

ANALISIS STRUKTUR RANGKA BAJA PADA PROYEK PEMBANGUNAN PMKS PT. KUTAI SAWIT MANDIRI

SKRIPSI

OLEH:

**LIBERTY ALVONSO SITANGGANG
198110076**



**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

ANALISIS STRUKTUR RANGKA BAJA PADA PROYEK PEMBANGUNAN PMKS PT. KUTAI SAWIT MANDIRI

SKRIPSI

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



Oleh:

**LIBERTY ALVONSO SITANGGANG
198110076**

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

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Struktur Rangka Baja Pada Proyek Pembangunan PMKS
PT. Kutai Sawit Mandiri
Nama : Liberty Alvonso Sitanggang
NPM : 198110076
Fakultas : Teknik



Tanggal Lulus : 04 Agustus 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 : Liberty Alvonso Sitanggang
NIM : 198110076
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

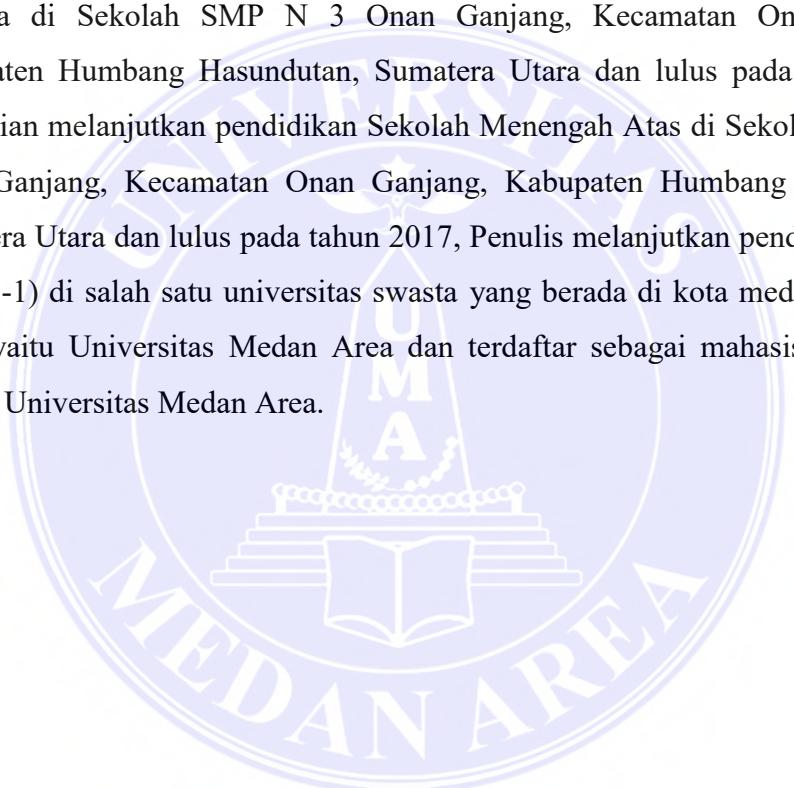
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non Exclusive Royalty Free-Right)** atas karya saya yang berjudul Analisis Struktur Rangka Baja Pada Proyek Pembangunan PMKS PT. Kutai Sawit Mandiri. Beserta Perangkat yang ada. Namun demikian dengan hak bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database) merawat dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis 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 : 04 Agustus 2023
Yang Menyatakan


Liberty Alvonso Sitanggang

RIWAYAT HIDUP

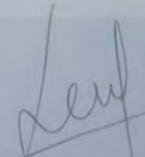
Liberty Alvonso Sitanggang, dilahirkan di Sumatera Utara, Kabupaten Humbang Hasundutan, Kecamatan Onan Ganjang, Desa Parbotihan, Dusun Huta tua pada tanggal 16 September 2000. Anak ke empat dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Ode Sitanggang dan Ibu Hirim Br. Samosir. Penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Dasar di SD N 173444 Parbotihan, Kecamatan Onan Ganjang, Kabupaten Humbang Hasundutan, Sumatera Utara pada tahun 2011. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di Sekolah SMP N 3 Onan Ganjang, Kecamatan Onan Ganjang, Kabupaten Humbang Hasundutan, Sumatera Utara dan lulus pada tahun 2014, Kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas di Sekolah SMA N 1 Onan Ganjang, Kecamatan Onan Ganjang, Kabupaten Humbang Hasundutan, Sumatera Utara dan lulus pada tahun 2017, Penulis melanjutkan pendidikan Strata Satu (S-1) di salah satu universitas swasta yang berada di kota medan, Sumatera Utara yaitu Universitas Medan Area dan terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area.



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 Produktivitas Pekerja dengan judul Analisis Struktur Rangka Baja Pada Proyek Pembangunan PMKS PT. Kutai Sawit Mandiri. Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Samsul A.Rahman Sidik Hasibuan,ST.,MT 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 seluruh rekan-rekan Mahasiswa/I Teknik Sipil Angkatan 2019 Universitas Medan Area, teman-teman seperjuangan dan sahabat-sahabat saya: Dandi, Alitopan, Anton, Bectiar, Lambok, alex, Wilman, Poltak, Jon, Jefri, Hendra, Nobert, Meiman, Martin, Rinto, Ray, Aris, Junka, Salehman, Krisna, Grace, Santa, yang telah banyak memberikan bantuan dan semangat kepada saya dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada pemilik NIM 191010700261 yang selalu memberikan dukungan dan perhatian selama penulisan skripsi. Dan ungkapan terima kasih kepada Ayah, Ibu, abang saya 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.

Medan, 04 Agustus 2023



Liberty Alvonso Sitanggang
198110076

ABSTRAK

Struktur bangunan terdiri dari struktur atas yang terletak di atas permukaan tanah dan struktur bawah yang terletak di bawah permukaan tanah. Pada Proyek Pembangunan PMKS PT. Kutai Sawit Mandiri menggunakan struktur baja. Mengingat pentingnya fungsi penampang baja pada penampang struktur, maka perlu dilakukan analisa dan perancangan penampang baja yang sesuai untuk elemen struktur kolom dan balok baja pada Proyek Pembangunan PMKS PT. Kutai Sawit Mandiri. Analisis struktur ini bertujuan untuk merancang struktur baja berdasarkan beban dan gaya kerja. Dalam penulisan tugas akhir ini digunakan metode penelitian berdasarkan topik penelitian proyek dengan menggunakan metode studi kasus. Metode studi kasus ini meninjau dan merencanakan kembali objek penelitian sesuai dengan kondisi bangunan yang mewakili objek penelitian. Tata letak struktur bangunan dianalisis menggunakan software perhitungan struktur berbasis komputer, SAP2000 v.14 yang mengacu pada SNI 1729-2020 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Bangunan Gedung dan SNI 1726:2021 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Struktur bangunan gedung dan non bangunan serta SNI 1727:2020 Beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lainnya serta Peraturan Pembebanan Bangunan Gedung Indonesia (PPIUG 1981). Setelah dilakukan analisa struktur baja pada Proyek Pembangunan PMKS PT. Kutai Sawit Mandiri, hasil dari analisa menggunakan program SAP 2000 v14, bangunan dengan tinggi kolom 20 m, lebar bangunan 54 m dan memiliki bentang 100 m yang terdiri dari kolom WF 300 X 150, balok IFW 150 X 75, rafter IWF 300 X 150, dan gording CNP 125 x 50, dapat memikul beban yang ada. Hal ini telah dibuktikan dengan yang menunjukkan semua elemen struktur berwarna biru atau berada pada angka 0,00-0,50, untuk analisis perhitungan struktur gording CNP125x50x25x2,3 diperoleh beban mati sebesar 12,21 kg/m², beban hidup air hujan sebesar 43,03 kg/m², dan beban angin tekan sebesar -12 kg/m², angin hisap sebesar -16 kg/m², Rafter WF300x150x6,5x9 diperoleh beban mati sebesar 44,05 kg/m, beban hidup sebesar 5,52 kg/m, balok WF 150 x 75 x 5 x 7 diperoleh beban mati sebesar 63,53 kg/m, beban hidup sebesar 28,37 kg/m. Untuk perhitungan kolom WF 300x150x6x9 diperoleh momen max 11008 kg.cm, gaya geser 4403 kg, gaya aksial 4255 kg menggunakan tegangan izin

Kata Kunci: Struktur, Baja, Analisa, Konstruksi SAP2000, SNI, PPIUG

ABSTRACT

The building structure consists of an upper structure located above ground level and a lower structure located below ground level. In the PT. PMKS Development Project. Kutai Sawit Mandiri uses a steel structure. Considering the importance of the function of steel sections in structural cross-sections, it is necessary to analyze and design appropriate steel sections for steel column and beam structural elements in the PT PMKS construction project. Kutai Sawit Mandiri. This structural analysis aims to design steel structures based on loads and working forces. In writing this final assignment a research method was used based on the project research topic using the case study method. This case study method reviews and re-plans the research object according to the condition of the building that represents the research object. The layout of the building structure was analyzed using computer-based structural calculation software, SAP2000 v.14 which refers to SNI 1729-2020 concerning Procedures for Planning Steel Structures of Buildings and SNI 1726:2021 Procedures for Planning for Earthquake Resistance of building and non-building structures and SNI 1727 :2020 Minimum loads for planning buildings and other structures as well as the Indonesian Building Loading Regulations (PPIUG 1981). After analyzing the steel structure on the PT PMKS Construction Project. Kutai Sawit Mandiri, results of analysis using the SAP 2000 v14 program, a building with a column height of 20 m, a building width of 54 m and a span of 100 m consisting of WF 300 X 150 columns, IFW 150 X 75 beams, IWF 300 and CNP 125 x 50 curtains, can support the existing load. This has been proven by showing that all structural elements are blue or are at 0.00-0.50. For the structural calculation analysis of CNP125x50x25x2.3 curtains, the dead load is 12.21 kg/m², the live rainwater load is 43, 03 kg/m², and compressed wind load of -12 kg/m², suction wind of -16 kg/m², Rafter WF300x150x6.5x9 obtained a dead load of 44.05 kg/m, live load of 5.52 kg/m, beam WF 150 x 75 x 5 x 7 obtained a dead load of 63.53 kg/m, live load of 28.37 kg/m. For the calculation of the 300x150x6x9 WF column, the maximum moment is 11008 kg.cm, the shear force is 4403 kg, the axial force is 4255 kg using the allowable stress.

Keywords: Structure, Steel, Analysis, SAP2000 Construction, SNI, PPIUG

DAFTAR ISI

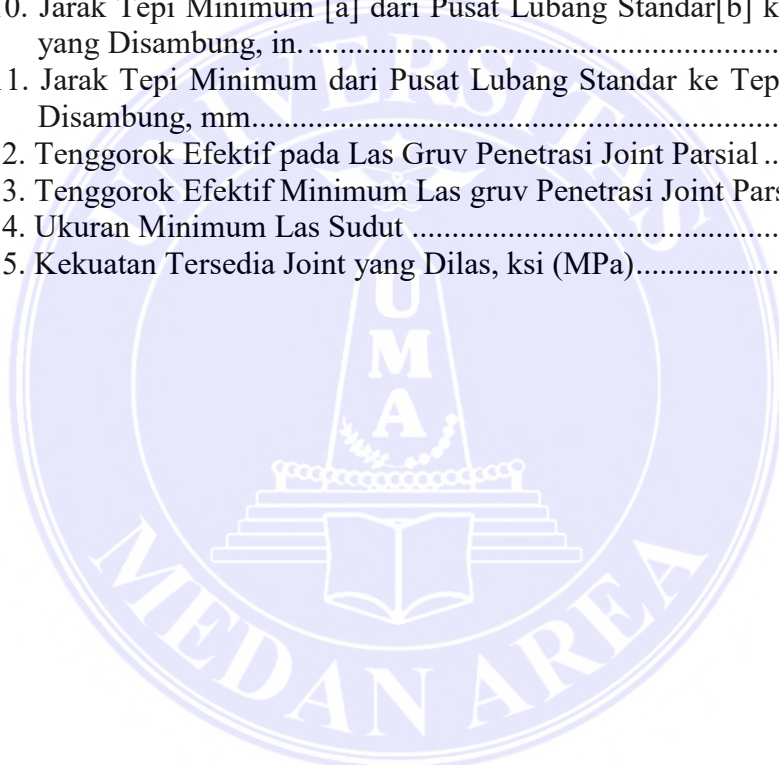
COVER	ii
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
RIWAYAT HIDUP	vi
KATA PENGHANTAR	vii
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Terdahulu	4
2.2 Defenisi Struktur Baja	5
2.3 Jenis-Jenis Profil Baja	7
2.4 Dasar Desain Struktur Baja	10
2.5 Defenisi Beban	12
2.6 Kombinasi Beban	16
2.7 Sambungan Baut	20
2.8 Sambungan Las	31
2.9 Elemen Balok Dan Kolom	39
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	45
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	45
3.2 Tahap Penelitian	45
3.3 Analisis Struktur Dengan Program SAP2000	48
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1 Data Umum Proyek	55
4.2 Data Khusus Proyek	55
4.3 Pembebanan Struktur	58
4.4 Perhitungan Manual Tinjauan Portal	64
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	84
5.1 KESIMPULAN	84
5.2 SARAN	85
DAFTAR PUSTAKA	86
LAMPIRAN	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Profil baja <i>Wide Flange</i>	7
Gambar 2. Profil baja UNP	8
Gambar 3. Profil baja <i>Lipped Chanel</i> (CNP)	9
Gambar 4. Sistem Sambungan	20
Gambar 5. Sambungan Sejajar	21
Gambar 6. Sambungan Tegak Lurus	21
Gambar 7. Sambungan Kombinasi Sejajar-Tegak Lurus	21
Gambar 8. Jarak dan Spasi Baut	25
Gambar 9. Jenis-jenis Sambungan Las	31
Gambar 10. Lokasi Penelitian	45
Gambar 11. Diagram Alir	47
Gambar 12. <i>New Model</i> pada SAP2000 V.14	48
Gambar 13. Menentukan Jumlah <i>Grid</i>	49
Gambar 14. Mengatur Grid Bangunan	49
Gambar 15. Mendefinisikan Material	50
Gambar 16. Mendefinisikan <i>Frame</i>	50
Gambar 17. Gambar Struktur	51
Gambar 18. Mendefinisi Pembebanan	51
Gambar 19. Input <i>Respon Spektrum</i>	52
Gambar 20. Input Kombinasi Pembebanan	52
Gambar 21. Beban Pada <i>Gording</i>	53
Gambar 22. Gambar <i>Run Analysis</i>	53
Gambar 23. Penampang Kolom	56
Gambar 24. Penampang Balok.....	56
Gambar 25. Penampang <i>Rafter</i>	57
Gambar 26. Penampang <i>Gording</i>	57
Gambar 27. Penampang <i>Wind Brace</i>	57
Gambar 28. Struktur Setelah Dilakukan Pembebanan	61
Gambar 29. Struktur Mengalami Deformasi Akibat Beban Mati	61
Gambar 30. Struktur Mengalami Deformasi Akibat Beban Hidup.....	62
Gambar 31. Struktur Mengalami Deformasi Akibat Beban Gempa arah x	62
Gambar 32. Struktur Mengalami Deformasi Akibat Beban Gempa arah y	62
Gambar 33. Struktur Mengalami Deformasi Akibat Beban Angin arah x.....	63
Gambar 34. Struktur Mengalami Deformasi Akibat Beban Angin arah y.....	63
Gambar 35. Struktur Mengalami Deformasi Akibat Beban Hujan.....	63

