

TUGAS AKHIR

**PERANCANGAN ULANG
STRUKTUR ATAS GEDUNG 5 LANTAI
HEAD OFFICE AWANNGROUP SEMARANG**

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



Disusun Oleh :

**Khoiron Azis Kurniawan
NIM : 30202100244**

**Imam Efendi Zarkasi
NIM : 30202100258**

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

2023

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN ULANG
STRUKTUR ATAS GEDUNG 5 LANTAI
HEAD OFFICE AWANGGROUP SEMARANG



Khoiron Azis Kurniawan
NIM : 30202100244



Imam Efendi Zarkasi
NIM : 30202100258

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Agustus 2023

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D.**
NIDN: 0607046802
2. **Dr. Ir. H. Sumirin, M.S.**
NIDN: 004056302
3. **Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.**
NIDN: 0625059102

Handwritten signatures of the three members of the review team, corresponding to the list on the left. The signatures are written in black ink over a dotted line.

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

A handwritten signature in blue ink, belonging to Muhamad Rusli Ahyar.

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

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nomor: 19 / A.2 / SA – T / VII / 2023

Pada hari ini tanggal 29 September 2022 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D.
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Dr. Ir. H. Sumirin, M.S.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Khoiron Azis Kurniawan
NIM : 30202100244

Imam Efendi Zarkasi
NIM : 30202100258

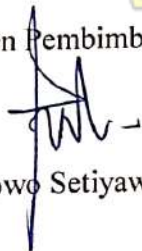
Judul: Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung 5 Lantai *Head Office Awanggroup* Semarang

Dengan tahapan sebagai berikut:

| No | Tahapan | Tanggal | Keterangan |
|----|-----------------------------|-------------------|------------|
| 1 | Penunjukan Dosen Pembimbing | 28 September 2022 | ACC |
| 2 | Seminar Proposal | 15 Desember 2022 | |
| 3 | Pengumpulan data | 2 Januari 2023 | |
| 4 | Analisis data | 6 Februari 2023 | |
| 5 | Penyusunan laporan | 3 April 2023 | |
| 6 | Selesai laporan | 17 Juli 2023 | |

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

Dosen Pembimbing Utama




Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D.

Dosen Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. H. Sumirin, M.S.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:
NAMA : Khoiron Azis Kurniawan
NIM : 30202100244
NAMA : Imam Efendi Zarkasi
NIM : 30202100258

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul “Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung 5 Lantai *Head Office Awanngroup* Semarang” benar-bebas dari plagiat dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka Saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini Saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, Agustus 2023
Yang membuat pernyataan 1,

Yang membuat pernyataan 2,

Khoiron Azis Kurniawan
NIM : 30202100244

Imam Efendi Zarkasi
NIM : 30202100258



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Khoiron Azis Kurniawan
NIM : 30202100244
NAMA : Imam Efendi Zarkasi
NIM : 30202100258
JUDUL TUGAS AKHIR : Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung 5 Lantai
Head Office Awanggroup Semarang

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

Apabila di kemudian 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, Agustus 2023

Yang membuat pernyataan 1,

Yang membuat pernyataan 2,

Khoiron Azis Kurniawan
NIM : 30202100244

Imam Efendi Zarkasi
NIM : 30202100258

MOTTO

“Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah”

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) 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” (QS. Al-Imran: 110)

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan” (QS. Al-Insyirah: 5)

Untuk masa-masa sulitmu, biarlah Allah yang menguatkanmu. Tugas dirimu adalah berusaha agar jarak antara kamu dengan Allah tidak pernah jauh.

Memulai dengan Penuh Keyakinan, Menjalankan dengan Penuh Keikhlasan, Menyelesaikan dengan Penuh Kebahagiaan.

“Believe in yourself and all that you are. Know that there is something inside you that is greater than any obstacle.”

(Christian D. Larson)

PERSEMBAHAN

Dengan segala puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa dan atas dukungan dan doa dari orang-orang tercinta, akhirnya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat pada waktunya. Oleh Karena itu, dengan rasa bangga dan bahagia Saya haturkan rasa syukur dan terimakasih kepada:

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

1. Allah SWT yang Maha Pemurah, karena Nya semua urusan Saya dimudahkan.
2. Keluarga penulis.
3. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D., Dosen Pembimbing I yang senantiasa memberikan ilmunya serta membimbing Saya sampai akhirnya terselesaikan Tugas Akhir ini. Semoga kesehatan dan keberkahan selalu menyertai Bapak.
4. Bapak Dr. Ir. H. Sumirin, M.S., Dosen Pembimbing II yang senantiasa memberikan ilmunya serta membimbing Saya sampai akhirnya terselesaikan Tugas Akhir ini. Semoga kesehatan dan keberkahan selalu menyertai Bapak.
5. Bapak Ibu Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik UNISSULA yang senantiasa memberikan motivasi, bimbingan serta ilmu selama menuntut ilmu di Fakultas Teknik UNISSULA. Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar- besarnya. Semoga Allah SWT membalas kebaikan Bapak/Ibu berlipat ganda dan selalu dilimpahkan kesehatan serta selalu dalam lindungannya.

Khoiron Azis Kurniawan

NIM: 30202100244

PERSEMBAHAN

Dengan segala puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa dan atas dukungan serta doa dari orang-orang tercinta, akhirnya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat pada waktunya. Oleh Karena itu, dengan rasa bangga dan bahagia Saya haturkan rasa syukur dan terimakasih kepada:

1. Allah Subhanahu wa Ta'ala, atas izin dan karunia-Nya maka Tugas Akhir ini dapat selesai tepat pada waktunya.
2. Diri Saya sendiri karena sudah berjuang melewati proses sesulit apapun dan bertahan untuk bisa menyelesaikan apa yang sudah dimulai.
3. Keluarga Saya baik orang tua maupun saudara yang selalu memberikan dukungan dalam keadaan apapun.
4. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D., terima kasih telah bersedia sebagai Dosen Pembimbing yang mengantarkanku untuk mengantongi gelar S.T. Terima kasih telah meluangkan banyak waktu dan tenaga untuk membimbing dan mengarahkan Saya dengan sangat sabar dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. InsyaAllah kebaikan itu akan dibalas berlipat-lipat ganda oleh Allah kelak. Saya bersyukur menjadi salah satu mahasiswa bimbingan Bapak yang sudah sangat berpengalaman.
5. Bapak Dr. Ir. H. Sumirin, M.S., terima kasih telah bersedia sebagai Dosen Pembimbing yang juga mengantarkanku untuk mengantongi gelar S.T. Terima kasih telah meluangkan banyak waktu dan tenaga untuk mendiskusikan bersama dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. InsyaAllah, Allah akan balas kebaikan itu berlipat-lipat ganda kelak.
6. Bapak/Ibu Dosen S1 Teknik Sipil UNISSULA, yang selalu sabar mendidik, membimbing dan membekali berjuta ilmu kepada Kami. Saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas motivasi, bimbingan, serta ilmu yang telah diberikan. Semoga Allah SWT membalas kebaikan Bapak/Ibu berlipat-lipat ganda dan selalu dilimpahkan kesehatan serta selalu dalam lindungannya.

7. Teman-teman S1 Teknik Sipil UNISSULA Kelas Transfer, terima kasih banyak untuk 3 semesternya. Terima kasih untuk suka duka, canda tawa dan kerja sama serta bantuan untuk kelancaran tugas-tugas.

Imam Efendi Zarkasi

NIM: 30202100258



KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur Penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung 5 Lantai *Head Office Awanngroup* Semarang” guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyusun Tugas Akhir ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini, Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua yang telah memberikan doa dan motivasi.
2. Bapak Ir. Rachmat Mudyono, MT., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.
3. Bapak M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung.
4. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Bapak Dr. Ir. H. Sumirin, M.S., selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini ini.
6. Seluruh dosen, staf dan karyawan Program Studi Teknik Fakultas Teknik Sipil UNISSULA.
7. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

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

Semarang, Agustus 2023

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN..... | ii |
| BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR..... | iii |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI | iv |
| PERNYATAAN KEASLIAN | v |
| <i>MOTTO</i> | vi |
| PERSEMBAHAN..... | vii |
| KATA PENGANTAR | x |
| DAFTAR ISI | xi |
| DAFTAR TABEL | xv |
| DAFTAR GAMBAR | xvii |
| DAFTAR NOTASI..... | xix |
| ABSTRAK | xxiii |
| <i>ABSTRACT</i> | xxiv |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 1 |
| 1.3 Maksud dan Tujuan..... | 2 |
| 1.4 Batasan Masalah | 2 |
| 1.5 Sistematika Tugas Akhir | 3 |
| | |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 4 |
| 2.1 Tinjauan Umum | 4 |
| 2.2 Wilayah Gempa di Indonesia..... | 4 |
| 2.3 Persyaratan Peraturan Struktur Tahan Gempa..... | 6 |
| 2.3.1 Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan | 6 |
| 2.3.2 Klasifikasi Situs | 9 |
| 2.3.3 Koefisien Situs untuk Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum Tertarget | 10 |
| 2.3.4 Parameter Percepatan Spektral Desain | 11 |

| | |
|---|----|
| 2.3.5 Spektrum Respons Desain | 11 |
| 2.3.6 Kategori Desain Seismik (KDS) | 12 |
| 2.3.7 Kombinasi Sistem Struktur dalam Arah yang Berbeda | 12 |
| 2.3.8 Penentuan Periode Getar (T)..... | 14 |
| 2.3.9 Geser Dasar Seismik | 15 |
| 2.3.10 Klasifikasi Ketidakberaturan Struktur..... | 16 |
| 2.3.11 Penentuan Simpangan Antar Tingkat..... | 18 |
| 2.3.12 Pengaruh Efek P-delta | 19 |
| 2.3.13 Analisis Spektrum Respons Ragam | 20 |
| 2.4 Sistem Rangka Pemikul Momen..... | 21 |
| 2.4.1 SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa)..... | 21 |
| 2.4.2 SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah) | 22 |
| 2.4.3 SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)..... | 23 |
| 2.4.3.1 Balok SRPMK..... | 23 |
| 2.4.3.2 Kolom SRPMK..... | 25 |
| 2.4.3.3 Kekuatan Geser..... | 27 |
| 2.4.3.4 Joint Atau Hubungan Balok-Kolom SRPMK..... | 30 |
| 2.5 Desain Struktur Pelat..... | 31 |
| 2.6 Pembebanan..... | 32 |
| 2.6.1 Beban Mati (<i>Dead Load</i>)..... | 32 |
| 2.6.2 Beban Hidup (<i>Live Load</i>)..... | 32 |
| 2.6.3 Beban Gempa..... | 32 |
| 2.7 Kriteria Pemodelan Struktur..... | 33 |
| 2.8 Aplikasi Bantu Analisa Pemodelan Struktur..... | 33 |
| | |
| BAB III METODE PERANCANGAN..... | 38 |
| 3.1 Pengumpulan Data | 38 |
| 3.2 Analisis dan Perancangan..... | 38 |
| 3.3 Acuan Standar Perancangan | 40 |
| 3.4 Diagram Alur Perancangan | 41 |
| | |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 43 |
| 4.1 Deskripsi Umum Bangunan..... | 43 |

| | |
|--|----|
| 4.2 Standar Rujukan..... | 44 |
| 4.3 Pemodelan Struktur..... | 44 |
| 4.3.1 Informasi Umum Bangunan | 45 |
| 4.3.2 Pemodelan Struktur SAP 2000 | 45 |
| 4.3.3 Konfigurasi Bangunan..... | 47 |
| 4.3.4 Pra Dimensi Elemen Struktur | 48 |
| 4.4 Pembebanan Struktur | 54 |
| 4.4.1 Beban Gravitasi..... | 54 |
| 4.4.2 Kombinasi Pembebanan Struktur..... | 56 |
| 4.5 Analisis Desain Seismik..... | 57 |
| 4.5.1 Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa | 57 |
| 4.5.2 Klasifikasi Situs | 57 |
| 4.5.3 Parameter Respon Spektral Gempa Terpetakan S_s dan S_1 | 57 |
| 4.5.4 Parameter Respons Spektral Gempa Tertarget S_{ms} dan S_{m1} | 58 |
| 4.5.5 Parameter Respons Spektral Gempa Desain S_{DS} dan S_{D1} | 58 |
| 4.5.6 Spektrum Respons Desain | 59 |
| 4.5.7 Kategori Desain Seismik dan Sistem Pemikul Gaya Seismik..... | 59 |
| 4.5.8 Perhitungan Pusat Massa Tiap Lantai | 60 |
| 4.5.9 Analisis Dinamis Getaran..... | 61 |
| 4.5.10 Kontrol Hasil Analisis Gempa Dinamik..... | 62 |
| 4.6 Cek Ketidakberaturan Struktur Horisontal dan Vertikal..... | 68 |
| 4.6.1 Ketidakberaturan Horisontal Tipe 1a dan 1b..... | 68 |
| 4.6.2 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a dan 1b | 69 |
| 4.6.3 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 | 71 |
| 4.7 Cek Simpangan Antar Tingkat | 71 |
| 4.8 Cek Pengaruh P-Delta | 72 |
| 4.9 Perancangan Pelat | 74 |
| 4.9.1 Perhitungan Pembebanan dan Momen Pelat Lantai | 74 |
| 4.9.2 Rincian Perhitungan Penulangan Pelat Lantai..... | 75 |
| 4.9.3 Perhitungan Pembebanan dan Momen Pelat Atap..... | 82 |
| 4.9.4 Rincian Perhitungan Penulangan Pelat Atap | 83 |
| 4.10 Perancangan Balok..... | 90 |
| 4.10.1 Identifikasi Syarat Batas Dimensi Balok SRPMK..... | 91 |
| 4.10.2 Perancangan Tulangan Lentur Balok | 91 |

| | |
|---|-----|
| 4.10.3 Perancangan Tulangan Geser Balok | 99 |
| 4.10.4 Perancangan Tulangan Torsi Balok | 101 |
| 4.11 Perancangan Kolom | 108 |
| 4.11.1 Identifikasi Syarat Batas Dimensi Kolom SRPMK | 109 |
| 4.11.2 Perancangan Tulangan Longitudinal Kolom | 109 |
| 4.11.3 Pengecekan <i>Strong Column-Weak Beam</i> (SCWB) | 110 |
| 4.11.4 Perancangan Tulangan Transversal Kolom | 110 |
| 4.12 Hubungan Balok-Kolom (<i>Joint</i>) | 115 |
| | |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 118 |
| 5.1 Kesimpulan | 118 |
| 5.2 Saran | 119 |
| | |
| DAFTAR PUSTAKA | 121 |
| LAMPIRAN | |



DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa | 6 |
| Tabel 2.2 Faktor Keutamaan Gempa | 9 |
| Tabel 2.3 Klasifikasi Situs | 9 |
| Tabel 2.4 Koefisien Situs F_a | 10 |
| Tabel 2.5 Koefisien Situs F_v | 10 |
| Tabel 2.6 Kategori Desain Seismik Menurut Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek S_{DS} | 12 |
| Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Menurut Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 detik S_{D1} | 12 |
| Tabel 2.8 Faktor R , C_d dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik..... | 13 |
| Tabel 2.9 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode Hitung | 14 |
| Tabel 2.10 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x | 14 |
| Tabel 2.11 Ketentuan Ketidakberaturan Struktur Arah Horizontal..... | 16 |
| Tabel 2.12 Ketentuan Ketidakberaturan Struktur Arah Vertikal..... | 17 |
| Tabel 2.13 Simpangan Antar Tingkat Izin..... | 19 |
| Tabel 4.1 Konfigurasi Tinggi Bangunan..... | 47 |
| Tabel 4.2 Spesifikasi Bahan Material | 47 |
| Tabel 4.3 Hasil Pradimensi Balok | 53 |
| Tabel 4.4 Hasil Pradimensi Kolom..... | 53 |
| Tabel 4.5 Data Parameter S_s dan S_1 | 58 |
| Tabel 4.6 Data Parameter S_{ms} dan S_{m1} | 58 |
| Tabel 4.7 Data Parameter S_{DS} dan S_{D1} | 59 |
| Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Massa dan Pusat Massa Tiap Lantai | 61 |
| Tabel 4.9 Bentuk Ragam dan Periode Getar SAP2000 V22..... | 61 |
| Tabel 4.10 Nilai Hasil Partisipasi Massa Bangunan..... | 62 |
| Tabel 4.11 Hasil Gaya Geser Dasar Gempa Statik..... | 65 |
| Tabel 4.12 Hasil Gaya Geser Dasar Gempa Dinamik | 65 |
| Tabel 4.13 Hasil Gaya Geser Dasar Gempa Dinamik Dengan Faktor Pembesar . | 67 |
| Tabel 4.14 Hasil Evaluasi Ketidakberaturan Struktur Horisontal 1a dan 1b Arah X | 69 |

| | |
|--|-----|
| Tabel 4.15 Hasil Evaluasi Ketidakberaturan Struktur Horisontal 1a dan 1b Arah Y | 69 |
| Tabel 4.16 Hasil Evaluasi Ketidakberaturan Struktur Vertikal 1a Arah X..... | 70 |
| Tabel 4.17 Hasil Evaluasi Ketidakberaturan Struktur Vertikal 1a Arah Y | 70 |
| Tabel 4.18 Hasil Evaluasi Ketidakberaturan Struktur Vertikal 1b Arah X..... | 70 |
| Tabel 4.19 Hasil Evaluasi Ketidakberaturan Struktur Vertikal 1b Arah Y..... | 70 |
| Tabel 4.20 Hasil Evaluasi Ketidakberaturan Struktur Vertikal Tipe 2..... | 71 |
| Tabel 4.21 Hasil Evaluasi Simpangan Antar Tingkat Arah X | 72 |
| Tabel 4.22 Hasil Evaluasi Simpangan Antar Tingkat Arah Y | 72 |
| Tabel 4.23 Hasil Pengecekan Efek P-Delta Arah X | 73 |
| Tabel 4.24 Hasil Pengecekan Efek P-Delta Arah Y | 73 |
| Tabel 4.25 Hasil Detail Perhitungan Tulangan Pelat Lantai | 81 |
| Tabel 4.26 Hasil Detail Perhitungan Tulangan Pelat Lantai | 89 |
| Tabel 4.27 Hasil Perhitungan Penulangan Balok | 107 |
| Tabel 4.28 Hasil Momen dan Gaya Aksial Kolom 400x750 mm | 108 |
| Tabel 4.29 Hasil Perhitungan Penulangan Kolom..... | 115 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Peta Gempa Indonesia Tahun 2017 berdasarkan <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA) 2%..... | 5 |
| Gambar 2.2 Peta Gempa Indonesia Tahun 2017 Berdasarkan Parameter S_s | 5 |
| Gambar 2.3 Peta Gempa Indonesia Tahun 2017 Berdasarkan Parameter S_1 | 6 |
| Gambar 2.4 Spektrum Respons Desain..... | 11 |
| Gambar 2.5 Simpangan Antar Tingkat | 19 |
| Gambar 2.6 Syarat Detail Penulangan Transversal pada Kolom | 27 |
| Gambar 2.7 Gaya Geser Balok Rencana oleh Kuat Lentur Maksimum (M_{pr}) | 27 |
| Gambar 2.8 Kapasitas Geser Kolom..... | 29 |
| Gambar 2.9 Arah Gaya Gempa | 33 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Ulang..... | 42 |
| Gambar 4.1 Denah Struktur Atas Gedung Head Office Awanggroup Semarang . | 43 |
| Gambar 4.2 Denah Permodelan Lantai 1 | 45 |
| Gambar 4.3 Denah Lantai Tipikal Lantai 2 – <i>Rooftop</i> | 46 |
| Gambar 4.4 Tampak Depan Permodelan 3D untuk Struktur Atas | 46 |
| Gambar 4.5 Tampak Belakang Permodelan 3D untuk Struktur Atas..... | 47 |
| Gambar 4.6 Panjang Pelat yang Dirancang..... | 48 |
| Gambar 4.7 Perancangan Inersia Balok dan Pelat..... | 49 |
| Gambar 4.8 Grafik Spektrum Respons Desain..... | 59 |
| Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Gaya Geser Gempa Statik Dan Dinamik Arah X Sebelum Pembesaran Skala | 66 |
| Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Gaya Geser Gempa Statik Dan Dinamik Arah Y Sebelum Pembesaran Skala..... | 66 |
| Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Gaya Geser Statik Dan Dinamik Arah X Setelah Pembesaran Skala | 68 |
| Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Gaya Geser Statik Dan Dinamik Arah Y Setelah Pembesaran Skala | 68 |
| Gambar 4.13 Diagram Tegangan dan Regangan Beton Pelat | 77 |
| Gambar 4.14 Tampak Atas Detail Penulangan Pelat Lantai | 82 |
| Gambar 4.15 Tampak Atas Detail Penulangan Pelat Atap | 90 |
| Gambar 4.16 Diagram Tegangan dan Regangan Balok Tumpuan Negatif | 93 |
| Gambar 4.17 Diagram Tegangan dan Regangan Balok Tumpuan Positif..... | 95 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 4.18 Diagram Tegangan dan Regangan Balok Lapangan Negatif | 96 |
| Gambar 4.19 Diagram Tegangan dan Regangan Balok Lapangan Positif | 98 |
| Gambar 4.20 Detail Penulangan Balok 400x750 mm | 107 |
| Gambar 4.21 Diagram Interaksi P_u , M_2 dan M_3 Kolom 750x750 mm | 110 |
| Gambar 4.22 Detail Penulangan Kolom 750x750 mm..... | 115 |
| Gambar 4.23 Tampak Atas <i>Joint</i> | 116 |



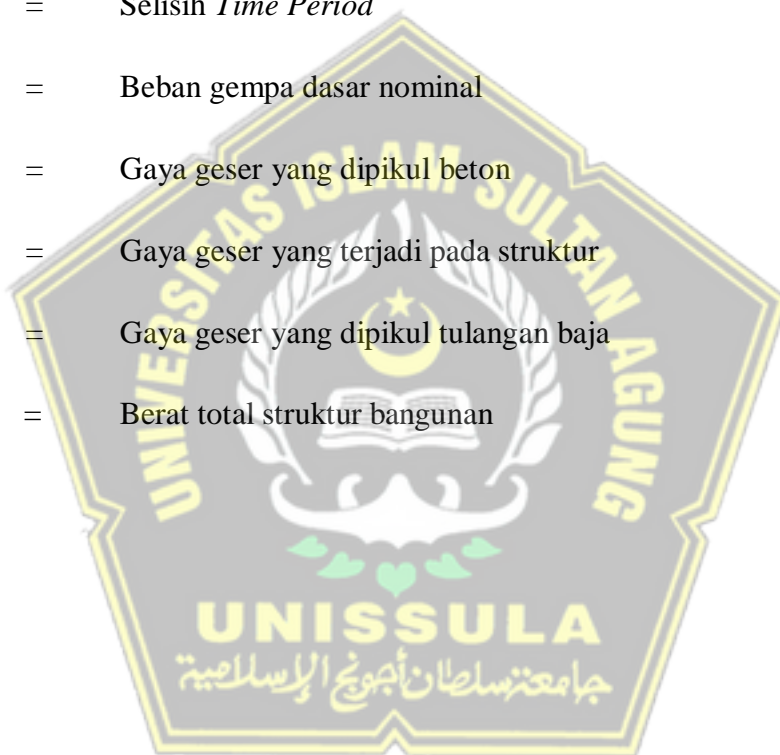
DAFTAR NOTASI

| | | |
|---------------|---|--|
| \emptyset | = | Faktor Reduksi |
| δ | = | Defleksi yang terjadi |
| δ_u | = | Defleksi Ultimit yang terjadi |
| δ_{xe} | = | Defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada pasal ini yang ditentukan dengan Analisis Elastis |
| λ | = | Angka kelangsingan |
| Δx | = | Simpangan antar lantai |
| ρ | = | Rasio tulangan |
| ρ_t | = | Rasio penulangan arah horizontal |
| A_g | = | Luas dimensi kolom (mm ²) |
| A_s | = | Luas tulangan tarik (mm ²) |
| A_s' | = | Luas tulangan tekan (mm ²) |
| A_{st} | = | Luas tulangan |
| b | = | Lebar balok (mm) |
| C | = | Koefisien Respon Gempa yang besarnya tergantung wilayah gempa dan waktu getar struktur |
| C_t | = | Koefisien Rangka Beton Pemikul Momen |
| C_u | = | Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung |
| C_v | = | Koefisien Respon Gempa Vertikal |
| C_d | = | Faktor Pembesaran Defleksi |
| DL | = | Beban mati |

| | | |
|-------|---|--|
| d | = | Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan (mm) |
| d_b | = | Diameter batang tulangan (mm) |
| E_c | = | Modulus Elastisitas Beton (MPa) |
| E_X | = | Beban gempa dinamis arah X |
| E_Y | = | Beban gempa dinamis arah Y |
| f_c | = | Kuat tekan beton (MPa) |
| f_y | = | Kekuatan leleh tulangan (MPa) |
| g | = | Besaran gravitasi |
| h | = | Tinggi balok (mm) |
| h_n | = | Ketinggian struktur (m) |
| h_x | = | Spasi horizontal maksimum untuk kaki sengkang tertutup atau sengkang ikat pada muka kolom |
| I_e | = | Faktor Keutamaan Gempa |
| l_n | = | Panjang sisi terpanjang |
| l_o | = | Panjang minimum |
| L | = | Panjang balok (mm) |
| L_x | = | Panjang bentang arah X |
| L_y | = | Panjang bentang arah Y |
| LL | = | Beban hidup |
| L_u | = | Tinggi kolom |

| | | |
|----------|---|---|
| MCE_R | = | Spektrum respons gempa minimum yang mempertimbangkan resiko tertarget |
| M_{nb} | = | Kekuatan lentur nominal balok |
| M_{nc} | = | Kekuatan lentur nominal kolom |
| M_n | = | Kekuatan lentur nominal pada penampang (KN.m) |
| M_u | = | Momen terfaktor penampang (KN.m) |
| M_{pr} | = | Momen lentur dari suatu komponen struktur dengan atau tanpa beban aksial (KN.m) |
| M_u | = | Momen yang terjadi pada penampang |
| M_x | = | Momen Arah X (ton.m) |
| M_y | = | Momen Arah Y (ton.m) |
| n | = | Jumlah tulangan |
| P_n | = | Gaya tekan nominal (N) |
| P_u | = | Gaya aksial terfaktor (N) |
| P | = | Beban aksial yang bekerja pada kolom |
| q | = | Beban yang bekerja |
| R | = | Faktor Reduksi Gempa |
| r | = | Radius Girasi penampang komponen struktur kolom |
| s | = | Jarak antar tulangan geser |
| S_1 | = | Parameter respon spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik |

| | | |
|------------|---|---|
| S_{DS} | = | Parameter respon spektral percepatan desain pada periode pendek |
| S_{D1} | = | Parameter respon spektral percepatan desain pada periode 1 detik |
| S_s | = | Parameter respon spektral percepatan gempa MCE_R terpetekan untuk periode pendek |
| SF | = | <i>Safety factor</i> |
| T | = | Nilai <i>Time Period</i> |
| ΔT | = | Selisih <i>Time Period</i> |
| V | = | Beban gempa dasar nominal |
| V_c | = | Gaya geser yang dipikul beton |
| V_e | = | Gaya geser yang terjadi pada struktur |
| V_s | = | Gaya geser yang dipikul tulangan baja |
| W_t | = | Berat total struktur bangunan |



PERANCANGAN ULANG STRUKTUR ATAS GEDUNG 5 LANTAI HEAD OFFICE AWANNGROUP SEMARANG

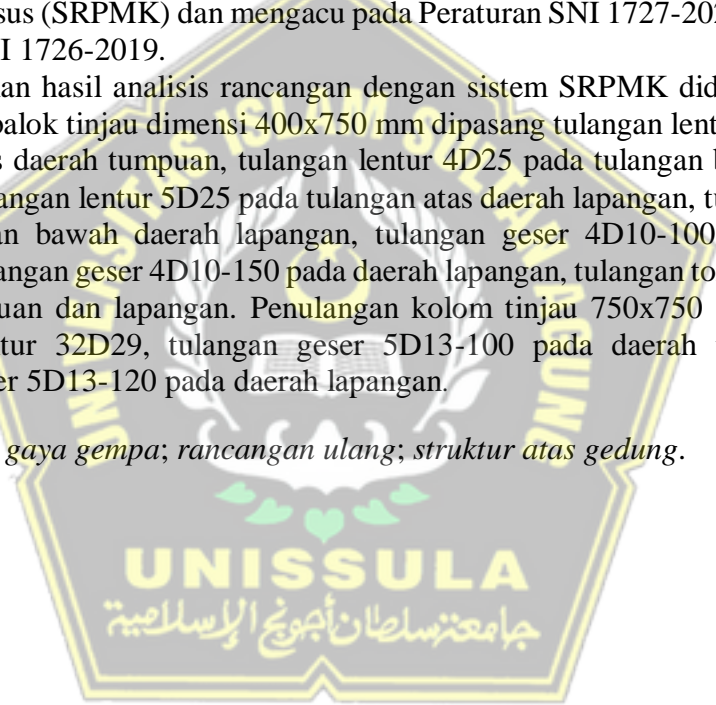
ABSTRAK

Gedung *Head Office Awannngroup* Semarang terletak di Kota Semarang. Kota Semarang merupakan daerah yang masuk dalam zona gempa ringan, sehingga dilakukan perancangan ulang struktur atas gedung *Head Office Awannngroup* Semarang 5 lantai dengan memperhitungkan parameter gaya gempa. Perancangan ulang tersebut bertujuan untuk menganalisis Gaya Geser Dasar, *Output* Gaya Dalam elemen struktur dan perhitungan penulangan struktur atas bangunan gedung.

Pemodelan struktur bangunan gedung menggunakan Program bantu Analisis Struktur SAP2000 V22. Rancangan model struktur bangunan gedung menggunakan desain struktur beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan mengacu pada Peraturan SNI 1727-2020, SNI 2847-2019 dan SNI 1726-2019.

Berdasarkan hasil analisis rancangan dengan sistem SRPMK didapatkan hasil penulangan balok tinjau dimensi 400x750 mm dipasang tulangan lentur 8D25 pada tulangan atas daerah tumpuan, tulangan lentur 4D25 pada tulangan bawah daerah tumpuan, tulangan lentur 5D25 pada tulangan atas daerah lapangan, tulangan 4D25 pada tulangan bawah daerah lapangan, tulangan geser 4D10-100 pada daerah tumpuan, tulangan geser 4D10-150 pada daerah lapangan, tulangan torsi 4D13 pada daerah tumpuan dan lapangan. Penulangan kolom tinjau 750x750 mm dipasang tulangan lentur 32D29, tulangan geser 5D13-100 pada daerah tumpuan dan tulangan geser 5D13-120 pada daerah lapangan.

Kata kunci: *gaya gempa; rancangan ulang; struktur atas gedung.*



UPPER STRUCTURE REDESIGN OF 5 STOREY BUILDING HEAD OFFICE AWANNGROUP SEMARANG

ABSTRACT

Awanngroup Semarang Head Office Building is located in Semarang City. Semarang City is an area that is included in the light earthquake zone, so a redesign of the upper structure of the 5-storey Semarang Awanngroup Head Office building was carried out by taking into account the parameters of earthquake forces. The redesign aims to analyze the basic shear force, the output of forces in structural elements and the calculation of repeatability of the upper structure of the building.

Building structure modelling using the SAP2000 V22 structural analysis auxiliary program. The design of the building structure model uses a reinforced concrete structure design with a Special Moment Bearing Frame System (SRPMK) and refers to SNI 1727-2020, SNI 2847-2019 and SNI 1726-2019 regulations.

Based on the results of the design analysis with the SRPMK system, the results of repeating beams review dimensions of 400x750 mm were installed 8D25 bending reinforcement on the upper reinforcement of the pedestal area, 4D25 bending reinforcement on the lower reinforcement of the pedestal area, 5D25 bending reinforcement on the upper reinforcement of the field area, 4D25 reinforcement on the lower reinforcement of the field area, 4D10-100 sliding reinforcement on the pedestal area, 4D10-150 sliding reinforcement in the field area, 4D13 torsion reinforcement in the fulcrum area and field. The repeating of the 750x750 mm review column is installed 32D29 flexural reinforcement, 5D13-100 shear reinforcement in the fulcrum area and 5D13-120 shear reinforcement in the field area.

Keywords: *earthquake forces; redesign; the upper structure of the buildi*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kondisi geografis Indonesia yang memiliki letak diantara titik temu lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia dan lempeng Pasifik menyebabkan negara Indonesia rawan terjadi gempa bumi tektonik. Hal ini menyebabkan sebagian wilayah di Indonesia rawan gempa.

Perancangan bangunan bertingkat harus memperhatikan faktor keamanan dan kekuatan struktur dengan tujuan mengurangi resiko kerusakan yang terjadi pada bangunan. Beban mati, beban hidup, beban gempa, dan beban angin merupakan variabel yang berpengaruh terhadap kekuatan struktur bangunan bertingkat. Lokasi dimana suatu bangunan berdiri mempengaruhi beban gempa untuk bangunan tersebut.

Jumlah beban yang ditopang oleh suatu bangunan akan bertambah seiring dengan pertambahan tinggi bangunan. Oleh sebab itu, penentuan dimensi perancangan struktur harus dapat menahan semua beban yang diterima oleh bangunan dan harus memenuhi persyaratan SNI (Standar Nasional Indonesia).

Tugas Akhir ini membahas perancangan ulang struktur atas *Head Office Awanngroup* Semarang dengan rujukan peraturan SNI (Standar Nasional Indonesia) perancangan bangunan gedung terbaru. Penggunaan pedoman peraturan terbaru bertujuan agar didapatkan hasil desain struktur yang lebih baik dan menyesuaikan dengan keadaan sekarang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, didapat rumusan masalah Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana hasil analisa gaya gempa sesuai acuan dalam SNI 1726-2019 untuk Struktur Atas *Head Office Awanngroup* Semarang?
2. Bagaimana hasil dari perancangan Struktur Atas menggunakan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) yang dilakukan sesuai dengan kondisi beban gempa SNI 1726-2019 ?

1.3 Maksud dan Tujuan

Tugas Akhir ini mempunyai maksud yaitu perancangan ulang struktur atas *Head Office Awanngroup* Semarang. Berikut adalah tujuan dari Tugas Akhir yaitu :

1. Mengetahui hasil analisa gaya gempa untuk struktur atas *Head Office Awanngroup* Semarang sesuai acuan SNI 1726-2019.
2. Mengetahui tulangan hasil rancangan struktur atas menggunakan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) sesuai dengan dasar perancangan dan pembebanan menurut Peraturan SNI 1727-2020, SNI 2847-2019 dan SNI 1726-2019.

