

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada masa modern seperti saat ini, pertumbuhan pada sektor industri merupakan salah satu komponen pendorong kemajuan perekonomian suatu negara. bangunan yang dirancang dan diperuntukan pada sektor industri maupun manufaktur harus berfungsi dengan baik agar kegiatan industri dapat berjalan dengan baik. Bangunan ini biasanya didesain khusus untuk menampung mesin, peralatan konstruksi, maupun proses manufaktur yang berkaitan dengan kegiatan industri. Bangunan Industri dapat mencakup pabrik-pabrik, pabrik pengolahan, gudang industri, fasilitas penelitian dan pengembangan serta fasilitas lain yang terkait dengan kegiatan produksi dan manufaktur (Nurhayani. 2022).



Gambar 1.1 Gambar Lingkungan Kawasan Industri.
(Sumber: <https://indonesian.steelstructure-construction.com>)

Di Indonesia, sektor industri menunjukkan perkembangan yang cukup signifikan. Perusahaan yang bergerak di bidang ini umumnya menerapkan prinsip ekonomi dalam setiap aktivitas industrinya. Untuk memaksimalkan keuntungan dengan biaya atau usaha seminimal mungkin, efisiensi dalam berbagai aspek menjadi hal yang sangat penting. Salah satu langkah awal untuk mencapai efisiensi tersebut adalah melalui perencanaan bangunan industri, karena tahap ini memegang peran penting dalam mendukung

kelancaran operasional industri. Ilmu yang cukup berperan penting dalam perkembangan sektor industri di Indonesia yaitu Ilmu Teknik Sipil. Perkembangan industri di era globalisasi saat ini menuntut tersedianya infrastruktur yang kuat dan efisien. Salah satu komponen penting dalam infrastruktur industri adalah bangunan gudang pabrik. Gudang pabrik atau *warehouse* ini memiliki peran strategis dalam menyimpan maupun mengelola berbagai jenis barang, maupun bahan baku maupun produk jadi yang dihasilkan oleh industri.



Gambar 1.2 Gambar Bangunan Pabrik Struktur Rangka Baja.

(Sumber: <https://steelmillcranes.com/>)

Perencanaan struktur bangunan yang tepat tidak hanya menghasilkan konstruksi yang kuat dan aman, tetapi juga memastikan bangunan tersebut dapat berfungsi secara maksimal sesuai dengan kebutuhan industrinya. Dalam merancang struktur atas, sangat penting untuk memperhitungkan berbagai jenis beban yang akan diterima oleh tiap-tiap rangka struktur. Selain itu, perancangan sambungan baja juga merupakan aspek krusial yang tidak boleh diabaikan dalam proses perencanaan. Sambungan pada struktur baja sangat berperan penting karena berperan sebagai titik persilangan atau penyambung antara elemen-elemen baja, terdapat 2 metode sambungan baja yang umumnya digunakan pada proses konstruksi yaitu sambungan baja menggunakan metode sambungan baut dan menggunakan metode pengelasan. Keberhasilan sambungan ini mempengaruhi kestabilan, kekuatan, dan keamanan serta kinerja keseluruhan dari struktur baja itu sendiri.



Gambar 1.3 Sambungan Baja Kolom-Balok.

(Sumber: <https://mataair.id/2022>)

Melalui Tugas Akhir ini, diharapkan mahasiswa mampu merancang konstruksi bangunan berdasarkan pengetahuan yang dipelajari selama masa pembelajaran masa kuliah. Tugas Akhir ini mengusung judul “**Perencanaan Struktur Atas dan Sambungan Baja pada Bangunan Warehouse.**” Seiring dengan kemajuan dalam bidang Teknik Sipil, perencanaan ini harus mempertimbangkan besarnya beban yang bekerja serta mengacu pada standar SNI yang relevan sebagai pedoman dalam proses perencanaan.

Dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini, menguraikan tentang desain perencanaan struktur baja sebagai struktur utamanya menggunakan program SAP2000 V22 untuk merencanakan dimensi penampang baja sebagai kolom, balok, dan rafter, serta merencanakan sambungan struktur baja yang handal serta mampu menahan dan mentransfer berbagai gaya yang bekerja pada struktur bangunan *warehouse* dengan bantuan perangkat lunak Idea Statica 21.1 sebagai alat bantu perencanaan dan analisis sambungan.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini, penulis menitik fokuskan terhadap beberapa permasalahan yang akan dibahas berdasarkan data – data yang telah dikumpulkan. Adapun rumusan masalah tersebut antara lain :

1. Berapa ukuran profil baja WF yang direncanakan untuk elemen struktur utama seperti kolom, balok dan rafter pada bangunan *warehouse* pabrik pupuk PT. Wilmar ?
2. Bagaimana perencanaan desain sambungan baja pada pertemuan antara kolom – balok dan kolom – rafter pada bangunan *warehouse* pabrik pupuk PT. Wilmar ?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari pembahasan penelitian ini adalah untuk merencanakan struktur atas (*upperstruktur*) serta merencanakan sambungan baja yang handal pada bangunan *warehouse* untuk pabrik pupuk PT. Wilmar, sedangkan Tujuan penulis pada penulisan laporan Tugas Akhir ini , antara lain :

1. Mampu merencanakan dimensi penampang struktur utama seperti Kolom, Balok dan *Rafter* pada bangunan *Warehouse* Pabrik Pupuk PT. Wilmar.
2. Mampu merencanakan desain sambungan pada hubungan Balok – Kolom, Kolom – *Rafter*, pada bangunan *warehouse* pabrik pupuk PT. Wilmar.

1.4 Batasan Masalah

Supaya penulisan laporan tugas akhir ini dapat disusun secara sistematis dan terarah, penulis menitik fokuskan beberapa batasan masalah antara lain :

1. Perencanaan difokuskan pada elemen struktur atas yang mencakup Kolom, Balok dan *Rafter* dengan menggunakan material struktur baja.
2. Permodelan dilakukan untuk struktur 3D dengan menggunakan software SAP2000.
3. Permodelan sambungan baja menggunakan *software Idea Statica*.
4. Desain elemen struktur baja dan sambungan mengacu pada SNI 1729-2020.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika Penulisan yang penulis aplikasikan pada penyusunan laporan Tugas Akhir ini antara lain sebagai berikut :

BAB I – PENDAHULUAN

Bab pendahuluan membahas beberapa poin pembahasan, yaitu latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan laporan.

BAB II – TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi pembahasan teoritis tentang struktur baja, baja sebagai bahan konstruksi, sifat-sifat bangunan baja, teori rangka struktur bangunan baja, sambungan baut, standard dan referensi perencanaan, konsep pembebanan, dan persyaratan peraturan gempa SNI.

BAB III – METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi pembahasan tentang data perencanaan, langkah – Langkah perencanaan, langkah analisis perencanaan, data penyelidikan tanah, konsep pembebanan dan pedoman perencanaan.

BAB IV – ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini mengurai permodelan dari struktur yang akan dirancang, mengestimasi pembebanan struktur dan beban kombinasi. Kemudian akan menyajikan hasil perhitungan analisis struktur dan desain sambungan.

BAB V - PENUTUP

Penutup yang berisi kesimpulan hasil dari perencanaan struktur baja untuk *warehouse* pabrik pupuk PT. Wilmar.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Bangunan Baja



Gambar 2.1 Bangunan Struktur Baja.

