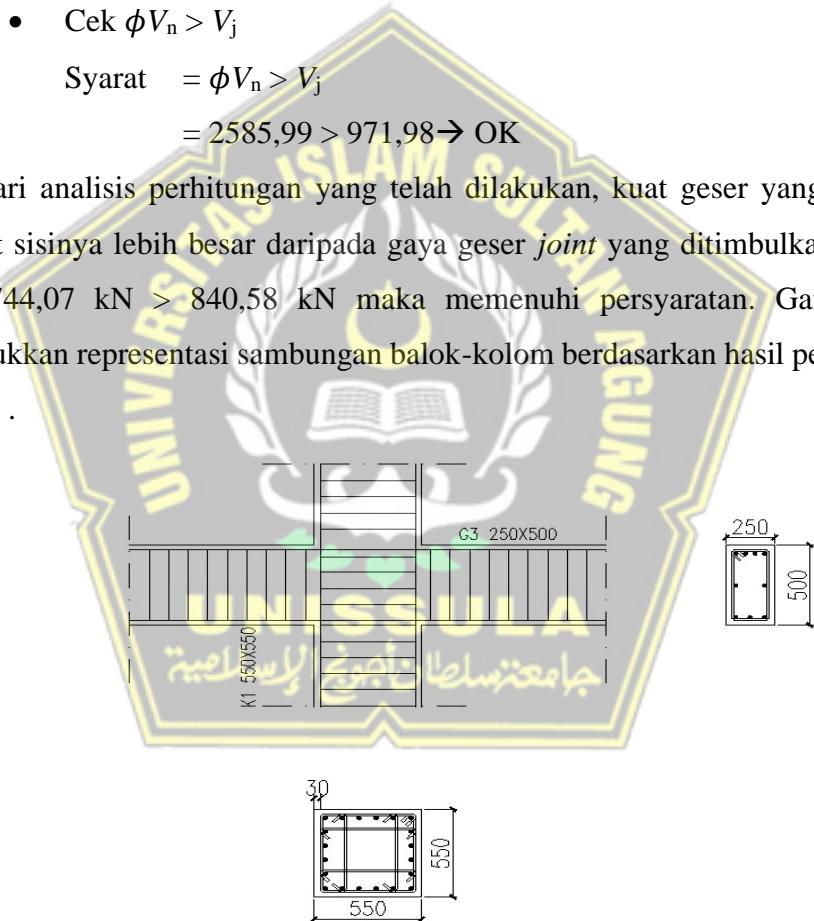
- Kapasitas geser tereduksi (ϕV_n)

$$\phi V_n = \phi \times V_n = 0,85 \times 3042,34 = 2585,99 \text{ N}$$

- Cek $\phi V_n > V_j$

$$\begin{aligned} \text{Syarat } &= \phi V_n > V_j \\ &= 2585,99 > 971,98 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

Dari analisis perhitungan yang telah dilakukan, kuat geser yang dikekang keempat sisinya lebih besar daripada gaya geser *joint* yang ditimbulkan. Dengan nilai $6744,07 \text{ kN} > 840,58 \text{ kN}$ maka memenuhi persyaratan. Gambar 4.53 menunjukkan representasi sambungan balok-kolom berdasarkan hasil perhitungan.



Gambar 4.53. Hubungan Balok Kolom (*Joint*)

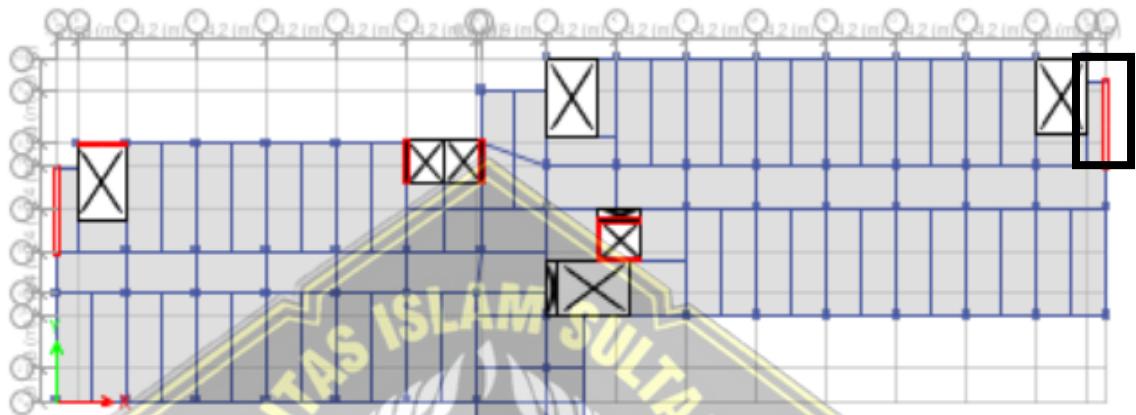
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.13 Perancangan Dinding Geser

Perancangan dinding geser memerlukan analisis kapasitas desain dinding geser untuk mengetahui dimensi penampang dinding geser yang didesain agar mampu menahan gaya momen serta gaya geser.

4.13.1 Perhitungan *Shear Wall 03*

Dinding geser yang terlihat pada Gambar 4.54 akan digunakan sebagai contoh perhitungan.



Gambar 4.54. Denah Dinding Geser Sampel

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tebal dinding geser (t_w) = 300 mm

Panjang dinding geser (L) = 5050 mm

Panjang kolom (h_k) = 300 mm

Lebar kolom (b_k) = 300 mm

Tinggi dinding geser total (h_w) = 27400 mm

Diameter tul. longitudinal badan (d_l) = 16 mm

Diameter tul. transversal badan (d_t) = 16 mm

Diameter tulangan kolom (d_b) = 16 mm

Kuat tekan beton (f_c') = 35 MPa

Kuat leleh baja tulangan (f_y) = 420 MPa

4.12.1.1. Gaya Dalam

Gaya dalam untuk perancangan dinding geser diambil dari analisis menggunakan ETABS ditunjukkan pada Tabel 4.47 dan Tabel 4.48.

Tabel 4.47. Gaya Aksial-Lentur pada Dinding Geser

| Gaya Aksial – Lentur | | | |
|----------------------|-----------|----------------------|----------------------|
| Kondisi | P (kN) | M ₂ (kNm) | M ₃ (kNm) |
| P _{max} | 727,434 | 64,842 | 13601,123 |
| P _{min} | -4453,311 | -232,815 | -22633,284 |
| M ₂ Max | 405,167 | 278,585 | 8848,956 |
| M ₂ Min | -1871,366 | -277,247 | -3306,311 |
| M ₃ Max | 144,585 | 215,797 | 25665,913 |
| M ₃ Min | -4073,438 | -242,691 | -26269,039 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.48. Gaya Geser pada Dinding Geser

| Gaya Geser | |
|---------------------|----------|
| V ₂ (kN) | 2757,527 |
| V ₃ (kN) | 160,807 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.12.1.2. Pengecekan Geometri

- Panjang total (L_w)

$$L_w = L + h_k = 5050 + 300 = 5350 \text{ kN}$$

- Panjang bersih (L_n)

$$L_n = L - h_k = 5050 - 300 = 4750 \text{ N}$$

- Luas penampang melintang (A_{cv})

$$A_{cv} = t_w \times L_w = 300 \times 5350 = 1605000 \text{ mm}^2$$

- Luas total dinding geser (A_w)

$$\begin{aligned} A_w &= t_w \times L_n + 2 \times (b_k \times h_k) \\ &= 300 \times 4750 + 2 \times (300 \times 300) \\ &= 160500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4.12.1.3. Kebutuhan Tulangan Minimum

- Faktor reduksi kekuatan geser

$$\phi = 0,75$$

- Gaya geser ($\frac{V_u}{\phi}$)

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{2757,525 \times 10^3}{0,75} = 3676699 \text{ N}$$

- Rasio tulangan minimum (ρ_{\min})

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.1)

Rasio tulangan minimal yaitu 0,0025, kecuali jika $V_u < 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$, maka rasio tulangan diizinkan sesuai SNI 2847:2019 Tabel 11.6.1.

$$\begin{aligned}\text{Syarat } &= V_u < 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c} \\ &= 2757,525 < 0,083 \times 1605000 \times \sqrt{35} \\ &= 2757,525 > 788111 \text{ N} \rightarrow \text{Pakai rasio minimal 0,0025}\end{aligned}$$

Karena $V_u > 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$, maka :

- Rasio tulangan longitudinal minimum ($\rho_{l \min}$) = 0,0025
- Rasio tulangan transversal minimum ($\rho_{t \min}$) = 0,0025

- Jumlah lapis tulangan pakai (n_{lapis})

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.2)

Minimal 2 lapis tulangan dibutuhkan jika $V_u > 0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$ atau $\frac{h_w}{l_w} \geq 2$.