1.4 Batasan Masalah

Berikut adalah beberapa batasan masalah yang ditetapkan pada penyusunan Tugas Akhir ini yaitu :

1. Standar rujukan peraturan yang diterapkan pada Tugas Akhir ini adalah :
 - Peraturan Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Bangunan Lain (SNI 1727–2020)
 - Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726–2019)
 - Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847–2019)
2. Tidak memperhitungkan struktur pondasi
3. Klasifikasi Situs untuk Gedung *Head Office Awanngroup* Semarang diasumsikan sebagai *SD* (kelas situs tanah sedang)
4. Analisa pemodelan, gaya dan perancangan menggunakan Aplikasi SAP2000 V22
5. Struktur atas bangunan yang dirancang ulang meliputi :
 - Pelat lantai dan pelat atap
 - Balok
 - Kolom

1.5 Sistematika Tugas Akhir

Tugas Akhir ini menggunakan sistematika penulisan yang meliputi 5 Bab sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memuat tentang Latar Belakang, Rumusan Masalah, Maksud dan Tujuan, Batasan Masalah serta Sistematika Tugas Akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat referensi teori secara luas maupun khusus yang dijadikan rujukan dalam proses penyusunan dan analisa Tugas Akhir serta sesuai dengan pokok bahasan.

BAB III METODE PERANCANGAN

Bab ini membahas uraian rinci tentang perancangan ulang struktur atas, berupa pembebanan menurut SNI, pemodelan struktur, analisis gaya dan perancangan dimensi pelat, balok dan kolom.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Uraian mengenai perhitungan struktur menurut beban rencana. Perhitungan rancangan struktur atas gedung yang meliputi elemen pelat, balok dan kolom dibahas dalam bab ini

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas terkait kesimpulan sesuai hasil dari perancangan struktur atas gedung serta saran yang dapat menjadi rujukan maupun masukan bagi pembaca dan penulis selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

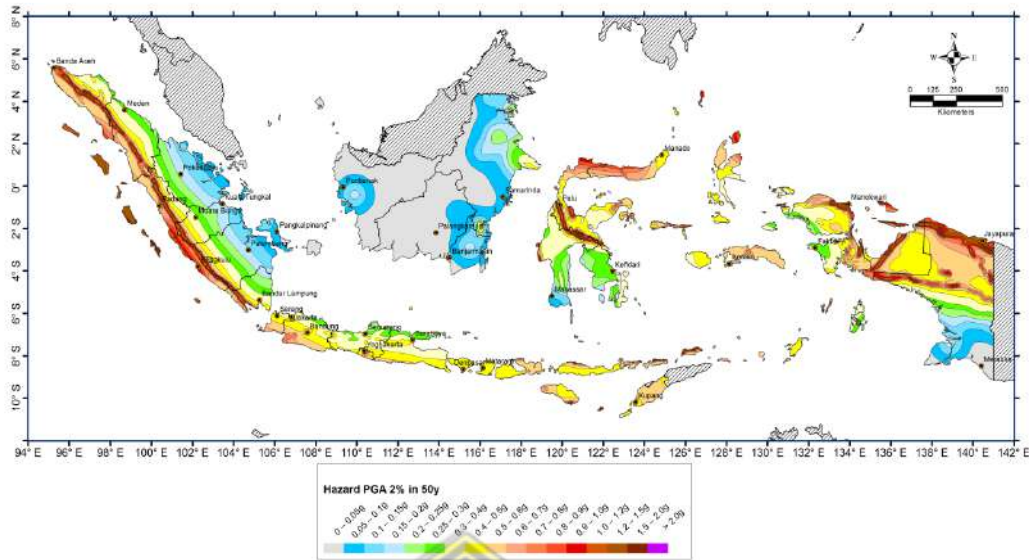
Definisi struktur secara singkatnya yaitu media untuk melakukan distribusi beban yang timbul akibat adanya beban suatu bangunan di atas tanah. Fungsi lain dari struktur sendiri adalah meneruskan beban bagian atas bangunan didistribusikan menuju ke bagian bawah bangunan. Dalam perancangan struktur diharapkan struktur dapat menahan beban yang terjadi secara vertikal maupun horizontal sesuai dengan acuan peraturan pembebanan yang telah diperhitungkan.

Gempa bumi rawan terjadi di Indonesia sehingga dalam melakukan perancangan struktur di Indonesia harus memperhatikan gaya gempa karena Dengan memperhatikan gaya gempa tersebut diharapkan dalam perancangan atau perhitungan dapat diperoleh sistem struktur bangunan yang baik dan dapat menahan terhadap resiko terjadinya gempa bumi.

2.2 Wilayah Gempa di Indonesia

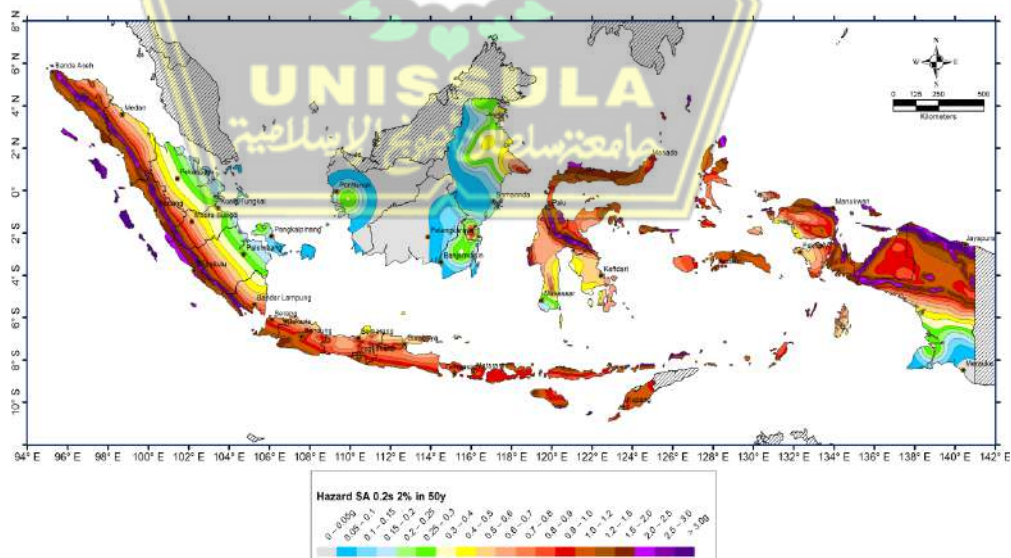
Peta gempa yang terdapat dalam SNI 1726-2019 menggunakan edisi yang paling baru yaitu tahun 2017 sebagai dasar perancangan. Salah satu dasar rujukan dalam rancangan bangunan yang dapat menahan gempa di negara Indonesia menggunakan Peta Gempa Indonesia.

Peta gempa edisi terbaru mengalami beberapa revisi terhadap peraturan yang sebelumnya. Menurut tingkat resiko gempanya, Indonesia dipetakan berdasarkan PGA (*Peak Ground Acceleration* atau Percepatan Puncak Batuan Dasar) sesuai Peta Gempa Indonesia terbaru tahun 2017 yang ditampilkan dalam Gambar 2.1 berikut ini.

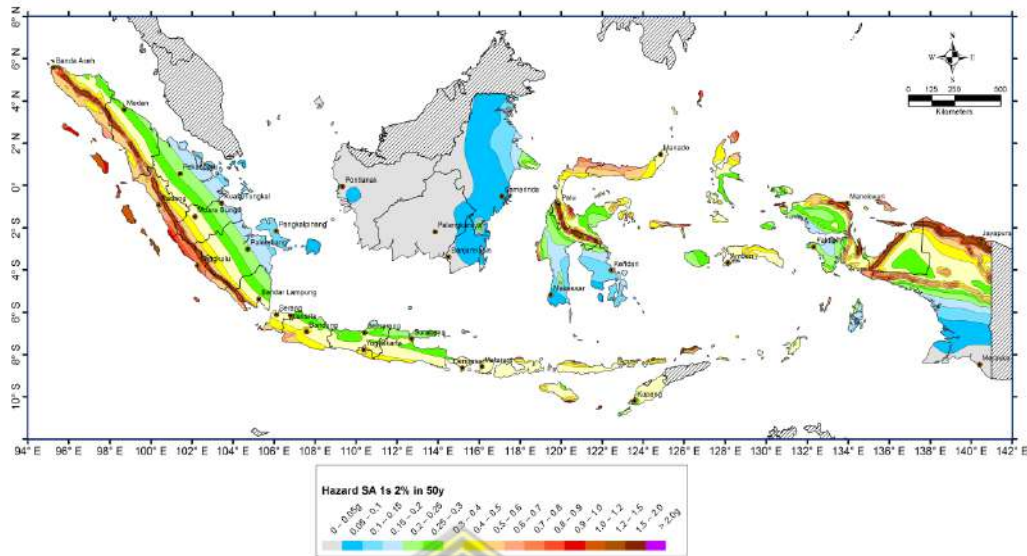


Gambar 2.1 Peta Gempa Indonesia Tahun 2017 berdasarkan *Peak Ground Acceleration (PGA) 2%*

Pembagian wilayah gempa untuk parameter S_s (Percepatan respon spektra gempa MCE_R resiko tertarget pada periode pendek) dan S_1 (parameter nilai percepatan respon spektra gempa MCE_R resiko tertarget pada periode 1 detik, teredam 5% percepatan batuan dasar pada periode 1 detik), digambarkan sesuai Gambar 2.2 dan Gambar 2.3 di bawah ini. Parameter ini digunakan sebagai dasar rancangan perhitungan dalam menentukan wilayah gempa Indonesia .



Gambar 2.2 Peta Gempa Indonesia Tahun 2017 Berdasarkan Parameter S_s



Gambar 2.3 Peta Gempa Indonesia Tahun 2017 Berdasarkan Parameter S_1

2.3 Persyaratan Peraturan Struktur Tahan Gempa

SNI 1726-2019 adalah standar rujukan dalam perancangan bangunan yang tahan terhadap gempa berskala besar dengan kondisi komponen struktur dan non struktur diperbolehkan rusak tapi komponen struktur bangunan tidak diperbolehkan terjadi roboh sehingga diharapkan tidak menimbulkan korban jiwa ketika gempa bumi .

2.3.1 Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Sesuai ketentuan pada SNI 1726-2019 dalam Pasal 4.1.2 kategori risiko untuk struktur bangunan gedung ditentukan dengan dasar Tabel 2.1 di bawah ini. Kemudian pengaruh dari beban rencana terhadap faktor keutamaan gempa (I_e) dikalikan jenis kategori risiko seperti pada Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa

| Jenis Pemanfaatan | Kategori Risiko |
|--|-----------------|
| <p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya | I |

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa
(lanjutan)

| Jenis Pemanfaatan | Kategori Risiko |
|--|-----------------|
| <p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ <i>mall</i> - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik | <p>II</p> |
| <p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan 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:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam</p> | <p>III</p> |

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Nongedung Untuk Beban Gempa
(lanjutan)

| Jenis Pemanfaatan | Kategori Risiko |
|--|-----------------|
| <p>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.</p> | <p>III</p> |
| <p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, 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> | <p>IV</p> |

Tabel 2.2 Faktor Keutamaan Gempa

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

2.3.2 Klasifikasi Situs

Penentuan klasifikasi situs tanah mengacu pada SNI 1726-2019 Pasal 5.3 dimana sesuai data tanah yang terdiri dari salah satu nilai N-SPT, nilai cepat rambat gelombang dan nilai kuat geser tanah maka kelas situs tanah untuk struktur bangunan dapat ditentukan. Penentuan klasifikasi situs tanah ditampilkan dalam Tabel 2.3 berikut ini.

Tabel 2.3 Klasifikasi Situs

| Kelas situs | v_s (m/detik) | N atau N_{ch} | 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 : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $s_u < 25$ 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: - 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 $s_u < 50$ kPa | | |

Catatan : N/A = tidak dapat dipakai

2.3.3 Koefisien Situs untuk Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum Tertarget

Dalam menentukan respons spektral percepatan gempa MCE_R pada permukaan tanah membutuhkan faktor amplifikasi seismik untuk periode 0,2 detik serta periode 1 detik. Faktor amplifikasi getaran sesuai percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi percepatan sesuai getaran periode 1 detik (F_v). Rumus di bawah ini digunakan untuk mendapatkan parameter respons spektral percepatan yang telah ditentukan sesuai dengan klasifikasi situs berdasarkan periode pendek (S_{MS}) serta periode 1 detik (S_{M1}) yaitu :

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2.1)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.2)$$

Keterangan :

S_s = periode pendek untuk parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R

S_1 = periode 1 detik untuk parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R .

Penentuan untuk nilai koefisien situs untuk periode pendek (F_a) serta koefisien situs untuk periode 1 detik (F_v) yang telah diatur menurut ketentuan Pasal 6.2 SNI 1726-2019 ditampilkan dalam Tabel 2.4 dan 2.5 berikut ini.

Tabel 2.4 Koefisien Situs F_a

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

Tabel 2.5 Koefisien Situs F_v

| Kelas situs | Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1 | | | | | |
|-------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| | $S_1 \leq 0,1$ | $S_1 = 0,2$ | $S_1 = 0,3$ | $S_1 = 0,4$ | $S_1 = 0,5$ | $S_1 \geq 0,6$ |
| SA | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SB | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SC | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,4 |
| SD | 2,4 | 2,2 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,7 |
| SE | 4,2 | 3,3 | 2,8 | 2,4 | 2,2 | 2,0 |
| SF | SS(a) | | | | | |

2.3.4 Parameter Percepatan Spektral Desain

Rumus yang digunakan untuk memperoleh nilai dari parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan untuk periode 1 detik (S_{D1}) yaitu :

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

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

Keterangan :

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

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

2.3.5 Spektrum Respon Desain

Berdasarkan SNI 1726-2019 yang mengatur tentang spektrum respon desain (S_a) mempunyai beberapa revisi dibandingkan dengan SNI 1726-2012 dimana revisi tersebut terjadi penambahan periode panjang dalam kurva respon spektrum. Berikut adalah beberapa hal yang dihitung untuk menggambarkan kurva yaitu ;

- Nilai $T < T_0$

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

- Nilai $T_0 < T < T_s$

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

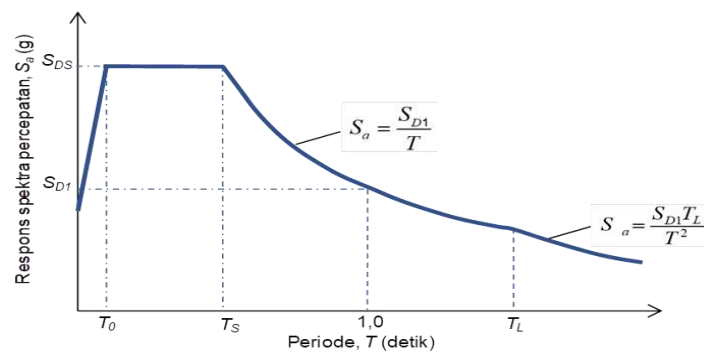
- Nilai $T > T_s$

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

- Rumus berikut digunakan untuk menentukan nilai T_s dan T_0 :

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.8)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.9)$$



Gambar 2.4 Spektrum Respon Desain

2.3.6 Kategori Desain Seismik (KDS)

Penentuan KDS (Kategori Desain Seismik) diatur dalam Pasal 6.5 yang tercantum pada SNI 1726-2019 . Ketentuan mengenai pembagian Kategori Desain Seismik menurut nilai parameter S_{DS} serta nilai S_{D1} dapat dilihat sesuai dengan Tabel 2.6 dan 2.7 di bawah ini.

Tabel 2.6 Kategori Desain Seismik Menurut Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek S_{DS}

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

Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Menurut Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 detik S_{D1}

| 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 |

2.3.7 Kombinasi Sistem Struktur dalam Arah yang Berbeda

Variabel penyebab yang dapat mempengaruhi sistem pemikul gaya seismik meliputi faktor pembesaran defleksi (C_d), koefisien modifikasi respons (R) dan faktor kuat lebih sistem (Ω_0). Menurut ketentuan syarat batas dalam Pasal 7.2.2 SNI 1726-2019 untuk batasan sistem struktur dijelaskan pada Tabel 2.8 berikut ini.

Tabel 2.8 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_{nb} | Faktor pembesaran defleksi C_{dc} | Batasan sistem struktur dan Batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d | | | | |
|--|-------------------------------------|---|-------------------------------------|---|----------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | | | Kategori desain seismik | | | | |
| C. Sistem rangka pemikul momen | | | | B | C | D^e | E^e | F^f |
| 1. Rangka baja pemikul momen khusus | 8 | 3 | $5^{1/2}$ | TB | TB | TB | TB | TB |
| 2. Rangka batang baja pemikul momen khusus | 7 | 3 | $5^{1/2}$ | TB | TB | 48 | 30 | TI |
| 3. Rangka baja pemikul momen menengah | $4^{1/2}$ | 3 | 4 | TB | TB | 10^k | TI^k | TI^k |
| 4. Rangka baja pemikul momen biasa | $3^{1/2}$ | 3 | 3 | TB | TB | TI^l | TI^l | TI^l |
| 5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m | 8 | 3 | $5^{1/2}$ | TB | TB | TB | TB | TB |
| 6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah | 5 | 3 | $4^{1/2}$ | TB | TB | TI | TI | TI |
| 7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa | 3 | 3 | $2^{1/2}$ | TB | TI | TI | TI | TI |
| 8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus | 8 | 3 | $5^{1/2}$ | TB | TB | TB | TB | TB |
| 9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah | 5 | 3 | $4^{1/2}$ | TB | TB | TI | TI | TI |
| 10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen | 6 | 3 | $5^{1/2}$ | 48 | 48 | 30 | TI | TI |
| 11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa | 3 | 3 | $2^{1/2}$ | TB | TI | TI | TI | TI |

Keterangan :

TB = Tidak Dibatasi

TI = Tidak Diizinkan

2.3.8 Penentuan Periode Getar (T)

Getaran membutuhkan waktu untuk menyelesaikan satu kali siklus dinyatakan sebagai periode getar alami struktur. Nilai periode getar sangat penting untuk diperhatikan karena nilainya akan berpengaruh langsung pada nilai gaya geser dasar bangunan.

Koefisien batasan atas untuk periode yang dihitung (C_u) serta periode fundamental pendekatan (T_a) tidak diperbolehkan lebih kecil dari nilai periode fundamental struktur, Nilai untuk T_a dapat dihitung dengan rumus :

$$T_{\max} = C_u \times T_a \quad (2.10)$$

$$T_a = C_t \times h_n^x \quad (2.11)$$

Keterangan :

T = Periode getar struktur (detik)

T_a = Periode pendekatan (detik)

C_u = Koefisien untuk batasan atas periode yang dihitung

H_n = ketinggian struktur (m)

Nilai x dan C_t diperoleh sesuai penjelasan pada Pasal 7.8.2.1 SNI 1726-2019

Tabel 2.9 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode Hitung

| Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, SD1 | 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 |

Tabel 2.10 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 |

2.3.9 Geser Dasar Seismik

Penentuan nilai Gaya Geser Dasar Seismik (V) pada arah yang ditentukan dapat menggunakan rumus seperti berikut ini :

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

Penentuan Koefisien respons seismik (C_s) digunakan dengan rumus berikut :

$$C_s = \frac{(S_{Ds})}{(R/I_e)} \quad (2.13)$$

Nilai Koefisien respons seismik (C_s) yang diperhitungkan sesuai Persamaan (2.13) di atas harus lebih kecil dari berikut

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{(S_{D1})}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.14)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{(S_{D1})(T_L)}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.15)$$

C_s tidak boleh lebih kecil dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2.16)$$

Struktur yang mempunyai titik koordinat lokasi pada wilayah dimana nilai $S_1 \geq 0,6g$, maka nilai C_s tidak boleh lebih kecil dari berikut ini :

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

Keterangan :

C_s = koefisien respons seismik

R = koefisien modifikasi respons

W = berat seismik efektif

I_e = faktor keutamaan gempa

T = periode fundamental struktur (detik)

S_1 = parameter percepatan respons spektral maksimum yang dipetakan.

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

S_{DS} = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek

2.3.10 Klasifikasi Ketidakberaturan Struktur

Klasifikasi struktur sebagai beraturan atau tidak beraturan telah diatur menurut ketentuan Pasal 7.3.2 SNI 1726-2019. Komposisi horizontal dan vertikal dari bentuk geometri struktur menentukan hasil Klasifikasi struktur bangunan yang ditinjau.

A. Ketidakberaturan Horizontal

Suatu bangunan dinyatakan memiliki ketidakberaturan struktur horizontal jika termasuk dalam salah satu klasifikasi pada Tabel 2.11 di bawah ini.

Tabel 2.11 Ketentuan Ketidakberaturan Struktur Arah 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 dimana diafragma kaku atau setengah kaku. | 0 0 0 0 Tabel 16 0 | D, E, dan F B, C, D, E, dan F FC, 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 dimana diafragma kaku atau setengah kaku. | 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 |

Tabel 2.11 Ketentuan Ketidakberaturan Struktur Arah Horizontal (lanjutan)

| | Tipe dan penjelasan ketidakberaturan | Pasal referensi | Penerapan kategori desain seismik |
|----|---|------------------------------|--|
| 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 didefninisikan 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 |

B. Ketidakberaturan Vertikal

Apabila terdapat suatu struktur yang diidentifikasi terdapat minimum satu atau lebih tipe ketidakberaturan sesuai dengan penjelasan yang ditunjukkan pada Tabel 2.12, maka struktur tersebut didefinisikan termasuk dalam Ketidakberaturan struktur vertikal

Tabel 2.12 Ketentuan Ketidakberaturan Struktur Arah 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 Berlebiha 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 jikadimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat di dekatnya. | Tabel 16 | D, E, dan F |

Tabel 2.12 Ketentuan Ketidakberaturan Struktur Arah Vertikal (lanjutan)

| | Tipe dan penjelasan ketidakberaturan | Pasal referensi | Penerapan kategori desain seismik |
|-----|--|--------------------|---|
| 4. | Ketidakteraturan 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. | Ketidakteraturan 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. | Ketidakteraturan 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 |

2.3.11 Penentuan Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat (Δ) merupakan hasil perhitungan dari perbedaan antara simpangan yang terletak pada pusat massa diatas dan dibawah tingkat yang diperiksa. Simpangan pusat massa ditingkat-x. Nilai (δ_x) dapat dihitung menggunakan rumus di bawah ini :

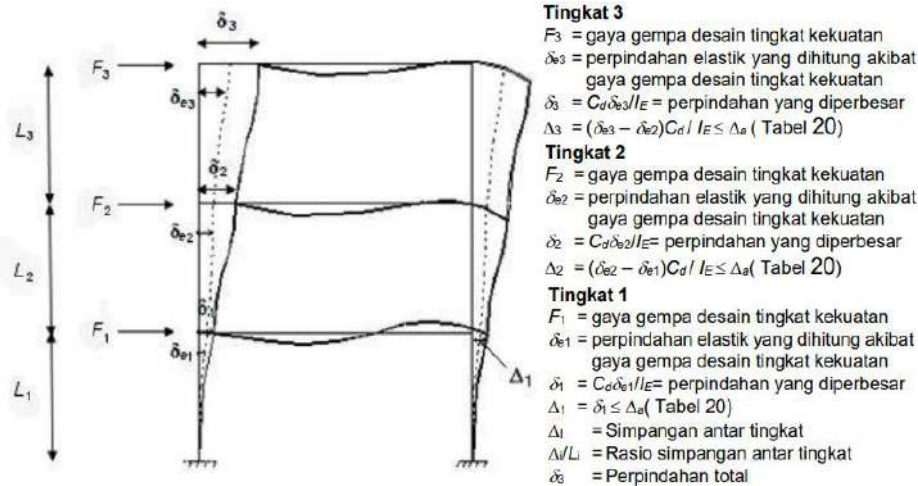
$$\delta_x = \frac{C_d x \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.18)$$

Keterangan :

δ_{xe} = Defleksi untuk lokasi yang diisyaratkan dalam pasal ini yang ditentukan menggunakan analisis elastik.

C_d = Faktor amplifikasi simpangan lateral sesuai Tabel SNI 1726-2019

I_e = Faktor keutamaan gempa



Gambar 2.5 Simpangan Antar Tingkat

Nilai simpangan antar tingkat izin harus lebih kecil dari nilai simpangan antar tingkat desain (Δ) seperti yang tercantum pada Pasal 7.12.1 SNI 1726-2019. Nilai perhitungan simpangan antar tingkat izin pada semua tingkat ditunjukkan dalam Tabel 2.13.

Tabel 2.13 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. | $0,025h_{sx}^c$ | $0,020h_{sx}$ | $0,015h_{sx}$ |
| Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d | $0,010h_{sx}$ | $0,010h_{sx}$ | $0,010h_{sx}$ |
| Struktur dinding geser batu bata lainnya | $0,007h_{sx}$ | $0,007h_{sx}$ | $0,007h_{sx}$ |
| Semua struktur lainnya | $0,020h_{sx}$ | $0,015h_{sx}$ | $0,010h_{sx}$ |

2.3.12 Pengaruh Efek P-delta

Akibat dari simpangan antar tingkat dan pengaruh efek P-delta untuk tingkat dan geser momen, gaya dan momen pada komponen struktur yang diperoleh tidak perlu dihitung apabila koefisien stabilitas bernilai lebih kecil dari atau sama dengan 0,10. Rumus hitung untuk koefisien stabilitas (θ) sesuai pada ketentuan Pasal 7.8.7 SNI 1726-2019 ditetapkan seperti berikut :

$$\theta = \frac{P_x \Delta_i}{V_x h_{sx} C_d} \quad (2.19)$$

Keterangan :

V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan tingkat dibawahnya

P_x = Beban desain vertikal total pada tingkat diatas x

H_{sx} = Tinggi antar tingkat

Δ = Simpangan antar tingkat desain

C_d = Faktor pembesaran defleksi dalam Tabel 12 SNI 1726-2019

I_e = Faktor keutamaan gempa

2.3.13 Analisis Spektrum Respons Ragam

1. Jumlah ragam kombinasi

Agar didapatkan struktur dengan kombinasi jumlah ragam yang cukup maka diperlukan analisis untuk menentukan ragam getar alami sehingga diperoleh 100% partisipasi massa ragam terkombinasi dari total massa respon.

2. Kombinasi Dasar Pembebanan

Rancangan untuk komponen struktur wajib memperhitungkan pengaruh beban-beban terfaktor berdasarkan ketentuan pada Pasal 4.2.2 SNI 1726-2019 dengan kuat rencana yang sama atau lebih sesuai kombinasi dasar pembebanan di bawah ini yaitu :

$$1. 1,4 D \quad (2.20)$$

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

$$3. 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W) \quad (2.22)$$

$$4. 1,2 D + Ev + Eh + L \quad (2.23)$$

$$5. 0,9 D + Ev + Eh \quad (2.24)$$

Keterangan :

D = Beban mati

L = Beban hidup

Lr = Beban hidup di atap

R = Beban hujan

Eh = Beban gempa arah horisontal

Ev = Beban gempa arah vertikal

Kecuali ruang pertemuan publik dan garasi, faktor untuk beban L dari kombinasi ketiga dan keempat dapat dianggap sama dengan 0,5 jika beban hidup desain tak tereduksi (L_0) sama dengan atau kurang dari 4,78 kN/m² untuk semua fungsi ruangan.

Kombinasi beban untuk Persamaan (2.23) dan Persamaan (2.24) harus diuraikan karena pengaruh faktor kuat lebih. Pada Persamaan (2.23) diuraikan $(1,2 + 0,2 S_{Ds})$ untuk variable beban mati dan beban mati tambahan sedangkan untuk Persamaan (2.24) diuraikan $(0,9 - 0,2 S_{Ds})$ untuk variable beban mati dan beban mati tambahan.

2.4 Sistem Rangka Pemikul Momen

Penjelasan yang dituliskan dalam SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SRPM (Sistem Rangka Pemikul Momen) memiliki definisi sebagai salah satu dari beberapa sistem struktur yang dapat digunakan sebagai penahan gaya gempa yang bekerja pada bangunan. Konsep dasar dari SRPM (Sistem Rangka Pemikul Momen) didefinisikan sebagai suatu sistem struktur yang mempunyai rangka ruang sebagai penahan keseluruhan beban gravitasi yang terjadi pada struktur. Beban hidup yang terdapat dalam Gedung dan beban mati akibat berat struktur itu sendiri disebut sebagai Beban gravitasi. Kemudian definisi dari beban lateral merupakan beban yang terjadi akibat mekanisme lentur yang diterima oleh Rangka Pemikul Momen. Beban gempa, beban dorongan tanah dan beban angin merupakan cakupan dari beban lateral.

Berikut tingkatan SRPM meliputi:

- a) Untuk bangunan yang termasuk kategori desain seismik A dan B digunakan SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa),
- b) Untuk bangunan yang termasuk kategori desain seismik C digunakan SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah),
- c) Untuk bangunan yang termasuk kategori desain seismik D dan E digunakan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus).

2.4.1 SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa)

Suatu sistem yang mempunyai perubahan bentuk inelastis serta tingkat daktilasi yang terkecil tapi tetap mempunyai kekuatan yang besar merupakan definisi dari SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa). SRPMB cocok diterapkan pada wilayah gempa yang kecil. Terdapat beberapa ketentuan yang wajib

diperhitungkan ketika merancang Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa, diantaranya yaitu:

1. Menurut Pasal 18.3.2 SNI 2847-2019 dijelaskan bahwa paling sedikitnya harus ada dua batang tulangan lentur atau tulangan pokok pada elemen balok yang dipasang menerus sepanjang penampang tarik dan tekan. Luasan dari tulangan tarik tidak boleh lebih kecil dari seperempat luasan tulangan Tarik maksimum. Agar diperoleh kekuatan leleh tarik (f_y) pada muka tumpuan balok maka tulangan tarik tersebut harus diangkur,
2. Menurut ketentuan Pasal 18.3.3 SNI 2847-2019 panjang tak tertumpu pada kolom jika nilainya sama dengan atau kurang dari dimensi c_1 dikali lima (ukuran penampang persegi ekuivalen atau kolom persegi) maka kolom wajib dirancang sebagai geser.

2.4.2 SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah)

Suatu sistem yang mempunyai rangka ruang dimana elemen-elemen strukturnya tahan terhadap gaya-gaya yang terjadi melewati mekanisme aksial, tegangan lentur dan geser merupakan definisi dari SRPMM. Menurut penjelasan sesuai Pasal 18.4 SNI 2847-2019 dijelaskan beberapa syarat ketentuan yang mengatur SRPMM, yaitu:

- a. Pada suatu sistem struktur penahan gaya gempa yang dibentuk dari rangka momen menengah diberlakukan persyaratan berdasarkan Pasal 18.4 SNI 2847-2019,
- b. Balok yang kuat tekan aksialnya pada elemen struktur tidak melebihi nilai $0,1 \times A_g \cdot f_c$ maka rincian untuk penulangan pada rangka elemen struktur wajib memperhatikan ketentuan dalam Pasal 18.4.2.4 SNI 2847-2019. Rincian penulangan transversal balok wajib mengikuti ketentuan pada Pasal 25.7.2.2 SNI 2847-2019 jika kuat tekan aksial melebihi nilai dari $A_g \cdot f_c / 10$. Apabila struktur pelat dua arah tanpa panel terbentuk setengah bagian dari sistem rangka pemikul beban gempa, maka rincian detail tulangan dalam sembarang panjang bentang yang memikul momen sebab dari efek gaya gempa harus sesuai dengan ketentuan pada Pasal 18.4.5 SNI 2847-2019.

2.4.3 SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)

Suatu sistem rancangan struktur dengan bahan beton bertulang yang detailnya menggambarkan struktur yang bersifat fleksibel (mempunyai daktilitas tinggi) adalah definisi dari Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Struktur SRPMK dirancang bisa menampung dan mengalami siklus respon inelastis saat terjadi gaya gempa rencana memiliki atau bisa disebut memiliki tingkat daktilitas yang tinggi. Berdasarkan Pasal 18.6 SNI 2847-2019 yang membahas rancangan struktur beton bertulang pada bangunan bertingkat, terdapat ketentuan komponen struktur rangka SRPMK yang harus terpenuhi yaitu :

1. Sistem penahan gempa yang terbentuk dari Rangka pemikul momen khusus sesuai persyaratan sesuai Pasal 18.6 SNI 2847-2019,

2. P_u merupakan gaya tekan aksial terfaktor yang bekerja pada elemen struktur,
$$P_u < 0,1 \times A_g \times f'_c \quad (2.25)$$

3. l_n panjang bentang bersih elemen struktur dan d adalah tinggi efektif
$$l_n > 4d \quad (2.26)$$

4. $b_w > 0,3h$ (b_w adalah lebar komponen) (2.27)

5. $250 \text{ mm} < b_w < c + 2 \text{ (}^3 h \text{)}$ (2.28)

2.4.3.1 Balok SRPMK

Suatu elemen struktur bangunan gedung yang memiliki sifat *rigid* serta didesain agar dapat menahan dan memikul beban yang mengarah pada kolom kemudian diteruskan ke pondasi adalah definisi dari balok. Membuat ikatan antar kolom supaya kuat dari pengaruh gaya lateral juga merupakan fungsi dari balok. Berikut adalah beberapa persyaratan yang harus terpenuhi oleh balok yaitu :

- Nilai dari momen nominal positif (M_n^+) pada tumpuan balok harus lebih besar dari setengah dari nilai momen nominal negatif tumpuan balok (M_n^-). Nilai momen nominal negatif dan positif pada daerah lapangan balok harus lebih besar dari seperempat nilai dikali momen nominal negatif pada tumpuan balok dimana persyaratan ini telah diatur sesuai pada Pasal 18.6.3.2 SNI 2847-2019.
- Detail Sambungan daerah tulangan lewatan pada tulangan lentur telah diatur menurut persyaratan dalam Pasal 18.6.3.3 SNI 2847-2019 diizinkan apabila sengkang spiral atau sengkang pengekang dipasang sepanjang daerah

sambungan tulangan lewatan. Jarak antar tulangan geser yang dipasang sepanjang daerah batang tulangan sambung-lewat tidak diizinkan melebihi nilai minimum antara 100 mm atau $d/4$. Sambungan tulangan lewatan tidak diperbolehkan dipasang sepanjang daerah berikut ini :

- a) Di dalam area hubungan balok-kolom (*joint*),
 - b) Daerah tumpuan sepanjang tinggi balok dikalikan dua (h) dari muka kolom,
 - c) Pada daerah sepanjang tinggi balok dikalikan dua (h) dari penampang kolom kritis yang diperkirakan kondisi sendi plastis dapat terjadi akibat pengaruh deformasi gempa yang melewati perilaku inelastik.
- Sengkang pengekang pertama berdasarkan Pasal 18.6.4.4 SNI 2847-2019 wajib dipasang tidak lebih dari jarak 50 mm dari muka kolom yang ditumpu. Spasi antara tulangan transversal pengekang tidak diperbolehkan lebih besar dari nilai terkecil:
 - a) $d/4$,
 - b) Pasal 9.7.2.3 disyaratkan diameter tulangan lentur terkecil dikalikan enam, untuk tulangan torsi/pinggang tidak termasuk,
 - c) 150 mm.
 - Apabila sengkang pengekang balok tidak diperlukan sesuai ketentuan Pasal 18.6.4.6 SNI 2847-2019, maka harus dipasang tulangan transversal menggunakan kait gempa di kedua ujungnya pada jarak yang tidak melebihi nilai $d/2$ dan dipasang pada panjang bentangan dari balok.
 - Menentukan nilai β_1 atau disebut distribusi tegangan penampang beton persegi harus sesuai persyaratan dalam Tabel 22.2.2.4.3 SNI 2847-2019. Nilai β_1 digunakan untuk menghitung nilai dari faktor reduksi untuk perhitungan kuat lentur, kuat geser dan torsi.
 - Pengecekan momen nominal pada tulangan lentur balok harus dikalikan dengan faktor reduksi dibandingkan momen ultimit sesuai ketentuan yang dijelaskan dalam Pasal 21.2 SNI 2847-2019. Nilai dari faktor reduksi untuk perhitungan kuat momen berkisar antara 0,65-0,90 dimana nilai tersebut didapatkan berdasarkan hasil dari hitungan regangan tulangan tarik balok (ϵ_s).
 - Pengecekan kuat geser nominal pada tulangan transversal balok harus dikalikan dengan faktor reduksi dibandingkan gaya geser ultimit yang terjadi pada balok

sesuai ketentuan yang dijelaskan dalam Pasal 21.2 SNI 2847-2019. Nilai dari faktor reduksi untuk perhitungan kuat geser adalah 0,75.