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Berat Baja WF-BEAM.....	7
Tabel 2. Berat Baja UNP.....	9
Tabel 3. Berat Baja Lipped Chanel (CNP).....	10
Tabel 4. Beban Sendiri Bahan Bangunan Dan Komponen Gedung	13
Tabel 5. Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, Lo, dan Beban Hidup Terpusat Minimum	14
Tabel 6. Pratarik Baut Minimum (kN).....	22
Tabel 7. Kekuatan Nominal Pengencang dan Bagian Berulir, ksi (MPa).....	23
Tabel 8. Dimensi Lubang Nominal, in.....	24
Tabel 9. Dimensi Lubang Nominal, mm.....	24
Tabel 10. Jarak Tepi Minimum [a] dari Pusat Lubang Standar[b] ke Tepi Bagian yang Disambung, in.....	25
Tabel 11. Jarak Tepi Minimum dari Pusat Lubang Standar ke Tepi Bagian yang Disambung, mm.....	26
Tabel 12. Tenggorok Efektif pada Las Gruv Penetrasi Joint Parsial	32
Tabel 13. Tenggorok Efektif Minimum Las gruv Penetrasi Joint Parsial	33
Tabel 14. Ukuran Minimum Las Sudut	34
Tabel 15. Kekuatan Tersedia Joint yang Dilas, ksi (MPa).....	36



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan daerah rawan gempa, baik gempa skala kecil maupun skala besar karena Indonesia berada di antara dua wilayah jalur gempa yaitu gempa asia (*Trans Asiatic Eartquake Belt*) dan jalur gempa pasifik (*Circum Pasific Earthquake belt*), sehingga mengakibatkan sering terjadinya gempa di Indonesia. Oleh karena itu dalam suatu konstruksi dibutuhkan suatu struktur yang kuat untuk menahan beban gempa yang sering terjadi dan biasanya struktur itu terbuat dari bahan baja. Baja merupakan salah satu bahan konstruksi yang banyak digunakan setelah beton (Ilham Rahardi, 2020). Material yang berbahan dasar logam ini mempunyai banyak kelebihan, khususnya kekuatan dan kecepatan pengerjaan sehingga banyak diminati sebagai bahan konstruksi, baik struktur bangunan maupun jembatan.

Struktur bangunan merupakan komponen utama yang menunjang berdirinya suatu bangunan. Struktur bangunan gedung terdiri perencanaan bangunan atas (*upper structure*) yang berada di atas permukaan tanah dan bangunan bawah (*substructure*) yang berada di bawah permukaan tanah. Pada setiap konstruksi bangunan gedung, struktur yang direncanakan harus mampu untuk menahan beban-beban yang terjadi. Kolom, balok, dan pelat lantai merupakan elemen struktur atas yang sangat penting dalam konstruksi bangunan gedung. Asumsi pembebanan dalam struktur yaitu, beban dari pelat lantai disalurkan ke balok, beban balok disalurkan ke kolom dan beban kolom diteruskan ke pondasi. Untuk itu elemen struktur tersebut harus didesain dan

dihitung berdasarkan kombinasi beban dan standar yang sesuai. Aspek terpenting dari suatu struktur ialah ketahanan struktur gedung tersebut terhadap beban statis yang direncanakan ataupun ketahanan struktur terhadap potensi bencana seperti gempa maupun beban-beban yang bekerja lainnya.

Untuk mengetahui hal tersebut, diperlukan perencanaan dan perhitungan yang tepat. Oleh karena itu diperlukan suatu analisis struktur yang tepat dan teliti agar dapat memenuhi kriteria kekuatan (*strenght*), kenyamanan (*serviceability*), keselamatan (*safety*), dan umur rencana bangunan (*durability*). Pada Proyek Pembangunan PMKS PT. Kutai Sawit Mandiri menggunakan struktur baja dengan material profil baja kolom dan balok. Mengingat pentingnya fungsi profil baja untuk penampang struktur maka perlu untuk menganalisa dan mendesain profil 2 baja yang tepat untuk elemen struktur kolom dan balok baja pada Proyek Modisland Fashion Store.

Dikarenakan pada era sekarang yang sudah semakin modern, untuk membantu perhitungan struktur baja pada bangunan yang akan dianalisis maka akan digunakan aplikasi pembantu yaitu SAP2000. Penggunaan SAP2000 dalam analisis struktur baja pada bangunan pabrik memberikan manfaat dalam mempercepat proses analisis, meningkatkan akurasi, dan membantu perencanaan dalam mengoptimalkan desain dan kekuatan struktur. Oleh karena itu penulis mengambil topik atau judul untuk dibahas yaitu “ANALISA STRUKTUR RANGKA BAJA PROYEK PEMBANGUNAN PMKS PT. KUTAI SAWIT MANDIRI.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang di dapat pada dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana prosedur penganalisisan struktur rangka baja pada bangunan menggunakan aplikasi SAP 2000 v14?
2. Apa saja beban yang bekerja pada struktur tersebut dan berapa beban yang dipikul oleh struktur tersebut?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk menganalisis struktur rangka baja pada bangunan menggunakan aplikasi SAP 2000 v14.
2. Mengetahui beban apa saja yang bekerja pada struktur dan berapa beban yang dipikul oleh struktur.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis Struktur Baja pada bangunan meliputi kolom, balok, rafter dan gording.
2. Menganalisis struktur baja pada bangunan pabrik akan dibantu menggunakan aplikasi SAP 2000 v14.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai prosedur perhitungan beban-beban yang dapat diterima oleh struktur baja pada bangunan.
2. Memberikan informasi mengenai prosedur penganalisaan struktur baja menggunakan aplikasi SAP 2000 v 14.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang mendasari penelitian ini antara lain:

1. Muhammad Zulqifli Lihin (2021) mengenai Studi Perencanaan Portal Baja Menggunakan Metode LRFD Pada Gedung RS.Bhayangkara Makassar. Dalam penelitiannya dilakukan studi perencanaan untuk mengetahui dimensi profil baja WF (Wide Flange) yang dibutuhkan untuk kolom, dimensi sambungan dan base plate serta gambar detail perencanaan.
2. Indah Saiful Fajarani, I Gusti Lanang Bagus Eratodi (2020) mengenai Evaluasi Perencanaan Struktur Komposit Menggunakan Metode Load Resistance Factor Design (LRFD) Pada Gedung C Undiknas Denpasar. Dalam penelitiannya dilakukan evaluasi perencanaan untuk mengetahui pengaruh penggunaan metode LRFD dan metode ASD yang digunakan untuk perencanaan lapangan gedung C terhadap perilaku statika struktur dan evaluasi perencanaan struktur kolom komposit menggunakan metode LRFD pada gedung C Universitas Pendidikan Nasional.
3. Mita Septiani Amalia, Dine Agustine, Hafiz Abdillah (2020) mengenai Perencanaan Konstruksi Baja Struktur Atas Pada Bangunan Gudang Tahan Gempa (Studi Kasus Bangunan Gudang Penyimpanan Barang Casing Elektronik). Dalam perencanaannya dilakukan analisis untuk mengetahui penggunaan profil yang aman terhadap momen dan geser, dan mengetahui kombinasi pembebanan aksial dan lateral (Beban angin ataupun Beban gempa) profil cukup aman untuk digunakan.

4. Mahpuja Narti Simatupang (2022) mengenai Analisis Kolom Baja Pada Kontruksi Perluasan Gudang Boiler Pt. Indofood Medan. Dalam perencanaannya dilakukan analisis untuk mengetahui kekuatan kolom baja dan gaya-gaya yang bekerja pada kolom baja yang akan digunakan.
5. Stendra Mawu (2018) mengenai Analisa Struktur Baja Serta Metode Pelaksanaan Pekerjaan Pada Proyek Modisland Fashion Store. Dalam perencanaannya dilakukan analisis untuk mendesain struktur baja (kolom dan balok baja) yang tepat berdasarkan beban-beban yang berkerja.

2.2 Defenisi Struktur Baja

Struktur baja adalah suatu rangkaian atau konstruksi dari bahan baja yang digunakan untuk menopang beban atau kekuatan pada bangunan atau konstruksi lainnya. Struktur baja terdiri dari berbagai elemen seperti balok, kolom, dan pelat yang terbuat dari baja dan disusun sedemikian rupa sehingga dapat menahan beban yang diterapkan pada struktur tersebut. Struktur baja sering digunakan pada bangunan bertingkat tinggi, jembatan, menara, dan struktur lainnya yang membutuhkan kekuatan dan ketahanan yang tinggi. Proses pembuatan struktur baja meliputi perencanaan, pemilihan bahan, pengelasan, dan pengujian struktur untuk memastikan keamanan dan kualitasnya.

Pemilihan baja sebagai elemen struktur pada bangunan didasarkan pada beberapa keunggulan yang dimiliki oleh material tersebut, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Baja mempunyai kekuatan yang tinggi sehingga dapat mengurangi ukuran struktur yang secara langsung akan mengurangi berat struktur secara keseluruhan.

2. Material penyusun baja lebih seragam dibandingkan dengan beton.
3. Tingkat elastisitas yang tinggi dan sesuai dengan hukum Hooke. Selain itu, momen inersia dari baja akan dapat dihitung secara akurat.
4. Daktilitas yang cukup tinggi, dimana daktilitas adalah kemampuan material dalam menahan deformasi yang besar tanpa terjadinya keruntuhan dengan tegangan tarik yang tinggi.
5. Kekerasan (toughness) adalah kemampuan dari material untuk menyerap energi dalam jumlah besar.
6. Mudah dipasang atau digabungkan dengan struktur yang sudah ada sehingga mempercepat waktu pelaksanaan konstruksi.

Selain memiliki keunggulan, material baja juga memiliki beberapa kelemahan yang harus diperhatikan karena dapat menurunkan kekuatan dari struktur baja tersebut. Beberapa kelemahan yang ada adalah sebagai berikut:

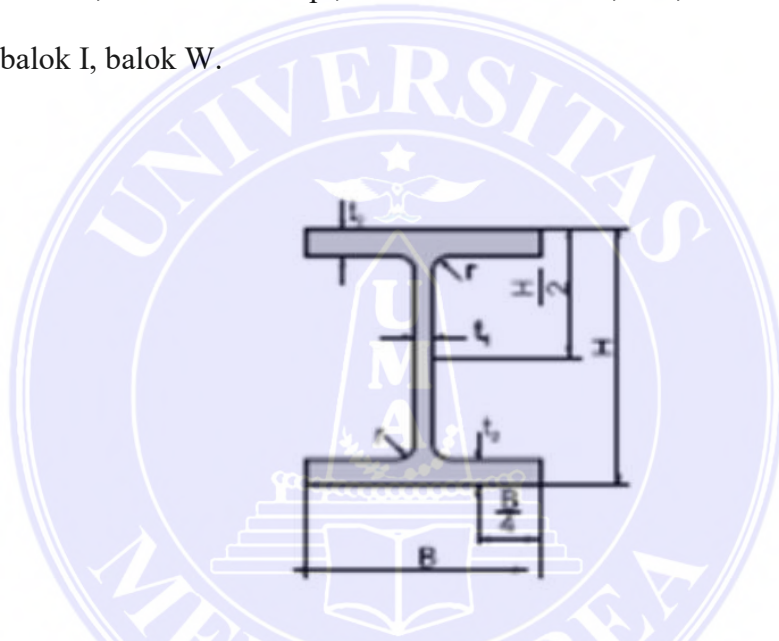
1. Mudah mengalami korosi apabila terpapar dengan udara dan air secara langsung sehingga harus dilakukan perlakuan khusus misalkan di cat secara periodik.
2. Terdapat biaya tambahan untuk pemberian lapisan tahan api (fireproofing) karena baja merupakan penghantar panas yang sangat baik.
3. Mudah mengalami tekuk, terutama untuk struktur batang tekan.
4. Sifat lelah (fatigue) harus dipertimbangkan untuk elemen struktur dan sambungannya yang menahan beban berulang.
5. Kebutuhan akibat getas, dimana pada kondisi tertentu sifat daktilitas baja dapat hilang dan terjadi brittle failure pada bagian yang mempunyai konsentrasi tegangan tinggi.

2.3 Jenis-Jenis Profil Baja

Berikut adalah jenis profil baja utama yang biasa dipakai di Indonesia sebagai bahan bangunan untuk berbagai konstruksi sesuai kebutuhan.

a. Wide Flange (WF)

Wide Flange atau WF biasa digunakan untuk : balok, kolom, tiang pancang, top & bottom chord member pada truss, composite beam atau column, kantilever kanopi, dll. Istilah lain: IWF, WF, H-Beam, balok H, balok I, balok W.



Gambar 1. Profil baja Wide Flange (*Tabel Profil Konstruksi Baja*)

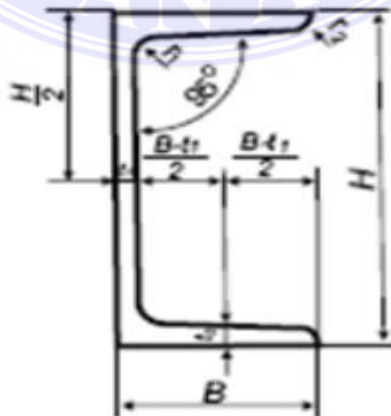
Tabel 1. Berat Baja WF-BEAM (*Tabel Profil Konstruksi Baja, 2020*)

H (mm)	B (mm)	T1 (mm)	T2 (mm)	LENGHT (m)	WEIGHT/KG
100	50	5	7	12	112,00
125	60	6	8	12	158,40
148	100	6	9	12	253,20
150	75	5	7	12	168,00
175	90	5	8	12	217,20
198	99	4,5	7	12	218,40
200	100	3,2	4,5	12	143,00
200	100	5,5	8	12	256,00
248	124	5	8	12	308,40
250	125	6	9	12	355,20

298	149	6	8	12	384,00
300	150	6,5	9	12	440,40
346	174	6	9	12	497,00
350	175	7	11	12	595,20
396	199	7	11	12	679,50
400	200	8	13	12	792,00
446	199	8	12	12	794,40
450	200	9	14	12	912,00
496	199	9	14	12	954,00
500	200	10	16	12	1075,00
588	300	12	20	12	1812,00
596	199	9	14	12	1135,00
600	200	11	17	12	1272,00
700	300	13	24	12	2220,00
800	300	14	26	12	2520,00

b. Chanel U atau UNP (Kanal U)

Penggunaan U Normal Profile hampir sama dengan WF, kecuali untuk kolom jarang digunakan karena Baja Channel atau UNP ini punya kegunaan yang hampir sama dengan baja WF, kecuali untuk kolom jarang baja UNP ini jarang digunakan karena struktur nya yang mudah mengalami tekukan disetiap sisi nya. Istilah lain baja UNP: Kanal U, U-channel, Profil U.