Cek batasan 1:

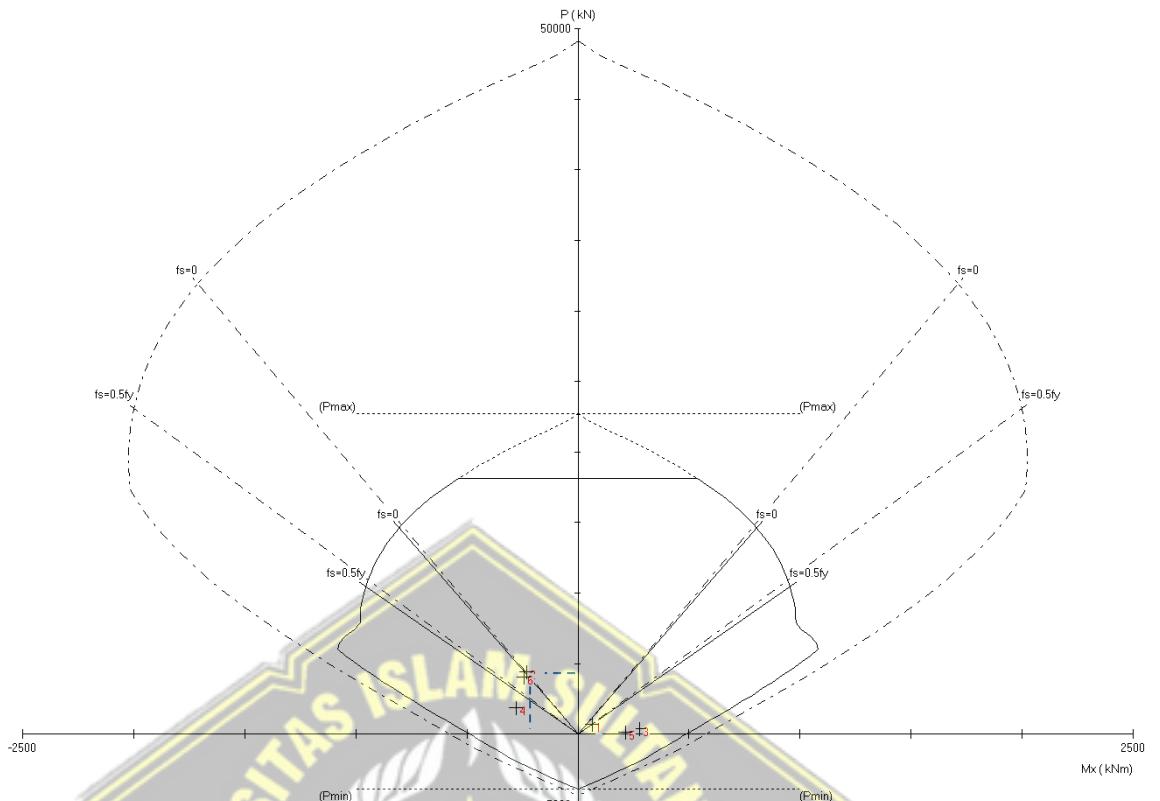
$$\begin{aligned}\text{Syarat } &= V_u > 0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c} \\ &= 2757,525 > 0,17 \times 1605000 \times \sqrt{35} \\ &= 2757,525 > 1614202 \text{ N} \rightarrow \text{Perlu tulangan 2 lapis}\end{aligned}$$

Cek batasan 2:

$$\begin{aligned}\text{Syarat } &= \frac{h_w}{l_w} \geq 2 \\ &= \frac{27400}{5350} \geq 2 \\ &= 5,12 > 2 \rightarrow \text{Perlu tulangan 2 lapis}\end{aligned}$$

4.12.1.4. Pengecekan terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (SPColumn)

Konfigurasi tulangan longitudinal pada dinding geser didapatkan dari hasil *trial and error* menggunakan program SPColumn yaitu 2 D16-200 dan konfigurasi tulangan pada kolom yaitu 6 D16. Untuk diagram interaksi SPColumn dinding geser dan hasil analisis interaksi P_n - M_{pr} dinding geser dapat dilihat pada Gambar 4.55 dan Tabel 4.49.



Gambar 4.55. Diagram Interaksi SPColumn Dinding Geser
 (Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.49. Hasil Analisis Interaksi SPColumn Dinding Geser

| No | P_u (kN) | M_{uy} (kNm) | ϕM_{ny} (kNm) | $\phi M_n/M_u$ | NA depth (mm) | dt depth (mm) | ε_t | ϕ |
|----|---------------|-------------------|------------------------|----------------|---------------------|-----------------------|-----------------|--------|
| 1 | 727.00 | 64.00 | 567.64 | 8.869 | 43 | 250 | 0.01451 | 0.900 |
| 2 | 4453.00 | -232.00 | -947.12 | 4.082 | 76 | 250 | 0.00692 | 0.900 |
| 3 | 405.00 | 278.00 | 532.86 | 1.917 | 41 | 250 | 0.01541 | 0.900 |
| 4 | 1871.00 | -277.00 | -689.74 | 2.490 | 51 | 250 | 0.01166 | 0.900 |
| 5 | 144.00 | 215.00 | 504.59 | 2.347 | 39 | 250 | 0.01617 | 0.900 |
| 6 | 4073.00 | -242.00 | -911.55 | 3.767 | 72 | 250 | 0.00745 | 0.900 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

1. Bagian Badan

- Spasi tulangan longitudinal (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Cek spasi tulangan maksimum

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2)

Spasi tulangan untuk dinding struktural maksimum 450 mm

Syarat = $s \leq 450 = 200 \leq 450 \rightarrow \text{OK}$

- Rasio tulangan longitudinal (ρ_l)
(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.5)

$$\begin{aligned}\rho_l &= n_{\text{lapis}} \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_l^2}{t_w \times s} \\ &= 2 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 16^2}{300 \times 200} \\ &= 0,670 \%\end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan minimum

Syarat = $\rho_l \geq \rho_{l\min} = 0,670 \% \geq 0,25 \% \rightarrow \text{OK}$

2. Bagian Kolom

Jumlah tulangan per kolom (n) = 52 mm

- Rasio tulangan longitudinal (ρ_l)

$$\begin{aligned}\rho_l &= n \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_b^2}{b_k \times h_k} \\ &= 6 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 16^2}{300 \times 300} \\ &= 1,340 \%\end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan kolom

Syarat = $1 \% \leq \rho \leq 6 \%$
 $= 1 \% \leq 1,340 \% \leq 6 \% \rightarrow \text{OK}$

4.12.1.5. Pengecekan Kapasitas Geser

- Rasio tinggi dinding dengan panjang total (h_w/L_w)

$$h_w/L_w = 27400 / 5350 = 5,1215$$

- Koefisien kekuatan beton terhadap geser dinding nominal (α_c)

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.4.1)

$$\alpha_c = 0,17 \text{ (untuk } h_w/L_w > 2)$$

- Spasi tulangan transversal (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Cek spasi tulangan maksimum

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2)

Spasi tulangan untuk dinding struktural maksimum 450 mm

Syarat = $s \leq 450 = 200 \leq 450 \rightarrow \text{OK}$

- Kuat geser dinding (V_n)

$$\begin{aligned}
 V_n &= A_{cv} \times (\alpha_c \times \sqrt{f_c} + \rho_t \times f_y) \\
 &= 1605000 \times (0,17 \times \sqrt{35} + 0,670 \% \times 420) \\
 &= 6132064 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_{n \text{ Max}} = 0,66 \times 1605000 \times \sqrt{35} = 6266903 \text{ N}$$

$$V_{n \text{ Pakai}} = 6132064 \text{ N}$$

- Cek kapasitas geser

$$\text{Syarat } = V_{n \text{ Pakai}} \geq \frac{V_u}{\phi} = 6132064 \geq 3676699 \rightarrow \text{OK}$$

4.12.1.6. Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus

Ada 2 metode yang dapat digunakan dalam melakukan pengecekan kebutuhan elemen batas khusus, antara lain:

1. Displacement-Based Method

- Panjang zona tekan (c)
(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.4)
- $c = 76 \text{ mm}$ (ambil nilai NA depth maksimum)
- Perpindahan desain (δ_u)
 $\delta_u = 0$ (boleh dikosongkan)
- Rasio perpindahan desain terhadap tinggi dinding (δ_u/h_w)
(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.2)

$$\delta_u/h_w = 0,005 \text{ (batas maksimum)}$$

- Cek elemen batas khusus

$$(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.2)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat } c &\geq \frac{L_w}{600 \times (1,5 \times \frac{\delta_u}{h_w})} \\
 &= 76 \geq \frac{5350}{600 \times (1,5 \times 0,005)}
 \end{aligned}$$

$$= 78 < 1189 \rightarrow \text{tidak perlu elemen batas khusus}$$

2. Strength-Based Method

- Luas penampang total (A_g)

$$A_g = A_w = 1605000 \text{ mm}^2$$

- Inersia penampang (I_g)

$$I_g = \frac{1}{12} \times t_w \times L_n^3 + 2 \left(\frac{1}{12} \times b_k \times h_k^3 + \left(\frac{L}{2} \right)^2 \times b_k \times h_k \right)$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{12} \times 300 \times 4750^3 + 2 \left(\frac{1}{12} \times 300 \times 300^3 + \left(\frac{5050}{2} \right)^2 \times 300 \times 300 \right) \\
&= 3,83 \times 10^{13} \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

■ Tegangan kondisi 1 (σ_1)

$$\begin{aligned}
\sigma_1 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
&= \frac{727,434 \times 10^3}{1605000} + \frac{13601,123 \times 10^6}{3,83 \times 10^{13}} \times \frac{5050}{2} \\
&= 9,424 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

■ Tegangan kondisi 2 (σ_2)

$$\begin{aligned}
\sigma_2 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
&= \frac{-4453,311 \times 10^3}{1605000} + \frac{-22633,284 \times 10^6}{3,83 \times 10^{13}} \times \frac{5050}{2} \\
&= 17,703 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

■ Tegangan kondisi 3 (σ_3)

$$\begin{aligned}
\sigma_3 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
&= \frac{405,167 \times 10^3}{1605000} + \frac{8848,956 \times 10^6}{3,83 \times 10^{13}} \times \frac{5050}{2} \\
&= 6,089 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

■ Tegangan kondisi 4 (σ_4)

$$\begin{aligned}
\sigma_4 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
&= \frac{-1871,366 \times 10^3}{1605000} + \frac{-3306,311 \times 10^6}{3,83 \times 10^{13}} \times \frac{5050}{2} \\
&= 3,347 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

■ Tegangan kondisi 5 (σ_5)

$$\begin{aligned}
\sigma_5 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
&= \frac{144,585 \times 10^3}{1605000} + \frac{25665,913 \times 10^6}{3,83 \times 10^{13}} \times \frac{5050}{2} \\
&= 17,019 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

■ Tegangan kondisi 6 (σ_6)

$$\begin{aligned}
\sigma_6 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
&= \frac{-4073,438 \times 10^3}{1605000} + \frac{-26269,039 \times 10^6}{3,83 \times 10^{13}} \times \frac{5050}{2} \\
&= 19,864 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