- Pengecekan momen retak torsi (T_{cr}) pada tulangan pinggang atau tulangan torsi balok harus dikalikan dengan faktor reduksi dibandingkan gaya torsi ultimit yang terjadi pada balok sesuai ketentuan yang dijelaskan dalam Pasal 21.2 SNI 2847-2019. Nilai dari faktor reduksi untuk perhitungan torsi adalah 0,75.

2.4.3.2 Kolom SRPMK

Suatu komponen struktur bersifat tekan yang berdaya guna untuk memikul dan menahan beban berasal dari struktur di atasnya (pelat dan balok) dan didistribusikan menuju struktur bawah atau pondasi merupakan pengertian dari kolom. Gaya aksial merupakan gaya dalam yang ditahan oleh kolom. Berikut terdapat beberapa persyaratan dasar untuk kolom SRPMK sesuai pada Pasal 18.7 SNI 2847-2019 antara lain :

- Kolom SRPMK wajib memenuhi syarat batas dimensi yang telah diatur menurut ketentuan Pasal 18.7.2.1 SNI 2847-2019 yaitu :
 - a. Batasan untuk dimensi terkecil penampang kolom yang dihitung melewati pusat geometri harus melebihi nilai 300 mm,
 - b. Perbandingan ukuran terkecil penampang kolom yang ditinjau terhadap dimensi kolom yang tegak lurus harus melebihi nilai 0,4.
- Berikut adalah syarat yang harus terpenuhi oleh kolom sesuai dengan Pasal 18.7.4 SNI 2847-2019 yaitu :
 - a. Luasan dari tulangan lentur atau tulangan pokok Ast harus memiliki rasio tulangan antara 0,01 A_g sampai 0,06 A_g untuk kolom yang diterapkan memasang tulangan sengkang *spiral*,
 - b. Batang tulangan lentur atau tulangan memanjang harus berjumlah minimum sebanyak 6 batang tulangan.
- Sambungan mekanisme harus memenuhi syarat yang diatur dengan rujukan Pasal 18.2.7 SNI 2847-2019 sedangkan untuk sambungan las telah diatur sesuai Pasal 18.2.8 SNI 2847-2019. Berdasarkan ketentuan yang dimuat pada Pasal 18.7.5.2 dan Pasal 18.7.5.3 yang mengatur tentang sambungan lewatan hanya diperbolehkan dipasang sepanjang daerah lapangan dari tinggi kolom dan

sambungan lewatan tersebut harus dirancang sebagai tarik serta harus dipasang tulangan transversal sepanjang sambungan lewatan.

- Menurut Pasal 18.7.5.2 sampai Pasal 18.7.5.4 SNI 2847-2019 disyaratkan bahwasanya tulangan geser atau sengkang harus dipasang mulai dari muka *joint* pada daerah sepanjang l_0 di kedua tumpuan kolom dimana pada daerah tersebut pelelehan tulangan lentur akibat kondisi tercapainya sendi plastis diharapkan terjadi. Panjang daerah untuk sendi plastis kolom atau l_0 tidak boleh lebih kecil dibandingkan nilai maksimum persyaratan di bawah ini :
 - a. Panjang penampang kolom pada sumbu kuat atau h kolom,
 - b. Bentang bersih dari kolom (L_n) dibagi enam,
 - c. 450 mm.
- Tulangan transversal atau geser yang diatur menurut ketentuan Pasal 18.7.5.2 SNI 2847-2019 wajib memenuhi persyaratan di bawah ini:
 - a. Tulangan geser meliputi spiral tumpang tindih (*overlap*) atau spiral tunggal, sengkang pengekang persegi atau sengkang pengekang bundar yang menggunakan ikat silang ataupun tidak,
 - b. Tiap pengait harus mengekang batang tulangan lentur paling luar pada sengkang pengekang berbentuk persegi,
 - c. Sesuai dengan syarat batas yang diizinkan pada Pasal 25.7.7.2 untuk ukuran diameter batang tulangan ikat silang wajib tidak melebihi dari atau sama dengan ukuran diameter tulangan yang dipakai untuk sengkang pengekang. Ujung kait dari ikat silang harus dipasang berurutan secara secara selang-seling sepanjang tulangan lentur yang dipasang,
 - d. Sesuai dengan Pasal 25.7.2.2 dan Pasal 25.7.2.3 SNI 2847-2019 tulangan geser wajib memiliki fungsi menjadi tumpuan lateral bagi tulangan lentur jika dipakai ikat silang maupun sengkang pengekang persegi,
 - e. Jarak antar tulangan pengekang yang mengikat tulangan lentur pada sekeliling penampang kolom (h_x) harus diatur sedemikian rupa agar jarak maksimum dari h_x tidak melebihi jarak maksimum yang dipersyaratkan sebesar 350 mm,
 - f. Kolom yang ditinjau dengan nilai $f'_c \leq 70$ MPa atau $P_u \leq 0,3 \times A_g \times f'_c$ harus dipasang sengkang pengekang dengan ikat silang menggunakan

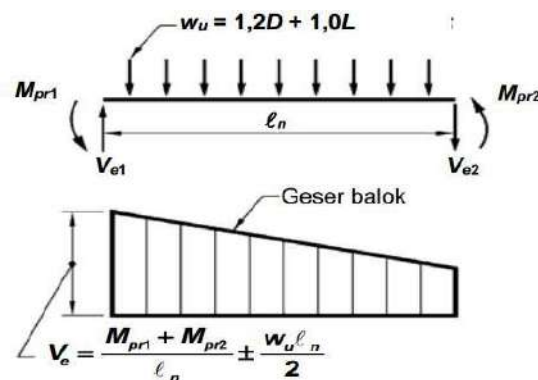
ujung kait 90° dan kait 135° dipasang berurutan dengan kait sikunya dipasang secara selang seling pada sisi kolom yang saling berlawanan. Jarak antar tulangan ikat silang yang memegang batang tulangan lentur h_x tidak boleh melebihi 350 mm. P_u merupakan gaya tekan maksimum yang dihasilkan dari program analisis struktur menggunakan kombinasi pembebanan rencana.



Gambar 2.6 Syarat Detail Penulangan Transversal pada Kolom

2.4.3.3 Kekuatan Geser

Gaya geser desain diperoleh dengan melakukan tinjauan kekuatan statik untuk elemen struktur sepanjang daerah di antara muka tumpuan. Kuat lentur yang memiliki nilai paling besar yang terdistribusi pada muka tumpuan mengakibatkan kekuatan geser rencana yang harus dipikul oleh tulangan geser hasil perhitungan seperti ilustrasi yang ditampilkan dalam Gambar 2.7 di bawah ini



Gambar 2.7 Gaya Geser Balok Rencana oleh Kuat Lentur Maksimum (M_{pr})

1. Geser Balok SRPMK

Berikut adalah beberapa ketentuan untuk kapasitas gaya geser balok terhadap menahan sebuah gaya sesuai Pasal 18.6.5.1 SNI 2847-2019 yaitu:

- Perhitungan kekuatan geser desain (V_e) diperoleh dengan melakukan tinjauan gaya-gaya yang bekerja pada daerah tumpuan balok. Momen berlawanan yang memiliki notasi positif atau negatif harus diasumsikan untuk kekuatan momen lentur maksimum (M_{pr}) dimana beban terjadi pada tumpuan balok dan beban gravitasi merata dibebankan sepanjang bentang balok.
- Identifikasi tulangan geser yang dipasang sepanjang daerah balok sesuai pada Pasal 18.6.4.1 wajib dirancang agar dapat menahan gaya geser. Tahanan geser beton dapat diasumsikan $V_c = 0$ jika dua ketentuan yang diatur dalam Pasal 18.6.5.2 SNI 2847-2019 dapat terpenuhi yaitu:
 - 1) Sesuai Pasal 18.6.5.1 jika gaya geser yang disebabkan oleh gempa V_{pr} memiliki nilai sama dengan atau melebihi setengah kali gaya geser perlu maksimum V_e sepanjang bentang balok ,
 - 2) Nilai dari $A_g \times f_c / 20$ balok lebih besar dari P_u yang merupakan kuat tekan aksial terfaktor termasuk pengaruh gempa.
- Menentukan nilai β_1 atau disebut distribusi tegangan penampang beton persegi harus sesuai persyaratan dalam Tabel 22.2.2.4.3 SNI 2847-2019. Nilai β_1 digunakan untuk menghitung nilai dari faktor reduksi untuk pengecekan kuat geser nominal balok.
- Pengecekan kuat geser nominal pada tulangan transversal balok harus dikalikan dengan faktor reduksi dibandingkan gaya geser ultimit yang terjadi pada balok sesuai ketentuan yang dijelaskan dalam Pasal 21.2 SNI 2847-2019. Nilai dari faktor reduksi untuk perhitungan kuat geser adalah 0,75.

2. Geser Kolom SRPMK

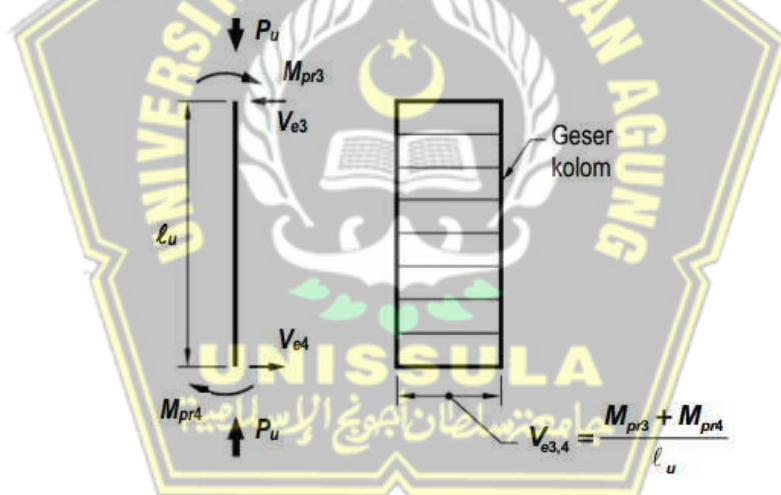
Berikut adalah beberapa ketentuan pada kolom dalam kapasitas gaya geser terhadap menahan sebuah gaya sesuai dengan Pasal 18.7.6.1 SNI 2847-2019 yaitu:

- Penentuan nilai kuat geser desain V_e dilakukan dengan meninjau gaya-gaya terbesar yang bekerja pada sepanjang daerah tumpuan kolom atau l_0 . Kekuatan

lentur terbesar yang dimungkinkan dapat terjadi (M_{pr}) digunakan untuk menentukan gaya yang terjadi pada tumpuan kolom. Nilai kuat geser yang diperoleh dari bantuan aplikasi program analisis struktur tidak boleh melebihi nilai tahanan geser beton V_c . Ketentuan ini telah diatur sesuai Pasal 18.7.6.1 SNI 2847-2019.

- Identifikasi tulangan geser yang diterapkan sepanjang daerah kolom l_0 sesuai pada Pasal 18.7.5.1 wajib dirancang agar dapat menahan gaya geser. Tahanan geser beton dapat diasumsikan $V_c = 0$ jika dua ketentuan yang diatur pada Pasal 18.7.6.2 SNI 2847-2019 dapat terpenuhi yaitu:

- 1) Sesuai Pasal 18.7.6.1 jika gaya geser yang disebabkan oleh gempa V_{pr} memiliki nilai sama dengan atau lebih besar setengah kali kekuatan geser perlu maksimum V_e sepanjang bentang kolom l_0 ,
- 2) Nilai dari $A_g \times f'_c / 20$ balok lebih besar dari P_u yang merupakan kuat tekan aksial terfaktor termasuk pengaruh gempa.



Gambar 2.8 Kapasitas Geser Kolom

2.4.3.4 Joint Atau Hubungan Balok-Kolom SRPMK

Daerah pada struktur bangunan dimana kolom dan balok bertemu dinamakan *joint* atau sering disebut HBK (Hubungan Balok-Kolom). HBK adalah daerah dalam struktur yang wajib diperhatikan dalam melakukan pendetailan tulangan. Menurut ketentuan yang diatur pada Pasal 18.8.3 SNI 2847-2019, persyaratan untuk tulangan transversal yang dipasang pada daerah *joint* atau HBK harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a. Sesuai penjelasan pada Pasal 18.8.3.1 SNI 2847-2019 dinyatakan bahwa tulangan transversal dengan memiliki bentuk sengkang tertutup seperti yang terpasang dalam sepanjang daerah sendi plastis kolom juga wajib terpasang pada daerah *joint* atau HBK.
- b. Sesuai penjelasan pada Pasal 18.8.3.2 SNI 2847-2019 dinyatakan bahwa jika dalam daerah *joint* terdapat balok yang merangka dalam keempat sisi kolom dengan lebar balok paling kecil $\frac{3}{4}$ dari lebar kolom yang ditumpu, maka tulangan transversal yang dipasang setidaknya berjumlah $\frac{1}{2}$ dari kebutuhan tulangan transversal pada daerah sendi plastis kolom l_0 . Tulangan transversal ini diteraokan sepanjang daerah *joint* dengan setinggi balok paling rendah yang merangka pada *joint*. Spasi tulangan transversal yang dipasang di daerah *joint* diperbolehkan untuk diperbesar menjadi 150 mm.
- c. Sesuai penjelasan pada Pasal 18.8.3.3 SNI 2847-2019 dinyatakan bahwa dalam daerah *joint* jika terdapat balok dengan ukuran lebar yang lebih besar dibandingkan lebar kolom, maka tulangan transversal sesuai yang terpasang dalam daerah sendi plastis kolom wajib diterapkan juga sebagai fungsi untuk memberi kekangan kepada tulangan lentur balok yang berlokasi di luar pusat kolom.
- d. Sesuai penjelasan pada ketentuan Pasal 18.8.4.2 SNI 2847-2019 dinyatakan bahwa balok yang merangka pada suatu *joint* mampu memberikan kekangan apabila paling tidak 75% bidang muka dari penampang *joint* tertutupi oleh balok yang merangka terhadap *joint* tersebut.

2.5 Desain Struktur Pelat

Salah satu elemen konstruksi bangunan gedung yang memiliki fungsi untuk tempat pijakan disebut pelat. Perhitungan rancangan pelat harus diperhatikan dengan baik sesuai standar acuan SNI agar defleksi yang timbul pada pelat tidak melebihi batasan nilai defleksi izin pelat ketika pembebanan terjadi. Dalam melakukan perancangan pelat dilakukan identifikasi jenis pelat terlebih dahulu untuk menentukan pembebanan dan metode untuk merancang pelat. Jenis pelat dibagi menjadi 2 yaitu :

a. Pelat Satu Arah atau *One Way Slab*

Berdasarkan ketentuan yang diatur sesuai Pasal 7.3.1.1 SNI 2847-2019 maka ukuran h minimum untuk pelat satu arah tidak diizinkan bernilai kurang dari batasan minimum yang ditunjukkan dalam Tabel 7.3.1.1 SNI 2847-2019. Angka pada tabel tersebut hanya diberlakukan bagi beton yang memiliki berat normal dan mutu baja f_y kurang dari atau sama dengan 420 MPa.

b. Pelat Dua Arah atau *Two way slab*

Berdasarkan ketentuan yang diatur sesuai dengan Pasal 8.3.1.2 SNI 2847-2019 maka penerapan pada pelat dua arah dimana pada keempat sisinya ditumpu oleh balok harus memenuhi ketentuan tebal pelat minimum h seperti berikut :

1. Jika diperoleh nilai $\alpha_m \leq 0,2$ maka penentuan tebal h minimum pelat harus sesuai Pasal 8.3.1.1 SNI 2847-2019,
2. Jika diperoleh nilai $0,2 < \alpha_m < 2$ maka penentuan tebal h minimum harus melebihi nilai h terbesar dari berikut ini,

$$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1500})}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)} \quad (2.29)$$

Nilai dimensi h tidak diperbolehkan lebih kecil dari 125 mm

3. Apabila diperoleh nilai $\alpha_m > 2,0$ maka penentuan ketebalan h minimum harus melebihi nilai h terbesar dari berikut ini,

$$h = \frac{pn(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} \quad (2.30)$$

Nilai h tidak diperbolehkan lebih kecil dari 90 mm

2.6 Pembebanan

Salah satu aspek penting yang harus diperhatikan dalam proses perhitungan rancangan struktur adalah pembebanan struktur. Definisi dari pembebanan adalah proses dimana sumber beban memberikan reaksi berupa gaya vertikal maupun horizontal kepada *object* yang dibebani. Beban yang dimasukkan sebagai pembebanan rencana untuk struktur Gedung meliputi beban mati (*dead load*), beban gempa atau beban lateral dan beban hidup (*live load*). Kesalahan dalam perhitungan pembebanan bisa berakibat pada hasil rancangan yang tidak sesuai

beban rencana yang semestinya atau lebih buruknya bisa terjadi kegagalan karena beban yang terjadi lebih besar daripada beban rencana.

2.6.1 Beban Mati (Dead Load)

Menurut ketentuan yang diatur pada Pasal 3.1 SNI 1727-2020, penjelasan dari beban mati merupakan berat keseluruhan bagian struktur bangunan yang permanen, meliputi dinding finishing, langit-langit, lantai, tangga dan struktur tambahan lain yang bersifat tetap. Beban mati dalam perhitungan struktur mempunyai faktor pengali sebesar 1.

2.6.2 Beban Hidup (Live Load)

Menurut ketentuan yang diatur pada Pasal 4.1 SNI 1727-2020, penjelasan dari beban hidup yaitu seluruh beban yang ditimbulkan dari aktivitas penghuni bangunan dan faktor lainnya yang merupakan beban konstruksi yang tidak bersifat permanen. Nilai untuk besaran beban hidup tiap lantai bangunan disesuaikan menurut fungsi atau kegunaan dari lantai tersebut. Faktor pengali untuk beban hidup dalam perhitungan struktur sebesar 0. Sesuai ketentuan persyaratan, beban hidup dapat direduksi sesuai dengan fungsi dari bangunan yang dirancang.

2.6.3 Beban Gempa

Berdasarkan Pasal 1.0.4 PPIUG tahun 1983, seluruh gaya statik ekuivalen yang berpengaruh pada struktur gedung atau bagian gedung dimana pengaruhnya mirip dengan gerakan tanah akibat gaya lateral yang terjadi merupakan definisi dari beban gempa. Besar kecilnya gaya gempa tergantung dari titik koordinat atau lokasi dari gedung atau bangunan yang dirancang. Titik koordinat atau lokasi dari bangunan yang dirancang akan menentukan nilai-nilai parameter untuk perhitungan beban gempa terhadap bangunan gedung yang dirancang.

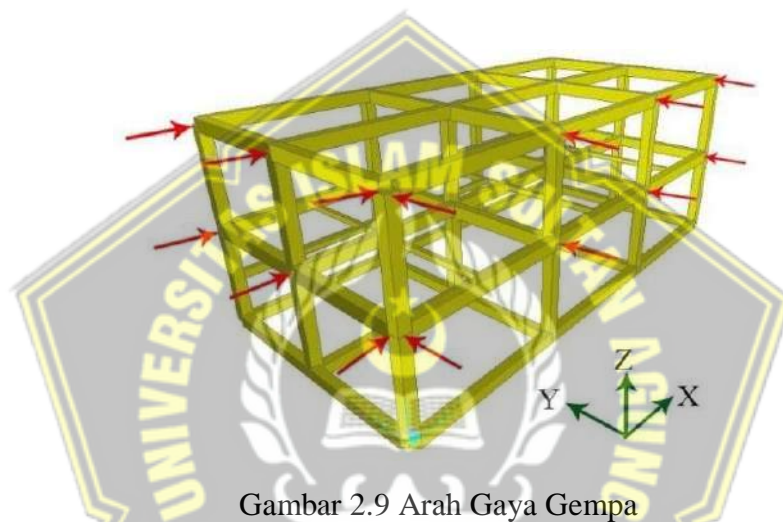
Dari beberapa metode analisa gaya gempa yang dapat digunakan sesuai persyaratan, metode analisa respons spektrum digunakan untuk menghitung beban gempa dalam melakukan perancangan struktur bangunan gedung.

a. Kriteria arah pembebanan

- Sesuai pada Pasal 7.5.2 SNI 1726-2019, penerapan arah gaya gempa terjadi

dalam dua arah orthogonal X dan Y pada Kategori Desain Seismik B,

- Menurut ketentuan pada Pasal 7.5.3.a SNI 1726-2019, penerapan arah gaya gempa terjadi sebesar 100% untuk gaya pada satu arah ditambahkan sebesar 30% untuk gaya pada arah tegak lurus yang diaplikasikan untuk Kategori Desain Seismik C,
- Menurut penjelasan pada Pasal 7.5.4 SNI 1726-2019, penerapan arah gaya gempa dengan kondisi paling kritis yang disebabkan dari penerapan gaya seismik pada semua arah yang nilainya sama dengan atau melebihi 20% dari kuat desain kolom aksial.



2.7 Kriteria Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur secara tiga dimensi harus memperhatikan kriteria menurut ketentuan persyaratan yang telah diatur dalam standar peraturan rujukan. Kriteria pemodelan fondasi untuk struktur bangunan gedung mengacu sesuai Pasal 7.7.1 SNI 1726-2019 yang mana dijelaskan jika diperhitungkan fleksibilitas untuk pondasi, maka pemodelan fondasi harus diasumsikan sebagai tumpuan sendi dan harus memperhatikan ketentuan sesuai Pasal 7.13.3 SNI 1726-2019. Diafragma pada tiap lantainya juga harus didefinisikan sesuai ketentuan dalam melakukan pemodelan struktur bangunan gedung.

Menurut ketentuan yang dijelaskan pada Pasal 7.7.2 SNI 1726-2019, berat seismik struktur efektif harus memperhitungkan seluruh beban mati dan beban lainnya termasuk beban mati tambahan dan beban hidup yang berperan dalam pembebanan bangunan yang dirancang sesuai pasal ini. Prosedur analisis yang

diperbolehkan berdasarkan Kategori Desain Seismik ditampilkan dalam Tabel 16 SNI 1726-2019.

2.8 Aplikasi Bantu Analisa Pemodelan Struktur

Pemodelan tiga dimensi dan hitungan gaya dalam yang bekerja pada elemen struktur bangunan yang dirancang memanfaatkan bantuan dari aplikasi program analisis struktur agar didapatkan hasil *output* gaya dan pemodelan yang efisien serta akurat sesuai peraturan perancangan yang dirujuk. Aplikasi bantu analisa pemodelan struktur dapat menggunakan SAP 2000 untuk pemodelan struktur dan perhitungan gaya-gaya dalam yang dihasilkan. Aplikasi bantu perancangan kolom dapat menggunakan spColumn untuk merancang tulangan dan kapasitas gaya dalam yang dapat disediakan oleh kolom. Sedangkan aplikasi bantu untuk mempercepat proses perhitungan penulangan pada struktur dapat menggunakan Microsoft Excel. Penjelasan secara umum mengenai aplikasi bantu SAP 2000 dan spColumn sebagai berikut :

- a. Definisi dari aplikasi SAP 2000 adalah aplikasi perangkat lunak untuk membantu proses perancangan analisa struktur yang diciptakan oleh perusahaan asal Amerika Serikat yaitu CSI (*Computers and Structures, Inc.*) pada tahun 1975. Aplikasi SAP 2000 mempunyai fungsi untuk menganalisa semua jenis rancangan struktur secara umum. Aplikasi SAP 2000 terkenal karena memiliki tampilan serta fitur yang ringkas sehingga mudah dipahami oleh pengguna dalam menjalankan aplikasi tersebut. Aplikasi SAP 2000 memiliki beberapa kelebihan dibandingkan aplikasi lain yang memiliki fungsi serupa. Berikut di bawah ini adalah beberapa kelebihan dari aplikasi SAP 2000 yaitu :
 - Aplikasi SAP 2000 memberikan tampilan pengguna atau *user interface* (UI) yang mudah dipahami oleh pemula dalam menggunakan aplikasi ini,
 - Aplikasi SAP 2000 menyediakan *build-up library* tentang standar beton, standar baja dan material komposit dengan berdasarkan standar USA dan standar internasional yang berkaitan dengan perancangan struktur,
 - Pengguna aplikasi SAP 2000 dapat merapkan fitur-fitur canggih yang telah disediakan. Hal ini menjadikan SAP 2000 dapat dimanfaatkan untuk merancang semua jenis analisa struktur.

- Komponen struktural pada SAP 2000 membentuk sambungan pada persimpangan objek maupun sambungan internal saat proses penyambungan objek structural.
 - Aplikasi SAP 2000 menyediakan fitur ekspor impor yang mendukung ke berbagai *software* lain seperti Autocad, Autodesk, Revit, Tekla, Briscad, Frameworks plus, STAAD dan STRUDL.
- b. Definisi dari Aplikasi spColumn adalah aplikasi perangkat lunak untuk membantu proses perancangan dan analisa kolom dengan bahan beton bertulang. Aplikasi spColumn digunakan untuk merancang dan menganalisis struktur kolom beton bertulang. Aplikasi spColumn terkenal karena memiliki tampilan serta fitur yang ringkas sehingga mudah dipahami oleh pengguna dalam menjalankan aplikasi tersebut. Kolom yang dapat dirancang menggunakan aplikasi spColumn dapat berupa kolom penampang bulat, kolom penampang persegi dan kolom penampang persegi panjang. Berikut adalah tata cara perancangan kolom menggunakan aplikasi spColumn yaitu :
- Buka aplikasi spColumn yang sudah terinstall,
 - Klik *tab general information*, kemudian untuk *units* pilih opsi *metric* , untuk *run option* pilih opsi *investigation* dan *run axis* pilih opsi *biaxial*, jika sudah semua di klik OK.
 - Kemudian klik *tab material properties* isikan nilai-nilai seperti kuat tekan beton (f_c) dan kuat tarik baja tulangan (f_y) sesuai data kolom yang dirancang,
 - Selanjutnya pilih penampang kolom yang dirancang (kolom berbentuk persegi sama sisi, kolom berbentuk persegi panjang dengan ukuran sisi yang berbeda dan kolom berbentuk lingkaran) dan masukkan besaran nilai dari ukuran penampang kolom yang dirancang,
 - Selanjutnya pilih model penulangan yang digunakan sesuai dengan bentuk penampang kolom yang sudah dipilih dan *input* jumlah batang tulangan memanjang, ukuran diameter tulangan yang digunakan dan tebal selimut beton sesuai ketentuan standar yang dirujuk,

- Setelah penampang kolom dimodelkan, kemudian dilakukan input pembebanan sesuai beban yang dihasilkan dari aplikasi SAP 2000,
 - Lakukan *run analyze* pada model kolom dan lakukan pengecekan untuk diagram reaksi antara momen nominal kolom tereduksi dan pembebanan yang dimasukkan serta gaya-gaya yang dihasilkan atau dapat dengan melihat tabel hasil analisis aplikasi spColumn,
 - Jika hasil analisis dinyatakan tidak aman atau terdapat beban yang melebihi kapasitas gaya momen dan aksial yang dapat ditahan oleh kolom maka lakukan ulang langkah-langkah diatas dengan mengganti jumlah tulangan yang dirancang, memperbesar ukuran diameter tulangan yang dirancang atau memperbesar ukuran penampang kolom yang dirancang.
- c. Definisi dari program perangkat lunak Microsoft Excel yaitu program perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan proses memasukkan data berwujud tulisan atau teks, angka dan fungsi lain yang lebih lengkap. Aplikasi Microsoft Excel dapat membantu penggunaanya untuk menganalisis, menghitung dan juga mempresentasikan data. Dalam proses perancangan ulang struktur atas bangunan gedung, aplikasi Microsoft Excel digunakan untuk mempercepat proses perhitungan tulangan struktur. Pemanfaatan dalam perhitungan tulangan elemen struktur yaitu dengan membuat formulasi sesuai persamaan yang terdapat dalam standar peraturan yang dirujuk. Formulasi yang telah dibuat dalam Microsoft Excel akan menghubungkan kepada variabel-variabel yang diinputkan sesuai persamaan yang sesuai. Kelebihan aplikasi Microsoft Excel berguna untuk mempercepat proses perhitungan tulangan struktur, efisiensi waktu pekerjaan perhitungan, ringkas dan dapat digunakan pada elemen struktur lainnya dengan ketentuan perhitungan yang sama. Aplikasi Microsoft Excel memiliki beberapa kelebihan ketika digunakan dalam proses perhitungan rancangan struktur. Berikut di bawah ini adalah beberapa kelebihan dari aplikasi Microsoft Excel yaitu :
- Rumus pada Microsoft Excel mudah untuk dioperasikan dan diterapkan sehingga untuk pemula dalam belajar mudah untuk cepat memahami Microsoft Excel,

- Mudah dalam melakukan pembuatan dan pengolahan grafik dimana tersedia banyak jenis bentuk grafik yang bisa dibuat sesuai dengan kebutuhan pengguna,
- Tersedia berbagai macam pilihan bentuk grafik, *object* dan gambar,
- Terdapat banyak *template* yang bisa langsung digunakan tanpa perlu mengunduh dimana hal ini dapat mempercepat proses pekerjaan dalam menggunakan Microsoft Excel,
- Mudah dalam pengaturan format mulai dari tanggal, waktu, satuan dan lainnya.



BAB III

METODE PERANCANGAN

3.1 Pengumpulan Data

Perancangan ulang ini membutuhkan data yang diperoleh dari Proyek Pembangunan *Head Office Awanngroup* Semarang yang memiliki ketinggian gedung 5 lantai dan berlokasi di Kota Semarang. Data primer serta data sekunder yang didapatkan dari pengumpulan data dan informasi tentang gedung nantinya akan dijadikan sebagai dasar dalam analisa dan perancangan struktur bangunan.

Data yang diperlukan yaitu :

1. Gambar struktur bangunan gedung
2. Data seismik wilayah Kota Semarang

3.2 Analisis dan Perancangan

Tahapan dari analisis dan perancangan struktur dilaksanakan sebagai berikut :

1. *Modelling* struktur bangunan gedung

Modelling atau Pemodelan tiga dimensi struktur atas gedung dibuat dengan bantuan program aplikasi SAP 2000 v22 yang mengacu berdasarkan gambar struktur bangunan yang direncanakan. Aplikasi SAP 2000 v22 berfungsi untuk membantu analisa yang menghasilkan gaya internal dan eksternal akibat dari pembebanan yang terjadi.

2. Perhitungan pembebanan struktur

beban mati dan beban hidup diartikan sebagai beban yang terjadi pada elemen struktur bangunan. Beban minimum untuk perencanaan gedung dan struktur lain yang dibahas dalam SNI 1727-2020 mengatur tentang beban mati dan beban hidup. Beban mati dalam aplikasi SAP 2000 v22 dinotasikan sebagai *dead load* dan dalam perhitungan software untuk nilai *dead load* adalah 1. Sedangkan beban hidup memiliki notasi *live load* dalam perhitungan aplikasi yang mempunyai nilai 0.

3. Perancangan respons spektrum

Perancangan respons spektrum dilakukan dengan menggunakan aplikasi atau website yang disediakan oleh kementerian PUPR untuk diperoleh kelas situs tanah sesuai dengan wilayah yang sedang direncanakan.

4. Perancangan beban gempa statis

Beban gempa statik harus diterapkan pada tiap lantai tingkat bangunan gedung dalam Sumbu X dan Sumbu Y. Distribusi gaya lateral yang digunakan untuk perancangan beban gempa statik membutuhkan hal berikut ini :

- a. Hasil hitungan waktu getar alami pada struktur
- b. Berat massa efektif struktur

5. Analisa elemen struktur atas gedung

Pelat, balok dan kolom merupakan Elemen struktur atas gedung. Hasil analisa struktur dengan bantuan program aplikasi SAP 2000 v22 diperoleh nilai gaya-gaya dalam, kemudian nilai gaya dalam tersebut bisa digunakan untuk menentukan desain penulangan yang bertujuan dapat menahan gaya-gaya dalam yang ditimbulkan oleh pembebanan.