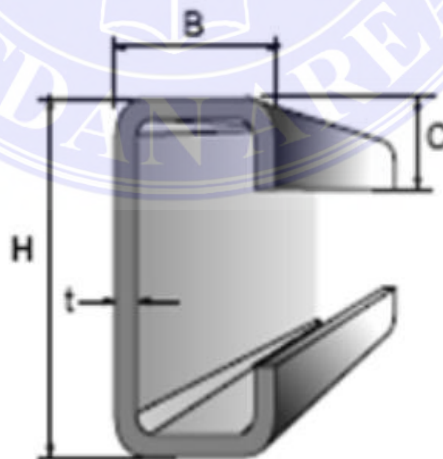
Gambar 2. Profil baja UNP (*Tabel Profil Konstruksi Baja*)

Tabel 2. Berat Baja UNP (*Tabel Profil Konstruksi Baja, 2020*)

Ukuran (mm)	Panjang (M)	Berat (Kg/M)	Berat (Kg/6 meter)
UNP 50 x 38 x 5	6	5,0	30
UNP 65 x 42 x 5,5	6	6,8	41
UNP 75 x 40 x 5	6	7,6	45,3
UNP 80 x 45 x 5	6	8,0	47,76
UNP 100 x 50 x 6	6	9,4	56,2
UNP 120 x 55 x 6	6	13,4	80,4
UNP 125 x 65 x 6	6	13,4	80,4
UNP 150 x 75 x 6,5	6	18,7	112
UNP 180 x 75 x 7	6	21,3	128
UNP 200 x 80 x 7,5	6	24,7	148
UNP 250 x 90 x 9	6	34,7	208
UNP 300 x 90 x 9	6	38,2	229
UNP 300 x 100 x 10	12	43,8	263

c. Lipped Channel/C Chanel/Kanal C (CNP)

Baja channel C (C Normal Profile) Biasa digunakan untuk: purlin (balok dudukan penutup atap), girts (elemen yang memegang penutup dinding misalnya metal sheet, dll), member pada truss, rangka komponen arsitektural. Istilah lain: balok purlin, kanal C, C-channel, profil C.

Gambar 2. Profil baja Lipped Chanel (CNP) (*Tabel Profil Konstruksi Baja*)

Tabel 2. Berat Baja Lipped Chanel (CNP) (*Tabel Profil Konstruksi Baja, 2020*)

Ukuran/Size	Berat/Weight (6 meter)
CNP 60 x 30 x 10 x 1,6 mm	9,76 Kg
CNP 75 x 35 x 15 x 1,6 mm	12,4 Kg
CNP 75 x 45 x 15 x 1,6 mm	13,92 Kg
CNP 75 x 45 x 15 x 12,3 mm	19,5 Kg
CNP 100 x 50 x 20 x 1,6 mm	17,36 Kg
CNP 100 x 50 x 20 x 1,6 mm	24,36 Kg
CNP 100 x 50 x 20 x 2,3 mm	33 Kg
CNP 125 x 50 x 20 x 2,3 mm	27,1 Kg
CNP 125 x 50 x 20 x 3,2 mm	36,8 Kg
CNP 150 x 50 x 20 x 2,3 mm	29,8 Kg
CNP 150 x 50 x 20 x 3,2 mm	40,6 Kg
CNP 150 x 65 x 20 x 2,3 mm	33 Kg
CNP 150 x 65 x 20 x 3,2 mm	45,1 Kg
CNP 200 x 20 x 20 x 3,2 mm	55,62Kg

d. T-Beam (Hot Rolled)

Sebuah T-beam, digunakan dalam konstruksi, adalah sebuah struktur loadbearing logam, yang berbentuk penampang T. Bagian atas T penampang berfungsi sebagai flange melawan tegangan tekan. Sedangkan Web dari balok di bawah flens berfungsi untuk melawan tegangan tarik dan untuk menyediakan pemisahan tekanan dari kekuatan tekuk. Penggunaan : balok lantai, balok kantilever (kanopi) Istilah lain : balok T.

2.4 Dasar Desain Struktur Baja

Terdapat dua konsep analisis struktur baja, yaitu konsep ASD (*Allowable Stress Design*) dan LRDF (*Load and Resistance Factor Design*). Konsep ASD merupakan perencanaan berdasarkan tegangan kerja yang mengacu pada perencanaan elastis, dimana semua tegangan yang terjadi dibawah tegangan izin. LRDF merupakan perencanaan berdasarkan beban terfaktor yang memperhitungkan kondisi batas, yaitu kondisi maksimum yang dapat diberikan

suatu penampang yang berada di luar batas elastis (inelastis). Selain itu juga memperhitungkan tegangan ultima baja (f_u).

Pada SNI 1729:2020 tentang spesifikasi untuk bangunan baja struktural, desain struktur baja dengan menggunakan ASD disebut dengan Desain Kekuatan Izin (DKI), sedangkan desain struktur baja dengan menggunakan LRDF diistilahkan sebagai Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBT).

2.4.1 Desain Kekuatan berdasarkan ASD (Allowable Stress Design) atau Desain Kekuatan izin (DKI)

Jika kekuatan izin dari setiap komponen struktur sama atau melebihi kekuatan perlu yang ditentukan berdasarkan kombinasi beban DKI, maka desain pada persamaan 2.1 dapat digunakan. Dimana R_a , Ω , dan R_n/Ω adalah kekuatan perlu berdasarkan kombinasi beban DKI, faktor keamanan dan kekuatan izin.

$$R_a \leq R_n/\Omega \dots\dots\dots (2.1)$$

2.4.2 Desain Kekuatan Berdasarkan LRDF (Load and Resistance Factor Design) atau DFBT (Desain Faktor Beban dan Ketahanan).

Konsep LRDF digunakan dalam spesifikasi di AISC (*American Institute Of Steel*), dimana persyaratan keamanan struktur tertera pada persamaan (2.2). Konsep desain ini memperhitungkan kondisi batas, yang merupakan kondisi maksimum yang dapat diberikan suatu penampang yang berada di luar batas elastis (inelastis). Pada perencanaan ini, tegangan utama baja (f_u) diperhitungkan dalam analisis

$$\sum \gamma_i \cdot Q_i \leq \phi R_n \dots\dots\dots (2.2)$$

Bagian sebelah kiri persamaan disebut dengan beban yang harus dipikul oleh stuktur Q_i , dimana besarnya harus dikalikan dengan faktor beban γ_i . Bagian

sebelah kanan mempresentasikan tahanan atau kuat rencana dari suatu struktur, yang diperoleh dari kuat nominal R_n yang dikalikan dengan suatu faktor reduksi ϕ .

Desain dirancang berdasarkan persamaan 2.2 dimana R_u merupakan kekuatan perlu yang menggunakan kombinasi beban DFBS seperti pada persamaan sebelah kiri. R_n , ϕ , dan ϕR_n adalah kekuatan nominal, faktor ketahanan dan kekuatan desain struktur.

$$R_u \leq \phi R_n \dots\dots\dots (2.3)$$

Perbedaan mendasar antar ASD dan LRDF adalah pada faktor ASD, dimana kekuatannya menggunakan kekuatan izin atau faktor keamanan Ω . Pada LRDF, beban yang digunakan adalah beban ultima, dimana beban yang berkerja dikalikan dengan faktor beban sehingga menghasilkan beban yang lebih besar dari beban yang diterima struktur. Selain faktor beban, pada LRDF juga menggunakan faktor ketahanan ϕ yang besarnya ditentukan oleh jenis gaya yang bekerja, apakah batang mengalami gaya tarik, tekan atau gesar.

2.5 Defenisi Beban

Beban merupakan gaya luar yang bekerja pada suatu komponen struktur. Pembebanan ini merupakan salah satu faktor penentu perencanaan struktur, dimana apabila beban yang ada melebihi beban yang direncanakan akan berakibat fatal pada bangunan. Sebagai contoh adalah kasus runtuhnya Jembatan Air Lingsing di Desa Tanjung Aur, Kikim Tengah, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan (Dewobroto, 2016). Jembatan rangka dengan bentang 50 meter tersebut runtuh akibat kelebihan beban, dimana kapasitas jembatan sebesar ± 125 ton tetapi dilewati kendaraan dengan beban 200 ton secara bersamaan.

Besar beban yang bekerja pada suatu struktur diatur oleh peraturan pembebanan yang berlaku, sedangkan masalah kombinasi dari beban-beban yang bekerja telah diatur dalam SNI 03-1729-2002. Ada beberapa jenis beban, yaitu:

2.5.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, *cladding* gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat beban. Selain itu, juga harus diperhatikan berat peralatan layan tetap yang digunakan dalam bangunan gedung serta plambing, mekanikal elektirkal, dan alat pemanas, ventilasi, dan sistem pengondisian udara.

Beban mati diperoleh dengan memperhitungkan berat sendiri dari material yang dipakai, diantaranya adanya adalah berat isi betan, berat isi baja, berat atap, dan sebagainya. Seorang *engineer* yang berpengalaman akan dapat mengestimasi beban maupun dimensi profil pada struktur dengan lebih mendekati kenyataan sehingga dapat menghemat waktu untuk membuat perulangan desain karena estimasi yang kurang baik (McCormac & Csernak, 2012). Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung diperlihatkan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 3. Beban Sendiri Bahan Bangunan Dan Komponen Gedung (*PPURG 1987*)

Bahan Bangunan	Berat	Satuan
Baja	7850	kg/m ³
Beton	2200	kg/m ³
Beton Bertulang	2400	kg/m ³
Kayu (kela I)	1000	kg/m ³

Pasir (Kering Udara)	1600	kg/m ³
Komponen Gedung		
Spesi dari semen, per cm tebal	21	Kg/m ²
Dinding bata merah ½ batu	250	Kg/m ²
Penutup atap genting	50	Kg/m ²
Penutup lantai ubin semen per cm tebal	24	Kg/m ²

2.5.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Beban hidup tersebut merupakan beban maksimum yang terjadi akibat penggunaan bangunan gedung, di mana nilainya tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang telah ditetapkan pada Tabel 4-1 SNI 1727:2013.

Tabel 4. Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, L_0 , dan Beban Hidup Terpusat Minimum (PPURG 1987)

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat (Ib kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
Ruang kantor	50 (2.4)	2000 (8.9)
Ruang komputer	100 (4.79)	2000 (8.9)
Gedung persenataan dan ruang latihan	150 (7.18)a	
Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat di lantai)	100 (4.79)a	
Lobi	100 (4.79)a	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4.79)a	
Panggung pertemuan	100 (4.79)a	
Lantai podium	150 (7.18)a	
Balkon dan dek	1.5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4.79)	

	kN/m ²)	
Jalur akses pemeliharaan	40 (1.92)	300 (1.33)
Koridor	100 (4.79) Sama seperti	
Lantai pertama	Pelayanan hunian kecuali	
Lantai lain	disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4.79) ^a	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Hunian mesin elevator (pada daerah 2 in x 2 in. (50m x 50m)		300 (1.33)
Dst		

Berdasarkan SNI tersebut dapat diketahui bahwa bebanhidup terdistribusi merata minimum dan beban hidup terpusat minimum nilai berbeda-beda untuk setiap fungsi lantai maupun bangunan, diantaranya untuk lantai akses ruang kantor, ruang komputer, tangga permanen, garasi, sekolah (ruang kelas, koridor lantai pertama, koridor di atas lantai pertama), dan sebagainya. Untuk beberapa kondisi kecuali beban hidup merata pada atap, semua beban hidup terdistribusi merata minimum lainnya, L_0 , dapat dikurangi sesuai ketentuan yang ada di SNI 1727:2013 pasal 4.7.2 sampai dengan pasal 4.7.6.

2.5.3 Beban Angin

Beban angin adalah beban yang bekerja pada struktur akibat tekanan-tekanan dari gerakan angin. Beban angin sangat tergantung dari lokasi dan ketinggian dari struktur. Besarnya tekanan tiup harus diambil minimum diambil sebesar 25 kg/m², kecuali untuk bangunan-bangunan berikut:

- a. Tekanan tiup di tepi laut hingga 5 km dari pantai harus diambil minimum 4 kg/m²
- b. Untuk bangunan didaerah lain yang kemungkinan tekanan tiupnya lebih dari 40 kg/m², harus diambil sebesar $p = V^2 / 16$ (kg/m²) dengan V adalah kecepatan angin dalam m/s.

- c. Untuk cerobong, tekanan tiup dalam kg/m^2 ditentukan dengan rumus $(42,5 + 0,6h)$, dengan h adalah tinggi cerobong seluruhnya dalam meter.

Nilai tekanan tiup yang diperoleh dari hitungan diatas harus dikalikan dengan suatu koefisien angin, untuk mendapatkan gaya resultan yang bekerja pada bidang kontak tersebut.

2.5.4 Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada stuktur akibat adanya pergerakan tanah oleh gempa bumi, baik pergerakan arah vertikal maupun horizontal. Namun pada umumnya percepatan arah tanah horizontal lebih besar daripada arah vertikalnya. Sehingga pengaruh gempa horizontal jauh lebih menentukan daripada gempa vertikal. Besarnya gaya geser dasar (statik ekuivalen) ditentukan berdasarkan persamaan $V = \frac{C \times I}{R} Wt$, dengan C adalah faktor respon gempa yang ditentukan berdasarkan lokasi bangunan dan jenis tanahnya. I adalah faktor keutamaan gedung. R adalah faktor reduksi gempa yang tergantung pada jenis struktur yang bersangkutan, sedangkan wt adalah berat total bangunan termasuk beban hidup yang bersesuaian.

2.6 Kombinasi Beban

Bangunan gedung dan struktur lainnya harus dirancang menggunakan ketentuan SNI 1727:2013 pada Pasal 2.3 atau 2.4. Bila elemen struktur dirancang berdasarkan material standar atau spesifikasi tertentu, harus dirancang secara khusus menurut Pasal 2.3 atau Pasal 2.4 SNI 1727:2013.

2.6.1 Kombinasi Beban Terfaktor Yang Digunakan Dalam Metode Desain Kekuatan Berdasarkan SNI 1727-2013

Kombinasi beban dan faktor beban hanya digunakan pada kasus-kasus dimana kombinasi pembebanan dan beban terfaktor tersebut secara spesifik diatur oleh standar perencanaan yang sesuai. Struktur, komponen, dan fondasi harus dirancang sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi efek dari beban terfaktor dalam kombinasi berikut:

- a. $1,4D$
- b. $1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- c. $1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
- d. $1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- e. $1,2D + 1,0E + L + 0,2S$
- f. $0,9D + 1,0W$
- g. $0,9D + 1,0E$

Ada beberapa pengecualian yaitu:

- 1). Faktor beban pada L dalam kombinasi 3, 4, dan 5 diizinkan sebesar 0,5 untuk semua tingkat hunian bila L_o pada Tabel 4-1 kurang dari atau sama dengan 100 psf (4,79 kN/m²), dengan pengecualian daerah garasi atau luasan yang ditempati merupakan tempat pertemuan umum.
- 2). Dalam kombinasi 2, 4, dan 5, beban pendamping S harus diambil sebagai salah satu beban atap rata bersalju (pf) atau beban atap miring bersalju (ps).
- 3). Bila efek H menambah variabel utama efek beban, termasuk H dengan faktor beban sebesar 1,6.

