

**EVALUASI DESAIN STRUKTUR GEDUNG
KANTOR UPPD MEDAN UTARA**

SKRIPSI

OLEH:

**SALLY VERONIKA R. SITINJAK
228110042**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 19/12/24

Access From (repository.uma.ac.id)19/12/24

EVALUASI DESAIN STRUKTUR GEDUNG KANTOR UPPD MEDAN UTARA

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area



Oleh:

**SALLY VERONIKA R. SITINJAK
228110042**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Evaluasi Desain Struktur Gedung Kantor UPPD Medan Utara
Nama : Sally Veronika R. Sitinjak
NPM : 228110042
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:
Komisi Pembimbing

Samsul A Rahmani Nidki Hasbuan, S.T., M.T

Pembimbing



Sally Veronika R. Sitinjak, S.T., M.T

Penulis Studi

Tanggal Lulus : Agustus 2024

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima saksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan saksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, Agustus 2024



Sally Veronika R. Sitinjak
228110042

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Sally Veronika R. Sitinjak
NPM : 228110042
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non Exclusive Royalty Free-Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : **Evaluasi Desain Struktur Gedung Kantor UPPD Medan Utara**. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan
Pada tanggal : Agustus 2024
Yang menyatakan



(Sally Veronika R. Sitinjak)

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Desa Pakkat Hauagong, Kecamatan Pakkat, Kabupaten Humbang Hasundutan, pada tanggal 27 Januari 2000 dari Ayah Jomson Sitinjak dan Ibu Nuriani Simanullang. Penulis merupakan putri ke 2 dari 8 bersudara. Tahun 2018 Penulis lulus dari SMA Swasta RK Bintang Timur Pematangsiantar. Penulis melanjutkan pendidikan D3 di Politeknik Negeri Medan dan lulus pada tahun 2021. Pada tahun 2022 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area.



KATA PENGANTAR

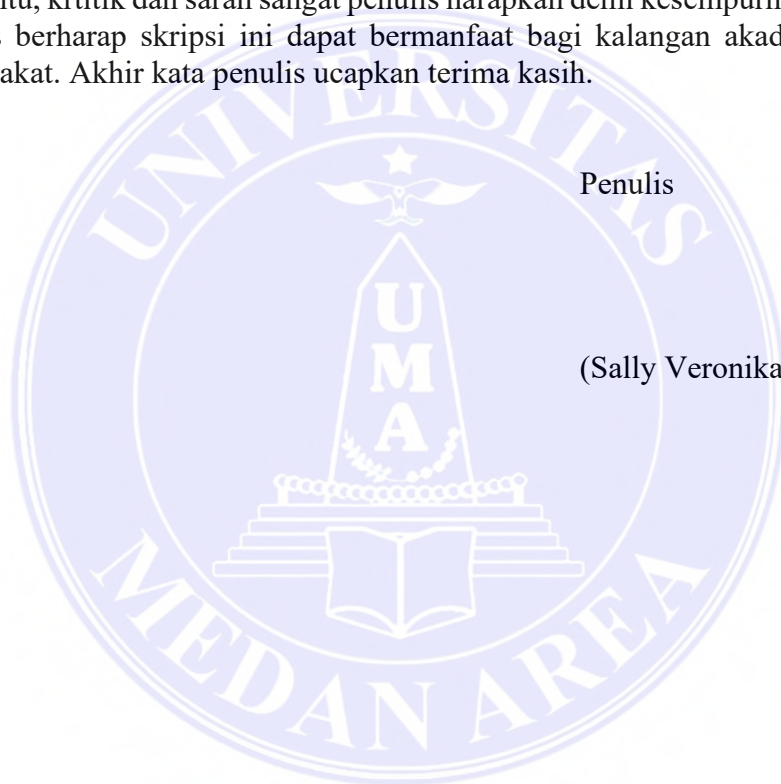
Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang maha kuasa atas segala karunia-Nya sehingga Skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam skripsi ini ialah evaluasi desain struktur dengan judul Evaluasi Desain Struktur Gedung Kantor UPPD Medan Utara.

Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Samsul A Rahman Sidik Hasibuan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dan Ibu Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan saran. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Ayah, Ibu serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kalangan akademik maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis

(Sally Veronika R. Sitinjak)



ABSTRAK

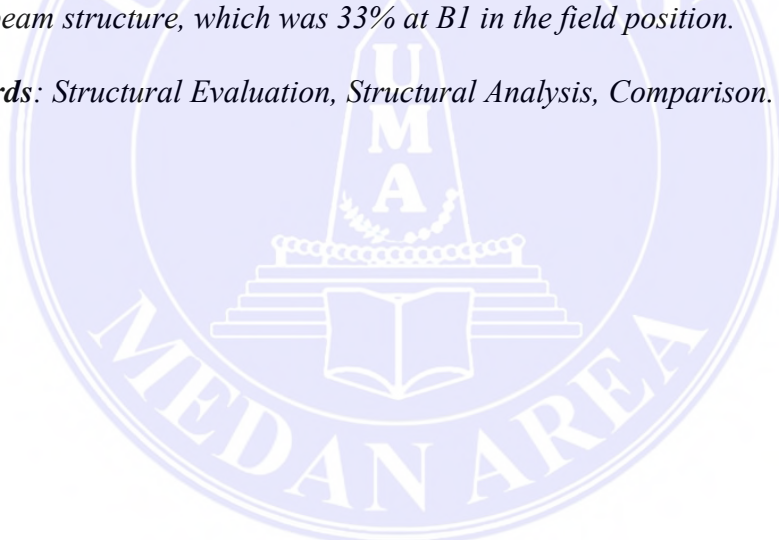
Saat ini Indonesia telah memasuki era pembangunan dimana infrastruktur tersebut semakin lama semakin meningkat dari tahun ke tahun sehingga harus memperhatikan konstruksi pembangunannya. Pada pelaksanaan proses konstruksi bangunan, sering terjadi bahwa desain struktur bangunan tidak mencapai tingkat kualitas yang diharapkan, mengakibatkan potensi risiko keselamatan dan kinerja bangunan yang kurang optimal. Oleh karena itu, penting untuk melakukan evaluasi terhadap desain struktur bangunan untuk mengevaluasi kecukupan, keandalan dan kinerja strukturalnya. Penelitian ini dilakukan pada proyek Pembangunan Gedung Kantor UPPD Medan Utara. Tujuannya adalah untuk mengevaluasi dan membandingkan hasil desain struktur kolom, balok dan pelat lantai dengan perencanaan awal desain struktur kolom, balok dan pelat lantai. Evaluasi desain struktur ini dilaksanakan dengan melakukan perhitungan ulang berdasarkan kriteria SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019 dan pemodelan struktur menggunakan aplikasi program SAP 2000. Penelitian ini terdiri dari lima tahap yaitu pengumpulan data, analisis pembebanan menggunakan SAP 2000, merekap hasil gaya dalam, analisis perhitungan struktur dan membandingkan hasil desain dengan perencanaan awal. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya perbedaan antara hasil desain dengan perencanaan awal, perbedaan paling signifikan terjadi pada struktur balok yaitu sebesar 33% pada B1 di posisi lapangan.

Kata Kunci: Evaluasi Struktur, Analisis Struktur, Perbandingan.

ABSTRACT

Currently, Indonesia has entered the era of development where the infrastructure is increasing from year to year so that it must pay attention to its construction development. In the implementation of the building construction process, it often happens that the design of building structures does not reach the expected level of quality, resulting in potential safety risks and suboptimal building performance. Therefore, it is important to evaluate the design of the building structure to evaluate its adequacy, reliability and structural performance. This research was conducted on the UPPD North Medan Office Building Construction project. The purpose is to evaluate and compare the results of the design of column, beam and floor plate structures with the initial planning of the design of column, beam and floor slab structures. The evaluation of this structure design was carried out by recalculating based on the criteria of SNI 1726: 2019 and SNI 2847: 2019 and structural modeling using the SAP 2000 program application. This research consists of five stages, namely data collection, loading analysis using SAP 2000, recapping the results of deep forces, analyzing structural calculations and comparing design results with initial planning. The results of this study showed a difference between the design results and the initial planning, the most significant difference occurred in the beam structure, which was 33% at B1 in the field position.

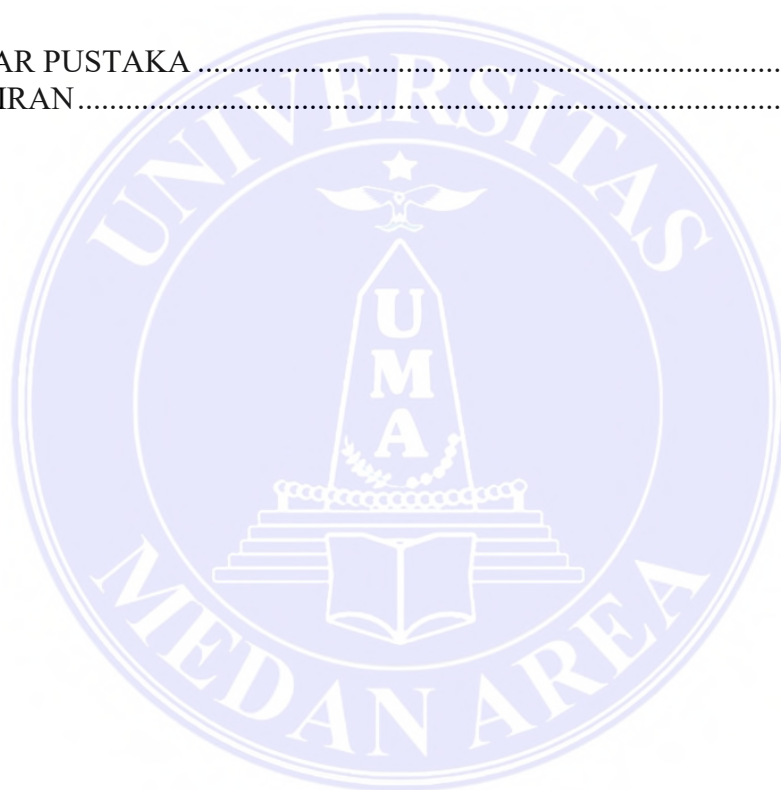
Keywords: Structural Evaluation, Structural Analysis, Comparison.



DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|---------|
| COVER..... | i |
| HALAMAN JUDUL..... | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | iii |
| HALAMAN PERNYATAAN..... | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI..... | v |
| SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS..... | v |
| RIWAYAT HIDUP..... | vi |
| KATA PENGANTAR..... | vii |
| ABSTRAK..... | viii |
| <i>ABSTRACT</i> | ix |
| DAFTAR ISI..... | x |
| DAFTAR TABEL..... | xii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiv |
| DAFTAR NOTASI..... | xv |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xviii |
| | |
| BAB I. PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 2 |
| 1.4 Batasan Penelitian..... | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 3 |
| | |
| BAB II. TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Konsep Dasar Evaluasi dan Perbandingan Hasil Desain Struktur Bangunan..... | 5 |
| 2.2 Studi Terdahulu Tentang Evaluasi Desain Struktur..... | 7 |
| 2.3 Perbedaan Dengan Peneliti Terdahulu..... | 10 |
| 2.4 Pembebanan Pada Gedung..... | 11 |
| 2.5 Analisis Beban Gempa..... | 14 |
| 2.6 Tulangan..... | 28 |
| 2.7 Kombinasi Pembebanan Menggunakan SAP 2000..... | 30 |
| 2.8 Analisis Struktur Kolom..... | 31 |
| 2.9 Analisis Struktur Balok..... | 35 |
| 2.10 Analisis Struktur Pelat Lantai..... | 41 |
| | |
| BAB III. METODOLOGI PENELITIAN..... | 44 |
| 3.1 Deskripsi Penelitian..... | 44 |

| | |
|------------------------------------|-----|
| 3.2 Tahapan Penelitian | 45 |
| 3.3 Data Struktur Gedung | 47 |
| 3.4 Metode Analisis Data | 49 |
| | |
| BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN | 64 |
| 4.1 Hasil | 64 |
| 4.2 Pembahasan..... | 102 |
| | |
| BAB V. SIMPULAN DAN SARAN..... | 107 |
| 5.1 Simpulan | 107 |
| 5.2 Saran..... | 108 |
| | |
| DAFTAR PUSTAKA | 109 |
| LAMPIRAN | 111 |



DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|--|---------|
| Tabel 1. Perbedaan dengan peneliti terdahulu | 10 |
| Tabel 2. Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung | 11 |
| Tabel 3. Beban hidup pada lantai gedung | 13 |
| Tabel 4. Klasifikasi situs | 15 |
| Tabel 5. Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa | 16 |
| Tabel 6. Faktor keutamaan gempa | 17 |
| Tabel 7. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek | 19 |
| Tabel 8. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik | 19 |
| Tabel 9. Koefisien situs, F_a | 19 |
| Tabel 10. Koefisien situs, F_v | 20 |
| Tabel 11. Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik | 22 |
| Tabel 12. Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung | 25 |
| Tabel 13. Nilai parameter periode pendekatan C_i dan x | 25 |
| Tabel 14. Ukuran baja tulangan polos | 29 |
| Tabel 15. Ukuran baja tulangan beton sirip/ulir | 29 |
| Tabel 16. Dimensi kolom | 49 |
| Tabel 17. Dimensi balok | 49 |
| Tabel 18. Dimensi pelat | 49 |
| Tabel 19. Beban mati pelat lantai 1-5 | 50 |
| Tabel 20. Beban mati tambahan pada atap | 50 |
| Tabel 21. Beban mati tambahan dinding pada balok | 50 |
| Tabel 22. Hasil perhitungan berat bangunan..... | 51 |
| Tabel 23. Hasil Pengujian Sondir | 51 |
| Tabel 24. Tabel distribusi gaya gempa statik ekuivalen | 57 |
| Tabel 25. <i>Output gaya</i> dalam kolom | 64 |
| Tabel 26. Tabel nilai M_n dan P_n | 71 |
| Tabel 27. Hasil perhitungan struktur kolom | 77 |
| Tabel 28. <i>Output gaya</i> dalam balok | 78 |
| Tabel 29. Hasil perhitungan struktur balok..... | 93 |
| Tabel 30. <i>Output gaya</i> dalam pelat lantai | 93 |
| Tabel 31. Hasil perhitungan pelat lantai | 100 |
| Tabel 32. Perbandingan perencanaan awal dengan hasil desain pada struktur kolom | 100 |
| Tabel 33. Perbandingan perencanaan awal dengan hasil desain pada struktur balok..... | 101 |
| Tabel 34. Perbandingan perencanaan awal dengan hasil desain pada pelat lantai..... | 101 |
| Tabel 35. Perbedaan detail penulangan kolom pada perencanaan awal dengan hasil desain | 101 |
| Tabel 36. Perbedaan detail penulangan balok pada perencanaan awal dengan hasil desain | 102 |

Tabel 37. Perbedaan detail penulangan pelat lantai pada perencanaan awal dengan hasil desain 102



DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 1. Parameter gerak tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 02-detik (redaman kritis 5%) | 18 |
| Gambar 2. Parameter gerak tanah S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 1- detik (redaman kritis 5 %) | 18 |
| Gambar 3. Peta transisi periode panjang, TL, wilayah Indonesia | 23 |
| Gambar 4. Grafik spektrum respons desain | 24 |
| Gambar 5. Penulangan balok | 36 |
| Gambar 6. Rencana penulangan pelat lantai | 42 |
| Gambar 7. Lokasi Penelitian | 44 |
| Gambar 8. Diagram Alir Penelitian | 47 |
| Gambar 9. Respon spektrum rencana | 54 |
| Gambar 10. Menentukan koordinat x, y dan z | 58 |
| Gambar 11. Penginputan jenis material pada SAP 2000 | 58 |
| Gambar 12. Mendefinisikan penampang balok | 59 |
| Gambar 13. Mendefinisikan penampang kolom | 59 |
| Gambar 14. Mendefinisikan penampang pelat | 59 |
| Gambar 15. Perletakan sendi jepit pada struktur | 60 |
| Gambar 16. Nilai periode 1 dan nilai periode 2 | 60 |
| Gambar 17. Penginputan beban mati dan beban hidup | 61 |
| Gambar 18. Klasifikasi diafragma struktur | 61 |
| Gambar 19. Penginputan beban gempa x dan y | 62 |
| Gambar 20. Input kombinasi pembebanan | 62 |
| Gambar 21. Hasil <i>run analysis</i> SAP 2000 | 63 |
| Gambar 22. Diagram interaksi Mn-Pn kolom 1 | 71 |

DAFTAR NOTASI

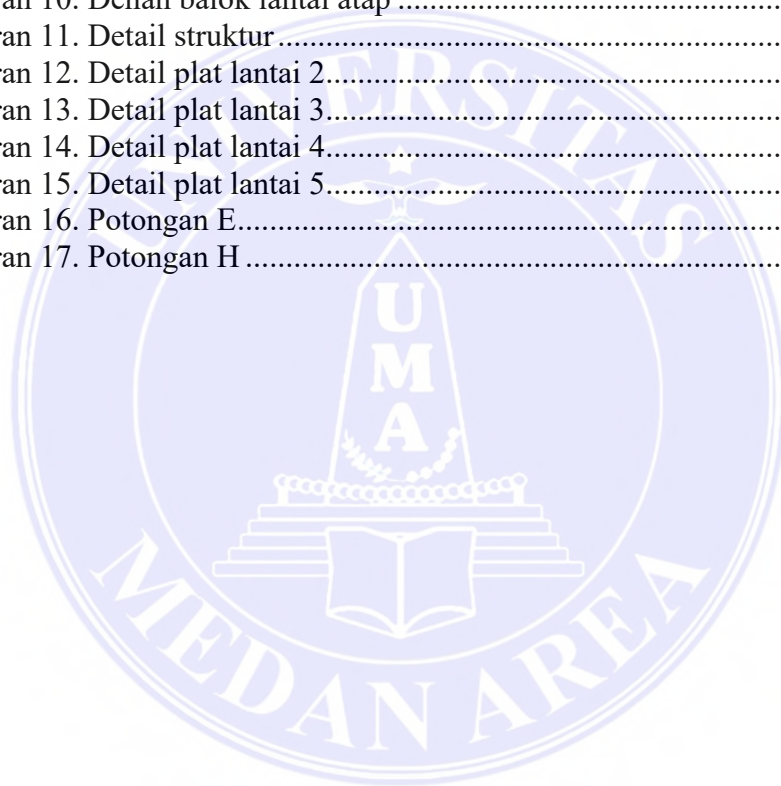
| | | |
|-------------|---|--|
| a | = | Kedalaman blok tegangan |
| A_g | = | Luas total penampang beton |
| a_{max} | = | Kedalaman maksimum blok tegangan |
| A_s | = | Luas penampang tulangan tarik |
| A_{sst} | = | Luas tulangan susut |
| A_{st} | = | Luas total tulangan tekan memanjang |
| A_s' | = | Luas penampang tulangan tekan |
| A_v | = | Luas penampang tulangan geser |
| b | = | Lebar elemen struktur |
| C_b | = | Koefisien momen balok |
| C_c | = | Gaya tekan pada beton |
| C_s | = | Gaya tekan pada baja tulangan |
| d | = | Pusat berat tulangan baja tarik |
| d | = | Tinggi efektif penampang kolom |
| d' | = | Jarak titik berat tulangan ke tepi serat beton |
| d' | = | Pusat berat tulangan baja desak |
| D | = | Diameter tulangan ulir (<i>Deform</i>) |
| D_p | = | Diameter tulangan pokok |
| D_s | = | Diameter tulangan geser |
| d_{perlu} | = | Kedalaman efektif yang diperlukan pada penampang balok |
| D_{desak} | = | Kedalaman balok yang mengalami tekanan |
| D_{tarik} | = | Kedalaman balok yang mengalami tarikan |

| | | |
|----------|---|---|
| E_b | = | Nilai eksentritas pada kondisi seimbang |
| E_s | = | Regangan pada tulangan |
| f'_c | = | Kuat tekan beton |
| f_s | = | Tegangan yang terjadi pada tulangan tarik |
| F_s' | = | Tegangan yang terjadi pada tulangan tekan |
| f_y | = | Tegangan leleh baja tulangan |
| h | = | Tebal pelat |
| h | = | Tinggi elemen struktur |
| L | = | Panjang bentang |
| L_x | = | Panjang bentang arah X |
| L_y | = | Panjang bentang arah Y |
| m | = | Momen lentur pada balok |
| M_e | = | Momen lentur eksternal |
| M_g | = | Momen geser yang dihasilkan oleh gaya-gaya geser |
| M_{lx} | = | Momen lapangan pada arah X |
| M_{ly} | = | Momen lapangan pada arah Y |
| M_n | = | Momen Nominal |
| M_{Pr} | = | Momen lentur yang dihasilkan oleh gaya-gaya prategang |
| M_{tx} | = | Momen tumpuan pada arah X |
| M_{ty} | = | Momen tumpuan pada arah Y |
| M_u | = | Momen ultimit |
| n | = | Jumlah tulangan |
| P_b | = | Selimit beton |
| P_n | = | Kuat tekan nominal penampang |

| | | |
|----------------------|---|---|
| P_u | = | Gaya aksial ultimit |
| R_n | = | Momen reaksi di sisi lain balok |
| R_1 | = | Momen reaksi di satu sisi balok |
| R_2 | = | Momen reaksi di sisi lain balok yang tidak bersentuhan dengan momen reaksi R_1 |
| s | = | Jarak antar tulangan |
| t_s | = | Tebal selimut beton |
| T_s | = | Gaya tarik pada baja tulangan |
| V_c | = | Kapasitas geser beton |
| V_n | = | Kapasitas geser nominal |
| X | = | Kedalaman sumbu |
| X_b | = | Kedalaman sumbu netral |
| V_s | = | Gaya geser maksimum sengkang |
| V_u | = | Gaya geser ultimit |
| \emptyset sengkang | = | Diameter tulangan polos digunakan untuk sengkang |
| β | = | Faktor blok tegangan |
| ϵ_c | = | Regangan pada beton |
| ρ | = | Rasio tulangan |
| ρ_b | = | Rasio tulangan seimbang |
| ρ_{max} | = | Rasio tulangan maksimum |
| ρ_{min} | = | Rasio tulangan minimum |
| ρ_{perlu} | = | Rasio tulangan yang diperlukan |

DAFTAR LAMPIRAN

| | Halaman |
|--|---------|
| Lampiran 1. Denah kolom lantai 1 | 111 |
| Lampiran 2. Denah kolom lantai 2 | 112 |
| Lampiran 3. Denah kolom lantai 3 | 113 |
| Lampiran 4. Denah kolom lantai 4 | 114 |
| Lampiran 5. Denah kolom lantai 5 | 115 |
| Lampiran 6. Denah balok lantai 2 | 116 |
| Lampiran 7. Denah balok lantai 3 | 117 |
| Lampiran 8. Denah balok lantai 4 | 118 |
| Lampiran 9. Denah balok lantai 5 | 119 |
| Lampiran 10. Denah balok lantai atap | 120 |
| Lampiran 11. Detail struktur | 121 |
| Lampiran 12. Detail plat lantai 2 | 122 |
| Lampiran 13. Detail plat lantai 3 | 123 |
| Lampiran 14. Detail plat lantai 4 | 124 |
| Lampiran 15. Detail plat lantai 5 | 125 |
| Lampiran 16. Potongan E | 126 |
| Lampiran 17. Potongan H | 127 |



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perencanaan sebuah konstruksi bangunan merupakan sebuah tahap yang kritis dimana setiap bagian yang direncanakan harus diperhatikan dengan teliti serta memperhitungkan setiap kemungkinan yang akan terjadi (Ginting, 2022). Saat ini Indonesia telah memasuki era pembangunan termasuk dalam sektor infrastruktur, dimana infrastruktur tersebut semakin lama semakin meningkat dari tahun ke tahun sehingga harus memperhatikan konstruksi pembangunannya (Salamah, 2022). Untuk itu diperlukan perencanaan yang tepat agar struktur tersebut mampu mencapai kekuatan yang diharapkan agar tidak melebihi batas keamanan yang ada (Lubis, 2021).