- Tegangan maksimum (σ_{\max})

$$\sigma_{\max} = \text{maksimum } (\sigma_1 ; \sigma_2 ; \sigma_3 ; \sigma_4 ; \sigma_5 ; \text{ atau } \sigma_6)$$

$$= 19,864 \text{ MPa}$$

- Batas tegangan

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)

$$\text{Batas } = 0,2 f_c' = 0,2 \times 35 = 7 \text{ MPa}$$

- Cek perlu elemen batas khusus

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)

$$\text{Syarat } = \sigma_{\max} > 0,2 f_c' = 19,864 > 7 \rightarrow \text{Perlu elemen batas khusus}$$

- Tinggi elemen batas khusus (h_{BE})

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)

$$h_{BE} = h_w - (0,15 f_c' / \sigma_{\max}) \times h_w$$

$$= 27400 - (0,15 \times 35 / 19,864) \times 27400$$

$$= 20158 \text{ mm}$$

4.12.1.7. Penulangan Elemen Batas Khusus

Penulangan elemen batas khusus dilakukan pada daerah kolom dan daerah badan sebagai berikut:

1. Daerah Kolom

- Selimut beton (c_c)

$$c_c = 40 \text{ mm}$$

- Diameter confinement (d_s)

$$d_s = 16 \text{ mm}$$

- Jumlah kaki sejajar lebar kolom (n_1)

$$n_1 = 3$$

- Jumlah kaki sejajar panjang kolom (n_2)

$$n_2 = 3$$

- Spasi (s)

$$s = 100 \text{ mm}$$

- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})

$$A_{sh\ 1} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 3 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2 = 603,186 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh\ 1}}{s} = \frac{603,186}{100} = 6,032 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh\ 2} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 3 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2 = 603,186 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh\ 2}}{s} = \frac{603,186}{100} = 6,037 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Lebar penampang inti beton (b_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$b_c = b_k - 2 c_c = 300 - 2 \times 40 = 220 \text{ mm}$$

- Panjang penampang inti beton (h_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$h_c = h_k - 2 c_c = 300 - 2 \times 40 = 220 \text{ mm}$$

- Luas penampang kolom (A_g)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_g = b_k \times h_k = 300 \times 300 = 90000 \text{ mm}^2$$

- Luas penampang inti beton (A_{ch})

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_{ch} = b_c \times h_c = 220 \times 220 = 48400 \text{ mm}^2$$

- Sejajar lebar kolom

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \min 1 &= 0,3 \times (h_c \times \frac{f_c}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1) \\ &= 0,3 \times (220 \times \frac{35}{420}) \times (\frac{90000}{48400} - 1) \\ &= 4,727 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \min 2 = 0,09 \times h_c \times \frac{f_c}{f_y} = 0,09 \times 220 \times \frac{35}{420} = 1,650 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \min = \text{maksimum} (\frac{A_{sh}}{s} \min 1 ; \frac{A_{sh}}{s} \min 2) = 4,727 \text{ mm}^2$$

- Cek:

$$\text{Syarat } \frac{A_{sh\ 1}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \min = 6,032 > 4,727 \rightarrow \text{OK}$$

- Sejajar panjang kolom

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \min 1 &= 0,3 \times (b_c \times \frac{f_c}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1) \\ &= 0,3 \times (220 \times \frac{35}{420}) \times (\frac{90000}{48400} - 1) \\ &= 4,727 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \min 2 = 0,09 \times b_c \times \frac{f_c}{f_y} = 0,09 \times 220 \times \frac{35}{420} = 1,650 \text{ mm}^2$$

$$\blacksquare \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = \text{maksimum } (\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2}) = 4,727 \text{ mm}^2$$

■ Cek:

$$\text{Syarat} = \frac{A_{sh\ 2}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 6,032 > 4,727 \rightarrow \text{OK}$$

2. Daerah Badan

- Selimut beton (c_c)
 $c_c = 40 \text{ mm}$
- Diameter *confinement* (d_s)
 $d_s = 13 \text{ mm}$
- Jumlah kaki sejajar lebar kolom (n_1)
 $n_1 = 4$
- Jumlah kaki sejajar panjang kolom (n_2)
 $n_2 = 8$
- Spasi (s)
 $s = 100 \text{ mm}$
- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})
$$A_{sh\ 1} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 4 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 530,929 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh\ 1}}{s} = \frac{530,929}{100} = 5,309 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh\ 2} = n_2 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 8 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 530,929 \text{ mm}^2$$

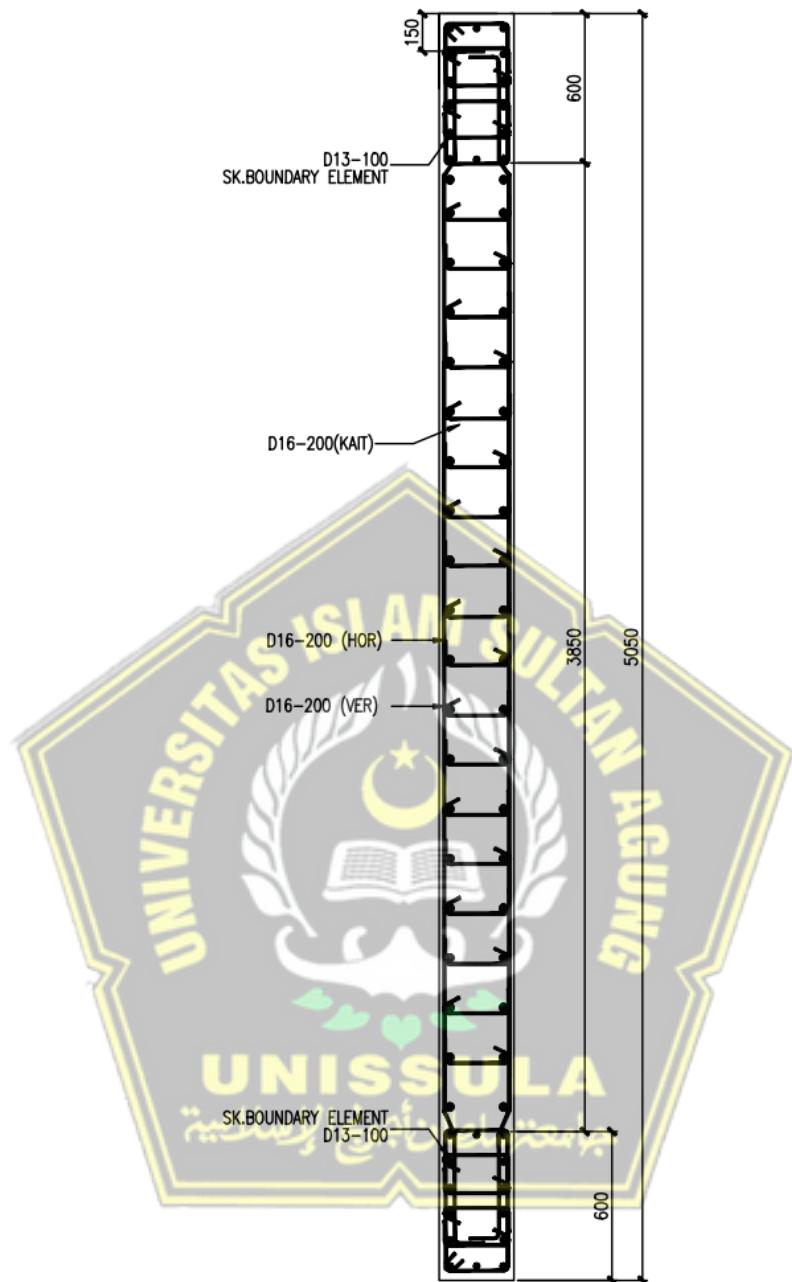
$$\frac{A_{sh\ 2}}{s} = \frac{530,929}{100} = 5,309 \text{ mm}^2/\text{mm}$$
- Panjang daerah EBK badan (b)
 $b = L_{BE} - h_k = 600 - 300 = 300 \text{ mm}$
- Lebar daerah EBK tebal dinding (h)
 $h = t_w = 300 \text{ mm}$
- Lebar penampang inti beton (b_c)
(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)
$$b_c = b - 2 c_c = 300 - 2 \times 40 = 220 \text{ mm}$$
- Panjang penampang inti beton (h_c)
(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)
$$h_c = h - 2 c_c = 300 - 2 \times 40 = 220 \text{ mm}$$

- Luas penampang kolom (A_g)
(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)
- $$A_g = b \times h = 300 \times 300 = 90000 \text{ mm}^2$$

- Luas penampang inti beton (A_{ch})
(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)
- $$A_{ch} = b_c \times h_c = 220 \times 220 = 48400 \text{ mm}^2$$

- Sejajar dinding
(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)
 - $\frac{A_{sh}}{s} \min 1 = 0,3 \times (h_c \times \frac{f_c}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1) = 0,3 \times (220 \times \frac{35}{420}) \times (\frac{90000}{48400} - 1) = 4,727 \text{ mm}^2$
 - $\frac{A_{sh}}{s} \min 2 = 0,09 \times h_c \times \frac{f_c}{f_y} = 0,09 \times 220 \times \frac{35}{420} = 1,650 \text{ mm}^2$
 - $\frac{A_{sh}}{s} \min = \text{maksimum } (\frac{A_{sh}}{s} \min 1 ; \frac{A_{sh}}{s} \min 2) = 4,727 \text{ mm}^2$
 - Cek:
Syarat $= \frac{A_{sh} 1}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \min = 5,309 > 4,727 \rightarrow \text{OK}$

