

**ANALISIS STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG IRIAN
SUPERMARKET TEMBUNG – PERCUT SEI TUAN DENGAN
MENGUNAKAN APLIKASI SAP 2000**

SKRIPSI

OLEH:

**WILLIAM LUMBANRAJA
188110148**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023**

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 14/11/23

Access From (repository.uma.ac.id)14/11/23

**ANALISIS STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG IRIAN
SUPERMARKET TEMBUNG – PERCUT SEI TUAN DENGAN
MENGUNAKAN APLIKASI SAP 2000**

SKRIPSI

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



Oleh:

**WILLIAM LUMBANRAJA
188110148**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Struktur Bangunan Gedung Irian Supermarket
Tembung – Percut Sei Tuan Dengan Menggunakan
Aplikasi SAP2000
Nama : William Lumbanraja
NPM : 188110148
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:
Komisi Pembimbing


Ir. Nuril Mahda Rangkuti, M.T
Pembimbing


Dr. Rahmat Syah, S.Kom., M.Kom
Dekan


Tika Lilita Vlandari, S.T., M.F
Ka. Program Studi

Tanggal Lulus : 20 Juli 2023

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.



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : William Lumbanraja
NPM : 188110148
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non Exclusive Royalty Free-Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Analisis Struktur Bangunan Gedung Irian Supermarket Tembung – Percut Sei Tuan Dengan Menggunakan Aplikasi SAP2000. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneklusif 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 : 20 Juli 2023
Yang menyatakan


(William Lumbanraja)

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Lintongnihuta pada tanggal 14 April 2000 dari Ayah Mangadar Lumbanraja dan Ibu Riama Silitonga. Penulis merupakan putra ke 2 dari 4 bersudara. Tahun 2018 Penulis lulus dari SMA Negeri 1 Lintongnihuta dan pada tahun 2018 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Supermarket Irian Tembung Percut Sei Tuan.



KATA PENGHANTAR

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 dengan judul Analisis Struktur Bangunan Gedung Irian Supermarket Tembung – Percut Sei Tuan Dengan Menggunakan Aplikasi SAP2000. Terima kasih penulis sampaikan kepada Ibu Ir. Nuril Mahda Rangkuti, M.T, selaku dosen pembimbing dan Ibu Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku Ka. Prodi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada Rini Malau yang telah banyak membantu penulis selama penyusunan skripsi. 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

(William Lumbanraja)

ABSTRAK

Balok dan kolom merupakan komponen struktur yang sangat penting dalam kontruksi bangunan, untuk itu kedua komponen struktur tersebut harus dihitung sesuai dan perhitungan struktur kolom dan balok berdasarkan SNI - 2847:2019 serta analisis struktur yang dilakukan menggunakan program aplikasi SAP 2000 sehingga dapat diteliti sekaligus di pahami untuk pengujian sebelum dilakukan pembangunan untuk tahap selanjutnya. Adapun kelebihan untuk melakukan analisis menggunakan program SAP 2000 yaitu pada program SAP 2000 dapat menganalisa jenis struktur apapun dalam tampilan 2 dimensi dan 3 dimensi dengan berbagai macam pembebanan kombinasi yang diberikan dengan penggunaan lebih efektif dan lebih mudah. Berdasarkan hasil dari perhitungan struktur dengan metode SNI-2847 2019 diperoleh desain tulangan dengan $A's = 2D19 \text{ mm}^2$ dan $A_s = 5D19 \text{ mm}^2$ dan pada kolom diperoleh desain tulangan $23D19 \text{ mm}^2$. Dengan hasil yang diperoleh dari analisis, maka diperoleh sedikit perbedaan pada perhitungan desain tulangan struktur kolom dan balok dengan berdasarkan SNI-2019.

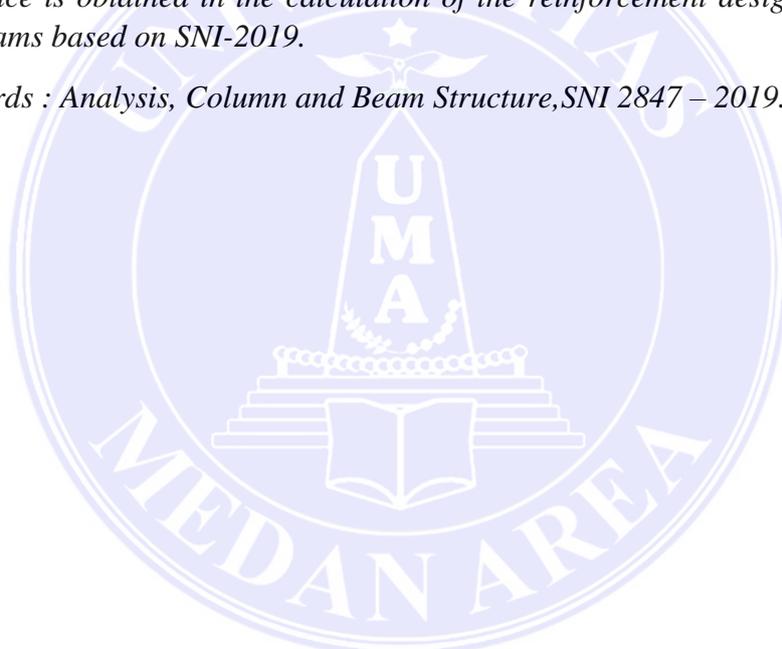
Kata Kunci : Analisis, Struktur Kolom dan Balok,SNI 2847 – 2019.



ABSTRACT

Beams and columns are structural components that are very important in building construction, for this reason the two structural components must be calculated accordingly and the structural calculations for columns and beams are based on SNI - 2847:2019 as well as structural analysis carried out using the SAP 2000 application program so that they can be studied and understood at the same time for testing prior to development for the next stage. The advantage of performing an analysis using the SAP 2000 program is that in the SAP 2000 program it can analyze any type of structure in 2-dimensional and 3-dimensional views with various kinds of loading combinations provided with more effective and easier use. Based on the results of structural calculations using the SNI-2847 2019 method, a reinforcement design with $A's = 2D19 \text{ mm}^2$ and $A_s = 5D19 \text{ mm}^2$ is obtained and the column design is $23D19 \text{ mm}^2$. With the results obtained from the analysis, a slight difference is obtained in the calculation of the reinforcement design for columns and beams based on SNI-2019.

Keywords : Analysis, Column and Beam Structure, SNI 2847 – 2019.



DAFTAR ISI

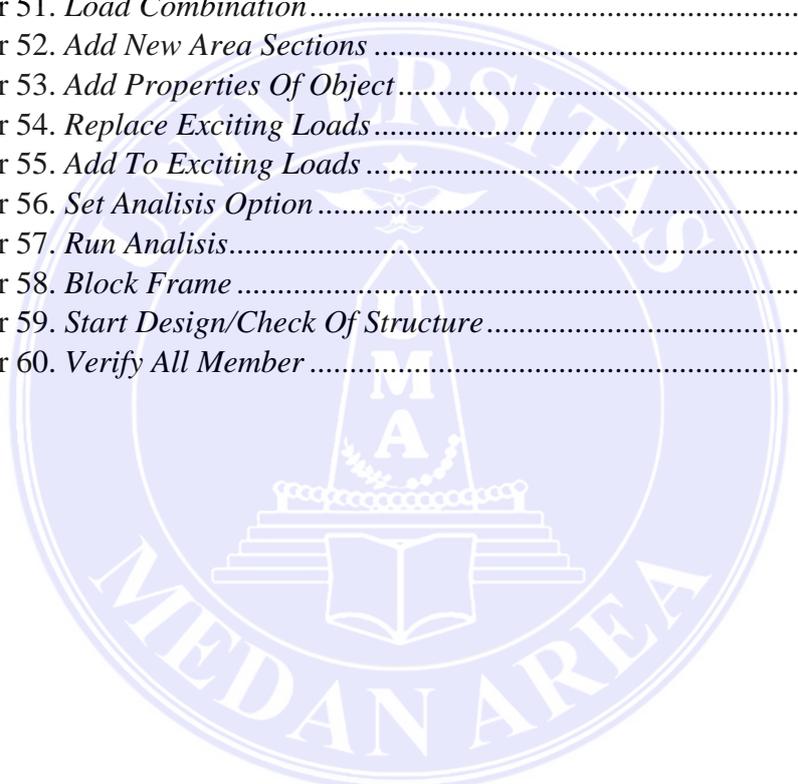
	Halaman
COVER	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
RIWAYAT HIDUP	vi
KATA PENGHANTAR	vii
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR NOTASI.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Maksud Dan Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian terdahulu.....	5
2.2 Pengertian Umum Struktur	7
2.3 Kuat Lentur Balok.....	9
2.4 Kuat Geser Balok	15
2.4.1 Mekanisme Tahanan Geser pada Balok	16
2.5 Kuat Momen Torsi Balok.....	17
2.5.1 Teori <i>space truss</i> torsi	18
2.6 Elemen Struktur Kolom	20
2.6.1 Diagram interaksi kekuatan element kolom.....	22
2.7 Rumus Desain Kolom	24
2.7.1 Pemeriksaan Dimensi dan Tulangan utama	24
2.7.2 Desain Tulangan <i>Confinement</i>	25
2.8 Pemeriksaan Hubungan Kolom Balok (Joint)	26
2.8.1 Dimensi Join.....	26
2.8.2 Perhitungan Geser di <i>Joint</i>	27
2.9 Rumus Desain Balok.....	28
2.9.1 Baja Tulangan untuk lentur pada tumpuan	28
2.9.2 Baja Tulangan untuk Lentur pada tengah bentang.....	30
2.9.3 Check Kapasitas Geser Balok saat terjadi Sendi Plastis	33

2.9.4	Persyaratan <i>Hoops</i> (Sengkang tertutup).....	34
2.9.5	Splicing untuk tulangan menerus	35
2.9.6	Penulangan Torsi.....	35
2.10	Pembahasan Struktur pembebanan.	36
2.10.1	Mutu Beton.....	36
2.10.2	Baja Tulangan	37
2.10.3	Faktor Reduksi Kekuatan	37
2.10.4	Reduksi Kekakuan Penampang.....	37
2.10.5	Berat Sendiri Struktur (DL).....	38
2.10.6	Beban Mati Tambahan (SIDL).....	38
2.10.7	Beban Hidup (LL)	39
2.11	Beban Gempa	40
2.11.1	Kombinasi Pembebanan Struktur Atas.	41
2.11.2	Kombinasi Pembebanan Struktur Bawah.....	42
2.12	SAP 2000	42
2.12.1	Langkah Program SAP 2000 Versi 14	43
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	47
3.1	Sumber Data.....	47
3.2	Lokasi Penelitian.....	47
3.3	Data Teknis Proyek.....	48
3.4	Pengumpulan Data	49
3.5	Kerangka Berpikir.....	51
BAB IV	PEMBAHASAN DAN HASIL PERHITUNGAN.....	52
4.1	Pembebanan Pelat Lantai	52
4.2	Perhitungan Struktur Kolom Berdasarkan SNI 2847-2019	53
4.2.1	Perhitungan Kuat Lentur Kolom	54
4.2.2	Beban Rencana	54
4.2.3	Menghitung Efisiensi Kolom.....	62
4.3	Perhitungan Struktur Balok Berdasarkan SNI 2847-2019.....	66
4.3.1	Perhitungan Desain Balok	67
4.3.2	Perhitungan Kuat Lentur Balok	79
4.3.3	Perhitungan Kuat Geser Balok	86
4.3.4	Perhitungan Momen Torsi Balok	94
4.4	Input Data Ke Software.....	106
4.5	Pembahasan.....	115
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	117
5.1	Kesimpulan	117
5.2	Saran.....	117
	DAFTAR PUSTAKA	xvii
	LAMPIRAN.....	xviii

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Susunan Tulangan Balok.....	9
Gambar 2. Distribusi tegangan regangan balok beton bertulang	10
Gambar 3. Kondisi tegangan-regangan balok saat kuat lentur tercapai.....	12
Gambar 4. Nilai dari parameter kuat lentur pada balok k1,k2,k3	14
Gambar 5. <i>Web shear crack</i>	15
Gambar 6. <i>flexure shear crack</i>	15
Gambar 7. Komponen tahan geser setelah terjadi retak miring pada balok....	17
Gambar 8. Tegangan torsi pada penampang homogen	18
Gambar 9. Analogi <i>thin walled</i>	19
Gambar 10. <i>Space truss analogy</i>	20
Gambar 11. <i>Space truss analogy</i>	22
Gambar 12. Diagram interaksi P – M elemen kolom.....	22
Gambar 13. Kolom yang dibebani beban eksentris	24
Gambar 14. Ss Gempa Untuk Wilayah Medan.....	40
Gambar 15. S1 Gempa Untuk Wilayah Medan	40
Gambar 16. Respon Spekta Desain untuk kelas Situs SE dengan Ss = 0,650 g dan S1 = 0,350 g berdasarkan SNI 2847 – 2019	41
Gambar 17. <i>Model initialization</i>	43
Gambar 18. <i>Define Load Patterns</i>	44
Gambar 19. Luas Tulangan Balok Dan Kolom.....	46
Gambar 20. Lokasi Proyek.....	47
Gambar 21. Denah Lokasi Proyek	48
Gambar 22. Bagan Alir Penelitian	51
Gambar 23. Data Mu Excel.....	53
Gambar 24. Kolom yang di tinjau.....	53
Gambar 25. Konsep Analisa Kolom Tulangan Rangkap.....	54
Gambar 26. <i>Aligment Chart</i>	57
Gambar 27. Desain tulangan kolom.....	61
Gambar 28. Axial terhadap P dan T.....	62
Gambar 29. Beban mati utama V ₂ dan M ₃	63
Gambar 30. Beban Mati Kecil V ₃ dan M ₂ 1	63
Gambar 31. Axial Terhadap P dan T	64
Gambar 32. Beban Mati Utama V ₂ dan M ₃	64
Gambar 33. Beban Mati Kecil V ₃ dan M ₂	65
Gambar 34. Pembalokan Lantai 2 (300 x 700)	66
Gambar 35. Momen <i>Ultimate</i> balok 300x700 cm.....	66
Gambar 36. Diagram Momen (a) Beban Gravitasi, (b) Beban Gempa, (c) Beban Kombinasi	67
Gambar 37. Penulangan balok (300 x 700) cm.....	69
Gambar 38. Konsep Analisa Balok Tulangan Rangkap.....	79

Gambar 39. Detail Balok (300 x 700).....	86
Gambar 40. Gaya geser ultimate sepanjang bentang balok satuan (mm)	87
Gambar 41. Tampak memanjang balok	94
Gambar 42. <i>Model Intialization</i>	106
Gambar 43. <i>3DFrame Type</i>	106
Gambar 44. <i>Grid Data</i>	107
Gambar 45. <i>Material Property Data (f'c)</i>	107
Gambar 46. <i>Material Property Data (fy)</i>	108
Gambar 47. <i>Frame Properties</i>	108
Gambar 48. Tampak Atas <i>Grid</i> Bangunan.....	109
Gambar 49. <i>3d View</i> Bangunan.....	109
Gambar 50. <i>Define Load Patterns</i>	110
Gambar 51. <i>Load Combination</i>	110
Gambar 52. <i>Add New Area Sections</i>	111
Gambar 53. <i>Add Properties Of Object</i>	111
Gambar 54. <i>Replace Exciting Loads</i>	112
Gambar 55. <i>Add To Exciting Loads</i>	112
Gambar 56. <i>Set Analisis Option</i>	113
Gambar 57. <i>Run Analisis</i>	113
Gambar 58. <i>Block Frame</i>	114
Gambar 59. <i>Start Design/Check Of Structure</i>	114
Gambar 60. <i>Verify All Member</i>	115



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Mutu Beton	36
Tabel 2. Baja Tulangan	37
Tabel 3. Faktor Reduksi Kekuatan.....	37
Tabel 4. Beban Mati Tambahan Plat Lantai (SIDL).....	39
Tabel 5. Beban Mati Tambahan Pelat Atap Dak (SIDL).....	39
Tabel 6. Beban Hidup (LL).....	39
Tabel 7. Perhitungan struktur kolom dan balok berdasarkan SNI – 2019.....	115



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Berat beban mati berdasarkan komponen gedung.....	119
Lampiran 2. Beban hidup pada lantai gedung.....	120
Lampiran 3. Data Mu Excel Kolom.....	121
Lampiran 4. Data Mu Excel Kolom.....	121
Lampiran 5. Permodelan Struktur 3D.....	122
Lampiran 6. Denah Kolom yang Ditinjau.....	122
Lampiran 7. Layout Kolom Lantai 1.....	123
Lampiran 8. Layout Balok Lantai 2.....	123
Lampiran 9. Denah Pembalokan lantai 1.....	124
Lampiran 10. Denah Pembalokan Lantai 2.....	124
Lampiran 11. Denah Pembalokan Lantai 3.....	125
Lampiran 12. Denah Pembalokan Lantai 4.....	125
Lampiran 13. Denah Pembalokan Lantai 5.....	126
Lampiran 14. Denah Pembalokan Plat Atap.....	126
Lampiran 15. Tampak Depan Bangunan.....	127
Lampiran 16. Tampak Kanan Bangunan.....	127
Lampiran 17. Tampak Kiri Bangunan.....	128
Lampiran 18. Tampak Belakang Bangunan.....	128
Lampiran 19. Detail Kolom.....	129

DAFTAR NOTASI

\emptyset	:	Faktor Reduksi Kuat Lentur
$A's$:	Luas Daerah Tekan Tulangan
A_s	:	Luas Daerah Tulangan
b	:	Lebar Balok
D	:	Diameter Tulangan Ulir
d	:	Tinggi Efektif Balok
DL	:	Dead Load
$F'c$:	Mutu Beton
F_y	:	Mutu Baja
h	:	Tinggi Balok
LL	:	Live Load
M_n	:	Momen Nominal
M_u	:	Momen Ultimit
\emptyset	:	Diameter Tulangan Polos
$SIDL$:	Superimposed Dead Load
ρ	:	Konfigurasi Penulangan
P_u	:	Gaya Normal
V_u	:	Gaya Geser
N	:	Jumlah
C_c	:	Gaya Tekan Pada Beton
C_s	:	Gaya Tekan Pada Tulangan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada setiap bangunan konstruksi gedung, komponen strukturnya harus memiliki kekuatan untuk menahan beban yang dipikulnya. Balok dan kolom merupakan komponen struktur yang sangat penting dalam konstruksi bangunan, untuk itu kedua komponen struktur tersebut harus dihitung dan dianalisa berdasarkan kombinasi beban dan gaya terfaktor yang sesuai. Perlu disadari bahwa suatu bangunan gedung bukanlah hanya dilihat seberapa balok, kolom, plat, tangga dan atap sedangkan struktur bagian bawah berupa pondasi. Struktur atas berfungsi sebagai pendukung gaya-gaya yang bekerja pada suatu gedung, sedangkan struktur bawah berfungsi menahan serta menyalurkan gaya-gaya tersebut ke tanah. (Jenny Suwa Muda, 2017).

Struktur adalah sebuah gabungan atau rangkaian dari berbagai macam elemen-elemen yang dirakit sedemikian rupa hingga menjadi satu kesatuan yang utuh. Faktor yang seringkali mempengaruhi kekuatan konstruksi adalah beban hidup, beban mati, beban gempa dan beban angin.

Supermarket merupakan bangunan publik yang memiliki faktor keamanan tinggi sehingga diperlukan perencanaan struktur yang mampu menahan gempa rencana untuk menjamin keamanan, keutuhan dan keselamatan penghuni bangunan pasca terjadinya gempa. Pada proyek Irian supermarket PT. Prima Abadi Jaya selaku kontraktor pelaksana dan PT. Maxim Gritama selaku konsultan pengawas. Konstruksi Pembangunan Irian Supermarket Tembung yang memiliki

lokasi yang cukup strategis yaitu di JL. Medan-Batangkuis, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. Pada perencanaan proyek ini akan melakukan pembangunan 5 lantai yaitu 1 lantai supermarket, 3 lantai parkir, dan 1 lantai gudang. Pembangunan proyek tersebut dilaksanakan secara bertahap sesuai dengan schedule dan prosedur kerja yang sudah ditentukan agar dapat mencapai target kerja yang diinginkan.