Daerah Sumatera Utara merupakan salah satu daerah yang mengalami perkembangan dalam sektor infrastruktur yang harus diperhatikan konstruksi pembangunannya. Keberhasilan sebuah konstruksi bangunan tidak hanya ditentukan oleh tahap perencanaan dan pembangunan fisik, tetapi juga ditentukan oleh kualitas desain struktur yang mendasarinya. Desain struktur yang baik diperlukan untuk memastikan keamanan, keandalan, dan kinerja struktural bangunan dalam menghadapi berbagai beban eksternal seperti gravitasi, angin, dan gempa bumi (Anggreini, 2020).

Pada pelaksanaan proses konstruksi bangunan, sering terjadi bahwa desain struktur bangunan tidak mencapai tingkat kualitas yang diharapkan, mengakibatkan potensi risiko keselamatan dan kinerja bangunan yang kurang optimal. Oleh karena itu, penting untuk melakukan evaluasi terhadap desain struktur bangunan untuk

mengevaluasi kecukupan, keandalan, dan kinerja strukturalnya. Evaluasi ini dapat membantu mendeteksi potensi kelemahan atau kerentanan dalam desain yang mungkin terlewatkan selama proses perencanaan (Kadir, 2017). Maka perlu dilakukan evaluasi desain struktur pada Gedung Kantor UPPD Medan Utara.

Hal yang mendasari perhitungan evaluasi desain struktur gedung ini adalah peraturan-peraturan dan persyaratan yang akan digunakan harus sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) (Salamah, 2022). Kriteria SNI yang digunakan yaitu SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung. Pelaksanaan evaluasi desain struktur ini dilakukan dengan menggunakan program SAP (*Structural Analysis Program*) 2000.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana desain struktur kolom, balok dan pelat lantai pada bangunan Gedung Kantor UPPD Medan Utara?
2. Bagaimana perbandingan hasil desain struktur kolom, balok dan pelat lantai dengan perencanaan awal desain struktur kolom, balok dan pelat lantai?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini, yaitu:

1. Mengevaluasi desain struktur kolom, balok dan pelat lantai pada bangunan Gedung Kantor UPPD Medan Utara.
2. Membandingkan hasil desain struktur kolom, balok dan pelat lantai dengan perencanaan awal desain struktur kolom, balok dan pelat lantai.

1.4 Batasan Penelitian

Adapun batasan pada penelitian ini, yaitu :

1. Gedung yang akan diteliti berfungsi sebagai tempat parkir kendaraan kantor berupa mobil minibus dan sepeda motor. Gedung ini terdiri dari 5 lantai.
2. Perhitungan pembebanan pada bangunan, antara lain:
 - a. Beban mati (berat sendiri struktur)
 - b. Beban hidup (dengan kriteria SNI 1727:2020)
 - c. Beban gempa (dengan kriteria SNI 1726:2019)
 - d. Peraturan pembebanan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983
3. Pengolahan data dan kombinasi pembebanan menggunakan bantuan program SAP 2000.
4. Perhitungan analisis struktur kolom, balok dan pelat lantai dengan menggunakan kriteria SNI 2847:2019.
5. Kolom yang akan ditinjau oleh penulis yaitu K1 (50 cm x 80 cm), K2 (50 cm x 70 cm), K3 (50 cm x 50 cm) dan K4 (40x40 cm).
6. Balok yang akan ditinjau oleh penulis yaitu B1 (40 cm x 75 cm) dan B2 (30 cm x 50 cm).
7. Pelat lantai yang akan ditinjau oleh penulis yaitu pelat lantai dengan tebal 15 cm.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini yaitu:

1. Memahami perhitungan pembebanan, pengolahan data dan kombinasi pembebanan struktur menggunakan program SAP 2000.

2. Memahami perhitungan struktur kolom, balok dan pelat lantai pada bangunan dengan menggunakan kriteria SNI 2847:2019.
3. Mengetahui kekuatan desain struktur serta mengetahui pentingnya perencanaan pada suatu struktur bangunan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Dasar Evaluasi dan Perbandingan Hasil Desain Struktur Bangunan

Evaluasi desain struktur merupakan salah satu proses yang penting yang melibatkan penilaian menyeluruh terhadap desain struktur bangunan gedung untuk memastikan kualitas, keamanan, dan keandalan struktural yang optimal. Konsep dasar dalam evaluasi desain dan perbandingan hasil desain struktur bangunan mencakup beberapa aspek yang perlu dipertimbangkan untuk memastikan bahwa suatu bangunan gedung telah memenuhi persyaratan kualitas, keamanan dan keandalan. Beberapa konsep dasar yang dimaksud yaitu:

1. Analisis kekuatan dan stabilitas

Evaluasi harus dilakukan secara menyeluruh terhadap kekuatan dan stabilitas struktur dengan tujuan untuk memastikan bahwa struktur dapat menahan semua beban dengan aman dan stabil. Hal yang termasuk dalam analisis ini yaitu memperhitungkan beban gravitasi, beban angin, beban gempa dan gaya eksternal lainnya.

2. Kualitas dan kepatuhan

Evaluasi harus memastikan hasil desain struktur harus memenuhi standar kualitas yang ditetapkan dalam pada peraturan perencanaan struktur yang berlaku, persyaratan kekuatan, stabilitas dan kinerja struktur.

3. Efisiensi struktural

Evaluasi ini mencakup penilaian terhadap distribusi beban dan pemilihan elemen struktur yang optimal untuk meminimalkan penggunaan material serta memastikan kinerja struktur yang memadai

4. Keselamatan dan keandalan

Struktur yang dirancang harus memenuhi tingkat keselamatan yang memadai untuk mengurangi risiko kegagalan struktur. Evaluasi ini melibatkan penggunaan faktor keamanan yang memadai.

Beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas hasil evaluasi desain struktur bangunan gedung, antara lain:

1. Pemahaman terhadap lingkungan operasional

Pemahaman yang dimaksud yaitu pemahaman tentang beban gravitasi, beban angin, beban gempa, dan kondisi lingkungan local. Pemahaman ini akan mempengaruhi hasil evaluasi desain struktur.

2. Kesesuaian terhadap kode dan standar

Kualitas evaluasi sangat dipengaruhi oleh faktor sejauh mana desain struktur mematuhi persyaratan yang ditetapkan pada kode bangunan dan standar persyaratan yang berlaku.

3. Kualitas model struktur

Model yang akurat dan representatif terhadap perilaku nyata struktur akan menghasilkan hasil desain yang lebih valid dan dapat diandalkan.

4. Penggunaan faktor keamanan yang tepat

Penggunaan faktor keamanan yang terlalu konservatif atau tidak konservatif akan menghasilkan estimasi yang tidak akurat tentang kinerja struktur.

Dengan mempertimbangkan faktor-faktor di atas, kualitas hasil evaluasi desain struktur bangunan gedung dapat ditingkatkan. Hal tersebut dilakukan untuk memastikan keamanan, keandalan, dan efisiensi ekonomi dari struktur yang dirancang.

2.2 Studi Terdahulu Tentang Evaluasi Desain Struktur

Beberapa penelitian oleh peneliti terdahulu yang berkaitan dengan evaluasi struktur bangunan gedung, antara lain:

1. Kadir, 2017 dengan judul penelitian Evaluasi Desain Struktur Gedung Training Centre II Universitas Diponegoro. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui desain struktur gedung tersebut mengalami *overdesign* atau memiliki volume desain dari standar yang berlaku. Analisis pembebanan dan pemodelan struktur menggunakan program SAP 2000 dan menggunakan kriteria SNI 1727-2013 dan SNI 1726-2013. Analisis struktur menggunakan kriteria SNI 2847-2013. Struktur yang ditinjau yaitu struktur atas (kolom, balok, pelat lantai) dan struktur bawah (pondasi). Hasil evaluasi desain struktur diperoleh bahwa terjadi perbedaan volume hasil perhitungan desain struktur hasil evaluasi dengan desain struktur eksisting yang ada pada data perencanaan dan *As Built Drawing* Gedung Training Centre II Universitas Diponegoro. Desain eksisting menunjukkan volume yang cenderung lebih banyak dari volume hasil evaluasi. Sehingga dapat diambil kesimpulan desain eksisting mengalami *overdesign*. Perbedaan volume tulangan paling signifikan terjadi pada struktur kolom. pada struktur kolom berdasarkan evaluasi pada titik kolom 700x700 seharusnya memiliki nilai gaya momen dan aksial yang lebih kecil dibandingkan 700x900.
2. Anggreini, 2019 dengan judul penelitian Evaluasi Desain Struktur Balok dan Kolom Gedung Sekolah MTs Darul Ulum Kab. Kotabaru Dengan SNI 2847-2019. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi desain struktur balok dan kolom pada bangunan Gedung Sekolah MTs Darul Ulum

Kab. Kotabaru dan membandingkan hasil evaluasi dengan perencanaan awal desain struktur balok dan kolom. Analisis pembebanan dan pemodelan struktur menggunakan *software* SAP 2000 dengan mengacu pada SNI 1726-2019 dan SNI 2847-2019. Hasil penelitian ini disimpulkan bahwa terdapat perbedaan desain tulangan balok dan kolom yang sudah dievaluasi dengan perencanaan awal, karena setelah dilakukan evaluasi jumlah tulangan yang digunakan menjadi sedikit. Balok 20/40, perencanaan awal digunakan tulangan tarik 4D16, tulangan tekan 2D16 dan tulangan pembantu 2D12 dengan sengkang Ø10-100 pada tumpuan dan lapangan, setelah dievaluasi digunakan tulangan tarik 3D16 dan tulangan tekan 2D16 pada tumpuan dan lapangan dengan tulangan sengkang Ø10-150 pada tumpuan dan Ø10-200 pada lapangan. Kolom 25/25, perencanaan awal menggunakan tulangan 4D12 dan 4D16 dengan tulangan sengkang Ø10-150, setelah dievaluasi digunakan tulangan 4D16 dengan tulangan sengkang Ø10-250. Kolom 20/20, perencanaan awal menggunakan tulangan 4D12 dan 4D16 dengan tulangan sengkang Ø10-150, setelah dievaluasi digunakan tulangan 4D16 dengan tulangan sengkang Ø10-200.

3. Lubis, 2021 dengan judul penelitian Kajian Desain Struktur Balok Pada Gedung Bertingkat Berdasarkan SNI 2847-2013 pada Gedung Menara BRI Medan. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi desain struktur balok berdasarkan SNI 2847-2013 dan membandingkan hasil evaluasi dengan perencanaan awal desain struktur balok. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu menganalisis serta mengevaluasi desain struktur balok menggunakan SAP 2000 dengan mengacu pada SNI 2847-2013. Hasil dari

evaluasi perhitungan analisa balok jumlah tulangan tarik 14D25 dan 4D25 serta tulangan tekan 12D25 telah dapat memikul beban pada balok, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil dari perencanaan telah memenuhi syarat.

4. Ginting, 2022 dengan judul penelitian Evaluasi Struktur Atas Pada Gedung Living Plaza Cemara Asri Medan. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi struktur atas gedung berupa kolom, balok, pelat lantai, dan tangga. Analisis kombinasi pembebanan dan pemodelan struktur menggunakan SAP 2000 dengan mengacu pada SNI 1726-2012 dan SNI 2847-2013. Hasil dari penelitian ini terdapat perbedaan hasil perhitungan evaluasi dengan hasil perhitungan perencanaan. Struktur kolom pada perencanaan awal memiliki tulangan pokok 24D25 dengan tulangan sengkang tumpuan $4\emptyset 13-100$ dan lapangan $4\emptyset 13-100$ sedangkan hasil evaluasi kolom memiliki tulangan pokok 24D25 dengan tulangan sengkang tumpuan $4\emptyset 13-100$ dan sengkang lapangan $4\emptyset 13-150$. Struktur balok pada perencanaan awal memiliki tulangan tekan tumpuan 9D22, tulangan tarik tumpuan 6D22, tulangan sengkang tumpuan $\emptyset 10-100$, tulangan tekan lapangan 4D22, tulangan tarik lapangan 8D22, tulangan sengkang lapangan $\emptyset 10-100$ sedangkan hasil evaluasi balok memiliki tulangan tekan tumpuan 9D22, tulangan tarik tumpuan 6D22, tulangan sengkang tumpuan $\emptyset 13-100$, tulangan tekan lapangan 4D22, tulangan tarik lapangan 8D22, tulangan sengkang lapangan $\emptyset 13-100$. Struktur tangga pada perencanaan awal memiliki tulangan tumpuan dan lapangan 3D16 dengan tulangan sengkang $D10-200$ sedangkan hasil evaluasi tangga memiliki tulangan tumpuan dan lapangan 2D13 dengan tulangan sengkang $\emptyset 10-150$.

2.3 Perbedaan Dengan Peneliti Terdahulu

Perbedaan penelitian oleh peneliti terdahulu dengan penelitian oleh penulis, ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbedaan dengan peneliti terdahulu

| No | Nama Peneliti dan Tahun Penelitian | Judul Jurnal | Perbedaan |
|----|------------------------------------|--|---|
| 1 | Kadir, 2017 | Evaluasi Desain Struktur Gedung Training Centre II Universitas Diponegoro | <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria yang digunakan SNI 1726:2012 dan SNI 2847:2013 sedangkan penulis menggunakan kriteria SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019. 2. Objek yang diteliti adalah gedung universitas dengan kriteria 9 lantai sedangkan penulis meneliti gedung parkir dengan kriteria 5 lantai. |
| 2 | Anggreini, 2019 | Evaluasi Desain Struktur Balok dan Kolom Gedung Sekolah MTS Darul Ulum Kab. Kotabaru Dengan SNI 2847:2019 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Objek yang diteliti adalah gedung sekolah dengan kriteria 2 lantai dan 1 lantai dasar sedangkan penulis meneliti gedung parkir dengan kriteria 5 lantai. |
| 3 | Lubis, 2021 | Kajian Desain Struktur Balok Pada Gedung Bertingkat Berdasarkan SNI 2847-2013 pada Gedung Menara BRI Medan | <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria yang digunakan SNI 2847:2013 sedangkan penulis menggunakan kriteria SNI 2847:2019. 2. Objek yang diteliti adalah gedung kantor dengan kriteria 12 lantai dan basement 2 lantai sedangkan penulis meneliti gedung parkir dengan kriteria 5 lantai. |
| 4 | Ginting, 2022 | Evaluasi Struktur Atas Pada Gedung Living Plaza Cemara Asri Medan | <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria yang digunakan SNI 2847:2013 dan SNI 1726:2012 sedangkan penulis menggunakan kriteria SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019. 2. Objek yang diteliti adalah gedung perbelanjaan dengan kriteria 5 lantai dan basement 4 lantai sedangkan penulis meneliti gedung parkir dengan kriteria 5 lantai. |

2.4 Pembebanan Pada Gedung

Berdasarkan SNI 2847:2019, beban adalah gaya atau aksi lain yang dihasilkan dari berat seluruh bahan bangunan, penghunian dan benda-bendanya, efek lingkungan, pergerakan sebagian (*differential movement*), dan perubahan dimensi yang terkendali. Dalam perencanaan suatu struktur bangunan harus memenuhi peraturan-peraturan pembebanan yang berlaku agar memperoleh suatu struktur bangunan yang mampu menahan beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut dan memperoleh struktur bangunan yang aman secara konstruksi (Ginting, 2022). Jenis-jenis beban yang bekerja pada suatu struktur bangunan yaitu beban mati, beban hidup dan beban gempa.

2.4.1 Beban mati

Menurut Perencanaan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983, beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu. Berat sendiri dari bahan-bahan bangunan dan beberapa komponen gedung harus ditinjau untuk menentukan beban mati dari suatu gedung. Nilai berat jenis setiap komponen bahan bangunan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung (PPIUG 1983)

| Bahan Bangunan | Berat Jenis |
|---|------------------------|
| Baja | 7850 kg/m ³ |
| Batu alam | 2600 kg/m ³ |
| Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk) | 1500 kg/m ³ |
| Batu karang (berat tumpuk) | 700 kg/m ³ |
| Batu pecah | 1450 kg/m ³ |
| Besi tuang | 7250 kg/m ³ |
| Beton ⁽¹⁾ | 2200 kg/m ³ |
| Beton bertulang ⁽²⁾ | 2400 kg/m ³ |
| Kayu (Kelas I) ⁽³⁾ | 1000 kg/m ³ |
| Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak) | 1650 kg/m ³ |

Lanjutan - Tabel 2. Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung (PPIUG 1983)

| Bahan Bangunan | Berat Jenis |
|---|-------------------------|
| Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak) | 1650 kg/m ³ |
| Pasangan bata merah | 1700 kg/m ³ |
| Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung | 2200 kg/m ³ |
| Pasangan batu cetak | 2200 kg/m ³ |
| Pasangan batu karang | 1450 kg/m ³ |
| Pasir (kering udara sampai lembab) | 1600 kg/m ³ |
| Pasir (jenuh air) | 1800 kg/m ³ |
| Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab) | 1850 kg/m ³ |
| Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab) | 1700 kg/m ³ |
| Tanah, lempung dan lanau (basah) | 2000 kg/m ³ |
| Timah hitam (timbel) | 11400 kg/m ³ |
| Komponen Gedung | |
| Adukan per cm tebal: | |
| – dari semen | 21 kg/m ² |
| – dari kapur, semen merah atau tras | 17 kg/m ² |
| Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal | 14 kg/m ² |
| Dinding pasangan bata merah: | |
| – satu bata | 450 kg/m ² |
| – setengah batu | 250 kg/m ² |
| Dinding pasangan batako: | |
| Berlubang: | |
| – tebal dinding 20 cm (HB 20) | 200 kg/m ² |
| – tebal dinding 10 cm (HB 10) | 120 kg/m ² |
| Tanpa lubang: | |
| – tebal dinding 15 cm | 300 kg/m ² |
| – tebal dinding 10 cm | 200 kg/m ² |
| Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari: | |
| – semen asbes (eternity dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm | 11 kg/m ² |
| – kaca, dengan tebal 3-4 mm | 10 kg/m ² |
| Lantau kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ² | 40 kg/m ² |
| Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s minimum 0,80 m | 7 kg/m ² |
| Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap | 50 kg/m ² |
| Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap | 40 kg/m ² |
| Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gordeng | 10 kg/m ² |
| Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal | 24 kg/m ² |
| Semen asbes gelombang (tebal 5 mm) | 11 kg/m ² |

2.4.2 Beban hidup

Menurut Perencanaan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983, beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Berdasarkan PPIUG 1983, beban hidup pada atap harus diambil minimum sebesar 100 kg/m^2 pada bidang datar. Khusus pada atap ke dalam beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air. Nilai berat jenis setiap komponen beban hidup pada lantai gedung harus diambil berdasarkan Tabel 3.

Tabel 3. Beban hidup pada lantai gedung (PPIUG 1983)

| Beban hidup pada lantai gedung | Berat jenis |
|---|---------------------|
| Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuaiki yang disebut dalam b | 200 kg/m^2 |
| Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel | 125 kg/m^2 |
| Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit | 250 kg/m^2 |
| Lantai ruang olah raga | 400 kg/m^2 |
| Lantai ruang dansa | 500 kg/m^2 |
| Lantai dan balkon-dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain daripada yang disebut dalam a s/d e, seperti masjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap | 400 kg/m^2 |
| Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri | 500 kg/m^2 |
| Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam c | 300 kg/m^2 |
| Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam d, e, f, dan g | 500 kg/m^2 |
| Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam c, d, e, f dan g | 250 kg/m^2 |
| Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum | 300 kg/m^2 |

Lanjutan - Tabel 3. Beban hidup pada lantai gedung (PPIUG 1983)

| Beban hidup pada lantai gedung | Berat jenis |
|---|-----------------------|
| Lantai untuk: pabrik, bengkel, Gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri, dengan minimum | 400 kg/m ² |
| Lantai gedung parkir bertingkat: | |
| – Untuk lantai bawah | 800 kg/m ² |
| – Untuk lantai tingkat lainnya | 400 kg/m ² |

2.4.3 Beban gempa

Menurut Perencanaan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983, beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Analisis statik terdiri dari metode analisis statik ekuivalen dan analisis statik pushover, analisis perancangan struktur bangunan terhadap pengaruh beban gempa secara statik pada prinsipnya adalah menggantikan gaya-gaya horizontal yang bekerja pada struktur bangunan akibat pengaruh pergerakan tanah yang diakibatkan gempa dengan gaya-gaya statik yang ekuivalen (Halimatusadiyah, 2016).