6. Pemodelan dan perancangan elemen struktur atas

1. Struktur Atas

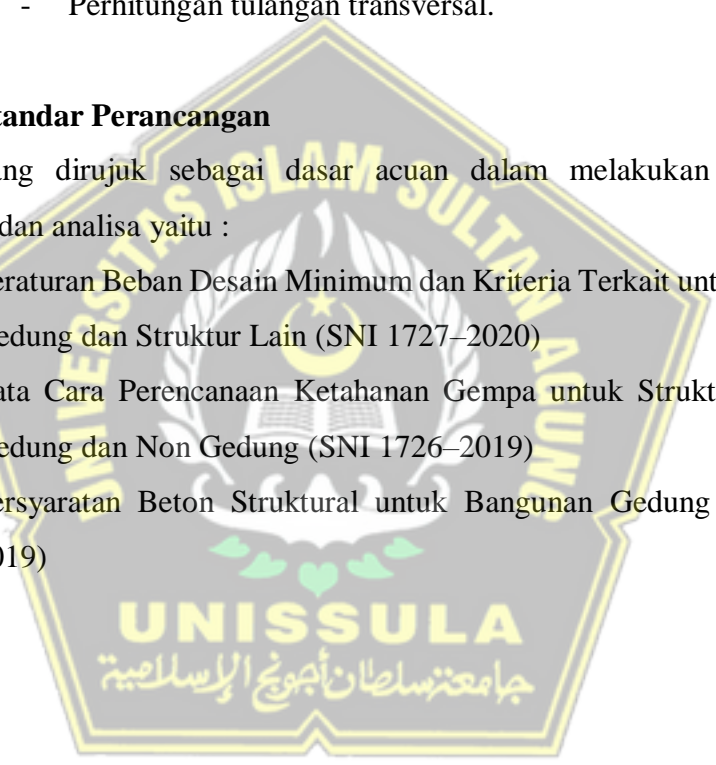
- Perancangan pelat
 - Menghitung nilai M_{tx} , M_{ty} , M_{lx} dan M_{ly}
 - Pembebanan pelat lantai sesuai dengan pedoman SNI dan fungsi ruangan bangunan
 - Perancangan tulangan pada pelat
- Perancangan balok
 - *Preliminary Design* balok
 - Pemodelan pada aplikasi SAP 2000 v22
 - Pengumpulan data gaya dalam (momen, geser dan torsi)
 - Pengecekan syarat lentur sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK)
 - Perancangan tulangan lentur, torsi dan transversal
- Perancangan kolom

- Pengumpulan data gaya lateral dan aksial dari aplikasi SAP 2000 v22
- *Preliminary Design* kolom
- Merancang tulangan longitudinal pada kolom
- Pengecekan syarat SCWB (*Strong Column-Weak Beam*)
- Perhitungan tulangan transversal
- Perhitungan gaya geser pada kolom
- Perancangan hubungan pada balok kolom (*Joint*)
 - Perhitungan gaya geser pada *joint*
 - Perhitungan tulangan transversal.

3.3 Acuan Standar Perancangan

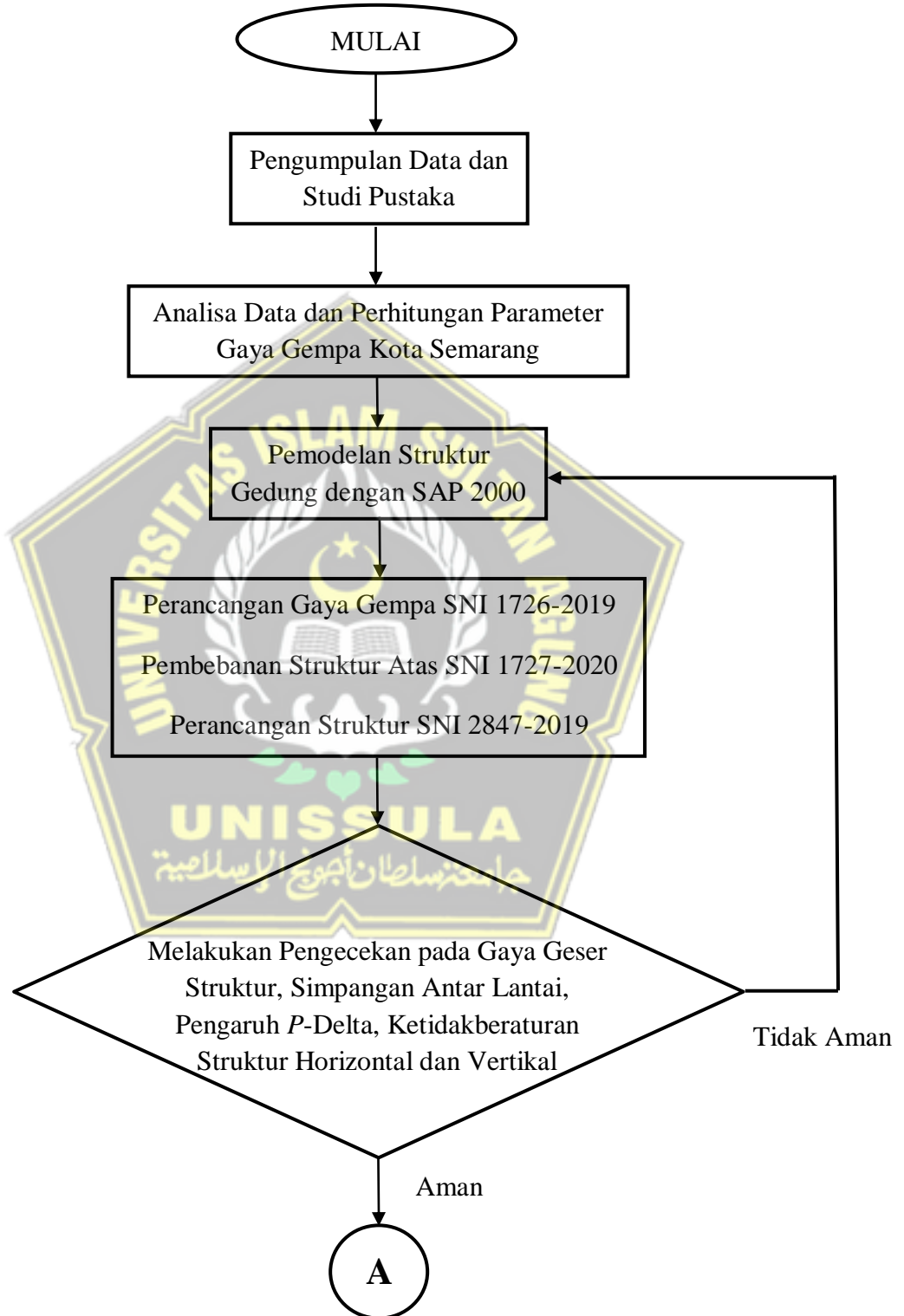
Peraturan yang dirujuk sebagai dasar acuan dalam melakukan perhitungan pembebanan dan analisa yaitu :

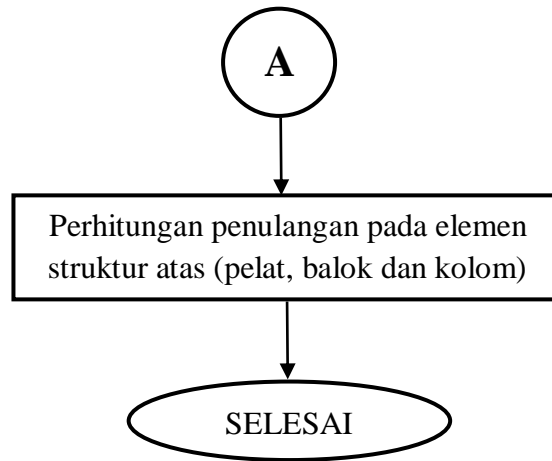
1. Peraturan Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727–2020)
2. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726–2019)
3. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847–2019)



3.4 Diagram Alur Perancangan

Berikut merupakan langkah-langkah perancangan ulang Gedung *Head Office Awanngroup Semarang* :





Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Ulang

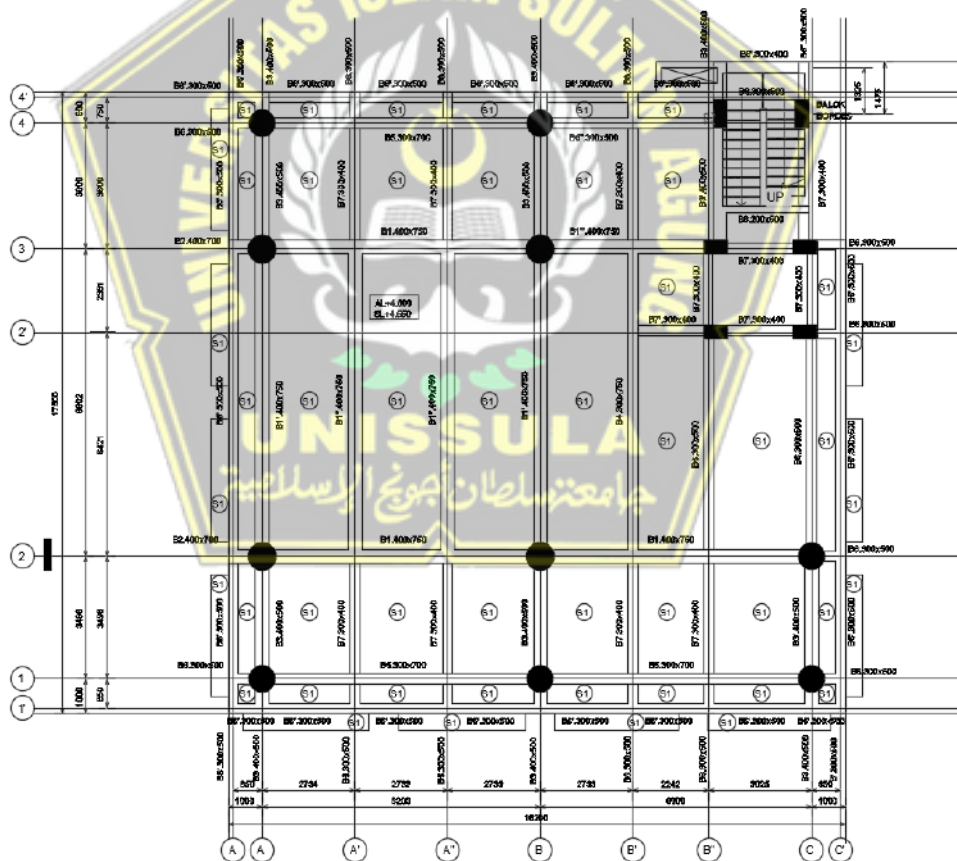


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

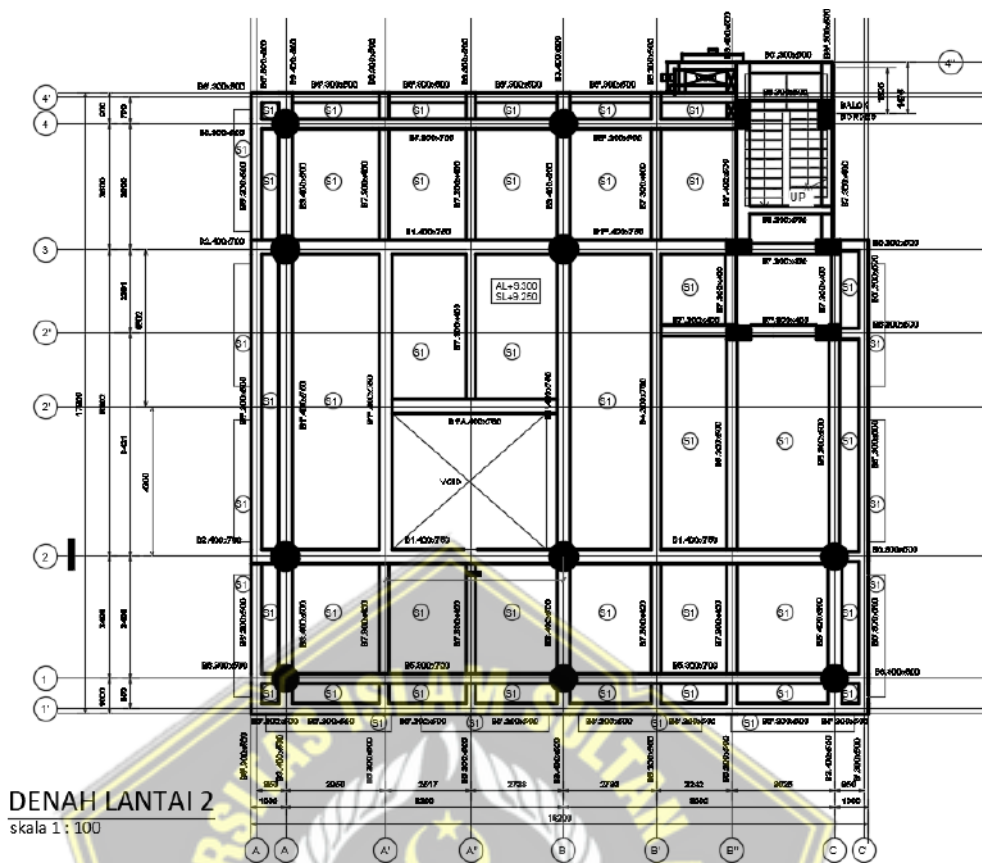
4.1. Deskripsi Umum Bangunan

Gedung *Head Office Awanngroup* Semarang merupakan bangunan perkantoran 5 lantai yang memiliki ketinggian 26,25 m. Bahan yang digunakan untuk merancang Bangunan Gedung ini adalah beton bertulang berbentuk persegi panjang. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus digunakan pada Gedung *Head Office Awanngroup* Semarang 5 Lantai. Berikut adalah gambar denah struktur dari Gedung *Head Office Awanngroup* Semarang.



DENAH LANTAI 1
skala 1 : 100

Gambar 4.1 Denah Struktur Atas Gedung *Head Office Awanngroup* Semarang



Gambar 4.1 Denah Struktur Atas Gedung *Head Office Awanggroup Semarang* (lanjutan)

4.2. Standar Rujukan

Standar rujukan peraturan yang digunakan adalah :

- Peraturan Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Bangunan Lain (SNI 1727–2020)
- Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726–2019).
- Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847–2019)

4.3. Pemodelan Struktur

Gedung *Head Office Awanggroup Semarang* 5 Lantai ini dimodelkan secara tiga dimensi menggunakan aplikasi SAP 2000 V22 berdasarkan gambar denah struktur bangunan.

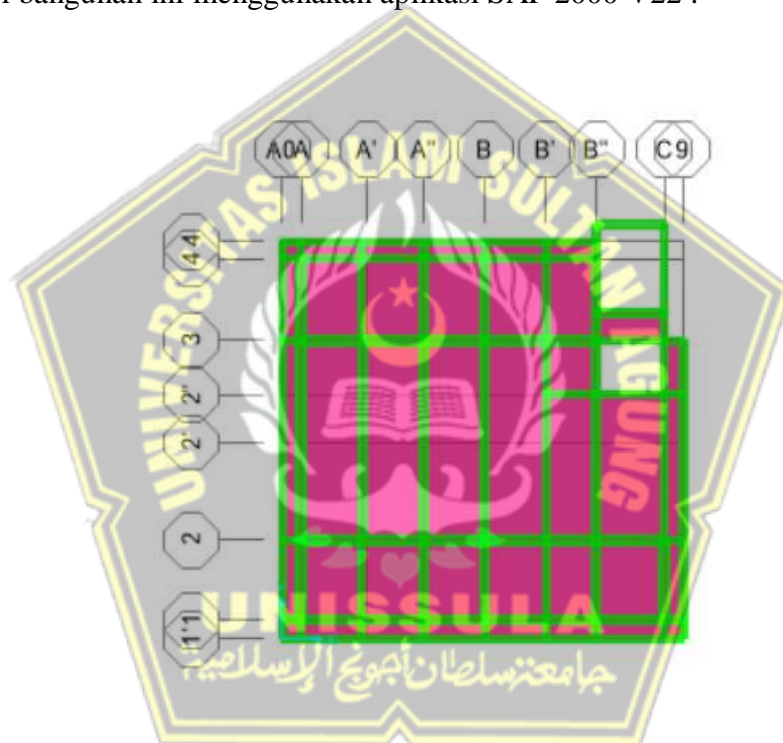
4.3.1. Informasi Umum Bangunan

Informasi umum gedung yang dirancang ulang pada Tugas Akhir ini yaitu :

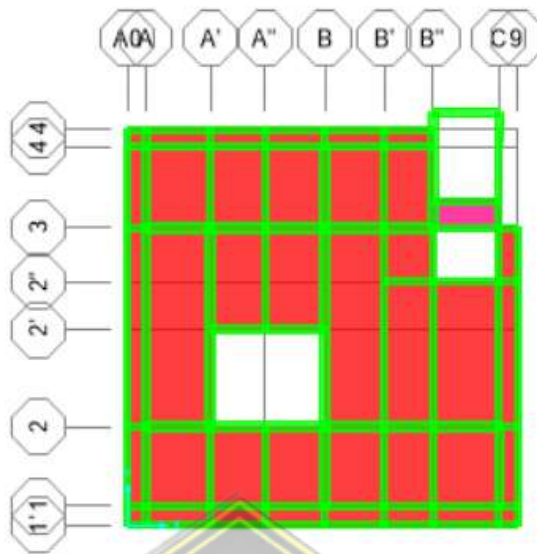
1. Lokasi Gedung : Jl. Pemuda No 112, Semarang Tengah, Semarang
2. Kegunaan Bangunan : Gedung Perkantoran
3. Total Lantai : 5 Lantai
4. Klasifikasi Tanah : Tanah Sedang

4.3.2. Pemodelan Struktur SAP 2000

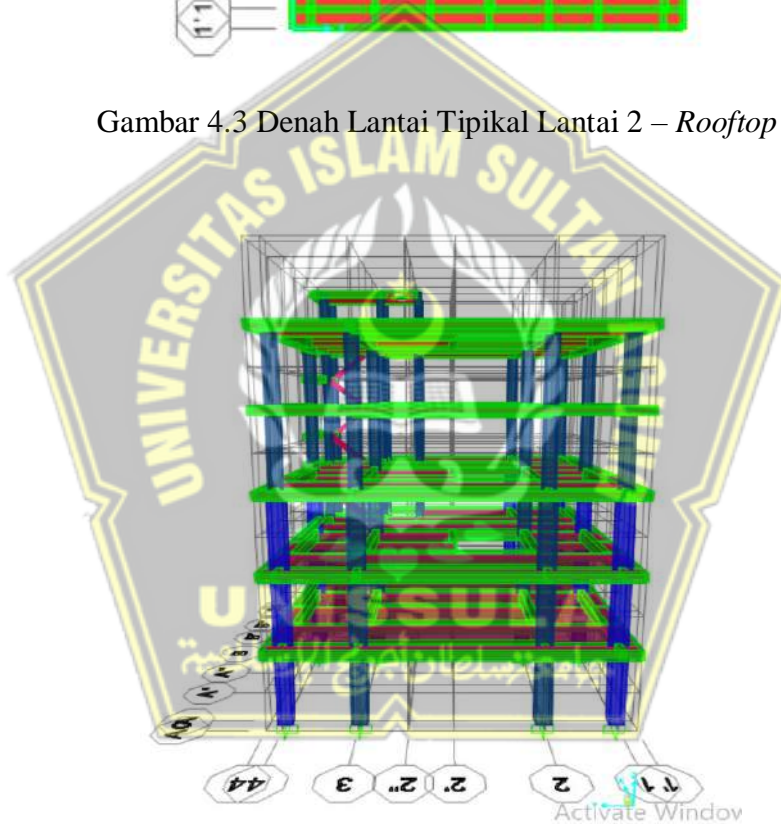
Di bawah ini merupakan gambar denah, gambar tampak dan bentuk pemodelan 3 dimensi bangunan ini menggunakan aplikasi SAP 2000 V22 :



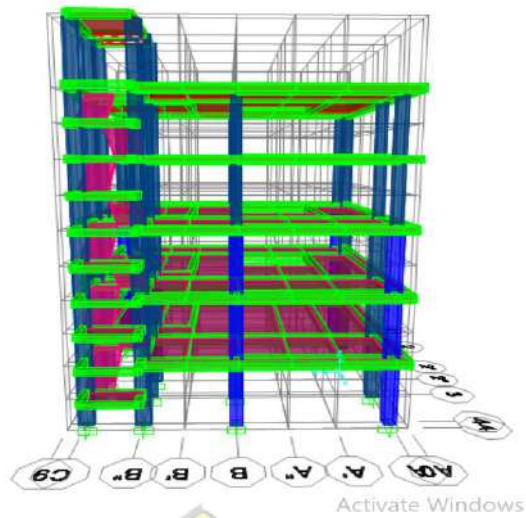
Gambar 4.2 Denah Pemodelan Lantai 1



Gambar 4.3 Denah Lantai Tipikal Lantai 2 – Rooftop



Gambar 4.4 Tampak Depan Permodelan 3D untuk Struktur Atas



Gambar 4.5 Tampak Belakang Permodelan 3D untuk Struktur Atas

4.3.3. Konfigurasi Bangunan

Konfigurasi bangunan Gedung *Head Office Awanngroup* Semarang 5 Lantai berupa geometri tinggi bangunan serta spesifikasi bahan material yang digunakan yaitu:

Tabel 4.1 Konfigurasi Tinggi Bangunan

| No | Lantai | Tinggi Bangunan (m) |
|----|-------------|---------------------|
| 1 | Lantai 1 | 4,6 |
| 2 | Lantai 2 | 9 |
| 3 | Lantai 3 | 13,4 |
| 4 | Lantai 5 | 17,8 |
| 5 | Lantai Atap | 22,1 |
| 6 | Atap | 26,25 |

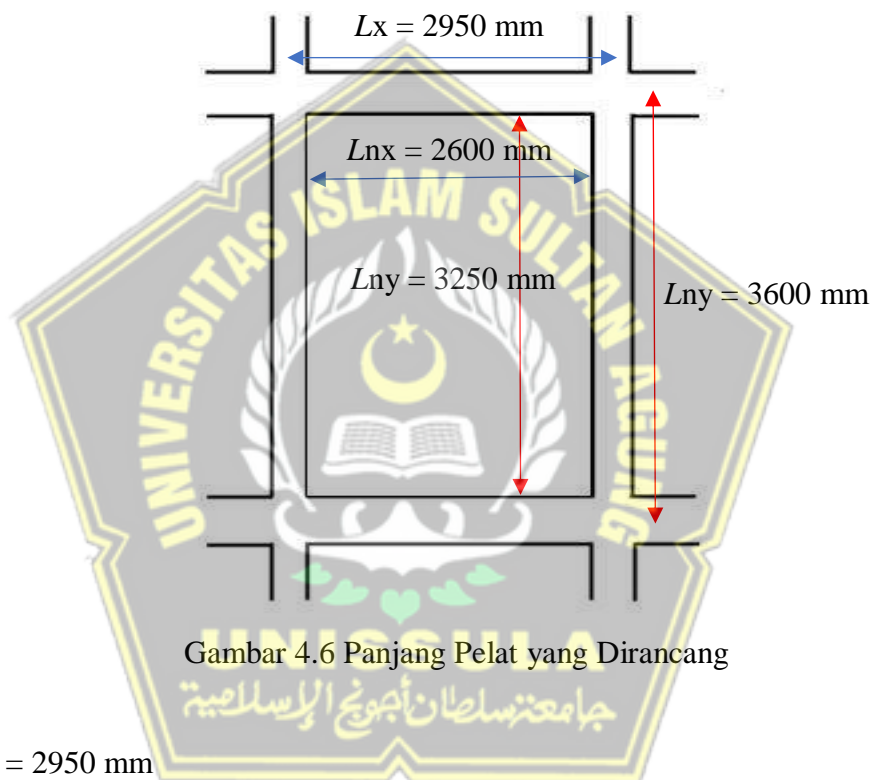
Tabel 4.2 Spesifikasi Bahan Material

| Bahan | Mutu | Satuan |
|---------------------|------|--------|
| Beton | 29 | MPa |
| Baja Tulangan Pokok | 320 | MPa |

4.3.4. Pra Dimensi Elemen Struktur

Dimensi dari elemen struktur diperlukan untuk menghitung kekuatan struktur sebelum melakukan Analisis Struktur. Penentuan dimensi awal diperlukan sebagai pendekatan sederhana sebelum melakukan perhitungan Analisis struktur lebih lanjut. Untuk memastikan bahwa elemen struktur yang digunakan sudah optimal atau tidak setelah analisis dikerjakan maka pengecekan kembali untuk dimensi awal diperlukan.

a. Pelat Lantai



Gambar 4.6 Panjang Pelat yang Dirancang

$$L_x = 2950 \text{ mm}$$

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

$$L_{nx} = 2600 \text{ mm}$$

$$L_{ny} = 3250 \text{ mm}$$

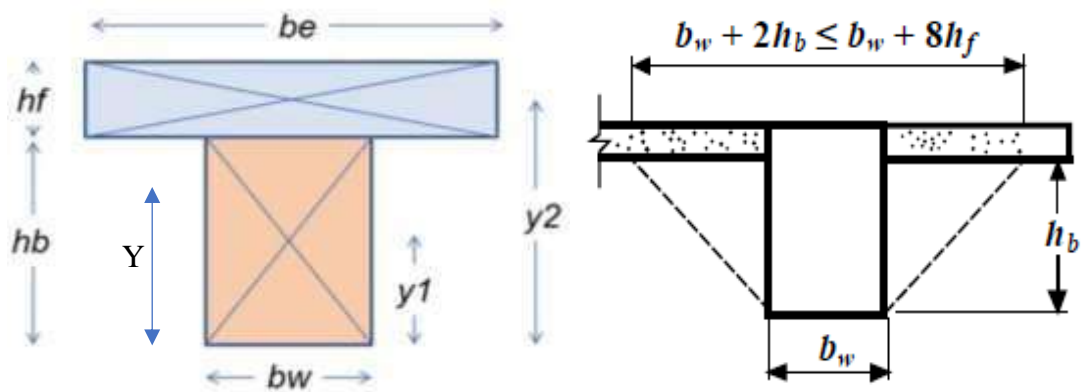
$$B = L_y/L_x$$

$$= 3600/2950$$

$$= 1,25 < 2 \text{ (termasuk pelat dua arah) asumsi } (h_f) 120 \text{ mm}$$

$$- E_c \text{ Beton} = 4700\sqrt{f'_c}$$

$$= 4700\sqrt{29,05} = 25332,08 \text{ MPa}$$



Gambar 4.7 Perancangan Inersia Balok dan Pelat

- Momen Inersia Balok 400x750

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

$$h_t = 750 \text{ mm}$$

$$h_f = 120 \text{ mm (asumsi awal tebal pelat)}$$

$$h_b = 750 - 120$$

$$= 630 \text{ mm}$$

$$b_{e1} = b_w + (2 \times h_b)$$

$$= 400 + (2 \times 630)$$

$$= 1660 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = b_w + 8h_f$$

$$= 400 + (8 \times 120)$$

$$= 1360 \text{ mm}$$

$$y_1 = h_b / 2$$

$$= 630 / 2$$

$$= 315 \text{ mm}$$

$$y_2 = h_b + (h_f / 2)$$

$$= 630 + (120 / 2)$$

$$= 690 \text{ mm}$$

$$y = \frac{A_1 \times Y_1 + A_2 \times Y_2}{A_1 + A_2}$$

$$= \frac{(h_b \times b_w) \times Y_1 + (h_f \times b_e) \times Y_2}{(h_b \times b_w) + (h_f \times b_e)}$$

$$= \frac{(630 \times 400) \times 315 + (120 \times 1360) \times 690}{(630 \times 400) + (120 \times 1360)}$$

$$= 462,399 \text{ mm}$$

$$I_b = (1/12 \times b_w \times h_b^3) + (A_1 \times (y - y_1)^2) + (1/12 \times b_e \times h_f^3) + (A_2 \times (y_2 - y)^2)$$

$$= 22459930751 \text{ mm}^4$$

- Momen Inersia Balok 400x500

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

$$h_t = 500 \text{ mm}$$

$$h_f = 120 \text{ mm (asumsi awal tebal pelat)}$$

$$h_b = 500 - 120$$

$$= 380 \text{ mm}$$

$$b_{e1} = b_w + (2 \times h_b)$$

$$= 400 + (2 \times 380)$$

$$= 1160 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = b_w + 8h_f$$

$$= 400 + (8 \times 120)$$

$$= 1360 \text{ mm}$$

$$y_1 = h_b / 2$$

$$= 380 / 2$$

$$= 190 \text{ mm}$$

$$y_2 = h_b + (h_f / 2)$$

$$= 380 + (120 / 2)$$

$$= 440 \text{ mm}$$

$$y = \frac{A_1 \times Y_1 + A_2 \times Y_2}{A_1 + A_2}$$

$$= \frac{(h_b \times b_w) \times Y_1 + (h_f \times b_e) \times Y_2}{(h_b \times b_w) + (h_f \times b_e)}$$

$$= \frac{(380 \times 400) \times 190 + (120 \times 1360) \times 440}{(380 \times 400) + (120 \times 1360)}$$

$$= 319,442 \text{ mm}$$

$$I_b = (1/12 \times b_w \times h_b^3) + (A_1 \times (y - y_1)^2) + (1/12 \times b_e \times h_f^3) + (A_2 \times (y_2 - y)^2)$$

$$= 6943688393 \text{ mm}^4$$

- Momen Inersia Balok 300x700

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

$$h_t = 700 \text{ mm}$$

$$h_f = 120 \text{ mm (asumsi awal tebal pelat)}$$

$$h_b = 700 - 120$$

$$= 580 \text{ mm}$$

$$b_{e1} = b_w + (2 \times h_b)$$

$$= 300 + (2 \times 580)$$

$$= 1460 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = b_w + 8h_f$$

$$= 300 + (8 \times 120)$$

$$= 1260 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 y_1 &= hb/2 & y_2 &= hb + (hf/2) \\
 &= 580/2 & &= 580 + (120/2) \\
 &= 290 \text{ mm} & &= 640 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y &= \frac{A_1 \times Y_1 + A_2 \times Y_2}{A_1 + A_2} \\
 &= \frac{(hb \times bw) \times Y_1 + (hf \times be) \times Y_2}{(hb \times bw) + (hf \times be)} \\
 &= \frac{(580 \times 300) \times 290 + (120 \times 1260) \times 640}{(580 \times 300) + (120 \times 1260)} \\
 &= 452,731 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_b &= (1/12 \times bw \times hb^3) + (A_1 \times (y-y_1)^2) + (1/12 \times be \times hf^3) + (A_2 \times (y_2-y)^2) \\
 &= 14969535203 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

- Momen Inersia Balok 300x450

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

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

$$hf = 120 \text{ mm (asumsi awal tebal pelat)}$$

$$hb = 400 - 120$$

$$= 280 \text{ mm}$$

$$be_1 = bw + (2 \times hb)$$

$$= 300 + (2 \times 280)$$

$$= 860 \text{ mm}$$

$$be_2 = bw + 8hf$$

$$= 300 + (8 \times 120)$$

$$= 1260 \text{ mm}$$

$$y_1 = hb/2$$

$$= 280/2$$

$$= 140 \text{ mm}$$

$$y_2 = hb + (hf/2)$$

$$= 280 + (120/2)$$

$$= 340 \text{ mm}$$

$$y = \frac{A_1 \times Y_1 + A_2 \times Y_2}{A_1 + A_2}$$

$$= \frac{(hb \times bw) \times Y_1 + (hf \times be) \times Y_2}{(hb \times bw) + (hf \times be)}$$

$$= \frac{(280 \times 300) \times 140 + (120 \times 1260) \times 340}{(280 \times 300) + (120 \times 1260)}$$

$$= 268,571 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 I_b &= (1/12 \times bw \times hb^3) + (A_1 \times (y-y_1)^2) + (1/12 \times be \times hf^3) + (A_2 \times (y_2-y)^2) \\
 &= 2890240000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

- Momen Inersia Pelat Lantai 120 mm

Bentang sumbu panjang

$$\begin{aligned} I_s &= 1/12 \times L_y \times hf^3 \\ &= 1/12 \times 3600 \times 120^3 \\ &= 518400000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Bentang sumbu Pendek

$$\begin{aligned} I_s &= 1/12 \times L_x \times hf^3 \\ &= 1/12 \times 2950 \times 120^3 \\ &= 424800000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Pemeriksaan sesuai Pasal 8.10.2.7b SNI 2847-2019 untuk ketebalan Pelat.

Bentang Sumbu Panjang (L_y) Balok 400x500 dan Balok 300x700.

$$\begin{aligned} af1 &= \frac{E_c \text{ balok} \times I \text{ balok}}{E_c \text{ pelat} \times I \text{ pelat}} & af2 &= \frac{E_c \text{ balok} \times I \text{ balok}}{E_c \text{ pelat} \times I \text{ pelat}} \\ &= \frac{25332,08 \times 6943688393}{25332,08 \times 518400000} & &= \frac{25332,08 \times 2890240000}{25332,08 \times 518400000} \\ &= 0,309 & &= 28,876 \end{aligned}$$

Bentang Sumbu Pendek (L_x) Balok 400x750 dan Balok 300x400

$$\begin{aligned} af3 &= \frac{E_c \text{ balok} \times I \text{ balok}}{E_c \text{ pelat} \times I \text{ pelat}} & af4 &= \frac{E_c \text{ balok} \times I \text{ balok}}{E_c \text{ pelat} \times I \text{ pelat}} \\ &= \frac{25332,08 \times 22459930751}{25332,08 \times 424800000} & &= \frac{25332,08 \times 2890240000}{25332,08 \times 424800000} \\ &= 52,872 & &= 6,804 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} afm &= (af1 + af2 + af3 + af4) / 4 \\ &= (0,309 + 28,876 + 52,872 + 6,804) / 4 \\ &= 22,215 \end{aligned}$$

Karena $afm \geq 2$ maka rumus perhitungan tebal pelat minimum yang dipakai harus mengacu sesuai pada SNI 2847-2019 Tabel 8.3.1.2 yaitu :

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{L_{ny}}{L_{nx}} \\ &= \frac{3250}{2600} \\ &= 1,25 \end{aligned}$$

$$H_{min} = \frac{L_n \times (0,8 + (\frac{f_y}{1400}))}{36 + 9\beta}$$

$$= \frac{3250(0,8 + (\frac{320}{1400}))}{36 + 9(1,25)}$$

$$= 70,748 \text{ mm}$$

Tebal asumsi awal pelat = 120 mm > 70,748 mm, hal ini membuktikan bahwa tebal pelat lantai rencana sudah dinyatakan aman sesuai persyaratan.

b. Balok

Elemen struktur gedung yang memiliki fungsi untuk mendistribusikan beban dari pelat menuju kolom adalah definisi dari balok. Sesuai Tabel 9.3.1.1 dalam SNI 2847-2019 membahas tentang Pra dimensi ukuran balok. Berikut adalah hitungan untuk pra dimensi Balok B1 yaitu :

$$- H_{min} = \frac{L1}{16} = \frac{3500}{16} = 218,750 \text{ mm}$$

$$- B_{min} = 0,5 \times H = 109,375 \text{ mm}$$

Pra dimensi balok lain yang digunakan dalam perancangan ini ditampilkan dalam Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Hasil Pradimensi Balok

| Nama Balok | Bentang Balok (mm) | Dimensi Balok (mm) | |
|------------|--------------------|--------------------|----------|
| | <i>L</i> | <i>B</i> | <i>H</i> |
| B1 | 3500 | 300 | 400 |
| B2 | 6400 | 300 | 500 |
| B3 | 8200 | 300 | 700 |
| B4 | 8800 | 300 | 750 |
| B5 | 3500 | 400 | 500 |
| B6 | 8800 | 400 | 750 |

c. Kolom

Asumsi untuk dimensi kolom yang akan dipakai pada struktur Gedung *Head Office Awanngroup* Semarang ditampilkan sesuai Tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.4 Hasil Pradimensi Kolom

| Nama Kolom | Dimensi Kolom (mm) | |
|------------|--------------------|----------|
| | <i>B</i> | <i>H</i> |
| K1 | 750 | 750 |
| K2 | 700 | 700 |
| K3 | 550 | 550 |

Tabel 4.4 Hasil Pradimensi Kolom (lanjutan)

| Nama Kolom | Dimensi Kolom (mm) | |
|------------|--------------------|----------|
| | <i>B</i> | <i>H</i> |
| K4 | 400 | 700 |
| K5 | 400 | 800 |

4.4 Pembebanan Struktur

Berdasarkan dua peraturan yang dirujuk sesuai SNI 1727-2020 tentang Peraturan Pembebanan Struktur Gedung dan SNI 1726-2019 tentang Perencanaan Gaya Gempa pada Gedung, pembebanan yang dilakukan pada elemen struktur bangunan Gedung meliputi beban gravitasi dan beban gempa.