SAP 2000 (*Structural Analysis Program 2000*) adalah program komputer untuk menganalisa dan mendesain struktur bangunan, baik yang berupa struktur bidang 2 dimensi maupun struktur 3 dimensi. Dalam menganalisa suatu struktur bangunan baik statis tertentu maupun statis tak tentu terdapat berbagai metode antara lain distribusi momen (*Hendry Cross*), *slope deflection*, metode takabeya, metode matriks dan beberapa metode yang dipakai umum lainnya. Salah satu metode yang paling banyak digunakan pada penelitian ini ialah metode Takabeya, yaitu perhitungan struktur portal bertingkat banyak yang berlaku anggapan dasar bahwa deformasi yang disebabkan oleh gaya tekan/Tarik dan geser dalam diabaikan dan hubungan antara balok dan kolom dianggap sebagai hubungan kaku sempurna (monolit. Program SAP 2000 ini dirancang untuk mengetahui adanya gaya-gaya yang muncul pada suatu elemen struktur sebagai akibat dari munculnya beban yang diterima oleh elemen struktur.

Pengerjaan Selanjutnya adalah melakukan perhitungan terhadap daya kuat dan perhitungan kebutuhan jumlah tulangan yang dipasang pada struktur kolom dan balok melalui perhitungan yang sudah dilakukan dan sudah diperiksa oleh bagian konsultan dan sudah memenuhi syarat pembangunan gedung bertingkat dan semua yang terlibat dalam pembangunan akan mendiskusikannya, sehingga dengan adanya

permasalahan yang ingin di selesaikan pada penelitian ini maka judul pada penelitian ini **“Analisis Struktur Bangunan Gedung Irian Supermarket Tembung – Percut Sei Tuan Dengan Menggunakan Aplikasi SAP2000.”**

1.2 Maksud Dan Tujuan Penelitian

Maksud penelitian ini adalah untuk menganalisis struktur Gedung Irian Supermarket Tembung menggunakan aplikasi SAP 2000 berdasarkan SNI 2847-2019.

Sedangkan tujuan penelitian: Untuk menghitung tulangan struktur kolom dan balok dengan menggunakan aplikasi SAP 2000 berdasarkan SNI-2019 pada gedung Irian Supermarket Tembung – Percut Sei Tuan.

1.3 Rumusan Masalah

Masalah – masalah yang timbul dari penelitian ini saya lampirkan sebagai berikut :

Bagaimana perhitungan struktur kolom dan balok beton bertulang pada proyek Irian Supermarket Tembung-Percut Sei Tuan yang ditinjau dengan menggunakan SAP2000 berdasarkan SNI 2847 - 2019 apakah sesuai maka dari itu dilakukan analisis struktur kolom dan baloknya.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah yang akan saya persiapkan dalam penelitian ini :

1. Mengetahui struktur dan pembebanan kolom dan balok pada gedung Irian Supermarket Tembung - Percut Sei Tuan menggunakan program SAP 2000 berdasarkan SNI-2019.

2. Perhitungan struktur kolom dan balok dilakukan dengan bantuan program SAP 2000.
3. Memahami perhitungan struktur bangunan gedung berdasarkan SNI – 2019.
4. Kolom yang akan dibahas adalah kolom dengan kode K1C yang berdimensi 60cm x 60cm.
5. Balok yang akan dibahas adalah balok dengan kode B1 yang berdimensi 30cm x 70cm.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang saya dapatkan dalam penelitian ini :

1. Dengan adanya Tugas Akhir ini dapat menambah ilmu dan wawasan penulis dibidang struktur.
2. Dengan adanya Tugas Akhir ini diharapkan dapat dijadikan referensi bagi masyarakat luas yang ingin mengetahui ilmu dibidang struktur, terutama mahasiswa teknik sipil dan untuk penelitian lebih lanjut.
3. Dapat digunakan sebagai acuan untuk pengolahan data dan pembebanan kombinasi menggunakan program SAP 2000.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian terdahulu

Pencipta Jurnal	Judul Jurnal	Metode Jurnal	Kesimpulan	Link Jurnal
Devi Oktarina, Surya Sebayan, Qoli Paundra (2019)	ANALISIS STRUKTUR KOLOM BETON BERTULANG PERSEGI DAN BULAT DENGAN PROGRAM SAP	Sap 2000, SNI 03 – 2847– 2013.	Hasil Analisa Struktur Gedung menggunakan Program Sap 2000 untuk mengetahui volume bekisting dan volume tulangan yang dimana kolom persegi lebih besar dibandingkan kolom bulat. Sehingga biaya pengeluaran untuk pembuatan kolom persegi lebih rendah dibandingkan kolom bulat.	http://ejournalmala-hayati.ac.id/index.php/teknologi/article/view/46-48
Jenny Suwa Muda, M. Sang Gumilar, Fameira Dhiniati (2017)	PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KANTOR DISHUB KOTA PAGAR ALAM BERBASIS	Sap 2000,	Berdasarkan hasil dan pembahasan Perencanaan struktur Gedung Kantor Dishub Kota Pagar menggunakan Analisa dengan program sap 2000 memacu pada Standar-standar peraturan edisi terbaru, diperoleh hasil Analisa struktur bangunan untuk balok dan plat lantai aman digunakan, Sedangkan kolom terdapat struktur tidak aman	https://ejournal.pstmstpagaralam.ac.id/index.php/bekering/article/view/133

	PROGRAM SAP 2000		karena material boros dan diperlukan perbaikan struktur.	
Ida Ayu Putu Eka Chandra Saraswati (2020)	PERANCA NGAN GEDUNG BERTING KAT 10 LANTAI DENGAN BETON BERTULANG MUTU TINGGI	Sap 2000, SNI 03 – 2847– 2019.	Tulangan transversal pada mutu tinggi dan mutu normal digunakan dengan ukuran yang berbeda dikarenakan kapasitas nominal yang dibutuhkan pada beton mutu tinggi lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas beton mutu normal. Tinggi kolom sama agar dapat melihat perbedaan antara kolom mutu normal dengan mutu tinggi. Dimesi kolom sama agar dapat melihat perbedaan antara kolom mutu normal dengan mutu tinggi	https://re pository. its.ac.id/ 82550/1/ 0311174 0000060 _031117 4000023 - Project_ Report.p df
Wahyuni, Muawir, Riski Armianda (2022)	Analisis Portal Struktur Menggunakan Metode Takabeya dan SAP 2000		Berdasarkan perhitungan dan perbandingan analisis antara metode SAP 2000 dan Takabeya diperoleh hasil <i>output</i> momen SAP 2000 lebih besar 2% dari hasil <i>output</i> momen Takabeya sedangkan untuk gaya geser dan gaya hasil aksial yang mempunyai hasil yang sangat jauh.	https://oj s.unmuh a.ac.id/in dex.php/ tameh/ar ticle/do wnload/ 141/112

2.2 Pengertian Umum Struktur

Balok adalah elemen struktur yang berfungsi menyalurkan beban ke kolom. Balok merupakan bagian dari struktur inti bangunan selain kolom dan pondasi. Sehingga pengecorannya harus dilakukan dengan baik. Tahap pengecoran dimulai sejak tahap persiapan pengerjaan tulangan sampai pada saat perawatan (*curing*). Pelaksanaan pengecoran yang kurang baik dapat menimbulkan pengeroposan pada balok, dan hasil dari survey yang tidak sesuai dengan yang sudah direncanakan. agar mencegah terjadinya pengeroposan tersebut, perlu dilakukan proses- proses pengujian kualitas beton seperti slump test dan test kuat beton yang dilakukan oleh bagian pengendalian mutu (*Quality Control*).

Kolom merupakan struktur utama pada bangunan gedung karena kolom adalah struktur yang akan menahan beban dari bangunan mau beban hidup atau beban mati. Dalam mendesain suatu ukuran kolom pada bangunan, Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung beban yang harus ditahan oleh kolom itu sendiri yang berasal dari kombinasi beban yang terjadi. Momen yang terjadi pada plat lantai atau atap dapat didistribusikan drngan kolom di bawah dan diatas plat lantai berdasarkan kekuatan relative kolom.

Dalam merencanakan suatu bangunan ada beberapa hal penting yang harus diperhatikan salah satunya adalah perencanaan konstruksi dan struktur dari suatu bangunan tersebut. Hal ini bertujuan agar bangunan yang dibangun memenuhi syarat kuat, awet, indah, fungsional dan ekonomis.

Menganalisa suatu struktur bangunan baik statis tertentu maupun statis tak tentu terdapat berbagai metode antara lain distribusi momen (*Hendry Cross*), *Slope Deflection*, Metode Takabeya, Metode Matriks dan beberapa metode yang dipakai

umum lainnya. Salah satu metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Takabeya, yaitu perhitungan struktur portal bertingkat banyak yang berlaku anggapan dasar bahwa deformasi yang disebabkan oleh gaya tekan/tarik dan geser dalam diabaikan dan hubungan antara balok dan kolom dianggap sebagai hubungan kaku sempurna (monolit). Analisa manual dari Metode Takabeya ini nantinya akan dibandingkan dengan program komputer software SAP.

Metode distribusi momen (*Hendry Cross*) cara untuk menyelesaikan persamaan – persamaan simultan di dalam ubahan sudut dengan pendekatan berturut – turut, dengan derajat ketelitian berapapun, seiring kehendak.

Metode *slope deflection* digunakan untuk analisis struktur balok statis tak tentukan portal dengan menggunakan rotasi batang sebagai variabel dikategorikan sebagai metode fleksibilitas (*flexibility method*).

Metode takabeya ialah perhitungan struktur portal bertingkat banyak yang berlaku anggapan dasar bahwa deformasi yang disebabkan oleh gaya tekan/tarik dan geser dalam diabaikan dan hubungan antara balok dan kolom dianggap sebagai hubungan kaku sempurna (monolit).

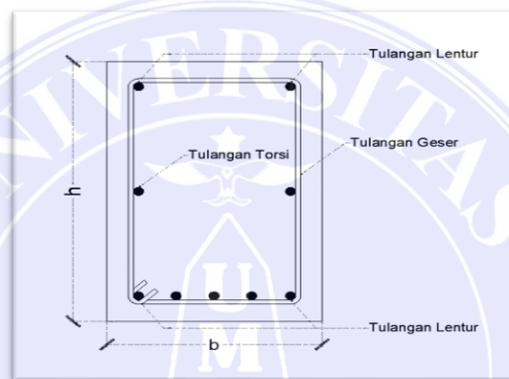
Metode matriks adalah suatu metode untuk menganalisa struktur dengan menggunakan bantuan matriks, yang terdiri dari : matriks kekakuan, matriks perpindahan, dan matriks gaya.

Mengacu pada pembangunan Gedung Irian Supermarket Tembung – Percut Sei Tuan Medan dengan Pembangunan yang menjadi tempat Proyek Penelitian yang sangat baik dan dapat menambah wawasan pengetahuan bagi mahasiswa dan orang sekitar. Campuran Perbandingan Beton Cor juga diperhatikan pada kebutuhan dalam mengikat tulangan dan agregat beserta semen yang membentuk

struktur pondasi, balok dan kolom sehingga dapat menghasilkan cetakan Struktur yang sesuai dan tidak memiliki kegagalan struktur.

2.3 Kuat Lentur Balok

Balok merupakan elemen struktur yang memikul beban tegak lurus dengan sumbu batangnya, baik berupa beban terpusat ataupun beban merata. Akibat beban yang dipikul, balok mengalami gaya dalam, berupa momen lentur dan gaya geser. Adapun gaya aksial, besarnya dapat diabaikan karena relatif sangat kecil.

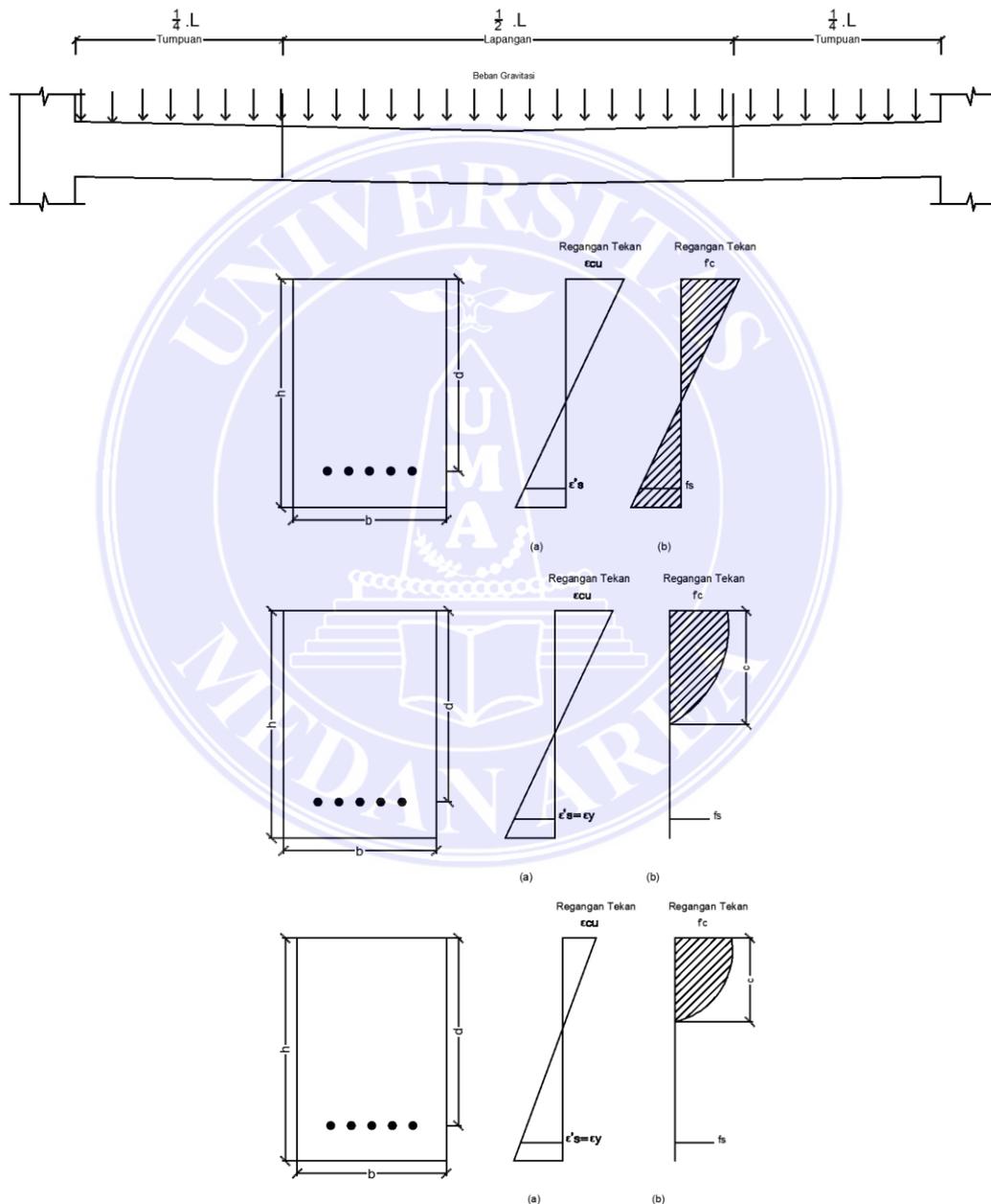


Gambar 1. Susunan Tulangan Balok (Lesmana, Teori Desain Struktur Beton Bertulang, 2019)

Pada Gambar 1, dapat dilihat sebuah balok yang di bebani secara merata sepanjang bentang. Balok tersebut diletakkan pada tumpuan sederhana di kedua ujungnya. Dalam kondisi memikul beban tersebut, balok akan mengalami fenomena lentur yang menyebabkan tegangan tarik dan tekan pada penampang balok. Pada serat atas penampang balok, muncul tegangan tekan dikarenakan beban sedangkan untuk serat paling bawah akan mengalami tegangan tarik. Disaat balok tersebut memikul beban yang relatif kecil, fenomena distribusi tegangan-regangan yang terjadi dapat dilihat seperti pada Gambar 2 (a). Pada kondisi tersebut tegangan tarik dan tegangan tekan belum mencapai batas kekuatan dari material

beton maupun tulangan .Distribusi tegangan -regangan dalam kondisi ini berupa garis linear (garis lurus).

Dengan kata lain ,balok masih berperilaku elastis.Arta dari perilaku elastis disini adalah disaat beban tersebut dihilangkan , maka kondisi balok akan kembali pada posisi semula tanpa adanya lendutan dan kerusakan (retakan).



Gambar 2. Distribusi tegangan regangan balok beton bertulang (Lesmana, Teori Desain Struktur Beton Bertulang, 2019)

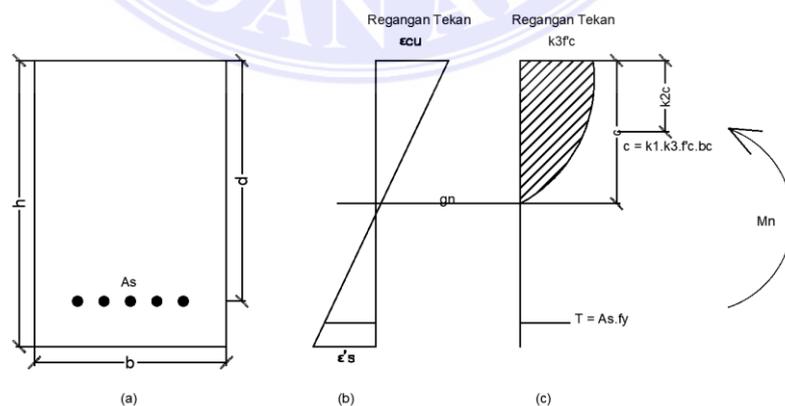
Disaat beban bertambah secara signifikan seperti pada Gambar 2 (b), maka distribusi tegangan pun akan berubah sesuai besaran beban yang ditambahkan. Perubahan diawali dengan adanya perubahan tinggi garis netral (c) yang diikuti dengan bertambahnya tegangan-regangan tekan dan tarik pada serat atas maupun tekan. Pada kondisi tersebut tegangan pada baja tulangan telah mencapai batas kuat lelehnya (f_y) .

Distribusi tegangan pada daerah tekan pun berubah yang awalnya lineat berubah menjadi nonlinear . tegangan tarik pada serat tarik penampang beton telah melampaui kekuatan beton sehingga pada kondisi ini telah terjadi retak (*crack*) pada serat tarik . Lendutan permanen sudah mulai tampak pada beton meskipun beban dihilangkan dari element balok .Hal ini mengangandung arti bahwa beton telah melewati batas elastisnya.

Dengan terjadinya leleh pada tulangan tarik beton, maka tulangan baja akan mengalami tambahan regangan dan diikuti dengan bertambahnya deformasi pada balok, seperti pada Gambar 2 (C). Kondisi retak pada permukaan serat tarik pun akan semakin membesar dikarenakan tulangan baja telah melampaui kuat lelehnya dan mengalami strain hardening. Regangan yang terjadi pada tulangan baja bisa mencapai berkali-kali lipat dari regangan lelehnya . Dengan kata lain, kekuatan baja untuk memikul beban semakin mengecil. Efek *nonlinear* pada tegangan tekan semakin terlihat. Tinggi garis netral semakin berkurang seiring dengan bertambahnya tegangan yang terjadi pada serat tarik balok . Hal ini berarti lengan moment antara gaya tarik dan gaya tekan pada penampang balok semakin meningkat.

Balok dikatakan mencapai batas maksimum (runtuh) bila serat tekan (serat teratas) pada penampang beton telah mencapai ke kuatannya ($\epsilon_{cu} = 0,003$). Dan hal itu menandakan bahwa serat tekan tersebut mengalami kehancuran (crack) dan beton akan runtuh. Pada Gambar 3 akan dibahas lebih detail terkait perilaku lentur balok berdasarkan tegangan-regangan yang terjadi akibat moment lentur yang bekerja. Pada kasus ini akan di asumsikan serat tekan pada serat atas penampang telah mencapai regangan maksimum dari beton yaitu $\epsilon_{cu} = 0,003$. Selain itu ada beberapa asumsi yang akan digunakan guna menjelaskan prinsip dasar perilaku lentur balok pada Gambar 3, yaitu:

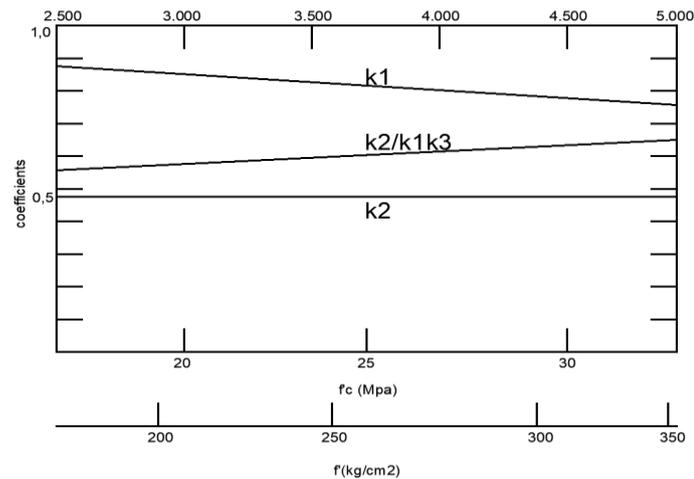
1. Penampang balok akan di asumsikan tetap dalam keadaan datar (*remained plane*) sesaat setelah mengalami moment lentur hingga keruntuhan. Dengan penggunaan asumsi ini maka distribusi regangan pada penampang beton bisa di anggap linier seperti yang terlihat pada Gambar 3 (b).
2. Asumsi yang kedua adalah lekatan (*bond*) antara tulangan dan beton dianggap sempurna tanpa adanya *slip*. Hal ini mengandung arti bahwa regangan yang terjadi pada beton dan tulangan baja adalah sama .