2.5 Analisis Beban Gempa

Menurut Noor (2005), gempa bumi adalah getaran bumi yang terjadi sebagai akibat dari terlepasnya energi yang terkumpul secara tiba-tiba dalam batuan yang mengalami deformasi. Bergetarnya bumi akan menjalar dalam bentuk gelombang yang akan menyebabkan permukaan bumi dan bangunan bergetar. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu. Analisis beban gempa menggunakan kriteria SNI 2847-2019 tentang Tata Cara Perencanaan

Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

2.5.1 Kelas situs

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasi sebagai kelas situs SA, SB, SC, SD, SE atau SF mengikuti Tabel 4. Tujuan prosedur klasifikasi situs yaitu untuk memberikan kriteria desain seismik dalam suatu bangunan di permukaan tanah atau untuk menentukan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs.

Tabel 4. Klasifikasi situs (SNI 1726-2019)

| Kelas situs | \bar{V}_s (m/detik) | \bar{N} atau \bar{N}_{ch} | \bar{s}_u (kPa) |
|--|---|-------------------------------|-------------------|
| SA (batuan keras) | >1500 | N/A | N/A |
| SB (batuan) | 750-1500 | N/A | N/A |
| SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak) | 350-750 | >50 | ≥ 100 |
| SD (tanah sedang) | 175-350 | 15-50 | 50-100 |
| 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 6.10.1) | 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 $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa | | |

2.5.2 Kategori risiko

Terdapat berbagai kategori risiko struktur gedung dan non gedung untuk beban gempa yang harus disesuaikan dengan peraturan SNI. Nilai kategori risiko pada sebuah gedung harus sesuai dengan manfaat gedung tersebut. Hal ini dapat diambil berdasarkan Tabel 5.

Tabel 5. Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (SNI 1726:2019)

| Jenis Pemanfaatan | Kategori Risiko |
|---|-------------------------------|
| <p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan – Fasilitas sementara – Gedung penyimpanan – Rumah jaga dan struktur kecil lainnya. <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/mall – Bangunan industri – Fasilitas manufaktur – Pabrik <p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Bioskop – Gedung pertemuan – Stadion – Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat – Fasilitas penitipan anak – Penjara – Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk ke dalam 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 non gedung yang tidak termasuk dalam kategoririsikoIV, (termasuk, tetapi tidak dibatasiuntuk manu faktur,proses, penanganan, penyimpanan,penggunaanatau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya</p> | <p>I</p> <p>II</p> <p>III</p> |

Lanjutan – Tabel 5. Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (SNI 1726:2019)

| Jenis Pemanfaatan | Kategori Risiko |
|---|-----------------|
| atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang diisyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran. Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: | IV |
| – Bangunan-bangunan monumental | |
| – Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan | |
| – Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat | |
| – Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat | |
| – Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, 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 satasiun 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 daurat. | |
| Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV. | |

Berdasarkan peraturan SNI tentang beban gempa, penentuan faktor keutamaan gempa ditentukan berdasarkan Tabel 6.

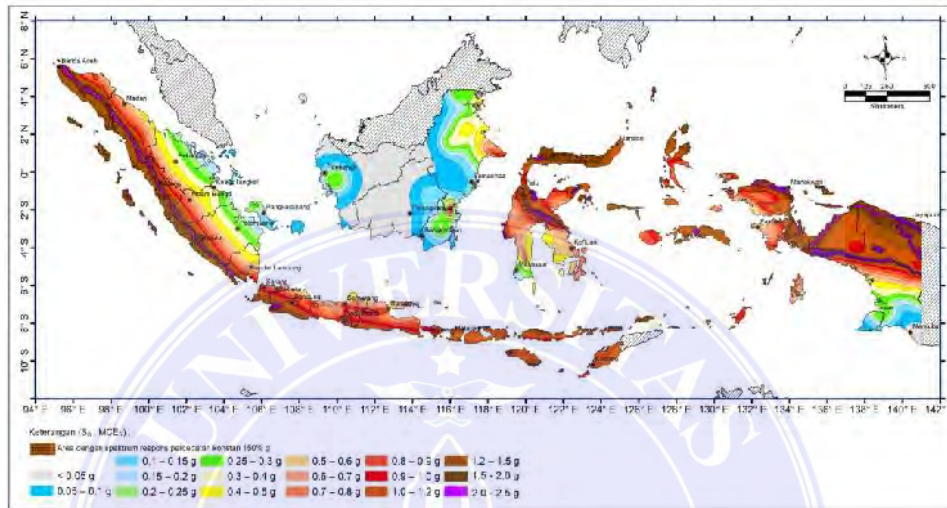
Tabel 6. Faktor keutamaan gempa (SNI 1726:2019)

| Kategori Risiko | Faktor Keutamaan Gempa, Ie |
|-----------------|----------------------------|
| I atau II | 1,0 |
| III | 1,25 |
| IV | 1,50 |

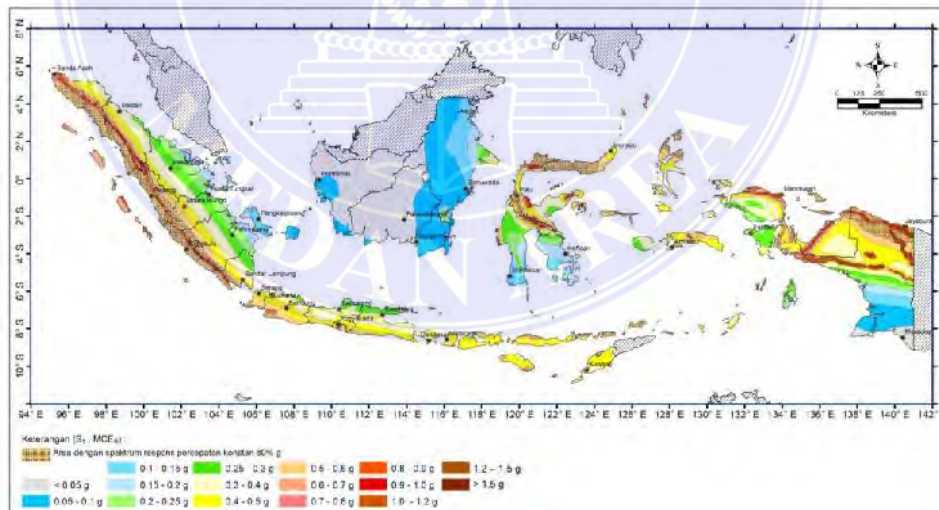
2.5.3 Parameter percepatan batuan dasar (S_s dan S_1)

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) seperti pada gambar di bawah ini.

Kedua parameter ini harus ditetapkan masing-masing dari respon spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik pada peta gerak tanah seismik dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Wilayah pembagian nilai S_0 dilihat pada Gambar 1 dan nilai S_1 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Parameter gerak tanah S_0 , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 02-detik (redaman kritis 5%) (SNI 1726:2019)



Gambar 2. Parameter gerak tanah S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 1-detik (redaman kritis 5 %) (SNI 1726:2019)

2.5.4 Kategori desain seismik

Semua struktur harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya S_{DS} dan

S_{D1} . Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah dengan ketentuan pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (SNI 1726:2019)

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

Tabel 8. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (SNI 1726:2019)

| 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 |
| $0,20 \leq S_{DS}$ | D | D |

2.5.5 Koefisien situs dan parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R)

Berdasarkan SNI 1726-2019, untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi yang dimaksud yaitu faktor amplifikasi terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Untuk menentukan faktor amplifikasi terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) digunakan Tabel 9. Untuk menentukan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v) digunakan Tabel 10.

Tabel 9. Koefisien situs, F_a (SNI 1726:2019)

| Kelas situs | Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_S | | | | | |
|-------------|---|-------------|--------------|-------------|--------------|----------------|
| | $S_S \leq 0,25$ | $S_S = 0,5$ | $S_S = 0,75$ | $S_S = 1,0$ | $S_S = 1,25$ | $S_S \geq 1,5$ |
| | <i>SA</i> | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| <i>SB</i> | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |

Lanjutan- Tabel 9. Koefisien situs, F_a (SNI 1726:2019)

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

Catatan:
SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Tabel 10. Koefisien situs, F_v (SNI 1726:2019)

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

Catatan:
SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Setelah diperoleh nilai F_a dan F_v , langkah selanjutnya yaitu menentukan nilai dari parameter respon spektral. Untuk menentukan nilai parameter spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dihitung dengan Persamaan 1. Untuk menentukan nilai parameter spektral percepatan pada periode 1 detik (S_{M1}) dihitung dengan Persamaan 2. Untuk menentukan parameter percepatan spektral desain periode pendek (S_{DS}) dihitung dengan Persamaan 3. Untuk menentukan parameter percepatan spektral desain periode 1 detik (S_{D1}) dihitung dengan Persamaan 4.

$$S_{MS} = F_a S_S \quad (\text{Pers. 1})$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (\text{Pers. 2})$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (\text{Pers. 3})$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (\text{Pers. 4})$$

Keterangan:

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik,

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode 1,0 detik,

2.5.6 Sistem rangka pemikul momen

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) adalah sistem rangka ruang dimana komponen-komponen struktur dan joint-jointnya menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial, sistem ini pada dasarnya memiliki daktilitas sedang dan dapat digunakan di zona 1 hingga zona 4 (Tajunnisa, 2014)

Menurut Alfumid (2021), sistem rangka pemikul momen diklasifikasikan dalam 3 bagian, antara lain:

- a. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) adalah sistem yang memiliki tingkat daktilitas terbatas dan hanya cocok di daerah risiko gempa rendah.
- b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah sistem yang memiliki tingkat daktilitas sedang dan digunakan di daerah dengan tingkat risiko gempa sedang, diharapkan sistem ini mampu menahan gaya-gaya yang lebih, khususnya pada kolom agar dapat menahan geser, pendetailan harus sesuai dengan yang disyaratkan oleh BSN untuk perencanaan struktur tahan gempa. Sistem ini pada dasarnya memiliki daktilitas sedang dan dapat digunakan di zona 1 hingga zona 4.
- c. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah sistem yang

memiliki tingkat daktilitas penuh yang digunakan di daerah dengan tingkat risiko gempa tinggi, prinsip sistem ini yaitu *strong column weak beam* yang artinya tahan terhadap geser dan memiliki pendetailan khusus. Sistem ini pada dasarnya memiliki daktilitas penuh dan wajib digunakan di zona resiko gempa tinggi yaitu di zona 5 hingga zona 6.

Sistem pemikul gaya seismik yang berbeda diizinkan untuk digunakan menahan gaya seismik di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai R , C_d , dan Ω_o harus diterapkan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur. Untuk menentukan nilai R , C_d , dan Ω_o diambil berdasarkan Tabel 11.

Tabel 11. Faktor R , C_d , dan Ω_o untuk sistem pemikul gaya seismik (SNI 1726:2019)

| Sistem pemikul gaya seismik | Koefisien modifikasi respons R^a | Faktor kuat lebih sistem Ω_o^b | Faktor pembe-saran defleksi C_d^c | Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d Kategori desain seismik | | | | | |
|--|------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--|----|-----------------|----------------|----------------|--|
| | | | | B | C | D ^e | E ^e | F ^f | |
| Sistem rangka pemikul momen | | | | | | | | | |
| Rangka baja pemikul momen khusus | 8 | 3 | $5\frac{1}{2}$ | TB | TB | TB | TB | TB | |
| Rangka batang baja pemikul momen khusus | 7 | 3 | $5\frac{1}{2}$ | TB | TB | 48 | 30 | TI | |
| Rangka baja pemikul momen menengah | $4\frac{1}{2}$ | 3 | 4 | TB | TB | 10 ^e | TI | TI | |
| Rangka baja pemikul momen biasa | $3\frac{1}{2}$ | 3 | 3 | TB | TI | TI | TB | TB | |
| Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m | 8 | 3 | $5\frac{1}{2}$ | TB | TI | TI | TI | TI | |
| Rangka beton bertulang pemikul momen menengah | 5 | 3 | $4\frac{1}{2}$ | TB | TB | TI | TI | TI | |
| Rangka beton bertulang pemikul momen biasa | 3 | 3 | $2\frac{1}{2}$ | TB | TI | TI | TI | TI | |
| Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus | 8 | 3 | | TB | TB | TB | TB | TB | |
| Rangka baja beton komposit pemikul momen menengah | 5 | 3 | $4\frac{1}{2}$ | TB | TB | TI | TI | TI | |
| Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen | 6 | 3 | $5\frac{1}{2}$ | 48 | 48 | 30 | TI | TI | |
| Rangka baja dan beton komposit | 3 | 3 | $2\frac{1}{2}$ | T | TI | TI | TI | TI | |
| Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan | $3\frac{1}{2}$ | 3 ^o | $3\frac{1}{2}$ | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | |

Keterangan : TB = Tidak dibatasi ; TI = Tidak diizinkan

2.5.7 Spektrum respons desain

Kurva spektrum respons desain seperti pada Gambar 4 dapat dikembangkan dengan mengacu pada tata cara berikut ini:

- a. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari Persamaan 5.

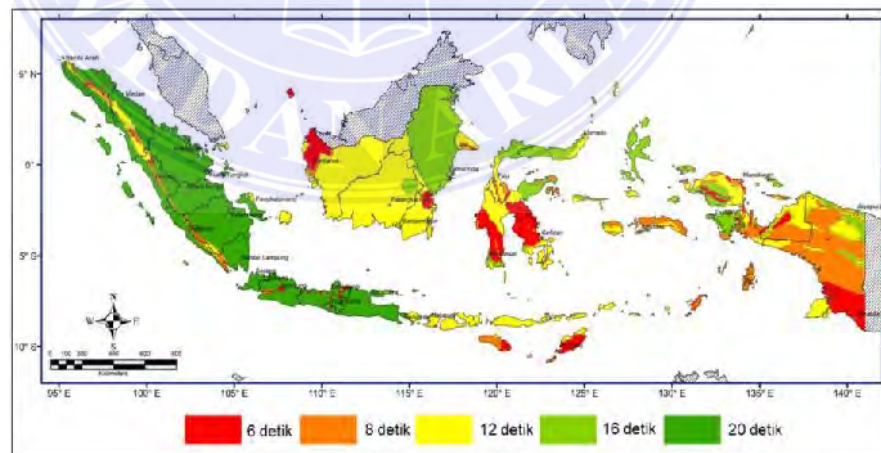
$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (\text{Pers. 5})$$

- b. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_S , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} .

- c. Untuk periode lebih besar dari T_S tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan Persamaan 6.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (\text{Pers. 6})$$

Wilayah pembagian nilai T_L dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta transisi periode panjang, T_L , wilayah Indonesia (SNI 1726:2019)

- d. Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan Persamaan 7.

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (\text{Pers. 7})$$

Keterangan:

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

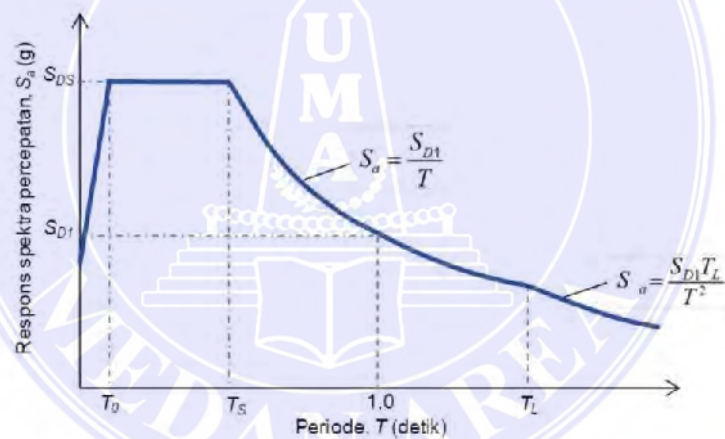
S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik;

T = periode getar fundamental struktur

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

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

T_L = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada gambar berikut (SNI 1726, 2019)



Gambar 4. Grafik spektrum respons desain (SNI 1726:2019)

2.5.8 Waktu getar alami struktur

Periode fundamental struktur, T , pada arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dan periode fundamental pendekatan, T_a , sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur T , diizinkan secara langsung

menggunakan periode bangunan pendekatan, T_a . Untuk menentukan nilai koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung harus berdasarkan Tabel 12.

Tabel 12. Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (SNI 1726:2019)

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

Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan menggunakan Persamaan 8.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (\text{Pers. 8})$$

Keterangan:

h_n adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur dan koefisien C_t dan x ditentukan dengan Tabel 13.

Tabel 13. Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x (SNI 1726:2019)

| Tipe Struktur | C_t | x |
|---|--------|------|
| Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya sismik: | | |
| - 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 |

Untuk menghitung hasil periode maksimum (T_{max}) digunakan Persamaan 9.

$$T_{max} = C_u \cdot T_a \quad (\text{Pers. 9})$$

Berdasarkan hasil analisis dimensi struktur pada program SAP 2000 maka akan diperoleh nilai T_c dengan mode 1 dan nilai T_c dengan mode 2. Syarat periode struktur (T) yang akan digunakan antara lain:

- a. Jika $T_c > T_{max}$, maka digunakan persamaan $T = T_{max}$

- b. Jika $T_a \leq T_c \leq T_{max}$, maka digunakan persamaan $T = T_c$ (terbesar)
- c. Jika $T_c < T_a$, maka digunakan $T = T_a$

2.5.9 Gaya geser dasar (gaya lateral ekuivalen)

Untuk menentukan nilai koefisien respon seismik (C_s) digunakan Persamaan 10.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (\text{Pers. 10})$$

Keterangan:

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

R = koefisien modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung menggunakan Persamaan 11, 12, 13 dan 14 serta harus memenuhi persyaratan berikut:

- a. Syarat 1 apabila $T \leq T_L$, maka C_s tidak perlu melebihi

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (\text{Pers. 11})$$

- b. Syarat 2 apabila $T > T_L$, maka C_s tidak perlu melebihi

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (\text{Pers. 12})$$

- c. Syarat 3 untuk nilai $S_1 \geq 0,6$ g, maka C_s harus melebihi dari

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (\text{Pers. 13})$$

- d. C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (\text{Pers. 14})$$

Keterangan dimana I_e dan R sebagaimana didefinisikan sebagai berikut:

S_{D1} = parameter percepatan respons spectral desain pada periode sebesar 1,0 detik

T = periode fundamental struktur (detik)

S_1 = parameter percepatan respons spektral maksimum yang ditetapkan

Untuk menentukan nilai gaya geser dasar seismik V dalam arah yang ditetapkan digunakan Persamaan 15.

$$V = C_S W \quad (\text{Pers 15})$$

Keterangan:

C_S = koefisien respons seismik yang ditentukan

W = berat seismik efektif

2.5.10 Gaya vertikal dan horizontal gempa statik ekuivalen

Distribusi vertical gaya seismik lateral, F_x (kN) di seberang tingkat harus ditentukan dari Persamaan 16 dan nilai C_{vx} dihitung menggunakan Persamaan 17.

$$F_x = C_{vx} V \quad (\text{Pers. 16})$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (\text{Pers. 17})$$

Keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

w_i dan w_x = bagian berat sismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = tinggi dasar sampai tingkat i atau x (m)

Distribusi horizontal gaya geser tingkat desain seismik semua tingkat, V_x (kN), harus ditentukan dari Persamaan 18 dan 19.

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (\text{Pers. 18})$$

$$F_i = \frac{w_x h_x^k}{\sum w_i h_i^k} V \quad (\text{Pers. 19})$$

Keterangan:

F_i = adalah bagian dari geser dasar seismik (V) pada tingkat ke i (kN)

W_i = berat perlantai bangunan gedung tiap lantai

H_i = tinggi (m) bangunan tiap hari

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut:

Untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik maka nilai $k = 1$

Untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik maka nilai $k = 2$

Untuk struktur dengan nilai $0,5 < T < 2,5$ maka nilai $k = 2$

Waktu getar alami apabila perlu di interpolasi maka harus ditentukan dengan perhitungan hasil interpolasi linear.

2.6 Tulangan

Baja tulangan adalah batang baja yang berbentuk menyerupai jala baja yang digunakan sebagai alat penekan pada beton bertulang dan struktur batu bertulang untuk memperkuat dan membantu beton di bawah tekanan. Beton menjadi kuat di bawah kompresi, tetapi memiliki kekuatan tarik yang lemah. Besi beton secara signifikan meningkatkan kekuatan tarik struktur. Jenis-jenis tulangan, yaitu:

1. Baja tulangan beton polos (BjTP)

Berdasarkan SNI 2052:2017, baja tulangan beton polos adalah baja tulangan beton berpenampang bundar dengan permukaan rata tidak bersirip/berulir.

Tabel 14 menunjukkan ketentuan ukuran-ukuran baja tulangan beton polos.

2. Baja tulangan beton sirip/ulir (BjTS)

Baja tulangan beton sirip/ulir adalah baja tulangan beton yang permukaannya memiliki sirip/ulir melintang dan memanjang yang

dimaksudkan untuk meningkatkan daya lekat dan guna menahan gerakan membujur dari batang secara relatif terhadap beton. Tabel 15 menunjukkan ketentuan ukuran baja tulangan sirip.