- 4). Bila efek H menahan variabel utama efek beban, termasuk H dengan faktor beban sebesar 0,9 di mana beban adalah tetap atau faktor beban dari 0 untuk semua kondisi lain.

2.6.2 Kombinasi Beban Nominal Yang Menggunakan Desain Tegangan Izin Berdasarkan SNI 1727-2013

Beban yang tercantum di sini harus dianggap bekerja dalam kombinasi berikut; mana saja yang menghasilkan efek yang paling tidak baik di dalam bangunan gedung, fondasi, atau komponen struktural yang diperhitungkan. Efek dari satu atau lebih beban yang tidak bekerja harus dipertimbangkan.

- a. D
- b. D + L
- c. D + (Lr atau S atau R)
- d. D + 0,75L + 0,75 (Lr atau S atau R)
- e. D + (0,6W atau 0,7E)
- f. D + 0,75L + 0,75 (0,6W) + 0,75 (Lr atau S atau R)
- g. D + 0,75L + 0,75 (0,7E) + 0,75S
- h. 0,6D + 0,6W
- i. 0,6D + 0,7E

Ada beberapa pengecualian yaitu:

- 1). Pada kombinasi 4 dan 6, beban pendamping S harus diambil sebagai salah satu bebanatap rata bersalju (pf) atau beban atap miring bersalju (ps).
- 2). Untuk struktur non bangunan, di mana beban angin ditentukan dari koefisien gaya, Cf, diidentifikasi dalam Gambar 29.5-1, 29.5-2 dan

29.5-3 dan area terproyeksi memberikan kontribusi gaya angin untuk elemen fondasi melebihi 1000 feet persegi di kedua bidang vertikal atau horizontal, harus diizinkan untuk mengganti W dengan $0,9W$ dalam kombinasi 7 untuk desain fondasi, tidak termasuk ankur struktur ke fondasi.

- 3). Diizinkan untuk mengganti $0,6D$ dengan $0,9D$ dalam kombinasi 8 untuk desain dari Dinding Geser Masonry Bertulang Khusus, di mana dinding memenuhi persyaratan dari Pasal 14.4.2 ASCE/SEI 7-10 (Lihat SNI 1726).

Dimana beban H disajikan, harus dimasukkan sebagai berikut:

- 4). Bila efek dari H ditambahkan pada efek beban variabel utama, termasuk H dengan suatu faktor beban 1,0.
- 5). Bila efek dari H menahan efek beban variabel utama, termasuk H dengan suatu faktor beban 0,6 di mana beban tetap atau suatu faktor beban 0 untuk semua kondisi lain.

2.6.3 Kombinasi Beban Untuk Kejadian Luar Biasa Berdasarkan SNI 1727-2013

Apabila disyaratkan oleh peraturan, standar, atau pihak yang berwenang, kekuatan dan kestabilan harus diperiksa untuk menjamin bahwa struktur mampu menahan efek kejadian luar biasa (berpeluang rendah) seperti kebakaran, ledakan, dan dampak dari kendaraan tanpa menimbulkan keruntuhan yang tidak proporsional. Untuk memeriksa kapasitas suatu struktur atau elemen struktural untuk menahan efek dari suatu kejadian luar biasa, kombinasi beban gravitasi berikut harus diperhitungkan:

$$(0,9 \text{ atau } 1,2)D + Ak + 0,5L + 0,2S \dots\dots\dots (2.4)$$

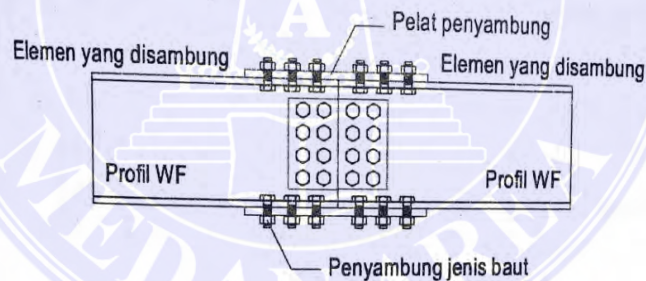
di mana :

Ak = beban atau efek bebanyang dihasilkan dari kejadian luar biasa A.

2.7 Sambungan Baut

Dalam konstruksi baja, setiap elemen strukturnya dihubungkan satu sama lain dengan menggunakan alat pengikat/penyambung. Pada struktur rangka (struktur jembatan, struktur portal), tempat berkumpulnya batang-batang (titik buhul) menggunakan pelat penyambung (pelat buhul). Dalam suatu sambungan, secara garis besar terdapat 3 bagian, yaitu:

1. Elemen yang disambung.
2. Jenis penyambung (baut, las, dan lain-lain).
3. Pelat penyambung.



Gambar 3. Sistem Sambungan (Eva Arivi, Desy Setyowula, 2020)

2.7.1 Jenis-Jenis Sambungan Baut

- a. Sejajar (dalam bidang/sebidang)

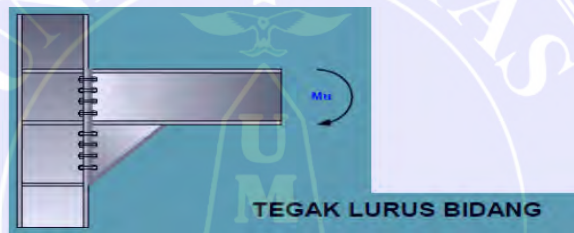
Pembebanan yang gaya dan momen lentur rencananya berada dalam bidang sambungan sedemikian rupa sehingga gaya yang ditimbulkan dalam komponen sambungan hanya gaya geser.



Gambar 4. Sambungan Sejajar (Junaidawally, 2013)

b. Tegak lurus (luar bidang/tak sebidang)

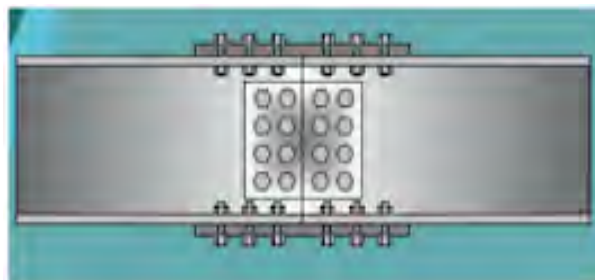
Pembebanan yang gaya atau momen lentur rencananya menghasilkan gaya yang arahnya tegak lurus bidang sambungan sehingga gaya yang ditimbulkan dalam komponen sambungan adalah gaya tarik.



Gambar 5. Sambungan Tegak Lurus (Junaidawally, 2013)

c. Kombinasi sejajar-tegak lurus

Pembebanan yang gaya atau momen lentur rencananya menghasilkan gaya yang arahnya sejajar dan tegak lurus bidang sambungan sehingga gaya yang ditimbulkan dalam komponen sambungan adalah kombinasi gaya geser dan tarik.



Gambar 6. Sambungan Kombinasi Sejajar-Tegak Lurus (Junaidawally, 2013)

Adapun berdasarkan tipe sambungan terhadap kemampuan menahan momen, terdapat beberapa macam sambungan, meliputi sambungan sederhana (*simple connection*), sambungan menahan momen sebagian (*partially-restrained moment connection*), dan sambungan menahan momen penuh (*fully restrained moment connection*).

2.7.2 Ukuran Dan Lubang Baut

Pada SNI 1729:2020 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Baja Struktural yang mengacu pada AISC 2016, material baut yang tercantum adalah baut yang sesuai dengan standar American Standard for Testing and Materials (ASTM). Beberapa jenis baut yang tercantum pada SNI 1729:2020, adalah baut ASTM A307, ASTM A354, ASTM A449, ASTM F3043, ASTM F3111, ASTM F3125/F3125M. Di sini ASTM F3125 adalah standar payung Yang sesuai dengan Grade A325, A325M, A490, A490M, F18952 dan F2280 yang sebelumnya terpisah.

Secara garis besar terdapat 2 mutu baut, yaitu:

- a. Baut biasa (misal: A307), terbuat dari baja karbon rendah.
- b. Baut mutu tinggi (misal: A325 dan A490).

Tabel 5. Pratarik Baut Minimum (kN) (SNI 1729:2020 (Tabel J3.1M), Badan Standardisasi Nasional, 2020)

Ukuran Baut, mm	Kelompok A (misal, Baut A325M)	Kelompok B (misal, Baut A490M)
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595

[a] Sama dengan 0,70 dikalikan kekuatan tarik minimum baut, dibulatkan ke satuan kN terdekat, seperti dispesifikasikan ASTM F3125/F3125M untuk baut Grade A325M.

Tabel 6. Kekuatan Nominal Pengencang dan Bagian Berulir, ksi (MPa) (SNI 1729:2020 (Tabel J3.2), Badan Standardisasi Nasional, 2020)

Deskripsi Pengencang	Kekuatan Tarik Nominal, Fnt, ksi (MPa)[a]	Kekuatan Geser Nominal pada Sambungan Tipe Tumpu, Fnv, ksi (MPa)[b]
Baut A307	45 (310) [c]	27 (186) [c][d]
Baut kelompok A (misal, A325), apabila ulir ada di bidang geser	90 (620)	54 (372)
Baut kelompok A (misal, A325), apabila ulir di luar bidang geser	90 (620)	68 (469)
Baut kelompok B (misal, A490), bila ulir ada di bidang geser	113 (780)	68 (469)
Baut kelompok B (misal, A490), apabila ulir di luar bidang geser	113 (780)	84 (579)
Rakitan baut group C (misal, F3043), apabila ulir dan daerah transisi batang baut ada di bidang geser	150 (1.040)	90 (620)
Rakitan baut group C (misal, F3043), apabila ulir dan daerah transisi batang baut di luar bidang geser	150 (1.040)	113 (779)
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan Pasal A3.4, apabila ulir ada di bidang geser	0,75 Fu	0,450 Fu
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan Pasal A3.4, apabila ulir di luar bidang geser	0,75 Fu	0,563 Fu

[a] Untuk baut kekuatantinggi yang memikul beban fatik tarik, lihat Lampiran 3

[b] Untuk ujung sambungan yang dibebani dengan panjang pola pengencang lebih besar dari 38 in. (950 mm), Fnv harus direduksi sampai 83,3% dari nilai pada tabel. Panjang pola pengencang merupakan jarak maksimum sejajar dengan garis gaya antara sumbu baut yang menyambungkan dua bagian dengan satu permukaan faying.

Tabel 7. Dimensi Lubang Nominal, in. (SNI 1729:2020 (Tabel J3.3), Badan Standardisasi Nasional, 2020)

Diameter Baut	Dimensi Lubang			
	Standar (Diameter)	Ukuran Berlebih (Diameter)	Slot Pendek (Lebar x Panjang)	Slot Panjang (Lebar x Panjang)
1/2	9/16	5/8	5/8	9/16 x 1 1/4
5/8	11/16	13/16	13/16	11/16 x 1 9/16
3/4	13/16	15/16	15/16	13/16 x 1 7/8
7/8	15/16	1 1/16	1 1/16	15/16 x 2 3/16
1	1 1/8	1 1/4	1 1/4	1 1/8 x 2 1/2
$\geq 1 1/8$	$d + 1/8$	$d + 5/16$	$d + 5/16$	$(d + 1/8) \times (2,5d)$

Tabel 8. Dimensi Lubang Nominal, mm (SNI 1729:2020 (Tabel J3.3), Badan Standardisasi Nasional, 2020)

Diameter Baut	Dimensi Lubang			
	Standar (Diameter)	Ukuran Berlebih (Diameter)	Standar (Diameter)	Slot Panjang (Lebar x Panjang)
M16	18	20	18 x 22	18 x 40
M20	22	24	22 x 26	22 x 50
M22	24	28	24 x 30	24 x 55
M24	27[a]	30	27 x 32	27 x 60
M27	30	35	30 x 37	30 x 67
M30	33	38	33 x 40	33 x 75
$\geq M36$	$d + 3$	$d + 8$	$(d + 3) \times (d + 10)$	$(d + 3) \times 2,5d$

[a] Diameter lubang ini memungkinkan penggunaan baut diameter 1 in.

2.7.3 Jarak Baut

a. Spasi minimum

Jarak antarpusat lubang baut (s) minimum adalah $s \geq 2,67 d$, dan direkomendasikan $s \simeq 3 d$. Jarak bersih antarbaut atau slot $s \geq d$.

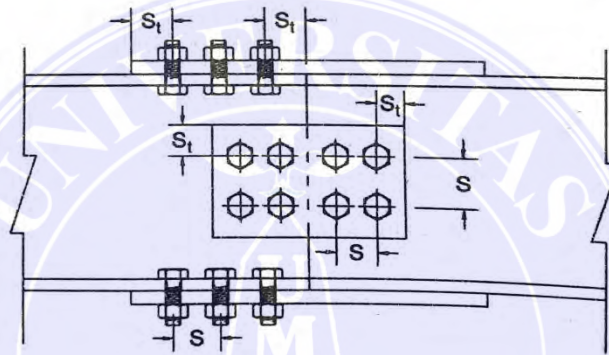
b. Jarak tepi minimum

Jarak baut ke tepi sambungan di arah gaya adalah tidak boleh kurang yang ditunjukkan oleh Tabel 2.6 dan Tabel 2.7.

2.7.4 Spasi Maksimum Dan Jarak Tepi

Jarak maksimum dari pusat baut ke tepi sambungan $s - 12 t$ pelat yang disambung, tetapi harus ≤ 150 mm (6in). Untuk spasi maksimum, maka:

- Untuk komponen struktur yang dicat atau tidak dicat yang tidak mengalami korosi, $s < 24 t$ pelat tertipis atau 300 mm (12 in).
- Untuk komponen struktur yang tidak dicat yang terhubung dengan cuaca yang mengalami korosi, $s \leq 14 t$ pelat tertipis atau 180 mm (7 in).



Gambar 8. Jarak dan Spasi Baut (Eva Arivi, Desy Setyowula, 2020)

Tabel 9. Jarak Tepi Minimum [a] dari Pusat Lubang Standar[b] ke Tepi Bagian yang Disambung, in. (SNI 1729:2020 (Tabel J3.4), Badan Standardisasi Nasional, 2020)

Diameter Baut (in.)	Jarak Tepi Minimum
1/2	3/4
5/8	7/8
3/4	1
7/8	1 1/8
1	1 1/4
1 1/8	1 1/2
1 1/4	1 5/8
Di atas 1 1/4	1 1/4d

[a]Jika diperlukan, jarak tepi terkecil diperbolehkan asalkan ketentuan yang sesuai dari Pasal J3.10 dan J4 dipenuhi, tetapi jarak tepi yang kurang dari satu diameter baut tidak diperbolehkan tanpa persetujuan dari penanggungjawab perancangan. [b]Untuk lubang ukuran berlebih atau lubang slot, lihat Tabel J3.5.