Gambar 3. Kondisi tegangan-regangan balok saat kuat lentur tercapai (Lesmana, Teori Desain Struktur Beton Bertulang, 2019)

Pada Gambar 3 kekuatan dari tegangan tarik beton tidak diperhitungkan (seperti yang telah di jelaskan di awal bahwa beton lemah terhadap tarik maka hal tersebut tidak memberikan sumbangan kekuatan yang signifikan terhadap kuat lentur), sehingga penampang beton di bawah garis netral di abaikan. Karenanya, penentuan nilai efektif (*effective depth*) penampang (d) cukup di ukur dari serat tekan terluar hingga ke titik berat dari tulangan tarik, seperti yang terlihat pada gambar 3.(a).

Terkait distribusi tegangan tekan yang terjadi pada daerah tekan penampang beton, bentuk dan nilainya sangat sulit ditentukan secara pasti. Meskipun di korelasikan terhadap hasil uji yang dilakukan pada benda uji silinder. Untuk itu, para ahli menggunakan parameter k_1 , k_2 , k_3 guna mendefinisikan blok tekan yang terdapat pada daerah tekan dari penampang balok, Nilai parameter tersebut (k_1 , k_2 , k_3) bisa di tentukan berdasarkan hasil eksperimen yang telah di lakukan seperti yang terlihat pada Gambar 4 Nilai (k_1 , k_2 , k_3) menunjukkan nilai resultan gaya tekan yang terdapat dalam penampang balok saat balok tersebut mengalami momen lentur. Parameter k_1 mererespresentasikan oerbandingan antara tegangan rata-rata (*average stress*) dengan tegangan maksimum (*peak stress*), $k_3 f_{1c}$. Sedangkan parameter k_2 adalah faktor yang digunakan untuk menentukan lokasi dari resultan gaya tekan (C) terhadap serat tekan terluar penampang beton. Dan parameter k_3 menggamarkan perbandingan antara tegangan maksimum (*peak stress*) pada daerah tekan balok terhadap kuat tekan tekan yang diperoleh dari uji tekan silinder, f'_c .

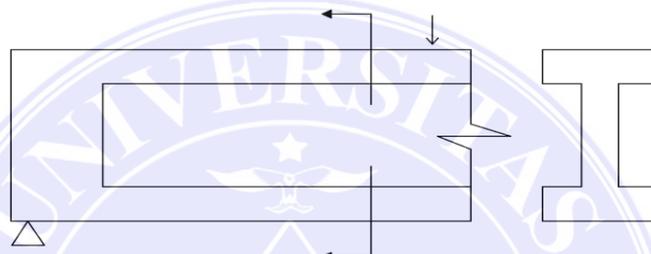


Gambar 4. Nilai dari parameter kuat lentur pada balok k1,k2,k3 (Lesmana, Teori Desain Struktur Beton Bertulang, 2019)

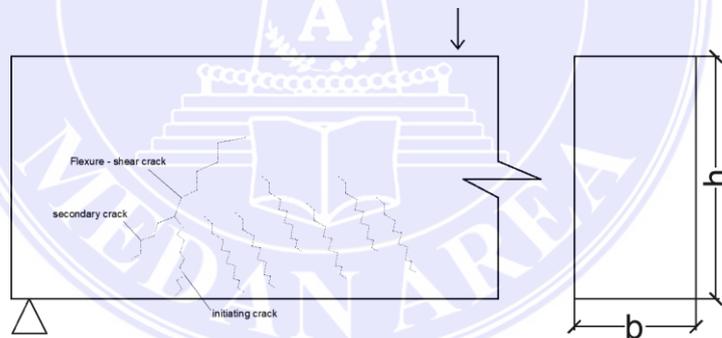
Ketika terjadi retak pada sisi terluar pada sisi terluar dari serat tekan, regangan yang terjadi pada tulangan baja bisa jadi lebih besar atau lebih kecil atau lebih kecil dibandingkan regangan lehnyanya, ϵ_s . Jika perbandingan antara luasan tulangan (A_s) dan luasan penampang beton relatif cukup kecil, maka baja tulangan akan leleh terlebih dahulu sebelum terjadi retak pada sisi terluar dari serat tekan. Sehingga beton akan berperilaku *daktail* dengan menunjukkan deformasi yang cukup besar sebelum mengalami keruntuhan. Kondisi semacam ini di kenal dengan istilah *under-reinforced*. Sebaliknya, bila rasio luasan tulangan (A_s) dan luasan penampang beton relatif cukup besar (artinya: tulangan yang digunakan banyak) maka tulangan baja akan tetap elastis, tidak mengalami rusak saat serat tekan terluar penampang beton mengalami retak. Kondisi seperti ini sangat berbahaya karena keruntuhan akan bersifat mendadak tanpa peringatan (bersifat getas). Fenomena ini di kenal dengan istilah *over-reinforced*. Untuk mencegah keruntuhan getas (*brittle*) pada balok, ACI (*American Concrete Institute*) membatasi nilai regangan pada tulangan baja tarik.

2.4 Kuat Geser Balok

Prinsip dasar dari munculnya retak (*crack*) pada penampang balok adalah adanya fenomena *diagonal tension* yang diakibatkan tegangan geser yang terjadi pada balok. Pola dan lebar dari retak yang terjadi bisa dikontrol dengan menyediakan tulangan geser (*shear reinforcement*) pada balok yang umumnya dipasang secara tegak lurus terhadap tulangan lentur balok. Fenomena *crack* pada balok tanpa tulangan geser dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. *Web shear crack* (Lesmana, Teori Desain Struktur Beton Bertulang, 2019)



Gambar 6. *flexure shear crack* (Lesmana, Teori Desain Struktur Beton Bertulang, 2019)

Pada Gambar 5, balok *prestressed* mengalami retak pada bagian badan penampang balok atau dikenal dengan istilah *web-shear-crack*. Jenis retak ini muncul pada balok tanpa didahului retak akibat lentur.

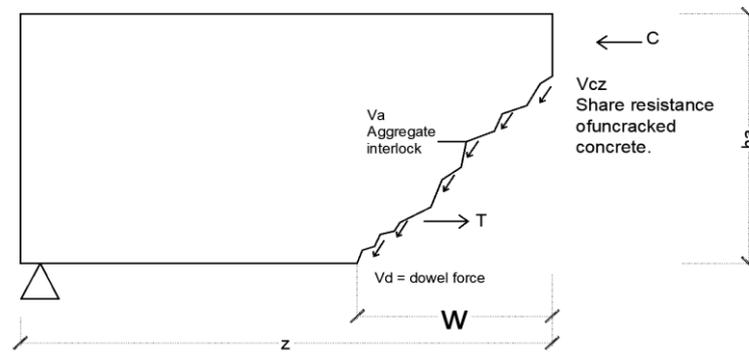
Umumnya kondisi retak jenis ini jarang terjadi pada balok nonprategang (balok umum yang digunakan pada struktur rangka). Sedangkan retak yang muncul yang didahului munculnya retak akibat lentur adalah *flexure-shear-crack*, seperti

yang terlihat pada Gambar 6. Jenis *crack* ini juga dikenal dengan istilah *initiating crack* yang sering muncul pada balok, baik balok *prestressed* ataupun nonprategang. Dengan demikian, peran dari tulangan geser pada balok sangatlah penting guna mencegah terjadinya kegagalan akibat *shear failure*.

2.4.1 Mekanisme Tahanan Geser pada Balok

Mekanisme distribusi tegangan geser yang terjadi pada balok yang tidak memiliki tulangan geser (*shear reinforcement*), melibatkan beberapa parameter seperti yang terlihat pada Gambar 7 Adapun penjelasan terkait parameter tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Tahanan geser pada beton yang tidak mengalami retak (*uncracked concrete*) didaerah tegangan tekan, diberi simbol V_{cz} .
- b. Gaya geser yang terdapat pada permukaan beton (*aggregate interlock or interface shear transfer*) diberi simbol V . Besaran V sangat dipengaruhi oleh kondisi permukaan yang mengalami retak Umumnya permukaannya sangat kasar karena terdapat pecahan dari kerikil (*aggretate*) dari campuran beton.
- c. Tahanan yang disumbang oleh tulangan lentur biasanya disebut dengan *dowel action*, V_a . *Dowel action* ini merupakan tahanan terhadap gaya geser yang berasal dari tulangan longitudinal balok.
- d. *Arch action*, mekanisme tahanan geser yang didapat pada balok tinggi (*deep beam*).



Gambar 7. Komponen tahan geser setelah terjadi retak miring pada balok (Lesmana, Teori Desain Struktur Beton Bertulang, 2019)

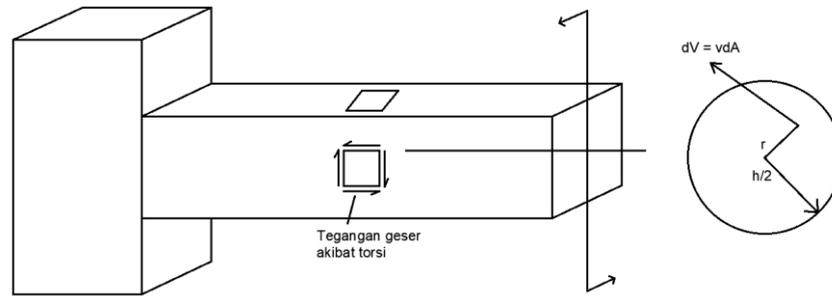
Kemampuan balok untuk memikul beban tambahan setelah terjadi retak miring pada balok, tergantung kepada kemampuan dari bagian beton yang tidak retak untuk mendistribusikan gaya gesernya ke bagian yang lain (bagian retak miring atau pada daerah tegangan tekan). Dengan kata lain, 4 parameter yang telah dijelaskan diatas adalah sangat menentukan tingkat kerusakan yang diakibatkan gaya geser pada balok.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh ACI dan ASCE pada tahun 1973, ditemukan bahwa persentase mekanisme distribusi geser pada balok tanpa tulangan geser saat retak miring telah terbentuk adalah 15-25% oleh *dowel action*, 20-40% oleh bagian beton didaerah tekan yang tidak mengalami retak dan 30-50% oleh *aggregate interlock* dari permukaan beton yang retak. Ketika lebar dan panjang dari retak diagonal bertambah, maka persentase yang disebutkan diatas juga akan berubah.

2.5 Kuat Momen Torsi Balok

Khusus penampang berbentuk lingkaran, disaat menerima momen torsi, diasumsikan bahwa bidang penampang tetap datar meski telah menerima momen torsi yang bekerja pada elemen. Hal ini menyebabkan resultan tegangan geser (u) pada semua titik memiliki besaran yang proporsional terhadap titik tengah

penampang. Dengan mengasumsikan r sebagai diameter penampang bulat dan v merupakan tegangan geser torsi maksimum pada bagian keliling lingkaran, maka:



Gambar 8. Tegangan torsi pada penampang homogen (Lesmana, Teori Desain Struktur Beton Bertulang, 2019)

Momen torsi yang bekerja pada penampang balok dari struktur beton bertulang menyebabkan terjadinya tegangan geser (v) diseluruh bagian penampang balok, seperti yang terlihat pada Gambar 8. Namun berbeda halnya dengan penampang persegi yang memiliki dimensi lebar dan tinggi berupa x dan y . Bila pada penampang bulat, penampang tetap datar meski setelah menerima puntir, namun untuk penampang persegi sedikit berbeda. Permukaan penampang mengalami perubahan bentuk (*warp*) saat setelah menerima puntir.

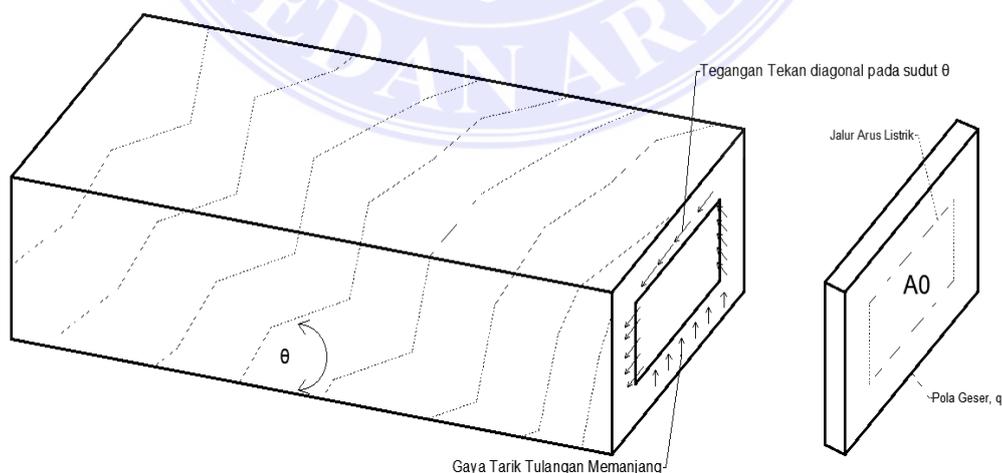
2.5.1 Teori *space truss* torsi

Secara umum, kekuatan dari struktur beton bertulang dalam memikul momen torsi disediakan oleh tulangan dan material beton. Ada dua pendekatan yang dilakukan, yaitu dengan memodelkan balok sebagai *thin-walled tube* dan *space truss*, seperti yang terlihat pada Gambar 9 Tulangan longitudinal yang terletak pada bagian pojok balok berperan dalam menyediakan gaya tarik sedangkan material beton yang berada diantara garis retak berperan dalam

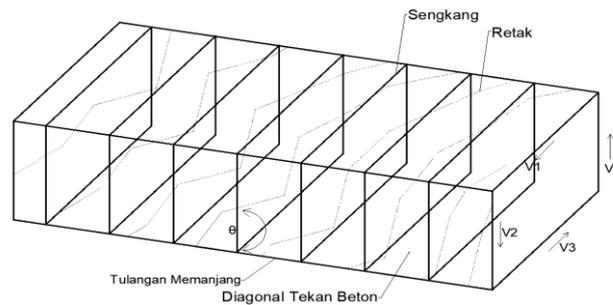
menyumbang kuat tekan. Kuat tekan yang disumbangkan oleh sisi beton diantara retak, terdistribusi secara miring sehingga seolah-olah berperilaku seperti spiral dalam penampang persegi. Kondisi tersebut menyebabkan timbulnya gaya pada sisi horizontal dan vertikal dari penampang persegi.

Bila berbicara penampang balok yang solid, disaat balok telah mengalami retak (*crack*), maka inti beton yang berada ditengah penampang berperan tidak signifikan. Kondisi ini menunjukkan bahwa inti beton dapat diabaikan dalam proses analisa dan ini menjadi dasar asumsi *thin-walled tube* pada balok persegi dalam memikul momen torsi.

Perilaku elemen balok dari beton bertulang umumnya akan berperilaku seperti *thin-walled tube* saat belum mengalami retak, seperti pada Gambar 9. Sedangkan saat telah mengalami retak, balok lebih cenderung berperilaku sebagai *space truss*, seperti yang terlihat pada Gambar 10. Hal ini dikarenakan, saat terjadi retak, material beton pada bagian inti tidak berperan secara signifikan dalam menyumbang kekuatan.



Gambar 9. *Analogi thin walled* (Lesmana, Teori Desain Struktur Beton Bertulang, 2019)



Gambar 10. *Space truss analogy* (Lesmana, Teori Desain Struktur Beton Bertulang, 2019)

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa sesaat setelah terjadi retak pada penampang, perilaku balok dalam memikul torsi dianalogikan sebagai *space truss*. Dalam mekanismenya, analogi *space truss* melibatkan tulangan longitudinal yang terletak pada pojok balok, tulangan sengkang tertutup dan tegangan tekan diagonal dari beton yang telah mengalami retak akibat torsi yang membentuk pola spiral disepanjang balok, seperti yang terlihat pada Gambar 10. Besaran sudut retak yang terbentuk pada kondisi tersebut sekitar 45° . Namun bila retak semakin bertambah, maka sudut kemiringan retak bisa bervariasi antara 30° sampai dengan 60° .

2.6 Elemen Struktur Kolom

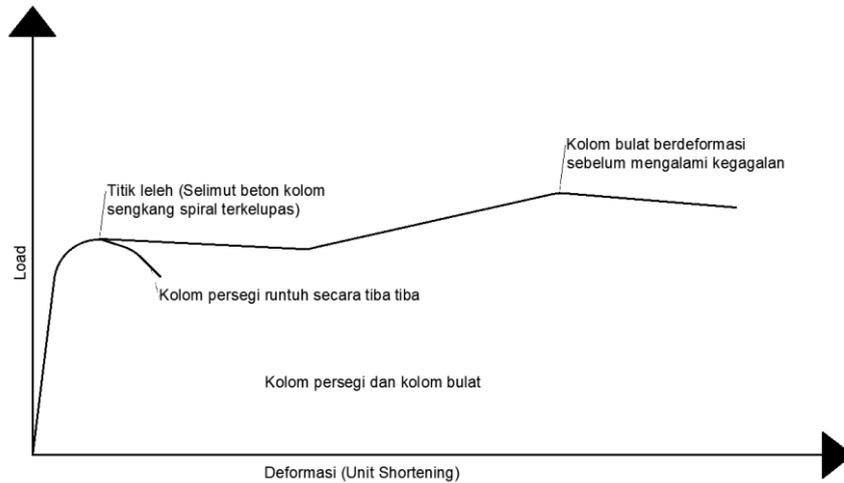
Ketika beton dan tulangan baja bekerja sama dalam kondisi tekan, beban yang dipikul (pada beton & baja) berubah terus menerus secara beraturan selama periode pembebanan. Awalnya, tegangan yang terjadi pada tulangan (ES / EC) kali dari tegangan pada beton (berdasarkan teori elastis). Ketika terjadi pengaruh rangkai dan susuk pada kolom, baja tulangan perlahan-lahan memikul beban lebih besar dibandingkan kapasitas elastisnya.

Bila membandingkan perilaku kolom yang menggunakan sengkang persegi (kolom persegi) dan sengkang spiral (kolom bulat), tentu keduanya memiliki

perbedaan yang cukup signifikan . Hal itu dapat dilihat pada Gambar 11 yang berupa hubungan antara gaya dan deformasi. Kolom bulat disaat menerima aksial tekan akan mengalami leleh (*yielding*) pada kondisi beban tertentu. Bila beban terus diberikan, maka selimut beton pada kolom bulat akan terkelupas dan elemen kolom akan mulai berhenti berdeformasi secara lateral. Hal ini dikarenakan sengkang spiral secara efektif mengikat inti beton yang berada di tengah dan mencegah agar kolom tidak runtuh. Bila tulangan sengkang di desain dengan baik, maka kuat inti beton yang ada di tengah bisa lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi kolom yang masih utuh (sebelum selimut beton terkelupas). Kondisi seperti ini bisa di sebut dengan kuat batas maksimum (*ultimate strenght*) dari kolom bulat.

Berbeda halnya dengan perilaku kolom persegi yang tidak menunjukkan kapasitas deformasi yang serupa kolom bulat. Hubungan *force – deformation* dari kolom persegi hanya memiliki *one peak*, seperti yang terlihat pada gambar 11 Saat kondisi tersebut terjadi, selimut pada kolom akan mengelupas dan tulangan longitudinal diantara sengkang akan mulai mengalami tekuk.

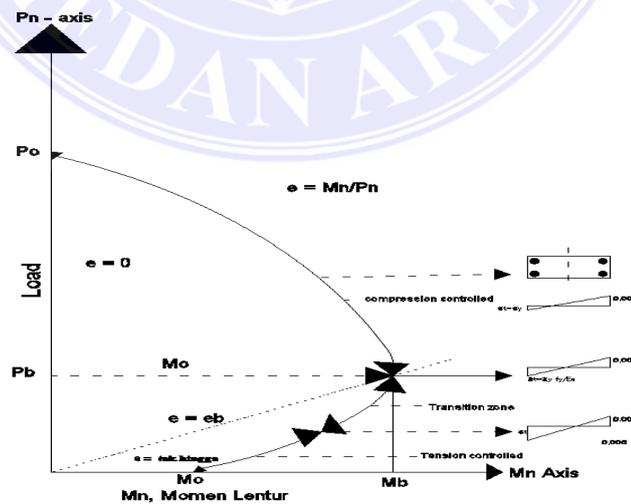
Dengan fenomena tersebut, bisa di katakan bahwa pada kolom persegi tidak terdapat fenomena *yield* (leleh).Titik pumcan (*one peak*) pertama yang terjadi adalah kuat batas maksimum (*ultimate strenght*) dari kolom persegi.