Tabel 14. Ukuran baja tulangan polos (SNI 2052:2017)

| No | Penamaan | Diameter | Luas Penampang | Berat |
|----|----------|-------------|-----------------|--------------------|
| | | Nominal (d) | Nominal (A) | nominal per meter* |
| | | mm | mm ² | kg/m |
| 1 | P 6 | 6 | 28 | 0.22 |
| 2 | P 8 | 8 | 50 | 0.395 |
| 3 | P 10 | 10 | 79 | 0.617 |
| 4 | P 12 | 12 | 113 | 0.888 |
| 5 | P 14 | 14 | 154 | 1.208 |
| 6 | P 16 | 16 | 201 | 1.578 |
| 7 | P 19 | 19 | 284 | 2.226 |
| 8 | P 22 | 22 | 380 | 2.984 |
| 9 | P 25 | 25 | 491 | 3.853 |
| 10 | P 28 | 28 | 616 | 4.384 |
| 11 | P 32 | 32 | 804 | 6.313 |
| 12 | P 36 | 36 | 1018 | 7.990 |
| 13 | P 40 | 40 | 1257 | 9.865 |
| 14 | P 50 | 50 | 1964 | 15.413 |

Catatan:

- (*) sebagai referensi
- Cara menghitung luas penampang nominal, keliling nominal, berat nominal dan ukuran sebagai berikut:

a) Luas penampang nominal (A)

$$A = 0.7854 \times d^2 (\text{mm}^2)$$

d = diameter nominal (mm)

$$\text{Berat nominal} = \frac{0.785 \times 0.785 \times d^2}{100} (\text{kg/m})$$

Tabel 15. Ukuran baja tulangan beton sirip/ulir (SNI 2052:2017)

| No | Pena- ma- an | Diame- ter Nomi- nal (d) | Luas Pe- nam- pang (A) | Tinggi sirip (H) | | Jarak Sirip Melin- -tang (P) maks | Lebar Sirip Mem- bujur (T) maks | Berat Nomi- nal Per Meter |
|----|--------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------|------|--|--|---------------------------------------|
| | | | | min | maks | | | |
| | | | | mm | mm | | | |
| 1 | S.6 | 6 | 28 | 0,3 | 0,6 | 4,2 | 4,2 | 0,222 |
| 2 | S.8 | 8 | 50 | 0,4 | 0,8 | 5,6 | 6,3 | 0,395 |
| 3 | S.10 | 10 | 79 | 0,5 | 1,0 | 7,0 | 7,9 | 0,617 |
| 4 | S.13 | 13 | 133 | 0,7 | 1,3 | 9,1 | 10,2 | 1,042 |
| 5 | S.16 | 16 | 201 | 0,8 | 1,6 | 11,2 | 12,6 | 1,578 |

Lanjutan – Tabel 15. Ukuran baja tulangan beton sirip/ulir (SNI 2052:2017, tabel 3)

| No | Pena- man- an | Diame- ter Nomi- nal (d) | Luas Pe- nam- pang (A) | Tinggi sirip (H) | | Jarak Sirip Melin- tang (P) maks | Lebar Sirip Mem- bujur (T) maks | Berat Nomi- nal Per Meter |
|----|---------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------|-----------------|---|--|---------------------------------------|
| | | | | min | maks | | | |
| | | | | mm | mm ² | | | |
| 6 | S.19 | 19 | 284 | 1,0 | 1,9 | 13,3 | 14,9 | 2,226 |
| 7 | S.22 | 22 | 380 | 1,1 | 2,2 | 15,4 | 17,3 | 2,984 |
| 8 | S.25 | 25 | 491 | 1,3 | 2,5 | 17,5 | 19,7 | 3,853 |
| 9 | S.29 | 29 | 661 | 1,5 | 2,9 | 20,3 | 22,8 | 5,185 |
| 10 | S.32 | 32 | 804 | 1,6 | 3,2 | 22,4 | 25,1 | 6,313 |
| 11 | S.36 | 36 | 1018 | 1,8 | 3,6 | 25,2 | 28,3 | 7,990 |
| 12 | S.40 | 40 | 1257 | 2,0 | 4,0 | 28,0 | 31,4 | 9,865 |
| 13 | S.50 | 50 | 1964 | 2,5 | 5,0 | 35,0 | 39,3 | 15,41 |

Catatan:

1. Diameter nominal hanya dipergunakan untuk perhitungan parameter nominal lainnya dan tidak perlu diukur
2. Cara menghitung luas penampang nominal, keliling nominal, berat nominal dan ukuran sirip/ulir adalah sebagai berikut:
 - a) Luas penampang nominal (A)
 $A = 0.7854 \times d^2 (\text{mm}^2)$
 $d = \text{diameter nominal (mm)}$
 - b) Berat nominal = $\frac{0.785 \times 0.785 \times d^2}{100} \times 0,7$ (kg/m)
 - c) Jarak sirip melintang maksimum = 0,70 d
 - d) Tinggi sirip minimum = 0,05 d

Tinggi sirip maksimum = 0,10 d

2.7 Kombinasi Pembebanan Menggunakan SAP 2000

Program SAP 2000 adalah program yang dipakai untuk menganalisis dan mendesain struktur yang mempermudah dalam menganalisa struktur bangunan. Struktur harus dirancang sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor berdasarkan metoda ultimit. Berdasarkan SNI 2847:2019, faktor kombinasi pembebanan pada gedung yaitu:

1. Kombinasi 1 : 1,4 DL
2. Kombinasi 2 : 1,2 DL+ 1,6 LL
3. Kombinasi 3 : 1,2 DL + 1 LL + 1 Ex + 0,3 Ey

4. Kombinasi 4 : $1,2 DL + 1 LL + 1 Ex - 0,3 Ey$
5. Kombinasi 5 : $1,2 DL + 1 LL - 1 Ex + 0,3 Ey$
6. Kombinasi 6 : $1,2 DL + 1 LL - 1 Ex - 0,3 Ey$
7. Kombinasi 7 : $1,2 DL + 1 LL + 0,3 Ex + 1 Ey$
8. Kombinasi 8 : $1,2 DL + 1 LL + 0,3 Ex - 1 Ey$
9. Kombinasi 9 : $1,2 DL + 1 LL - 0,3 Ex + 1 Ey$
10. Kombinasi 10 : $1,2 DL + 1 LL - 0,3 Ex - 1 Ey$

Dimana:

- DL (*Dead Load*) : beban mati
- LL (*Live Load*) : beban hidup
- Ex (*Earthquake*) : beban gempa arah x
- Ey (*Earthquake*) : beban gempa arah y

2.8 Analisis Struktur Kolom

Menurut Papulele (2021), kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peran penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan keruntuhan lantai ataupun keruntuhan total seluruh bangunan. Pada umumnya selain beban aksial tekan, pada saat yang bersamaan kolom juga memikul momen lentur. Momen lentur timbul pada kolom yang merupakan bagian dari portal gedung, karena harus memikul momen lentur yang berasal dari balok, atau yang timbul akibat gaya-gaya lateral. Apabila terjadi kegagalan pada kolom maka dapat berakibat keruntuhan komponen struktur yang lain yang berhubungan dengannya atau bahkan terjadi keruntuhan total pada keseluruhan struktur bangunan (Ayyubi, 2022).

Langkah-langkah perhitungan struktur kolom seperti di bawah ini.

2.8.1 Menentukan diagram interaksi Mn dan Pn

- Rekap hasil output gaya dalam yang dibutuhkan yaitu nilai momen (Mu^+) dan nilai gaya geser (Vu^+)
- Tentukan nilai kuat tekan beton, f^c , dan tegangan tulangan baja, fy ,
- Menentukan nilai Ag , rasio tulangan minimum Ast , As' menggunakan Persamaan 20, 21 dan 22.

$$Ag = b \times h \quad (\text{Pers. 20})$$

Rasio = 1% (Rasio tulangan minimum pada Ast adalah 1 % hingga maksimal 4%)

$$Ast = 1 \% \times Ag \quad (\text{Pers. 21})$$

$$As (As') = Ast : 2 \quad (\text{Pers. 22})$$

- Dalam keadaan aksial murni yang dimana nilai momen nominal (Mn) adalah nol. Untuk menentukan kuat tekan penampang (Pn) digunakan Persamaan 23.

$$Pn = (0,85 \cdot f^c \cdot (Ag - Ast) + (Ast \cdot fy)) / 1000 \quad (\text{Pers. 23})$$

- Dalam keadaan seimbang yang dimana tegangan yang terjadi pada tulangan tekan (Fs') sama nilainya dengan tegangan leleh baja tulangan (Fy). Untuk menentukan nilai Fs' digunakan Persamaan 26 dan untuk menentukan nilai Fs digunakan Persamaan 27.

$$d = h - d' \quad (\text{Pers. 24})$$

$$Xb = \left[\frac{600}{600 + Fy} \right] \times d \quad (\text{Pers. 25})$$

$$F's = \left[\frac{Xb - d'}{Xb} \right] \times 600 \quad (\text{Pers. 26})$$

Jika $Fs' > Fy$, maka nilai yang digunakan adalah nilai Fs' .

$$F_s = \left[\frac{d-X_b}{X_b} \right] \times 600 \quad (\text{Pers. 27})$$

Jika $F_s \geq F_y$, maka nilai yang digunakan adalah nilai F_s .

Untuk menentukan nilai kuat tekan nominal penampang digunakan Persamaan 32.

$$a = 0,85 \cdot X_b \quad (\text{Pers. 28})$$

$$C_c = \left[\frac{0,85 \times f'_{c.a.b}}{1000} \right] \quad (\text{Pers. 29})$$

$$C_s = \left[\frac{A_s' (f_s' - 0,85 \cdot f_c)}{1000} \right] \quad (\text{Pers. 30})$$

$$T_s = \left[\frac{A_s \times F_s}{1000} \right] \quad (\text{Pers. 31})$$

$$P_n = C_c + C_s - T_s \quad (\text{Pers. 32})$$

Setelah diperoleh nilai C_c , C_s dan T_s , selanjutnya mencari nilai momen nominal menggunakan Persamaan 33 dan nilai eksentritas pada kondisi seimbang menggunakan Persamaan 34.

$$M_n = C_c \times \left[\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right] + C_s \times \left[\frac{h}{2} - d' \right] + T_s \left[d - \frac{h}{2} \right] \quad (\text{Pers. 33})$$

$$e_b = \frac{M_n}{P_n} \quad (\text{Pers. 34})$$

- f. Dalam keadaan patah desak, yang dimana keadaan ini terjadi jika nilai eksentritas dalam keadaan patah desak lebih kecil daripada eksentritas pada kondisi seimbang. Persamaan yang digunakan dalam keadaan ini sama dengan rumus yang digunakan pada keadaan seimbang namun yang menjadi pembedanya adalah persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai kedalaman pada sumbu (X) seperti pada Persamaan 35.

$$X = 1,5 \cdot X_b \quad (\text{Pers. 35})$$

$$e = \frac{M_n}{P_n} \quad (\text{Pers. 36})$$

- g. Dalam keadaan patah tarik, yang dimana keadaan ini terjadi jika nilai eksentritas dalam keadaan patah tarik lebih besar daripada eksentritas pada kondisi seimbang. Persamaan yang digunakan dalam keadaan ini sama dengan rumus yang digunakan pada keadaan seimbang namun yang menjadi pembedanya adalah persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai kedalaman pada sumbu (X) seperti pada Persamaan 37.

$$X = 0,5 \cdot X_b \quad (\text{Pers. 37})$$

- h. Dalam keadaan lentur murni, yang dimana nilai kuat penampang nominal (P_n) adalah nol. Untuk menentukan nilai momen nominal digunakan Persamaan 38 dan 39.

$$a = \left[\frac{A_s \cdot F_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \right] \quad (\text{Pers. 38})$$

$$M_n = A_s \cdot F_y \left[d - \frac{a}{2} \right] \quad (\text{Pers. 39})$$

- i. Gambar diagram interaksi M_n dan P_n dengan menggunakan nilai P_u dan M_n yang diperoleh dari hasil SAP 2000 untuk menentukan letak koordinat pada diagram. Maka diperoleh nilai momen lentur eksternal (M_e).

2.8.2 Penulangan kolom

Langkah-langkah perhitungan penulangan kolom:

- a. Pada perhitungan ini digunakan nilai P_{max} , M_{max} , dan M_e
- b. Untuk menentukan jumlah kebutuhan tulangan pokok digunakan Persamaan 40 dan 41.

$$A_s \text{ Tulangan} = \frac{1}{4} \pi D^2 \quad (\text{Pers. 40})$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_s}{A_s \text{ tulangan}} \quad (\text{Pers. 41})$$

- c. Perhitungan kebutuhan tulangan geser digunakan Persamaan 42-47.

$$P_{max} = N_u$$

$$V_u = V_u^+ \text{ hasil output gaya dalam SAP 2000}$$

$$d = h - t_s - d.\text{senggang} - (d.\text{pokok} : 2) \quad (\text{Pers.42})$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} \quad (\text{Pers. 43})$$

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) \left[\frac{\sqrt{f'c}}{6}\right] \times b_w \times d \quad (\text{Pers. 44})$$

$$V_s = \frac{2}{3} \times \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \quad (\text{Pers. 45})$$

Dengan syarat jika $(V_n - V_c) < \frac{2}{3} \times \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$, maka penampang cukup dan

jika $(V_n - V_c) \geq \frac{2}{3} \times \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$, maka penampang harus diperbesar.

Untuk penampang cukup : ϕV_c

Dengan syarat $V_u < \phi V_c$, tidak perlu tulangan geser dan $V_u \geq \phi V_c$, perlu tulangan geser. Untuk diameter tulangan sengkang sesuai asumsi, dihitung dengan Persamaan 46 dan 47.

$$A_v = 4 \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (d.\text{senggang}^2)\right) \quad (\text{Pers. 46})$$

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \quad (\text{Pers. 47})$$

Jika, $A_v \text{ min} = \frac{75 \sqrt{f'c}}{1200} \frac{b_s}{f_y} \geq A_v = \frac{1}{3} \frac{b_s}{f_y}$ maka digunakan $A_v \text{ min}$ terbesar

$A_v \text{ terpasang} = \text{Luas tulangan} \times (1000 : \text{jarak sengkang})$

Ketentuan untuk ukuran s :

$$S < 8 < \text{diameter lentur}$$

$$S < b : 2$$

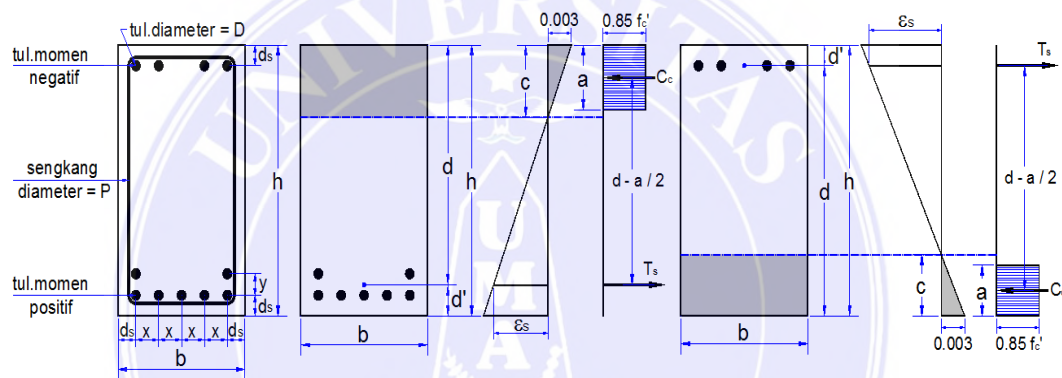
$$S < 24 \times \text{diameter geser}$$

2.9 Analisis Struktur Balok

Menurut Dipohusodo (1994), balok adalah elemen struktur yang menerima

gaya-gaya yang bekerja dalam arah transversal terhadap sumbu yang mengakibatkan terjadinya momen lentur dan gaya geser sepanjang bentangnya. Balok juga merupakan elemen struktural yang utamanya memikul beban lateral. Beban-beban yang dipikul oleh balok disalurkan ke kolom, dinding, atau girder yang kemudian disalurkan ke fondasi hingga akhirnya ke tanah.

Dalam buku Agus Setiawan (2016), penulangan balok terdiri dari dua yaitu penulangan lentur balok dan penulangan geser balok seperti terlihat pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Penulangan balok

2.9.1 Penulangan lentur pada balok

Langkah-langkah perhitungan tulangan lentur pada balok, yaitu:

- a. Rekap hasil output gaya dalam yang dibutuhkan yaitu nilai momen (Mu^+ dan Mu^-) dan nilai gaya geser (Vu^+ dan Vu^-)
- b. Tentukan nilai kuat tekan beton ($f'c$) dan tegangan tulangan baja (fy).
- c. Perhitungan pada tulangan tumpuan
 - 1) Menghitung rasio tulangan (ρ) pada balok digunakan Persamaan 48 dan 49. Untuk menghitung momen lentur pada balok digunakan Persamaan 50.

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta \cdot f'c}{fy} \times \left(\frac{600}{600+fy} \right) \quad (\text{Pers. 48})$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b \quad (\text{Pers. 49})$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} \quad (\text{Pers. 50})$$

2) Menghitung koefisien perlawanan digunakan Persamaan 51 – 54.

$$R_1 = \rho \cdot f_y (1 - 0,5 \cdot P \cdot m) \quad (\text{Pers. 51})$$

$$M_n = \frac{M_u^-}{\phi} \quad (\text{Pers. 52})$$

$$bd^2 = \frac{M_n}{R_1} \quad (\text{Pers. 53})$$

$$d_{\text{perlu}} = \sqrt{\frac{bd^2}{b}} \quad (\text{Pers. 54})$$

Perhitungan pusat tulangan baja desak dan pusat berat baja tulangan tarik digunakan Persamaan 55 dan 56.

$$d'_{\text{desak}} = \rho_b + D_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \times D_{\text{pokok}} \quad (\text{Pers. 55})$$

$$d'_{\text{tarik}} = \rho_b + D_{\text{sengkang}} + D_{\text{pokok}} + \frac{1}{2} \times \rho_b \quad (\text{Pers. 56})$$

Untuk menghitung tinggi efektif pada baja tulangan desak dan baja tulangan tarik digunakan Persamaan 57 dan 58.

$$d_{\text{desak}} = h - d'_{\text{desak}} \quad (\text{Pers. 57})$$

$$d_{\text{tarik}} = h - d'_{\text{tarik}} \quad (\text{Pers. 58})$$

3) Perhitungan tulangan desak diawali dengan perhitungan koefisien momen balok (C_b) dan kedalaman maksimum blok tegangan pada Persamaan 59 dan 60.

$$C_b = \frac{(\epsilon_c \cdot E_s \cdot d_{\text{desak}})}{(\epsilon_c \cdot E_s + F_y)} \quad (\text{Pers. 59})$$

$$a_{\max} = 0,75 \cdot \beta \cdot C_b \quad (\text{Pers. 60})$$

Nilai kuat penampang nominal pada balok digunakan Persamaan 61.

$$M_n = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \cdot (d - 0,5a) \quad (\text{Pers. 61})$$

Jika $a_{pakai} > a_{max}$, maka dipakai tulangan tunggal

$$R_2 = \gamma R_1 \quad (\text{Pers. 62})$$

$$M_1 = R_2 \cdot b \cdot d^2 \quad (\text{Pers. 63})$$

$$M_2 = M_n - M_1 \quad (\text{Pers. 64})$$

Luas tulangan desak perlu (As')

$$As' = \frac{M_2}{(F_y \times (d-d'))} \quad (\text{Pers. 65})$$

$$As.D = \frac{1}{4} \pi D^2 \quad (\text{Pers. 66})$$

$$n = \frac{As}{As.D} \quad (\text{Pers. 67})$$

$$As. Ada = n \times As.D \quad (\text{Pers. 68})$$

- 4) Perhitungan jumlah kebutuhan tulangan tarik digunakan Persamaan 69-70.

$$\rho_{baru} = \gamma \rho \quad (\text{Pers. 69})$$

$$As = \rho_{baru} \cdot b \cdot d_{tarik} + As' \quad (\text{Pers. 70})$$

Luas tulangan tarik perlu (As) dihitung menggunakan Persamaan 65 sampai dengan Persamaan 68.

- 5) Tinjau momen tersedia (Mg^-) menggunakan Persamaan 71.

$$Mg^- = \left(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \cdot \left(d_{desak} - \frac{a}{2} \right) \right) + As_{ada} \cdot Fs' \cdot d_{desak} \quad (\text{Pers. 71})$$

Dengan syarat, jika $0,8 Mg^- > Mu^-$ maka sudah memenuhi persyaratan.

Hitung nilai ρ_{ada1} dan ρ_{ada2} menggunakan Persamaan 72 dan 73.

Dengan syarat, jika $\rho_{ada1} - \rho_{ada2} < \rho_{max}$, maka sudah memenuhi persyaratan.

$$\rho_{ada1} = \frac{As_{ada} \text{ tarik}}{b \cdot d_{desak}} \quad (\text{Pers. 72})$$

$$\rho_{ada2} = \frac{As_{ada\ desak}}{b \cdot d_{desak}} \quad (\text{Pers. 73})$$

- 6) Tinjau momen tersedia (Mg^+) menggunakan Persamaan 74.

$$Mg^+ = \left(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \cdot \left(d_{tarik} - \frac{a}{2} \right) \right) + As_{ada_{tarik}} \cdot Fs' \cdot d_{tarik} \quad (\text{Pers. 74})$$

Dengan syarat, jika $0,8 Mg^+ > Mu^+$ maka sudah memenuhi persyaratan.

b. Perhitungan tulangan lapangan

- 1) Persamaan yang digunakan untuk merencanakan tulangan pada perhitungan tulangan lapangan digunakan Persamaan 52, 59, 60 dan 61. Nilai Mu yang digunakan adalah nilai Mu^+ .
- 2) Perhitungan tulangan desak pada perhitungan tulangan lapangan digunakan Persamaan 62-68.
- 3) Untuk mencari luas tulangan tarik digunakan Persamaan 75. Dilanjutkan dengan mencari jumlah tulangan menggunakan Persamaan 65 sampai dengan Persamaan 68.

$$As = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d \quad (\text{Pers. 75))}$$

- 4) Kontrol momen tersedia dengan menentukan nilai momen nominal dengan Persamaan 76 dan 77.

$$a = \frac{n \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \quad (\text{Pers. 76})$$

$$Mn = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \cdot (d - 0,5a) \quad (\text{Pers. 77})$$

Jika $0,8 Mn > Mu^+$ maka sudah memenuhi persyaratan.

- 5) Perhitungan jumlah tulangan susut menggunakan Persamaan 65-68 dengan penentuan luas minimum tulangan susut menggunakan Persamaan 78.

$$Asst = 0,002. b. h \quad (\text{Pers. 78})$$

- 7) Momen kapasitas negatif (MPr^-) dihitung menggunakan Persamaan 71. Dengan syarat jika $0,8 MPr^- > Mu^-$ maka sudah memenuhi persyaratan.
- 8) Momen kapasitas positif (MPr^+) dihitung menggunakan Persamaan 74. Dengan syarat jika $0,8 MPr^+ > Mu^+$ maka sudah memenuhi persyaratan.

2.9.2 Penulangan geser balok

Tulangan geser terdapat beberapa hal yang diisyaratkan dalam peraturan, diantaranya adalah lokasi penampang kritis, luas minimum tulangan geser, jarak maksimum tulangan geser, dan sebagainya. Adanya tulangan geser pada balok beton menahan pertumbuhan retak diagonal. Akibatnya daktilitas balok akan meningkat dan kegagalan struktur secara tiba-tiba dapat dihindarkan.

Langkah-langkah perhitungan penulangan geser adalah sebagai berikut.