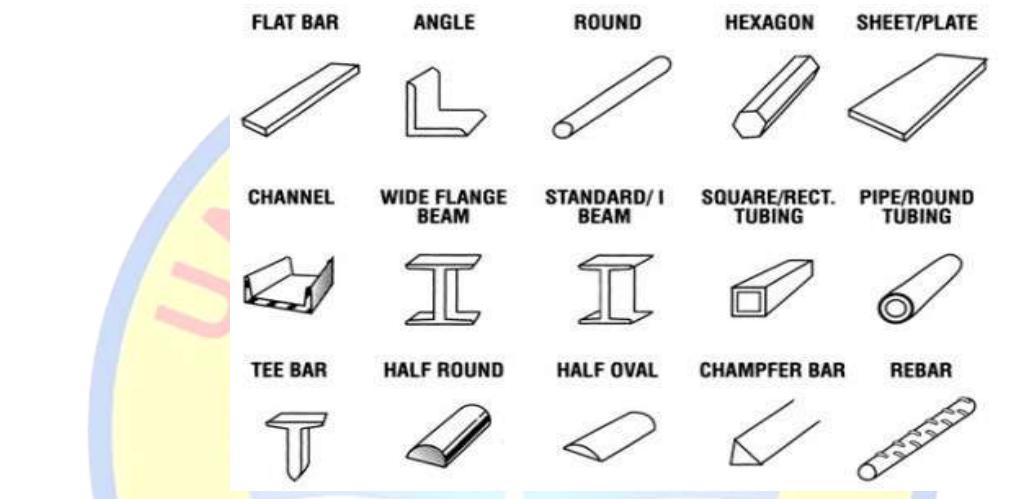
(Sumber : www.steelmillcranes/id/light-steel-structure)

Baja merupakan salah satu material konstruksi yang tersusun utama dari unsur besi dan karbon. Material ini terbentuk melalui proses penempaan dan pemanasan, yang memungkinkan terjadinya pencampuran antara logam paduan dengan zat kimia tertentu selama pembakaran. Proses ini menghasilkan baja dengan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan besi (S. Bobby, 2016). Struktur bangunan berbahan baja memiliki berbagai tipe portal, di antaranya: portal terbuka, portal dengan sistem bracing, sistem portal terbuka yang terdapat dinding pengisi tanpa ikatan geser antara kolom dan dinding, serta sistem dengan dinding pengisi yang dilengkapi diikatkan pada kaitan geser (Wahyu Wuryanti, 2008).

Struktur bangunan baja merujuk pada sistem struktural suatu bangunan yang didominasi atau keseluruhannya terbuat dari material baja. Penggunaan material baja pada struktur bangunan digunakan sebagai kolom, balok, kuda

- kuda dan sambungan, yang dapat memberikan kekuatan dan kekakuan yang diperlukan untuk menopang beban pada bangunan. Baja adalah material yang paling umum dipakai sebagai struktur inti dalam bangunan industri, dikarenakan mempunyai sifat fisik serta mekanis yang beragam (Purboputro, 2009).

2.1.1. Macam - Macam Penampang Baja



Gambar 2.2 macam-macam penampang baja.

- Baja Wide Flange (Baja WF)



Gambar 2.3 Model Penampang I/WF.

Baja WF merupakan jenis baja yang umum digunakan di Indonesia dalam Pembangunan konstruksi baja.

Penampang ini memiliki bentuk huruf “I” dengan dua sayap (flange) di atas dan dibawah, yang terhubung oleh suatu batang tengah yang disebut web. Penampang I sangat efisien dalam menahan beban lentur.

- Baja UNP (Kanal U)



Gambar 2.4 Model Penampang UNP.

Penampang U memiliki bentuk huruf “U” dengan dua sayap (flange) sejajar yang dihubungkan oleh batang vertikal (stem). Cocok untuk aplikasi yang membutuhkan daya dukung dalam satu arah.

- Baja Lipped Channel (CNP)



Gambar 2.5 Model Penampang CNP.

Penampang C memiliki penampang berbentuk C. Channel biasanya digunakan sebagai elemen penahan lateral atau sebagai balok dalam struktur baja.

- Baja H-Beam



Gambar 2.6 Model Penampang H Beam.

Mirip dengan penampang I, penampang H juga memiliki dua sayap (flange) di atas dan dibawah, tetapi dengan lebar sayap yang lebih besar. ini memberikan kekuatan ekstra dalam menahan beban vertikal dan lentur.

- Baja T-Beam



Gambar 2.7 Model Penampang T Beam.

Penampang T memiliki satu sayap (flange) di atas dan batang vertikal (stem) dibawah. Digunakan untuk menanggung beban vertikal dan lentur.

- Baja penampang L (Angle)



Gambar 2.8 Model Penampang L (Angle).

Penampang L memiliki bentuk sudut dan terdiri dari dua sayap yang bertemu pada sudut 90 derajat. Digunakan sebagai elemen penahan lateral atau memberikan kekuatan tambahan pada struktur.