Gambar 11. *Space truss analogy* (Lesmana, Teori Desain Struktur Beton Bertulang, 2019)

2.6.1 Diagram interaksi kekuatan element kolom

Kolom merupakan element struktur yang menerima kombinasi beban yang berupa aksial tekan dan moment. Dari interaksi dua parameter tersebut (P & M), terdapat sejumlah kombinasi kekuatan yang tak terhitung jumlahnya, Interaksi dari aksial tekan (P) dan moment (M) di wujudkan dalam sebuah kurva yang di kenal sebagai diagram interaksi P – M, seperti yang terlihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Diagram interaksi P – M elemen kolom (Lesmana, Teori Desain Struktur Beton Bertulang, 2019)

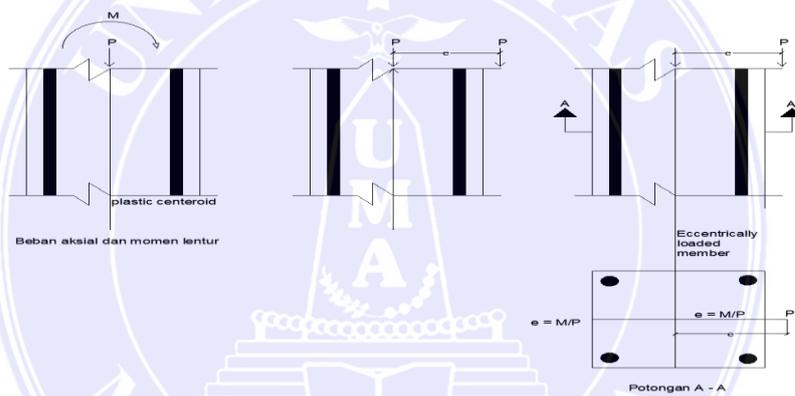
Berdasarkan rasio P & M, diagram interaksi tersebut terbagi menjadi dua kondisi, yaitu : *compression* dan *tension*. Pada kondisi *compression* (tekan), hampir seluruh/sebagian penampang kolom mencapai regangan maksimum tekan sebesar $\epsilon_c = 0,003$, sebelum tulangan baja mengalami lelehnya (ϵ_y) dan disaat bersamaan pula, material kolom mencapai regangan tekannya ($\epsilon_c = 0,003$). Diantara dua kondisi tersebut terdapat kondisi yang berimbang antara P dan M yang dikenal dengan istilah kondisi regangan berimbang (*balanced strain condition*).

Kondisi regangan berimbang dikenal juga dengan istilah *compression control limit* (batas kontrol tekan). Hal ini mengandung arti bahwa bila interaksi P & M berada diatas batas ini, maka kondisi kolom dikategorikan sebagai *compression controlled* ini, faktor reduksi kolom adalah 0,75 untuk kolom bulat dan 0,65 untuk kolom persegi, seperti yang ditentukan SNI 2847-2019; Pasal 21.2.2; Gambar R21 .2.2b; Hal-472. Sedangkan untuk wilayah yang berada dibawah *compression control limit*, terbagi menjadi dua bagian yaitu: *tension controlled* dan *transition zone*.

Pada kondisi *tension controlled*, regangan pada lapisan ekstrim tulangan tarik tercapai $\epsilon_t \geq 0,005$ dan faktor reduksi kekuatan dalam kondisi ini mencapai 0,9. Selain itu pada kondisi *tension controlled*, elemen struktur menerima beban hanya berupa momen lentur tanpa adanya gaya aksial tekan (meskipun ada, namun terbilang sangat kecil sehingga bisa diabaikan). Sedangkan pada *transition zone*, regangan yang terjadi adalah $f_y / E_s < \epsilon_t < 0,005$ dan faktor reduksi bervariasi linear antara 0,75 – 0,9 untuk kolom bulat dan antara 0,65 – 0,9 untuk kolom persegi.

Pada Gambar 12 dapat dilihat pula bahwa perbandingan antara P / M bisa di nyatakan dengan istilah (e). Disaat kolom hanya menerima beban tekan eksentris maka kolom akan menerima pengaruh tekan dan sekaligus momen. Momen tersebut muncul dikarenakan adanya pengaruh eksentrisitas beban. Oleh karena itu pada diagram interaksi $P - M$, sumbu vertikal diagram menyatakan nilai $e = 0$ dan sumbu horizontal diagram menyatakan $e = \infty$.

Konsep beban eksentris ini sering digunakan sebagai pendekatan dalam proses analisa dan desain dari struktur beton bertulang untuk menyatakan gaya aksial tekan dan momen (hanya dengan satu gaya tekan eksentris).



Gambar 13. Kolom yang dibebani beban eksentris (Lesmana, Teori Desain Struktur Beton Bertulang, 2019)

2.7 Rumus Desain Kolom

2.7.1 Pemeriksaan Dimensi dan Tulangan utama

Mula mula akan dilakukan pemeriksaan terhadap dimensi kolom,

- Sisi terpendek penampang kolom tidak kurang dari 300 mm. sehingga lebar kolom sudah memenuhi persyaratan ini.
- Rasio dimensi kolom tidak boleh kurang dari 0,4 dimana rasio dimensi kolom.

Selanjutnya akan dilakukan pemeriksaan terhadap konfigurasi penulangan, luas tulangan perlu dari hasil perhitungan program SAP 2000, sehingga dipasang tulangan, dimana

$$\rho = \frac{A_{s,t}}{A_g} \times 100 \% \dots\dots\dots 2.46$$

Sehingga tulangan terpasang telah memenuhi syarat

$$0,01 < \rho t < 0,06 \rightarrow OK$$

Dari tulangan terpasang tersebut, selanjutnya kolom akan di evaluasi terhadap ketentuan *strong column weak beam*.

Jumlah Mn dua balok yang bertemu di joint :

$$\sum M_b = 1,2(M_{b, \text{kiri}} + M_{b, \text{kanan}}) \dots\dots\dots 2.46$$

Check ketentuan SCWB pada kolom K1 ini

$$\sum M_c = (M_{c, b} + M_{c, a}) > \sum M_b \dots\dots\dots 2.47$$

Sehingga kolom telah memenuhi ketentuan strong column weak beam.

2.7.2 Desain Tulangan *Confinement*

Kebutuhan tulangan *confinement* untuk kolom dihitung berdasarkan :

$$A_{sh1} = 0,3 \frac{S_{bc} \cdot f'c}{f_y} \left(\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right) \dots\dots\dots 2.48$$

$$A_{sh2} = 0,09 \frac{S_{bc} \cdot f'c}{f_y} \dots\dots\dots 2.49$$

Tulangan *confinement* akan dipasang tiap jarak 100 mm, maka diperoleh Diperoleh A_{sh} , selanjutnya dihitung kebutuhan diameter tulangan dan jumlah kaki dari tulangan *confinement*. Digunakan tulangan diameter $d_s = 13$ mm, diperoleh jumlah kaki tulangan *confinement* yaitu 4 kaki dipasang tiap jarak 100 mm.

Periksa syarat spasi maksimum dari tulangan *confinement*. Berdasarkan SNI beton 2013 pasal 21.6.4.3 spasi maksimum ditentukan dari nilai terkecil diantara :

- a. $\frac{1}{4}$ dimensi penampang kolom terkecil
- b. 6 kali diameter tulangan longitudinal
- c. $S_o = 100 + ((350 - h_x)/3)$

Didapatkan syarat spasi maksimum, sehingga tulangan *confinement* telah memenuhi persyaratan.

Berdasarkan SNI beton 2013 pasal 21.6.4.1 tulangan *confinement* diperlukan sepanjang L_o dari ujung kolom. L_o diambil dari terbesar diantara

- d. H_c , terbesar
- e. $1/6h_{n,c}$
- f. Digunakan L_o

2.8 Pemeriksaan Hubungan Kolom Balok (Joint)

2.8.1 Dimensi Join

Panjang joint yang di ukur parallel terhadap tulangan lentur balok yang menyebabkan geser di joint sedikitnya 20db terbesar Penulangan Transversal untuk *Confinement*

Pada joint diperlukan tulangan tulangan *Confinement* yang besarnya setengan tulangan *Confinement* pada ujung – ujung kolom.

Tulangan *Confinement* kolom ditentukan berdasarkan nilai maksimum dari:

$$A_{sh1} = 0,3 \frac{s.bc.frc}{f_y} \left(\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right) \dots\dots\dots 2.50$$

$$A_{sh2} = 0,09 \frac{s.bc.f/c}{fy} \dots\dots\dots 2.51$$

2.8.2 Perhitungan Geser di Joint

Gaya Geser yang terjadi pada kolom sebelah atas adalah :

$$V_{sway} = \frac{(383+383)}{3,35} 3q1$$

Gaya Tarik dari B1 di sebelah kanan kolom

$$T1 = 1,25fy.As$$

Gaya Tekan dari B1 di sebelah kanan kolom

$$C1 = T1$$

Gaya Tarik dari B1 di sebelah kiri kolom

$$T2 = 1,25fy.As$$

Gaya Tekan dari B1 di sebelah kiri kolom

$$C2 = T2$$

Sehingga gaya geser joint pada potongan x-x

$$Vu = T1 + C2 - Vb \dots\dots\dots 2.52$$

Periksa apakah *joint* terkekang oleh balok di keempat sisinya.

$$\frac{3}{4}hc$$

$$\frac{3}{4}bc$$

Lebar balok yang bertemu pada *joint* adalah $< \frac{3}{4}hc$, sehingga *joint* tidak dikekang oleh balok.

Joint tidak dikekang oleh balok di keempat sisinya, sehingga kapasitas geser *joint*.

$$\phi Vn = \phi 1.0 \sqrt{f'c} A_{join} > Vu \rightarrow OK$$

2.9 Rumus Desain Balok

2.9.1 Baja Tulangan untuk lentur pada tumpuan

Maka tulangan dapat dihitung dengan :

$$A_s = \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \cdot j \cdot d} \dots\dots\dots 2.1$$

Cek Tulangan Minimum

$$A_{s_{min}} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} b \cdot d \dots\dots\dots 2.2$$

Dan tulangan tidak boleh kurang dari

$$\frac{1,4}{f_y} b \cdot d \dots\dots\dots 2.3$$

Sehingga digunakan $A_s = 1780 \text{ mm}^2$, keperluan jumlah tulangan yaitu :

$$n_{ta} = \frac{A_{s,t}}{\frac{1}{4} \pi d_b^2} \dots\dots\dots 2.4$$

Dibutuhkan jumlah tulangan dengan luas terpasang menjadi, $A_{s,t}$

Dipasang dua lapis sehingga nilai d .

Hitung momen rencana, $\phi \cdot M_n$, dari tumpuan.

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \dots\dots\dots 2.5$$

Maka Momen nominal, M_n ,

$$M_{n,1} = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots 2.6$$

Sehingga kuat momen rencana diperoleh dengan persyaratan dibawah ini.

$$\phi M_{n,1} \geq M_u^{(-)} \rightarrow OK$$

Cek rasio tulangan terpasang terhadap batas tulangan maksimum yang dapat dipasang.

$$\rho_{terpasang} = \frac{A_{s,t}}{b \cdot d} \dots\dots\dots 2.7$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots 2.8$$

Sehingga tulangan terpasang masih kurang dari ρ_{maks} yang di syartkan.

Cek Tension Controlled.

$$\frac{a}{b} < 0,0375\beta_1 \text{ maka desain tulangan } \textit{under reinforced}.$$

- a. Kondisi 2, goyangkan ke kiri, tumpuan ke kiri. Kebutuhan detailing sama dengan kondisi 1 untuk memikul Mu yang sama, sehingga perhitungan sama dengan kondisi 1, $\emptyset Mn, 2$
- b. Kondisi 3, momen positif tumpuan, goyangan ke kanan.

Dari hasil analisis diperoleh nilai $Mu^{(+)}$

Tinggi efektif balok dengan rumus,

$$d = h - (cv + ds + ds/2) \dots\dots\dots 2.9$$

Informasi perencanaan, Untuk beton dengan $f'c$ 35 MPa nilai $\beta_1 = 0,8$

Maka tulangan dapat dihitung dengan :

$$As = \frac{Mu}{\emptyset \cdot fy \cdot jd} \dots\dots\dots 2.10$$

Cek tulangan minimum,

$$As_{min} = \frac{\sqrt{frc}}{4fy} b \cdot d \dots\dots\dots 2.11$$

Dan tulangan tidak boleh kurang dari

$$\frac{1,4}{fy} b \cdot d \dots\dots\dots 2.12$$

Sehingga digunakan $As = 1047 \text{ mm}^2$, keperluan jumlah tulangan yaitu :

$$n_{ta} = \frac{As,t}{\frac{1}{4} \pi d_b^2} \dots\dots\dots 2.13$$

Dibutuhkan jumlah tulangan dengan luas terpasang menjadi, As,t

Dipasang satu lapis sehingga nilai d tetap.

Hitung momen rencana, $\emptyset Mn$, dari tumpuan.

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots 2.14$$

Maka Momen nominal, Mn,

$$Mn, 3 = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots 2.15$$

Sehingga kuat momen rencana harus memenuhi persyaratan dibawah ini,

$$\phi M_n, 1 \geq M_u^{(-)}, \rightarrow OK$$

SNI mensyaratkan bahwa kapasitas Momen positif dari tumpuan tidak

boleh kurang dari $\frac{1}{2} \phi M_n, 1^{(-)}$

Cek rasio tulangan terpasang terhadap batas tulangan maksimum yang dapat dipasang.

$$\rho_{\text{terpasang}} = \frac{A_{s,t}}{b \cdot d} = \dots\dots\dots 2.16$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots 2.17$$

Sehingga tulangan terpasang masih kurang dari ρ_{maks} yang di syaratkan.

Cek *Tension Controlled*.

$$\frac{a}{d} < \rho_{\text{terpasang}} \beta_1 \text{ maka desain tulangan } \textit{under reinforced}.$$

- c. Kondisi 4, goyangan ke kiri, momen positif tumpuan ke kanan.

Kebutuhan detailing sama dengan kondisi 3 untuk memikul Mu yang

sama, sehingga perhitungan sama dengan kondisi 3, $\phi \cdot Mn, 4$

2.9.2 Baja Tulangan untuk Lentur pada tengah bentang

- a. Momen positif ditengah bentang

Maka akan diperoleh hasil $M_u^{(+)}$ dari Analisa program SAP 2000

Tinggi efektif balok,

$$d = h - (C_v + d_s + d_b/2) \dots\dots\dots 2.18$$

Informasi perencanaan,

Untuk beton dengan $f'c$ 35 MPa nilai $\beta_1 = 0,8$

Maka tulangan dapat dihitung dengan :

$$A_s = \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \cdot j \cdot d} \dots\dots\dots 2.19$$

Cek tulangan minimum,

$$A_{s_{min}} = \frac{\sqrt{f'c}}{4f_y} b \cdot d \dots\dots\dots 2.20$$

Dan tulangan tidak boleh kurang dari

$$\frac{1,4}{f_y} b \cdot d \dots\dots\dots 2.21$$

Sehingga digunakan $A_s = 1047 \text{ mm}^2$, keperluan jumlah tulangan yaitu :

$$n_{ta} = \frac{A_{s,t}}{\frac{1}{4} \pi d_b^2} \dots\dots\dots 2.22$$

Dibutuhkan jumlah tulangan dengan luas terpasang menjadi, $A_{s,t}$

Dipasang satu lapis sehingga nilai d tetap.

Hitung momen rencana, $\phi \cdot M_n$, dari tumpuan.

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots 2.23$$

Maka Momen nominal, M_n ,

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots 2.24$$

Sehingga kuat momen rencana harus sesuai dengan pernyataan dibawah

ini,

$$\phi M_n, 5 \geq M_u^{(-)} \rightarrow OK$$

SNI mensyaratkan bahwa kapasitas Momen positif dari tumpuan tidak

boleh kurang dari $\frac{1}{2} \phi M_n, 1^{(-)}$

Cek rasio tulangan terpasang terhadap batas tulangan maksimum yang

dapat dipasang.

$$\rho_{\text{terpasang}} = \frac{A_{s,t}}{b.d} \dots\dots\dots 2.25$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots 2.26$$

Sehingga tulangan terpasang masih kurang dari ρ_{maks} yang di syartkan.

Cek Tension Controlled.

$\frac{a}{d} < \rho_{\text{terpasang}} \beta_1$ maka akan diperoleh desain tulangan under reinforced.

b. Kapasitas momen negatif di tengah bentang

SNI 2847 : 2013 mengharuskan sekurang kurangnya dua batang tulangan atas dan dua tulangan bawah yang dipasang secara menerus, dan kapasitas momen positif dan momen negatif minimum Pada sembarang penampang disepanjang bentang balok SPMRK tidak boleh kurang dari ¼ kali kapasitas momen maksimum yang disediakan pada kedua muka kolom balok tersebut.

Kapasitas momen terbesar yaitu :

¼ kapasitas momen terbesar

$$\frac{1}{4} \phi \cdot M_{n\text{maks}} \dots\dots\dots 2.27$$

Sehingga tulangan yang terpasang sisi atas tengah bentang harus memenuhi ketentuan diatas. Dicoba dipasang diameter tulangan dengan luas terpasang menjadi, $A_{s,t}$ dipasang satu lapis sehingga nilai d tetap

Hitung momen rencana, ϕMn .

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} \dots\dots\dots 2.28$$

Maka momen nominal , M_n .

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots 2.29$$

Sehingga kuat momen rencana, ϕM_n

$$\phi M_n, 6 \geq \frac{1}{4} \phi M_n, \text{maks} \rightarrow \text{OK}$$

2.9.3 Check Kapasitas Geser Balok saat terjadi Sendi Plastis

Geser rencana akibat gempa pada balok dihitung dengan mengasumsikan sendi plastis terbentuk diujung balok dengan tegangan tulangan lentur Tarik sebesar $1,25 f_y$ dan factor reduksi kuat lentur $\phi = 1$.

- a. Hitung Mpr kondisi 1

$$a_{pr, 1} = \frac{A_s 1,25f_y}{0,85f'c} \dots\dots\dots 2.30$$

$$M_{pr, 1} = A_s 1,25f_y \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right) \dots\dots\dots 2.31$$

- b. Hitung Mpr kondisi 2

$$a_{pr, 2} = \frac{A_s 1,25f_y}{0,85f'c} \dots\dots\dots 2.32$$

$$M_{pr, 2} = A_s 1,25f_y \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right) \dots\dots\dots 2.33$$

- c. Hitung Mpr kondisi 3

$$a_{pr, 3} = \frac{A_s 1,25f_y}{0,85f'c} \dots\dots\dots 2.34$$

$$M_{pr, 3} = A_s 1,25f_y \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right) \dots\dots\dots 2.35$$

- d. Hitung Mpr kondisi 4

$$a_{pr, 4} = \frac{A_s 1,25f_y}{0,85f'c} \dots\dots\dots 2.36$$

$$M_{pr, 4} = A_s 1,25f_y \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right) \dots\dots\dots 2.37$$

Tulangan tumpuan pada balok dipasang sama pada kedua sisinya, sehingga nilai gaya, $V_{e,ki}$ dan $V_{e,ka}$ dapat dihitung dengan :

$$V_{eki} = \frac{M_{pr,1} + M_{pr,3}}{l_n} - V_{u,g} \dots\dots\dots 2.38$$

$$V_{eka} = \frac{M_{pr,1} + M_{pr,3}}{l_n} - V_{u,g} \dots\dots\dots 2.39$$

Sehingga nilai V_u , maks yang digunakan.

Syarat pemeriksaan V_c berdasarkan SNI 2873 – 2013, kontribusi beton dalam menahan geser akibat terjadinya sendi plastis diujung balok harus diperiksa sesuai dengan ketentuan. Jika gaya geser akibat moment Probable balok lebih dari $\frac{1}{2}$ atau lebih kuat geser maksimum, V_u , maka beton dianggap tidak berkontribusi memikul geser.

$$V_{sway} = \frac{M_{pr,1} + M_{pr,3}}{l_n} < \frac{1}{2} V_{u,maks} \dots\dots\dots 2.40$$

Maka V_c (kontribusi beton) dalam memikul geser diperhitungkan.