- Tegak lurus dinding
(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)
 - $\frac{A_{sh}}{s} \min 1 = 0,3 \times (b_c \times \frac{f_c}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1) = 0,3 \times (795 \times \frac{35}{420}) \times (\frac{90000}{48400} - 1) = 4,727 \text{ mm}^2$
 - $\frac{A_{sh}}{s} \min 2 = 0,09 \times b_c \times \frac{f_c}{f_y} = 0,09 \times 220 \times \frac{35}{420} = 1,650 \text{ mm}^2$
 - $\frac{A_{sh}}{s} \min = \text{maksimum } (\frac{A_{sh}}{s} \min 1 ; \frac{A_{sh}}{s} \min 2) = 4,727 \text{ mm}^2$
 - Cek:
Syarat $= \frac{A_{sh} 2}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \min = 5,309 > 4,727 \rightarrow \text{OK}$



Gambar 4.56. Detail Dinding Geser

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.13.2 Perhitungan Shear Wall 04

$$\text{Tebal dinding geser } (t_w) = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang dinding geser } (L) = 7800 \text{ mm}$$

| | |
|--|------------|
| Panjang kolom (h_k) | = 200 mm |
| Lebar kolom (b_k) | = 200 mm |
| Tinggi dinding geser total (h_w) | = 27400 mm |
| Diameter tul. longitudinal badan (d_l) | = 13 mm |
| Diameter tul. transversal badan (d_t) | = 13 mm |
| Diameter tulangan kolom (d_b) | = 13 mm |
| Kuat tekan beton (f_c') | = 35 MPa |
| Kuat leleh baja tulangan (f_y) | = 420 MPa |

4.12.2.1. Gaya Dalam

Gaya dalam untuk perancangan dinding geser diambil dari analisis menggunakan ETABS ditunjukkan pada Tabel 4.50 dan Tabel 4.51.

Tabel 4.50. Gaya Aksial-Lentur pada Dinding Geser

| Gaya Aksial – Lentur | | | |
|----------------------|-----------|-------------|-------------|
| Kondisi | P (kN) | M_2 (kNm) | M_3 (kNm) |
| P_{\max} | -156,397 | 526,385 | 556,875 |
| P_{\min} | -5081,613 | -9169,272 | -14098,161 |
| M_2 Max | -778,952 | 8877,312 | 14307,333 |
| M_2 Min | -5081,613 | -9169,272 | -14098,161 |
| M_3 Max | -778,952 | 8877,312 | 14307,333 |
| M_3 Min | -5081,613 | -9169,272 | -14098,161 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.51. Gaya Geser pada Dinding Geser

| Gaya Geser | |
|------------|----------|
| V_2 (kN) | 2618,920 |
| V_3 (kN) | 817,856 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.12.2.2. Pengecekan Geometri

- Panjang total (L_w)

$$L_w = L + h_k = 7800 + 200 = 8000 \text{ kN}$$

- Panjang bersih (L_n)

$$L_n = L - h_k = 7800 - 200 = 16900 \text{ N}$$
- Luas penampang melintang (A_{cv})

$$A_{cv} = t_w \times L_w = 200 \times 8000 = 1600000 \text{ mm}^2$$
- Luas total dinding geser (A_w)

$$\begin{aligned} A_w &= t_w \times L_n + 2 \times (b_k \times h_k) \\ &= 200 \times 16900 + 2 \times (200 \times 200) \\ &= 1600000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4.12.2.3. Kebutuhan Tulangan Minimum

- Faktor reduksi kekuatan geser

$$\phi = 0,75$$

- Gaya geser ($\frac{V_u}{\phi}$)

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{2618,920 \times 10^3}{0,75} = 3491893 \text{ N}$$

- Rasio tulangan minimum (ρ_{min})

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.1)

Rasio tulangan minimal yaitu 0,0025, kecuali jika $V_u < 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$, maka rasio tulangan diizinkan sesuai SNI 2847:2019 Tabel 11.6.1.

$$\begin{aligned} \text{Syarat } V_u &< 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c} \\ &= 2618,920 < 0,083 \times 1600000 \times \sqrt{35} \end{aligned}$$

$$= 2618,920 < 785655,4 \text{ N} \rightarrow \text{Pakai rasio minimal 0,0025}$$

Karena $V_u > 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$, maka :

$$\text{Rasio tulangan longitudinal minimum } (\rho_{l min}) = 0,0025$$

$$\text{Rasio tulangan transversal minimum } (\rho_{t min}) = 0,0025$$

- Jumlah lapis tulangan pakai (n_{lapis})

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.2)

Minimal 2 lapis tulangan dibutuhkan jika $V_u > 0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$ atau $\frac{h_w}{l_w} \geq 2$.

Cek batasan 1:

$$\begin{aligned} \text{Syarat } V_u &> 0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c} \\ &= 2618,920 < 0,17 \times 1600000 \times \sqrt{35} \end{aligned}$$

$$= 2618,920 < 1314202 \text{ N} \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan 2 lapis}$$

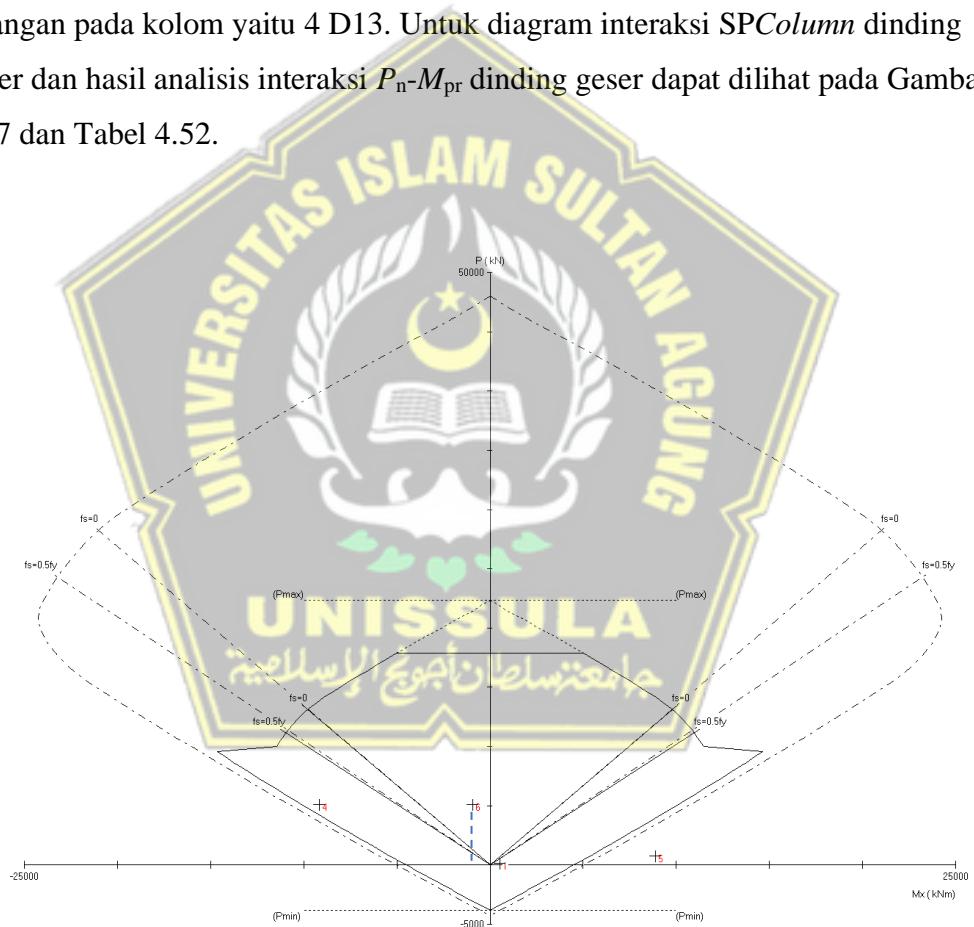
Cek batasan 2:

$$\begin{aligned}\text{Syarat } &= \frac{h_w}{l_w} \geq 2 \\ &= \frac{27400}{8000} \geq 2\end{aligned}$$

$$= 5,12 > 2 \rightarrow \text{Perlu tulangan 2 lapis}$$

4.12.2.4. Pengecekan terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (SPColumn)

Konfigurasi tulangan longitudinal pada dinding geser didapatkan dari hasil *trial and error* menggunakan program SPColumn yaitu D13-200 dan konfigurasi tulangan pada kolom yaitu 4 D13. Untuk diagram interaksi SPColumn dinding geser dan hasil analisis interaksi P_n - M_{pr} dinding geser dapat dilihat pada Gambar 4.57 dan Tabel 4.52.



Gambar 4.57. Diagram Interaksi SPColumn Dinding Geser

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.52. Hasil Analisis Interaksi SPColumn Dinding Geser

| No | P_u (kN) | M_{uy} (kNm) | ϕM_{ny} (kNm) | $\phi M_n/M_u$ | NA depth (mm) | dt depth (mm) | ϵ_t | ϕ |
|----|---------------|-------------------|------------------------|----------------|---------------------|-----------------------|--------------|--------|
| 1 | 156.00 | 526.00 | 4673.73 | 8.885 | 74 | 2354 | 0.09271 | 0.900 |
| 2 | 5081.00 | -9169.00 | -10077.49 | 1.099 | 169 | 2354 | 0.03869 | 0.900 |
| 3 | 778.00 | 8877.00 | 5382.06 | 0.606 | 87 | 2354 | 0.07820 | 0.900 |
| 4 | 5082.00 | -9169.00 | -10078.55 | 1.099 | 169 | 2354 | 0.03869 | 0.900 |
| 5 | 779.00 | 8877.00 | 5383.19 | 0.606 | 87 | 2354 | 0.07818 | 0.900 |
| 6 | 5081.00 | -917.00 | -10077.49 | 10.990 | 169 | 2354 | 0.03869 | 0.900 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

1. Bagian Badan

- Spasi tulangan longitudinal (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Cek spasi tulangan maksimum

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2)