4.4.1 Beban Gravitasi

Sesuai gambar denah struktur maka beban gravitasi dihitung berdasarkan fungsi dari ruangan pada bangunan. SNI 1727-2020 tentang Peraturan Pembebanan Struktur Gedung merupakan dasar acuan dalam perhitungan ini. Beberapa macam beban gravitasi yang terjadi pada komponen struktur gedung yaitu :

a. Beban Mati Struktur (*Dead Load/DL*)

Beban yang ditimbulkan berasal dari beban sendiri komponen struktur pelat, balok serta kolom merupakan beban mati struktur. Material bahan beton bertulang digunakan dalam perancangan struktur bangunan gedung ini mempunyai berat jenis sebesar 2400 kg/m^3 atau $2,4 \text{ kN/m}^3$.

b. Beban Mati Tambahan (*Super Dead Load / SDL*)

Beban yang disebabkan oleh selain elemen struktur utama meliputi pelat, balok serta kolom yang sifatnya permanen dapat disebut sebagai beban mati tambahan.

1. Lantai 1-5 Tipikal

| | |
|---|-------------------------|
| Partisi | = $0,48 \text{ kN/m}^2$ |
| Keramik (60x60 cm) | = $0,17 \text{ kN/m}^2$ |
| Mortar (3 cm) x $21 \text{ kg/m}^2 = 63 \text{ kg/m}^2$ | = $0,63 \text{ kN/m}^2$ |
| Pasir $0,05 \text{ m} \times 1600 \text{ kg/m}^3 = 80 \text{ kg/m}^2$ | = $0,8 \text{ kN/m}^2$ |
| <i>Mechanical Electrical (ME)</i> | = $0,3 \text{ kN/m}^2$ |
| Plafon 9 kg/m^2 | = $0,09 \text{ kN/m}^2$ |

| | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| Rangka plafon 5 kg/m ² | = 0,05 kN/m ² |
| Total Super Dead Load (SDL) | = 2,62 kN/m² |
| Beban dinding perimeter | = 10,04 kN/m² |

2. Lantai Atap

| | |
|--|--------------------------------|
| Mortar (3 cm) x 21 kg/m ² = 63 kg/m ² | = 0,63 kN/m ² |
| Waterproof 0.02 m x 21000 kg/m ³ = 42 kg/m ² | = 0,42 kN/m ² |
| Mechanical Electrical (ME) | = 0,3 kN/m ² |
| Plafon 9kg/m ² | = 0,09 kN/m ² |
| Rangka plafon 5 kg/m ² | = 0,05 kN/m ² |
| Total Super Dead Load (SDL) | = 1,49 kN/m² |
| Beban tangka air pada atap | = 6,67 kN/m² |
| Beban parapet atap tinggi 1 meter | = 2,5 kN/m² |

c. Beban Hidup (LL)

Beban yang memiliki sifat memberi beban pada struktur secara sementara disebut beban hidup. Struktur gedung ini menggunakan beban hidup yang sesuai ketentuan SNI 1727-2020 yang telah sesuai dengan fungsi ruangan pada setiap lantai. Perhitungan beban hidup terdistribusi merata sebagai syarat analisis struktur terdiri dari sebagai berikut :

1. Lantai 1-5 Tipikal

Beban hidup lorong lantai 1 = 4,79 kN/m²

Beban hisup lorong lantai 2 = 3,83 kN/m²

Kantor = 2,4 kN/m²

2. Lantai Atap

Atap = 0,96 kN/m²

4.4.2 Kombinasi Pembebanan Struktur

Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung yang dimuat pada SNI 1726-2019 merupakan standar yang dirujuk untuk pembebanan lateral pada struktur gedung ini. Respons gempa yang direncanakan menurut kemungkinan terjadinya gaya gempa seperti penjelasan SNI 1726-2019 menggunakan periode ulang 2500 tahun ($2/3 \times S_{ms}$)

Analisis respons spektra adalah metode pembebanan lateral yang digunakan dalam perancangan struktur bangunan ini dengan data acuan dari lokasi bangunan yang terletak di Kota Semarang. Titik koordinat lokasi bangunan berfungsi untuk menentukan Data Respons Spektra yang diperoleh sesuai Peta Gempa 2022.

a. Rincian Kombinasi Pembebanan Struktur

| | |
|----------|---|
| Komb 1 | = 1,4 DL + 1,4 SDL |
| Komb 2 | = 1,2 DL + 1,2 SDL + 1,6 LL + 0,5 LR |
| Komb 3 | = 1,37 DL + 1,37 SDL + 1 LL + 1 EDx + 0,3 EDy |
| Komb 4 | = 1,37 DL + 1,37 SDL + 1 LL + 1 EDx - 0,3 EDy |
| Komb 5 | = 1,37 DL + 1,37 SDL + 1 LL - 1 EDx + 0,3 EDy |
| Komb 6 | = 1,37 DL + 1,37 SDL + 1 LL - 1 EDx - 0,3 EDy |
| Komb 7 | = 1,37 DL + 1,37 SDL + 1 LL + 1 EDy + 0,3 EDx |
| Komb 8 | = 1,37 DL + 1,37 SDL + 1 LL + 1 EDy - 0,3 EDx |
| Komb 9 | = 1,37 DL + 1,37 SDL + 1 LL - 1 EDy + 0,3 EDx |
| Komb 10 | = 1,37 DL + 1,37 SDL + 1 LL - 1 EDy - 0,3 EDx |
| Komb 11 | = 0,73 DL + 0,73 SDL + 1 LL + 1 EDx + 0,3 EDy |
| Komb 12 | = 0,73 DL + 0,73 SDL + 1 LL + 1 EDx - 0,3 EDy |
| Komb 13 | = 0,73 DL + 0,73 SDL + 1 LL - 1 EDx + 0,3 EDy |
| Komb 14 | = 0,73 DL + 0,73 SDL + 1 LL - 1 EDx - 0,3 EDy |
| Komb 15 | = 0,73 DL + 0,73 SDL + 1 LL + 1 EDy + 0,3 EDx |
| Komb 16 | = 0,73 DL + 0,73 SDL + 1 LL + 1 EDy - 0,3 EDx |
| Komb 17 | = 0,73 DL + 0,73 SDL + 1 LL - 1 EDy + 0,3 EDx |
| Komb 18 | = 0,73 DL + 0,73 SDL + 1 LL - 1 EDy - 0,3 EDx |
| Envelope | |

Keterangan :

DL = Beban mati sendiri struktur atau *Dead Load*

LL = Beban hidup atau *Live Load*

LR = Beban hidup atap atau *Live Roof*

SDL = Beban mati tambahan pada struktur

EDx = Gaya gempa Sumbu X

EDy = Gaya gempa Sumbu Y

4.5 Analisis Desain Seismik

Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung yang dimuat pada SNI 1726-2019 adalah standar acuan yang dipakai untuk melakukan perancangan pembebeanan gempa pada struktur bangunan gedung ini.

4.5.1 Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Mengacu dari persyaratan dalam Tabel 3 dan 4 SNI 1726-2019 dapat ditentukan bahwa struktur bangunan ini teridentifikasi dalam kategori risiko II dan nilai untuk faktor keutamaan gempa (I_e) sebesar 1,0 dimana penentuan tersebut sesuai dengan fungsi gedung yang merupakan gedung perkantoran.

4.5.2 Klasifikasi Situs

Kelas situs untuk Gedung *Head Office Awanngroup* Semarang diasumsikan dengan tanah sedang (*SD*). Asumsi tersebut dilakukan karena penulis tidak memperoleh data tanah yang dibutuhkan dalam menentukan Klasifikasi Situs yang diatur pada Pasal 5 SNI 1726-2019.

4.5.3 Parameter Respon Spektral Gempa Terpetakan S_s dan S_1

Nilai parameter respons spektral gempa terpetakan diambil dari aplikasi atau *website* yang sudah disediakan oleh Pekerjaan Umum dengan cara menginputkan koordinat lokasi gedung yang akan dirancangan. Aplikasi secara otomatis akan menampilkan nilai parameter respons spektral. Nilai parameter respons spektral diperlihatkan pada Tabel 4.5 berikut ini.

Tabel 4.5 Data Parameter S_s dan S_1

| Data Desain Spektral Indonesia | |
|---------------------------------------|----------|
| Wilayah | Semarang |
| Jenis Tanah | Sedang |
| S_s | 0,8373 |
| S_1 | 0,3659 |
| T_L | 6 |
| F_a | 1,1651 |
| F_v | 1,9341 |

4.5.4 Parameter Respons Spektral Gempa Tertarget S_{ms} dan S_{m1}

Penentuan besaran dari nilai parameter respons percepatan gempa tertarget disesuaikan dengan pengaruh kelas situs bangunan. Nilai respons spektral didapat dari aplikasi atau *website* Desain Spektra Indonesia 2021 yang merupakan laman resmi milik Kementerian PUPR. Nilai parameter respons spektral gempa tertarget diperlihatkan dalam Tabel 4.6 di bawah ini.

Tabel 4.6 Data Parameter S_{ms} dan S_{m1}

| Data Desain Spektral Indonesia | |
|---------------------------------------|----------|
| Wilayah | Semarang |
| Jenis Tanah | Sedang |
| S_{ms} | 0,9755 |
| S_{m1} | 0,7077 |

4.5.5 Parameter Respons Spektral Gempa Desain S_{Ds} dan S_{D1}

Untuk memperoleh Nilai parameter respons spektral gempa desain dapat menggunakan bantuan aplikasi atau *website* yang sudah disediakan dari Pekerjaan Umum dengan cara menginputkan koordinat titik lokasi bangunan Gedung yang akan direncanakan. Aplikasi secara otomatis akan menampilkan nilai parameter respon spektral. Hasil nilai parameter respons spektral diperlihatkan dalam Tabel 4.7 berikut ini.

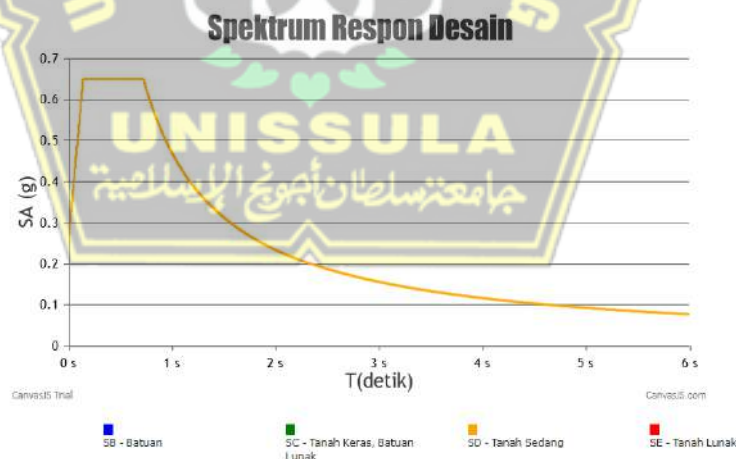
Tabel 4.7 Data Parameter S_{DS} dan S_{D1}

| Data Desain Spektral Indonesia | |
|--------------------------------|----------|
| Wilayah | Semarang |
| S_{DS} | 0,6503 |
| S_{D1} | 0,4718 |

4.5.6 Spektrum Respons Desain

Nilai periode yang diperlukan dalam pembuatan grafik Spektrum Respons Desain dapat dihitung sesuai ketentuan Pasal 6.4 SNI 1726-2019 dengan menggunakan rumus yang terdapat dalam SNI 1726-2019 terdiri dari T_0 , T_s dan periode-periode selanjutnya.

Spektrum Respons Desain juga bisa didapatkan melalui *website* resmi Kementerian PUPR secara otomatis dengan cara memasukkan koordinat lokasi dan kelas situs tanah. Nilai Spektrum Respons Desain pada *website* tersebut ditampilkan dengan bentuk kurva korelasi antara respons percepatan gempa (SA) dengan periode (T). Dalam Gambar 4.8 berikut ini ditampilkan grafik tersebut.



Gambar 4.8 Grafik Spektrum Respons Desain

4.5.7 Kategori Desain Seismik dan Sistem Pemikul Gaya Seismik

Ketentuan dalam Tabel 8 dan Tabel 9 SNI 1726-2019 digunakan sebagai dasar penentuan Kategori Desain Seismik. Karena nilai $S_{D1} = 0,4718 \geq 0,20$ dan $S_{DS} =$

$0,6503 \geq 0,50$ maka Gedung *Head Office Awanngroup* Semarang tergolong dalam Kategori Desain Seismik D.

Rancangan sistem pemikul gaya seismik pada struktur gedung ini mengaplikasikan material beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Gedung termasuk dalam Kategori Desain Seismik D merupakan dasar pemilihan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). koefisien modifikasi respon (R) = 8, faktor kuat lebih sistem (Ω) = 3 dan faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5,5 ditentukan sesuai ketentuan pada Tabel 12 SNI 1726-2019 mengenai faktor modifikasi respons dan pembesaran defleksi.

4.5.8 Perhitungan Pusat Massa Tiap Lantai

Hasil hitungan beban seismik pada struktur diperlukan dengan menentukan nilai massa pada setiap lantai dimana beban hidup yang dibebankan pada lantai dan beban mati akibat struktur digunakan dalam perhitungan beban seismik tersebut. Berdasarkan Pasal 7.7.2 SNI 1726-2019 didapatkan kombinasi pembebanan yang digunakan meliputi 100% beban mati dan 100% beban hidup.

$$W = 100\% \text{ DL} + 100\% \text{ LL} \quad (4.1)$$

Keterangan :

- W = Berat Efektif Struktur
- DL = *Dead Load* atau Beban Mati struktur pada setiap lantai
- LL = *Live Load* atau Beban Hidup pada setiap lantai

Penentuan massa dan pusat massa pada tiap lantai diperoleh dengan menghitung volume struktur beton pada tiap lantainya yang digunakan sebagai beban sendiri struktur sedangkan beban hidup yang dibebankan untuk tiap lantainya harus memenuhi ketentuan pada SNI 1727-2020. Hasil perhitungan massa tiap lantai diperlihatkan sesuai Tabel 4.8 berikut ini.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Massa dan Pusat Massa Tiap Lantai

| Lantai | Massa (Kg) | Pusat Massa X (m) | Pusat Massa Y (m) |
|-------------|------------|-------------------|-------------------|
| Atap | 37490,70 | 15,538 | 13,528 |
| Lantai Atap | 369030,98 | 11,726 | 11,206 |
| Lantai 5 | 445184,89 | 10,589 | 10,173 |
| Lantai 3 | 451131,06 | 10,168 | 9,883 |
| Lantai 2 | 451131,06 | 9,842 | 9,662 |
| Lantai 1 | 464678,58 | 9,840 | 9,669 |

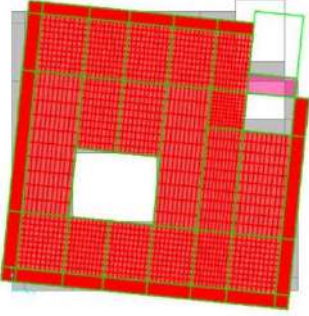
4.5.9 Analisis Dinamis Getaran

Analisis dinamis getaran akibat gaya gempa dilakukan menggunakan bantuan aplikasi SAP2000 V22 dan hasilnya memperlihatkan bentuk ragam gempa yang terjadi. Hasil analisis bentuk ragam gempa yang terjadi diperlihatkan di Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Bentuk Ragam dan Periode Getar SAP2000 V22

| | |
|---|--|
|  | <p>Ragam 1 $T = 1,408439$ Translasi pada Arah X</p> |
|  | <p>Ragam 2 $T = 1,341058$ Translasi pada Arah Y</p> |

Tabel 4.9 Bentuk Ragam dan Periode Getar SAP2000 V22 (lanjutan)

| | |
|---|---|
|  | <p>Ragam 3 $T = 1,203155$ Rotasi pada Arah Z</p> |
|---|---|

4.5.10 Kontrol Hasil Analisis Gempa Dinamik

1. Kontrol Bentuk Ragam dan Partisipasi Massa Bangunan

Berdasarkan persyaratan yang diatur pada Pasal 7.9.1 SNI 1726-2019 disebutkan bahwa terdapat alternatif sebagai pengecualian untuk memasukkan nilai minimum 90% partisipasi massa ragam terkombinasi dari total massa struktur bangunan apabila tidak tercapai nilai 100% partisipasi massa ragam terkombinasi dari total massa struktur bangunan. Hasil perhitungan dari partisipasi massa dengan bantuan aplikasi SAP2000 V22 diperlihatkan sesuai Tabel 4.10 berikut ini.

Tabel 4.10 Nilai Hasil Partisipasi Massa Bangunan

| Modal | Periode (sec) | UX | UY | RZ | Sum UX | Sum UY | Sum RZ |
|-------|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 1.408439 | 0.50286 | 0.14509 | 0.12268 | 0.50286 | 0.14509 | 0.12268 |
| 2 | 1.341058 | 0.20535 | 0.56672 | 0.00947 | 0.70821 | 0.71181 | 0.13215 |
| 3 | 1.203155 | 0.06615 | 0.07423 | 0.64964 | 0.77436 | 0.78604 | 0.78178 |
| 4 | 0.487034 | 4.7E-07 | 3E-05 | 5.4E-05 | 0.77436 | 0.78607 | 0.78184 |
| 5 | 0.446235 | 0.06848 | 0.03389 | 0.02112 | 0.84285 | 0.81996 | 0.80296 |
| 6 | 0.431609 | 0.04063 | 0.07791 | 0.00032 | 0.88347 | 0.89787 | 0.80328 |
| 7 | 0.389005 | 0.01029 | 0.00769 | 0.09591 | 0.89376 | 0.90556 | 0.89919 |
| 8 | 0.239489 | 0.01129 | 0.03285 | 0.00012 | 0.90505 | 0.93841 | 0.8993 |
| 9 | 0.237809 | 0.03593 | 0.01191 | 0.00295 | 0.94099 | 0.95032 | 0.90225 |

Tabel 4.10 Nilai Hasil Partisipasi Massa Bangunan (lanjutan)

| Modal | Periode (sec) | UX | UY | RZ | Sum UX | Sum UY | Sum RZ |
|-------|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 10 | 0.220173 | 0.00165 | 3.8E-05 | 0.04097 | 0.94264 | 0.95036 | 0.94322 |
| 11 | 0.217859 | 6.8E-05 | 3.2E-09 | 6.5E-05 | 0.9427 | 0.95036 | 0.94328 |
| 12 | 0.210737 | 3.2E-05 | 7.8E-06 | 6.2E-05 | 0.94274 | 0.95037 | 0.94334 |
| 13 | 0.202985 | 5.1E-05 | 2.8E-06 | 2.5E-08 | 0.94279 | 0.95037 | 0.94334 |
| 14 | 0.199786 | 0.00017 | 3.5E-07 | 7.3E-08 | 0.94296 | 0.95037 | 0.94335 |
| 15 | 0.194734 | 0.00059 | 5.1E-06 | 3.8E-06 | 0.94356 | 0.95038 | 0.94335 |
| 16 | 0.176502 | 0.00289 | 0.01417 | 0.00113 | 0.94644 | 0.96454 | 0.94447 |
| 17 | 0.171177 | 1.7E-07 | 0.00028 | 4.6E-07 | 0.94644 | 0.96483 | 0.94447 |
| 18 | 0.166104 | 1.8E-05 | 0.00033 | 8.5E-09 | 0.94646 | 0.96516 | 0.94447 |
| 19 | 0.163029 | 0.00334 | 0.00246 | 2.6E-05 | 0.94981 | 0.96761 | 0.9445 |
| 20 | 0.161737 | 0.00583 | 0.00148 | 7.2E-05 | 0.95564 | 0.96909 | 0.94457 |
| 21 | 0.160822 | 0.00879 | 0.00219 | 1.8E-05 | 0.96442 | 0.97128 | 0.94459 |
| 22 | 0.158952 | 0.0026 | 8.3E-05 | 0.00589 | 0.96702 | 0.97137 | 0.95048 |
| 23 | 0.155966 | 2E-05 | 0.00323 | 0.01435 | 0.96704 | 0.9746 | 0.96483 |
| 24 | 0.152653 | 0.00074 | 2.9E-05 | 0.00045 | 0.96779 | 0.97463 | 0.96528 |

Berdasarkan syarat pada SNI 1726-2019 dalam Tabel 4.10 dapat dinyatakan bahwa struktur bangunan mencapai partisipasi massa pada ragam ke-24 dengan total jumlah ragam yang ditinjau sebanyak 24 ragam.

2. Kontrol Nilai Periode Fundamental Struktur

Berdasarkan ketentuan dalam Tabel 17 SNI 1726-2019 hasil hitung perkalian koefisien pada batasan atas harus lebih besar dari nilai Periode Fundamental Struktur awal bangunan (T_a) yang didapat dari hasil analisa pemodelan struktur. Sesuai persamaan (36) pada SNI 1726-2019 dapat ditentukan nilai Periode Fundamental Pendekatan (T_a) berdasarkan tinggi struktur (H_n) yaitu 26,25 meter. Berdasarkan Tabel 18 pada SNI 1726-2019 dapat ditentukan nilai C_t dan X sehingga didapatkan perhitungan seperti berikut:

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

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

$$\begin{aligned} T_a &= C_t \times H_n^x \\ &= (0,0466) \times (26,25)^{0,9} \\ &= 0,88227 \text{ detik} \end{aligned}$$

Seperti yang tertulis dalam Tabel 17 SNI 1726-2019, Hasil perkalian koefisien menurut batasan periode getar yang dihitung (C_u) tidak diizinkan dilebihi oleh Periode Getar Struktur (T) sehingga diperoleh nilai berikut ini :

$$\begin{aligned} T_{\max} &= C_u \times T_a \\ &= 1,4 \times 0,88227 \\ &= 1,23518 \text{ detik} \end{aligned}$$

Nilai periode yang didapatkan dalam sumbu X dan sumbu Y sesuai Tabel 4.10 partisipasi massa bangunan terjadi pada Modal 1 dan Modal 2 yaitu :

$$T_{cx} = 1,408 \text{ detik} > T_{\max} = 1,23518 \text{ detik}$$

$$T_{cy} = 1,341 \text{ detik} > T_{\max} = 1,23518 \text{ detik}$$

Disebabkan nilai hasil analisis dari periode getar struktur menggunakan aplikasi SAP2000 V22 diperoleh nilai T_{cx} dan T_{cy} yang lebih besar dari T_{\max} , maka dipakai perhitungan manual $T_{\max} = 1,23518$ detik. Hal ini memiliki tujuan agar didapatkan gaya gempa statik yang lumayan dan diharapkan struktur dapat memikul gaya gempa yang terjadi pada gedung.

3. Kontrol Gaya Geser Dasar Seismik

Menurut ketentuan pada Pasal 7.8.1.1 SNI 1726-2019, Koefisien Respons Seismik (C_s) harus dihitung terlebih dulu sebelum melakukan perhitungan Nilai Gaya Geser Dasar. Rincian untuk hitungan Koefisien Respons Seismik (C_s) yaitu :

$$C_s = \frac{S_{ds}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,65035}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,08129$$

$$C_s \text{ maksimum} = \frac{S_{ds}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,65035}{1,23518\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,06582$$

$$C_s \text{ minimum} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e = 0,044 \times 0,65035 \times 1 = 0,02862$$

Nilai yang dihasilkan menyatakan bahwa C_s melebihi $C_s \text{ max}$ sehingga digunakan nilai untuk perhitungan Gaya Geser Dasar Seismik $C_s \text{ max} = 0,06582$. Hasil perhitungan dengan bantuan aplikasi SAP2000 V22 untuk Gaya Geser Dasar Gempa Statik diperlihatkan dalam Tabel 4.11 berikut ini.

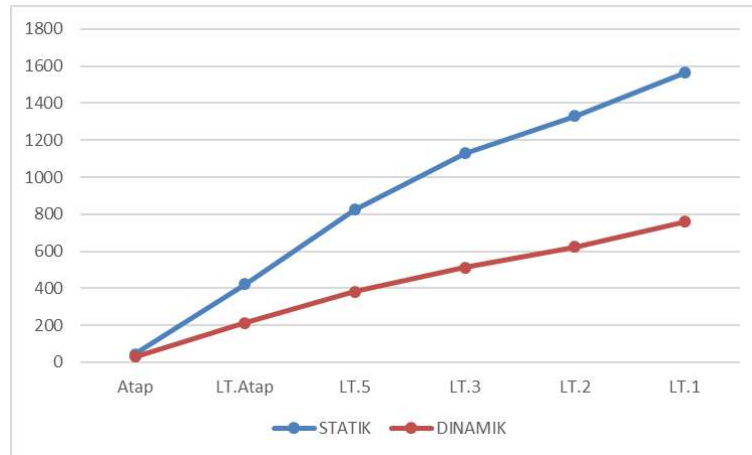
Tabel 4.11 Hasil Gaya Geser Dasar Gempa Statik

| Lantai | Elevasi (m) | Vx (kN) | Vy (kN) |
|--------------|-------------|------------------|------------------|
| Atap | 26,25 | 45,094 | 45,094 |
| Lantai Atap | 22,1 | 421,155 | 376,045 |
| Lantai 5 | 17,8 | 824,631 | 724,440 |
| Lantai 3 | 13,4 | 1129,975 | 1004,560 |
| Lantai 2 | 9 | 1329,982 | 1178,001 |
| Lantai 1 | 4,6 | 1563,431 | 1563,431 |
| Total | | 5314,2680 | 4891,5710 |

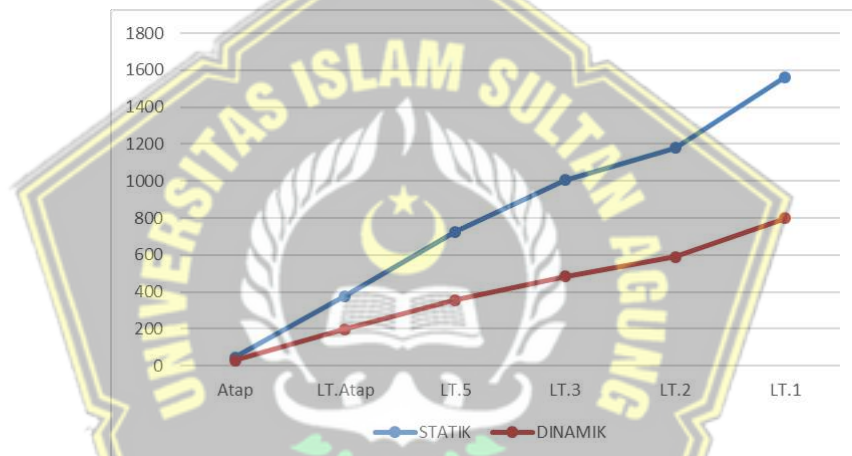
Hasil perhitungan dengan bantuan aplikasi SAP2000 V22 untuk Gaya Geser Dasar Gempa Dinamik diperlihatkan pada Tabel 4.12 di bawah ini.

Tabel 4.12 Hasil Gaya Geser Dasar Gempa Dinamik

| Lantai | Elevasi (m) | Vx (kN) | Vy (kN) |
|--------------|-------------|------------------|------------------|
| Atap | 26,25 | 29,587 | 28,771 |
| Lantai Atap | 22,1 | 213,479 | 198,375 |
| Lantai 5 | 17,8 | 381,285 | 355,761 |
| Lantai 3 | 13,4 | 511,358 | 483,529 |
| Lantai 2 | 9 | 624,112 | 588,604 |
| Lantai 1 | 4,6 | 758,903 | 798,282 |
| Total | | 2518,7240 | 2453,3220 |



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Gaya Geser Gempa Statik Dan Dinamik
Arah X Sebelum Pembesaran Skala



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Gaya Geser Gempa Statik Dan Dinamik
Arah Y Sebelum Pembesaran Skala

Jika hasil akhir Gaya Geser Dasar Gempa Dinamik kurang dari 100% nilai Gaya Geser Dasar Gempa Statik, maka berdasarkan ketentuan Pasal 7.9.1.4.1 SNI 1726-2019 untuk Gaya Geser Dasar Gempa Dinamik wajib dilakukan pembesaran gaya gempa dengan cara memperkalikan dengan faktor skala ($V_{statik}/V_{dinamik}$). Berikut adalah hasil perhitungan faktor skala untuk pembesaran gaya gempa yaitu :

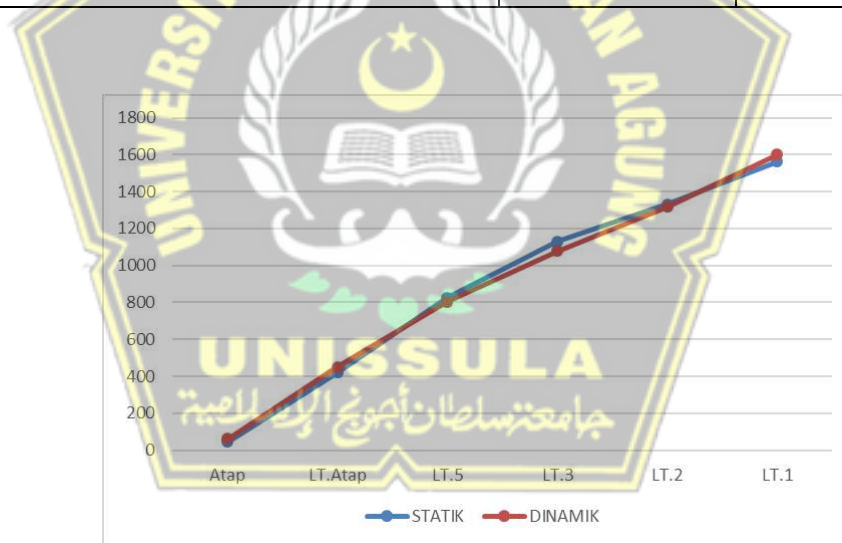
$$\text{Faktor Pembesaran Gaya Gempa arah X} = \frac{5314,2680}{2518,7240} = 2,110$$

$$\text{Faktor Pembesaran Gaya Gempa arah Y} = \frac{4891,5710}{2453,3220} = 1,994$$

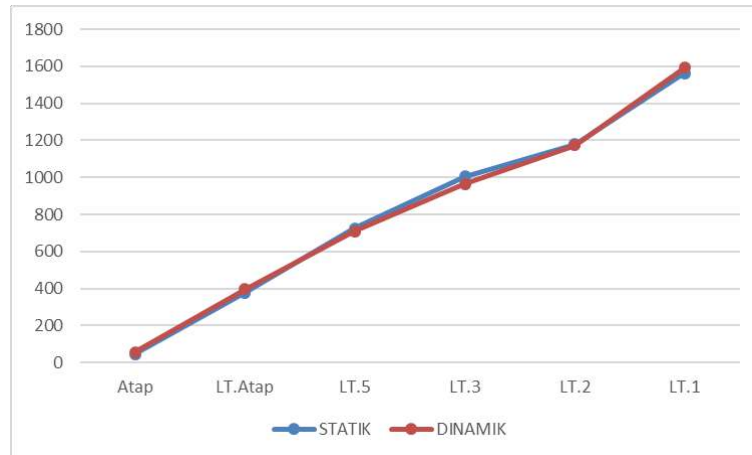
Setelah didapatkan faktor pembesaran gaya gempa, kemudian pada kedua arah X dan Y dilakukan pembesaran gaya gempa sehingga didapatkan nilai Gaya Geser Dasar Gempa Dinamik yang memenuhi syarat batasan. Hasil pembesaran Gaya Geser Dasar Dinamik disajikan dalam Tabel 4.13 berikut.

Tabel 4.13 Hasil Gaya Geser Dasar Gempa Dinamik Dengan Faktor Pembesar

| Lantai | Elevasi (m) | Vx (kN) | Vy (kN) |
|--------------|-------------|------------------|------------------|
| Atap | 26,25 | 62,431 | 57,370 |
| Lantai Atap | 22,1 | 450,458 | 395,561 |
| Lantai 5 | 17,8 | 804,544 | 709,387 |
| Lantai 3 | 13,4 | 1079,009 | 964,156 |
| Lantai 2 | 9 | 1316,931 | 1173,676 |
| Lantai 1 | 4,6 | 1601,351 | 1591,774 |
| Total | | 5314,7240 | 4891,9240 |



Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Gaya Geser Statik Dan Dinamik Arah X Setelah Pembesaran Skala



Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Gaya Geser Statik Dan Dinamik Arah Y Setelah Pembesaran Skala

4.6 Cek Ketidakberaturan Struktur Horisontal dan Vertikal

Struktur suatu konstruksi gedung wajib diidentifikasi termasuk dalam beraturan atau tidak beraturan sesuai ketentuan yang dimuat pada Pasal 7.3.2 dalam SNI 1726-2019,. Konfigurasi dalam arah horisontal dan vertikal menurut denah struktur bangunan gedung merupakan dasar untuk melakukan klasifikasi beraturan atau tidak beraturan. Batasan-batasan dan penjelasan sesuai SNI 1726-2019 mengenai ketidakberaturan struktur horisontal dan vertikal bisa dilihat dalam Tabel 13 dan Tabel 14.

4.6.1. Ketidakberaturan Horisontal Tipe 1a dan 1b

Apabila terdapat simpangan antar tingkat maksimum di salah satu ujung struktur dalam posisi melintang terhadap salah satu sumbu yang nilainya melebihi 120% simpangan rata-rata pada kedua ujung struktur gedung dapat dikatakan bahwa struktur gedung tersebut mengalami ketidakberaturan torsi 1a. Sedangkan apabila terdapat simpangan antar tingkat maksimum pada salah satu ujung struktur dalam posisi melintang terhadap suatu sumbu yang nilainya melebihi 140% simpangan rata-rata pada kedua ujung struktur gedung dapat dikatakan bahwa struktur gedung tersebut mengalami ketidakberaturan torsi 1b. Dalam Tabel 4.14 dan Tabel 4.15 di bawah ini menampilkan hasil evaluasi dari pengecekan ketidakberaturan torsi 1a dan 1b pada struktur Gedung *Head Office Awanggroup Semarang*.