Hitung kebutuhan tulangan geser untuk tumpuan.

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b d \dots\dots\dots 2.41$$

$$V_{s,perlu} = \frac{V_{u,maks} - V_c}{\phi} \dots\dots\dots 2.42$$

$$V_{s,maks} = \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} b d \dots\dots\dots 2.43$$

$$V_s < V_{s,maks} \rightarrow OK$$

Dipasang Sengkang 2 kaki $d_s = 10$ mm dengan jarak s

$$V_{s,terpasang} = \frac{A_v b d}{s} > V_{s,perlu} \rightarrow OK$$

2.9.4 Persyaratan *Hoops* (Sengkang tertutup)

Diperlukan Sengkang tertutup (*hoops*) di sepanjang jarak $2h = 1200$ mm dari muka kolom terdekat. *Hoops* pertama dipasang pada jarak 50 mm dari muka kolom terdekat dan yang berikutnya dipasang dengan spasi terkecil diantara.

- a. $d/4 = 129$ mm
- b. $6db = 114$ mm
- c. 150 mm

Sedangkan terpasang adalah Sengkang $d_s = 10$ mm 2 kaki dengan jarak $100 \text{ mm} < 114 \text{ mm}$, sehingga persyaratan jarak Sengkang masi terpenuhi. Untuk daerah diluar sendi plastis, syarat jarak tulangan Sengkang maksimal adalah:

d. $d/2 = 259,25 \text{ mm}$

dari hasil perhitungan dipasangkan Sengkang $d_s = 10$ mm 2 kaki dengan jarak $125 \text{ mm} < d/2$ sehingga penulangan geser diluar sendi plastis telah memenuhi syarat.

2.9.5 Splicing untuk tulangan menerus

Baja tulangan yang disalurkan harus diikat dengan *hoops* yang dipasang dengan spasi terkecil diantara :

- a. $d/4 = 129 \text{ mm}$
- b. 100 mm

Sehingga untuk balok B1 jika terdapat *splicing* tulangan menerus harus dipasang dengan spesi terkecil diantara :

- c. $d/4 = 129 \text{ mm}$
- d. 100 mm

Sehingga untuk balok B1 jika terdapat *splicing* tulangan menerus harus dipasang *hoops* dengan jarak tidak lebih dari 100 mm .

2.9.6 Penulangan Torsi

Penulangan Torsi pada balok dijabarkan sebagai berikut :

$T_u = 0 \text{ kN}$

Check penampang balok terhadap torsi

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b.d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot \Phi_h}{1,7 A^2 o_h}\right)^2} < \phi \left(\frac{V_c}{b.d} + \frac{2}{3} \sqrt{f'c}\right) \dots\dots\dots 2.44$$

$0,988 < 3,61 \rightarrow$ penampang balok memenuhi persyaratan

Selanjutnya penampang balok diperiksa terhadap Batasan dari SNI, pengaruh torsi dapat diabaikan jika torsi yang terjadi nilainya lebih kecil dari persyaratan yang ditetapkan dalam peraturan SNI 2847 : 2013.

$$T_u < \phi \cdot 0,083 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A^2 P_{cp}}{P_{cp}} \right) \dots\dots\dots 2.45$$

Berdasarkan pada peta Parameter Gerak Tanah pada gambar dibawah ini sesuai SNI 1726 – 2019, maka masing – masing besar $S_s = 0,650g$ dan $S_1 = 0,359g$.

2.10 Pembahasan Struktur pembebanan.

Pada pembahasan struktur yang berlaku dan di peroleh pada proyek penelitian di Irian Supermarket Tembung – Percut Sei Tuan telah tercantumkan pada bab ini. Didasarkan dari perhitungan struktur proyek dan akan dilakukan perhitungan dengan hasil perhitungan dari penelitian.

2.10.1 Mutu Beton

Mutu Beton menjadi hal yang sangat di utamakan dan sesuai yang dibutuhkan dalam Struktur bangunan, mulai dari mutu beton pondasi, kolom, balok, dan plat atap. Kekuatan karakteristik silinder beton (f'_c) yang didasarkan atas kekuatan beton pada umur 28 hari sebagai berikut:

Tabel 1. Mutu Beton (Data Lapangan, 2022)

Mutu beton (balok dan plat lantai)	25 MPa
Mutu beton (kolom)	25 MPa
Pondasi	25 MPa
<i>Pile cap</i>	25 MPa
Mutu baja	390 MPa

2.10.2 Baja Tulangan

Jenis dan tegangan leleh (f_y) baja tulangan yang digunakan adalah:

Tabel 2. Baja Tulangan (Data Lapangan, 2022)

Baja ulir untuk $\emptyset < 8$ mm	240 MPa (BJTD U-24)
Baja ulir untuk $D > 10$ mm	390 MPa (BJTD U-39)

2.10.3 Faktor Reduksi Kekuatan

Faktor reduksi kekuatan Φ adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Faktor Reduksi Kekuatan (SNI 2847, 2019)

Lentur murni	0,90
Aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur	0,90
Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur	- Tulangan Spiral = 0,75 - Tulangan Sengkang = 0,65
Geser dan Torsi	0,75

2.10.4 Reduksi Kekakuan Penampang

Karena pelat dimodelkan sebagai membrane element, maka balok dianggap monolit dengan pelat lantai. Balok – balok tepi akan berperilaku sebagai balok – L, dan balok balok interior akan berperilaku sebagai balok – T.

Sesuai dengan ketentuan dalam ACI 318 – 11 M (diadopsi menjadi SNI 2847: 2019), Inersia balok – T dapat diambil sebesar 2 kali inersia balok persegi.

Karena momen inersia balok pada kondisi ultimate diperhitungkan sebesar 0,35 kali momen inersia gross, maka dalam desain, factor modifikasi momen diambil:

$$I_{berack} = 0,351g \times 2 = 0,7 Ig$$

Sedangkan untuk kolom dan dinding geser:

$$\text{Kolom} = 0,7 \text{ Ig}$$

$$\text{Dinding Geser (Tak Retak)} = 0,7 \text{ Ig}$$

$$\text{Dinding Geser (Retak)} = 0,351 \text{ Ig}$$

Sedangkan untuk torsi pada balok diambil reduksi sebesar: 0,1

2.10.5 Berat Sendiri Struktur (DL)

Beban akibat berat sendiri struktur (Dead Load) adalah berat seluruh komponen elemen structural bangunan yang terjadi atas pelat lantai, balok, kolom, menggunakan berat jenis material beton 2400 kg/m³ dan berat jenis tulangan 7850 kg/m³.

- Kolom = (luas dimensi kolom x tinggi kolom x berat jenis) x jumlah kolom.
$$= (0,6 \times 0,6) \times 4,5 \times 2400 \text{ Kg/m}^3 \times 59$$
$$= 229.392 \text{ kg/m}^3$$
- Balok = volume balok x berat jenis x jumlah balok
$$= (0,3 \times 0,7 \times 8) \times 2400 \text{ Kg/m}^3 \times 120$$
$$= 483.840 \text{ kg/m}^3$$

2.10.6 Beban Mati Tambahan (SIDL)

Beban mati Tambahan (Superimposed Dead Load) adalah berat komponen nonstructural (arsitektural dan MEP) yang terdapat pada Struktur bangunan. Beban SIDL yang digunakan untuk pelat lantai.

Tabel 4. Beban Mati Tambahan Plat Lantai (SIDL) (Data Lapangan, 2023)

Beban dari adukan semen	21 kg/m ³
Beban acian	5 x 21 = 105 kg/m ²
Tebal spesi	5 cm
Beban plafond	18 kg/m ²
MEP	10 kg/m ²
Beban keramik	24 kg/m ²
Total beban mati tambahan Untuk lantai tipikal	157 kg/m ²

Tabel 5. Beban Mati Tambahan Pelat Atap Dak (SIDL) (Data Lapangan, 2023)

Beban dari adukan semen	21 kg/m ³
Beban acian	5 x 21 = 105 kg/m ²
Tebal spesi	5 cm
Beban plafond	18 kg/m ²
MEP	10 kg/m ²
Beban waterprofing	24 kg/m ²
Total beban mati tambahan untuk lantai tipikal	157 kg/m ²

2.10.7 Beban Hidup (LL)

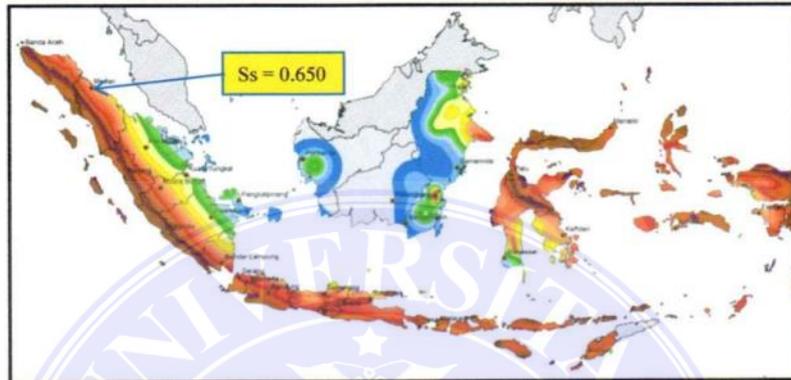
Beban hidup (Live Load) adalah beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan gedung yang berasal dari barang atau orang yang dapat berpindah tempat sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai. Sesuai dengan ketentuan dalam SNI 1727: 2013, besarnya beban hidup yang digunakan dalam desain adalah:

Tabel 6. Beban Hidup (LL) (Data Lapangan, 2023)

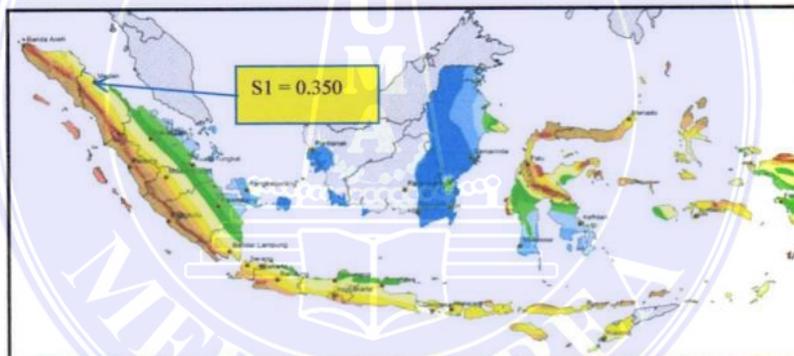
Beban Hidup Untuk Parkir	400 kg/m ³
Beban Hidup Untuk Ruang MEP / Utilitas	600 kg/m ²
Beban Hidup untuk Roof Tank	2500 kg/m ²
Beban Hidup Untuk Atap	100 kg/m ²
Beban Tangga	500 kg/m ²

Untuk menentukan kurva respons spektrum yang akan dijadikan sebagai beban gempa, mula mula akan dilakukan Analisa klarifikasi situs berdasarkan data borlog yang akan dikerjakan oleh PT. Prima Abadi Jaya.

2.11 Beban Gempa



Gambar 14. Ss Gempa Untuk Wilayah Medan (Puskim, 2019)



Gambar 15. S1 Gempa Untuk Wilayah Medan (Puskim, 2019)

Dengan memasukkan kelas situs SE dan factor keutamaan = 1.5 dan kategori resiko IV, maka dengan bantuan program spekta Indonesia didapatkan :

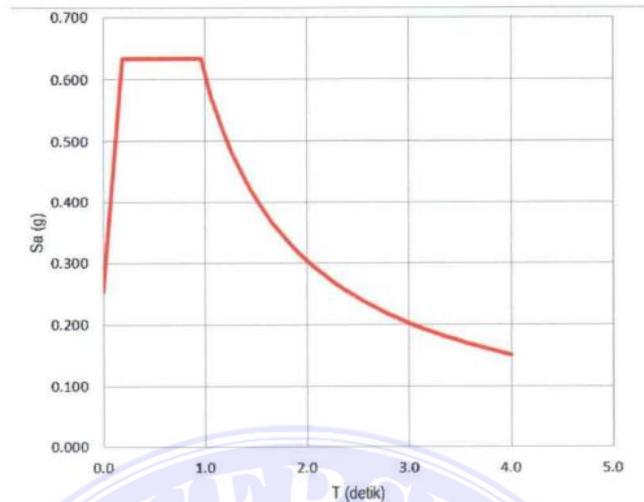
Faktor amplifikasi :

- 1) Fa (Faktor amplifikasi untuk periode pendek) : 1,46
- 2) Fv (Faktor amplifikasi untuk periode 1 detik) : 2,60

Parameter spekta desain didapatkan :

- 3) SDS (Periode Pendek) 0,633 g

4) SDI (Periode 1 Detik) ; 0,607 g



Gambar 16. Respon Spektra Desain untuk kelas Situs SE dengan $S_s = 0,650$ g dan $S_1 = 0,350$ g berdasarkan SNI 2847 – 2019 (Puskim, 2019)

Berdasarkan parameter spectra desain diatas, maka didapatkan kategori Desain Seismik D.

2.11.1 Kombinasi Pembebanan Struktur Atas.

Dari Uraian diatas dan uraian – uraian sebelumnya, dan uraian berikutnya tentang gempa, factor redundansi ρ bias diambil = 1,0. Maka kombinasi pembebanan untuk perencanaan struktur atas adalah sebagai berikut :

- a. Comb 1 = 1,4 DL + 1,4 SIDL
- b. Comb 2 = 1,2 DL + 1,2 SIDL + 1,66 LL
- c. Comb 5 = 1,326 DL + 1,326 SIDL + 0,5 LL
- d. Comb 6 = 1,326 DL + 1,326 SIDL + 0,5 LL + 0,3 Ex + 1 Ey
- e. Comb 7 = 0,773 SIDL + 0,733 SIDL + 1 Ex + 0,3 Ey
- f. Comb 8 = 0,733 DL + 0,733 SIDL + 0,3 Ex + 1 Ey

2.11.2 Kombinasi Pembebanan Struktur Bawah

Sistem struktur bawah meliputi pilecap dan pondasi. Untuk menentukan dimensi pondasi atau jumlah tiang direncanakan sedemikian hingga gaya reaksi pondasi dihitung berdasarkan persamaan kombinasi metode ijin (ASD) sebagai berikut :

- a. Comb P1 = 1,0 DL
- b. Comb P2 = 1,0 DL + 0,4 LL
- c. Comb P3 = 1,088 DL + 0,63 Ex + 0,189 Ey + 0,63 Ey
- d. Comb P4 = 1,088 DL + 0,189 Ex + 0,63 Ey
- e. Comb P5 = 1,063 DL + 0,75 LL + 0,4725 Ex + 0,1418 Ey
- f. Comb P6 = 1,063 DL + 0,75 LL + 0,1418 Ex + 0,4725 Ey
- g. Comb P7 = 0,511 DL + 0,63 Ex + 0,189 Ey
- h. Comb P8 = 0,511 DL + 0,189 Ex + 0,63 Ey

2.12 SAP 2000

Program SAP 2000 adalah program yang dipakai untuk menganalisis dan mendesain suatu struktur yang berorientasi obyek (*Object Oriented Programming*) yang mempunyai beberapa kelebihan terutama dalam perancangan struktur baja dan beton. Program ini sangat memudahkan dalam menganalisa struktur bangunan cagar budaya seperti, bangunan kolonial, bangunan tradisional kayu maupaun candi yang memiliki perkuatan struktur.

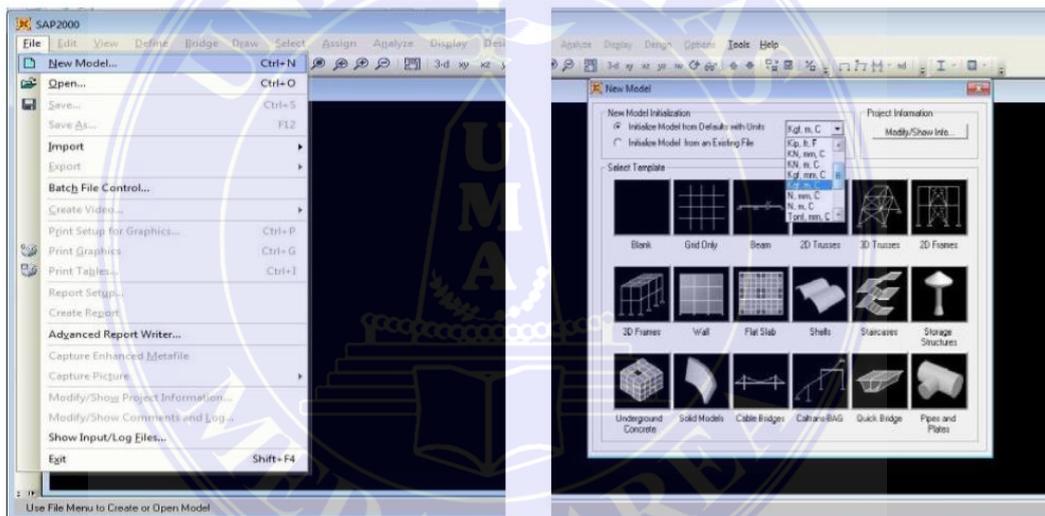
2.12.1 Langkah Program SAP 2000 Versi 14

Adapun langkah- langkah penggunaan SAP 2000 sebagai berikut :

a. Pemodelan Struktur

Model geometri pada SAP 2000 versi 14 terbagi menjadi dua jenis, yaitu template dan koordinat.

Template dipakai apabila semua jarak merupakan sama untuk sumbu X dan sumbu Z, sedangkan model geometri koordinat digunakan apabila jarak tidak sama baik dalam arah X maupun arah Z.



Gambar 17. Model initialization (SAP2000, 2023)

b. Memberikan Label Batang Pada Titik

Pada setiap gambar struktur terdiri dari batang dan titik. Untuk mempermudah proses identifikasi gaya – gaya yang bekerja pada setiap elemen struktur maka setiap batang dan titik diberi nomor urut. Untuk pemberian label pada elemen struktur.

c. Input data material

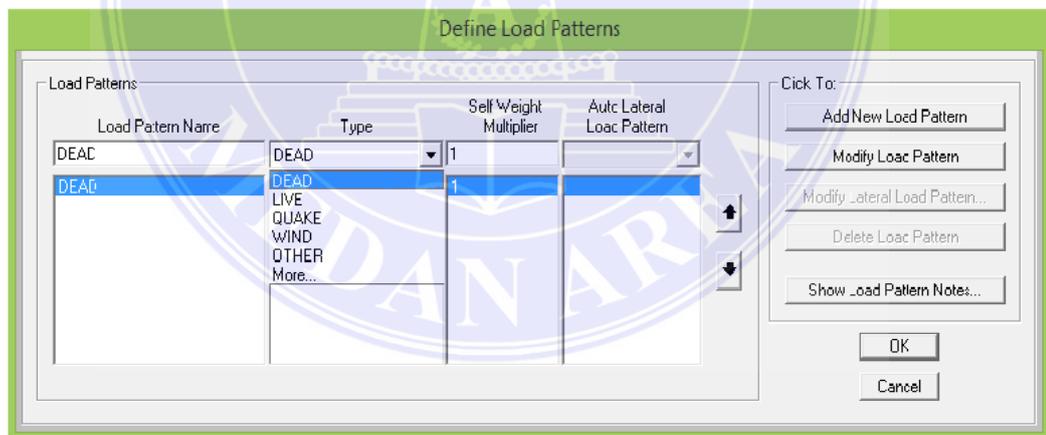
Pada proses ini, masukan data-data material untuk beton atau material baja atau material lain sesuai perencanaan. Berikut gambar input data materialnya

d. Input data dimensi elemen balok, kolom dan plat

Proses ini yaitu untuk memilih dimensi kolom dan juga balok pada struktur.

e. Input Data-Data Beban

Beban yang ada pada SAP 2000 semuanya mengacu pada teori-teori yang ada, diantaranya, beban mati (DL), beban Hidup (LL) beban angin, beban salju dan beban gempa (QL).



Gambar 18. *Define Load Patterns* (SAP2000, 2023)

f. Input Kombinasi Beban

SAP 2000 dalam hal ini akan mengkombinasikan beban seperti beban mati, beban hidup dan beban gempa sesuai yang dirancang.

g. Input Data-Data Elemen Struktur Kolom, Balok dan Plat

Untuk kolom, berikut adalah langkah-langkah Memasang data-data yang sudah ada ke elemen-elemen struktur diantaranya:

- 1) Klik objek/batang untuk kolom
- 2) Klik menu assign > *frame* > *frame sections*
- 3) Kemudian akan muncul kotak *frame properties*.
- 4) Klik data kolom yang akan dipasang pada objek.
- 5) Klik Oke.