Spasi tulangan untuk dinding struktural maksimum 450 mm

$$\text{Syarat } s \leq 450 = 200 \leq 450 \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan longitudinal (ρ_l)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.5)

$$\begin{aligned} \rho_l &= n_{\text{lapis}} \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_l^2}{t_w \times s} \\ &= 2 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 13^2}{200 \times 200} \\ &= 0,670 \% \end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan minimum

$$\text{Syarat } \rho_l \geq \rho_{l\min} = 0,670 \% \geq 0,25 \% \rightarrow \text{OK}$$

2. Bagian Kolom

Jumlah tulangan per kolom (n) = 4 mm

- Rasio tulangan longitudinal (ρ_l)

$$\begin{aligned} \rho_l &= n \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_b^2}{b_k \times h_k} \\ &= 4 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 13^2}{200 \times 200} \\ &= 1,327 \% \end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan kolom

$$\text{Syarat } 1 \% \leq \rho \leq 6 \%$$

$$= 1 \% \leq 1,327 \% \leq 6 \% \rightarrow \text{OK}$$

4.12.2.5. Pengecekan Kapasitas Geser

- Rasio tinggi dinding dengan panjang total (h_w/L_w)

$$h_w/L_w = 27400 / 8000 = 5,1215$$

- Koefisien kekuatan beton terhadap geser dinding nominal (α_c)

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.4.1)

$$\alpha_c = 0,17 \text{ (untuk } h_w/L_w > 2\text{)}$$

- Spasi tulangan transversal (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Cek spasi tulangan maksimum

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2)

Spasi tulangan untuk dinding struktural maksimum 450 mm

Syarat $= s \leq 450 = 200 \leq 450 \rightarrow \text{OK}$

- Kuat geser dinding (V_n)

$$\begin{aligned} V_n &= A_{cv} \times (\alpha_c \times \sqrt{f_c} + \rho_t \times f_y) \\ &= 1600000 \times (0,17 \times \sqrt{35} + 0,670 \% \times 420) \\ &= 6068979 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{n \text{ Max}} = 0,66 \times 1600000 \times \sqrt{35} = 6247380 \text{ N}$$

$$V_{n \text{ Pakai}} = 6068979 \text{ N}$$

- Cek kapasitas geser

$$\text{Syarat } = V_{n \text{ Pakai}} \geq \frac{V_u}{\phi} = 6068979 \geq 3491893 \rightarrow \text{OK}$$

4.12.2.6. Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus

Ada 2 metode yang dapat digunakan dalam melakukan pengecekan kebutuhan elemen batas khusus, antara lain:

1. Displacement-Based Method

- Panjang zona tekan (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.4)

$$c = 169 \text{ mm (ambil nilai } NA \text{ depth maksimum)}$$

- Perpindahan desain (δ_u)

$$\delta_u = 0 \text{ (boleh dikosongkan)}$$

- Rasio perpindahan desain terhadap tinggi dinding (δ_u/h_w)

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.2)

$$\delta_u/h_w = 0,005 \text{ (batas maksimum)}$$

- Cek elemen batas khusus

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.2)

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= c \geq \frac{L_w}{600 \times (1,5 \times \frac{\delta_u}{h_w})} \\ &= 169 \geq \frac{8000}{600 \times (1,5 \times 0,005)} \end{aligned}$$

$$= 78 < 1189 \rightarrow \text{tidak perlu elemen batas khusus}$$

2. Strength-Based Method

- Luas penampang total (A_g)

$$A_g = A_w = 1600000 \text{ mm}^2$$

- Inersia penampang (I_g)

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} \times t_w \times L_n^3 + 2 \left(\frac{1}{12} \times b_k \times h_k^3 + \left(\frac{L}{2} \right)^2 \times b_k \times h_k \right) \\ &= \frac{1}{12} \times 200 \times 7600^3 + 2 \left(\frac{1}{12} \times 200 \times 200^3 + \left(\frac{7800}{2} \right)^2 \times 200 \times 200 \right) \\ &= 8,53 \times 10^{13} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi (σ)

- Tegangan kondisi 1 (σ_1)

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{-156,397 \times 10^3}{1600000} + \frac{556,875 \times 10^6}{8,53 \times 10^{13}} \times \frac{7800}{2} \\ &= 0,352 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 2 (σ_2)

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{-5081,613 \times 10^3}{1600000} + \frac{-14098,161 \times 10^6}{8,53 \times 10^{13}} \times \frac{7800}{2} \\ &= 9,619 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 3 (σ_3)

$$\begin{aligned} \sigma_3 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{-778,952 \times 10^3}{1600000} + \frac{14307,33 \times 10^6}{8,53 \times 10^{13}} \times \frac{7800}{2} \\ &= 7,026 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 4 (σ_4)

$$\begin{aligned}\sigma_4 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{-5081,613 \times 10^3}{1600000} + \frac{-14098,161 \times 10^6}{8,53 \times 10^{13}} \times \frac{7800}{2} \\ &= 9,619 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 5 (σ_5)

$$\begin{aligned}\sigma_5 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{-778,952 \times 10^3}{1600000} + \frac{14307,333 \times 10^6}{8,53 \times 10^{13}} \times \frac{7800}{2} \\ &= 7,026 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 6 (σ_6)

$$\begin{aligned}\sigma_6 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{-5081,613 \times 10^3}{1600000} + \frac{-14098,161 \times 10^6}{8,53 \times 10^{13}} \times \frac{7800}{2} \\ &= 9,619 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Tegangan maksimum (σ_{\max})

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= \text{maksimum } (\sigma_1 ; \sigma_2 ; \sigma_3 ; \sigma_4 ; \sigma_5 ; \text{ atau } \sigma_6) \\ &= 9,619 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Batas tegangan

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)

$$\text{Batas} = 0,2 f'_c = 0,2 \times 35 = 7 \text{ MPa}$$

- Cek perlu elemen batas khusus

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \sigma_{\max} > 0,2 f'_c = 9,619 > 7 \rightarrow \text{Perlu elemen batas khusus}\end{aligned}$$

- Tinggi elemen batas khusus (h_{BE})

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)

$$\begin{aligned}h_{BE} &= h_w - (0,15 f'_c / \sigma_{\max}) \times h_w \\ &= 27400 - (0,15 \times 35 / 9,619) \times 27400 \\ &= 12446 \text{ mm}\end{aligned}$$

4.12.2.7. Penulangan Elemen Batas Khusus

Penulangan elemen batas khusus dilakukan pada daerah kolom dan daerah badan sebagai berikut:

1. Daerah Kolom

- Selimut beton (c_c)

$$c_c = 40 \text{ mm}$$

- Diameter *confinement* (d_s)

$$d_s = 13 \text{ mm}$$

- Jumlah kaki sejajar lebar kolom (n_1)

$$n_1 = 6$$

- Jumlah kaki sejajar panjang kolom (n_2)

$$n_2 = 6$$

- Spasi (s)

$$s = 100 \text{ mm}$$

- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})

$$A_{sh\ 1} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 6 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 796,394 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh\ 1}}{s} = \frac{796,394}{100} = 6,032 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh\ 2} = n_2 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 6 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 796,394 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh\ 2}}{s} = \frac{796,394}{100} = 7,964 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Lebar penampang inti beton (b_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$b_c = b_k - 2 c_c = 200 - 2 \times 40 = 120 \text{ mm}$$

- Panjang penampang inti beton (h_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$h_c = h_k - 2 c_c = 200 - 2 \times 40 = 120 \text{ mm}$$

- Luas penampang kolom (A_g)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_g = b_k \times h_k = 200 \times 200 = 40000 \text{ mm}^2$$

- Luas penampang inti beton (A_{ch})

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_{ch} = b_c \times h_c = 120 \times 120 = 14400 \text{ mm}^2$$

- Sejajar lebar kolom

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

- $$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= 0,3 \times (h_c \times \frac{f_c}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1) \\ &= 0,3 \times (120 \times \frac{35}{420}) \times (\frac{40000}{14400} - 1) \\ &= 5,333 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$
- $$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times h_c \times \frac{f_c}{f_y} = 0,09 \times 120 \times \frac{35}{420} = 0,9 \text{ mm}^2$$
- $$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = \text{maksimum} (\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2}) = 5,333 \text{ mm}^2$$
- Cek:

$$\text{Syarat} = \frac{A_{sh\ 1}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 7,964 > 5,333 \rightarrow \text{OK}$$

- Sejajar panjang kolom

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

- $$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= 0,3 \times (b_c \times \frac{f_c}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1) \\ &= 0,3 \times (120 \times \frac{35}{420}) \times (\frac{40000}{14400} - 1) \\ &= 5,333 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$
- $$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times b_c \times \frac{f_c}{f_y} = 0,09 \times 120 \times \frac{35}{420} = 0,9 \text{ mm}^2$$
- $$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = \text{maksimum} (\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2}) = 5,333 \text{ mm}^2$$
- Cek:

$$\text{Syarat} = \frac{A_{sh\ 2}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 7,94 > 5,333 \rightarrow \text{OK}$$

2. Daerah Badan

- Selimut beton (c_c)
 $c_c = 40 \text{ mm}$
- Diameter confinement (d_s)
 $d_s = 19 \text{ mm}$

- Jumlah kaki sejajar lebar kolom (n_1)

$$n_1 = 4$$

- Jumlah kaki sejajar panjang kolom (n_2)

$$n_2 = 10$$

- Spasi (s)

$$s = 100 \text{ mm}$$

- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})

$$A_{sh\ 1} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 4 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2 = 1134,115 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh\ 1}}{s} = \frac{1134,115}{100} = 5,309 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh\ 2} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 10 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2 = 2835,287 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh\ 2}}{s} = \frac{2835,287}{100} = 28,353 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Panjang daerah EBK badan (b)

$$b = L_{BE} - h_k = 500 - 200 = 300 \text{ mm}$$

- Lebar daerah EBK tebal dinding (h)

$$h = t_w = 200 \text{ mm}$$

- Lebar penampang inti beton (b_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$b_c = b - 2c_c = 300 - 2 \times 40 = 220 \text{ mm}$$