Tabel 10. Jarak Tepi Minimum [a] dari Pusat Lubang Standar[b] ke Tepi Bagian yang Disambung, mm (SNI 1729:2020 (Tabel J3.3M), Badan Standardisasi Nasional, 2020)

Diameter Baut (mm)	Jarak Tepi Minimum
16	22
20	26
22	28
24	30
27	34
30	38
36	46
Di atas 36	1,25d

[a]Jika diperlukan, jarak tepi terkecil diperbolehkan asalkan ketentuan yang sesuai dari Pasal J3.10 dan J4 dipenuhi, tetapi jarak tepi yang kurang dari satu diameter baut tidak diperbolehkan tanpa persetujuan dari penanggungjawab perancangan.

[b]Untuk lubang ukuran berlebih atau lubang slot, lihat Tabel J3.5M.

2.7.5 Tipe Sambungan

a. Sambungan Tipe Tumpu

Sambungan tipe tumpu adalah sambungan yang dibuat dengan menggunakan baut yang dikencangkan dengan tangan, atau baut mutu tinggi yang dikencangkan untuk menimbulkan gaya tarik minimum yang disyaratkan, yang kuat rencananya disalurkan oleh gaya geser pada baut dan tumpuan pada bagian-bagian yang disambung. Kerusakan dapat terjadi pada baut, atau pun pada pelat penyambung.

b. Sambungan Slip Kritis

Sambungan slip kritis adalah sambungan yang dibuat dengan menggunakan baut mutu tinggi yang dikencangkan untuk menimbulkan tarikan baut minimum yang disyaratkan sedemikian rupa sehingga gaya-gaya geser rencana disalurkan melalui jepitan yang bekerja dalam bidang kontak dan gesekan yang ditimbulkan antara bidang-bidang kontak.

2.7.6 Kekuatan Baut

Berdasarkan SNI 1729:2020, suatu baut yang memikul gaya terfaktor harus memenuhi syarat berikut:

$$R_u \leq \phi \cdot R_n \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan:

R_u = Gaya terfaktor yang terjadi pada baut (N)

ϕ = Faktor ketahanan baut, berbeda untuk setiap kasus

R_n = Kekuatan nominal baut (N)

Menurut SNI 1729:2020, terdapat beberapa jenis kekuatan nominaj baut, tergantung pada jenis gaya yang bekerja (geser dan tarik) dan tipe sambungan yang digunakan (tipe tumpu dan slip kitis).

a. Kekuatan Geser Baut

Kekuatan nominal satu buah baut yang memikul gaya geser memenuhi persamaan:

$$R_n = F_{nv} \cdot A_b \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan:

R_n = Kekuatan nominal baut (N)

F_{nv} = Tegangan geser nominal baut (MPa)

Diambil dari Diambil dari Tabel 2.3 (Tabel J3.2 SNI 1729:2020)

A_b = Luas bruto penampang baut (mm²)

ϕ = Faktor ketahanan baut, besarnya 0,75

b. Kekuatan Tarik Baut

Baut yang memikul gaya tarik kekuatan nominalnya dihitung menurut:

$$R_n = F_{nt} \cdot A_b \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan:

$R_n =$ Kekuatan nominal baut (N)

$f_{nt} =$ Tegangan tarik nominal baut (MPa)

Diambil dari Tabel J.3.2

$A_p =$ Luas bruto penampang baut (mm^2)

$\phi =$ Faktor ketahanan baut, besarnya 0,75

c. Kekuatan Tumpu dan Sobek Lubang Baut

Tahanan tumpu nominal tergantung kondisi yang terlemah dari baut atau komponen pelat yang disambung. Kekuatan sambungan yang tersedia harus ditentukan terhadap kekuatan batas tumpu dan sobek.

- 1). Untuk baut pada sambungan dengan lubang standar, ukuran berlebih dan slot pendek, tidak tergantung dari arah beban, atau lubang slot panjang dengan slot paralel terhadap arah gaya tumpu:

a). Tumpu:

Apabila deformasi di lubang baut pada beban layan adalah tinjauan desain:

$$R_n = 2,4 d t F_u \dots\dots\dots (2.10)$$

Apabila deformasi di lubang baut pada beban layan adalah bukan merupakan tinjauan desain:

$$R_n = 3,0 d t F_u \dots\dots\dots (2.11)$$

b). Sobek:

Apabila deformasi di lubang baut pada beban layan adalah tinjauan desain:

$$R_n = 1,2 l_c t F_u \dots\dots\dots (2.12)$$

Apabila deformasi di lubang baut pada beban layan adalah bukan tinjauan desain:

$$R_n = 1,5 l_c t F_u \dots\dots\dots (2.13)$$

2). Untuk baut pada sambungan dengan lubang slot panjang dan slot tersebut tegak lurus terhadap arah gaya:

a). Tumpu:

$$R_n = 2,0 d t F_u \dots\dots\dots (2.14)$$

μ = koefisien slip rata-rata untuk permukaan kelas A atau B, yang sesuai,

$\mu = 0,30$ untuk permukaan kelas A (permukaan baja mill scale bersih tanpa dicat atau permukaan dengan pelapis Kelas A pada baja blast-cleaned atau digalvanisasi dan permukaan dikasarkan),

$\mu = 0,50$ untuk permukaan kelas B (permukaan baja *blast-cleaned* tanpa dicat atau permukaan dengan pelapis kelas B pada baja *blast-cleaned*),

$D_u = 1,13$,

T_b = Gaya tarik minimum alat penyambung dari Tabel J3.1 (kN),

h_f = faktor pengisi,

$h_f = 1,00$ untuk satu pengisi antara bagian-bagian yang disambung,

$h_f = 0,85$ untuk dua atau lebih pengisi antara bagian-bagian yang disambung,

n_s = jumlah bidang slip yang diperlukan untuk mengizinkan sambungan dengan slip,

ϕ = Faktor ketahanan baut, besarnya diatur sebagai berikut:

$\phi = 100$, untuk lubang ukuran standar dan lubang slot pendek yang tegak lurus terhadap arah beban,

$\phi = 0,685$, untuk lubang ukuran berlebih dan lubang slot-pendek yang parallel terhadap arah beban,

$\phi = 0,7$, untuk slot panjang.

b). Sobek:

$$R_n = 1,0 l_c t F_u \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan:

F_u = kekuatan tarik minimum material yang disambung (MPa)

d = diameter baut nominal (mm)

l_c = jarak bersih antarbaut atau tepi sambungan, dalam arah gaya (mm)

t = tebal material yang disambung (mm)

ϕ = faktor ketahanan baut, besarnya 0,75

d. Baut Kekuatan Tinggi dalam Sambungan Slip Kritis

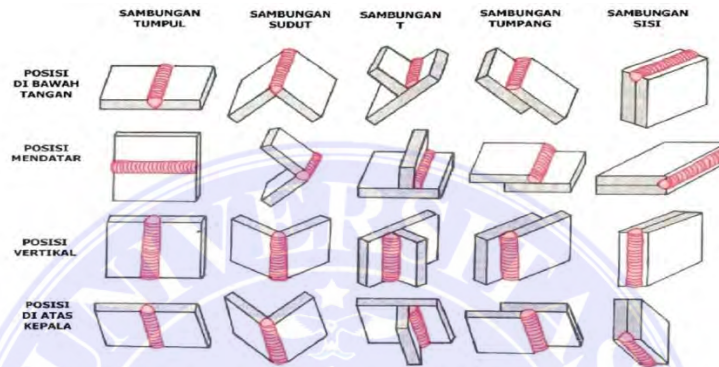
Sambungan slip kritis harus dirancang untuk mencegah slip dan untuk keadaan batas dari sambungan tipe tumpu. Bila baut-baut slip kritis melewati pengisi, semua permukaan yang menahan slip harus dipersiapkan untuk mencapai ketahanan slip desain. Ketahanan slip yang tersedia untuk keadaan batas dari slip harus ditentukan sebagai berikut:

$$R_n - U D_u \cdot h_r T_b \cdot N_s \dots\dots\dots (2.16)$$

2.8 Sambungan Las

2.8.1 Jenis-Jenis Sambungan Las

Terdapat lima jenis sambungan las, yaitu sambungan sebidang (but joint), sambungan sudut (corner joint), sambungan lewatan (lap joint), sambungan tegak (tee joint), dan sambungan sisi (edge joint).



Gambar 7. Jenis-jenis Sambungan Las

2.8.2 Lubang Akses Las

Semua lubang-lubang akses las yang diperlukan untuk memfasilitasi pelaksanaan pengelasan harus didetail untuk memberi ruang untuk las pendukung seperti yang diperlukan, Lubang akses harus memiliki suatu panjang dari tumitnya dari persiapan las tidak kurang dari $1 \frac{1}{2}$ dikalikan ketebalan material di lubang yang dibuat, juga tidak kurang dari $1 \frac{1}{2}$ in (38 mm), Lubang akses harus memiliki suatu tinggi tidak kurang dari ketebalan material dengan lubang akses, juga tidak kurang dari 44 in (19 mm), tetapi tidak perlu melebihi 2 in (50 mm).

Untuk profil yang di gilas atau di las sebelum pemotongan, tepi dari badan harus dimiringkan atau dilengkungkan dari permukaan sayap ke permukaan *reentrant* dari lubang akses tersebut. Pada profil canai-panas, dan profil tersusun dengan laslas tumpul PJJ yang menghubungkan sayap-ke-badan, lubang akses las harus bebas dari takik dan *reentrant*. Lengkungan dari lubang akses las harus

memiliki suatu jari-jari lebih dari 3/8 in (10 mm). Pada profil tersusun dengan las sudut atau las tumpul penetrasi-joint-sebagian yang menghubungkan sayap-ke-badan, lubang-lubang akses las harus bebas dari takik dan reentrant. Lubang akses harus diizinkan untuk berhenti tegak lurus sayap, menyediakan las yang dihentikan sedikitnya sejarak sama dengan ukuran las sepanjang dari lubang akses.

2.8.3 Las Tumpul (*Groove Welds*)

a. Luas Efektif

Luas efektif dari las tumpul harus diperhitungkan sebagai panjang las dikalikan tenggorokan efektif. Istilah tenggorokan efektif pada SNI 1729-2020 ini dapat diartikan sebagai tebal efektif. Tebal efektif atau tenggorokan efektif dari las tumpul penetrasi-joint sebagian (PJS) harus seperti yang tertera pada Tabel 2.9.

Tabel 11. Tenggorok Efektif pada Las Gruv Penetrasi Joint Parsial (*SNI 1729-2020 (TabelJ2.1), Badan Santardisasi Nasional, 2020*)

Proses pengelasan	Posisi Pengelasan F		Tipe Las gruv (AWS D1.1, Gambar 3.3)	Tenggorok Efektif
	(datar), H (horizontal), V (vertikal), OH (di atas kepala)			
Pengelasan Busur Metal Terselubung (LBMS) Pengelasan Pengelasan Busur Metal Gas (LBMG) Pengelasan Busur Berinti Fluks (LBIF)	Semua		Las gruv J atau U V 60°	Tinggi las gruv
Pengelasan Busur Terendam (LBR)	F		Las gruv J atau U Miring 60° atau V	
Pengelasan Busur Metal Gas (LBMG) Pengelasan Busur	F, H		Miring 45°	Tinggi las gruv

Berinti Fluks (LBIF)			
Pengelasan Busur Metal Terselubung (LBMS)	Semua		
Pengelasan busur Metal Gas (LBMG)		Miring 45°	Tinggi las gruv dikurangi 1/8 in. (3 mm)
Pengelasan Busur Berinti Fluks (LBIF)	V, OH		

Tebal efektif minimum dari las tumpul penetrasi-joint sebagian tidak boleh lebih kecil dari ukuran yang diperlukan untuk menyalurkan gaya yang dihitung atau ukuran yang tertera dalam dalam Tabel 2.9 (Tabel J2.3 SNI 1729:2020). Ukuran las minimum ditentukan oleh ketebalan tertipis dari dua bagian yang tersambung

Tabel 12. Tenggorok Efektif Minimum Las gruv Penetrasi Joint Parsial (SNI 1729-2020 (Tabel J2.1), Badan Santardisasi Nasional, 2020)

Tebal Material pada Bagian yang lebih Tipis yang Disambung, in. (mm)	Tenggorok Efektif Minimum, [a] in. (mm)
Sampai dengan 1/4 (6)	1/8 (3)
Lebih besar dari 1/4 (6) sampai dengan 1/2 (13)	3/16 (5)
Lebih besar dari 1/2 (13) sampai dengan 3/4 (19)	1/4 (6)
Lebih besar dari 3/4 (19) sampai dengan 1 1/2 (38)	5/16 (8)
Lebih besar dari 1 1/2 (38) sampai dengan 2 1/4 (57)	3/8 (10)
Lebih besar dari 2 1/4 (57) sampai dengan 6 (150) Lebih besar dari 6 (150)	1/2 (13)
Sampai dengan 1/4 (6)	5/8 (16)

2.8.4 Las Sudut (*Fillet Welds*)

a. Luas Efektif

Luas efektif las sudut adalah panjang efektif dikalikan dengan tebal efektif atau tenggorokan efektif. Tebal efektif las sudut merupakan jarak terpendek dari akar ke muka las diagramatik. Tebal efektif las sudut

merupakan jarak nominal terkecil dari kemiringan las dengan titik sudut yang terdapat di depannya.

- 1). Jika las sudut mempunyai ukuran kaki yang sama dan diasumsikan sebesar a , maka tebal efektif sebesar $0,707a$.
- 2). Jika las sudut mempunyai ukuran kaki yang tidak sama, maka tebal efektifnya dihitung dengan menggunakan hukum trigonometri.

b. Batasan Las Sudut

Adapun batasan dari las sudut adalah sebagai berikut:

- 1). Ukuran minimum las sudut harus memenuhi persyaratan seperti yang dijelaskan pada Tabel 2.11.

Tabel 13. Ukuran Minimum Las Sudut (SNI 1729-2020 (Tabel J2.1), Badan Santardisasi Nasional, 2020)

Tebal Material Bagian yang Lebih Tipis yang Disambung, in. (mm)	Ukuran Minimum Las file, [a]in. (mm)
Sampai dengan 1/4 (6)	1/8 (3)
Lebih besar dari 1/4 (6) sampai dengan 1/2 (13)	3/16 (5)
Lebih besar dari 1/2 (13) sampai dengan 3/4 (19)	1/4 (6)
Lebih besar dari 3/4 (19)	5/16 (8)

[a] Dimensi kaki las file. Las lapis tunggal harus digunakan. Catatan: Lihat Pasal J2.2b untuk ukuran maksimum las file.