- Baja penampang Bulat (Round)



Gambar 2.9 Model Penampang L (Angle).

Penampang bulat memiliki bentuk lingkaran dan umumnya digunakan pada elemen-elemen seperti tiang atau kolom. Cocok untuk menahan beban vertikal.

2.2 Baja Sebagai Bahan Konstruksi

Struktur baja banyak digunakan dalam konstruksi modern dan telah menjadi elemen utama dalam berbagai sektor industri, seperti industri otomotif, perkapalan, permesinan, bahan bangunan, serta berbagai bidang . Pemilihan baja sebagai bahan konstruksi pun tentunya harus memperhitungkan faktor kelebihan maupun kekurangan dari struktur baja itu sendiri, yaitu :

- Kelebihan Struktur Baja :
 1. Memiliki sifat elastisitas
 2. Dapat dibongkar dan dipasang kembali, sehingga memungkinkan untuk digunakan secara berulang.
 3. Mempunyai kekuatan tinggi dan distribusi kekuatan yang merata.
 4. Dapat disambung dengan teknik pengelasan tanpa menyebabkan pelemahan pada penampang struktur.
 5. Tahan lama apabila dirawat dengan baik secara berkala.
- Kekurangan Struktur Baja :
 1. Memerlukan perawatan dan pemeliharaan rutin untuk mencegah kerusakan akibat korosi dan faktor lingkungan lainnya.
 2. Kekuatan material dapat dipengaruhi oleh perubahan suhu yang ekstrem.
 3. Karena sebagian besar elemen baja memiliki bentuk yang ramping atau langsing, maka struktur baja rentan terhadap bahaya tekuk.

Penggunaan material baja sebagai elemen struktur utama memengaruhi karakteristik mechanism sebagai material konstruksi. Baja dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimia, kekuatan tarik, serta metode pembuatannya.

2.3 Sifat – Sifat Baja

Salah satu keunggulan utama baja sebagai material dalam sebuah konstruksi adalah kekuatan strukturnya yang tinggi dibandingkan dengan material lainnya. Proses pembuatannya melibatkan pencampuran unsur-unsur tersebut dalam tungku bersuhu sangat tinggi hingga melebur menjadi cairan logam. Selanjutnya, dilakukan tahap pemurnian untuk mengurangi kadar karbon berlebih serta menghilangkan unsur-unsur yang tidak diinginkan.

2.3.1 Karakteristik Material Baja

Karakteristik mekanis baja memegang peran penting dalam menentukan kemampuan material tersebut dalam menahan beban. Secara umum, karakteristik mekanis suatu material mengacu pada kemampuannya untuk memberikan resistensi terhadap gaya atau beban yang bekerja padanya. Dalam setiap perencanaan bangunan, pemahaman terhadap karakteristik ini sangat diperlukan, yang mencakup antara lain: tegangan leleh, tegangan maksimum (ultimate stress), modulus elastisitas.

Tabel 2.1 Karakteristik mekanis baja berdasarkan mutunya.

Jenis Mutu Baja	Tegangan Putus Minimum (MPa)	Tegangan Leleh Minimum (MPa)	Peregangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22

(Sumber : SNI 03-1729-2002, Standar Nasional Indonesia.)

Menurut standar SNI, sifat mekanis dari berbagai jenis baja dengan mutu yang umum digunakan di pasaran dijelaskan dalam **Tabel 2.1**. Tabel tersebut memuat informasi mengenai tegangan leleh (f_y) dan tegangan ultimit (f_u) yang harus berada di bawah batas maksimum yang telah ditentukan. Selanjutnya, gambaran umum mengenai karakteristik mekanis baja secara lebih lengkap dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Karakteristik mekanis baja struktural secara umum.

Sifat mekanis	Simbol	Nilai	Satuan
Modulus Elastisitas	E	200.000	MPa
Modulus Geser	G	80.000	MPa
Nisbah Poisson	μ	0,3	-
Koefisien Pemuaian	α	12 X10-6	/°C

(Sumber : SNI 03-1729-2002, Standar Nasional Indonesia.)