- Panjang penampang inti beton (h_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$h_c = h - 2c_c = 200 - 2 \times 40 = 120 \text{ mm}$$

- Luas penampang kolom (A_g)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_g = b \times h = 200 \times 200 = 60000 \text{ mm}^2$$

- Luas penampang inti beton (A_{ch})

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_{ch} = b_c \times h_c = 120 \times 120 = 26400 \text{ mm}^2$$

- Sejajar dinding

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad \frac{A_{sh}}{s} \min 1 &= 0,3 \times (h_c \times \frac{f_c}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1) \\ &= 0,3 \times (120 \times \frac{35}{420}) \times (\frac{60000}{26400} - 1) \\ &= 3,818 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\blacksquare \quad \frac{A_{sh}}{s} \min 2 = 0,09 \times h_c \times \frac{f_c}{f_y} = 0,09 \times 120 \times \frac{35}{420} = 0,9 \text{ mm}^2$$

$$\blacksquare \quad \frac{A_{sh}}{s} \min = \text{maksimum} (\frac{A_{sh}}{s} \min 1 ; \frac{A_{sh}}{s} \min 2) = 3,818 \text{ mm}^2$$

- Cek:

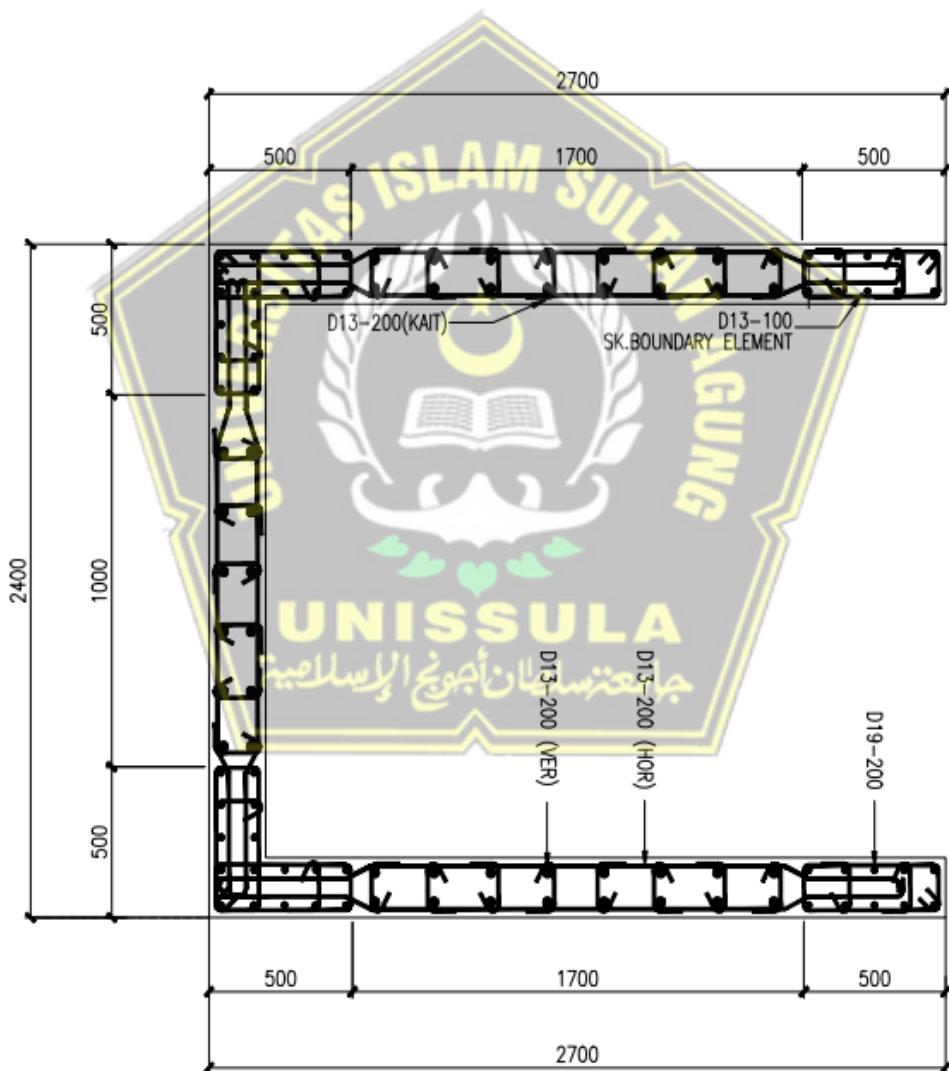
$$\text{Syarat} = \frac{A_{sh\ 1}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \min = 11,341 > 3,818 \Rightarrow \text{OK}$$

- Tegak lurus dinding

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

- $$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= 0,3 \times (b_c \times \frac{f_c}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1) \\ &= 0,3 \times (220 \times \frac{35}{420}) \times (\frac{60000}{26400} - 1) \\ &= 7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$
- $$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times b_c \times \frac{f_c}{f_y} = 0,09 \times 120 \times \frac{35}{420} = 1,65 \text{ mm}^2$$
- $$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = \text{maksimum} (\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2}) = 7 \text{ mm}^2$$
- Cek:

$$\text{Syarat } = \frac{A_{sh2}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 28,353 > 7 \text{ OK}$$



Gambar 4.58. Detail Dinding Geser

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.14. Rekapitulasi Hasil Analisis dan Perancangan

Rekapitulasi hasil analisis dan perancangan yang telah dilakukan pada Gedung Pendidikan di Gunungpati, Semarang sebagai berikut:

- Perancangan gedung pendidikan 8 lantai di Gunungpati, Semarang dengan kondisi Tanah Sedang (SD) yang menggunakan sistem struktur ganda (SRPMK dan SDSK) dengan parameter desain pada Tabel 4.53 sebagai berikut:

Tabel 4.53. Parameter Respons Spektra

| Parameter Respons Spektra | | |
|---|------------|---------------------|
| Kategori Risiko | | II |
| Faktor Keutamaan | I_e | 1 |
| Klasifikasi Situs | | SD (Tanah Sedang) |
| Percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek | S_s | 0,911 |
| Percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik | S_1 | 0,391 |
| Faktor amplifikasi periode pendek | F_a | 1,1356 |
| Faktor amplifikasi periode 1 detik | F_v | 1,909 |
| Percepatan pada periode pendek | S_{MS} | 1,035 |
| Percepatan pada periode 1 detik | S_{M1} | 0,745 |
| Percepatan desain pada periode pendek | S_{DS} | 0,69 |
| Percepatan desain pada periode 1 detik | S_{D1} | 0,5 |
| Parameter periode | T_0 | 0,14 |
| | T_s | 0,72 |
| Parameter Sistem Ganda | | |
| Faktor koefisien modifikasi | R | 7 |
| Faktor kuat lebih sistem | Ω_0 | 2,5 |
| Faktor pembesaran defleksi | C_d | 5,5 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

- Analisis hasil respon dinamik struktur akibat pembebahan gempa sebagai berikut:

- Analisis Respon Dinamik

Dari analisis respon dinamik, diperoleh hasil partisipasi massa sebagai berikut:

- Mode 1 = Translasi arah X sebesar 0,826
- Mode 2 = Translasi arah Y sebesar 0,785

- Mode 3 = Rotasi arah Z sebesar 0,601

b) Analisis Gempa dari Struktur Atas

Dari analisis dinamik respon spektrum, diperoleh hasil sebagai berikut:

- Beban gempa untuk arah X

- T_x = 0,826 detik
- $V_{\text{dinamik } X}$ = 5000,9234 kN

- Beban gempa untuk arah Y

- T_y = 0,785 detik
- $V_{\text{dinamik } Y}$ = 4994,9393 kN

c) Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat (*Story Drift*) telah memenuhi syarat. Adapun simpangan antar tingkat maksimum yang terjadi adalah:

- *Story Drift X* = 147,88 mm < $0,01 h / \rho = 210,77$ mm
- *Story Drift Y* = 146,18 mm < $0,01 h / \rho = 210,77$ mm

d) Pengecekan Efek P-Delta

Pengecekan efek P-Delta dari struktur menyimpulkan bahwa struktur tidak dipengaruhi oleh efek P-Delta.

e) Pengecekan Ketidakberaturan Torsi

Pengecekan ketidakberaturan torsi menyimpulkan bahwa tidak terdapat ketidakberaturan torsi horizontal dan tidak terdapat ketidakberaturan torsi vertikal arah X dan arah Y.

3. Analisis gaya dalam yang diperoleh dengan menggunakan ETABS sebagai berikut:

a) Pelat

Dimensi pelat 4200 x 6000 mm dengan tebal 125 mm

- M_{\max} akibat $M_{11 \text{ max}}$ = 2,429 kN-m
- M_{\min} akibat $M_{11 \text{ min}}$ = -4,562 kN-m
- M_{\max} akibat $M_{22 \text{ max}}$ = 1,216 kN-m
- M_{\min} akibat $M_{22 \text{ min}}$ = -2,225 kN-m
- V_u = 6,789 kN

b) Balok

Dimensi balok G1 400 x 700 mm

- | | | | |
|----------------------|------------------|------------------|----------------|
| ▪ M_u tumpuan (-) | = -339,4408 kN-m | ▪ P_u | = 0 kN |
| ▪ M_u tumpuan (+) | = 328,8458 kN-m | ▪ V_u tumpuan | = 265,8908 kN |
| ▪ M_u lapangan (-) | = -258,844 kN-m | ▪ V_u lapangan | = 234,2717 kN |
| ▪ M_u lapangan (+) | = 236,3576 kN-m | ▪ T_u | = 94,7484 kN-m |

Dimensi balok G2 350 x 500 mm

- | | | | |
|----------------------|------------------|------------------|----------------|
| ▪ M_u tumpuan (-) | = -161,4829 kN-m | ▪ P_u | = 0 kN |
| ▪ M_u tumpuan (+) | = 125,1057 kN-m | ▪ V_u tumpuan | = 112,5484 kN |
| ▪ M_u lapangan (-) | = -56,3997 kN-m | ▪ V_u lapangan | = 99,7184 kN |
| ▪ M_u lapangan (+) | = 70,2595 kN-m | ▪ T_u | = 28,1808 kN-m |