Tabel 4.14 Hasil Evaluasi Ketidakberaturan Struktur Horisontal 1a dan 1b Arah X

| Lantai | H_x | δA | δB | ΔA | ΔB | Δ_{avg} | Δ_{max} | 1.2 avg | 1.4 avg | Status | Status |
|----------|-------|------------|------------|------------|------------|----------------|----------------|----------|---------|---------|---------|
| | m | m | m | | | | | | | 1a | 1b |
| Atap | 4,15 | 0,05923 | 0,057975 | 0,004567 | 0,00584 | 0,005204 | 0,00584 | 0,006244 | 0,00728 | regular | regular |
| Lt. Atap | 4,3 | 0,05467 | 0,052135 | 0,007626 | 0,007405 | 0,007516 | 0,00763 | 0,009019 | 0,01052 | regular | regular |
| Lt. 5 | 4,4 | 0,04704 | 0,04473 | 0,01247 | 0,011659 | 0,012065 | 0,01247 | 0,014477 | 0,01689 | regular | regular |
| Lt. 3 | 4,4 | 0,03457 | 0,033071 | 0,013765 | 0,013086 | 0,013426 | 0,01377 | 0,016111 | 0,0188 | regular | regular |
| Lt.2 | 4,4 | 0,02081 | 0,019985 | 0,013448 | 0,012855 | 0,013152 | 0,01345 | 0,015782 | 0,01841 | regular | regular |
| Lt.1 | 4,4 | 0,00736 | 0,00713 | 0,007357 | 0,00713 | 0,007244 | 0,00736 | 0,008692 | 0,01014 | regular | regular |

Tabel 4.15 Hasil Evaluasi Ketidakberaturan Struktur Horisontal 1a dan 1b Arah Y

| Lantai | H_x | δA | δB | ΔA | ΔB | Δ_{avg} | Δ_{max} | 1.2 avg | 1.4 avg | Status | Status |
|----------|-------|------------|------------|------------|------------|----------------|----------------|----------|---------|---------|---------|
| | m | m | m | | | | | | | 1a | 1b |
| Atap | 4,15 | 0,05391 | 0,052531 | 0,003518 | 0,003313 | 0,003416 | 0,00352 | 0,004099 | 0,00478 | regular | regular |
| Lt. Atap | 4,3 | 0,05039 | 0,049218 | 0,006534 | 0,006327 | 0,006431 | 0,00653 | 0,007717 | 0,009 | regular | regular |
| Lt. 5 | 4,4 | 0,04386 | 0,042891 | 0,011108 | 0,010633 | 0,010871 | 0,01111 | 0,013045 | 0,01522 | regular | regular |
| Lt. 3 | 4,4 | 0,03275 | 0,032258 | 0,012386 | 0,012054 | 0,01222 | 0,01239 | 0,014664 | 0,01711 | regular | regular |
| Lt.2 | 4,4 | 0,02036 | 0,020204 | 0,012667 | 0,012465 | 0,012566 | 0,01267 | 0,015079 | 0,01759 | regular | regular |
| Lt.1 | 4,4 | 0,0077 | 0,007739 | 0,007696 | 0,007739 | 0,007718 | 0,00774 | 0,009261 | 0,0108 | regular | regular |

4.6.2. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a dan 1b

Apabila pada suatu struktur bangunan didapatkan suatu tingkat yang mempunyai kekakuan lateral lebih kecil dari 70% jika dibandingkan dengan kekakuan lateral pada tingkat di atasnya atau lebih kecil dari 80% kekakuan lateral rata-rata pada tiga tingkat di atasnya sehingga struktur bangunan tersebut dapat dikatakan mengalami ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak tipe 1a. Sedangkan apabila pada suatu struktur bangunan didapatkan suatu tingkat yang memiliki kekakuan lateral lebih kecil dari 60% jika dibandingkan dengan kekakuan lateral pada tingkat di atasnya atau lebih kecil dari 70% kekakuan lateral rata-rata pada tiga tingkat di atasnya sehingga struktur tersebut dapat dikatakan mengalami ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan tipe 1b. Dalam Tabel 4.16, Tabel 4.17, Tabel 4.18 dan Tabel 4.19 di bawah ini menampilkan hasil evaluasi dari pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan 1b pada struktur Gedung *Head Office Awanngroup Semarang*.

Tabel 4.16 Hasil Evaluasi Ketidakberaturan Struktur Vertikal 1a Arah X

| Lantai | H_x | δe | Δi | K | Cek | Status | Cek | Status |
|----------|-------|------------|------------|---------|---------|---------|--------------|---------|
| | m | m | m | (kN/m) | 70%KI+1 | | 80%(avgKI+3) | |
| Atap | 4,15 | 0,058732 | 0,00507 | 197,122 | 0 | Regular | 0 | Regular |
| Lt. Atap | 4,3 | 0,053659 | 0,00754 | 265,287 | 137,985 | Regular | 157,698 | Regular |
| Lt. 5 | 4,4 | 0,04612 | 0,01215 | 246,975 | 185,701 | Regular | 184,964 | Regular |
| Lt. 3 | 4,4 | 0,033973 | 0,0135 | 296,406 | 172,882 | Regular | 189,169 | Regular |
| Lt.2 | 4,4 | 0,020478 | 0,01321 | 378,472 | 207,484 | Regular | 215,645 | Regular |
| Lt.1 | 4,4 | 0,007267 | 0,00727 | 825,650 | 264,931 | Regular | 245,827 | Regular |

Tabel 4.17 Hasil Evaluasi Ketidakberaturan Struktur Vertikal 1a Arah Y

| Lantai | H_x | δe | Δi | K | Cek | Status | Cek | Status |
|----------|-------|------------|------------|---------|---------|---------|--------------|---------|
| | m | m | m | (kN/m) | 70%KI+1 | | 80%(avgKI+3) | |
| Atap | 4,15 | 0,053909 | 0,00352 | 284,252 | 0 | Regular | 0 | Regular |
| Lt. Atap | 4,3 | 0,050391 | 0,00653 | 306,091 | 198,977 | Regular | 227,402 | Regular |
| Lt. 5 | 4,4 | 0,043857 | 0,01111 | 270,076 | 214,264 | Regular | 236,137 | Regular |
| Lt. 3 | 4,4 | 0,032749 | 0,01239 | 322,945 | 189,053 | Regular | 229,445 | Regular |
| Lt.2 | 4,4 | 0,020363 | 0,01267 | 394,726 | 226,062 | Regular | 239,763 | Regular |
| Lt.1 | 4,4 | 0,007696 | 0,0077 | 779,626 | 276,309 | Regular | 263,399 | Regular |

Tabel 4.18 Hasil Evaluasi Ketidakberaturan Struktur Vertikal 1b Arah X

| Lantai | H_x | δe | Δi | K | Cek | Status | Cek | Status |
|----------|-------|------------|------------|---------|---------|---------|--------------|---------|
| | m | m | m | (kN/m) | 60%KI+1 | | 70%(avgKI+3) | |
| Atap | 4,15 | 0,058732 | 0,00507 | 197,122 | 0 | Regular | 0 | Regular |
| Lt. Atap | 4,3 | 0,053659 | 0,00754 | 265,287 | 118,273 | Regular | 137,985 | Regular |
| Lt. 5 | 4,4 | 0,04612 | 0,01215 | 246,975 | 159,172 | Regular | 161,843 | Regular |
| Lt. 3 | 4,4 | 0,033973 | 0,0135 | 296,406 | 148,185 | Regular | 165,523 | Regular |
| Lt.2 | 4,4 | 0,020478 | 0,01321 | 378,472 | 177,844 | Regular | 188,689 | Regular |
| Lt.1 | 4,4 | 0,007267 | 0,00727 | 825,650 | 227,083 | Regular | 215,099 | Regular |

Tabel 4.19 Hasil Evaluasi Ketidakberaturan Struktur Vertikal 1b Arah Y

| Lantai | H_x | δe | Δi | K | Cek | Status | Cek | Status |
|----------|-------|------------|------------|---------|---------|---------|--------------|---------|
| | m | m | m | (kN/m) | 60%KI+1 | | 70%(avgKI+3) | |
| Atap | 4,15 | 0,053909 | 0,00352 | 284,252 | 0 | Regular | 0 | Regular |
| Lt. Atap | 4,3 | 0,050391 | 0,00653 | 306,091 | 170,551 | Regular | 198,977 | Regular |
| Lt. 5 | 4,4 | 0,043857 | 0,01111 | 270,076 | 183,655 | Regular | 206,620 | Regular |
| Lt. 3 | 4,4 | 0,032749 | 0,01239 | 322,945 | 162,045 | Regular | 200,764 | Regular |
| Lt.2 | 4,4 | 0,020363 | 0,01267 | 394,726 | 193,767 | Regular | 209,793 | Regular |
| Lt.1 | 4,4 | 0,007696 | 0,0077 | 779,626 | 236,836 | Regular | 230,474 | Regular |

4.6.3. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2

Apabila perbandingan dari massa efektif pada sembarang tingkat melebihi nilai 150% massa efektif tingkat di dekatnya maka struktur bangunan tersebut dinyatakan mengalami ketidakberaturan berat (massa). Tindakan tidak perlu dilakukan untuk lantai yang atapnya memiliki berat lebih ringan dibandingkan lantai di bawahnya. Tabel 4.20 dibawah ini memperlihatkan hasil evaluasi ketidakberaturan berat (massa).

Tabel 4.20 Hasil Evaluasi Ketidakberaturan Struktur Vertikal Tipe 2

| Lantai | W (Kg) | 150%Wi+1 | Status |
|----------|-----------|----------|---------|
| Atap | 37490.70 | 0 | |
| Lt. Atap | 369030.98 | 56236.05 | |
| Lt. 5 | 445184.89 | 553546.5 | Regular |
| Lt. 3 | 451131.06 | 667777.3 | Regular |
| Lt.2 | 451131.06 | 676696.6 | Regular |
| Lt.1 | 464678.58 | 676696.6 | Regular |

4.7 Cek Simpangan Antar Tingkat

Dalam menentukan besaran nilai simpangan antar tingkat desain (Δ) wajib dihitung menurut ketentuan Pasal 7.8.6 SNI 1726-2019 dimana simpangan antar tingkat desain merupakan selisih hasil tinjauan antara simpangan dalam pusat massa di tingkat teratas dan terbawah. Persamaan berikut ini digunakan untuk menghitung Simpangan pusat massa di tingkat x (δ_x) yaitu:

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I_e} \quad (4.2)$$

Keterangan :

- δ_{xe} = Defleksi akibat gaya gempa lateral pada lokasi lantai yang ditinjau
- C_d = Faktor pembesaran defleksi (C_d untuk SRPMK = 5,5)
- I_e = Faktor keutamaan gempa ($I_e = 1,0$)

Bangunan dengan kategori risiko II menurut Pasal 7.12.1 SNI 1726-2019 mempunyai simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ a) sebesar $0,020H_x$. Nilai simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ a) harus bernilai lebih besar dari simpangan antar tingkat desain (Δ). Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung

untuk sistem penahan gaya seismik yang dirancang dalam Kategori Desain Seismik D sesuai persamaan berikut :

$$\Delta a = \frac{0,020 \times Hx}{\rho} \quad (4.3)$$

Keterangan :

Δa = Simpangan antar lantai tingkat ijin

Hx = Tinggi antara tingkat yang ditinjau dengan tingkat di atasnya

ρ = Faktor redundansi (untuk KDS D nilai $\rho = 1,3$)

Dalam Tabel 4.21 dan Tabel 4.22 berikut ini ditampilkan hasil hitung simpangan antar tingkat pada sumbu X dan Y.

Tabel 4.21 Hasil Evaluasi Simpangan Antar Tingkat Arah X

| Lantai | Hx (m) | δxe (m) | δx (m) | Δx (m) | Δa (Ijin) (m) | kontrol $\Delta x < \Delta$ ijin |
|---------|-------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| Atap | 4,15 | 0,0519 | 0,2856 | 0,0231 | 0,0638 | OK |
| LT.Atap | 4,30 | 0,0477 | 0,2625 | 0,0347 | 0,0662 | OK |
| LT.5 | 4,40 | 0,0414 | 0,2278 | 0,0574 | 0,0677 | OK |
| LT.3 | 4,40 | 0,0310 | 0,1704 | 0,0660 | 0,0677 | OK |
| LT.2 | 4,40 | 0,0190 | 0,1044 | 0,0668 | 0,0677 | OK |
| LT.1 | 4,40 | 0,0068 | 0,0376 | 0,0376 | 0,0677 | OK |

Tabel 4.22 Hasil Evaluasi Simpangan Antar Tingkat Arah Y

| Lantai | Hx (m) | δye (m) | δy (m) | Δy (m) | Δa (Ijin) (m) | kontrol $\Delta y < \Delta$ ijin |
|---------|-------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| Atap | 4,15 | 0,0459 | 0,2523 | 0,0141 | 0,0638 | OK |
| LT.Atap | 4,30 | 0,0433 | 0,2382 | 0,0282 | 0,0662 | OK |
| LT.5 | 4,40 | 0,0382 | 0,2100 | 0,0492 | 0,0677 | OK |
| LT.3 | 4,40 | 0,0292 | 0,1609 | 0,0581 | 0,0677 | OK |
| LT.2 | 4,40 | 0,0187 | 0,1028 | 0,0626 | 0,0677 | OK |
| LT.1 | 4,40 | 0,0073 | 0,0401 | 0,0401 | 0,0677 | OK |

4.8 Cek Pengaruh P-Delta

Pengecekan pengaruh efek P-Delta dihitung dengan mengacu menurut Pasal 7.8.7 SNI 1726-2019. Perhitungan kestabilan bangunan terhadap P-Delta memerlukan

Nilai koefisien stabilitas (θ) sebagai dasar acuan dalam hitungan . Berikut adalah persamaan untuk menghitung nilai koefisien stabilitas (θ) sebagai berikut :

$$\theta = \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot H_x \cdot C_d} \quad (4.4)$$

Keterangan :

- P_x = Beban desain vertikal total dengan faktor skala 1 untuk setiap beban
- Δ = Simpangan antar tingkat desain
- I_e = Faktor keutamaan gempa ($I_e = 1,0$)
- V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan x-1
- H_x = Tinggi antara tingkat yang ditinjau dengan tingkat di atasnya
- C_d = Faktor pembesaran defleksi (C_d untuk SRPMK = 5,5)

Nilai θ_{max} yang dihitung tidak diizinkan lebih kecil dari nilai koefisien stabilitas (θ). Rumus berikut ini digunakan untuk menghitung θ_{max} yaitu :

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \leq 0,25 \quad (4.5)$$

Perbandingan keperluan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat-x dan x-1 adalah definisi dari β . Dalam Tabel 4.23 dan Tabel 4.24 ditampilkan hasil pengecekan pengaruh stabilitas P-Delta.

Tabel 4.23 Hasil Pengecekan Efek P-Delta Arah X

| Lantai | H_x | Δ_x | P_x | V_x | θ | θ_{max} | Status |
|---------|-------|------------|-----------|----------|----------|----------------|--------|
| | (m) | (m) | kN | kN | | | |
| Atap | 4,15 | 0,0542 | 331,540 | 62,431 | 0,0126 | 0,0909 | OK |
| LT.Atap | 4,30 | 0,0503 | 3725,684 | 450,458 | 0,0176 | 0,0909 | OK |
| LT.5 | 4,40 | 0,0437 | 7872,310 | 804,544 | 0,0177 | 0,0909 | OK |
| LT.3 | 4,40 | 0,0326 | 12258,034 | 1079,009 | 0,0153 | 0,0909 | OK |
| LT.2 | 4,40 | 0,0199 | 16649,753 | 1316,931 | 0,0104 | 0,0909 | OK |
| LT.1 | 4,40 | 0,0072 | 21215,294 | 1601,351 | 0,0039 | 0,0909 | OK |

Tabel 4.24 Hasil Pengecekan Efek P-Delta Arah Y

| Lantai | H_x | Δy | P_y | V_y | θ | θ_{max} | Status |
|---------|-------|------------|-----------|----------|----------|----------------|--------|
| | (m) | (m) | kN | kN | | | |
| Atap | 4,15 | 0,0459 | 331,54 | 57,37 | 0,0116 | 0,0909 | OK |
| LT.Atap | 4,30 | 0,0433 | 3725,684 | 395,561 | 0,0173 | 0,0909 | OK |
| LT.5 | 4,40 | 0,0382 | 7872,31 | 709,387 | 0,0175 | 0,0909 | OK |
| LT.3 | 4,40 | 0,0292 | 12258,034 | 964,156 | 0,0154 | 0,0909 | OK |
| LT.2 | 4,40 | 0,0187 | 16649,753 | 1173,676 | 0,0110 | 0,0909 | OK |
| LT.1 | 4,40 | 0,0073 | 21215,294 | 1591,774 | 0,0040 | 0,0909 | OK |

4.9 Perancangan Pelat

Perancangan pelat bertujuan untuk identifikasi jenis pelat dan memperhitungkan penulangan sesuai ketentuan SNI 2847-2019 dimana beban yang bekerja pada pelat menghasilkan momen yang menjadi dasar hitungan tulangan pelat.

4.9.1. Perhitungan Pembebanan dan Momen Pelat Lantai

Skala perbandingan antara sumbu panjang dan sumbu pendek ($\frac{L_y}{L_x}$) untuk pelat lantai adalah 1,2. Karena kondisi balok terjepit penuh pada keempat sisi dari pelat lantai yang ditinjau sehingga didapatkan persamaan untuk menghitung momen yaitu :

$$M_{lx} = 0,001 \times q \times Lx^2 \times 28 \quad (4.6)$$

$$M_{ly} = 0,001 \times q \times Lx^2 \times 20 \quad (4.7)$$

$$M_{tx} = 0,001 \times q \times Lx^2 \times 64 \quad (4.8)$$

$$M_{ty} = 0,001 \times q \times Lx^2 \times 56 \quad (4.9)$$

Perhitungan beban yang terjadi dalam tinjauan pelat lantai adalah seperti berikut:

a. Beban Mati yang Bekerja pada Pelat Lantai :

$$\text{Berat sendiri pelat } (t = 12 \text{ cm}) = 2,88 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban mati tambahan} = 2,62 \text{ kN/m}^2$$

$$q \text{ DL} = 5,5 \text{ kN/m}^2$$

b. Beban Hidup yang Bekerja pada Pelat Lantai :

$$\text{Beban hidup lantai koridor} = 3,83 \text{ kN/m}^2$$

$$q \text{ LL} = 3,83 \text{ kN/m}^2$$

c. Beban Ultimit

$$\begin{aligned}
 U &= 1,2 \text{ (DL)} + 1,6 \text{ (LL)} \\
 &= 1,2 (5,5) + 1,6 (3,83) \\
 &= 12,728 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Hasil hitungan momen untuk pelat lantai sebagai berikut :

a. Momen Lapangan Arah X dan Y

$$\begin{aligned}
 M_{lx} &= 0,001 \times q \times Lx^2 \times 28 \\
 &= 0,001 \times 12,728 \times 2,95^2 \times 28 \\
 &= 3,101 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ly} &= 0,001 \times q \times Lx^2 \times 20 \\
 &= 0,001 \times 12,728 \times 2,95^2 \times 20 \\
 &= 2,215 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

b. Momen Tumpuan Arah X dan Y

$$\begin{aligned}
 M_{tx} &= 0,001 \times q \times Lx^2 \times 64 \\
 &= 0,001 \times 12,728 \times 2,95^2 \times 64 \\
 &= 7,089 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ty} &= 0,001 \times q \times Lx^2 \times 56 \\
 &= 0,001 \times 12,728 \times 2,95^2 \times 56 \\
 &= 6,203 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

4.9.2. Rincian Perhitungan Penulangan Pelat Lantai

1. Data Perancangan Pelat Lantai

Mutu bahan beton (f'_c) = 29 MPa

Mutu bahan baja (f_y) = 320 MPa

Ketebalan pelat lantai = 120 mm

Ketebalan selimut beton = 20 mm

Tulangan lentur = D10

$$\beta = 0,85 - \frac{0,05(29-28)}{7}$$

$$= 0,84$$

Tinggi efektif arah X (d_x) = 120-20-(10/2)

$$= 95 \text{ mm}$$

Tinggi efektif arah Y (d_y) = 120-20-10-(10/2)

$$= 85 \text{ mm}$$

Bentang pelat pada arah panjang (L_y) = 3600 mm
 Bentang pelat pada arah pendek (L_x) = 2950 mm

2. Penulangan Lapangan Arah X

a. Cek Luas Tulangan yang Dirancang

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= 0,002 \times A_g \\ &= 0,002 \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Coba dipasang tulangan yaitu D10-200

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \left(\frac{\pi}{4} D^2\right) \times \frac{\text{lebar pelat tinjau}}{\text{jarak tulangan}} \\ &= \left(\frac{\pi}{4} 10^2\right) \times \frac{1000}{200} \\ &= 392,699 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ minimum (AMAN)}$

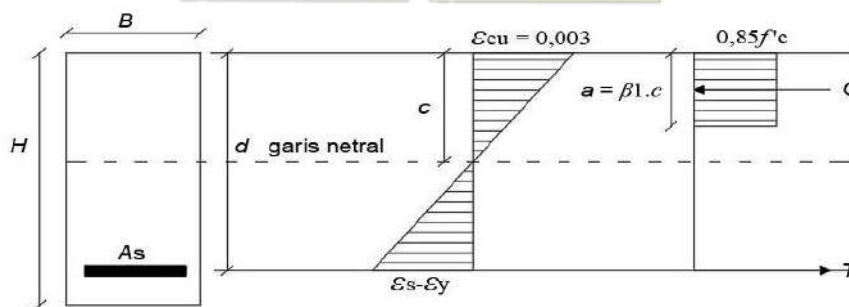
b. Cek Jarak Antar Tulangan

$$\begin{aligned} \text{Spasi tulangan maksimum} &= 2 \times \text{ketebalan pelat} \\ &= 2 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm atau } 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Spasi tulangan yang dipasang} = 200 \text{ mm}$$

$S \text{ pasang} < S \text{ maksimum (AMAN)}$

c. Mencari Nilai Faktor Reduksi (ϕ)



Gambar 4.13 Diagram Tegangan dan Regangan Beton Pelat

$$\begin{aligned} \text{Tinggi blok beton } (a) &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times 1000} \\ &= \frac{392,699 \times 320}{0,85 \times 29 \times 1000} \\ &= 5,098 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lokasi garis netral, } c &= a/\beta \\ &= 5,098/0,84 \\ &= 6,048 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tulangan tarik} &= \frac{dx-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{95-6,048}{6,048} \times 0,003 \\ &= 0,044 \end{aligned}$$

Nilai $\epsilon_s = 0,044 > 0,005$ maka penampang menggunakan faktor reduksi (ϕ) = 0,9 karena termasuk kedalam terkendali tarik

d. Cek Kapasitas Momen ($\phi M_n > M_u$)

$$\begin{aligned} \text{Momen nominal } (M_n) &= A_s \text{ pakai} \times f_y \times \left(dx - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 392,699 \times 320 \times \left(95 - \frac{5,098}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 11,618 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 11,618 = 10,456 \text{ kNm} > M_{tx} = 3,101 \text{ kNm (AMAN)}$$

3. Penulangan Tumpuan Arah X

a. Cek Luas Tulangan yang Dirancang

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= 0,002 \times A_g \\ &= 0,002 \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Coba dipasang tulangan yaitu D10-200

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \left(\frac{\pi}{4} D^2\right) \times \frac{\text{lebar pelat tinjau}}{\text{jarak tulangan}} \\ &= \left(\frac{\pi}{4} 10^2\right) \times \frac{1000}{200} \end{aligned}$$

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

As pasang > As minimum (AMAN)

b. Cek Jarak Antar Tulangan

$$\begin{aligned} \text{Spasi tulangan maksimum} &= 2 \times \text{ketebalan pelat lantai} \\ &= 2 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm atau } 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Spasi tulangan yang dipasang} = 200 \text{ mm}$$

S pasang < S maksimum (AMAN)

c. Mencari Nilai Faktor Reduksi (ϕ)

$$\begin{aligned} \text{Tinggi blok beton } (a) &= \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times 1000} \\ &= \frac{392,699 \times 320}{0,85 \times 29 \times 1000} \\ &= 5,098 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lokasi garis netral, } c &= a/\beta \\ &= 5,098 / 0,84 \\ &= 6,048 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tulangan tarik} &= \frac{dx-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{95-6,048}{6,048} \times 0,003 \end{aligned}$$

$$= 0,044$$

Nilai $\epsilon_s = 0,044 > 0,005$ maka penampang menggunakan faktor reduksi (ϕ) = 0,9 karena termasuk kedalam terkendali tarik

d. Cek Kapasitas Momen ($\phi M_n > M_u$)

$$\begin{aligned} \text{Momen nominal } (M_n) &= As \text{ pakai} \times fy \times (dx - \frac{a}{2}) \times 10^{-6} \\ &= 392,699 \times 320 \times (95 - \frac{5,098}{2}) \times 10^{-6} \\ &= 11,618 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 11,618 = 10,456 \text{ kNm} > M_{ly} = 7,089 \text{ kNm (AMAN)}$$

4. Penulangan Lapangan Arah Y

a. Cek Luas Tulangan yang Dirancang

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= 0,002 \times A_g \\ &= 0,002 \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Coba dipasang tulangan yaitu D10-200

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \left(\frac{\pi}{4} D^2 \right) \times \frac{\text{lebar pelat tinjau}}{\text{jarak tulangan}} \\ &= \left(\frac{\pi}{4} 10^2 \right) \times \frac{1000}{200} \\ &= 392,699 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ minimum (AMAN)}$

b. Cek Jarak Antar Tulangan

$$\begin{aligned} \text{Spasi tulangan maksimum} &= 2 \times \text{ketebalan pelat} \\ &= 2 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm atau } 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Spasi tulangan yang dipasang} = 200 \text{ mm}$$

$S \text{ pasang} < S \text{ maksimum (AMAN)}$

c. Mencari Nilai Faktor Reduksi (ϕ)

$$\begin{aligned} \text{Tinggi blok beton } (a) &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times 1000} \\ &= \frac{392,699 \times 320}{0,85 \times 29 \times 1000} \\ &= 5,098 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lokasi garis netral, } c &= a/\beta \\ &= 5,098/0,84 \\ &= 6,048 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Regangan tulangan tarik} = \frac{d-x-c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{85-6,048}{6,048} \times 0,003$$

$$= 0,039$$

Nilai $\varepsilon_s = 0,039 > 0,005$ maka penampang menggunakan faktor reduksi (ϕ) = 0,9 karena termasuk kedalam terkendali tarik

d. Cek Kapasitas Momen ($\phi M_n > M_u$)

$$\begin{aligned} \text{Momen nominal (Mn)} &= A_s \text{ pakai} \times f_y \times (d_x - \frac{a}{2}) \times 10^{-6} \\ &= 392,699 \times 320 \times (85 - \frac{5,098}{2}) \times 10^{-6} \\ &= 10,361 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 10,361 = 9,325 \text{ kNm} > M_u = 2,215 \text{ kNm (AMAN)}$$

5. Penulangan Tumpuan Arah Y

a. Cek Luas Tulangan yang Dirancang

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= 0,002 \times A_g \\ &= 0,002 \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Coba tulangan yang dipasang yaitu D10-200

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \left(\frac{\pi}{4} D^2\right) \times \frac{\text{lebar pelat tinjau}}{\text{jarak tulangan}} \\ &= \left(\frac{\pi}{4} 10^2\right) \times \frac{1000}{200} \\ &= 392,699 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ minimum (AMAN)}$

b. Cek Jarak Antar Tulangan

$$\begin{aligned} \text{Spasi tulangan maksimum} &= 2 \times \text{ketebalan pelat} \\ &= 2 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm atau } 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Spasi tulangan yang dipasang} = 200 \text{ mm}$$

$S \text{ pasang} < S \text{ maksimum (AMAN)}$

c. Mencari Nilai Faktor Reduksi (ϕ)

$$\begin{aligned} \text{Tinggi blok beton } (a) &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times 1000} \\ &= \frac{392,699 \times 320}{0,85 \times 29 \times 1000} \\ &= 5,098 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lokasi garis netral, } c &= a/\beta \\ &= 5,098/0,84 \\ &= 6,048 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tulangan tarik} &= \frac{dx-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{85-6,048}{6,048} \times 0,003 \\ &= 0,039 \end{aligned}$$

Nilai $\epsilon_s = 0,039 > 0,005$ maka penampang menggunakan faktor reduksi (ϕ) = 0,9 karena termasuk kedalam terkendali tarik

d. Cek Kapasitas Momen ($\phi M_n > M_u$)

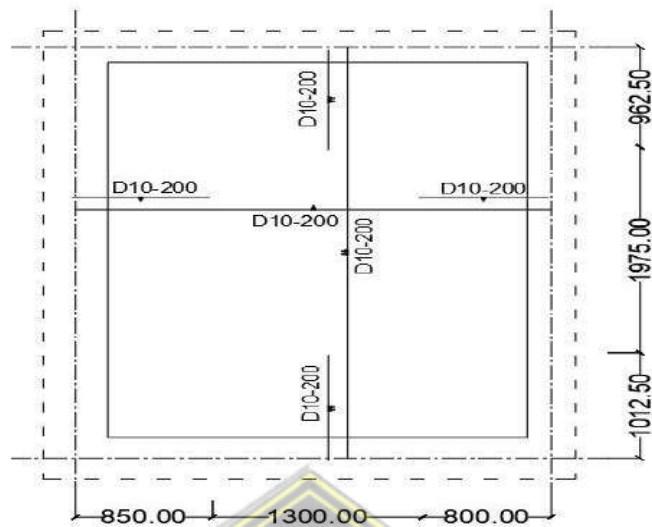
$$\begin{aligned} \text{Momen nominal } (M_n) &= A_s \text{ pakai} \times f_y \times \left(dx - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 392,699 \times 320 \times \left(85 - \frac{5,098}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 10,361 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 10,361 = 9,325 \text{ kNm} > M_{ty} = 6,203 \text{ kNm (AMAN)}$$

Tabel 4.25 di bawah ini menampilkan hasil perhitungan tulangan pelat lantai pada daerah tumpuan dan lapangan (sumbu X dan sumbu Y).