Untuk balok dan plat, lakukan kembali langkah-langkah seperti diatas dengan memilih data balok dan kemudian klik oke.

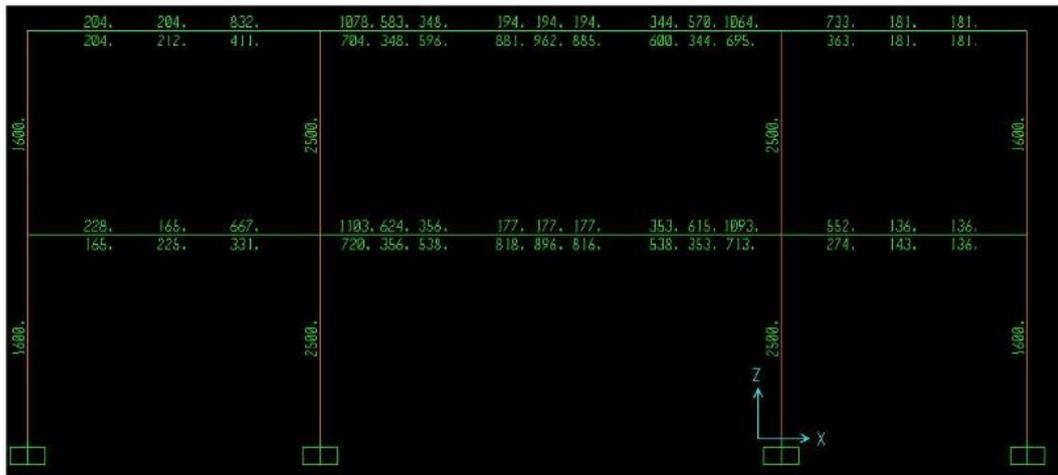
h. *Runing Analysis*

Running analysis adalah tahap terakhir yang bertujuan untuk menganalisis gaya-gaya yang terjadi dalam struktur.

- 1) Klik menu analyze > *Set analyze option*
- 2) Kemudian akan muncul kotak *analysis option*
- 3) Ketik pilihan analisis
- 4) Klik oke, diteruskan dengan F5

i. Mengecek kebutuhan tulangan struktur

Pada pengisian ini, SAP 2000 akan mengeluarkan luas tulangan yang diperlukan baik itu kolom atau balok.



Gambar 19. Luas Tulangan Balok Dan Kolom (SAP2000, 2023)

j. *Output Data*

Pada proses ini SAP akan memberikan data-data yang diperlukan untuk perencanaan seperti, beban maksimum (P_u), momen maksimum (M_u) ataupun gaya geser maksimum (V_u). adapun SAP 2000 mengeluarkan data-data tersebut dengan berupa tampilan-tampilan, diagram, dan dalam bentuk tabel.

BAB III

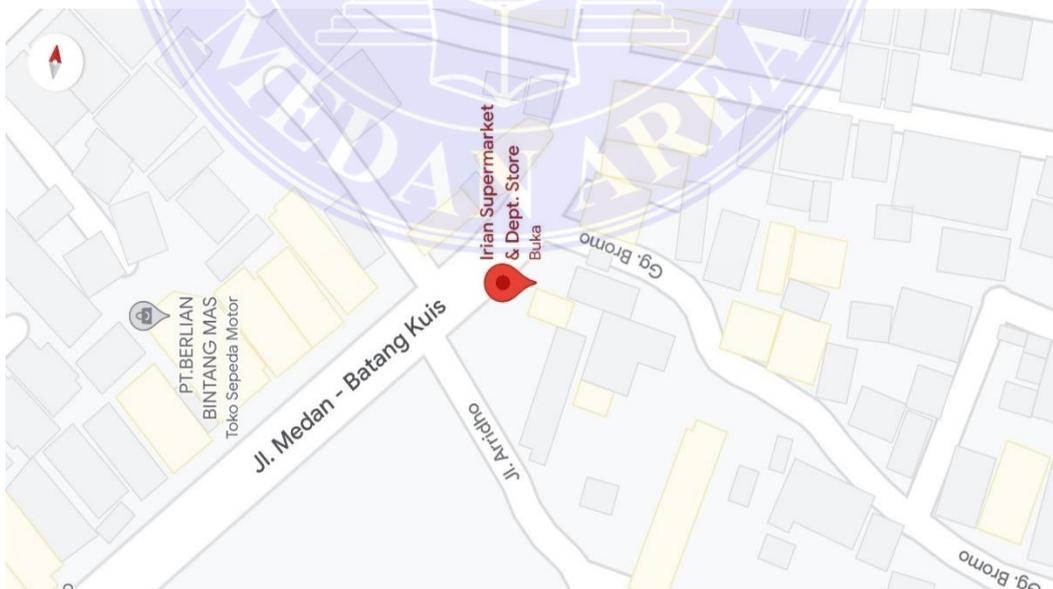
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

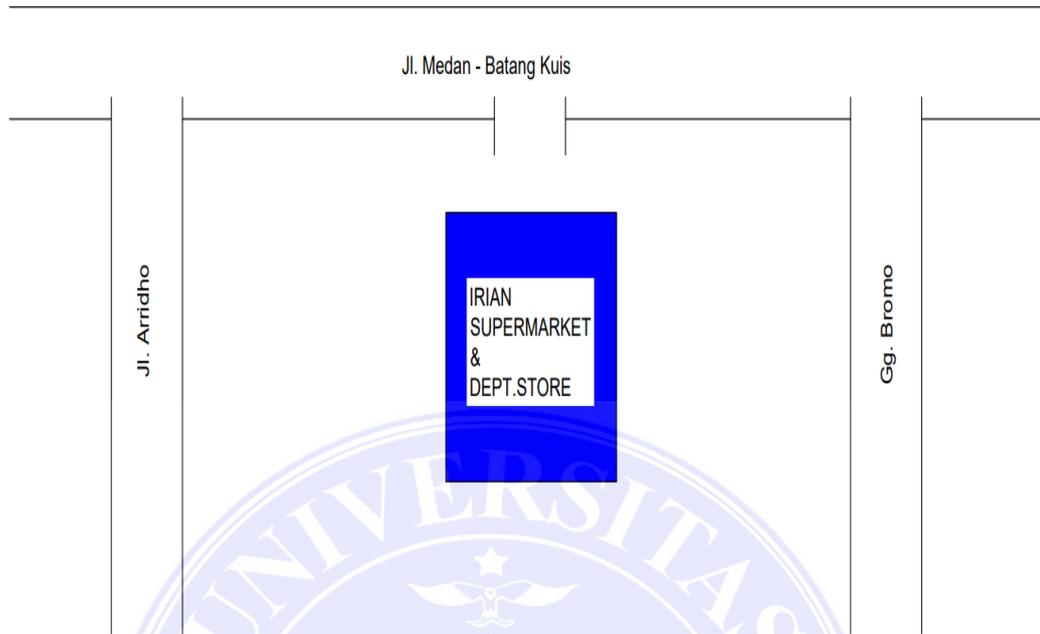
Data yang digunakan untuk penelitian ini hanyalah data skunder yang didapat seperti: Gambar Bestek dan peraturan peraturan pembebanan gedung. Data sekunder adalah data penunjang yang penunjang yang lebih dulu dikumpulkan atau diperoleh dari data yang mendukung penelitian ini diperoleh dari berbagai pengujian terdahulu yang dilakukan dan berbagai literatur yang berhubungan dengan penelitian ini.

3.2 Lokasi Penelitian

Proyek Pembangunan Irian Supermarket Tembung, yang terletak di Jl. Medan-Batang Kuis, Kec. Percut Sei Tuan, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara



Gambar 20. Lokasi Proyek (*Google Maps*, 2023)



Gambar 21. Denah Lokasi Proyek

3.3 Data Teknis Proyek

Data teknis yang diperoleh dari pihak kontraktor adalah sebagai berikut:

Bentuk Kolom	: Persegi
Mutu Beton	: 25 Mpa
Mutu Baja	: 390 Mpa (Ulir)
Tinggi Bangunan	: ± 16 m
Lebar Bangunan	: ± 66 m
Total Lantai	: 5 Lantai

3.4 Pengumpulan Data

Adapun pengumpulan data yang digunakan untuk mencari data dilapangan yang akan digunakan untuk menjaawab permasalahan penelitian.

1. Metode pengumpulan data

Adapun metode pengumpulan data yang dilakukan:

a. Metode Observasi

Metode observasi merupakan metode pengumpulan data yang dilakukan untuk mengamati dan meninjau secara cermat dan langsung di lokasi penelitian untuk mengetahui kondisi yang terjadi kemudian digunakan untuk membuktikan kebenaran dari desain penelitian yang sedang dilakukan. Data yang berhubungan dengan data teknis proyek diperoleh langsung dari lokasi proyek Irian Supermarket Tembung-Percut Sei Tuan. Kegiatan observasi ini dilakukan untuk memproses adanya objek dengan maksud merasakan dan memahami pengetahuan dari adanya fenomena berdasarkan pengetahuan dan juga ide yang sudah diketahui sebelumnya agar bisa mendapatkan informasi yang diperlukan untuk melanjutkan proses penelitian selanjutnya.

b. Pengambilan Data

Pengambilan data langsung dari proyek, adapun data yang diambil meliputi:

- 1) Gambar Lengkap (denah, potongan, detail-detail).
- 2) Denah kolom dan balok, detail kolom dan balok.
- 3) Data bangunan proyek.

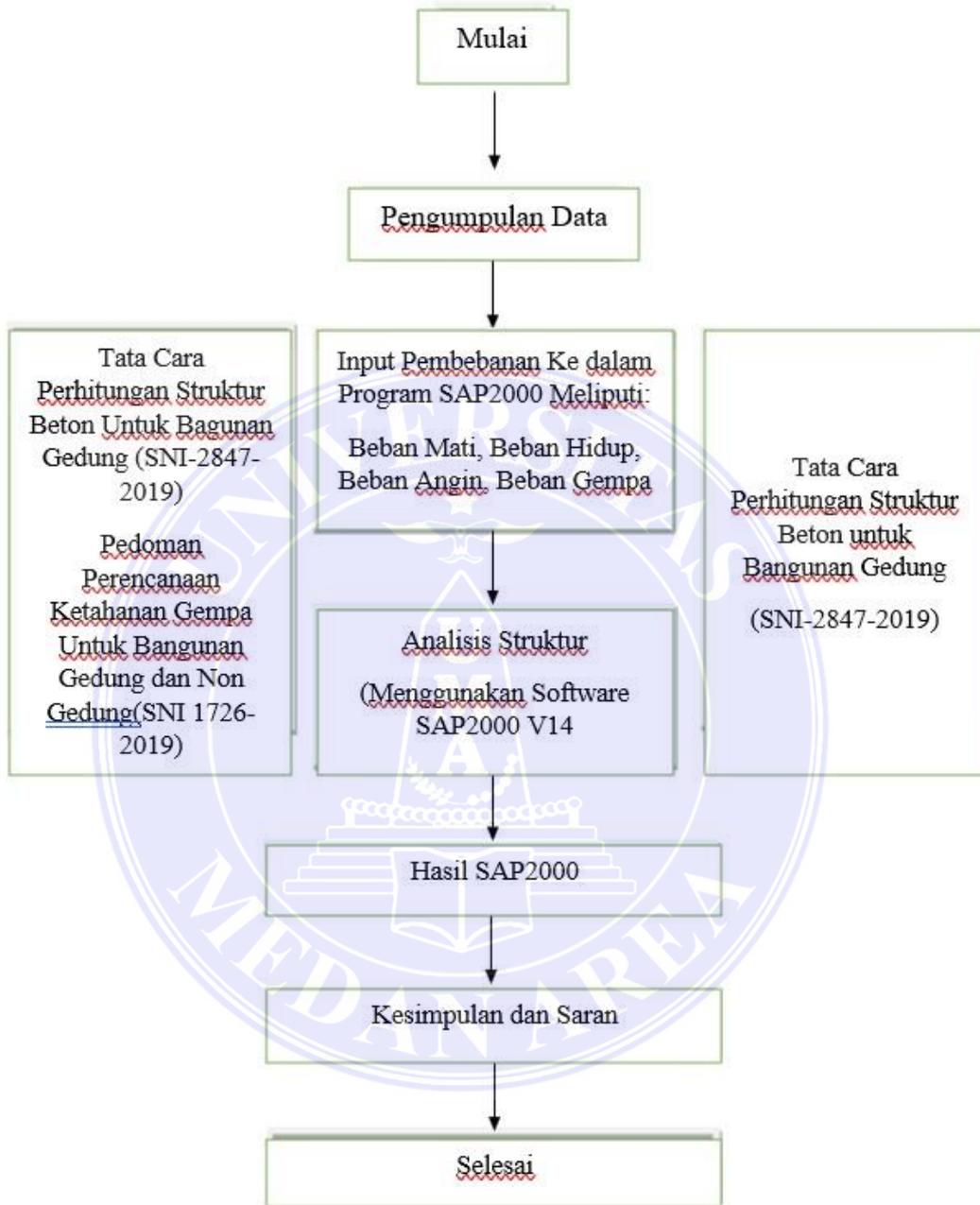
c. Membaca Studi Kepustakaan

Studi kepustakaan adalah proses membaca sejumlah referensi yang rata-rata berupa tulisan (baik buku, artikel, jurnal, dan lain-lain) yang nantinya dijadikan sebagai sumber rujukan untuk tulisan yang disusun. Adanya referensi membantu mengembangkan tulisan, tidak hanya agar bisa real atau terasa efek nyatanya. Melainkan juga untuk menjadikan tulisan lebih berbobot atau lebih berkualitas. Membaca dan mengambil dari isi buku yang berhubungan dengan permasalahan yang dipilih untuk melengkapi dan menyelesaikan tugas akhir ini.

d. Sumber Data

Data yang digunakan untuk penelitian ini hanyalah data skunder yang didapat seperti: Gambar Bestek dan peraturan peraturan pembebanan gedung. Data sekunder adalah data penunjang yang penunjang yang lebih dulu dikumpulkan atau diperoleh dari data yang mendukung penelitian ini diperoleh dari berbagai pengujian terdahulu yang dilakukan dan berbagai literature yang berhubungan dengan penelitian ini.

3.5 Kerangka Berpikir



Gambar 22. Bagan Alir Penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *software* SAP 2000 sesuai dengan aturan SNI 2847 – 2019, memiliki hasil yang sesuai dengan desain struktur yang direncanakan. Begitu juga pembuktian yang dilakukan menggunakan perhitungan secara manual dengan aturan SNI 2847 – 2019 yang tidak jauh berbeda. Sebagai hasil diperoleh desain penulangan balok menggunakan metode SNI 2847 – 2019 diperoleh $A_s = 5D19mm^2$ dan $A's = 2D19 mm^2$ dan penulangan kolom 3D19. Hal yang memungkinkan adanya perbedaan hasil perhitungan struktur balok dan kolom yaitu pada program yang digunakan dalam menganalisis struktur, dimana perhitungan struktur pada proyek berdasarkan menggunakan program ETABS sedangkan pada penelitian ini menggunakan program SAP 2000 V14.

5.2 Saran

1. Dalam menganalisa struktur harus memahami Struktur penggambaran dari autocad maka akan dilanjutkan dengan memahami dari tiap elemen struktur yang akan ditinjau yaitu : balok, kolom dan diaplikasikan pada program SAP 2000.
2. Setelah mendapatkan hasil analisa dari program SAP 2000 dan perhitungan sebaiknya hasil SAP 2000 ditinjau kembali dengan perhitungan berdasarkan aturan SNI 2847 – 2019.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2019. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, SNI 03-2847-2019. Jakarta : Standar Nasional Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. Peraturan Pembebanan Minimum Untuk Bangunan Gedung Dan Struktur Lain, SNI 1727-2019. Jakarta : Standar Nasional Indonesia.
- Isdyanto, A. (2021). Analisis Struktur Bangunan Rumah Sakit Pratama Kabupaten Sinjai Dengan SAP2000 VERSI 14. *BANDAR: JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING*, 3(2), 43-50.
- Muda, J. S., Gumilar, M. S., & Dhiniati, F. (2017). Perencanaan Struktur Gedung Kantor Dishub Kota Pagar Alam Berbasis Program SAP 2000. *JURNAL ILMIAH BERING'S*, 4(02), 51-67.
- Oktarina, D., Sebayang, S., & Paundra, Q. (2019). Analisis Struktur Kolom Beton Bertulang Persegi Dan Bulat Dengan Program SAP. *Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Malahayati*, 3, 9-11
- Rofiq, H. I., & Saraswati, I. A. P. E. C. (2021). Perancangan Gedung Bertingkat 10 Lantai dengan Beton Bertulang Mutu Tinggi.
- SNI-1726.(2019).Standar Desain Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non-Gedung. Badan Standarisasi Nasional,Jakarta.
- SNI-2847.(2019).Persyaratan Beton Struktural Untuk Gedung. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI-2052.(2017) Baja Tulangan Beton. Badan Standarisasi Nasional Indonesia, Jakarta.

LAMPIRAN

Komponen gedung	Besarnya beban
Adukan per cm tebal dari semen	21 kg/m ²
Adukan per cm tebal 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 batu	450 kg/m ²
Dinding pasangan bata merah satu batu	250 kg/m ²
Dinding pasangan batako berlubang tebal dinding 20 cm	200 kg/m ²
Dinding pasangan batako berlubang tebal dinding 10 cm	120 kg/m ²
Dinding pasangan batako tanpa lubang tebal dinding 15 cm	300 kg/m ²
Dinding pasangan batako tanpa lubang tebal dinding 10 cm	200 kg/m ²
Semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11 kg/m ²
Kaca dengan tebal 3-5 mm	10 kg/m ²
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban 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 (BJLS-25)	10 kg/m ²
Punutup lantai dari ubin semen portlant, teraso dan beton, tanpa adukan per cm tebal	24 kg/m ²
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 kg/m ²

Lampiran 1. Berat beban mati berdasarkan komponen gedung (PPURG 1987, halaman 5-6)Lampiran 1

Beban hidup pada lantai gedung	Besarnya beban
Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam b	200 kg/m ²
Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang yang 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 olahraga	400 kg/m ²
Lantai ruang dansa	500 kg/m ²
Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan lain-lain daripada yang disebut dalam a s/d e, seperti mesjid, gereja, ruang pegelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap	400 kg/m ²
Tangga, bordes tangga, gang yang disebut dalam d, e, f, dan g	500 kg/m ²
Lantai ruang pelengkap yang disebut dalam c, d, e, f, dan g	250 kg/m ²
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 sendiri, dengan minimum	400 kg/m ²
Lantai gedung parkir bertingkat untuk lantai bawah	800 kg/m ²
Lantai gedung parkir bertingkat untuk lantai tingkat lainnya	400 kg/m ²
Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap lantai hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum	300 kg/m ²

Lampiran 2. Beban hidup pada lantai gedung (PPURG 1987, halaman 12)