- 2). Ukuran maksimum las sudut pada bagian-bagian yang tersambung harus:
 - a). Sepanjang tepi material dengan tebal kurang dari 6 mm (1/4 in): tidak lebih besar dari tebal material.
 - b). Sepanjang tepi material dengan tebal 6mm (1/4 in) atau lebih: tidak lebih besar dari tebal material dikurangi 2 mm (1/16 in), kecuali las yang secara khusus diperlihatkan pada gambar

pelaksanaan untuk memperoleh tebal tenggorakan penuh. Untuk kondisi las yang sudah jadi, jarak antara tepi logam dasar dan ujung kaki las boleh kurang dari 2mm (1/16 in), asalkan ukuran las secara jelas dapat diverifikasi.

c). Panjang minimum las sudut yang didesain berdasarkan kekuatan tidak boleh kurang dari 4x ukuran las nominal.

d). Panjang efektif las sudut ditentukan sebagai berikut:

a). Untuk las sudut yang dibebani di ujung dengan panjang hingga 100 kali ukuran las, diperbolehkan untuk mengambil panjang efektif sama dengan panjang aktual.

b). Jika panjang las sudut yang dibebani diujung hingga 100 kali ukuran las, panjang efektif harus dihitung dengan mengalikan panjang aktual dengan faktor reduksi β .

$$\beta = 1,2 - 0,002 (l/w) \leq 1,0 \dots\dots\dots (2.33)$$

c). dengan: l = panjang aktual las yang dibebani di ujung (mm)

W = ukuran kaki las (mm)

d). Apabila panjang las melebihi 300 kali ukuran panjang kakj w , panjang efektif harus diambil sebesar $180w$.

2.8.5 Kekuatan Desain Las

Kekuatan desain las, ϕR_n merupakan nilai terendah dari kekuatan material dasar yang ditentukan menurut keadaan batas dari keruntuhan tarik dan

keruntuhan geser dan kekuatan logam las yang ditentukan menurut keadaan batas dari keruntuhan berikut ini:

Untuk logam dasar:

$$R_n = F_{nBM} A_{BM} \dots \dots \dots (2.34)$$

Untuk logam las

$$R_n = F_{nw} A_{we} \dots \dots \dots (2.35)$$

Dengan:

F_{nBM} = tegangan nominal dari logam dasar (MPa)

F_{nw} = tegangan nominal dari logam las (MPa)

A_{BM} = luas penampang logam dasar (mm²)

A_{we} = luas efektif las (mm²)

Kekuatan rencana las kemudian dapat dihitung dengan rumus

$$R_u \leq \phi \cdot R_n \dots \dots \dots (2.36)$$

Nilai ϕ , F_{nBM} dan F_{nw} serta batasan di atas diberikan pada Tabel J2.5 SNI 1729:2020, yang ditampilkan pada Tabel 2.12 berikut ini.

Tabel 14. Kekuatan Tersedia Joint yang Dilas, ksi (MPa) (SNI 1729:2020 (Tabel J2.5), Badan Standardisasi Nasional, 2020)

Tipe Beban dan Arah Relatif terhadap Sumbu Las	Logam yang Bersangkutan	ϕ dan Ω	Tegangan Nominal (F_{nBM} atau F_{nw}) ksi (Mpa)	Luas Efektif (A_{BM} atau A_{we}) in. ² (mm ²)	Tingkat Kekuatan Logam Pengisi Perlu [a][b]
LAS GRUV PENETRASI JOINT KOMPLET					
Tarik – Tegak lurus sumbu las	Kekuatan joint ditentukan oleh logam dasar				Logam pengisi yang sesuai harus digunakan. Untuk joint T dan joint sudut dengan pendukung yang ditinggalkan, diperlukan logam pengisi takik keras. Lihat Pasal J2.6
Tekan–					Logam pengisi

Tegak lurus sumbu las					dengan tingkat kekuatan sama dengan atau satu tingkat kekuatan kurang dari logam pengisi yang sesuai diperbolehkan Logam pengisi dengan tingkat kekuatan yang sama atau kurang dari kekuatan logam pengisi yang sesuai diperbolehkan Logam pengisi yang sesuai harus digunakan.[c]
Tarik atau tekan–Sejajar sumbu las	Tarik atau tekan pada bagian yang tersambung sejajar las tidak perlu diperhitungkan dalam desain las yang menghubungkan bagian-bagian tersebut.				
Geser	Kekuatan joint ditentukan oleh logam dasar				
LAS GRUV PENETRASI JOINT PARTIAL TERMASUK LAS GRUV V FLARE DAN LAS GRUV BEVEL FLARE					
Tarik–Tegak lurus sumbu las	Dasar	$\Phi = 0,75$ $\Omega = 2,00$	F_u		Lihat J4
	Las	$\Phi = 0,80$ $\Omega = 1,88$	$0,60F_{EXX}$		Lihat J2.1a
Tekan–Kolom pada pelat dasar dan splais kolom yang didesain menurut Pasal J1.4(a) Tekan–Sambungan komponen struktur yang didesain untuk memikul selain kolom seperti yang	Tegangan tekan tidak perlu diperhitungkan dalam desain las yang menghubungkan bagian-bagian tersebut.				Lihat J4
		$\Phi = 0,90$ $\Omega = 1,67$	F_y		
	Dasar	$\Phi = 0,80$ $\Omega = 1,88$	$0,60F_{EXX}$		Lihat J2.1a

dijelaskan dalam Pasal J1.4(b)		$\Phi =$		
Tekan–Sambungan tidak menumpu penuh	Dasar	0,90 $\Omega =$ 1,67	F_y	Lihat J4
	Las	0,80 $\Omega =$ 1,88	0,90FEXX	Lihat J2.1a
Tarik atau tekan Sejajar sumbu las	Tarik atau tekan pada bagian-bagian yang dihubungkan sejajar las tidak perlu diperhitungkan dalam desain las yang menghubungkan bagian-bagian tersebut			
	Dasar	Diatur dalam J4		
Geser	Las	$\Phi =$ 0,75 $\Omega =$ 2,00	0,60FEXX	Lihat J2.1a
		LAS FILET TERMASUK FILET PADA LUBANG DAN SLOT SERTA JOINT-T TIDAK SIMETRIS		
	Dasar	Diatur dalam J4		
Geser	Las	$\Phi =$ 0,75 $\Omega =$ 2,00	0,60FEXX	Lihat J2.2a
		Logam pengisi dengan tingkat kekuatan yang sama atau kurang dari kekuatan logam pengisi yang sesuai diperbolehkan		
Tarik atau tekan Sejajar sumbu las	Tarik atau tekan pada bagian-bagian yang dihubungkan sejajar las tidak perlu diperhitungkan dalam desain las yang menghubungkan bagian-bagian tersebut			
LAS SUMBAT DAN LAS SLOT				
	Dasar	Distu oleh J4		
Geser Sejajar permukaan faying pada daerah efektif	Las	$\Phi =$ 0,75 $\Omega =$ 2,00	0,60FEXX	Lihat J2.3a
		Logam pengisi dengan tingkat kekuatan yang sama atau kurang dari kekuatan logam pengisi yang sesuai diperbolehkan		
[a] Untuk logam las yang sesuai, lihat Pasal 3.3 AWS D1.1/D1.1M.				
[b] Logam pengisi dengan tingkat kekuatan satu tingkat kekuatan yang lebih besar dari yang sesuai adalah diperbolehkan.				
[c] Logam pengisi dengan tingkat kekuatan kurang dari yang sesuai diperbolehkan untuk digunakan untuk las gruv antara badan dan sayap profil tersusun yang menyalurkan beban geser, atau pada aplikasi dengan pengekangan besar. Pada aplikasi ini, joint las harus didetail dan las tersebut harus didesain dengan menggunakan tebal material sebagai tenggorok efektif, dengan $\Phi = 0,80$, $\Omega = 1,88$ dan 0,60FEXX sebagai kekuatan nominal.				

Untuk kelompok las linear dengan suatu ukuran kaki yang seragam, dibebani melalui titik berat

$$\phi = 0,75$$

$$R_n = F_{nw} A_{we} \dots\dots\dots(2.37)$$

$$F_{nw} = 0,6 F_{EXX} (1,0 + 0,5 \sin^{1,5} \Theta)$$

F_{EXX} = Kekuatan klasifikasi logam pengisi, ksi (MPa)

Θ = sudut pembebanan yang diukur dari sumbu longitudinal las, derajat

2.9 Elemen Balok Dan Kolom

2.9.1 Kombinasi Lentur Dan Aksial (Tekan Dan Tarik)

- a. Komponen Struktur Simetris Ganda dan Tunggal yang Memikul Lentur dan Tekan (H1)

Terdapat batasan yang harus diperhatikan, yaitu sebagai berikut:

1). Jika $\frac{Pr}{Pc} \geq 0,2$ maka

$$\frac{Pr}{Pc} + \frac{8}{9} \left(\frac{Mrx}{M_{cx}} + \frac{Mry}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (2.38)$$

2). Jika $\frac{Pr}{Pc} < 0,2$ maka

$$\frac{Pr}{2Pc} + \left(\frac{Mrx}{M_{cx}} + \frac{Mry}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (2.39)$$

Di mana:

Pr = kuat aksial perlu elemen struktur dengan menggunakan kombinasi beban DFBT atau DKI (kips atau N).

Pc = kuat rencana elemen struktur dalam kondisi tarik atau tekan (kips atau N).

Mr = kuat lentur perlu elemen struktur dengan menggunakan kombinasi beban DFBT atau DKI (kipin atau Nmm).

M_c = kuat lentur yang tersedia (kip-in atau Nmm).

x = simbol untuk momen lentur pada sumbu kuat penampang.

y = simbol untuk momen lentur pada sumbu kuat penampang.

Untuk desain sesuai dengan DFBS, maka dapat ditentukan nilai sebagai berikut:

$P_c = \phi_c P_n$ = kekuatan aksial desain (kips atau N).

$M_c = \phi_b M_n$ = kekuatan lentur desain (kip-in atau N-mm).

Φ_t = faktor ketahanan untuk tarik = 0,90.

Φ_b = faktor ketahanan untuk lentur = 0,90.

Untuk desain sesuai dengan DKI, maka dapat ditentukan nilai sebagai berikut:

$P_c = P_n / \Omega_c$ = kekuatan aksial izin (kips atau N).

$M_c = M_n / \Omega_b$ = kekuatan lentur izin (kip-in atau N-mm).

Ω_c = faktor keamanan untuk tekan = 1,67.

Ω_b = faktor keamanan untuk lentur = 1,67.

b. Komponen Struktur Simetris Ganda dan Tunggal yang Memikul Lentur dan Tarik

Batasan yang harus diperhatikan sama dengan komponen struktur yang memikul lentur dan tekan, yaitu pada Persamaan (2.38) dan (2.8.2).

Untuk desain sesuai dengan DFBS, maka dapat ditentukan nilai sebagai berikut:

$P_c = \phi_t P_n$ = kekuatan aksial desain (kips atau N).

$M_c = \phi_b M_n$ = kekuatan lentur desain (kip-in atau N-mm).

Φ_t = faktor ketahanan untuk tarik.

Φ_b = faktor ketahanan untuk lentur = 0,90.

Untuk desain sesuai dengan DKI, maka dapat ditentukan nilai sebagai berikut:

$P_c = P_n / \Omega_t$ = kekuatan aksial izin (kips atau N).

$M_c = M_n / \Omega_b$ = kekuatan lentur izin (kip-in atau N-mm).

Ω_t = faktor keamanan untuk tarik

Ω_b = faktor keamanan untuk lentur = 1,67

2.9.2 Faktor Pembesaran Momen

Berdasarkan SNI 1729:2020, prosedur pendekatan untuk analisis efek orde kedua pada struktur dilakukan dengan memperbesar kekuatan perlu.

Prosedur perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \dots \dots \dots (2.40)$$

$$P_r = P_{nt} + B_2 P_{lt} \dots \dots \dots (2.41)$$

Di mana:

B_1 = pengali untuk memperhitungkan efek P-8 pada setiap komponen struktur yang memikul tekan dan lentur.

= 1,0 (komponen struktur yang tidak mengalami tekan).

B_2 = pengali untuk memperhitungkan efek P-A pada setiap tingkat struktur dan setiap arah translasi lateral tingkat.

M_{lt} = momen orde pertama dengan menggunakan kombinasi beban DFBT atau DKI akibat translasi lateral struktur (kip-in atau N-mm)

M_{nt} = momen orde pertama dengan menggunakan kombinasi beban DFBT atau DKI pada struktur terkekang terhadap translasi lateral (kip-in atau Nmm).

M_r = kekuatan lentur perlu orde ke dua dengan menggunakan kombinasi beban DFBT atau DKI (kip-in atau N-mm).

P_{lt} = gaya aksial orde pertama dengan menggunakan kombinasi beban DFBT atau DKI akibat translasi lateral struktur (kip-in atau N-mm).

P_{nt} = gaya aksial orde pertama dengan menggunakan kombinasi beban DFBT atau DKI dengan struktur terkekang terhadap translasi lateral (kips atau N).

P_r = kekuatan aksial perlu orde ke dua dengan menggunakan kombinasi beban DFBT atau DKI (kips atau N).

Besarnya koefisien pengali B_1 dan B_2 ditentukan sebagai berikut:

a. Pengali B_1 untuk efek $P-\delta$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - aP_r / P_{e1}} \geq 1 \dots\dots\dots (2.42)$$

$$P_{e1} = \frac{n^2 EI}{(Lc1)^2} \dots\dots\dots (2.43)$$

Dengan $a = 1$ (DFBT), $a = 1,6$ (DKI). P_r dapat dianalisis dengan menggunakan persamaan $P_r = P_{nt} + P_{lt}$, sedangkan C_m adalah faktor momen seragam yang ekuivalen. Penentuannya adalah sebagai berikut:

1). Balok kolom yang tidak memikul beban transversal antara tumpuan dan bidang lentur

$$C_m = 0,6 - 0,4 (M_1/M_2) \dots\dots\dots (2.44)$$

a). M_1/M_2 bernilai positif jika komponen struktur melentur pada kurvatur terbalik, dan negatif jika melentur dengan kurvatur tunggal.

- b). M_1 dan M_2 adalah momen terkecil dan terbesar yang dihitung dari analisis orde pertama, pada ujung bagian komponen struktur tidak dikekang pada bidang lentur.
- 2). Balok kolom yang memikul beban transversal antara tumpuan, maka untuk semua kasus nilai $C_m = 1$.

Di mana:

EI^* = rigiditas lentur yang diperlukan untuk digunakan dalam analisis

($= 0,8\tau bEI$) = EI untuk metode panjang efektif dan metode analisis orde pertama.

$E = 29000$ ksi (200.000 MPa).

$I =$ momen inersia bidang lentur (in^4 atau mm^4).

$L_{c1} =$ panjang efektif bidang lentur, dengan asumsi tidak ada translasi lateral pada ujung komponen struktur

- b. Pengali B^2 untuk efek $P - \Delta$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \alpha \frac{P_{\text{story}}}{P_{e \text{ story}}}} \geq 1 \dots\dots\dots (2.45)$$

Dimana:

$$\alpha = 1,0 \text{ (DFBT)}, \alpha = 1,6 \text{ (DKI)}$$

$P_{\text{story}} =$ beban vertikal total yang dipikul oleh tingkat tersebut, termasuk beban kolom (kips atau N).