- a. Menentukan bentang balok netto

$$L_{\text{netto}} = L : 1000$$

- b. Gaya geser akibat beban gempa ditentukan dengan Persamaan 79.

$$V_e = \frac{MPr^- + MPr^+}{L_{\text{netto}}} \quad (\text{Pers. 79})$$

- c. Gaya geser ultimit ditentukan dengan Persaman 80 dan 81.

$$Vu_1 = V_e + Vu^+ \quad (\text{Pers. 80})$$

$$Vu_2 = V_e - Vu^+ \quad (\text{Pers. 81})$$

- d. Perhitungan kapasitas beton (V_c) menggunakan Persamaan 82. Dengan syarat jika $V_c \leq Vu_1$, maka diperlukan tulangan sengkang

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \cdot f'c^2 \cdot b \cdot Vu^+ \right) : 1000 \quad (\text{Pers. 82})$$

- e. Pada daerah sendi plastis, gaya geser maksimum sengkang dihitung dengan Persamaan 83.

$$V_s = \left(\frac{V_{u_1} \cdot 1000}{0,75} \right) - \left(\frac{V_c}{1000} \right) \quad (\text{Pers. 83})$$

Menentukan jarak antar sengkang (s), digunakan Persamaan 84 dan 85.

$$S = \frac{2 \cdot \text{As dtulangan.fy.ddesak}}{V_s} \quad (\text{Pers. 84})$$

$$S_{\max} = 0,25 \cdot d_{\text{desak}} \quad (\text{Pers. 85})$$

- f. Perhitungan pada daerah luar sendi plastis, digunakan Persamaan 87-89.

$$X_{\text{jarak}} = \left(\frac{V_{u_2} \cdot L_{\text{netto}}}{V_{u_1} + V_{u_2}} \right) \times (-1) \quad (\text{Pers. 86})$$

$$X_{\text{kritis}} = 2 \cdot L_{\text{netto}} \quad (\text{Pers. 87})$$

$$Y = \frac{((L - x_{\text{jarak}}) - (2 \cdot (h \cdot 1000))) \cdot V_{u_1}}{(L - x_{\text{jarak}})} \quad (\text{Pers. 88})$$

$$V_s = \left(\frac{Y \cdot 1000}{0,75} \right) - (V_c \cdot 1000) \quad (\text{Pers. 89})$$

Menghitung jarak antar sengkang (s), menggunakan Persamaan 84 dan Persamaan 85.

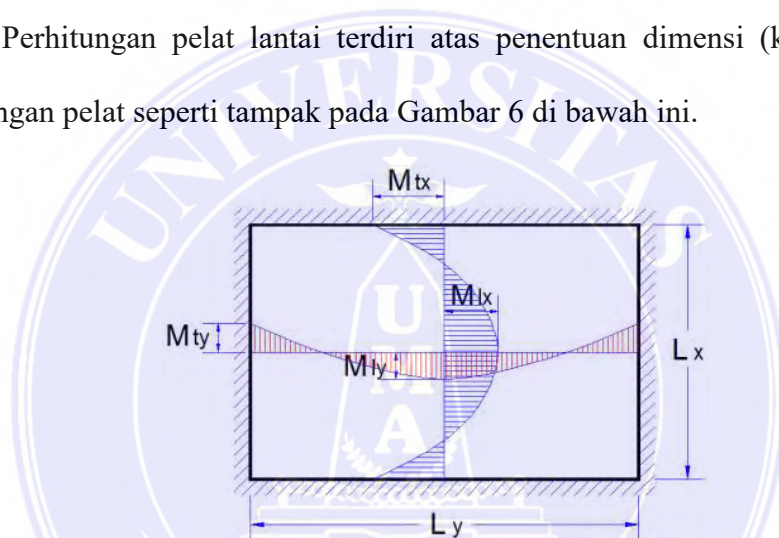
2.10 Analisis Struktur Pelat Lantai

Menurut Nawy (1990), pelat lantai adalah elemen horisontal utama yang menyalurkan beban hidup maupun beban mati ke kerangka pendukung vertikal dari suatu sistem struktur. Elemen-elemen tersebut dapat dibuat sehingga bekerja dalam satu arah atau bekerja dalam dua arah. Pelat lantai menerima beban yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan pelat. Berdasarkan kemampuannya untuk menyalurkan gaya akibat beban, pelat lantai dibedakan menjadi pelat satu arah dan dua arah. Pelat satu arah adalah pelat yang ditumpu hanya pada kedua sisi yang berlawanan, sedangkan pelat dua arah adalah pelat yang ditumpu keempat sisinya sehingga terdapat aksi dari pelat dua arah (Laveda, 2018).

Pelat lantai adalah lantai yang tidak terletak di atas tanah langsung, merupakan lantai tingkat pembatas antara tingkat yang satu dengan tingkat yang lain. Pelat lantai didukung oleh balok-balok yang bertumpu pada kolom-kolom bangunan. Ketebalan pelat lantai ditentukan oleh:

1. Besar lendutan yang diinginkan.
2. Lebar bentangan atau jarak antara balok-balok pendukung.
3. Bahan material konstruksi dan pelat lantai.

Perhitungan pelat lantai terdiri atas penentuan dimensi (ketebalan) dan penulangan pelat seperti tampak pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Rencana penulangan pelat lantai

Langkah-langkah untuk perhitungan penulangan pelat lantai:

- a. Rekap hasil output gaya dalam yang dibutuhkan yaitu nilai pada momen tumpuan (M_u^+ dan M_u^-) dan momen lapangan (M_u^+ dan M_u^-).
- b. Tentukan nilai kuat tekan beton, f'_c , dan tegangan tulangan baja, f_y ,
- c. Tentukan jenis pelat
 - 1) Pelat satu arah terjadi apabila $L_y/L_x > 2$; dimana L_y adalah bentang panjang dan L_x adalah bentang pendek.
 - 2) Pelat dua arah terjadi apabila $L_y/L_x < 2$; dimana L_y adalah bentang panjang dan L_x adalah bentang pendek.

d. Menghitung tinggi efektif,

$$d = h - \text{selimut beton} - \frac{1}{2} \text{ diameter tulangan}$$

e. Pelat lantai yang ditinjau selebar 1 meter

f. Menghitung faktor tahanan momen digunakan Persamaan 90.

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \quad (\text{Pers. 90})$$

g. Menghitung rasio tulangan yang diperlukan digunakan Persamaan 91-93.

$$1) \rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \quad (\text{Pers. 91})$$

$$2) \rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (\text{Pers. 92})$$

$$3) \rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b \quad (\text{Pers. 93})$$

Kemudian, periksa syarat $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, jika memenuhi syarat, makalanjut ke langkah berikutnya Jika tidak memenuhi syarat, maka:

1) Bila $\rho < \rho_{\min}$, maka gunakan ρ_{\min}

2) Bila $\rho > \rho_{\max}$, maka gunakan ρ_{\max}

h. Hitung kebutuhan tulangan yang disediakan per m' lebar pelat menggunakan Persamaan 94.

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \times b \times d_x \quad (\text{Pers. 94})$$

i. Jarak pasang antar tulangan: $A_s \text{ d.tulangan} = \frac{1}{4} \pi D^2$

j. Hitung spasi tulangan menggunakan Persamaan 95.

$$S = \frac{A_s \times b}{A_{s \text{ perlu}}} \quad (\text{Pers. 95})$$

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Deskripsi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Proyek Pembangunan Gedung Kantor UPPD Medan Utara yang menggunakan bantuan program SAP 2000. Penggunaan program SAP 2000 ini bertujuan untuk mempermudah pengolahan data dalam melakukan analisis struktur kolom, balok dan pelat lantai.

3.1.1 Lokasi penelitian

Proyek Pembangunan Gedung Kantor UPPD Medan Utara berlokasi di Jl. Sekip No. 29, Kec. Medan Petisah, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Lokasi Penelitian (*Google Maps, 2024*)

3.1.2 Pendekatan penelitian

Pendekatan penelitian merupakan metode yang digunakan untuk mengumpulkan data, menganalisis informasi dan menarik kesimpulan pada sebuah proyek penelitian. Metode tersebut digunakan untuk memperoleh penyelesaian terhadap rumusan masalah pada penelitian ini. Metode pendekatan penelitian yang akan digunakan adalah pendekatan penelitian kuantitatif yang merupakan suatu

metode pendekatan yang menggunakan data numerik atau kuantitatif yang akan dianalisis menggunakan program SAP 2000. Pelaksanaan analisis pada penelitian ini sesuai dengan SNI yang sudah ditentukan.

3.2 Tahapan Penelitian

Menurut Priyono (2016), metode penelitian adalah cara melakukan sesuatu dengan menggunakan pikiran secara seksama untuk mencapai suatu tujuan. Metode penelitian digunakan untuk menyusun kerangka kerja atau rancangan penelitian yang sistematis dan terstruktur sehingga memudahkan peneliti dalam memperoleh hasil yang relevan dengan objek penelitian yang sedang diteliti. Adapun tahapan-tahapan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

Menurut Hiadayah (2019), studi literatur adalah penelitian yang dilakukan peneliti dengan mengumpulkan sejumlah buku-buku, majalah yang berkaitan dengan masalah dan tujuan penelitian. Pada penelitian ini penulis menggunakan jurnal ilmiah, peraturan Standar Nasional Indonesia dan buku-buku penunjang lainnya.

2. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan dengan metode dokumentasi arsip yang dimana pengumpulan data dokumen-dokumen yang terkait dengan proyek, seperti *shop drawing*, spesifikasi material, atau laporan pengujian struktur. Data yang dikumpulkan langsung dari proyek antara lain *shop drawing* dan gambar detail struktur.

3. Analisis pembebanan menggunakan SAP 2000

Pemodelan struktur menggunakan SAP2000 dengan kombinasi yang terdiri

dari beban mati, beban hidup dan beban gempa yang akan dilakukan sesuai dengan peraturan SNI yang sudah ditentukan.

4. *Output* gaya-gaya dalam

Hasil analisis kombinasi pembebanan pada SAP 2000 ini adalah berupa gaya-gaya dalam. Gaya-gaya dalam tersebut akan digunakan untuk perhitungan analisis struktur terutama untuk menghitung tulangan yang diperlukan pada setiap penampang, sehingga diperoleh jumlah tulangan yang akan digunakan pada kolom, balok dan pelat.

5. Analisis struktur

Perhitungan analisis struktur dilakukan pada kolom, balok dan pelat dengan rumus-rumus yang sudah ditentukan. Perhitungan dilakukan dengan memenuhi persyaratan yang ada pada peraturan SNI. Jika sudah memenuhi persyaratan maka dilanjutkan ke langkah selanjutnya. Jika tidak memenuhi persyaratan, maka perhitungan analisis struktur dicek kembali dengan memperhatikan standar yang sudah ditentukan.

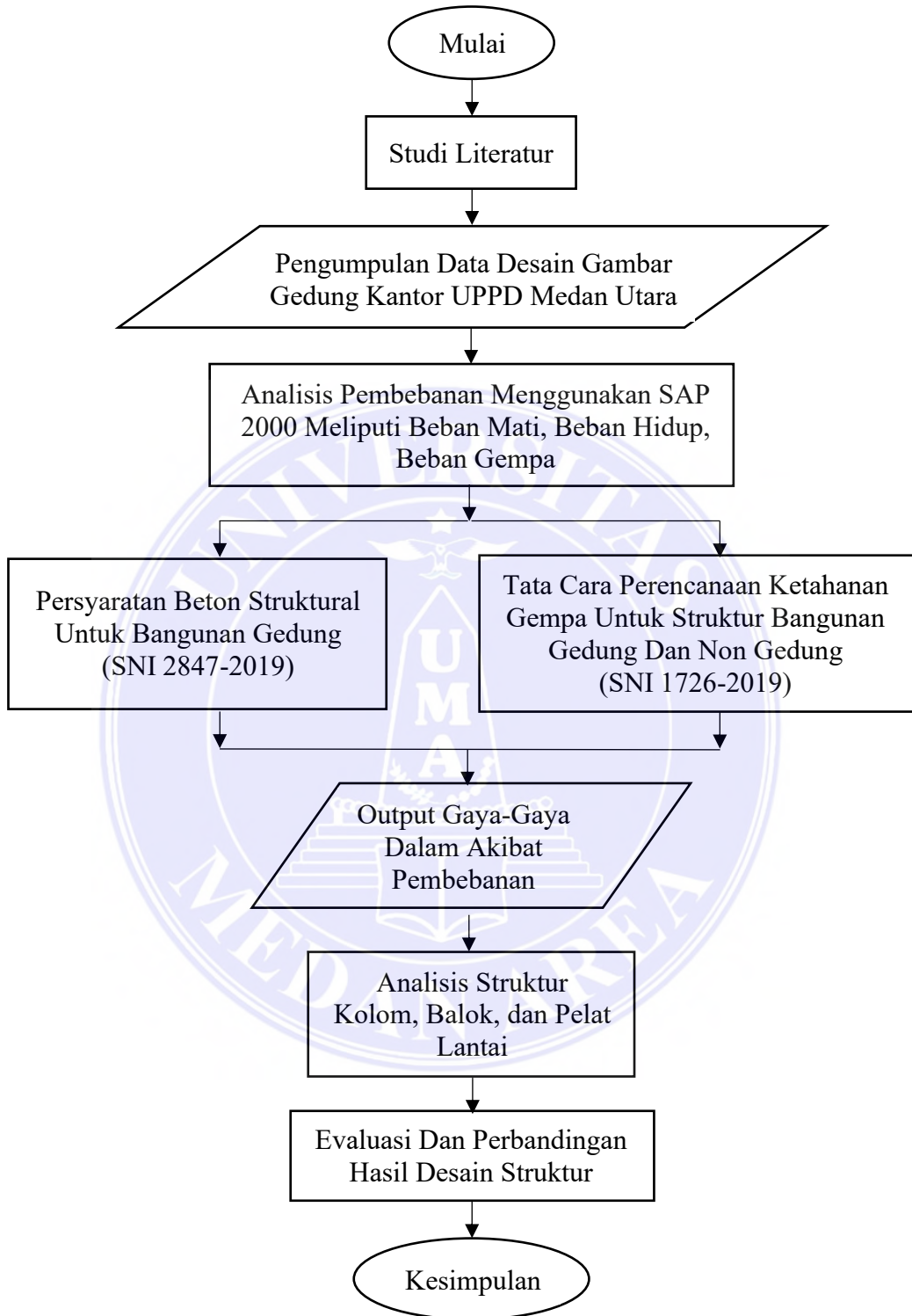
6. Evaluasi dan perbandingan hasil desain struktur

Hasil desain struktur yang diperoleh akan dibandingkan dengan hasil desain struktur yang direncanakan pada awal desain. Hal ini bertujuan untuk mengukur presentase perbedaan yang dihasilkan antara hasil desain struktur dengan gambar perencanaan awal.

7. Kesimpulan

Setelah dilakukan evaluasi dan perbandingan, maka dilakukan penarikan kesimpulan. Proses penarikan kesimpulan dilakukan berdasarkan analisis dan evaluasi yang sudah dilakukan.

Berikut diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram Alir Penelitian (Penulis, 2024)

3.3 Data Struktur Gedung

Data struktur gedung yang diperoleh penulis, antara lain:

3.3.1 Data gedung penelitian

Data gedung penelitian yang diperoleh antara lain:

- a. Nama bangunan : Gedung Kantor UPPD Medan Utara
- b. Fungsi bangunan : Kantor dan parkir
(gedung yang ditinjau yaitu gedung parkir)
- c. Jumlah tingkat : Kantor 2 lantai dan parkir 5 lantai
(gedung yang ditinjau yaitu gedung parkir)
- d. Material struktur : Struktur beton bertulang
- e. Kontraktor pelaksana : PT. Betesda Mandiri
- f. Konsultan pengawas : PT. Transima Citra Indo Consultant

3.3.2 Data material

Data material yang digunakan yaitu:

- a. Mutu beton
 - 1) Kolom : 26,4 MPa
 - 2) Balok : 26,4 MPa
 - 3) Pelat lantai dan atap : 26,4 MPa
- b. Mutu baja
 - 1) Kolom : BjTS 400 MPa dan BjTP 240 MPa
 - 2) Balok : BjTS 400 MPa dan BjTP 240 MPa
 - 3) Pelat lantai dan atap : BjTS 400 MPa dan BjTP 240 MPa

3.3.3 Dimensi struktur

1. Dimensi kolom

Jenis kolom, dimensi kolom, tulangan yang digunakan serta mutu beton pada lapangan disajikan pada Tabel 16.

Tabel 16. Dimensi kolom (Data lapangan, 2024)

| Lantai | Jenis | Dimensi (cm) | Tulangan | F'c |
|----------|-------|--------------|---------------|----------|
| Lantai 1 | K1 | 50 x 80 | 28D19; Ø8-150 | 26,4 MPa |
| | KP | 15 x 15 | 4D10; Ø6-150 | 26,4 MPa |
| Lantai 2 | K2 | 50 x 70 | 25D19; Ø8-150 | 26,4 MPa |
| | KPI | 15 x 15 | 4D13; Ø8-150 | 26,4 MPa |
| Lantai 3 | K3 | 50 x 50 | 23D19; Ø8-150 | 26,4 MPa |
| | KPI | 15 x 15 | 4D13; Ø8-150 | 26,4 MPa |
| Lantai 4 | K4 | 40 x 40 | 18D19; Ø8-150 | 26,4 MPa |
| | KPI | 15 x 15 | 4D13; Ø8-150 | 26,4 MPa |
| Lantai 5 | KPI | 15 x 15 | 4D13; Ø8-150 | 26,4 MPa |

2. Dimensi balok

Jenis balok, dimensi balok, tulangan yang digunakan serta mutu beton pada lapangan disajikan pada Tabel 17.

Tabel 17. Dimensi balok (Data lapangan, 2024)

| Lantai | Jenis | Dimensi (cm) | Tulangan | F'c |
|----------|-------|--------------|---------------|----------|
| Lantai 2 | B1 | 40 x 75 | 18D16; Ø8-120 | 26,4 MPa |
| | B2 | 30 x 50 | 16D16; Ø8-120 | 26,4 MPa |
| Lantai 3 | B1 | 40 x 75 | 18D16; Ø8-120 | 26,4 MPa |
| | B2 | 30 x 50 | 16D16; Ø8-120 | 26,4 MPa |
| Lantai 4 | B1 | 40 x 75 | 18D16; Ø8-120 | 26,4 MPa |
| | B2 | 30 x 50 | 16D16; Ø8-120 | 26,4 MPa |
| Lantai 5 | B1 | 40 x 75 | 18D16; Ø8-120 | 26,4 MPa |
| | B2 | 30 x 50 | 16D16; Ø8-120 | 26,4 MPa |

3. Dimensi pelat

Jenis pelat, dimensi pelat, tulangan yang digunakan serta mutu beton pada lapangan disajikan pada Tabel 18.

Tabel 18. Dimensi pelat (Data lapangan, 2024)

| Jenis | Tebal (cm) | Tulangan | F'c |
|--------------|------------|----------|----------|
| Pelat Lantai | 15 | Ø10-120 | 26,4 MPa |
| Pelat Atap | 12 | Ø10-150 | 26,4 MPa |

3.4 Metode Analisis Data

3.4.1 Perhitungan beban struktur gedung

a. Perhitungan beban mati (*dead load*)

Tabel 19 menampilkan komponen beban mati dan perhitungan beban mati

pada pelat lantai 1-5.

Tabel 19 . Beban mati pelat lantai 1-5 (PPIUG 1983)

| Beban | Tebal (m) | Berat Jenis (kN/m ³) | Total (kN/m ²) |
|------------------------|--------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Pelat lantai | 0,15 | 24 | 3,6 |
| Spesi | 0,02 | 21 | 0,42 |
| Pasir | 0,03 | 16 | 0,48 |
| Plafon dan penggantung | | 0,2 | 0,2 |
| Me | | 0,25 | 0,25 |
| Total QDL | | | 4,95 |

Berikut tabel yang menampilkan perhitungan Beban mati tambahan pada atap.

Tabel 20. Beban mati tambahan pada atap (PPIUG 1983)

| Beban | Tebal (m) | Berat Jenis (kN/m ³) | Total (kN/m ²) |
|------------------------|--------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Plat atap dak | 0,12 | 24 | 2,88 |
| Plafon dan penggantung | | 0,2 | 0,2 |
| Me | | 0,25 | 0,25 |
| Lapis kedap air | 0,002 | 19 | 0,04 |
| Total QDL | | | 3,37 |

Berikut tabel yang menampilkan beban mati tambahan dinding pada balok

Tabel 21. Beban mati tambahan dinding pada balok (PPIUG 1983)

| Beban | Tinggi dinding (kN/m ³) | Tinggi balok (m) | Bj dinding/tembok (kN/m ²) | Total (kN/m ²) |
|----------|--|---------------------|--|-------------------------------|
| Balok BI | 1,6 | 0,75 | 2 | 1,70 |
| Balok B2 | 1,6 | 0,50 | 2 | 2,20 |

b. Perhitungan beban hidup (*live load*)

Fungsi lantai pada gedung parkir kantor UPPD Medan Utara adalah untuk garasi/parkir mobil penumpang saja maka berdasarkan SNI 1727:2020, tabel 4.3-1 tentang beban hidup terdistribusi merata minimum, L_0 dan beban hidup terpusat minimum, ditetapkan bahwa beban hidup pada pelat lantai adalah $1,92 \text{ kN/m}^2$ dan beban hidup pada atap adalah $0,96 \text{ kN/m}^2$.

Berikut hasil perhitungan beban berat bangunan lantai 1 - 5.

Tabel 22. Hasil perhitungan berat bangunan

| Lantai | Berat (W_i) | Satuan |
|--------|-----------------|--------|
| 1 | 11961,64 | kN |
| 2 | 11808,62 | kN |
| 3 | 11573,23 | kN |
| 4 | 11573,23 | kN |
| 5 | 7684,15 | kN |

3.4.2 Perhitungan beban gempa menggunakan metode statik ekuivalen

Berdasarkan data lapangan yang diperoleh penulis dari pihak konsultan, hasil pengujian sondir di lapangan disajikan pada Tabel 23.