SNI 03-1729-2002 memuat penjelasan mengenai mutu baja umum digunakan di wilayah Indonesia. Namun, pada SNI 1729:2020, standar perencanaan struktur baja telah mengacu pada ketentuan dari *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360-16. Oleh karena itu, jenis baja yang digunakan dalam standar ini juga merujuk pada spesifikasi dari *American Society for Testing and Materials* (ASTM).

Tabel 2.3 Karakteristik mekanis baja berdasarkan ASTM.

Jenis baja	Tegangan Tarik Ultimit, F_u MPa (ksi)	Tegangan Leleh minimum, F_y MPa (Ksi)	Peregangan Minimum (%)
ASTM A36/36M	400-550	250 (36)	20% (tebal min. 200mm)

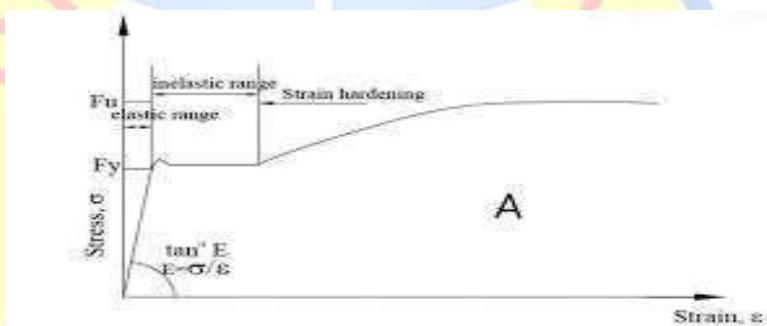
(Sumber : ASTM International, 2016, 2018a, 2018b, 2019a, 2019b, 2019c, 2020.)

Baja tanpa spesifikasi lengkap dan tanpa jaminan bebas dari cacat yang dapat menimbulkan kerugian hanya boleh diterapkan pada elemen struktur yang apabila mengalami kerusakan, tidak memengaruhi kekuatan maupun kestabilan struktur secara keseluruhan.

2.3.2 Karakteristik Tarik baja

Mengetahui karakteristik material merupakan hal yang krusial dalam memahami respons keseluruhan struktur baja. Umumnya, sifat tarik baja diperoleh melalui pengujian tarik pada spesimen berukuran kecil, yang dilaksanakan berdasarkan prosedur standar dari ASTM. Hasil dari pengujian ini mencerminkan bagaimana material merespons terhadap beban statis yang diberikan.

Gambar 2.10 menunjukkan kurva tegangan-regangan untuk baja struktural berkadar karbon rendah pada suhu ruang, yang menggambarkan hubungan antara tegangan dan regangan material tersebut. Dari grafik ini, dapat dikenali beberapa tahapan perilaku material, seperti fase elastis, fase plastis, serta fase strain hardening.



Gambar 2.10 Grafik Regangan – tegangan baja struktural.

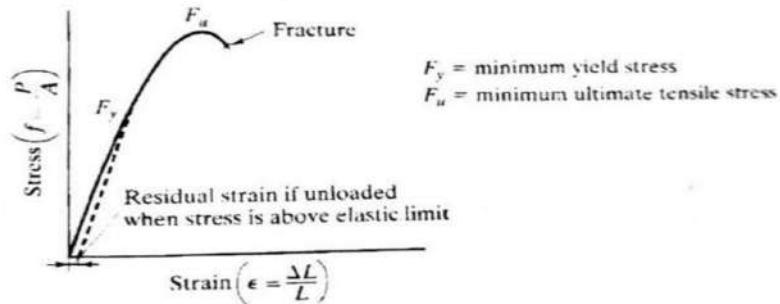
(Sumber : Arifi, Eva dkk. Perencanaan Struktur Baja.2021)

Batas elastis (*elastic limit*) merupakan kondisi maksimum tegangan yang dapat diterima material tanpa meninggalkan perubahan bentuk tetap, memungkinkan material untuk kembali ke bentuk semula setelah gaya dilepaskan. Perbandingan ini dikenal sebagai modulus elastisitas (*Young's Modulus, E*), dengan nilai sebesar 29×10^3 ksi untuk baja struktural secara umum, tanpa pengecualian kondisi khusus.