$P_{e \text{ story}} =$ kekakuan tekuk kritis elastis untuk tingkat tersebut dalam arah translasi yang ditinjau (kips atau N).

$$R_m = 1 - 0,15 (P_{mf}/P_{\text{story}}) \text{ (2.46)}$$

$P_{mf} =$ beban vertikal total kolom-kolom di tingkat tersebut sebagai bagian rangka momen.

ΔH = drift antartingkat orde pertama dalam arah translasi yang sedang ditinjau akibat gaya lateral (in atau mm).

H = geser tingkat total dalam arah translasi yang ditinjau akibat gaya lateral.

L = tinggi tingkat (in atau mm).



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 11 April 2023 sampai pada tanggal 11 November 2023 yang berlokasi di Desa Nehas Liah Bing, Kec. Muara Wahau, Kab. Kutai Timur, Kalimantan Timur pada Proyek Pembangunan PMKS PT. Kutai Sawit Mandiri.



Gambar 10. Lokasi Penelitian (*Google Maps*)

3.2 Tahap Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan penelitian antara lain:

1. Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data atau informasi haruslah yang relevan karena akan sangat berpengaruh pada penelitian nantinya. Pengumpulan Data dibagi menjadi dua yaitu Data Primer dan Data Sekunder. Data Primer yang

dimaksud adalah Data Hasil Analisis Menggunakan Metode LRDF (*Load and Resistance Factor Design*) dan Data Sekunder yang dimaksud adalah Gambar Struktur Bangunan dan Data Struktur Bangunan. Pastikan untuk menjaga kerahasiaan dan privasi data jika diperlukan.

2. Input Data Pembebanan Ke Dalam Program Sap 2000

Setelah pengumpulan data selesai dilakukan, maka langkah selanjutnya yang akan dilakukan adalah menginput data pembebanan ke aplikasi SAP 2000 karena untuk menganalisis struktur dibantu dengan aplikasi SAP 2000 tersebut. Data pembebanan yang di input ke dalam aplikasi SAP 2000 antara lain Beban Mati, Beban Hidup, Beban Angin dan Beban Gempa.

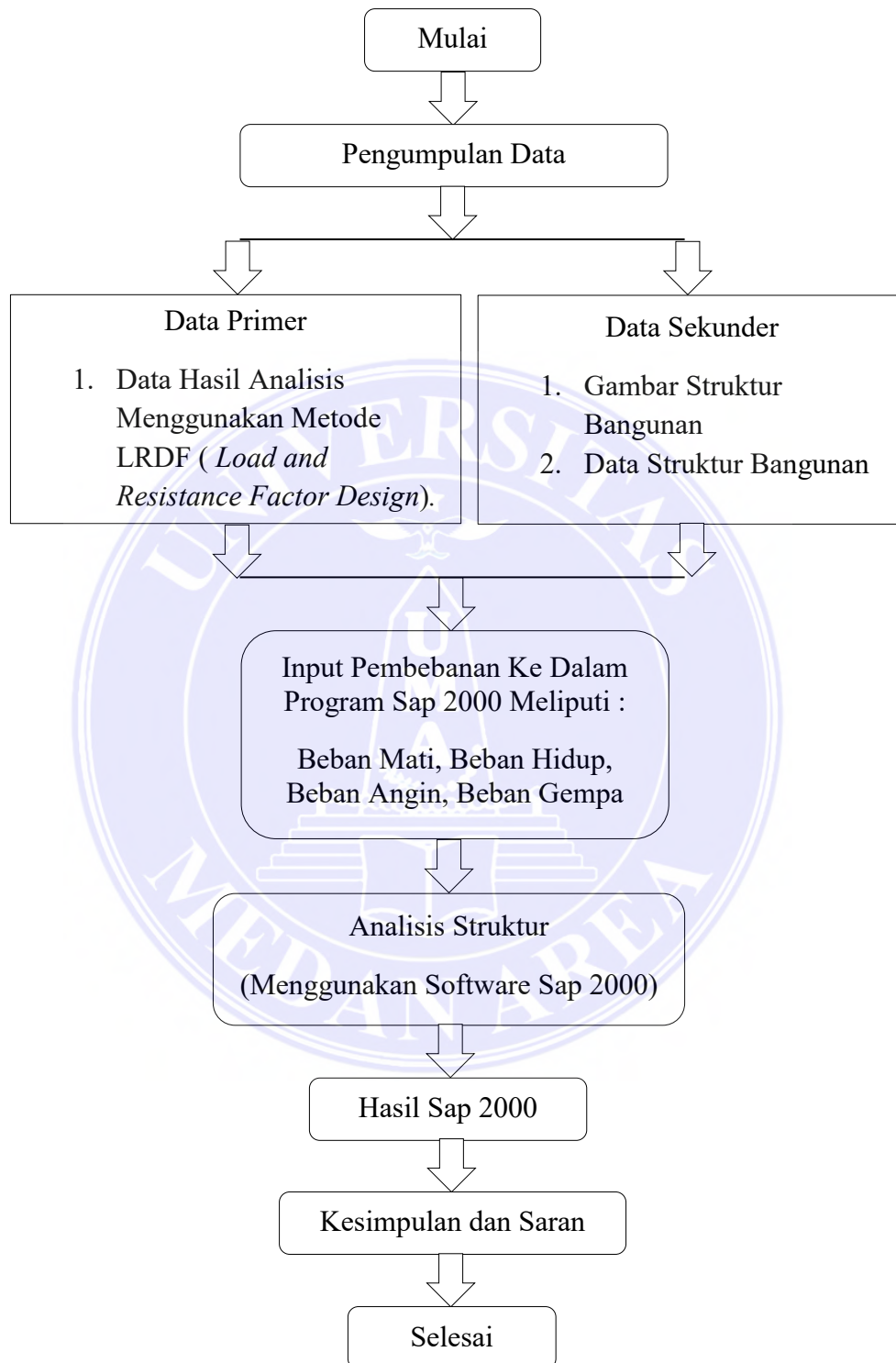
3. Analisis Struktur Baja

Analisis struktur adalah proses menghitung dan menentukan efek akibat beban yang bekerja pada struktur bangunan yang menimbulkan reaksi berupa gaya dalam (*internal forces*) pada struktur. Tujuan utama dari analisis struktur adalah untuk menentukan respons struktur terhadap berbagai kemungkinan beban yang akan bekerja selama masa layannya

4. Kesimpulan dan Saran

Setelah hasil analisis di dapatkan, maka kita dapat menentukan kesimpulan yang di dapatkan dan memberikan saran yang tepat untuk menghindari hal-hal yang perlu dihindari.

Tahapan penelitian juga disajikan dalam bentuk diagram alir seperti pada gambar 3.2.

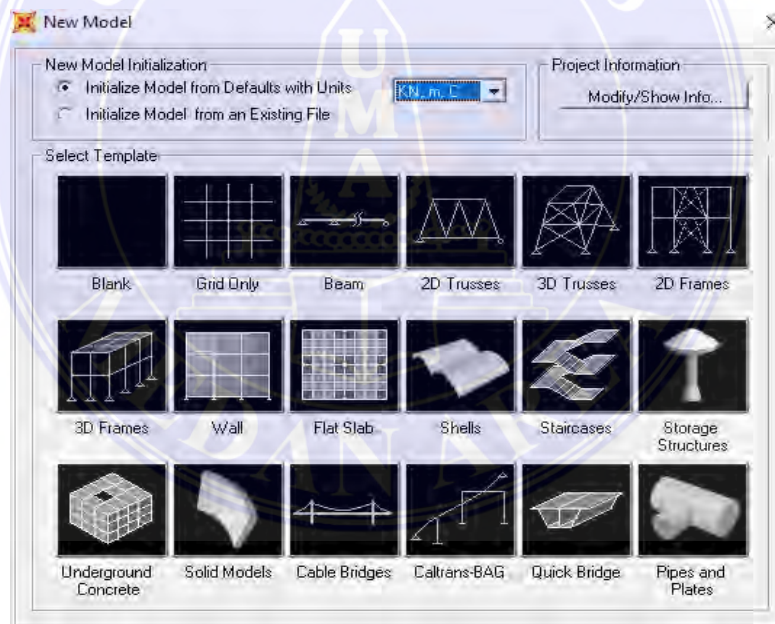


Gambar 11. Diagram Alir

3.3 Analisis Struktur Dengan Program SAP2000

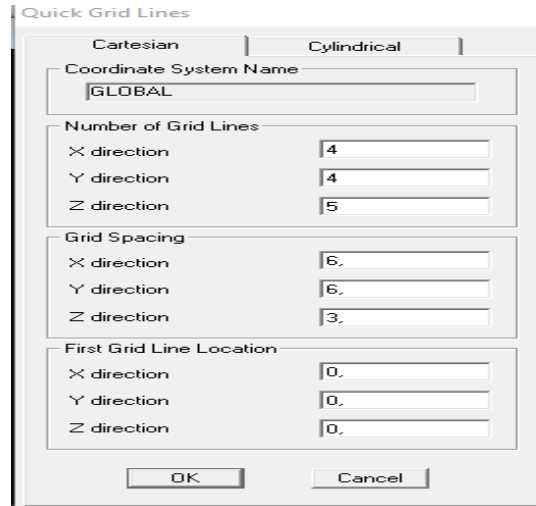
Struktur portal adalah struktur dengan material dari bahan baja atau beton yang tersusun dari balok, kolom dan pelat lantai dimana pada hubungan balok dan kolom terdapat gaya-gaya dalam yang nantinya akan digunakan dalam mendesain dimensi penampang profil baja. Langkah-langkah pemodelan struktur sebagai berikut :

1. Buatlah Folder tempat data-data SAP2000 v.14 yang akan disimpan.
2. Buka program SAP 2000 v14. Pilih *New Model* (Ctrl+N), ganti satuan panjang menjadi m dan pilih *Grid Only*, seperti yang terlihat pada gambar 3.3.



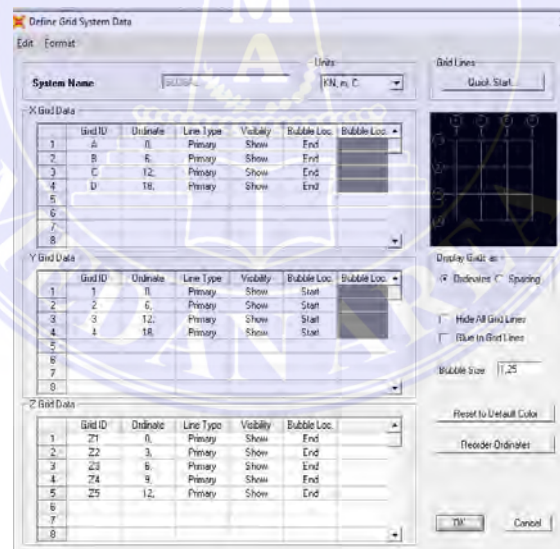
Gambar 12. New Model pada SAP2000 V.14 (SAP 2000 v14)

3. Memasukkan data-data portal struktur, *Number of Grid Lines* dan *Grid Spacing*, seperti pada gambar 3.4.



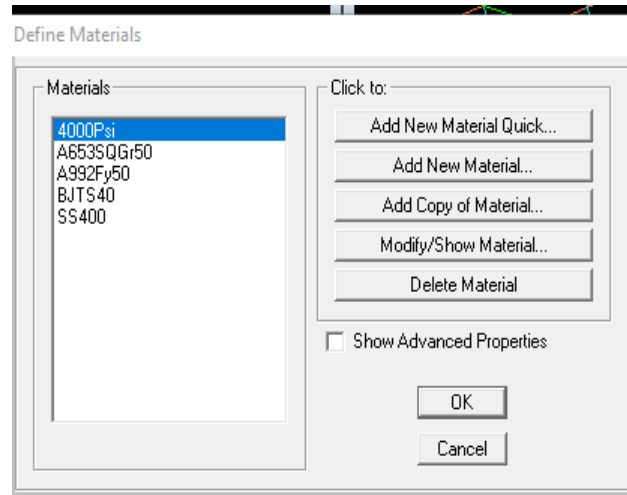
Gambar 13. Menentukan Jumlah Grid (SAP 2000 v14)

- Mengatur grid agar sesuai dengan bentuk struktur yang tidak beraturan. Pilih *Define-Coordinate/Grid Systems*, lalu pilih *Modify/Show System* (ALT + D + D). Masukkan data-data pada kolom X Grid Data, Y Grid Data dan Z Grid Data, seperti yang terlihat pada gambar 3.5.



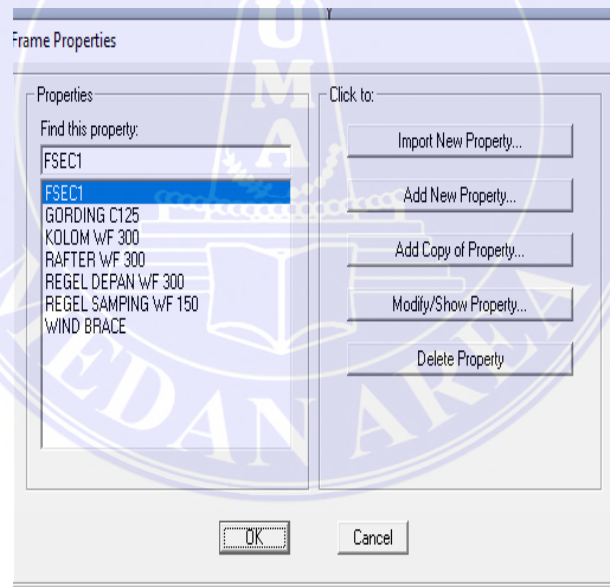
Gambar 14. Mengatur Grid Bangunan (SAP 2000 v14)

- Mendefinisikan Material. Pilih *Define-Materials-Add New Material* dan masukkan data-data material baja (untuk kolom dan balok) dan beton (untuk pelat) yang ada dengan teliti, seperti yang terlihat pada gambar 3.6.



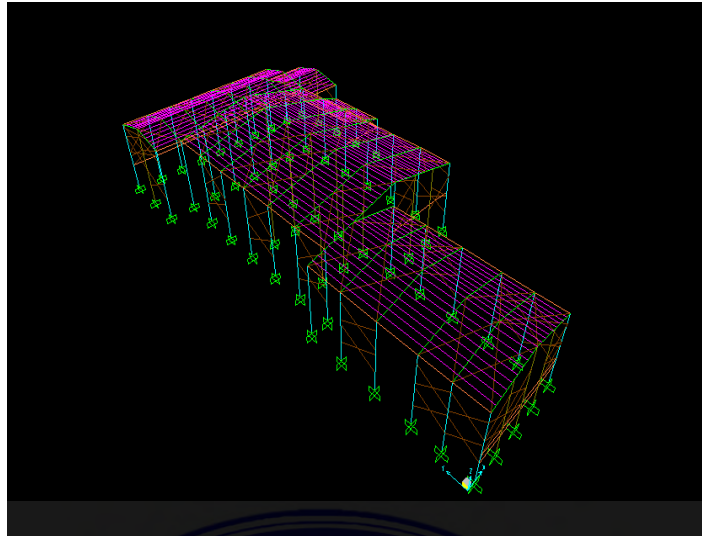
Gambar 15. Mendefinisikan Material (*SAP 2000 v14*)

6. Mendefinisikan dimensi profil kolom dan balok baja. Pilih *Define–Section Properties – Frame Sections–Add New Property* dan masukkan data-data dimensi profil kolom dan balok baja, seperti yang terlihat pada gambar 3.7.