Tabel 23. Hasil Pengujian Sondir (Data Lapangan, 2023)

| Titik Sondir | Kedalaman (m) | Perlawanan konus (q_c) (kg/cm^2) | Jumlah hambatan lekat (TSF) (kg/cm) |
|--------------|---------------|---|--|
| S-1 | 12.20 | 220 | 379 |
| S-2 | 13.00 | 230 | 300 |
| S-3 | 18.00 | 203 | 520 |

Dimana tingkat kepadatan relatif dari lapisan tanah berdasarkan hasil pengujian sondir dinyatakan bahwa:

| | | |
|----------------------------|-------------|------------------------|
| q_c (kg/cm^2) | = 0-16 | : Sangat lepas |
| q_c (kg/cm^2) | = 16 – 40 | : Lepas |
| q_c (kg/cm^2) | = 40 -120 | : Sedang |
| q_c (kg/cm^2) | = 120 – 200 | : Padat |
| q_c (kg/cm^2) | > 200 | : Sangat Padat (Keras) |

Berdasarkan hasil pengujian sondir pada proyek pembangunan Gedung Kantor UPPD Medan Utara diperoleh bahwa kondisi tanah termasuk dalam kondisi tanah keras (SC).

Langkah perhitungan beban gempa dengan metode statik ekuivalen, yaitu sebagai berikut.

- a. Menentukan parameter percepatan batuan dasar, S_s dan S_1

Peta spektrum respons percepatan periode 0,2 detik (S_s) dengan redaman 5 % di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun, maka:

$$S_s = 0,6 - 0,7 \text{ g digunakan } S_s = 0,7 \text{ g}$$

Peta spektrum respons percepatan periode 1,0 detik (S_1) dengan redaman 5 % di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun, maka:

$$S_1 = 0,3 - 0,4 \text{ g digunakan } S_1 = 0,4 \text{ g}$$

- b. Menentukan koefisien situs, F_a dan F_v

F_a adalah faktor amplifikasi periode pendek 0,2 detik. Diketahui $S_s = 0,7$ g dan kondisi tanah keras (SC), maka diperoleh:

$$F_a = 1,20$$

F_v adalah faktor amplifikasi periode pendek 1,0 detik. Diketahui $S_1 = 0,4$ g dan kondisi tanah keras (SC), maka diperoleh:

$$F_v = 1,50$$

- c. Menentukan parameter respon spektrum desain

Parameter respon spektrum pada perioda pendek (S_{MS})

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a * S_s \\ &= 1,20 * 0,7 \text{ g} \\ &= 0,84 \text{ g} \end{aligned}$$

Parameter respon spektrum pada periode 1 detik (S_{M1})

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v * S_1 \\ &= 1,50 * 0,4 \text{ g} \\ &= 0,6 \text{ g} \end{aligned}$$

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS})

$$\begin{aligned} S_{DS} &= 2/3 * S_{MS} \\ &= 2/3 * 0,84 \text{ g} \\ &= 0,56 \text{ g} \end{aligned}$$

Parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik (S_{D1})

$$\begin{aligned} S_{D1} &= 2/3 * S_{DS} \\ &= 2/3 * 0,6 \text{ g} \\ &= 0,40 \text{ g} \end{aligned}$$

d. Menentukan kategori desain seismik

- 1) Kategori bangunan yang ditinjau adalah gedung perkantoran dan parkir, maka berdasarkan SNI 1726:2019, tabel 3, kategori risiko bangunan termasuk dalam kategori risiko II.
- 2) Berdasarkan SNI 1726:2019, tabel 4, faktor keutamaan gempa termasuk dalam faktor keutamaan 1,0.
- 3) Diketahui $S_{DS} = 0,56 \text{ g}$ dan $S_{D1} = 0,40 \text{ g}$, maka berdasarkan SNI 1726:2019, tabel 4, kategori desain seismik termasuk dalam kategori D.
- 4) Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 12, sistem struktur yang ditentukan adalah sistem Struktur Rangka Pemikul Khusus (SRPMK) dengan koefisien modifikasi respon (R) adalah 8,0.

e. Membuat spektrum respon desain

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 * (S_{D1} / S_{DS}) \\ &= 0,2 * (0,40 \text{ g} / 0,56 \text{ g}) \\ &= 0,14 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$T_s = S_{D1} / S_{Ds}$$

$$= 0,40 \text{ g} / 0,56 \text{ g}$$

$$= 0,71 \text{ detik}$$

$$T_L = 20 \text{ detik}$$

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 6.4 ditetapkan:

Untuk $T < T_0$, S_a diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{Ds} \times (0,4 + (0,6 \times T/T_0))$$

Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$, S_a diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{Ds}$$

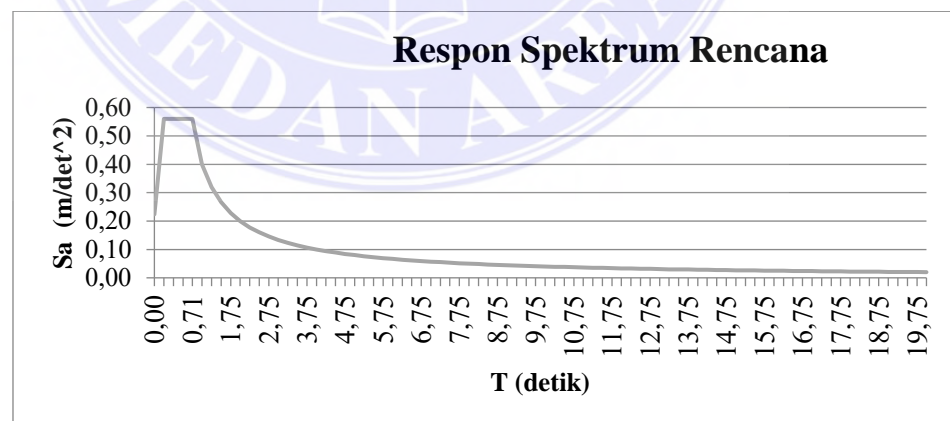
Untuk $T_s \leq T \leq T_L$, S_a diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{D1}/T$$

Untuk $T > T_L$, S_a diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{D1} \times T_L/T^2$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka diperoleh gambar respon spektrum rencana seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Respon spektrum rencana (Data lapangan, 2024)

f. Menentukan waktu getar alami struktur

Diketahui jumlah lantai pada gedung yang ditinjau adalah 5 lantai dengan tinggi perlantai 3,2 m dengan tinggi total (h) 17,65 m dan sistem struktur

adalah sistem rangka beton pemikul momen, maka berdasarkan SNI 1726:2019, tabel 18, diperoleh:

$$C_t = 0,0466$$

$$x = 0,9$$

Diketahui nilai $S_{D1} = 0,40$ g, maka berdasarkan SNI 1726:2019, tabel 17, diperoleh:

$$C_u = 1,4$$

Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik

$$\begin{aligned} T_a &= C_t * (h^x) \\ &= 0,046 * (17,5^{0,9}) \\ &= 0,61 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{\max} &= C_u * T_a \\ &= 1,4 * 0,61 \text{ detik} \\ &= 0,86 \text{ detik} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis SAP 2000, diperoleh T_c 1 (mode 1) = 0,469 detik dan T_c 2 (mode 2) = 0,424 detik. Untuk syarat periode struktur (T) yang digunakan yaitu jika $T_c > T_{\max}$ maka digunakan $T = T_{\max}$, jika $T_a \leq T_c \leq T_{\max}$ maka digunakan $T = T_c$ (terbesar), dan jika $T_c < T_a$ maka digunakan $T = T_a$. Maka T yang digunakan adalah 0,61 detik

g. Menentukan gaya geser dasar

Diketahui $T_L = 20$ detik, $T = 0,61$ detik, $S_1 = 0,40$ g.

Nilai koefisien respon seismik (C_s) ditentukan dengan 3 cara dan gunakan nilai terbesar. C_s ditentukan dengan persamaan berikut:

$$C_s = S_{DS} / (R/I)$$

$$= 0,56 / (8 / 1)$$

$$= 0,07$$

Syarat 1: apabila $T \leq T_L$, maka C_s tidak perlu melebihi:

$$C_s \text{ max} = S_{D1} / (T * (R/I))$$

$$= 0,40 \text{ g} / (0,61 * (8/1))$$

$$= 0,082$$

Syarat 2: apabila $T > T_L$, maka C_s tidak perlu melebihi:

$$C_s \text{ max} = (S_{D1} * T_L) / (T^2 * (R/I))$$

$$= (0,40 * 20) / (0,61^2 * (8/1))$$

$$= 2,687$$

Syarat 3: untuk nilai $S_1 \geq 0,6 \text{ g}$, maka C_s harus lebih dari:

$$C_s \text{ min} = (0,5 * S_1) / (R/I)$$

$$= (0,5 * 0,40) / (8/1)$$

$$= 0,025$$

C_s harus lebih dari :

$$C_s \text{ min} = 0,044 * S_{DS} * I$$

$$= 0,044 * 0,56 * 1$$

$$= 0,025 \geq 0,01$$

Maka nilai C_s yang dipakai adalah 0,070

Untuk menentukan nilai gaya geser dasar (V) dibutuhkan nilai berat total gedung (W_t), setelah dilakukan perhitungan berat bangunan diperoleh berat total gedung adalah 47373,22 kN.

$$V = C_s * W_t$$

$$= 47373,22 * 0,07$$

$$= 3316,13 \text{ kN}$$

- h. Menentukan gaya horizontal gempa statik ekuivalen (F_i)

$$F_i = \frac{W_i \times h_i^k}{\sum W_i \cdot h_i^k}$$

Hasil interpolasi linear k diperoleh nilai k adalah 1,06

Maka dilakukan perhitungan distribusi gaya gempa statik ekuivalen dengan diperoleh hasil seperti pada Tabel 24.

Tabel 24. Tabel distribusi gaya gempa statik ekuivalen

| Lantai (i) | W_i (kN) | H_i (m) | H_i^k (m) | $W_i \cdot (H_i^k)$ (kNm) | F_i (kN) |
|---------------|---------------|--------------|----------------|------------------------------|---------------|
| 5 | 456,50 | 17,65 | 20,968 | 9571,808 | 72,97 |
| 4 | 11573,23 | 12,8 | 14,916 | 172622,4 | 1316,04 |
| 3 | 11573,23 | 9,6 | 10,995 | 127251,2 | 970,14 |
| 2 | 11808,62 | 6,4 | 7,154 | 84479,23 | 644,05 |
| 1 | 11961,64 | 3,2 | 3,431 | 41044,02 | 312,91 |
| Total | | | | 434968,66 | 3316,13 |

Jika nilai V adalah 3316,13 kN bernilai sama dengan F_i yang bernilai 3316,13 kN maka perhitungan telah memenuhi syarat.

3.4.3 Tahap Pemodelan Struktur

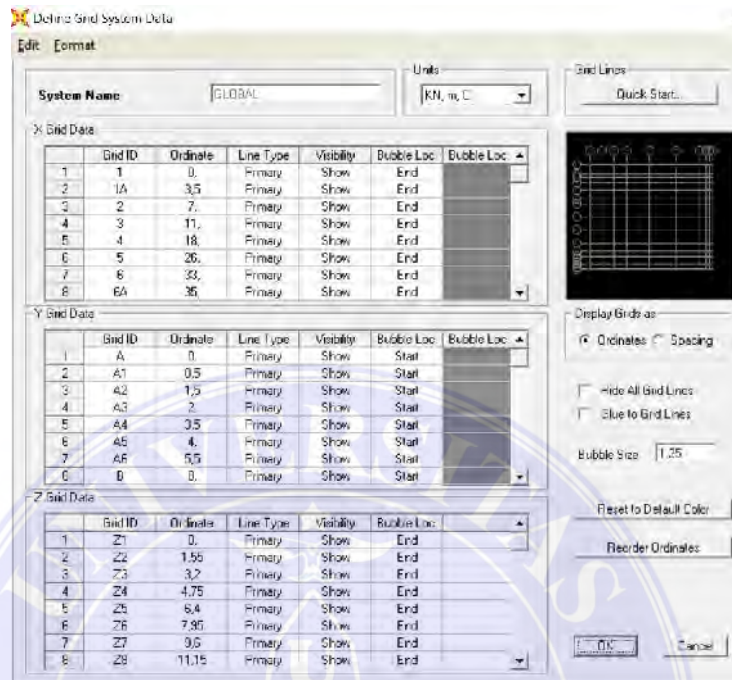
- a. Menentukan satuan dan letak koordinat

Di awal pengerjaan pemodelan struktur, tentukan satuan (kN, m, C) agar satuan pada pemodelan tidak berbeda-beda. Dilanjutkan dengan membuat grid dengan menentukan koordinat x, y, z pada SAP 2000 seperti pada Gambar 10 agar mempermudah penggambaran struktur.

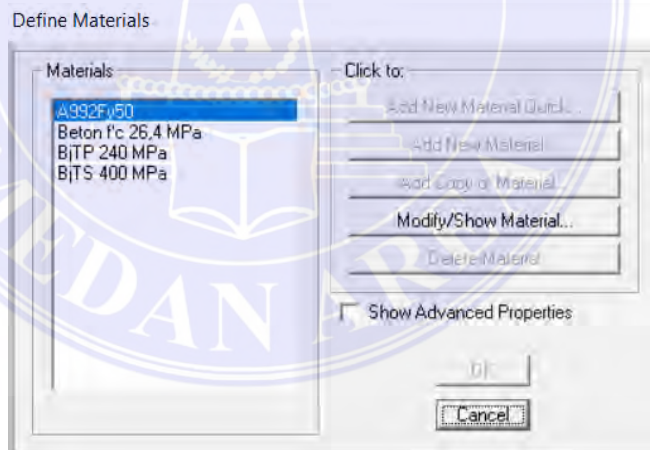
- b. Mendefinisikan jenis material dan penampang

Menentukan jenis material yang akan digunakan pada perhitungan yang berupa beton bertulang, baja tulangan sirip, baja tulangan polos, dan lainnya seperti pada Gambar 11. Mutu beton yang digunakan 26,4 MPa.

Baja tulangan sirip dengan f_y 400 MPa dan baja tulangan polos dengan f_y 240 MPa.



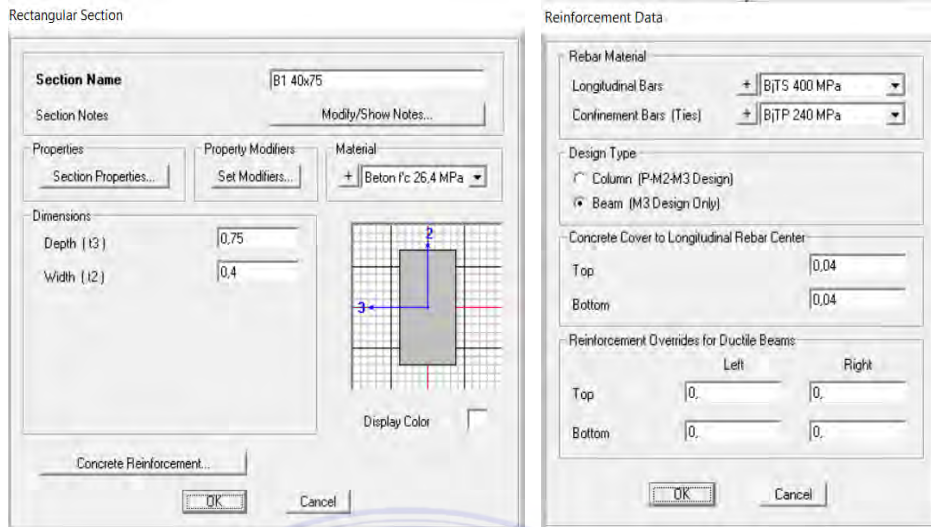
Gambar 10. Menentukan koordinat x, y dan z



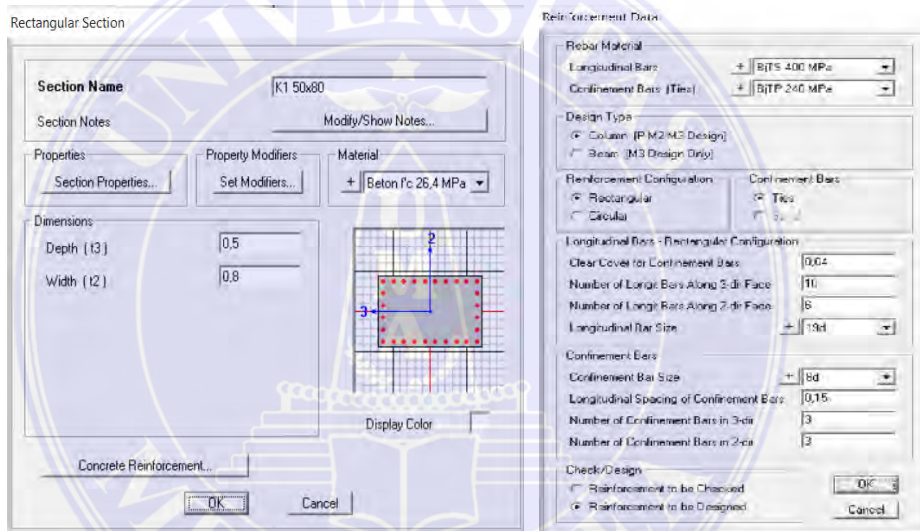
Gambar 11. Penginputan jenis material pada SAP 2000

c. Menggambar penampang dan menentukan perletakan sendi jepit

Definisi penampang balok ditunjukkan pada Gambar 12, definisi penampang kolom ditunjukkan pada Gambar 13 dan definisi penampang pelat ditunjukkan pada Gambar 14. Hasil penggambaran elemen struktur dan perletakan sendi jepit ditunjukkan pada Gambar 15.



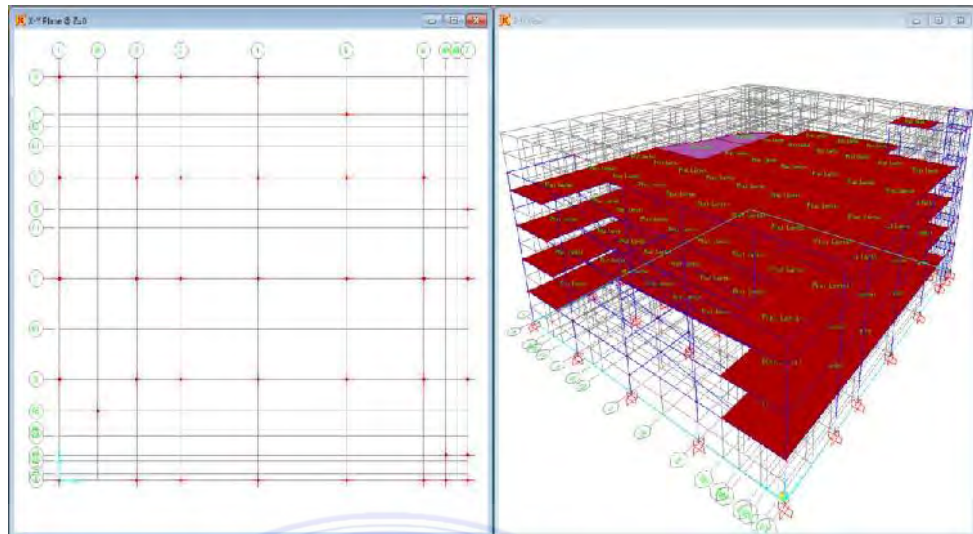
Gambar 12. Mendefinisikan penampang balok



Gambar 13. Mendefinisikan penampang kolom



Gambar 14. Mendefinisikan penampang pelat



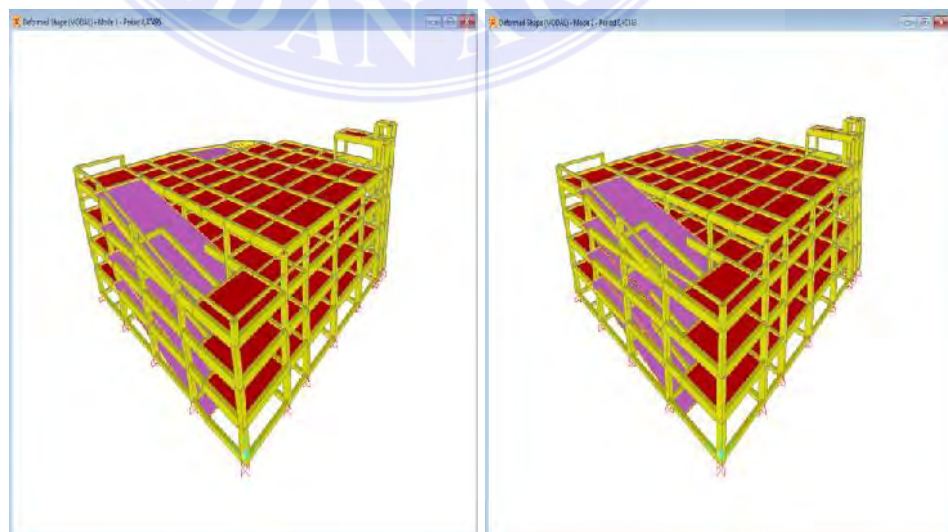
Gambar 15. Perletakan sendi jepit pada struktur

- d. Menentukan nilai periode getar alami struktur

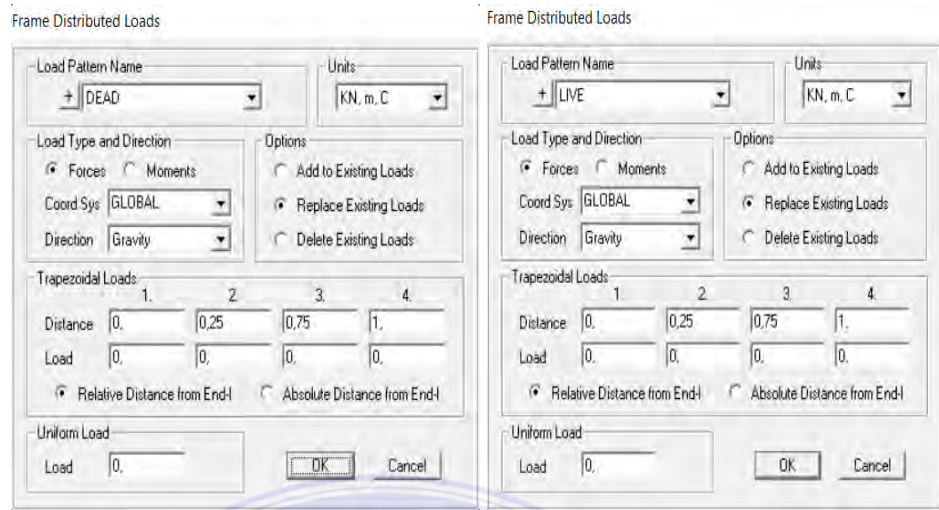
Langkah selanjutnya yaitu menentukan nilai periode 1 dan 2. Diperoleh nilai periode 1 yaitu 0,469 detik dan periode 2 yaitu 0,424 detik. Nilai periode yang diperoleh ditampilkan pada Gambar 16.