TABLE: Element Forces - Frames

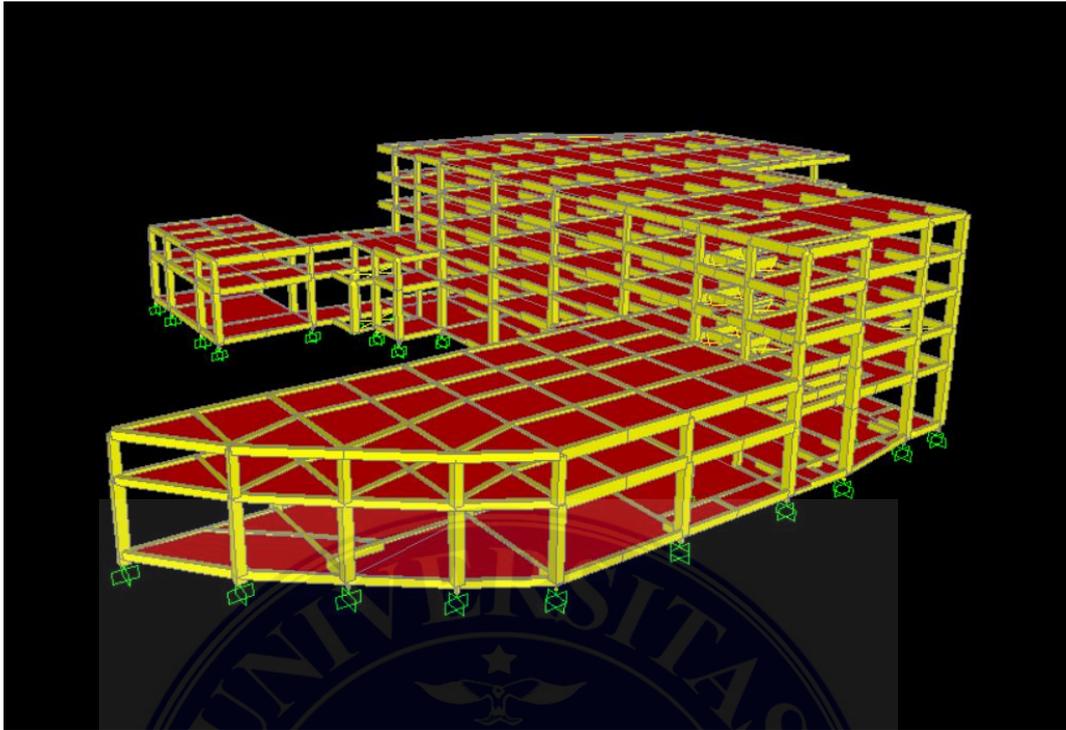
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem
Text	m	Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m	Text
672	4,5	COMB1	Combination		-193308,47	-1283,38	-3643,18	-135,67	10544,97	3701,07	672-1
672	0	COMB2	Combination		-230724,46	-1429,72	-4497,64	-146,05	-7633,38	-2295,34	672-1
672	2,25	COMB2	Combination		-228345,67	-1429,72	-4497,64	-146,05	2486,3	921,52	672-1
672	4,5	COMB2	Combination		-225966,87	-1429,72	-4497,64	-146,05	12605,99	4138,38	672-1
672	0	COMB4	Combination	Max	-207182,56	-1318,42	-3879,73	-137,77	-6358,24	-2125,93	672-1
672	2,25	COMB4	Combination	Max	-204553,99	-1318,42	-3879,73	-137,77	2372,47	840,58	672-1
672	4,5	COMB4	Combination	Max	-201925,42	-1318,42	-3879,73	-137,77	1114,29	9794,344	672-1
672	0	COMB5	Combination	Min	-207184,37	-1318,71	-3880,81	-137,82	-6359,35	-2126,53	672-1
672	2,25	COMB5	Combination	Min	-204555,8	-1318,71	-3880,81	-137,82	2371,15	840,52	672-1
672	4,5	COMB5	Combination	Min	-201927,24	-1318,71	-3880,81	-137,82	11100,55	3806,97	672-1
672	0	COMB6	Combination	Max	-207183,19	-1318,52	-3880,11	-137,79	-6358,63	-2126,14	672-1
672	2,25	COMB6	Combination	Max	-204554,63	-1318,52	-3880,11	-137,79	2372,01	840,56	672-1
672	4,5	COMB6	Combination	Max	-201926,06	-1318,52	-3880,11	-137,79	11102,98	3807,43	672-1
672	0	COMB6	Combination	Min	-207183,74	-1318,61	-3880,43	-137,81	-6358,97	-2126,32	672-1

Lampiran 3. Data Mu Excel Kolom

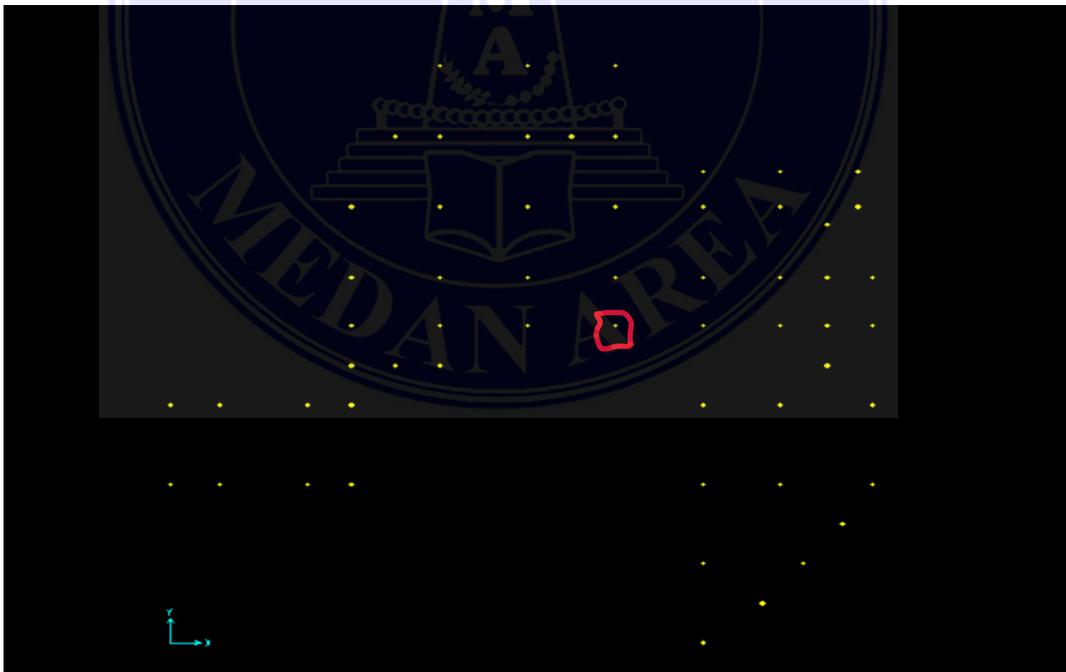
TABLE: Element Forces - Frames

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem
Text	m	Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m	Text
2682	4,5	COMB6	Combination	Max	14022,15	18138,8	32,53	60,95	38,05	30937,53	2682-2
2682	5	COMB6	Combination	Max	14022,15	19160,04	32,53	60,95	21,8	21631,78	2682-2
2682	5,5	COMB6	Combination	Max	14022,15	20634,96	32,53	60,95	5,57	11702,02	2682-2
2682	6	COMB6	Combination	Max	14022,15	22563,54	32,53	60,95	-10,67	921,38	2682-2
2682	6,5	COMB6	Combination	Max	14022,15	24492,13	32,53	60,95	-26,9	-10861,35	2682-2
2682	7	COMB6	Combination	Max	14022,15	25967,04	32,53	60,95	-43,13	-23494,96	2682-2
2682	7,5	COMB6	Combination	Max	14022,15	26988,29	32,53	60,95	-59,36	-36752,61	2682-2
2682	8	COMB6	Combination	Max	14022,15	27555,86	32,53	60,95	-75,6	-26525808,1	2682-2
2682	0	COMB6	Combination	Min	14037,87	-24772,95	33,6	-83,43	57,98	-39187,69	2682-1
2682	0,5	COMB6	Combination	Min	14037,87	-24205,38	33,6	-83,43	41,18	-26924,21	2682-1
2682	1	COMB6	Combination	Min	14037,87	-23184,13	33,6	-83,43	24,37	-15057,93	2682-1
2682	1,5	COMB6	Combination	Min	14037,87	-21709,22	33,6	-83,43	7,57	-3815,69	2682-1