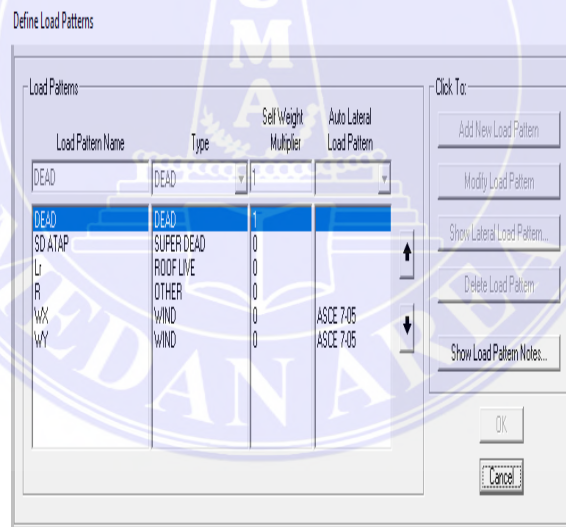
Gambar 16. Mendefinisikan Frame (*SAP 2000 v14*)

7. Pemodelan struktur atau penggambaran dilakukan setelah pendefinisian material maupun section property kolom, balok, rafter dan gording. Penggambaran struktur berdasarkan data struktur yang tersedia, seperti yang terlihat pada gambar 3.8.



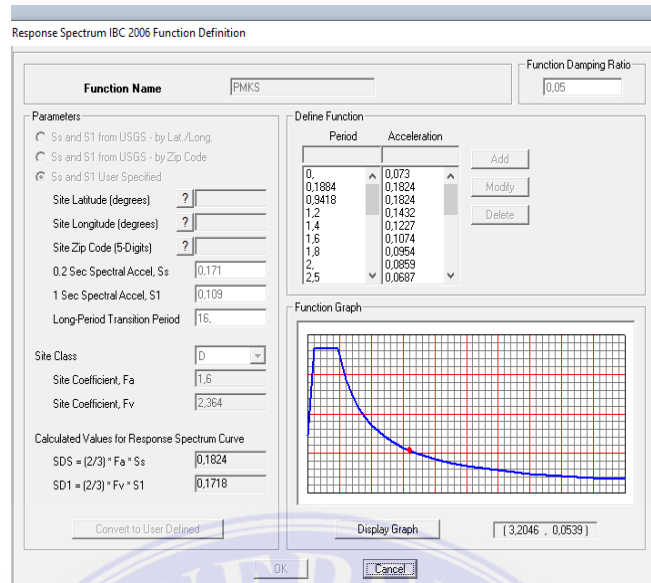
Gambar 17. Gambar Struktur (SAP 2000 v14)

8. Mendefinisikan pembebanan pada struktur. Pilih *Define–Load Patterns* dan definisikan beban-beban yang ada seperti beban mati, beban hidup, beban angin, serta beban lainnya, seperti yang terlihat pada gambar 3.9.



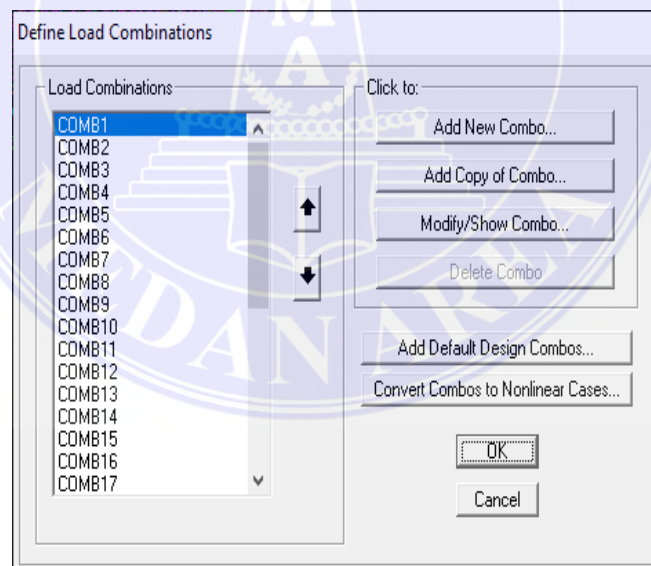
Gambar 18. Mendefinisikan Pembebanan (SAP 2000 v14)

9. Mendefinisikan beban gempa respon spektrum. Pilih *Define–Functions–Response Spektrum* dan input grafik nilai respon spektrum, seperti yang terlihat pada gambar 3.10



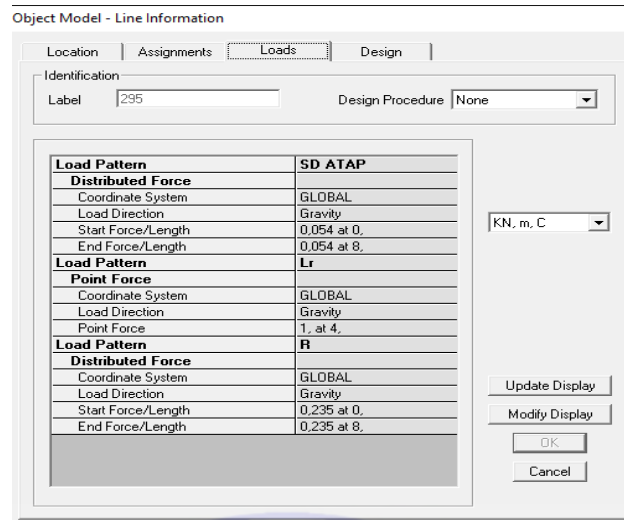
Gambar 19. Input Respon Spektrum (SAP 2000 v14)

10. Mendefinisikan kombinasi pembebanan. Pilih *Define-Load Combinations-Add New Combo* dan input kombinasi pembebanan sesuai SNI 1726:2020, seperti yang terlihat pada gambar 3.11.



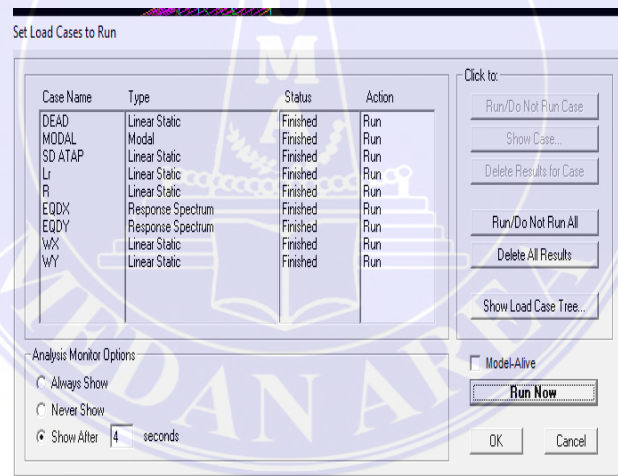
Gambar 20. Input Kombinasi Pembebanan (SAP 2000 v14)

11. Pada elemen gording, Select gording lalu pilih *Assign - Frame Loads - Distributed* dan input beban-beban terdistribusi pada gording, seperti yang terlihat pada gambar 3.12.



Gambar 21. Beban Pada Gording (*SAP 2000 v14*)

12. Setelah melakukan semua langkah-langkah diatas dan memeriksa secara teliti, lalu keluarkan hasil perhitungan. Pilih *Analyze-Run Analysis- Run Now*, seperti yang terlihat pada gambar 3.13.



Gambar 22. Gambar Run Analysis (*SAP 2000 v14*)

Ketahanan struktur ditunjukkan setelah melalui hasil running program pada menu check design structure. Khusus evaluasi ketahanan struktur kolom divisualisasikan melalui indikasi warna – warna yang dikeluarkan oleh program SAP2000. Berikut analisa warna untuk ketahanan struktur pada program SAP2000 (Andrianto, 2007).

- a. Warna biru muda : rasio 0.00 sampai 0.50 : Sangat Aman

- b. Warna hijau : rasio 0.50 sampai 0.70 : Aman
- c. Warna kuning : rasio 0.70 sampai 0.90 : Aman
- d. Warna orange : rasio 0.90 sampai 0.94 : Cukup aman
- e. Warna merah : rasio > 0.95 : Kritis (Overstress/OS)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

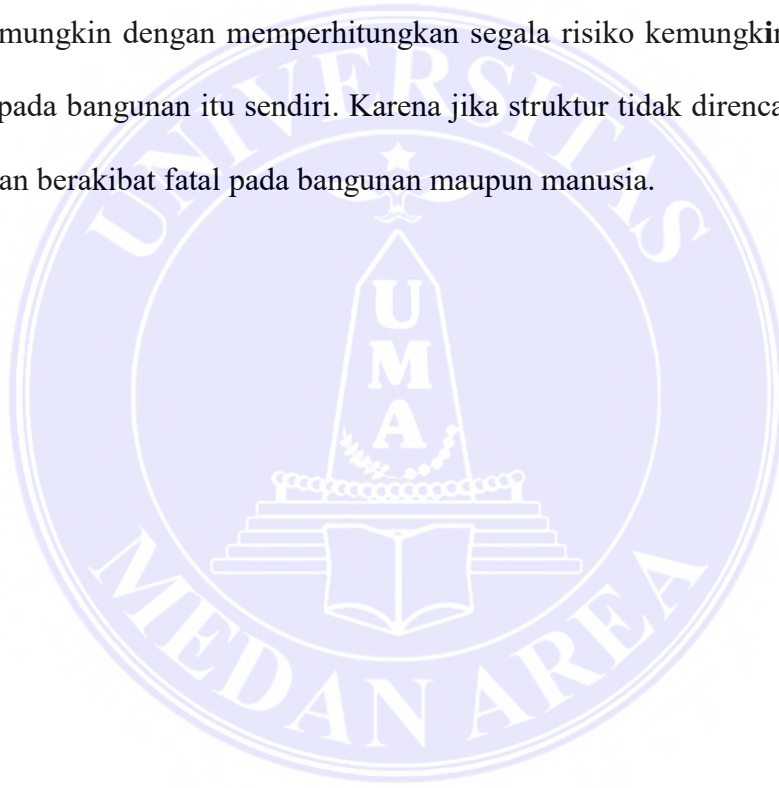
5.1 KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisa struktur baja pada Proyek Pembangunan PMKS PT. Kutai Sawit Mandiri, ini maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil dari pengecekan struktur baja dengan bantuan program SAP2000, seluruh struktur yang terdiri dari kolom WF 300 X 150, balok IFW 150 X 75, rafter IWF 300 X 150, dan gording CNP 125 x 50, dapat memikul beban yang ada. Hal ini telah dibuktikan dengan yang menunjukkan semua elemen struktur berwarna biru atau berada pada angka 0,00-0,50.
2. Berdasarkan perhitungan manual, diperoleh beban-beban yang dipikul oleh struktur, antara lain:
 - a. Dari hasil analisa perhitungan struktur gording CNP125x50x25x2,3 diperoleh beban mati sebesar 12,21 kg/m², beban hidup air hujan sebesar 43,03 kg/m², dan beban angin tekan sebesar -12 kg/m², angin hisap sebesar -16 kg/m².
 - b. Dari hasil analisa perhitungan rafter WF300x150x6,5x9 diperoleh beban mati sebesar 44,05 kg/m, beban hidup sebesar 5,52 kg/m.
 - c. Dari hasil analisa perhitungan balok WF 150 x 75 x 5 x 7 diperoleh beban mati sebesar 63,53 kg/m, beban hidup sebesar 28,37 kg/m.
 - d. Dari hasil analisa perhitungan kolom WF 300 x 150 x 6 x 9 diperoleh momen max 11008 kg.cm, gaya geser 4403 kg, gaya aksial 4255 kg menggunakan tegangan izin

5.2 SARAN

Analisa struktur dengan menggunakan program SAP2000 lebih baik menggunakan program yang asli dan harus dilakukan oleh orang yang mengerti fungsi dan cara menggunakannya dengan benar, agar tidak terjadi kesalahan dalam menganalisis struktur, karena bisa berdampak pada terjadinya kegagalan struktur. Ada baiknya program perhitungan juga dilengkapi dengan kontrol manual. memutuskan dalam mendesain struktur bangunan, haruslah direncanakan sebaik mungkin dengan memperhitungkan segala risiko kemungkinan yang akan terjadi pada bangunan itu sendiri. Karena jika struktur tidak direncanakan dengan baik akan berakibat fatal pada bangunan maupun manusia.



DAFTAR PUSTAKA

- Eva Arifi, D. S. (2020). PERENCANAAN STRUKTUR BAJA (Berdasarkan SNI 1729;2020). Malang: UB Press.
- Nugraha, R. (2014). Analisis Struktur Portal Balai Kesehatan Olahraga Masyarakat (BKOM), Kawalayaan, Bandung; Universitas Pendidikan Indonesia. 1-2.
- Rahardi, I. (2020). PENGARUH PENGGUNAAN STRUKTUR BAJA PADA BANGUNAN 2 TINGKAT. IMAJI Vol. 9 No. 6 Desember 2020, 9, 771-780.
- Sudarno P Tampubolon, S. M. (2021). BUKU MATERI PEMBELAJARAN STRUKTUR BAJA-1. 1-196.
- Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG), Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. (1983).
- BADAN STANDARDISASI NASIONAL. 2002. SNI 03-1729-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum. (2002). Jakarta.
- BADAN STANDARDISASI NASIONAL. 2013. SNI 1727:2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum. (2013).
- BADAN STANDARDISASI NASIONAL. 2015. SNI 1729:2015 Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum. (2015).
- BADAN STANDARDISASI NASIONAL. 2020. SNI 1729:2020 Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum. (2020).
- BADAN STANDARDISASI NASIONAL. 2019. SNI 1726:2019 TATA CARA PERENCANAAN KETAHANAN GEMPA UNTUK STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG DAN NONGEDUNG. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum. (2019).
- Setiawan, A. (2008). Perencanaan Struktural Baja Dengan Metode LRFD Edisi Kedua (Berdasarkan SNI 03-1729:2002). Jakarta: Erlangga.

- Indah Saiful Fajarina, I. G. (2020). Evaluasi Perencanaan Struktur Komposit Menggunakan Metode Lrfd Pada Gedung C Undiknas Denpasar.
- Lihin, M. Z. (2021). Perencanaan Portal Baja Menggunakan Metode Lrfd Pada Gedung Rs Bhayangkara Makassar.
- Mita Septiani Amalia, D. A. (2020). Perencanaan Konstruksi Baja Struktur Atas Bangunan Gudang Tahan Gempa (Studi Kasus Bangunan Gudang Penyimpanan Casing Elektronik).
- Simatupang, M. N. (2022). Analisis Kolom Baja Pada Konstruksi Perluasan Gedung Boiler Pt. Indofood Medan