Dimensi balok G3 250 x 500 mm

- | | | | |
|----------------------|------------------|------------------|----------------|
| ▪ M_u tumpuan (-) | = -114,2741 kN-m | ▪ P_u | = 0 kN |
| ▪ M_u tumpuan (+) | = 68,302 kN-m | ▪ V_u tumpuan | = 62,6443 kN |
| ▪ M_u lapangan (-) | = -54,046 kN-m | ▪ V_u lapangan | = 47,5237 kN |
| ▪ M_u lapangan (+) | = 55,3773 kN-m | ▪ T_u | = 10,6174 kN-m |

Dimensi balok G4 200 x 250 mm

- | | | | |
|----------------------|-----------------|------------------|--------------|
| ▪ M_u tumpuan (-) | = -18,2679 kN-m | ▪ P_u | = 0 kN |
| ▪ M_u tumpuan (+) | = 13,3808 kN-m | ▪ V_u tumpuan | = 23,8814 kN |
| ▪ M_u lapangan (-) | = -13,3758 kN-m | ▪ V_u lapangan | = 23,5586 kN |
| ▪ M_u lapangan (+) | = 11,0126 kN-m | ▪ T_u | = 0,3 kN-m |

Dimensi balok B1 200 x 400 mm

- | | | | |
|----------------------|-----------------|------------------|---------------|
| ▪ M_u tumpuan (-) | = -48,3923 kN-m | ▪ P_u | = 0 kN |
| ▪ M_u tumpuan (+) | = 15,3938 kN-m | ▪ V_u tumpuan | = 37,6803 kN |
| ▪ M_u lapangan (-) | = -14,5649 kN-m | ▪ V_u lapangan | = 35,2321 kN |
| ▪ M_u lapangan (+) | = 31,0601 kN-m | ▪ T_u | = 0,3128 kN-m |

c) Kolom

Dimensi kolom K1 550 x 550 mm

- P_u kolom atas = 2077,3841 kN
- P_u kolom desain = 2371,156 kN
- P_u kolom bawah = 0 kN
- M_{ux} kolom atas = 164,29 kN
- M_{ux} kolom desain = 104,8296 kN
- M_{ux} kolom bawah = 0 kN

Dimensi kolom K2 450 x 450 mm

- P_u kolom atas = 661,1179 kN
- P_u kolom desain = 970,4279 kN
- P_u kolom bawah = 133,3829 kN
- M_{ux} kolom atas = 142,08 kN
- M_{ux} kolom desain = 130,7683 kN
- M_{ux} kolom bawah = 213,1923 kN

Dimensi kolom K3 400 x 400 mm

- P_u kolom atas = 0 kN
- P_u kolom desain = 153,8276 kN
- P_u kolom bawah = 376,4392 kN
- M_{ux} kolom atas = 0 kN
- M_{ux} kolom desain = 72,291 kN
- M_{ux} kolom bawah = 71,0613 kN

d) Dinding Geser

Dimensi dinding geser 300 x 2450 mm

Gaya dalam dapat dilihat pada Tabel 4.54 sebagai berikut:

Tabel 4.54. Gaya Dalam pada Dinding Geser

| Gaya Aksial – Lentur | | | | Gaya Geser | |
|----------------------|-----------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Kondisi | P (kN) | M ₂ (kNm) | M ₃ (kNm) | V ₂ (kN) | V ₃ (kN) |
| P _{max} | -50,742 | 110,115 | 158,021 | V ₂ (kN) | 685,930 |
| P _{min} | -2640,530 | -122,883 | -3658,793 | | |
| M ₂ Max | -222,935 | 156,172 | 443,046 | | |
| M ₂ Min | -1196,535 | -153,292 | -757,261 | V ₃ (kN) | 88,336 |
| M ₃ Max | -875,157 | 123,930 | 3592,973 | | |
| M ₃ Min | -2640,530 | -122,883 | -3658,793 | | |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Dimensi dinding geser 200 x 3000 mm

Gaya dalam dapat dilihat pada Tabel 4.55 sebagai berikut:

Tabel 4.55. Gaya Dalam pada Dinding Geser

| Gaya Aksial – Lentur | | | | Gaya Geser | |
|----------------------|-----------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Kondisi | P (kN) | M ₂ (kNm) | M ₃ (kNm) | V ₂ (kN) | V ₃ (kN) |
| P _{max} | 458,290 | 3,454 | 791,726 | V ₂ (kN) | 2070,887 |
| P _{min} | -1765,571 | -22,233 | -6872,511 | | |
| M ₂ Max | 13,538 | 55,715 | 1171,136 | | |
| M ₂ Min | -166,450 | -77,023 | -357,084 | V ₃ (kN) | 39,036 |
| M ₃ Max | 419,549 | 24,612 | 6946,651 | | |
| M ₃ Min | -1765,571 | -22,233 | -6872,511 | | |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Dimensi dinding geser 300 x 5050 mm

Gaya dalam dapat dilihat pada Tabel 4.56 sebagai berikut:

Tabel 4.56. Gaya Dalam pada Dinding Geser

| Gaya Aksial – Lentur | | | | Gaya Geser | |
|----------------------|-----------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Kondisi | P (kN) | M ₂ (kNm) | M ₃ (kNm) | V ₂ (kN) | V ₃ (kN) |
| P _{max} | 727,434 | 64,842 | 13601,123 | V ₂ (kN) | 2757,525 |
| P _{min} | -4453,311 | -232,815 | -22633,284 | | |
| M ₂ Max | 405,167 | 278,585 | 8848,956 | | |
| M ₂ Min | -1871,366 | -277,247 | -3306,311 | V ₃ (kN) | 160,807 |
| M ₃ Max | 144,585 | 215,797 | 25665,913 | | |
| M ₃ Min | -4073,438 | -242,691 | -26269,039 | | |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Dimensi dinding geser 300 x 5050 mm

Gaya dalam dapat dilihat pada Tabel 4.57 sebagai berikut:

Tabel 4.57. Gaya Dalam pada Dinding Geser

| Gaya Aksial – Lentur | | | | Gaya Geser | |
|----------------------|-----------|----------------------|----------------------|---------------------|----------|
| Kondisi | P (kN) | M ₂ (kNm) | M ₃ (kNm) | | |
| P _{max} | 727,434 | 64,842 | 13601,123 | V ₂ (kN) | 2757,525 |
| P _{min} | -4453,311 | -232,815 | -22633,284 | | |
| M ₂ Max | 405,167 | 278,585 | 8848,956 | | |
| M ₂ Min | -1871,366 | -277,247 | -3306,311 | V ₃ (kN) | 160,807 |
| M ₃ Max | 144,585 | 215,797 | 25665,913 | | |
| M ₃ Min | -4073,438 | -242,691 | -26269,039 | | |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Dimensi dinding geser 300 x 7800 mm

Gaya dalam dapat dilihat pada Tabel 4.58 sebagai berikut:

Tabel 4.58. Gaya Dalam pada Dinding Geser

| Gaya Aksial – Lentur | | | | Gaya Geser | |
|----------------------|-----------|----------------------|----------------------|---------------------|----------|
| Kondisi | P (kN) | M ₂ (kNm) | M ₃ (kNm) | | |
| P _{max} | -156,397 | 526,385 | 556,875 | V ₂ (kN) | 2618,920 |
| P _{min} | -5081,613 | -9169,272 | -14098,161 | | |
| M ₂ Max | -778,952 | 8877,312 | 14307,333 | | |
| M ₂ Min | -5081,613 | -9169,272 | -14098,161 | V ₃ (kN) | 817,856 |
| M ₃ Max | -778,952 | 8877,312 | 14307,333 | | |
| M ₃ Min | -5081,613 | -9169,272 | -14098,161 | | |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4. Hasil perancangan berupa desain elemen struktur yang dapat memikul beban gempa dan beban gravitasi sebagai berikut:

a) Pelat

Rekapitulasi hasil penulangan pelat beton pada perancangan ditunjukkan pada Tabel 4.59 sebagai berikut:

Tabel 4.59. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat

| Pelat | L _x (m) | L _y (m) | Arah | Tumpuan | | Lapangan | |
|-------|--------------------|--------------------|------|---------|---------|----------|---------|
| | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| S1 | 4,2 | 6 | X | D10-200 | D10-200 | D10-200 | D10-200 |
| | | | Y | D10-200 | D10-200 | D10-200 | D10-200 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

b) Balok

Rekapitulasi hasil penulangan balok pada perancangan ditunjukkan pada Tabel 4.60 sebagai berikut:

Tabel 4.60. Rekapitulasi Tulangan Balok

| Balok Kode | Dimensi (cm) | Lokasi | Tulangan Longitudinal | | Tulangan Transversal | | Tul. Torsi |
|------------|--------------|--------|-----------------------|----------|----------------------|----------|------------|
| | | | Tumpuan | Lapangan | Tumpuan | Lapangan | |
| G1 | 40 × 70 | Atas | 7 D22 | 5 D22 | 3D10-100 | 3D10-150 | 2 D10 |
| | | Bawah | 5 D22 | 7 D22 | | | |
| G2 | 35 × 50 | Atas | 6 D19 | 4 D19 | 3D10-100 | 3D10-150 | 2 D10 |
| | | Bawah | 4 D19 | 6 D19 | | | |
| G3 | 25 × 50 | Atas | 4 D19 | 3 D19 | 2D10-100 | 2D10-150 | 2 D10 |
| | | Bawah | 3 D19 | 4 D19 | | | |
| G4 | 20 × 25 | Atas | 3 D19 | 3 D19 | 2D10-100 | 2D10-100 | 2 D10 |
| | | Bawah | 3 D19 | 3 D19 | | | |
| B1 | 20 × 40 | Atas | 3 D19 | 3 D19 | 2D10-100 | 2D10-100 | 2 D10 |
| | | Bawah | 3 D19 | 3 D19 | | | |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

c) Kolom

Rekapitulasi hasil penulangan kolom pada perancangan ditunjukkan pada Tabel 4.61 sebagai berikut:

Tabel 4.61. Rekapitulasi Tulangan Kolom

| No | Tipe Kolom | Dimensi Kolom | Tulangan Pokok | Tulangan Geser | |
|----|------------|---------------|----------------|----------------|-----------|
| | | | | Tumpuan | Lapangan |
| 1 | K1 | 550 × 550 | 20 D22 | 4 D13-100 | 4 D13-100 |
| 2 | K2 | 450 × 450 | 16 D19 | 3 D13-100 | 3 D13-100 |
| 3 | K3 | 400 × 400 | 16 D19 | 3 D13-100 | 3 D13-100 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

d) Dinding Geser

Rekapitulasi hasil penulangan dinding geser pada perancangan ditunjukkan pada Tabel 4.62 sampai 4.65 sebagai berikut:

Tabel 4.62. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 01

| Tulangan Kolom | |
|---------------------------------------|-----------|
| Longitudinal | 6 D16 |
| Transversal (Sejajar Lebar) | 4 D13-100 |
| Transversal (Sejajar Panjang) | 4 D13-100 |
| Tulangan Badan | |
| Longitudinal | 2 D16-200 |
| Transversal | 2 D16-150 |
| Elemen Batas Khusus (Sejajar Lebar) | 4 D13-100 |
| Elemen Batas Khusus (Sejajar Panjang) | 6 D13-100 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.63. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 02

| Tulangan Kolom | |
|---------------------------------------|-----------|
| Longitudinal | 16 D16 |
| Transversal (Sejajar Lebar) | 3 D16-100 |
| Transversal (Sejajar Panjang) | 3 D16-100 |
| Tulangan Badan | |
| Longitudinal | 2 D16-200 |
| Transversal | 2 D16-200 |
| Elemen Batas Khusus (Sejajar Lebar) | 4 D13-100 |
| Elemen Batas Khusus (Sejajar Panjang) | 4 D13-100 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.64. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 03

| Tulangan Kolom | |
|-------------------------------|-----------|
| Longitudinal | 6 D16 |
| Transversal (Sejajar Lebar) | 3 D16-100 |
| Transversal (Sejajar Panjang) | 3 D16-100 |

Tabel 4.64. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 03 (Lanjutan)

| Tulangan Badan | |
|---------------------------------------|-----------|
| Longitudinal | 2 D16-200 |
| Transversal | 2 D16-200 |
| Elemen Batas Khusus (Sejajar Lebar) | 4 D13-100 |
| Elemen Batas Khusus (Sejajar Panjang) | 4 D13-100 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.65. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 04

| Tulangan Kolom | |
|---------------------------------------|------------|
| Longitudinal | 4 D13 |
| Transversal (Sejajar Lebar) | 6 D13-100 |
| Transversal (Sejajar Panjang) | 6 D13-100 |
| Tulangan Badan | |
| Longitudinal | 2 D13-200 |
| Transversal | 2 D13-200 |
| Elemen Batas Khusus (Sejajar Lebar) | 4 D19-100 |
| Elemen Batas Khusus (Sejajar Panjang) | 10 D19-100 |

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perancangan Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang yang telah dibahas pada laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “PERANCANGAN ULANG STRUKTUR ATAS GEDUNG A RUMAH SUSUN POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM (PU) SEMARANG” didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Gaya gempa yang dirancang sesuai dengan SNI 1726–2019 pada Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang sebagai berikut :
 - a. Kontrol bentuk ragam dan partisipasi massa bangunan telah terpenuhi pada ragam 23 dari total ragam 23 untuk arah UX, UY, dan RZ. Sehingga partisipasi massa bangunan translasi arah X, Y, dan Z telah terpenuhi yaitu 100 % dari massa struktur.
 - b. Simpangan antar lantai pada Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang telah direncanakan sesuai peraturan yang ada dengan hasil simpangan antar lantai terbesar adalah arah X sebesar 147,88 mm dan arah Y sebesar 146,18 mm.
2. Hasil penulangan struktur pada Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang sebagai berikut :
 - a. Penulangan pelat lantai pada perancangan ini menggunakan tebal 120 mm dengan diameter tulangan D10–200 pada tumpuan dan lapangan dengan arah X dan Y.
 - b. Penulangan balok yang ditinjau pada perancangan ini menggunakan dimensi balok 400 x 700 mm dengan diameter tulangan bagian atas 7 D 22 pada area tumpuan dan 5 D 22 pada area lapangan, sedangkan diameter tulangan bagian bawah 5 D 22 pada area tumpuan dan 7 D 22 area lapangan.

- c. Penulangan kolom yang ditinjau pada perancangan ini menggunakan dimensi kolom 550 x 550 mm dengan diameter tulangan pokok 20 D 22, diameter tulangan geser tumpuan 4 D 13–100, dan diameter tulangan geser lapangan 4 D 13–100.
- d. Penulangan dinding geser yang ditinjau pada perancangan ini yang terletak pada area kolom dinding geser menggunakan tulangan longitudinal dengan diameter 6 D 16, tulangan transversal (sejajar lebar) 4 D 13–100, tulangan transversal (sejajar panjang) 4 D 13–100, sedangkan untuk area badan dinding geser menggunakan tulangan longitudinal dengan diameter 2 D 16–200, tulangan transversal 2 D 16–150, tulangan *confinement* Elemen Batas Khusus (sejajar lebar) 4 D 13–100, tulangan *confinement* Elemen Batas Khusus (sejajar panjang) 6 D 13 – 100.
- e. Penulangan hubungan balok – kolom yang ditinjau pada perancangan ini menggunakan dimensi 550 x 550 mm dengan diameter tulangan transversal *confinement* 4 D 13–100, tulangan longitudinal 4 D 19 pada bagian kanan balok, dan 4 D 19 pada bagian kiri balok.

5.2 Saran

Penulisan dari Tugas Akhir yang berjudul “PERANCANGAN ULANG STRUKTUR ATAS GEDUNG A RUMAH SUSUN POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM (PU) SEMARANG” ini masih belum dapat dikatakan sempurna dikarenakan masih banyaknya kekurangan di dalamnya. Saran dari penulis untuk penulisan Tugas Akhir berikutnya adalah sebagai berikut :

1. Pada proses perancangan balok, kolom, pelat dan *Shear Wall* dengan memperbesar maupun memperkecil dimensi beton merupakan cara yang masih belum efisien dalam proses perancangannya, karena memperkecil dimensi beton maka akan membutuhkan tulangan yang banyak, jika memperbesar dimensi beton jumlah tulangan akan lebih sedikit, tetapi cara ini juga masih belum efisien, sehingga perlu

dicari dimensi beton dan jumlah tulangan yang optimum jika ingin merancang suatu banguan yang efisien.

2. Pada *trial error* yang sudah dilakukan, penambahan *Shear Wall* pada perancangan bangunan dan tahan gempa perlu diperhatikan dikarenakan syarat struktur sistem ganda yaitu rangka pemikul momen harus mampu menahan 25% beban gempa desain, sedangkan untuk *Shear Wall* menahan maksimal 75% beban gempa desain.



DAFTAR PUSTAKA

- Standardisasi Nasional Indonesia. (2019). SNI 1726:2019 “*Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*”. BSN, Jakarta, Indonesia.
- Standardisasi Nasional Indonesia. (2019). SNI 2847:2019 “*Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*”. BSN, Jakarta, Indonesia.
- Standardisasi Nasional Indonesia. (2020). SNI 1727:2020 “*Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*”. BSN, Jakarta, Indonesia.
- Noer, Adji, Alim Agus, and Joko Prayogi. (2022). ”*REDESAIN GEDUNG HOTEL 12 LANTAI (Studi Pada Gedung SkySuites Soho Kedung Baruk Surabaya)*”. Semarang: Universitas Islam Sultan Agung Semarang
- SALAMAH, UMI. (2015). ”*PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS GEDUNG (OK,CSSD) RUMAH SAKIT PARU JEMBER 8 LANTAI DENGAN STRUKTUR BETON BERTULANG MENGGUNAKAN SRPMM*”. Jember: Universitas Jember
- Septiyadi, muchammad Danang Fajri dan Alleandro Cahya Pratama. (2022). ”*PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG HOTEL TUJUH LANTAI ADHYASTA ABIMANA SEMARANG*”. Semarang: Universitas Semarang
- Fadli, M. Hamzah. (2015). ”*Aplikasi ETABS pada Perancangan Gedung 15 Lantai Dengan Struktur Beton Bertulang Menggunakan Sistem Ganda Sebagai Penahan Beban Gempa Sesuai SNI 1726:2012*”. Jakarta: Universitas Gunadarma
- Imran, I. dan Zulkifli, E. (2014). ”*Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*”. Bandung: ITB Press
- Imran, I. dan Hendrik, F. (2016). ”*Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*”. Bandung: ITB Press

Frinsilia Jaglien Liando dkk. (2020). *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Kuliah 5 Lantai. Jurnal Sipil Statik.* Vol 8, Nomer 4: 471-482.
Manado: Universitas Sam Ratulangi Manado

Laresi, Y. T. (2017). *Analisis Pushover Terhadap Ketidakberaturan Struktur Gedung Universitas 9 Lantai, Skripsi.* Jakarta: Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Bakrie

Puspita, Rizka Rahmi. (2017). *Desain Struktur Gedung Hotel Swiss-Bellin Darmocentrum Pekerjaan Balok-Plat Lantai.* Surabaya: ITS Digilib

Raga, Chyntya Novita. (2021). *Perencanaan Ulang Struktur Atas dan Utama Gedung Perkantoran Bumi Mandiri Surabaya Jawa Timur.* Malang: Politeknik Negeri Malang