- e. Penginputan beban mati, beban hidup dan beban gempa.

Pada perhitungan di atas, sudah dilakukan perhitungan untuk nilai beban mati dan beban hidup. Input nilai beban yang sudah dihitung ke program SAP 2000 seperti pada Gambar 17.



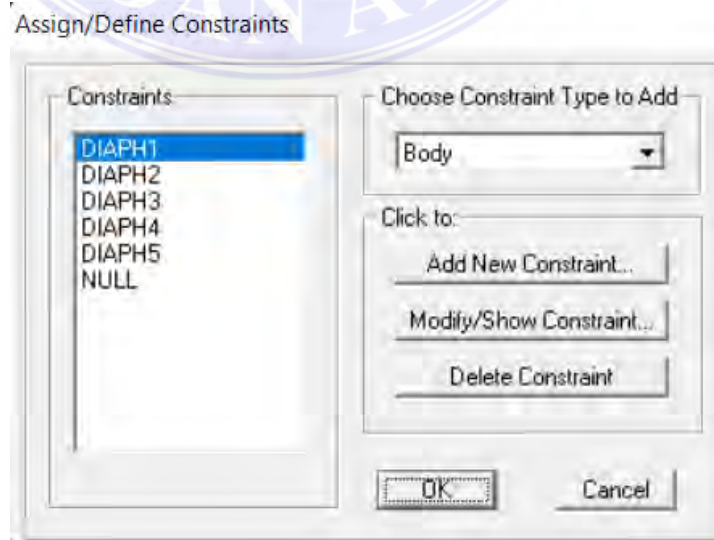
Gambar 16. Nilai periode 1 dan nilai periode 2



Gambar 17. Penginputan beban mati dan beban hidup

f. Membuat diafragma struktur dan penginputan beban gempa

Sesuai dengan jumlah lantai pada struktur gedung ini yaitu 5 lantai maka terdapat 5 diafragma. Diafragma tersebut terdiri atas balok, kolom dan joint yang menghubungkan antar balok-kolom-pelat pada setiap lantai. Lakukan klasifikasi diafragma seperti pada Gambar 18. Setelah pengklasifikasian diafragma, maka masukkan beban gempa tiap lantai yang sudah dihitung pada perhitungan beban gempa. Penginputan beban gempa x dan y dilakukan seperti pada Gambar 19.



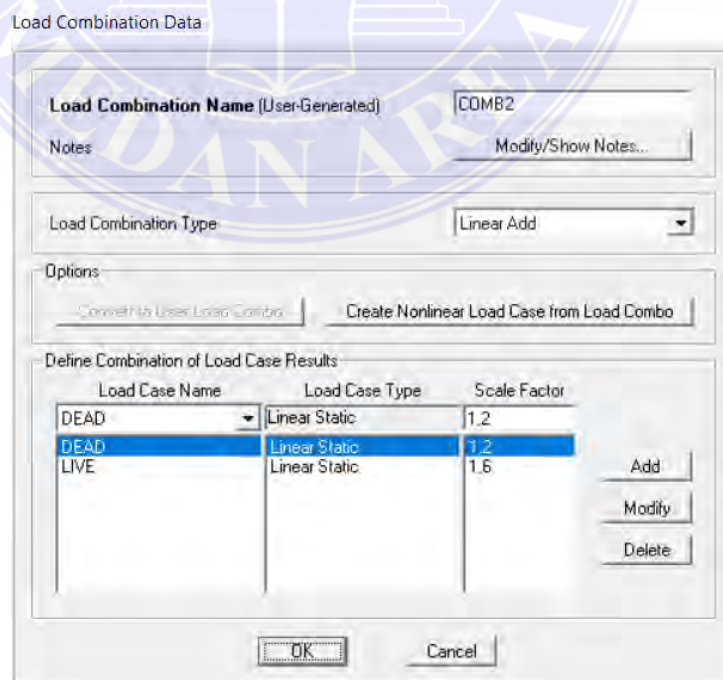
Gambar 18. Klasifikasi diafragma struktur



Gambar 19. Penginputan beban gempa x dan y

g. Menetapkan kombinasi pembebanan

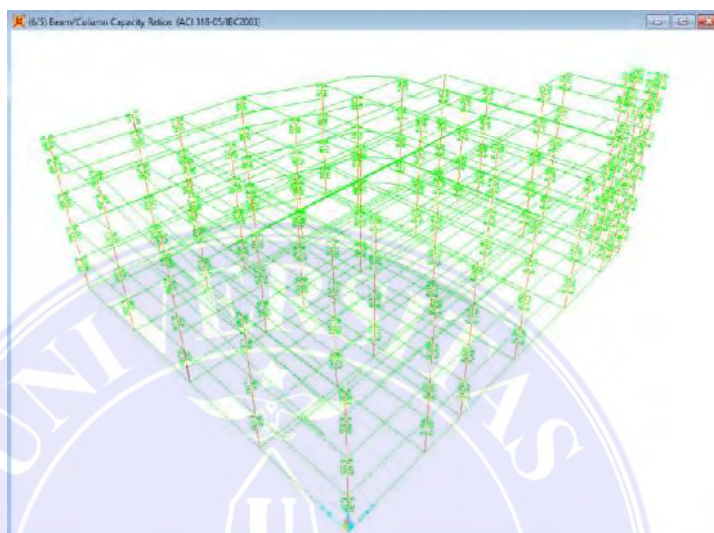
Terdapat 10 jenis kombinasi pembebanan yang akan dimasukkan pada SAP 2000. Salah satunya seperti yang ditampilkan pada Gambar 20 yaitu 1,2 DL + 1,6 LL.



Gambar 20. Input kombinasi pembebanan

h. Hasil analisis

Langkah terakhir pada program SAP 2000 ini yaitu *run analysis*. Tahap ini untuk menentukan apakah bangunan termasuk dalam keadaan aman atau tidak. Maka diperoleh tampilan seperti pada Gambar 21.



Gambar 21. Hasil *run analysis* SAP 2000

BAB V **SIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil evaluasi desain struktur Proyek Pembangunan Gedung Kantor UPPD Medan Utara khususnya pada gedung parkir, dapat ditarik beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Pada beberapa elemen struktur gedung, terdapat perbedaan antara volume perhitungan hasil desain struktur dengan volume perhitungan pada perencanaan awal. Diperoleh beberapa volume hasil desain lebih sedikit dari volume perencanaan awal dan volume hasil desain lebih banyak dibandingkan dengan volume pada perencanaan awal.
2. Persentase maksimum perbedaan antara hasil perhitungan desain dengan perencanaan awal, sebagai berikut:
 - a. Pada struktur kolom, kolom 4 dengan dimensi 40 cm x 40 cm mengalami perbedaan persentase yang paling tinggi yaitu sebesar 33%.
 - b. Pada struktur balok, balok 1 dengan dimensi 40 cm x 75 cm pada lapangan mengalami perbedaan persentase yang paling tinggi. Hasil persentase perbandingan menunjukkan perbedaan pada tulangan tarik 17 %, tulangan susut 33 %, tulangan desak 20 % dan tulangan sengkang 20 %.
 - c. Pada struktur pelat lantai, pada tulangan lapangan arah X dan arah Y mengalami persentase perbedaan paling tinggi yaitu sebesar 20 %

5.2 Saran

Adapun saran dalam penelitian ini, yaitu:

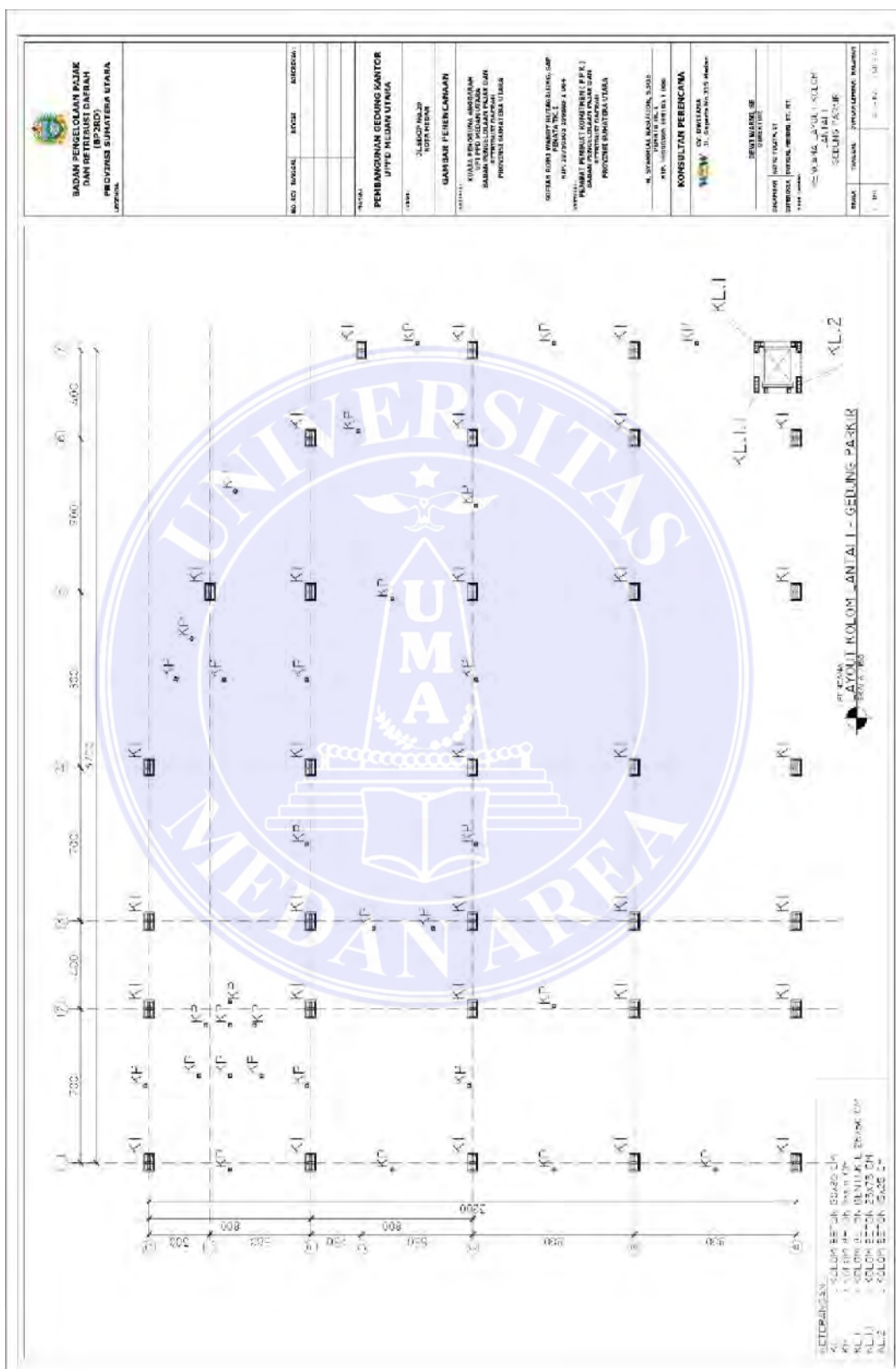
1. Sebelum melakukan perhitungan analisa struktur, sebaiknya terlebih dahulu memahami gambar struktur, apakah bangunan tersebut simetris atau tidak simetris agar memudahkan dalam proses pemodelan struktur pada program SAP 2000.
2. Pada saat memasukkan data pembebanan SAP 2000, lakukan pemeriksaan ulang dan pastikan bahwa semua data sudah dimasukkan.
3. Setelah implementasi desain, penting untuk melakukan evaluasi berkelanjutan terhadap performa struktur gedung. Ini dapat dilakukan dengan memantau dan menganalisis data performa struktural dalam kondisi operasional sehari-hari.
4. Mahasiswa harus memperbanyak studi pustaka untuk mengetahui sistem penulisan ilmiah.

DAFTAR PUSTAKA

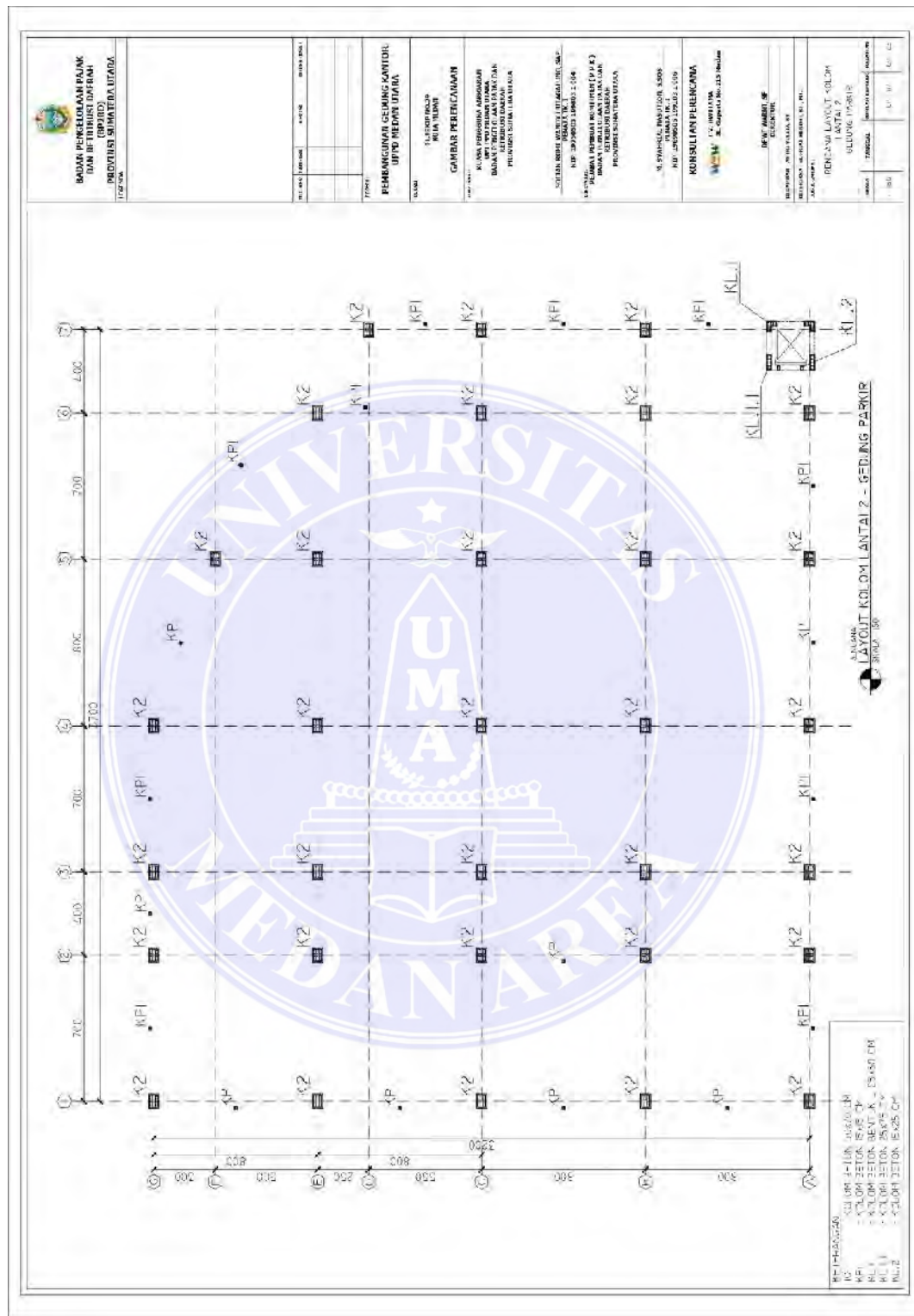
- Almufid, E. G. (2021). Struktur SRPMK dan SRPMM Pada Bangunan Tinggi. *Jurnal Teknik*, 10(1), 24-34.
- Anggreini, P. A. (2020). Evaluasi Desain Struktur Balok Dan Kolom Gedung Sekolah MTS Darul Ulum Kab. Kotabaru Dengan SNI 2847:2019. *ePrints UNISKA*.
- Al Ayyubi A.R., Muhammad Athar, (2022). Analisis Numerik Sambung Pasak Balok Kolom Beton Pracetak. Makasar: Repository Unhas. Badan Standarisasi Nasional. (2017). *Baja Tulangan Beton (SNI 2052-2017)*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). *Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Bangunan (SNI 1727-2020)*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2019)*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung (SNI 03-1726-2019)*. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung (PPIUG 1983)*. Bandung.
- Dipohusodo, Istimawan. (1994). *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama
- Ginting, Rahelina. (2022). Evaluasi Struktur Atas Pada Gedung Living Plaza Cemara Asri Medan. *Jurnal Darma Agung*, 30(1), 178–192.

- Halimatusadiyah. (2016). Perencanaan Struktur Gedung Rusunawa 15 Lantai di Kota Dumai. Sekolah Tinggi Teknologi Dumai: Dumai.
- Hidayah, Nurul. (2019). *Combine Assurance* Dalam Konteks Pengendalian. *Equalibrium*, 8(2), 32-37.
- Kadir, J. I. (2017). Evaluasi Desain Struktur Gedung Training Centre II Universitas Diponegoro. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6(1), 428-437.
- Lubis, Y dan D. Suita. (2021). Kajian Desain Struktur Balok Pada Gedung Bertingkat Berdasarkan SNI 2847:2013 pada Gedung Menara BRI Medan. *Jurnal Simetri Rekayasa*, 3(2), 215-220.
- Noor, Djauhari. (2005). Geologi Lingkungan. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Papulele, F. W. G. (2017). Perbandingan Nilai Kapasitas Beban Maksimum Beton Bertulang Kolom Utuh Dengan Kolom Yang Diperkuat Menggunakan *Chemical Anchor*. *Jurnal Sipil Statik*, 5(8), 519-532.
- Priyono. (2016). Metode Penelitian Kuantitatif. Surabaya: *Zifatama Publishing*. Hal 1.
- Salamah, Siti. (2022). Evaluasi Perencanaan Struktur Atas Gedung Utama Kejaksaan Agung RI. *Nusa Putra*.
- Setiawan, Agus. (2016). Perancangan Struktur Beton Bertulang. Jakarta: Erlangga.
- Tajunnisa, Yuyun. (2014). Perbandingan Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung Tahan Gempa antara Metode SRPMM dan SRPMK. *Jurnal Aplikasi*, 11(1).