Di sisi lain, tegangan leleh (yield stress) merupakan salah satu parameter mekanis penting dari baja yang menjadi dasar utama dalam perencanaan struktur baja. Tegangan ini muncul ketika material mulai mengalami regangan yang cukup besar tanpa disertai peningkatan tegangan lebih lanjut.

Regangan elastis (*elastic strain*) terjadi dalam batas elastis dan bersifat reversibel. Setelah melewati batas leleh, material mengalami regangan plastis (*plastic strain*), yakni regangan permanen yang umumnya lebih besar dibandingkan regangan elastis. Selanjutnya, ketika regangan terus bertambah, baja kemudian memasuki tahap strain hardening, yaitu fase di mana material memerlukan tegangan yang lebih tinggi untuk menghasilkan pertambahan regangan.

Untuk jenis baja getas (*brittle steel*), hubungan tegangan-regangan ditunjukkan dalam **Gambar 2.11**.



Gambar 2.11 grafik tegangan – regangan baja getas.

(Sumber : Arifi, Eva dkk. Perencanaan Struktur Baja.2021)

2.3.3 Karakteristik Geser baja

Tegangan geser dan regangan geser memiliki hubungan linear pada kondisi elastis, yang dinyatakan melalui modulus geser (*shear modulus, G*). teori elastisitas menjelaskan bahwa, nilai G berkaitan dengan modulus elastisitas (E) serta nisbah Poisson (ν), dengan nilai minimum g sebesar 11×10^3 ksi.

Nisbah Poisson (*Poisson's ratio*) merupakan perbandingan antara regangan transversal terhadap regangan longitudinal yang terjadi akibat pembebahan. Untuk baja struktural, nilai nisbah ini umumnya tetap, yaitu 0,3 pada kondisi elastis dan meningkat menjadi sekitar 0,5 saat memasuki kondisi plastis.

Tegangan leleh dalam kondisi geser biasanya bernilai sekitar 0,57 kali dari tegangan leleh tariknya. Adapun kekuatan geser atau

tegangan geser saat struktur mengalami keruntuhan akibat pembebanan geser, berkisar antara 2/3 hingga 3/4 dari kekuatan tarik baja.

2.3.4 Karakteristik Tekan baja

Elemen tekan adalah salah satu bagian dari struktur yang dirancang untuk menerima gaya tekan yang bekerja secara aksial melalui titik berat penampangnya, dan umumnya diaplikasikan pada struktur seperti kolom maupun batang dalam sistem rangka batang. Namun, dalam kondisi di lapangan, seringkali terdapat eksentrisitas akibat berbagai faktor, seperti ketidak lurusan elemen batang, ketidak tepatan posisi pembebanan, atau kondisi tumpuan yang tidak sempurna, sehingga dapat memicu momen lentur. Apabila momen yang timbul relatif minim, maka pengaruhnya bisa diabaikan, dan perencanaan batang tekan tetap dapat diterapkan (Dewobroto, 2016).

Ketika pelaksanaan praktiknya, batang tekan dapat berupa profil tunggal maupun profil rangkap (bersusun), yang dapat dimodelkan menjadi dua ataupun lebih profil baja tunggal.

Salah satu faktor krusial yang menentukan potensi kegagalan pada batang tekan adalah risiko terjadinya tekuk (buckling) akibat pengaruh gaya tekan aksial yang bekerja pada elemen struktur. Menurut SNI 1729:2020, perilaku tekuk ini sangat dipengaruhi oleh tingkat kelangsungan elemen, yang dapat menyebabkan terjadinya tekuk sebelum material mencapai tegangan leleh.

2.3.5 Metode Desain Load and Resistance Faktor Design (LRFD)

Suatu desain dinyatakan memenuhi persyaratan *Load Resistance Faktor Design* (LRFD) apabila kekuatan nominal terfaktor dari setiap elemen struktural paling tidak sama dengan atau melebihi gaya yang dibutuhkan, sebagaimana ditetapkan berdasarkan kombinasi beban LRFD. Perencanaan struktur harus mengacu pada persamaan dasar berikut:

$$R_u \leq \phi \cdot R_n$$

R_u = Kekuatan harus menggunakan kombinasi beban.