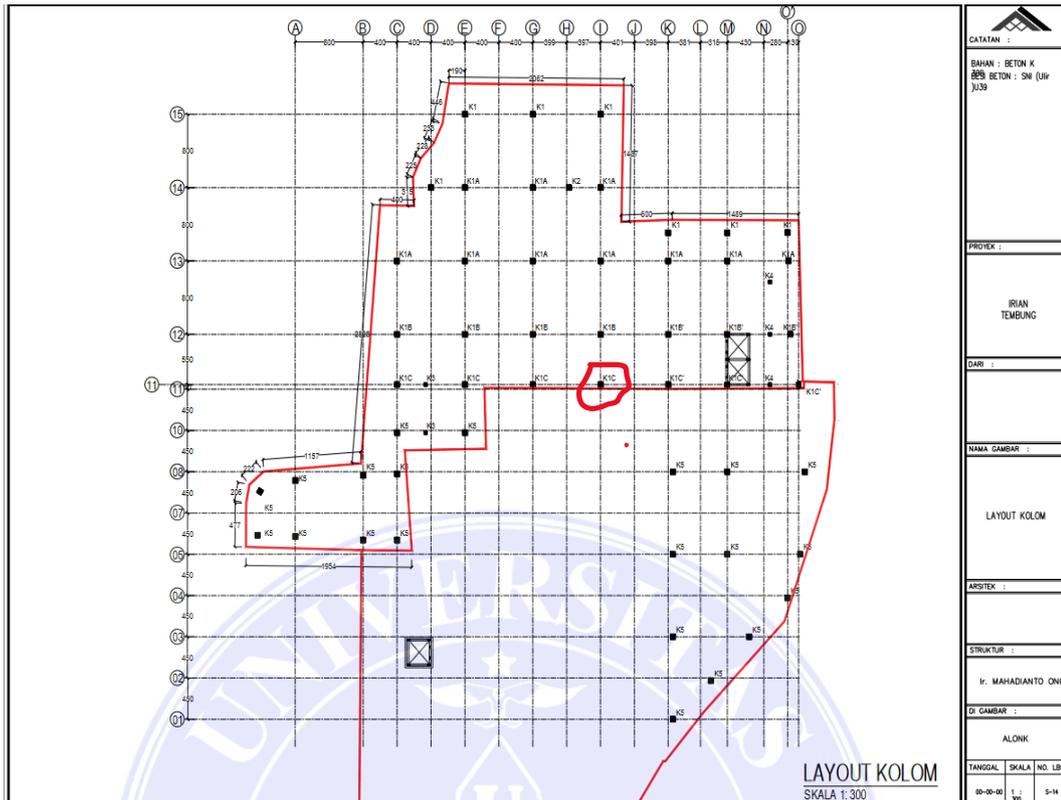
Lampiran 4. Data Mu Excel Kolom



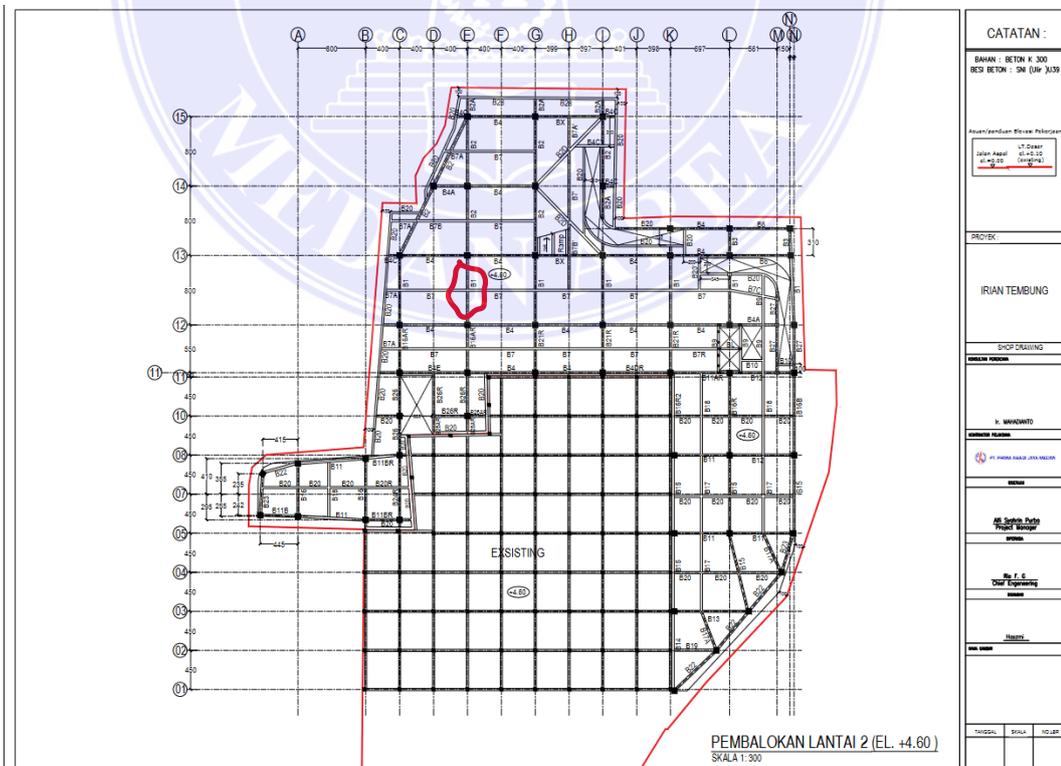
Lampiran 5. Permodelan Struktur 3D



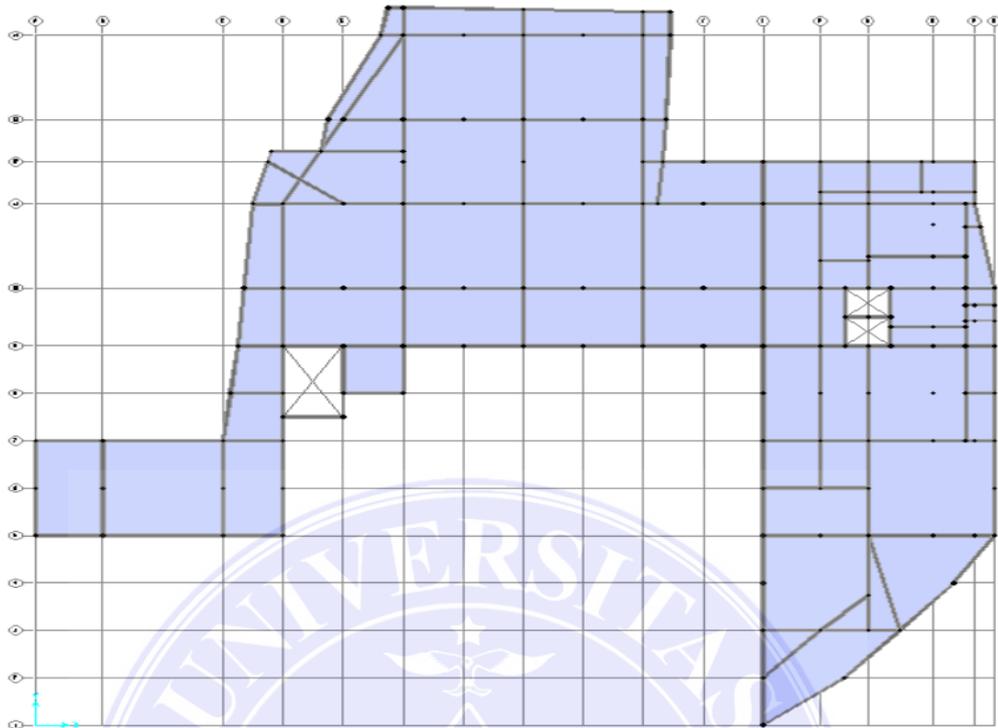
Lampiran 6. Denah Kolom yang Ditinjau



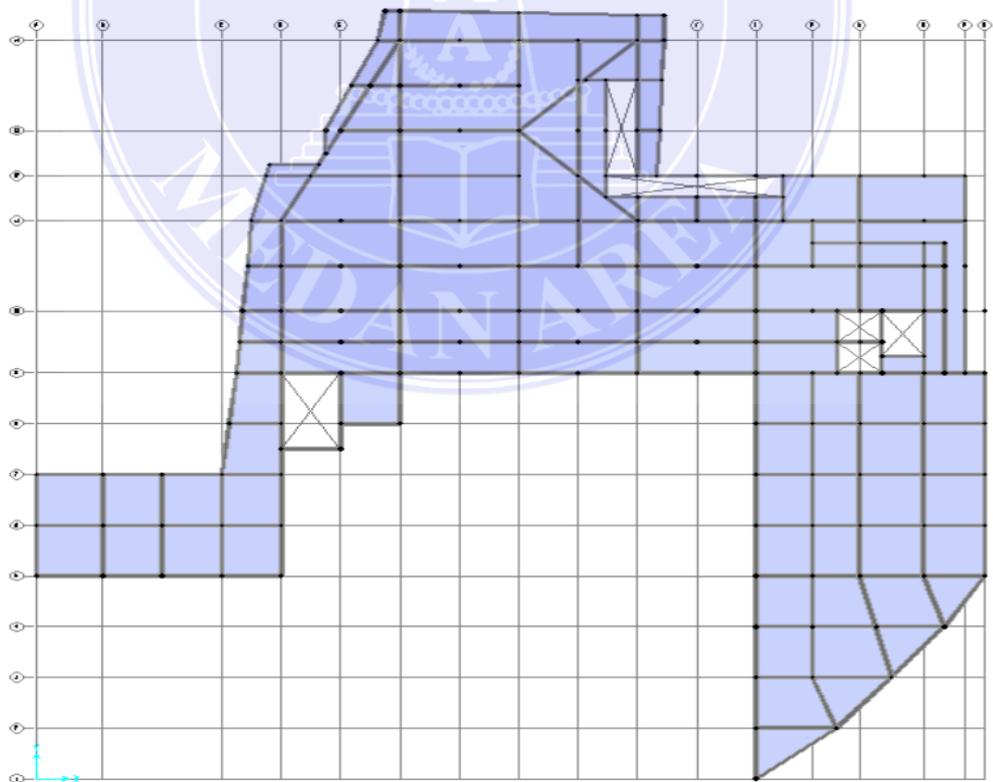
Lampiran 7. Layout Kolom Lantai 1



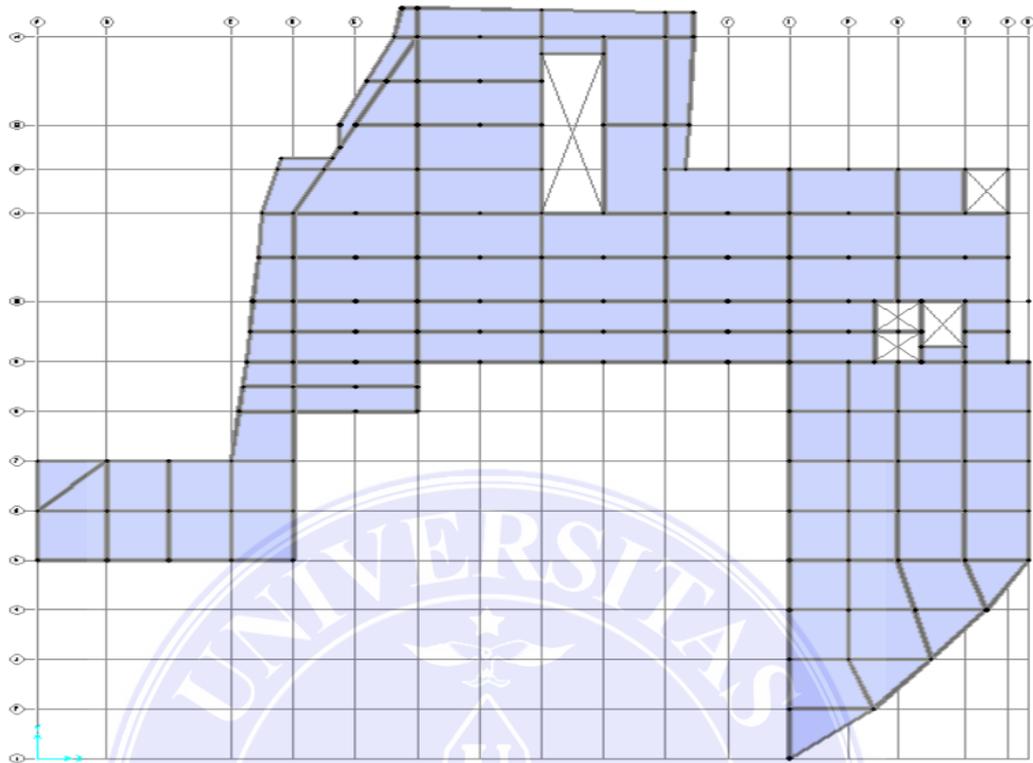
Lampiran 8. Layout Balok Lantai 2



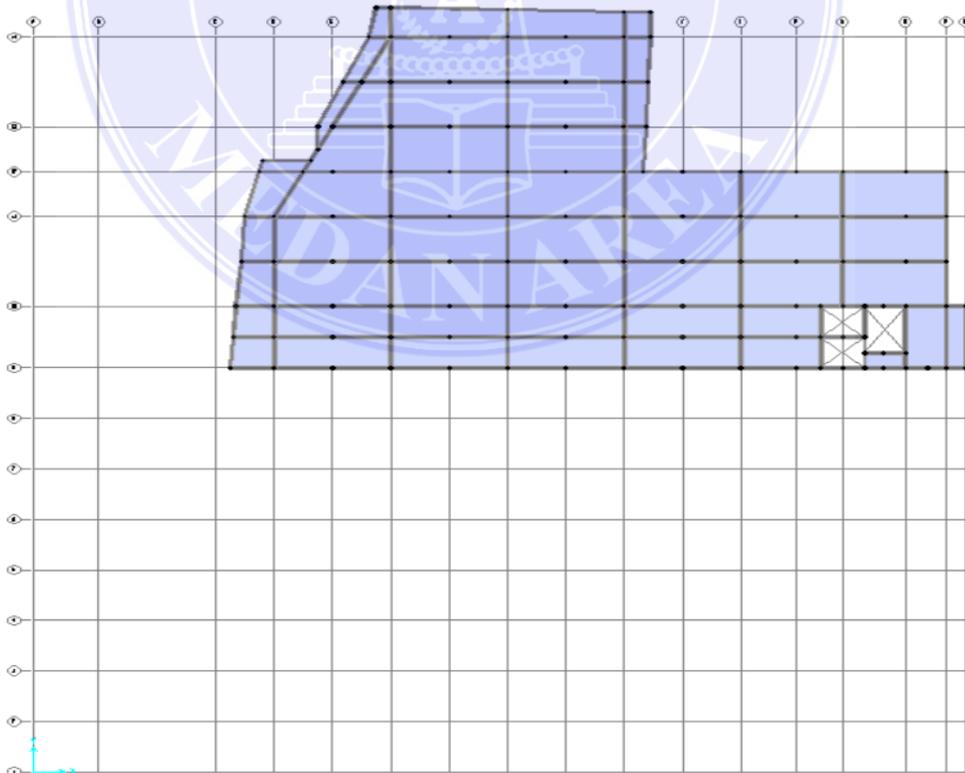
Lampiran 9. Denah Pembalokan lantai 1



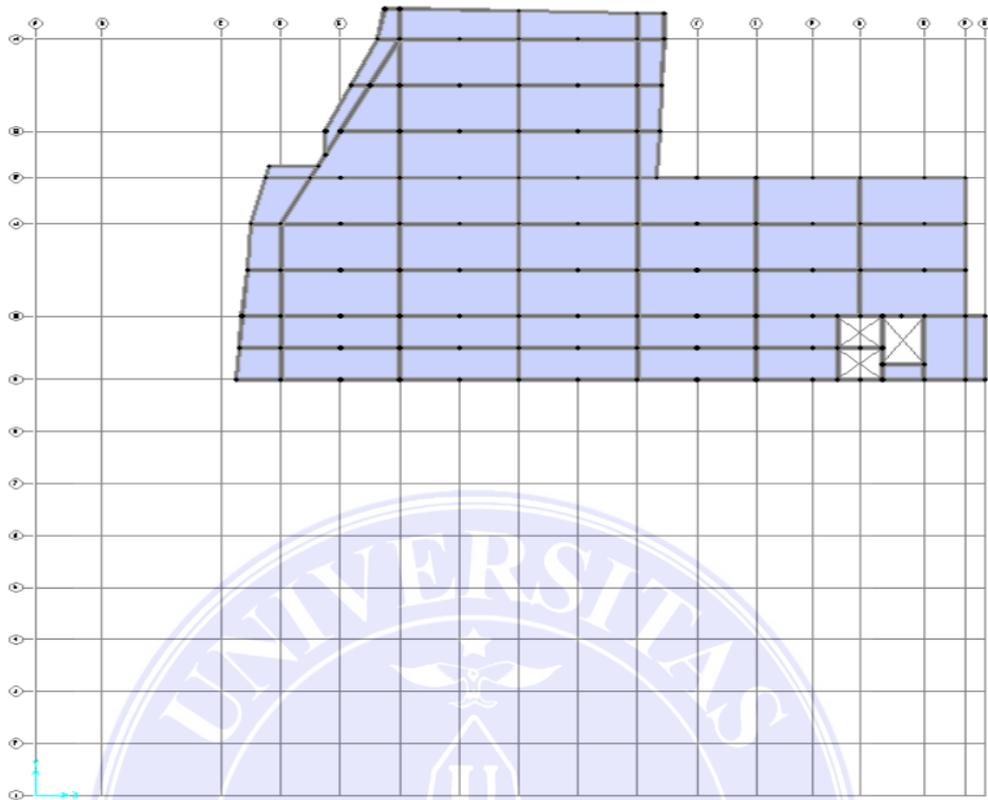
Lampiran 10. Denah Pembalokan Lantai 2



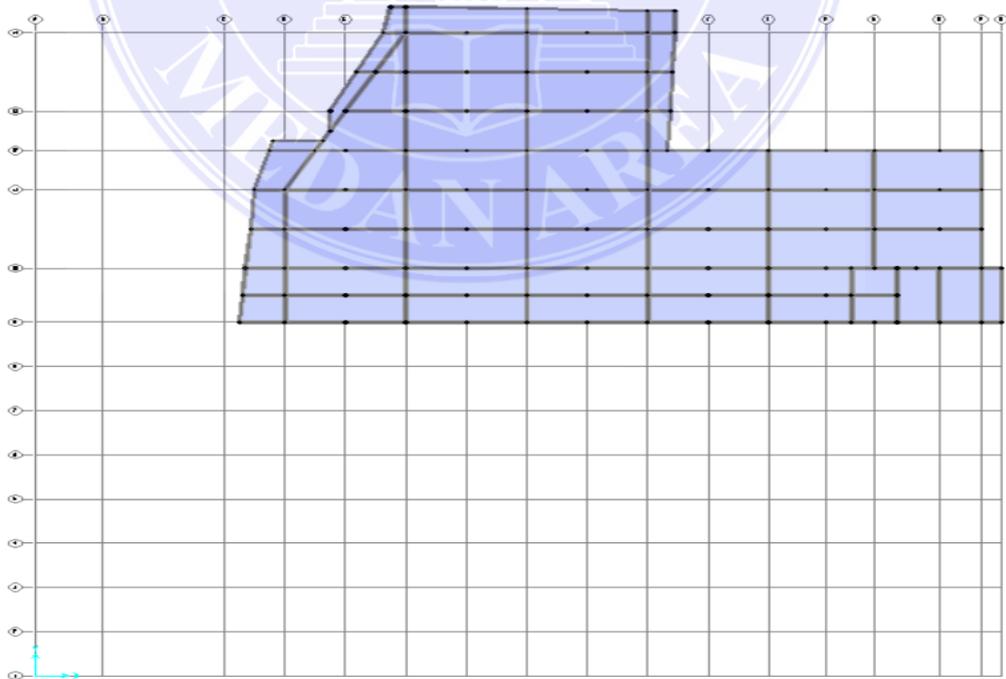
Lampiran 11. Denah Pembalokan Lantai 3



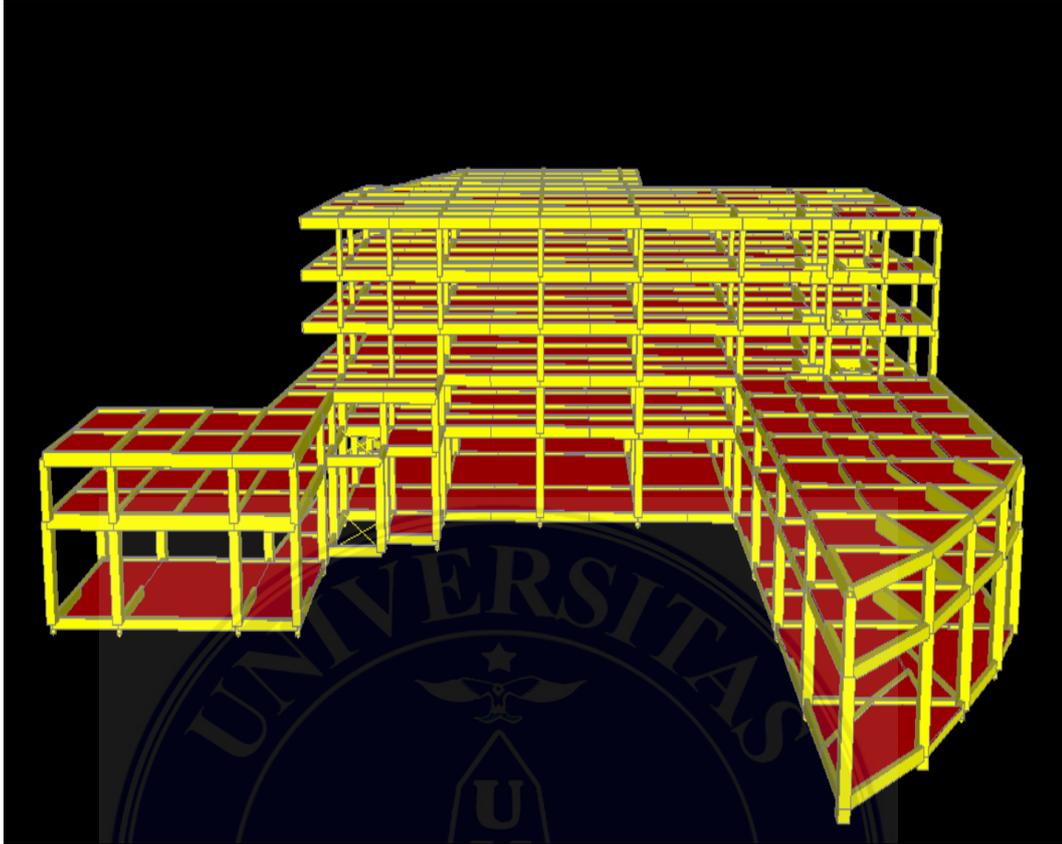
Lampiran 12. Denah Pembalokan Lantai 4



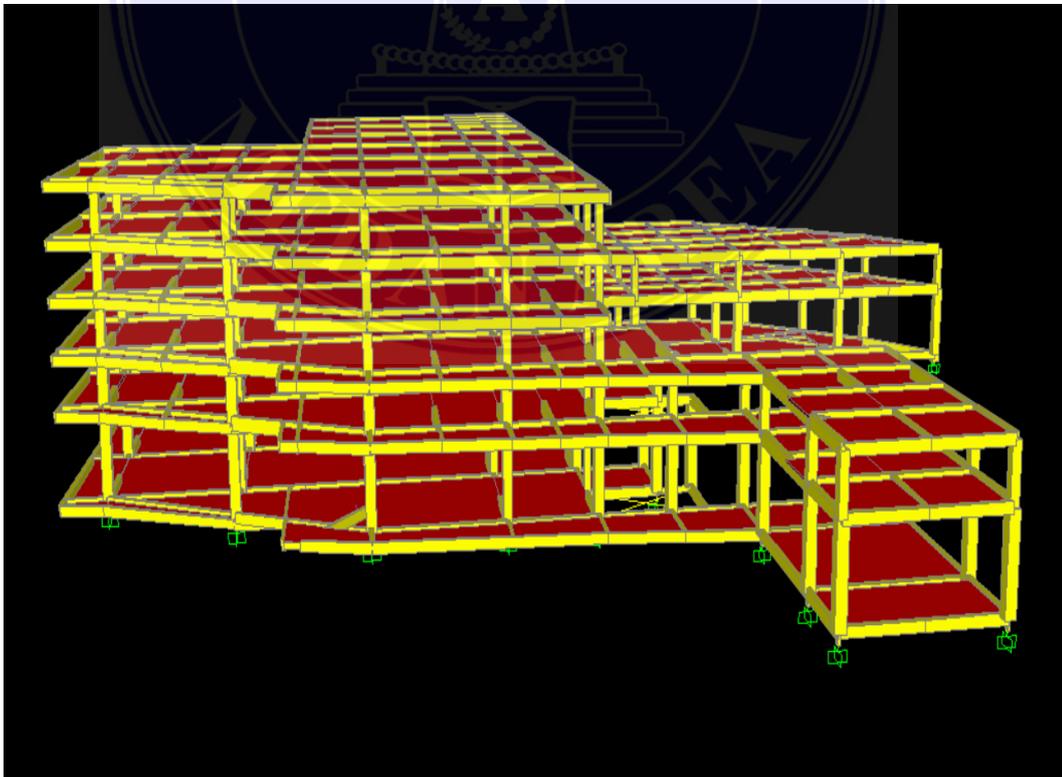
Lampiran 13. Denah Pembalokan Lantai 5



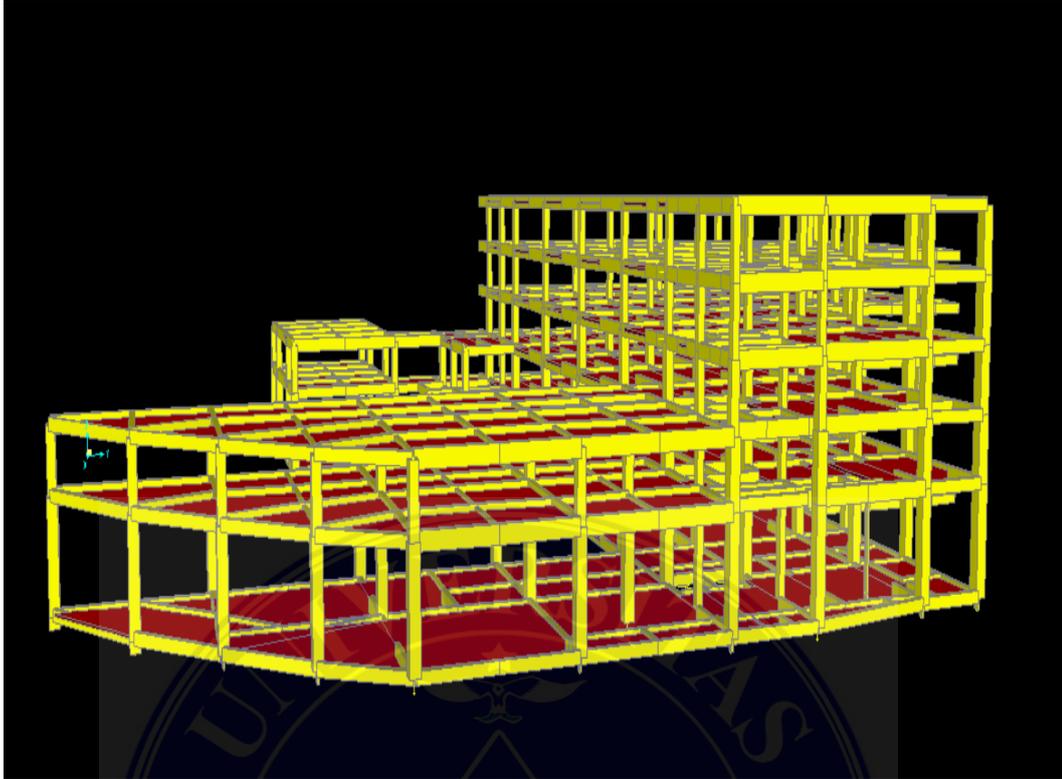
Lampiran 14. Denah Pembalokan Plat Atap



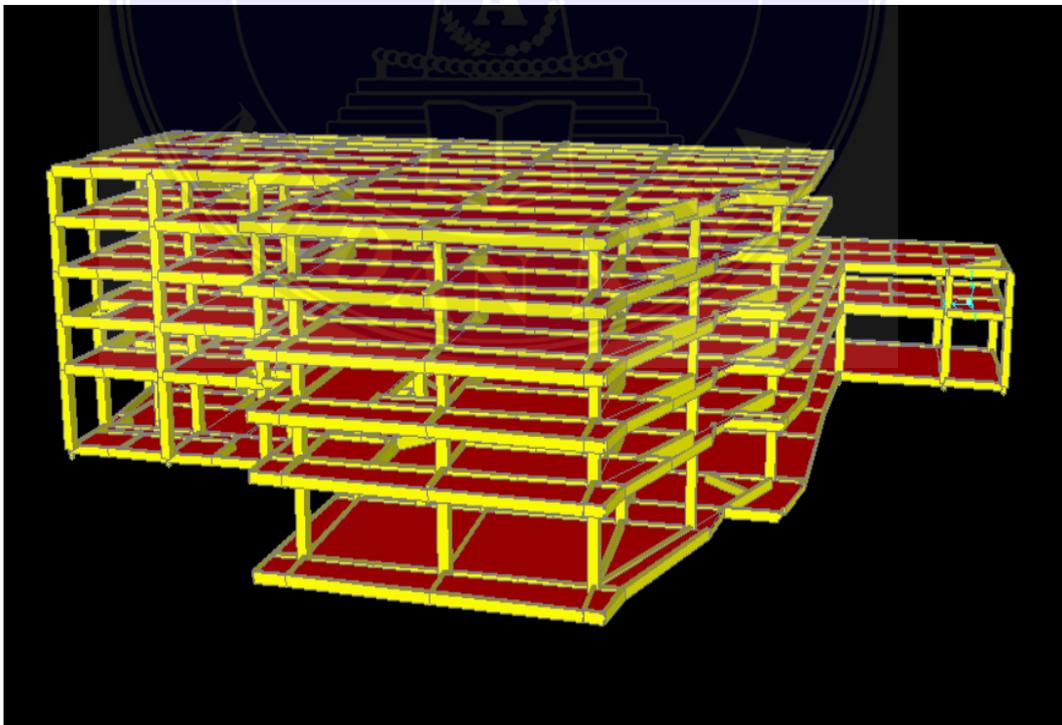
Lampiran 15. Tampak Depan Bangunan



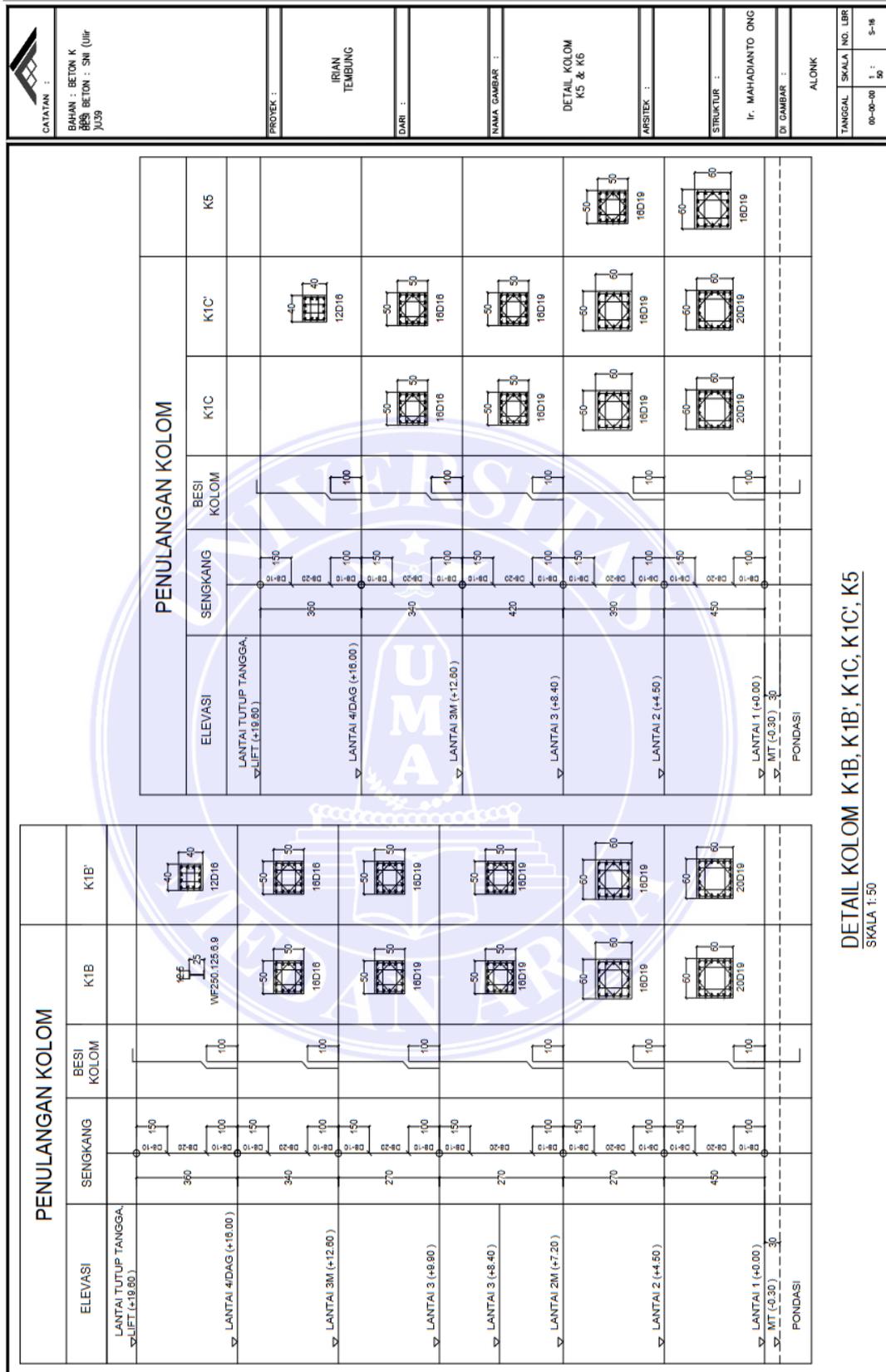
Lampiran 16. Tampak Kanan Bangunan



Lampiran 17. Tampak Kiri Bangunan



Lampiran 18. Tampak Belakang Bangunan



Lampiran 19. Detail Kolom