Tabel 4.25 Hasil Detail Perhitungan Tulangan Pelat Lantai

| Bentang | L_x | L_y |
|----------|---------|---------|
| Tumpuan | D10-200 | D10-200 |
| Lapangan | D10-200 | D10-200 |



Gambar 4.14 Tampak Atas Detail Penulangan Pelat Lantai

4.9.3. Perhitungan Pembebanan dan Momen Pelat Atap

Rasio perbandingan antara sumbu panjang dan sumbu pendek ($\frac{L_y}{L_x}$) untuk pelat atap adalah 1,2. Karena kondisi balok terjepit penuh pada keempat sisi dari pelat atap yang ditinjau sehingga didapatkan persamaan untuk menghitung momen sebagai berikut :

$$M_{lx} = 0,001 \times q \times Lx^2 \times 28 \quad (4.6)$$

$$M_{ly} = 0,001 \times q \times Lx^2 \times 20 \quad (4.7)$$

$$M_{tx} = 0,001 \times q \times Lx^2 \times 64 \quad (4.8)$$

$$M_{ty} = 0,001 \times q \times Lx^2 \times 56 \quad (4.9)$$

Perhitungan beban yang terjadi dalam tinjauan pelat atap yaitu :

d. Beban Mati yang Bekerja pada Pelat Atap :

$$\text{Berat sendiri pelat } (t = 12 \text{ cm}) = 2,88 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban mati tambahan} = 8,16 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{DL} = 11,04 \text{ kN/m}^2$$

e. Beban Hidup yang Bekerja pada Pelat Atap :

$$\text{Beban hidup atap} = 0,96 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{LL} = 0,96 \text{ kN/m}^2$$

f. Beban Ultimit

$$\begin{aligned}
 U &= 1,2 \text{ (DL)} + 1,6 \text{ (LL)} \\
 &= 1,2 (11,04) + 1,6 (0,96) \\
 &= 14,784 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Hasil hitungan momen untuk pelat atap yaitu :

c. Momen Lapangan Arah X dan Y

$$\begin{aligned}
 M_{lx} &= 0,001 \times q \times Lx^2 \times 28 \\
 &= 0,001 \times 14,784 \times 2,95^2 \times 28 \\
 &= 3,602 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ly} &= 0,001 \times q \times Lx^2 \times 20 \\
 &= 0,001 \times 14,784 \times 2,95^2 \times 20 \\
 &= 2,573 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

d. Momen Tumpuan Arah X dan Y

$$\begin{aligned}
 M_{tx} &= 0,001 \times q \times Lx^2 \times 64 \\
 &= 0,001 \times 14,784 \times 2,95^2 \times 64 \\
 &= 8,234 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ty} &= 0,001 \times q \times Lx^2 \times 56 \\
 &= 0,001 \times 14,784 \times 2,95^2 \times 56 \\
 &= 67,205 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

4.9.4. Rincian Perhitungan Penulangan Pelat Atap

6. Data Perancangan Pelat Atap

| | |
|----------------------------|-----------|
| Mutu bahan beton (f_c) | = 29 MPa |
| Mutu bahan baja (f_y) | = 320 MPa |

| | |
|----------------------|----------|
| Ketebalan pelat atap | = 120 mm |
|----------------------|----------|

| | |
|-------------------------|---------|
| Ketebalan selimut beton | = 20 mm |
|-------------------------|---------|

| | |
|-----------------|-------|
| Tulangan lentur | = D10 |
|-----------------|-------|

| | |
|---------|----------------------------------|
| β | = $0,85 - \frac{0,05(29-28)}{7}$ |
| | = 0,84 |

| | |
|---------------------------------|-------------------|
| Tinggi efektif arah X (d_x) | = $120-20-(10/2)$ |
| | = 95 mm |

| | |
|---------------------------------|----------------------|
| Tinggi efektif arah Y (d_y) | = $120-20-10-(10/2)$ |
| | = 85 mm |

$$\begin{aligned} \text{Bentang pelat pada arah panjang } (L_y) &= 3600 \text{ mm} \\ \text{Bentang pelat pada arah pendek } (L_x) &= 2950 \text{ mm} \end{aligned}$$

7. Penulangan Lapangan Arah X

e. Cek Luas Tulangan yang Dirancang

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= 0,002 \times A_g \\ &= 0,002 \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Coba dipasang tulangan yaitu D10-200

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \left(\frac{\pi}{4} D^2 \right) \times \frac{\text{lebar pelat tinjau}}{\text{jarak tulangan}} \\ &= \left(\frac{\pi}{4} 10^2 \right) \times \frac{1000}{200} \\ &= 392,699 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ minimum}$ (AMAN)

f. Cek Jarak Antar Tulangan

$$\begin{aligned} \text{Spasi tulangan maksimum} &= 2 \times \text{ketebalan pelat} \\ &= 2 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm atau } 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Spasi tulangan yang dipasang} = 200 \text{ mm}$$

$S \text{ pasang} < S \text{ maksimum}$ (AMAN)

g. Mencari Nilai Faktor Reduksi (ϕ)

$$\begin{aligned} \text{Tinggi blok beton } (a) &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times 1000} \\ &= \frac{392,699 \times 320}{0,85 \times 29 \times 1000} \\ &= 5,098 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lokasi garis netral, } c &= a/\beta \\ &= 5,098/0,84 \\ &= 6,048 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tulangan tarik} &= \frac{dx-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{95-6,048}{6,048} \times 0,003 \\ &= 0,044 \end{aligned}$$

Nilai $\varepsilon_s = 0,044 > 0,005$ maka penampang menggunakan faktor reduksi (ϕ) = 0,9 karena termasuk kedalam terkendali tarik

h. Cek Kapasitas Momen ($\phi M_n > M_u$)

$$\begin{aligned} \text{Momen nominal (Mn)} &= A_s \text{ pakai} \times f_y \times (dx - \frac{a}{2}) \times 10^{-6} \\ &= 392,699 \times 320 \times (95 - \frac{5,098}{2}) \times 10^{-6} \\ &= 11,618 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 11,618 = 10,456 \text{ kNm} > M_u = 3,602 \text{ kNm (AMAN)}$$

8. Penulangan Tumpuan Arah X

e. Cek Luas Tulangan yang Dirancang

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= 0,002 \times A_g \\ &= 0,002 \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Coba dipasang tulangan yaitu D10-200

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \left(\frac{\pi}{4} D^2\right) \times \frac{\text{lebar pelat tinjau}}{\text{jarak tulangan}} \\ &= \left(\frac{\pi}{4} 10^2\right) \times \frac{1000}{200} \\ &= 392,699 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ minimum (AMAN)}$

f. Cek Jarak Antar Tulangan

$$\begin{aligned} \text{Spasi tulangan maksimum} &= 2 \times \text{tebal ketebalan pelat} \\ &= 2 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm atau } 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Spasi tulangan yang dipasang} = 200 \text{ mm}$$

$S_{pasang} < S_{maksimum}$ (AMAN)

g. Mencari Nilai Faktor Reduksi (ϕ)

$$\begin{aligned} \text{Tinggi blok beton } (a) &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times 1000} \\ &= \frac{392,699 \times 320}{0,85 \times 29 \times 1000} \\ &= 5,098 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lokasi garis netral, } c &= a/\beta \\ &= 5,098/0,84 \\ &= 6,048 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tulangan tarik} &= \frac{dx-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{95-6,048}{6,048} \times 0,003 \\ &= 0,044 \end{aligned}$$

Nilai $\epsilon_s = 0,044 > 0,005$ maka penampang menggunakan faktor reduksi (ϕ) = 0,9 karena termasuk kedalam terkendali tarik

h. Cek Kapasitas Momen ($\phi M_n > M_u$)

$$\begin{aligned} \text{Momen nominal } (M_n) &= A_s \text{ pakai} \times f_y \times \left(dx - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 392,699 \times 320 \times \left(95 - \frac{5,098}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 11,618 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 11,618 = \mathbf{10,456 \text{ kNm}} > M_{tx} = \mathbf{8,234 \text{ kNm}} \text{ (AMAN)}$$

9. Penulangan Lapangan Arah Y

e. Cek Luas Tulangan yang Dirancang

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= 0,002 \times A_g \\ &= 0,002 \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Coba dipasang tulangan yaitu D10-200

$$\begin{aligned}
As \text{ pasang} &= \left(\frac{\pi}{4} D^2\right) \times \frac{\text{lebar pelat tinjau}}{\text{jarak tulangan}} \\
&= \left(\frac{\pi}{4} 10^2\right) \times \frac{1000}{200} \\
&= 392,699 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

As pasang > As minimum (AMAN)

f. Cek Jarak Antar Tulangan

$$\begin{aligned}
\text{Spasi tulangan maksimum} &= 2 \times \text{ketebalan pelat} \\
&= 2 \times 120 \\
&= 240 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\text{Spasi tulangan yang dipasang} = 200 \text{ mm}$$

S pasang < S maksimum (AMAN)

g. Mencari Nilai Faktor Reduksi (ϕ)

$$\begin{aligned}
\text{Tinggi blok beton } (a) &= \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times 1000} \\
&= \frac{392,699 \times 320}{0,85 \times 29 \times 1000} \\
&= 5,098 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Lokasi garis netral, } c &= a/\beta \\
&= 5,098 / 0,84 \\
&= 6,048 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Regangan tulangan tarik} &= \frac{dx-c}{c} \times 0,003 \\
&= \frac{85-6,048}{6,048} \times 0,003 \\
&= 0,039
\end{aligned}$$

Nilai $\epsilon_s = 0,039 > 0,005$ maka penampang menggunakan faktor reduksi (ϕ) = 0,9 karena termasuk kedalam terkendali tarik

h. Cek Kapasitas Momen ($\phi M_n > M_u$)

$$\begin{aligned}
\text{Momen nominal } (M_n) &= A_s \text{ pakai} \times f_y \times \left(dx - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\
&= 392,699 \times 320 \times \left(85 - \frac{5,098}{2}\right) \times 10^{-6} \\
&= 10,361 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 10,361 = 9,325 \text{ kNm} > M_{ly} = 2,573 \text{ kNm (AMAN)}$$

10. Penulangan Tumpuan Arah Y

e. Cek Luas Tulangan yang Dirancang

$$\begin{aligned}
A_s \text{ min} &= 0,002 \times A_g \\
&= 0,002 \times 1000 \times 120 \\
&= 240 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Coba tulangan yang dipasang yaitu D10-200

$$\begin{aligned}
A_s \text{ pasang} &= \left(\frac{\pi}{4} D^2\right) \times \frac{\text{lebar pelat tinjau}}{\text{jarak tulangan}} \\
&= \left(\frac{\pi}{4} 10^2\right) \times \frac{1000}{200} \\
&= 392,699 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ minimum (AMAN)}$

f. Cek Jarak Antar Tulangan

$$\begin{aligned}
\text{Spasi tulangan maksimum} &= 2 \times \text{ketebalan pelat} \\
&= 2 \times 120 \\
&= 240 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\text{Spasi tulangan yang dipasang} = 200 \text{ mm}$$

$S \text{ pasang} < S \text{ maksimum (AMAN)}$

g. Mencari Nilai Faktor Reduksi (ϕ)

$$\begin{aligned}
\text{Tinggi blok beton } (a) &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times 1000} \\
&= \frac{392,699 \times 320}{0,85 \times 29 \times 1000} \\
&= 5,098 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Lokasi garis netral, } c &= a/\beta \\
&= 5,098/0,84
\end{aligned}$$

$$= 6,048 \text{ mm}$$

$$\text{Regangan tulangan tarik} = \frac{dx-c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{85-6,048}{6,048} \times 0,003$$

$$= 0,039$$

Nilai $\epsilon_s = 0,039 > 0,005$ maka penampang menggunakan faktor reduksi (ϕ) = 0,9 karena termasuk kedalam terkendali tarik

h. Cek Kapasitas Momen ($\phi M_n > M_u$)

$$\text{Momen nominal (Mn)} = A_s \text{ pakai} \times f_y \times \left(dx - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6}$$

$$= 392,699 \times 320 \times \left(85 - \frac{5,098}{2}\right) \times 10^{-6}$$

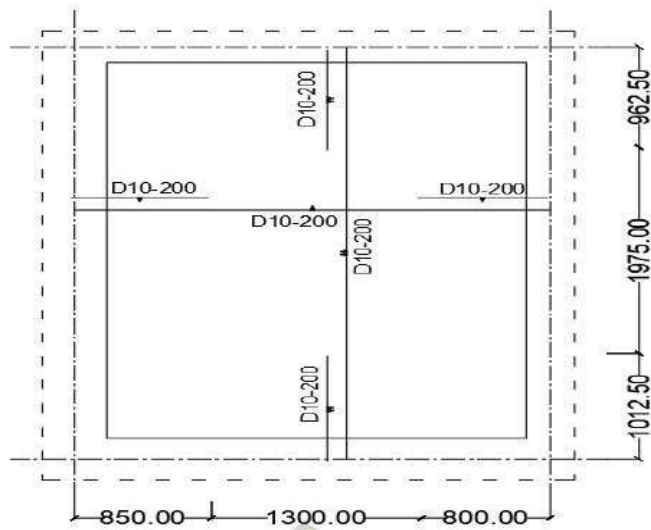
$$= 10,361 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 10,361 = \mathbf{9,325 \text{ kNm} > M_{ty} = 7,205 \text{ kNm (AMAN)}}$$

Tabel 4.26 di bawah ini menampilkan hasil perhitungan tulangan pelat atap pada daerah tumpuan dan lapangan (sumbu X dan sumbu Y).

Tabel 4.26 Hasil Detail Perhitungan Tulangan Pelat Lantai

| Bentang | L_x | L_y |
|----------|---------|---------|
| Tumpuan | D10-200 | D10-200 |
| Lapangan | D10-200 | D10-200 |



Gambar 4.15 Tampak Atas Detail Penulangan Pelat Atap

4.10 Perancangan Balok

Balok yang ditinjau pada perancangan ini adalah balok dengan dimensi 400x750 mm dengan panjang bentang 8802 mm. Momen yang digunakan untuk perancangan diambil dari momen yang paling besar dibandingkan dengan momen lainnya dari dimensi balok yang sama.

Berikut adalah data-data balok yang ditinjau yaitu :

1. Panjang bentang balok (L) = 8802 mm
2. Lebar penampang balok (b) = 400 mm
3. Tinggi penampang balok (h) = 750 mm
4. Diameter tulangan lentur (d_b) = 25 mm
5. Diameter tulangan torsi (d_{bt}) = 13 mm
6. Diameter tulangan geser (d_s) = 10 mm
7. Tebal Selimut beton (c_c) = 40 mm
8. Mutu bahan beton ($f'c$) = 29 MPa
9. Mutu bahan baja (f_y) = 320 MPa

4.10.1. Identifikasi Syarat Batas Dimensi Balok SRPMK

Persyaratan dalam Pasal 18.6.2.1 SNI 2847-2019 mengatur ketentuan batas dimensi untuk balok SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus). Berikut merupakan beberapa syarat yang harus terpenuhi yaitu :

1. Bentang bersih (L_n) $\geq 4d$

$$\begin{aligned}\text{Tinggi efektif balok } (d) &= h - c_c - d_s - d_b/2 \\ &= 750 - 40 - 10 - 25/2 \\ &= 687,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Bentang bersih } (L_n) &= L - \text{Panjang kolom} \\ &= 8802 - 750 \\ &= 8052 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$L_n = 8052 \text{ mm} \geq 4d = 2750 \text{ mm (AMAN)}$$

2. Lebar penampang balok (b_w) $\geq 0,3h$ atau 250 mm

$$b_w = 400 \text{ mm} \geq \text{nilai terkecil } 225 \text{ mm atau } 250 \text{ mm (AMAN)}$$

3. Lebar penampang balok (b_w) $\leq b_{\text{kolom}} + 2 \times \text{minimal}(b_{\text{kolom}} \text{ atau } 0,75b_{\text{kolom}})$

$$b_w = 400 \text{ mm} \leq 750 + 2 \times (0,75 \times 750) = 1875 \text{ mm (AMAN)}$$

4.10.2. Perancangan Tulangan Lentur Balok

Perancangan tulangan lentur Balok 400x750 mm menggunakan momen hasil analisis dari program SAP2000 V22. Berikut adalah hasil analisis gaya dalam dari Balok 400x750 mm yaitu :

$$M_u \text{ pada tumpuan } (-) = -702,833 \text{ kNm}$$

$$M_u \text{ pada tumpuan } (+) = 315,333 \text{ kNm}$$

$$M_u \text{ pada lapangan } (-) = -443,443 \text{ kNm}$$

$$M_u \text{ pada lapangan } (+) = 301,317 \text{ kNm}$$

$$V_u \text{ pada tumpuan} = 325,955 \text{ kN}$$

$$V_u \text{ pada lapangan} = 295,522 \text{ kN}$$

$$T_u \text{ (Torsi)} = 63,556 \text{ kNm}$$

1. Perhitungan Tulangan Lentur Tumpuan Negatif

- a. Cek Syarat Luas Tulangan Minimum (A_s)

$$\text{Tinggi efektif balok } (d) = h - c_c - d_s - d_b/2$$

$$= 750 - 40 - 10 - 25/2$$

$$= 687,5 \text{ mm}$$

As min 1

$$= \frac{0,25\sqrt{f'rc}}{f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{0,25\sqrt{29}}{320} \times 400 \times 687,5$$

$$= 1156,969 \text{ mm}^2$$

As min 2

$$= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{1,4}{320} \times 400 \times 687,5$$

$$= 1203,125 \text{ mm}^2$$

Coba tulangan yang dipasang yaitu 8D25

As pasang = jumlah tulangan pasang $\times \frac{\pi}{4} d_b^2$

$$= 8 \times \frac{\pi}{4} 25^2$$

$$= 3926,991 \text{ mm}^2$$

As pasang > As min 1&2 (AMAN)

b. Cek Syarat Rasio Tulangan Maksimum (ρ)

Nilai beta (β)

$$= 0,85 - \frac{0,05(29-28)}{7}$$

$$= 0,84$$

ρ maksimal = 2,5%

ρ pasang

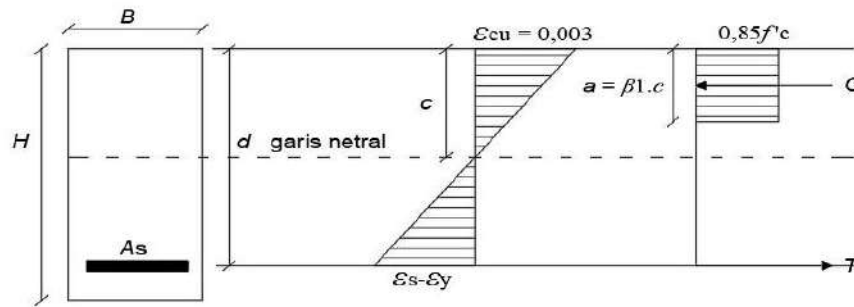
$$= \frac{As \text{ pasang}}{b \times d}$$

$$= \frac{3926,991}{400 \times 687,5}$$

$$= 1,43 \%$$

ρ pasang < ρ maksimal (AMAN)

c. Cek Kapasitas Momen ($\phi M_n > M_u$)



Gambar 4.16 Diagram Tegangan dan Regangan Balok Tumpuan Negatif

$$\begin{aligned} \text{Tinggi blok beton } (a) &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{3296,991 \times 320}{0,85 \times 29 \times 400} \\ &= 127,448 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lokasi garis netral, } c &= a/\beta \\ &= 127,448/0,84 \\ &= 151,209 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tulangan tarik} &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{687,5-151,209}{151,209} \times 0,003 \\ &= 0,011 \end{aligned}$$

Nilai $\epsilon_s = 0,011 > 0,005$ maka penampang menggunakan faktor reduksi (ϕ) = 0,9 karena termasuk kedalam terkendali tarik

$$\begin{aligned} \text{Momen nominal reduksi} &= \phi \times A_s \text{ pasang} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 0,9 \times 3296,991 \times 320 \times \left(687,5 - \frac{127,448}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 705,474 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 705,474 \text{ kNm} > M_u = 702,833 \text{ kNm} \text{ (AMAN)}$$

2. Perhitungan Tulangan Lentur Tumpuan Positif

a. Cek Syarat Luas Tulangan Minimum (A_s)

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif balok } (d) &= h - c_c - d_s - d_b/2 \\ &= 750 - 40 - 10 - 25/2 \\ &= 687,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As min 1} &= \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{0,25\sqrt{29}}{320} \times 400 \times 687,5 \\
 &= 1156,969 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As min 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{1,4}{320} \times 400 \times 687,5 \\
 &= 1203,125 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Coba tulangan yang dipasang yaitu 4D25

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= \text{jumlah tulangan pasang} \times \frac{\pi}{4} d_b^2 \\
 &= 4 \times \frac{\pi}{4} 25^2 \\
 &= 1963,495 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

As pasang > As min 1&2 (AMAN)

b. Cek Syarat Rasio Tulangan Maksimum (ρ)

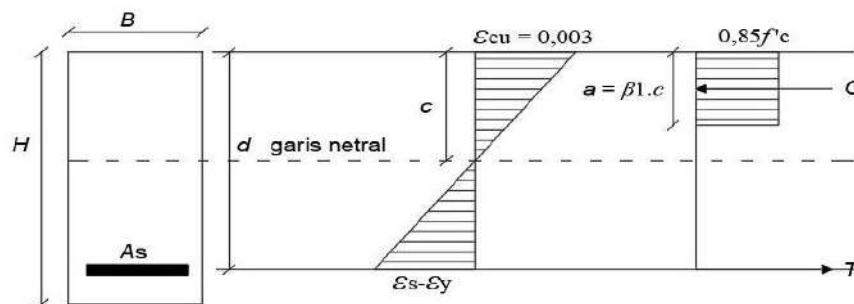
$$\begin{aligned}
 \text{Nilai beta } (\beta) &= 0,85 - \frac{0,05(29-28)}{7} \\
 &= 0,84
 \end{aligned}$$

$$\rho \text{ maksimal} = 2,5\%$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ pasang} &= \frac{\text{As pasang}}{b \times d} \\
 &= \frac{1963,495}{400 \times 687,5} \\
 &= 0,71\%
 \end{aligned}$$

$\rho \text{ pasang} < \rho \text{ maksimal}$ (AMAN)

c. Cek Kapasitas Momen ($\phi M_n > M_u$)



Gambar 4.17 Diagram Tegangan dan Regangan Balok Tumpuan Positif

$$\begin{aligned} \text{Tinggi blok beton } (a) &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{1963,495 \times 320}{0,85 \times 29 \times 400} \\ &= 63,724 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lokasi garis netral, } c &= a/\beta \\ &= 63,724/0,84 \\ &= 75,605 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tulangan tarik} &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{687,5-75,605}{75,605} \times 0,003 \\ &= 0,024 \end{aligned}$$

Nilai $\epsilon_s = 0,024 > 0,005$ maka penampang menggunakan faktor reduksi (ϕ) = 0,9 karena termasuk kedalam terkendali tarik

$$\begin{aligned} \text{Momen nominal reduksi} &= \phi \times A_s \text{ pasang} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 0,9 \times 1963,495 \times 320 \times \left(687,5 - \frac{63,724}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 370,755 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 370,755 \text{ kNm} > M_u = 315,333 \text{ kNm (AMAN)}$$

3. Perhitungan Tulangan Lentur Lapangan Negatif

a. Cek Syarat Luas Tulangan Minimum (A_s)

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif balok } (d) &= h - c_c - d_s - d_b/2 \\ &= 750 - 40 - 10 - 25/2 \\ &= 687,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ min 1} &= \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{0,25\sqrt{29}}{320} \times 400 \times 687,5 \\ &= 1156,969 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ min 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{320} \times 400 \times 687,5 \\ &= 1203,125 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Coba tulangan yang dipasang yaitu 5D25

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= \text{jumlah tulangan pasang} \times \frac{\pi}{4} d_b^2 \\
 &= 5 \times \frac{\pi}{4} 25^2 \\
 &= 2454,369 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

As pasang > As min 1&2 (AMAN)

b. Cek Syarat Rasio Tulangan Maksimum (ρ)

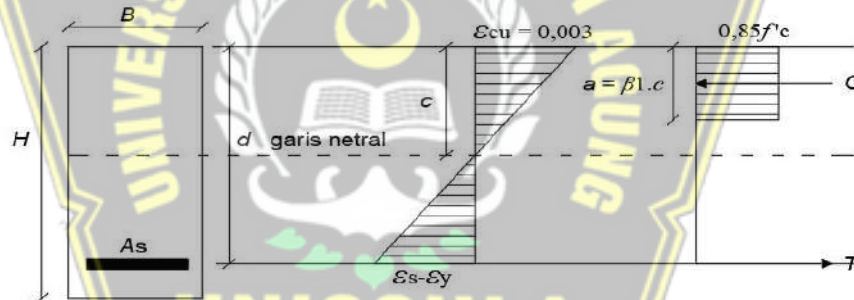
$$\begin{aligned}
 \text{Nilai beta } (\beta) &= 0,85 - \frac{0,05(29-28)}{7} \\
 &= 0,84
 \end{aligned}$$

$$\rho \text{ maksimal} = 2,5\%$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ pasang} &= \frac{\text{As pasang}}{b \times d} \\
 &= \frac{2454,369}{400 \times 687,5} \\
 &= 0,89 \%
 \end{aligned}$$

ρ pasang < ρ maksimal (AMAN)

c. Cek Kapasitas Momen ($\phi M_n > M_u$)



Gambar 4.18 Diagram Tegangan dan Regangan Balok Lapangan Negatif

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi blok beton } (a) &= \frac{\text{As} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{2454,369 \times 320}{0,85 \times 29 \times 400} \\
 &= 79,655 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lokasi garis netral, } c &= a/\beta \\
 &= 79,655/0,84 \\
 &= 94,506 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Regangan tulangan tarik} &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{687,5-94,506}{94,506} \times 0,003
 \end{aligned}$$

$$= 0,019$$

Nilai $\epsilon_s = 0,019 > 0,005$ maka penampang menggunakan faktor reduksi (ϕ) = 0,9 karena termasuk kedalam terkendali tarik

$$\begin{aligned} \text{Momen nominal reduksi} &= \phi \times A_s \text{ pasang} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 0,9 \times 2454,369 \times 320 \times \left(687,5 - \frac{79,655}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 457,813 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 457,813 \text{ kNm} > M_u = 443,443 \text{ kNm (AMAN)}$$

4. Perhitungan Tulangan Lentur Lapangan Positif

a. Cek Syarat Luas Tulangan Minimum (A_s)

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif balok (d)} &= h - c_c - d_s - d_b/2 \\ &= 750 - 40 - 10 - 25/2 \\ &= 687,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min 1} &= \frac{0,25 \sqrt{f'rc}}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{0,25 \sqrt{29}}{320} \times 400 \times 687,5 \\ &= 1156,969 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{320} \times 400 \times 687,5 \\ &= 1203,125 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Coba tulangan yang dipasang yaitu 4D25

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= \text{jumlah tulangan pasang} \times \frac{\pi}{4} d_b^2 \\ &= 4 \times \frac{\pi}{4} 25^2 \\ &= 1963,495 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{As pasang} > \text{As min 1\&2 (AMAN)}$$

b. Cek Syarat Rasio Tulangan Maksimum (ρ)

$$\begin{aligned} \text{Nilai beta } (\beta) &= 0,85 - \frac{0,05(29-28)}{7} \\ &= 0,84 \end{aligned}$$

$$\rho \text{ maksimal} = 2,5\%$$

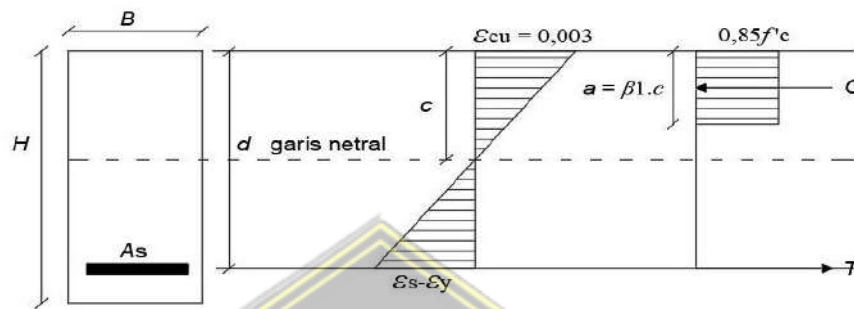
$$\rho \text{ pasang} = \frac{A_s \text{ pasang}}{b \times d}$$

$$= \frac{1963,495}{400 \times 687,5}$$

$$= 0,71 \%$$

ρ pasang < ρ maksimal (AMAN)

c. Cek Kapasitas Momen ($\phi M_n > M_u$)



Gambar 4.19 Diagram Tegangan dan Regangan Balok Lapangan Positif

$$\text{Tinggi blok beton } (a) = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{1963,495 \times 320}{0,85 \times 29 \times 400}$$

$$= 63,724 \text{ mm}$$

$$\text{Lokasi garis netral, } c = a/\beta$$

$$= 63,724 / 0,84$$

$$= 75,605 \text{ mm}$$

$$\text{Regangan tulangan tarik} = \frac{d-c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{687,5 - 75,605}{75,605} \times 0,003$$

$$= 0,024$$

Nilai $\epsilon_s = 0,024 > 0,005$ maka penampang menggunakan faktor reduksi (ϕ) = 0,9 karena termasuk kedalam terkendali tarik

$$\text{Momen nominal reduksi} = \phi \times A_s \text{ pasang} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6}$$

$$= 0,9 \times 1963,495 \times 320 \times \left(687,5 - \frac{63,724}{2}\right) \times 10^{-6}$$

$$= 370,755 \text{ kNm}$$

$\phi M_n = 370,755 \text{ kNm} > M_u = 301,317 \text{ kNm}$ (AMAN)

5. Cek Syarat Momen Balok Desain

Persyaratan momen balok desain diatur sesuai ketentuan Pasal 18.6.3.2 SNI 2847-2019 dimana terdapat beberapa syarat yang wajib dipenuhi yaitu :

- a. $M_n (+)$ tumpuan $\geq 50\% M_n (-)$ tumpuan
 $411,950 \text{ kNm} \geq 0,5 \times 783,860 \text{ kNm}$
 $411,950 \text{ kNm} \geq 391,930 \text{ kNm}$ (AMAN)
- b. $M_n (+)$ dan $(-)$ lapangan $\geq 25\% M_n (-)$ tumpuan
 $411,950 + 508,681 \text{ kNm} \geq 0,25 \times 783,860 \text{ kNm}$
 $920,631 \text{ kNm} \geq 195,965 \text{ kNm}$ (AMAN)

4.10.3. Perancangan Tulangan Geser Balok

Perancangan tulangan geser Balok 400x750 mm menggunakan gaya geser hasil dari analisis menggunakan program SAP2000 V22. Berikut adalah hasil analisis gaya geser dari Balok 400x750 mm yaitu :

$$V_u \text{ pada tumpuan} = 325,955 \text{ kN}$$

$$V_u \text{ pada lapangan} = 295,522 \text{ kN}$$

$$V_g \text{ pada tumpuan} = 240,059 \text{ kN}$$

1. Tahanan Geser Beton

$$A_s (+) \text{ tumpuan} = 1963,495 \text{ mm}^2$$

$$A_s (-) \text{ tumpuan} = 3926,991 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a_{pr}^+ &= 1,25 \times a \text{ tumpuan positif} \\ &= 1,25 \times 63,724 \text{ mm} \\ &= 79,655 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{pr}^- &= 1,25 \times a \text{ tumpuan negatif} \\ &= 1,25 \times 127,448 \text{ mm} \\ &= 159,310 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^+ &= A_s \text{ pasang}^+ \times (1,25f_y) \times \left(d - \frac{a_{pr}^+}{2} \right) \\ &= 1963,495 \times (1,25 \times 320) \times \left(687,5 - \frac{79,655}{2} \right) \\ &= 508680797 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^- &= A_s \text{ pasang}^- \times (1,25f_y) \times \left(d - \frac{a_{pr}^-}{2} \right) \\ &= 3926,991 \times (1,25 \times 320) \times \left(687,5 - \frac{159,310}{2} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 954800715 \text{ Nmm} \\
 V_{\text{sway atau } V_{\text{pr}}} &= \frac{M_{\text{pr}(+)} + M_{\text{pr}(-)}}{L_n} \\
 &= \frac{508680797 + 954800715}{8052} \\
 &= 181754 \text{ N} \\
 V_e &= V_g + V_{\text{pr}} \\
 &= 240059 + 181754 \\
 &= 421813 \text{ N}
 \end{aligned}$$

V_c diasumsikan sama dengan nol jika $P_u < A_g f'_c / 20$ dan $V_{\text{pr}} \geq 0,5 V_e$

$$181754 \text{ N} \geq 0,5 \times 421813 \text{ N}$$

$$181754 \text{ N} \geq 210906,5 \text{ N (} V_c \text{ diperhitungkan)}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \times b \times d \\
 &= \left(\frac{\sqrt{29}}{6} \right) \times 400 \times 687,5 \\
 &= 251756 \text{ N}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Tulangan Geser Tumpuan

Coba tulangan yang dipasang yaitu 4D10-100

$$\begin{aligned}
 A_v &= \text{jumlah tulangan} \times \frac{\pi}{4} d_s^2 \\
 &= 4 \times \frac{\pi}{4} 10^2 \\
 &= 314,159 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Spasi maksimal 1} = d/4 = 687,5/4 = 171,88 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi maksimal 2} = 6d_b = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi maksimal 3} = 150 \text{ mm}$$

Cek spasi tulangan yang dipasang $S_{\text{pasang}} < S_{\text{maks 1;2;3}}$

$$100 \text{ mm} < 171,88 \text{ mm}; 150 \text{ mm (AMAN)}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\
 &= \frac{314,159 \times 320 \times 687,5}{100} \\
 &= 691150 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_c + V_s \\
 &= 251756 + 691150
 \end{aligned}$$

$$= 942907 \text{ N}$$

Cek Kapasitas Tulangan Geser Tumpuan

$$\emptyset V_n / V_u \geq 1$$

$$(0,75 \times 942907) / 325,955 \geq 1$$

$$1,677 \geq 1 \text{ (AMAN)}$$

3. Perhitungan Tulangan Geser Tumpuan

Coba tulangan yang dipasang yaitu 4D10-150

$$A_v = \text{jumlah tulangan} \times \frac{\pi}{4} d_s^2$$

$$= 4 \times \frac{\pi}{4} 10^2$$

$$= 314,159 \text{ mm}^2$$

$$\text{Spasi maksimal} = d/2 = 687,5/2 = 343,75 \text{ mm}$$

Cek spasi tulangan yang dipasang S pasang < S maksimal

$$100 \text{ mm} < 171,88 \text{ mm}; 150 \text{ mm (AMAN)}$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

$$= \frac{314,159 \times 320 \times 687,5}{150}$$

$$= 460767 \text{ N}$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$= 251756 + 460767$$

$$= 712523 \text{ N}$$

Cek Kapasitas Tulangan Geser Tumpuan

$$\emptyset V_n / V_u \geq 1$$

$$(0,75 \times 712523) / 295,522 \geq 1$$

$$1,808 \geq 1 \text{ (AMAN)}$$

4.10.4. Perancangan Tulangan Torsi Balok

Hasil analisis gaya dalam menggunakan SAP2000 V22 untuk Balok 400x750 mm didapatkan nilai torsi sebesar 63,557 kNm.