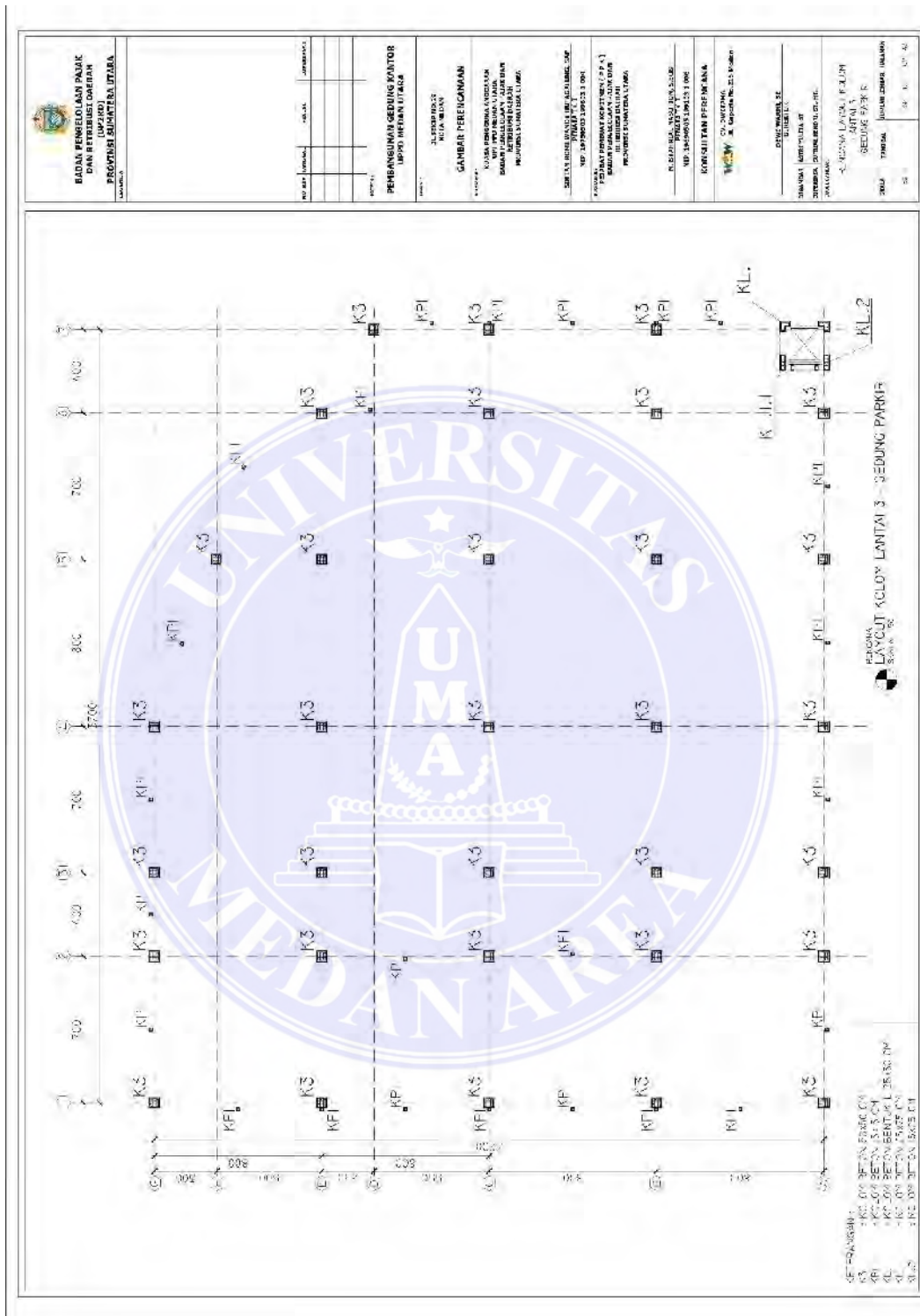
LAMPIRAN



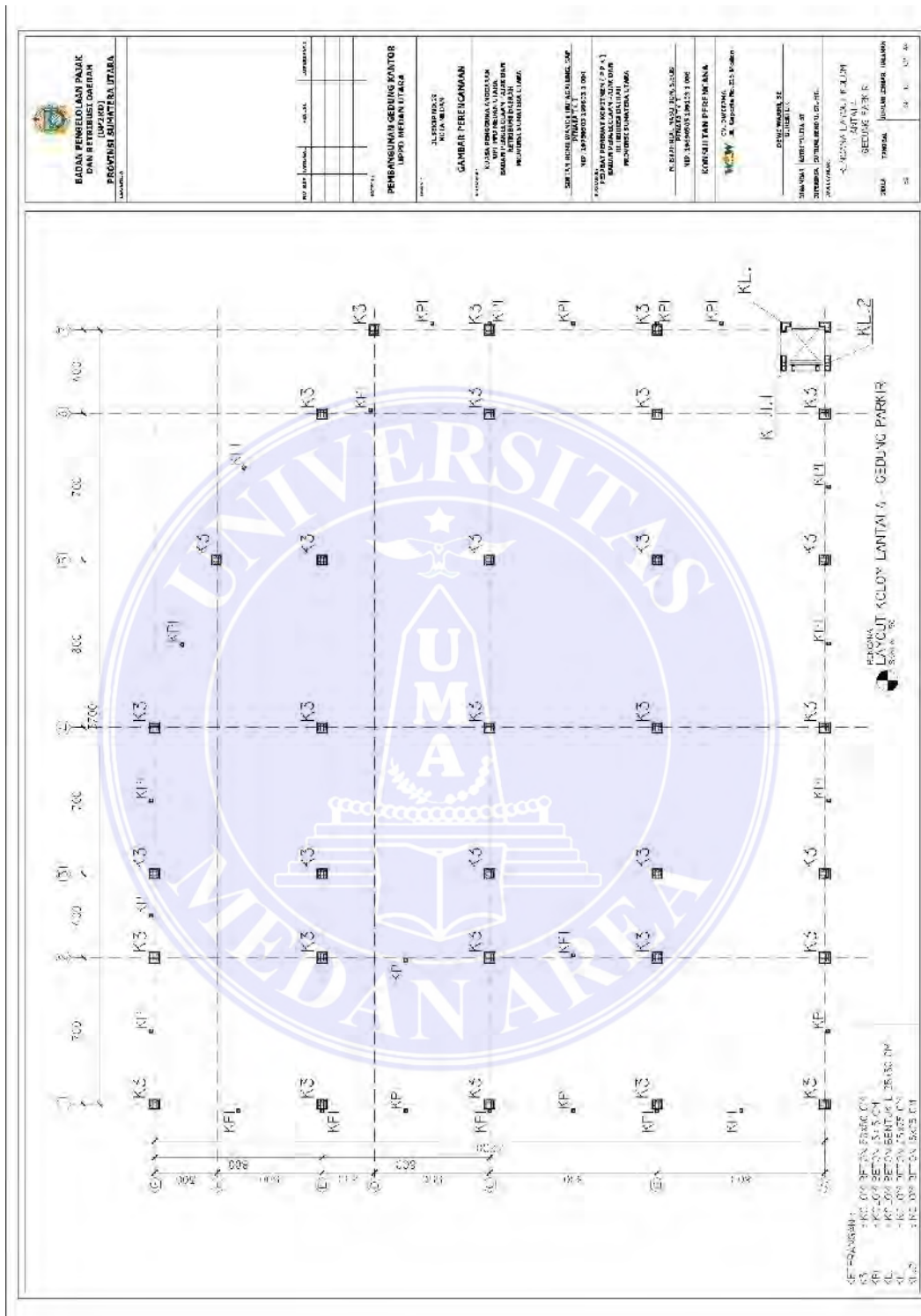
Lampiran 1. Denah kolom lantai 1



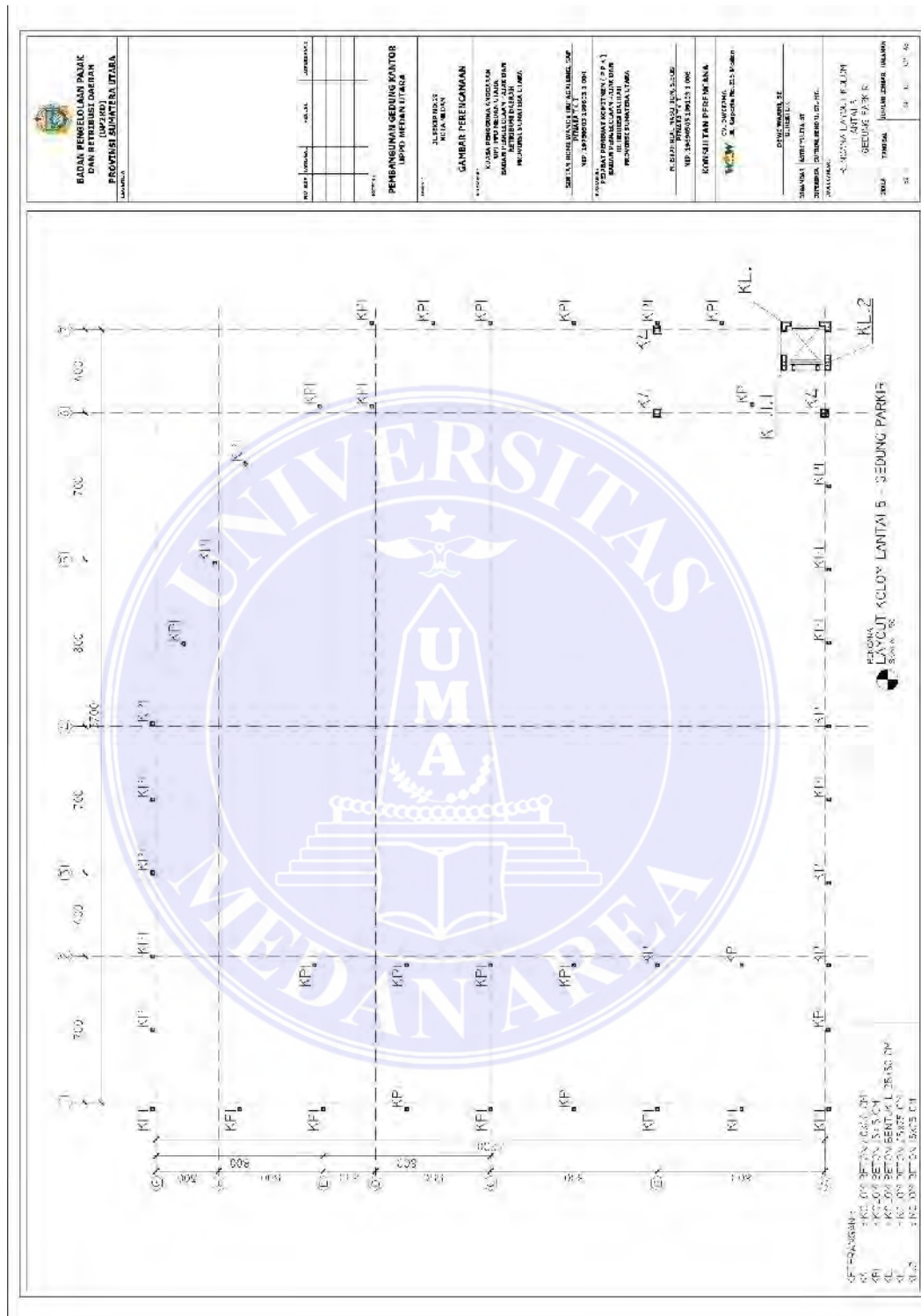
Lampiran 2. Denah kolom lantai 2



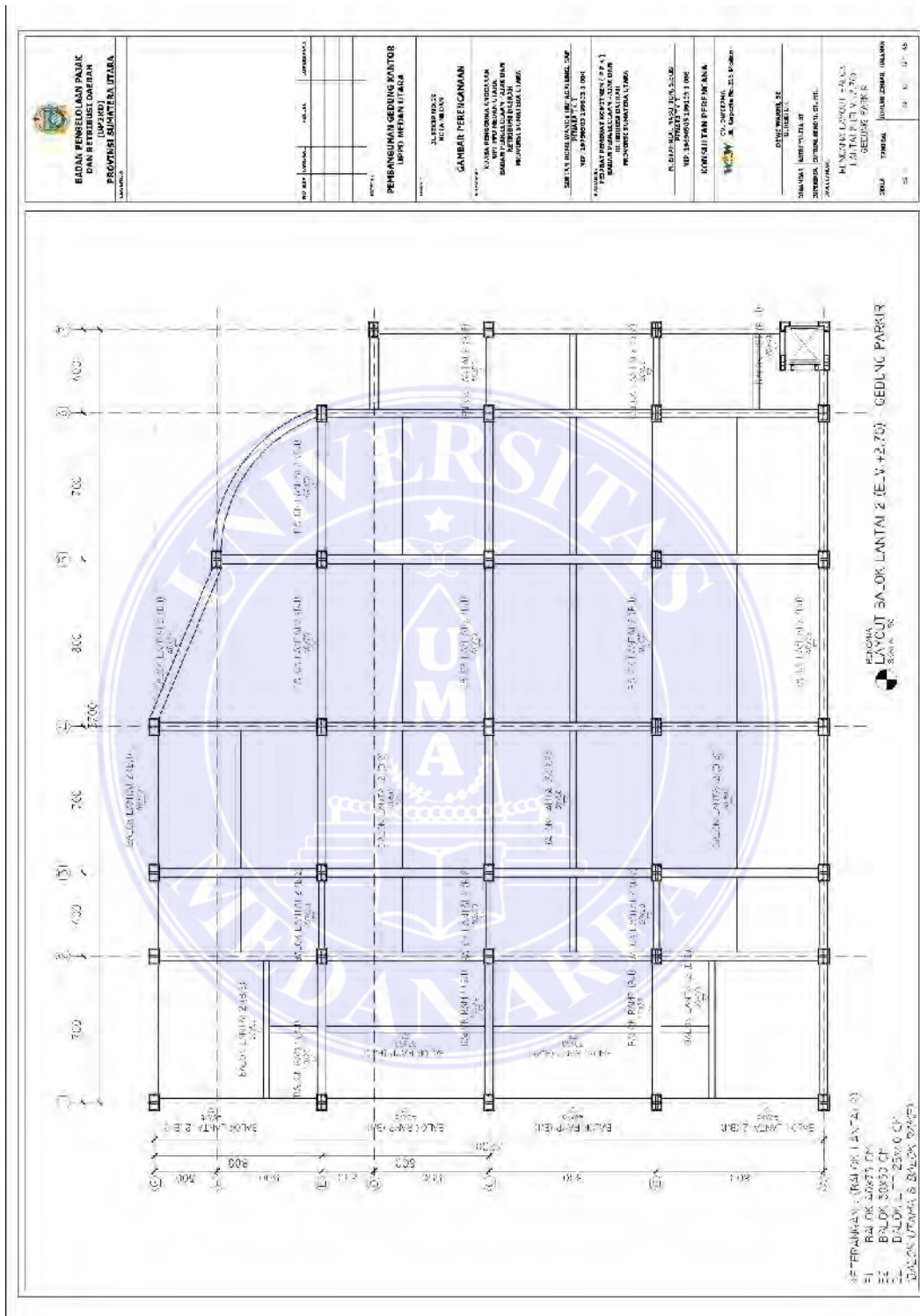
Lampiran 3. Denah kolom lantai 3



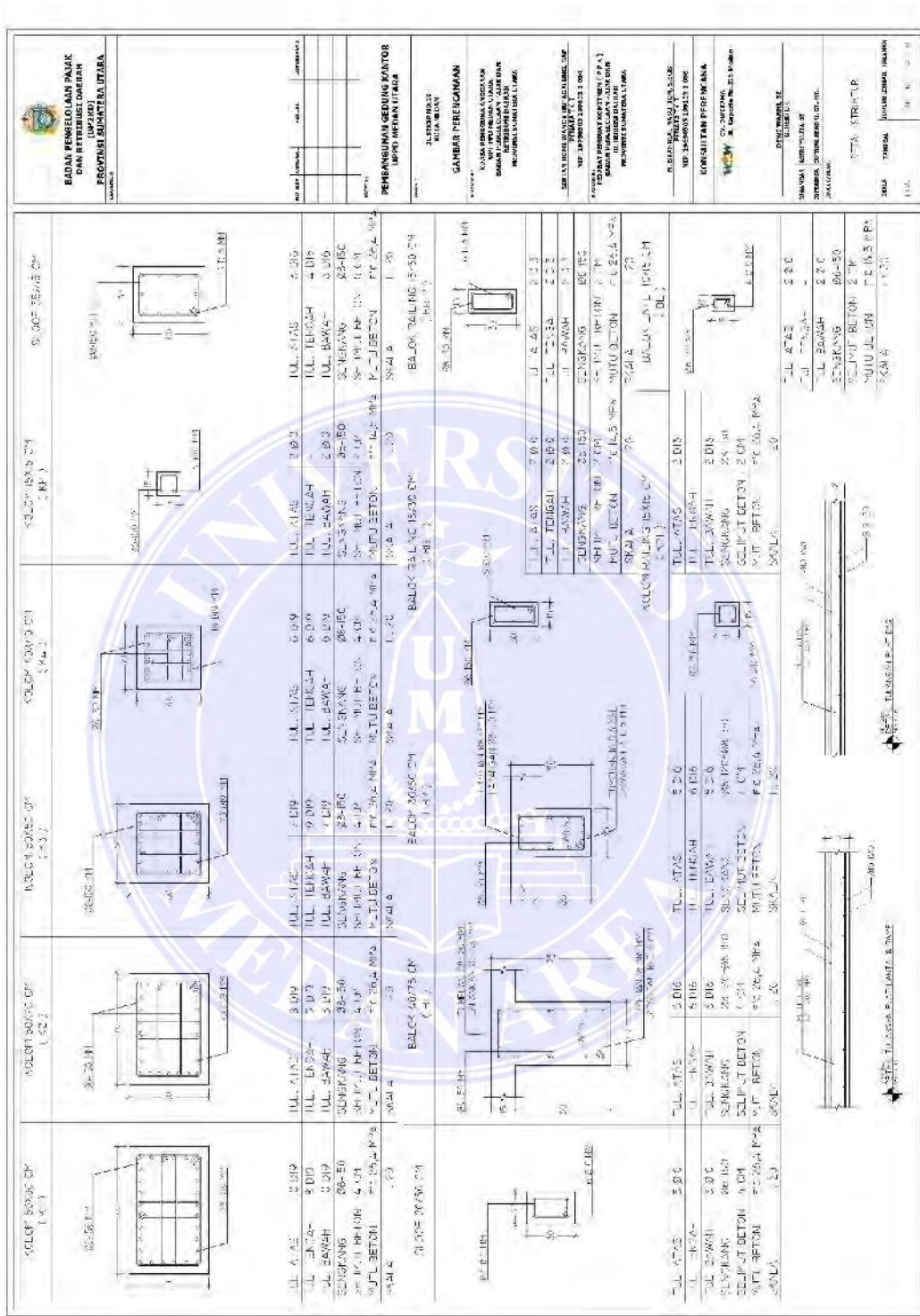
Lampiran 4. Denah kolom lantai 4



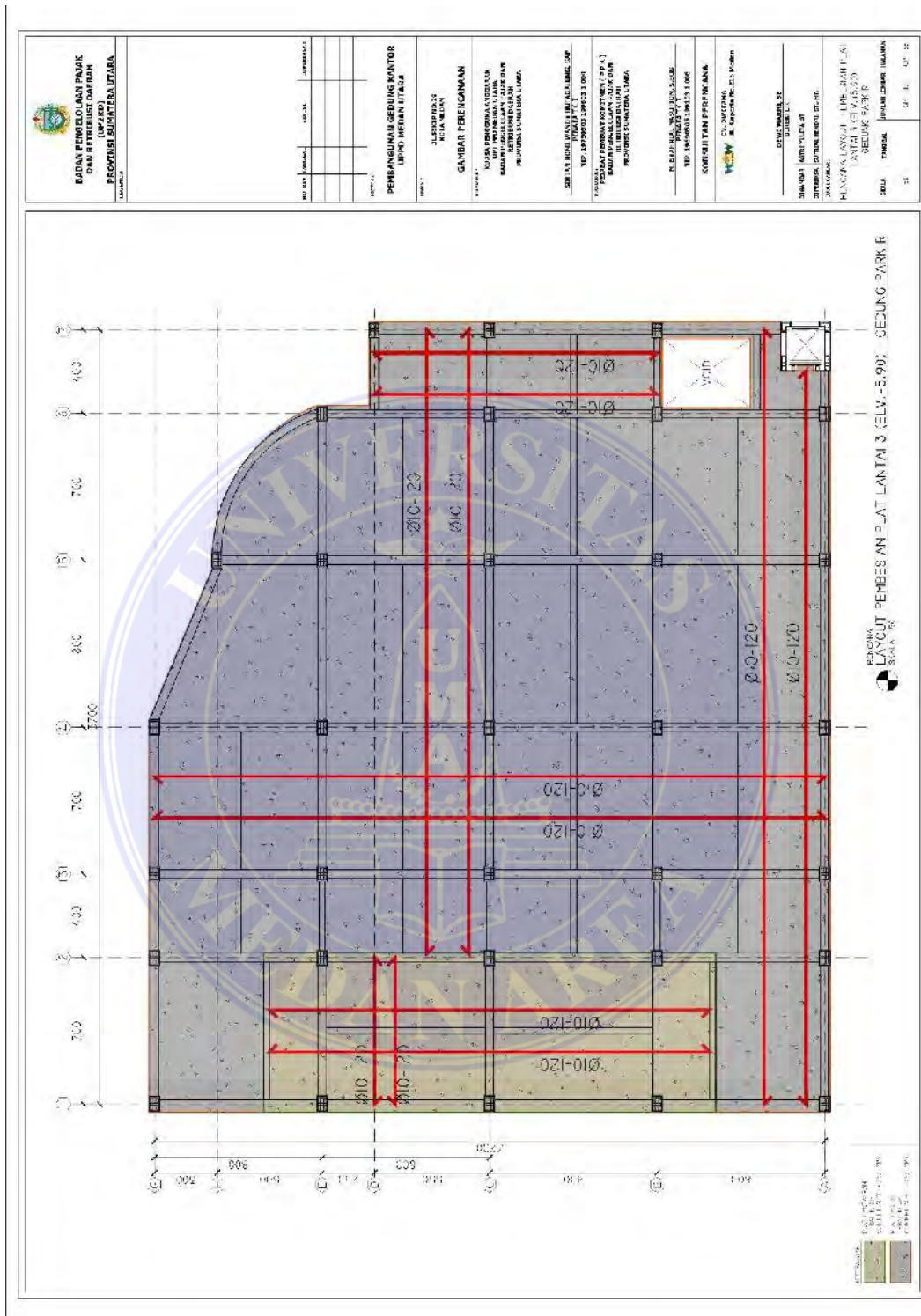
Lampiran 5. Denah kolom lantai 5



Lampiran 6. Denah balok lantai 2



Lampiran 11. Detail struktur



Lampiran 13. Detail plat lantai 3

3.2 Daya Dukung Ijin Tanah Berdasarkan Hasil Sondir Test

Pengujian penetrasi kerucut statis atau pengujian sondir termasuk jenis alat penetrasi statis, alat pengujian berupa kerucut dengan diameter 3.57 cm atau luas penampang 100 mm².

Kerucut dihubungkan dengan batang besi, didalam besi pipa ada batang besi penekan atau gerakan gerigi dari hasil pemutaran dengan tangan, kecepatan penekanan mata konus 100 mm/detik dan pembacaan tahapan konus dilakukan dengan melihat manometer pengukurnya.

Beban dibagi dengan luas penampang konus merupakan tahanan kerucut statis, Cone resistant (CR).

Dari diagram tahanan konus yang dihasilkan, dari pengujian kerucut statis atau sondir, daya dukung tanah secara empiris dapat ditentukan.

Dari hasil pengujian sondir dilapangan dapat dihitung daya dukung ijin tanah untuk pondasi dangkal berdasarkan formula L. Heriminier dan Mayeerhof yaitu sbb :

$$q_i = q_c / 10 F_k$$

dimana :

q_i = Daya dukung ijin tanah

q_c = Perlawanan ujung (Cone Resistant)

F_k = Faktor keamanan $\rightarrow F_k = 2 \text{ s/d } 4$

IV. HASIL PENGUJIAN SONDIR

Dari hasil pembacaan manometer pada alat sondir yaitu perlawanan ujung konus (cone resistance) dengan symbol q_c dinyatakan dalam kg/cm² dan total perlawanan (total resistance) dinyatakan dalam kg/cm², maka dilakukan perhitungan hambatan lekat (skin friction) dengan symbol SF dinyatakan dalam kg/cm dan jumlah hambatan

Lampiran 18. Daya dukung ijin tanah

lekat (total skin friction) dinyatakan dengan symbol TSF dinyatakan dalam kg/cm dan selanjutnya digambarkan dalam bentuk grafik sondir (graphic sondering test) yaitu hubungan perlawanan penetrasi konus dengan kedalaman dan hubungan jumlah hambatan lekat dengan kedalaman.

Berdasarkan hasil pengujian penetrasi sondir yaitu dari data perlawanan konus (q_c), tingkat kepadatan relatif dari lapisan tanah dapat diketahui yaitu sbb:

q_c (kg/cm²) = 0 - 16 : Sangat lepas

q_c (kg/cm²) = 16 - 40 : Lepas

q_c (kg/cm²) = 40 - 120 : Sedang

q_c (kg/cm²) = 120 - 200 : Padat

q_c (kg/cm²) > 200 : Sangat Padat (keras)

Hasil pelaksanaan pengujian penetrasi sondir sebanyak 3 (tiga) titik dapat dilihat spt pada table berikut ini :

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Sondir

| Titik Sondir | Kedalaman (m) | Perlawan Konus (q_c) (kg/cm ²) | jumlah hambatan lekat (TSF) (kg/cm) |
|--------------|------------------|--|--|
| S-1 | 12.20 | 220 | 379 |
| S-2 | 13.00 | 230 | 300 |
| S-3 | 18.00 | 203 | 520 |

Lampiran 19. Hasil pengujian sondir