1. Parameter Geometri Penampang untuk Perhitungan Torsi

$$P_{cp} = 2 \times (b + h)$$

$$\begin{aligned}
&= 2 \times (400 + 750) \\
&= 2300 \text{ mm} \\
A_{cp} &= b \times h \\
&= 400 \times 750 \\
&= 300000 \text{ mm}^2 \\
X_o &= b - 2c_c - d_s \\
&= 400 - 2 \times (40) - 10 \\
&= 310 \text{ mm} \\
Y_o &= h - 2c_c - d_s \\
&= 750 - 2 \times (40) - 10 \\
&= 660 \text{ mm} \\
A_{oh} &= X_o \times Y_o \\
&= 310 \times 660 \\
&= 204600 \text{ mm}^2 \\
P_h &= 2 \times (X_o + Y_o) \\
&= 2 \times (310 + 660) \\
&= 1940 \text{ mm} \\
A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\
&= 0,85 \times 204600 \\
&= 173910 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

2. Cek Persyaratan Kebutuhan Tulangan Torsi

$$\begin{aligned}
T_{cr} &= 0,33 \times (f'c)^{0,5} \times A_{cp}^2 / P_{cp} \\
&= 0,33 \times (29)^{0,5} \times 300000^2 / 2300 \\
&= 69538867 \text{ Nmm} \\
\phi T_{cr} / 4 &= 0,75 \times 69538867 / 4 \\
&= 13038538 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

$$T_u = 63556700 \text{ Nmm} > \phi T_{cr} / 4 = 13038538 \text{ Nmm (Butuh Tulangan Torsi)}$$

3. Cek Kecukupan Dimensi Penampang

$$\begin{aligned}
T_u \text{ pakai} &= \phi T_{cr} = 52154150 \text{ Nmm} \\
V_u &= 421813 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \left(\frac{\sqrt{f'c}}{6}\right) \times b \times d \\
 &= \left(\frac{\sqrt{29}}{6}\right) \times 400 \times 687,5 \\
 &= 251756 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Tegangan Ultimate Geser + Torsi \leq Kapasitas Tegangan Beton

$$\begin{aligned}
 \left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times Ph}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^{0,5} &\leq \phi \left(\frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \sqrt{f'c}\right) \\
 2,091 \text{ MPa} &\leq 3,352 \text{ MPa (AMAN)}
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan Tulangan Transversal Torsi

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

$$n \text{ kaki pada lapangan} = 4$$

$$\text{jarak tulangan tumpuan} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{jarak tulangan lapangan} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi maksimal 1} = Ph/8 = 1940/8 = 243 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi maksimal 2} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Cek spasi tumpuan} = 100 \text{ mm} \leq \text{spasi maksimal} = 243 \text{ mm}; 300 \text{ mm (AMAN)}$$

$$\text{Cek spasi lapangan} = 150 \text{ mm} \leq \text{spasi maksimal} = 243 \text{ mm}; 300 \text{ mm (AMAN)}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v+t} / s \text{ tumpuan pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times \frac{ds^2}{s} \\
 &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times \frac{10^2}{100} \\
 &= 3,142 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v+t} / s \text{ lapangan pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times \frac{ds^2}{s} \\
 &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times \frac{10^2}{150} \\
 &= 2,094 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_t / s &= \frac{T_u}{2 \times \phi \times A_o \times f_y} \\
 &= \frac{52154150}{2 \times 0,75 \times 173910 \times 320} \\
 &= 0,625 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_v / s \text{ tumpuan perlu} &= \frac{\left(\frac{V_u \text{ tumpuan}}{\phi} - V_c\right)}{f_y \times d} \\
 &= \frac{\left(\frac{421813}{0,75} - 251756\right)}{320 \times 687,5}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 1,412 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
A_v / s \text{ lapangan perlu} &= \frac{(\frac{V_u \text{ lapangan}}{\phi} - V_c)}{f_y \times d} \\
&= \frac{(\frac{295522}{0,75} - 251756)}{320 \times 687,5} \\
&= 0,647 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
A_{v+t} / s \text{ tumpuan perlu} &= 2 \times A_t / s + A_v / s \text{ tumpuan perlu} \\
&= 2 \times 0,625 + 1,412 \\
&= 2,662 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
A_{v+t} / s \text{ lapangan perlu} &= 2 \times A_t / s + A_v / s \text{ lapangan perlu} \\
&= 2 \times 0,625 + 0,647 \\
&= 1,896 \text{ mm}^2/\text{mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{v+t} / s \text{ minimal 1} &= 0,062 \times \sqrt{f'_c} \times \frac{b}{f_y} \\
&= 0,062 \times \sqrt{29} \times \frac{400}{320} \\
&= 0,417 \text{ mm}^2/\text{mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{v+t} / s \text{ minimal 2} &= 0,35 \times \frac{b}{f_y} \\
&= 0,35 \times \frac{400}{320} \\
&= 0,438 \text{ mm}^2/\text{mm}
\end{aligned}$$

Kontrol geser + torsi tumpuan

$A_{v+t} / s \text{ tumpuan pasang} \geq A_{v+t} / s \text{ tumpuan perlu dan minimal}$

$$\mathbf{3,142 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 2,662 \text{ mm}^2/\text{mm}; 0,417 \text{ mm}^2/\text{mm}; 0,438 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (AMAN)}}$$

Kontrol geser + torsi lapangan

$A_{v+t} / s \text{ lapangan pasang} \geq A_{v+t} / s \text{ lapangan perlu dan minimal}$

$$\mathbf{2,094 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 1,896 \text{ mm}^2/\text{mm}; 0,417 \text{ mm}^2/\text{mm}; 0,438 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (AMAN)}}$$

5. Perhitungan Tulangan Longitudinal Torsi

$$d_{bt} = 13 \text{ mm}$$

$$d_{bt} \text{ min} = 0,042 s = 0,042 \times 150 = 6,3 \text{ mm}$$

$$\text{Cek } d_{bt} = 13 \text{ mm} \geq d_{bt} \text{ min} = 6,3 \text{ mm} \text{ (AMAN)}$$

$$\text{As perlu tumpuan negatif} = 3521,062 \text{ mm}^2$$

$$\text{As perlu tumpuan positif} = 1502,986 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan negatif} = 2139,598 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan positif} = 1436,180 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_1 &= (A_t / s) \times Ph \\ &= 0,625 \times 1940 \\ &= 1212,062 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_1 \text{ minimum} &= 0,42 \times \sqrt{f'c} \times \frac{A_{cp}}{f_y} - (A_t / s) \times Ph \\ &= 0,42 \times \sqrt{29} \times \frac{300000}{320} - 0,625 \times 1940 \\ &= 908,347 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s + A_1 \text{ perlu tumpuan} &= A_1 + A_s \text{ perlu tumpuan atas dan bawah} \\ &= 1212,062 + 3521,062 + 1502,986 \\ &= 6236,110 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s + A_1 \text{ perlu lapangan} &= A_1 + A_s \text{ perlu lapangan atas dan bawah} \\ &= 1212,062 + 2139,598 + 1436,180 \\ &= 4787,840 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n \text{ daerah tumpuan atas} = 8$$

$$n \text{ daerah tumpuan tengah} = 4$$

$$n \text{ daerah tumpuan bawah} = 4$$

$$\begin{aligned} n \text{ daerah tumpuan vertikal} &= 2 + \frac{n \text{ tumpuan tengah}}{2} \\ &= 2 + \frac{4}{2} \\ &= 4 \end{aligned}$$

$$n \text{ daerah lapangan atas} = 5$$

$$n \text{ daerah lapangan tengah} = 4$$

$$n \text{ daerah lapangan bawah} = 4$$

$$\begin{aligned} n \text{ daerah lapangan vertikal} &= 2 + \frac{n \text{ tumpuan tengah}}{2} \\ &= 2 + \frac{4}{2} \\ &= 4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak horizontal tumpuan} &= \frac{b - 2Cc - 2ds - db}{\min(n \text{ tumpuan atas}, n \text{ tumpuan bawah}) - 1} \\ &= \frac{400 - 2(40) - 2(10) - 25}{4 - 1} \\ &= 92 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak vertikal tumpuan} &= \frac{h-2Cc-2ds-db}{n \text{ tumpuan vertikal}-1} \\ &= \frac{750-2(40)-2(10)-25}{4-1} \\ &= 208 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan longitudinal tumpuan = 92 dan 208 mm \leq 300 mm
(AMAN)

Kontrol jarak tulangan longitudinal lapangan = 92 dan 208 mm \leq 300 mm
(AMAN)

$$\begin{aligned} A_s + A_l \text{ pasang tumpuan} &= ((8 + 4) \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2) + (4 \times \frac{\pi}{4} \times d_{bl}^2) \\ &= ((8 + 4) \times \frac{\pi}{4} \times 25^2) + (4 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2) \\ &= 6421,415 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s + A_l \text{ pasang lapangan} &= ((5 + 4) \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2) + (4 \times \frac{\pi}{4} \times d_{bl}^2) \\ &= ((5 + 4) \times \frac{\pi}{4} \times 25^2) + (4 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2) \\ &= 4948,794 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol lentur + torsi pada tumpuan

$$A_s + A_l \text{ pasang tumpuan} \geq A_s + A_l \text{ perlu tumpuan}$$

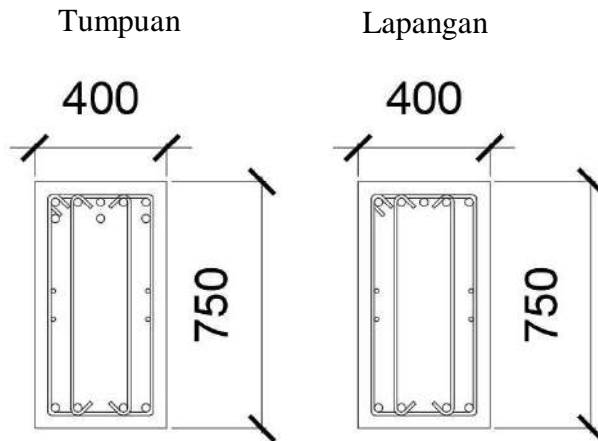
$$6421,415 \text{ mm}^2 \geq 6236,110 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

Kontrol lentur + torsi pada lapangan

$$A_s + A_l \text{ pasang lapangan} \geq A_s + A_l \text{ perlu lapangan}$$

$$4948,794 \text{ mm}^2 \geq 4787,840 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

Hasil perhitungan rancangan detail tulangan longitudinal (tumpuan dan lapangan), tulangan transversal, dan tulangan torsi untuk Balok 400x750 mm dan balok lainnya diperlihatkan dalam Tabel 4.27.



Gambar 4.20 Detail Penulangan Balok 400x750 mm

Tabel 4.27 Hasil Perhitungan Penulangan Balok

| Nama Balok | Lokasi | Tulangan Longitudinal | | Tulangan Transversal | | Tulangan Torsi | |
|------------|--------|-----------------------|----------|----------------------|----------|----------------|----------|
| | | Tumpuan | Lapangan | Tumpuan | Lapangan | Tumpuan | Lapangan |
| B 400x750 | Atas | 8D25 | 5D25 | 4D10-100 | 4D10-150 | 4D13 | 4D13 |
| | Bawah | 4D25 | 4D25 | | | | |
| B 400x500 | Atas | 5D25 | 4D25 | 4D13-100 | 2D13-150 | 4D13 | 4D13 |
| | Bawah | 4D25 | 4D25 | | | | |
| B 300x750 | Atas | 4D25 | 4D25 | 4D10-100 | 2D10-150 | 4D13 | 4D13 |
| | Bawah | 4D25 | 4D25 | | | | |
| B 300x700 | Atas | 6D25 | 4D25 | 4D10-100 | 4D10-150 | 4D13 | 4D13 |
| | Bawah | 4D25 | 4D25 | | | | |
| B 300x500 | Atas | 3D25 | 2D25 | 2D10-100 | 2D10-150 | 2D13 | 2D13 |
| | Bawah | 2D25 | 2D25 | | | | |
| B 300x400 | Atas | 5D25 | 3D25 | 4D10-75 | 3D10-100 | 2D13 | 2D13 |
| | Bawah | 4D25 | 3D25 | | | | |

4.11 Perancangan Kolom

Kolom yang ditinjau dalam perancangan merupakan kolom yang mempunyai dimensi 750x750 mm dengan panjang bentang 4400 mm. Gaya dalam yang paling besar dibandingkan dengan gaya dalam lainnya dari dimensi kolom yang sama merupakan gaya dalam yang digunakan untuk perancangan struktur kolom.

Berikut adalah data-data balok yang ditinjau yaitu :

1. Panjang bentang kolom (L) = 4400 mm
2. Sisi bagian pendek kolom (b) = 750 mm
3. Sisi bagian panjang kolom (h) = 750 mm
4. Diameter tulangan lentur (d_b) = 29 mm
5. Diameter tulangan geser (d_s) = 13 mm
6. Tebal Selimut beton (c_c) = 40 mm
7. Mutu bahan beton (f'_c) = 29 MPa
8. Mutu bahan baja (f_y) = 320 MPa
9. Panjang bersih kolom (L_n) = $L - h_{\text{balok}}$
= 4400 - 750
= 3650 mm

Perancangan tulangan Kolom 750x750 mm menggunakan gaya hasil analisis dari program SAP2000 V22 berupa momen dan gaya aksial. Hasil analisis gaya dalam dari Kolom 400x750 mm diperlihatkan menurut Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Hasil Momen dan Gaya Aksial Kolom 400x750 mm

| Kondisi | P (kN) | M2 (kNm) | M3 (kNm) |
|-------------|-----------|----------|----------|
| P maksimal | -556,312 | 354,673 | 286,595 |
| P minimal | -3484,295 | -389,697 | -535,530 |
| M2 maksimal | -2401,519 | 785,613 | 265,071 |
| M2 minimal | -1884,440 | -695,291 | -327,801 |
| M3 maksimal | -3035,377 | 390,363 | 724,765 |
| M3 minimal | -3210,520 | -401,250 | -713,317 |

4.11.1. Identifikasi Syarat Batas Dimensi Kolom SRPMK

Ketentuan yang mengacu Pasal 18.7.2.1 SNI 2847-2019 mengatur tentang syarat batas dimensi kolom SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus). Berikut merupakan beberapa syarat yang harus terpenuhi yaitu :

1. Dimensi penampang kolom terkecil = 750 mm > 300 mm (**AMAN**)
2. Rasio $\frac{b}{h} = \frac{750}{750} = 1 > 0,4$ (**AMAN**)

4.11.2. Perancangan Tulangan Longitudinal Kolom

Proses analisis rancangan untuk tulangan longitudinal kolom menggunakan bantuan aplikasi analisis struktur yaitu spColumn. Hasil dari analisis program spColumn diperoleh desain tulangan longitudinal kolom yaitu 32D29. Diagram hasil analisis spColumn untuk Kolom 750x750 mm ditunjukkan dalam Gambar 4.16.



Gambar 4.21 Diagram Interaksi P_u , M_2 dan M_3 Kolom 750x750 mm

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan longitudinal kolom } (A_s) &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 32 \times \frac{\pi}{4} \times 29^2 \\ &= 21136,6 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rasio tulangan longitudinal kolom } (\rho) &= \frac{A_s}{b \times h} \\ &= \frac{21136,6}{750 \times 750} \\ &= 3,76 \%\end{aligned}$$

Cek ρ minimal = 1% < ρ pasang = 3,76% < ρ maksimal = 6% (**AMAN**)

4.11.3. Pengecekan Strong Column-Weak Beam (SCWB)

Rancangan dari SCWB dihitung berdasarkan momen nominal balok yang mengekang kolom. Menurut ketentuan Pasal 18.7.3.2 SNI 2847-2019 yang mengatur SCWB (*Strong Column-Weak Beam*) dimana jumlah momen nominal kolom wajib melebihi nilai 1,2 kali jumlah momen nominal balok. Hasil analisis aplikasi spColumn didapatkan besaran momen nominal kolom yaitu :

$$M_{nc} \text{ kolom} = 757,404 \text{ kNm (nilai terkecil output spColumn)}$$

$$M_{n^+} \text{ tumpuan balok} = 783,860 \text{ kNm}$$

$$M_{n^-} \text{ tumpuan balok} = 411,950 \text{ kNm}$$

Kontrol syarat batasan *Strong Column-Weak Beam* (SCWB)

$$2 \times M_{nc} \geq 1,2 \times (M_{n^+} \text{ tumpuan balok} + M_{n^-} \text{ tumpuan balok})$$

$$2 \times 757,404 \geq 1,2 \times (783,860 + 411,950)$$

$$1514,808 \text{ kNm} \geq 1434,972 \text{ kNm (AMAN)}$$

4.11.4. Perancangan Tulangan Transversal Kolom

1. Panjang Zona Sendi Plastis (l_o)

$$l_{o1} = h = 750 \text{ mm}$$

$$l_{o2} = L_n/6 = 3650/6 = 608,3 \text{ mm}$$

$$l_{o3} = 450 \text{ mm}$$

Nilai panjang zona sendi plastis diambil terbesar dari nilai (l_{o1}, l_{o2}, l_{o3}) = 750 mm

2. Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis

$$n \text{ kaki sepanjang sisi pendek } (n1) = 5$$

$$n \text{ kaki sepanjang sisi panjang } (n2) = 5$$

$$\text{Jarak tulangan sengkang} = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan kaki } (x_i) &= (750 - 2 \times (40) - 2 \times (13) - 29) / 4 \\ &= 153,75 \text{ mm} \leq 350 \text{ mm } (x_i \text{ maks}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh1} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\ &= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 \\ &= 663,661 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{sh2} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 \\
 &= 663,661 \text{ mm}^2 \\
 \text{Ash}_1/s &= 663,661/100 \\
 &= 6,637 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
 \text{Ash}_2/s &= 663,661/100 \\
 &= 6,637 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

3. *Confinement*/ Kekangan Zona Sendi Plastis

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar penampang inti beton } (b_c) &= b - 2c_c \\
 &= 750 - 2 \times (40) \\
 &= 670 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang penampang inti beton } (h_c) &= h - 2c_c \\
 &= 750 - 2 \times (40) \\
 &= 670 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang kolom } (A_g) &= b \times h \\
 &= 750 \times 750 \\
 &= 562500 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang inti beton } (A_{ch}) &= b_c \times h_c \\
 &= 670 \times 670 \\
 &= 448900 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sumbu Lemah menurut Pasal 18.7.5.4 SNI 2847-2019

$$\begin{aligned}
 \text{Ash/s minimal 1} &= 0,3 \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \times \frac{f'_c}{f_y} \times b_c \\
 &= 0,3 \times \left(\frac{562500}{448900} - 1 \right) \times \frac{29}{320} \times 670 \\
 &= 4,610 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ash/s minimal 2} &= 0,09 \times \frac{f'_c}{f_y} \times b_c \\
 &= 0,09 \times \frac{29}{320} \times 670 \\
 &= 5,465 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Cek $\text{Ash}_1/s = 6,637 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq \text{Ash/s minimal 1;2} = 4,610; 5,465 \text{ mm}^2/\text{mm}$
(AMAN)

Sumbu Kuat menurut Pasal 18.7.5.4 SNI 2847-2019

$$\begin{aligned} \text{Ash/s minimal 1} &= 0,3 \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \times \frac{f'_c}{f_y} \times h_c \\ &= 0,3 \times \left(\frac{562500}{448900} - 1 \right) \times \frac{29}{320} \times 670 \\ &= 4,610 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ash/s minimal 2} &= 0,09 \times \frac{f'_c}{f_y} \times h_c \\ &= 0,09 \times \frac{29}{320} \times 670 \\ &= 5,465 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Cek $A_{sh1/s} = 6,637 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq A_{sh/s} \text{ minimal } 1;2 = 4,610; 5,465 \text{ mm}^2/\text{mm}$
(AMAN)

$$\text{Spasi maksimal 1} = \frac{b}{4} = \frac{750}{4} = 187,5 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi maksimal 2} = 6 \times d_b = 6 \times 29 = 174 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi maksimal 3} &= 100 + \left(\frac{350 - 153,75}{3} \right) \\ &= 165,4 \text{ mm (tidak boleh lebih dari 150 mm)} \end{aligned}$$

Cek spasi tulangan = $100 \text{ mm} \leq \text{spasi maks } 1;2;3 = 187,5; 174; 150 \text{ mm}$
(AMAN)

4. Kuat Geser Zona Sendi Plastis (I_o)

Hasil dari analisis menggunakan spColumn dengan $f_{pr} = 1,25f_y$ diperoleh gaya geser desain.

$$M_{pr} \text{ kolom (nilai terbesar)} = 2282,474 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} V_u 1 &= (2 \times M_{pr} \text{ kolom} \times 10^6) / L_n \\ &= (2 \times 2282,474 \times 10^6) / 3650 \\ &= 1250671 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u 2 \text{ (sisi pendek/lemah)} = 233305 \text{ N}$$

$$V_u 2 \text{ (sisi panjang/kuat)} = 241260 \text{ N}$$

Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$V_u \text{ pakai} = 1250671 \text{ N}$$

$$V_c \text{ (tahanan geser beton)} = 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times \left(1 + \frac{556,31 \times 10^3}{14(562500)}\right) \times \sqrt{29} \times 750 \times 682,5$$

$$= 501714 \text{ N}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$= \frac{1250671}{0,75} - 501714$$

$$= 1165847 \text{ N}$$

$$A_v/s \text{ perlu} = \frac{V_s \text{ perlu}}{f_y \times d}$$

$$= \frac{1165847}{320 \times 682,5}$$

$$= 5,3381 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_s/s \text{ minimal 1} = 0,062 \times \sqrt{f'_c} \times \frac{b}{f_y}$$

$$= 0,062 \times \sqrt{29} \times \frac{750}{320}$$

$$= 0,7825 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_s/s \text{ minimal 2} = 0,35 \times \frac{b}{f_y}$$

$$= 0,35 \times \frac{750}{320}$$

$$= 0,8203 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Cek $A_{s1}/s \geq$ nilai maksimal dari A_v/s perlu; A_s/s minimal 1; A_s/s minimal 2
 $6,637 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 5,3381 \text{ mm}^2/\text{mm}$ (AMAN)

Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$V_u \text{ pakai} = 1250671 \text{ N}$$

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \times \sqrt{f'_c} \times h \times d$$

$$= 0,17 \times \left(1 + \frac{556,31 \times 10^3}{14(562500)}\right) \times \sqrt{29} \times 750 \times 682,5$$

$$= 501714 \text{ N}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$= \frac{1250671}{0,75} - 501714$$

$$= 1165847 \text{ N}$$

$$A_v/s \text{ perlu} = \frac{V_s \text{ perlu}}{f_y \times d}$$

$$= \frac{1165847}{320 \times 682,5}$$

$$= 5,3381 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{s/s} \text{ minimal 1} = 0,062 \times \sqrt{f'c} \times \frac{h}{f_y}$$

$$= 0,062 \times \sqrt{29} \times \frac{750}{320}$$

$$= 0,7825 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{s/s} \text{ minimal 2} = 0,35 \times \frac{h}{f_y}$$

$$= 0,35 \times \frac{750}{320}$$

$$= 0,8203 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Cek $A_{sh2/s} \geq$ nilai maksimal dari $A_{v/s}$ perlu; $A_{s/s}$ minimal 1; $A_{s/s}$ minimal 2
 $6,637 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 5,3381 \text{ mm}^2/\text{mm}$ (AMAN)

5. Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis

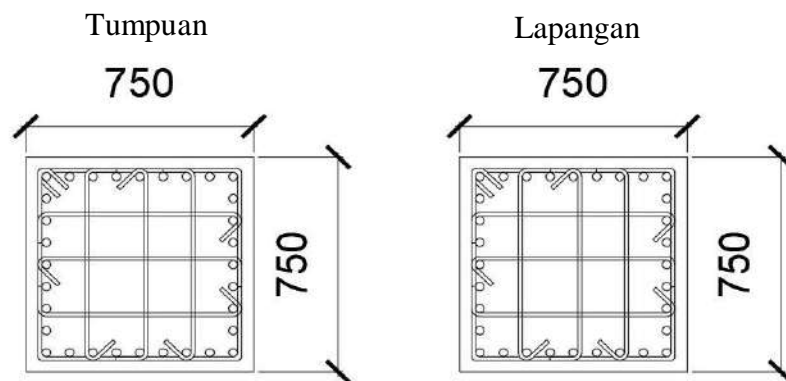
$$V_c = 501714 \text{ N}$$

$$V_u \text{ (sumbu lemah)} = 233305 \text{ N (hasil output SAP 2000 V22)}$$

$$V_u \text{ (sumbu kuat)} = 241260 \text{ N (hasil output SAP 2000 V22)}$$

Karena nilai V_c di luar panjang l_0 sudah melebihi nilai V_u hasil program analisis struktur, maka boleh digunakan tulangan geser yang jaraknya tidak lebih besar dari $6d_b$ (174mm) atau 150 mm di sepanjang daerah luar l_0 . Sesuai ketentuan di atas maka digunakan jarak tulangan transversal 150 mm.

Hasil perhitungan rancangan Kolom 750x750 mm dan kolom lainnya untuk tulangan longitudinal dan tulangan transversal diperlihatkan dalam Tabel 4.29.



Gambar 4.22 Detail Penulangan Kolom 750x750 mm

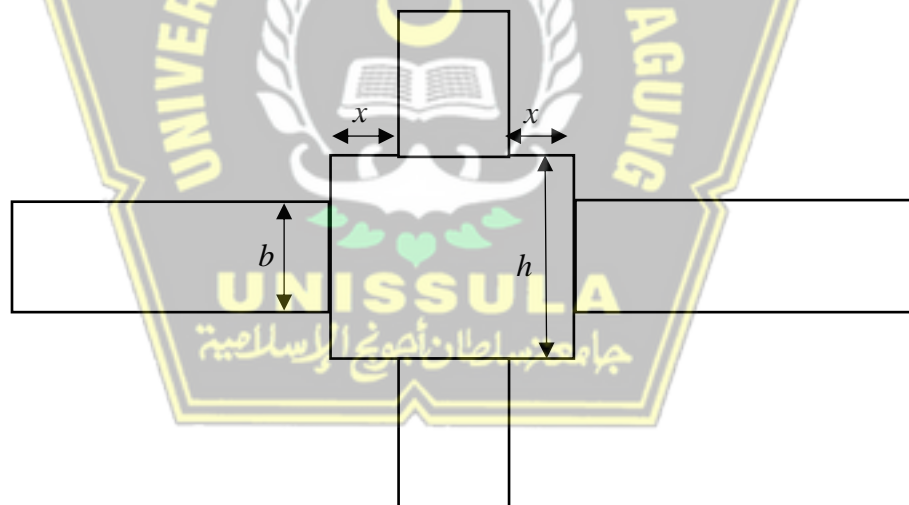
Tabel 4.29 Hasil Perhitungan Penulangan Kolom

| Nama Kolom | Tulangan Longitudinal | Transversal Tumpuan | | Transversal Lapangan | |
|------------|-----------------------|---------------------|------------|----------------------|------------|
| | | Sumbu Lemah | Sumbu Kuat | Sumbu Lemah | Sumbu Kuat |
| K 750x750 | 32D29 | 5D13-100 | 5D13-100 | 5D13-150 | 5D13-150 |
| K 700x700 | 32D29 | 4D13-100 | 4D13-100 | 4D13-150 | 4D13-150 |
| K 550x550 | 24D29 | 4D13-100 | 4D13-100 | 4D13-150 | 4D13-150 |
| K 400x800 | 24D29 | 3D13-100 | 6D13-100 | 3D13-150 | 6D13-150 |
| K 400x700 | 24D29 | 5D13-100 | 6D13-100 | 5D13-150 | 6D13-150 |

4.12 Hubungan Balok-Kolom (*Joint*)

Daerah pada struktur bangunan dimana kolom dan balok bertemu didefinisikan sebagai Hubungan Balok-Kolom (*joint*). *Joint* adalah daerah yang wajib diperhitungkan dengan baik. Pasal 18.8 SNI 2847-2019 mengatur tentang ketentuan untuk *joint*. Berikut adalah beberapa syarat *joint* yang wajib diperhitungkan yaitu :

1. Luas Efektif *Joint*



Gambar 4.23 Tampak Atas *Joint*

$$\begin{aligned}
 \text{Ukuran Balok} &= 400 \times 750 \text{ mm}^2 \\
 \text{Ukuran Kolom} &= 750 \times 750 \text{ mm}^2 \\
 x &= (h - b) / 2 = (750 - 400) / 2 = 175 \text{ mm} \\
 \text{lebar joint } (b_j) &= b + h \leq b + 2x \\
 &= 400 + 750 \leq 400 + 2 \times 175 \\
 &= 1350 \text{ mm} \leq 750 \text{ mm (diambil terkecil yaitu 750 mm)}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tinggi joint } (h_j) = h \text{ kolom} = 750 \text{ mm}$$

$$\text{Cek tinggi joint } (h_j) = 750 \text{ mm} \geq 0,5 \times \text{tinggi balok} = 0,5 \times 750 = 375 \text{ mm}$$

(AMAN)

$$\begin{aligned} \text{Luas joint } (A_j) &= b_j \times h_j \\ &= 750 \times 750 \\ &= 562500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

2. Tulangan Transversal *Joint*

Lebar dari penampang balok yang merangka pada keempat sisi *joint* mempunyai lebar penampang kurang dari tiga perempat lebar penampang kolom yang ditumpu, sehingga tulangan geser dalam *joint* memakai desain tulangan geser pada tumpuan kolom yaitu 5D13-100.

3. Kuat Geser *Joint*

Kekakuan pada kolom dianggap sama, sehingga faktor distribusi yang dipakai sebesar 0,5.

$$M_{pr(+)} \text{ balok} = 508680797 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr(-)} \text{ balok} = 954800715 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_c &= 0,5 \times (M_{pr(+)} \text{ balok} + M_{pr(-)} \text{ balok}) \\ &= 0,5 \times (508680797 + 954800715) \\ &= 731740755 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{sway} &= \frac{2 \times M_c}{L_n \text{ kolom}} \\ &= \frac{2 \times 731740755}{3650} \\ &= 400953,838 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya Pada Tulangan Lentur Balok

Luas tulangan negatif balok menggunakan 8D25 ($A_s = 3926,991 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} T_1 &= 1,25 \times A_s \times f_y \\ &= 1,25 \times 3926,991 \times 320 \\ &= 1570796,4 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan positif balok menggunakan 4D25 ($A_s = 1963,495 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
 T_2 &= 1,25 \times A_s \times f_y \\
 &= 1,25 \times 1963,495 \times 320 \\
 &= 785398 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_j &= T_1 + T_2 - V_{\text{sway}} \\
 &= 1570796,4 + 785398 - 400953,838 \\
 &= 1955240,56 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{nominal}} &= 1,0 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times A_j \\
 &= 1,0 \times 1 \times \sqrt{29} \times 562500 \\
 &= 3029155,21 \text{ N}
 \end{aligned}$$

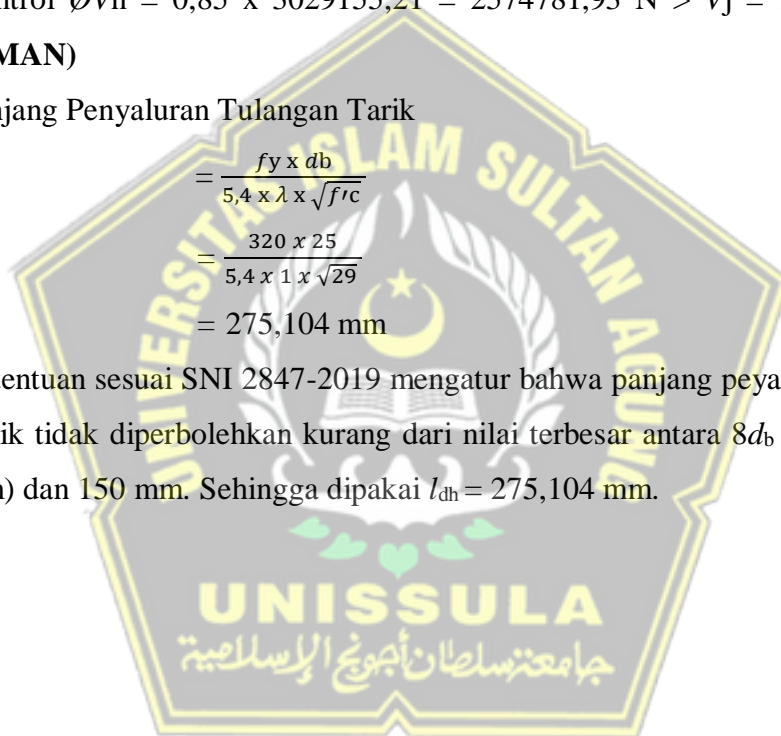
$$\text{Kontrol } \phi V_n = 0,85 \times 3029155,21 = 2574781,93 \text{ N} > V_j = 1955240,56 \text{ N}$$

(AMAN)

Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 l_{dh} &= \frac{f_y \times d_b}{5,4 \times \lambda \times \sqrt{f'_c}} \\
 &= \frac{320 \times 25}{5,4 \times 1 \times \sqrt{29}} \\
 &= 275,104 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Ketentuan sesuai SNI 2847-2019 mengatur bahwa panjang peyaluran tulangan Tarik tidak diperbolehkan kurang dari nilai terbesar antara $8d_b$ ($8 \times 25 = 200$ mm) dan 150 mm. Sehingga dipakai $l_{dh} = 275,104$ mm.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil bahasan dalam bab sebelumnya yang memuat hasil Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung *Head Office Awannngroup* Semarang, maka diperoleh kesimpulan yaitu :

1. Hasil analisis gaya gempa sesuai acuan SNI 1726-2019 dengan bantuan program SAP2000 V22 didapatkan beberapa pengecekan syarat gaya gempa yaitu :
 - a. Pengecekan partisipasi massa bangunan sesuai Pasal 7.9.1.1 SNI 1726-2019 telah terpenuhi pada *modal* 24 dimana nilai *UX*, *UY* dan *RZ* sudah terpenuhi minimal 90% dari total massa struktur.
 - b. Gedung *Head Office Awannngroup* Semarang telah dilakukan kontrol perbandingan gaya geser dasar dinamik sama dengan 100% gaya geser dasar statik dan diperoleh faktor pembesaran skala gaya gempa sumbu X sebesar 2,110 dan faktor pembesaran skala gaya gempa sumbu Y sebesar 1,994 dimana hasil ini sudah sesuai menurut ketentuan Pasal 7.9.1.4.1 SNI 1726-2019.
 - c. Gedung *Head Office Awannngroup* Semarang disimpulkan tidak mengalami ketidakberaturan struktur horizontal dan vertikal menurut ketentuan Pasal 7.3.2 SNI 1726-2019.
 - d. Menurut ketentuan Pasal 7.12.1 SNI 1726-2019 simpangan antar lantai pada Gedung *Head Office Awannngroup* Semarang telah memenuhi kriteria syarat batasan simpangan antar lantai izin.
2. Pembebanan menurut peraturan SNI 1727-2020, SNI 2847-2019 dan SNI 1726-2019 yang digunakan untuk perancangan struktur atas menggunakan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) didapatkan hasil berikut ini :
 - a. Digunakan penulangan D10-200 pada tumpuan dan lapangan pada penulangan pelat lantai dengan ketebalan pelat 120 mm

- b. Penulangan balok yang ditinjau dengan dimensi 400x750 mm dipakai tulangan lentur 8D25 pada tulangan atas daerah tumpuan, tulangan lentur 4D25 pada tulangan bawah daerah tumpuan, tulangan lentur 5D25 pada tulangan atas daerah lapangan, tulangan lentur 4D25 pada tulangan bawah daerah lapangan, tulangan geser 4D10-100 pada daerah tumpuan, tulangan geser 4D10-150 pada daerah lapangan, tulangan torsi 4D13 pada daerah tumpuan dan lapangan
- c. Penulangan kolom yang ditinjau dengan dimensi 750x750 mm dipasang tulangan lentur 32D29, tulangan geser 5D13-100 pada daerah tumpuan dan tulangan geser 5D13-120 pada daerah lapangan.

5.2. Saran

Penyusunan Tugas Akhir ini mempunyai beberapa saran yaitu :

1. Dalam mempermudah dan memperlancar proses penyusunan Tugas Akhir, sebaiknya materi yang berkaitan dipahami terlebih dulu agar tidak terlalu awam dalam proses pengerjaan.
2. Aplikasi bantu seperti SAP 2000 dan spColumn harus dikuasai agar tidak terjadi kesalahan dalam proses perancangan sesuai standar peraturan yang dirujuk.
3. Koordinat atau titik lokasi dari bangunan gedung yang dirancang mempengaruhi besar kecilnya gempa yang terjadi. Karena dalam menentukan gaya gempa penentuan awal dalam koordinat lokasi bangunan sangat berpengaruh terhadap proses perancangan.
4. Dimensi dari elemen struktur harus diperhitungkan dengan baik agar syarat batasan dimensi elemen struktur yang sesuai dengan standar peraturan yang dirujuk dapat terpenuhi.
5. Pemilihan program analisis struktur lebih baik menggunakan ETABS daripada SAP2000 karena program ETABS dirancang secara khusus untuk membantu proses perhitungan analisis struktur bangunan gedung sehingga untuk tampilan dan kelengkapan *tools* lebih mendukung dalam melakukan analisis struktur bangunan gedung.
6. Batasan pada perancangan struktur harus diperhitungkan dengan baik agar

syarat-syarat pada dasar acuan SNI dapat terpenuhi.

7. Proses perhitungan tulangan merupakan salah satu faktor utama dalam perancangan bangunan gedung. Dalam mempermudah proses perhitungan dapat memanfaatkan aplikasi perangkat lunak Microsoft Excel karena dengan aplikasi ini perancang tidak perlu bersusah payah untuk menghitung ulang elemen struktur dengan jenis sama tetapi dimensi penampang yang berbeda.
8. Lakukan pengecekan untuk persentase plagiarisme Tugas Akhir tiap bab setelah diselesaikan. Hal ini dilakukan guna untuk menghindari tingkat persentase plagiarisme yang tinggi ketika dilakukan pengecekan pada semua bab.



DAFTAR PUSTAKA

- Arifah, A. G., & Akbar, M. R. (2017). *Perencanaan Gedung Kuliah Fakultas Teknik Di Malang Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah*. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Candra, T. M., & Wildan, M. (2021). *Redesain Gedung 9 Lantai Menara USM Berdasarkan SNI Perencanaan Tahan Gempa (SNI 1726-2019)*. Semarang. Universitas Islam Sultan Agung.
- Pradika, A.G., Hidayat, A.N., & Ahyar, M.R. (2023). *Desain Struktur Gedung (Studi Kasus Bangunan Rumah Sakit 5 Lantai di Kota Banda Aceh)*. Jurnal Ilmiah Sultan Agung.
- Standar Konstruksi Bangunan Indonesia. (1987). *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*. SKBI-1.3.53.1987. Jakarta. Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Standar Nasional Indonesia. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. SNI 1726-2019. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. SNI 2847-2019. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2020). *Peraturan Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Bangunan Lain*. SNI 1727-2020. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.