ϕ = Faktor Ketahanan.

R_n = Kekuatan Nominal.

ΘR_n = Kekuatan Desain.

(Sumber : SNI 1729-2020, Standardisasi Nasional Indonesia)

2.3.6 Faktor Reduksi

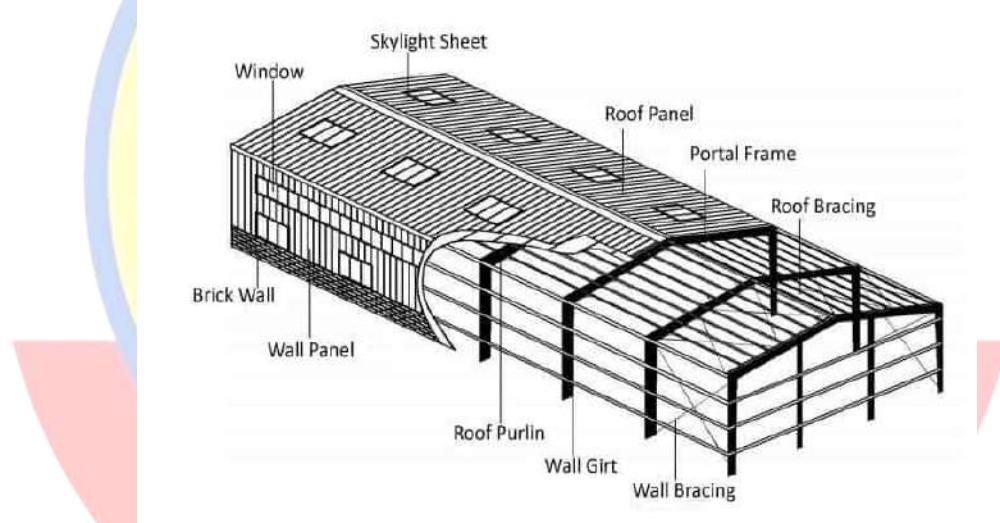
Tabel 2.4 Menyajikan faktor reduksi kekuatan yang mempertimbangkan adanya ketidakpastian dalam estimasi kekuatan nominal dari elemen-elemen struktur baja.

Tabel 2.4 Tabel faktor reduksi (ϕ) untuk kekuatan batas bangunan baja.

Kuat rencana untuk	Faktor reduksi
Komponen struktur yang memikul lentur : <ul style="list-style-type: none">• Balok• Balok pelat berdinding penuh• Pelat badan yang memikul geser• Pelat badan pada tumpuan• Pengaku	0,90 0,90 0,90 0,90
Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial : <ul style="list-style-type: none">• Kuat penampang• Kuat komponen struktur	0,85 0,85
Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial : <ul style="list-style-type: none">• Terhadap kuat tarik leleh• Terhadap kuat tarik fraktur	0,90 0,75
Komponen struktur yang memikul aksi-aksi kombinasi : <ul style="list-style-type: none">• Kuat lentur atau geser• Kuat tarik• Kuat tekan	0,90 0,90 0,85
Sambungan baut :	

Kuat rencana untuk	Faktor reduksi
<ul style="list-style-type: none"> • Baut yang memikul geser • Baut yang memikul Tarik • Baut yang memikul kombinasi geser dan tarik • Lapis yang memikul tumpu 	
Sambungan las :	
<ul style="list-style-type: none"> • Las tumpul penetrasi penuh • Las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian 	0,90
	0,75

2.4 Rangka Struktur Portal



Gambar 2.12 Model Struktur Portal.

Struktur portal adalah sistem konstruksi yang terdiri dari beberapa elemen struktural yang terhubung dan diperlukan sebagai penopang beban yang terjadi pada bangunan. Umumnya, struktur portal tersusun dari balok dan kolom, di mana gaya yang diterapkan pada balok akan menghasilkan momen lentur, dan selanjutnya gaya-gaya dari beban tersebut akan diteruskan ke kolom dalam bentuk gaya aksial.

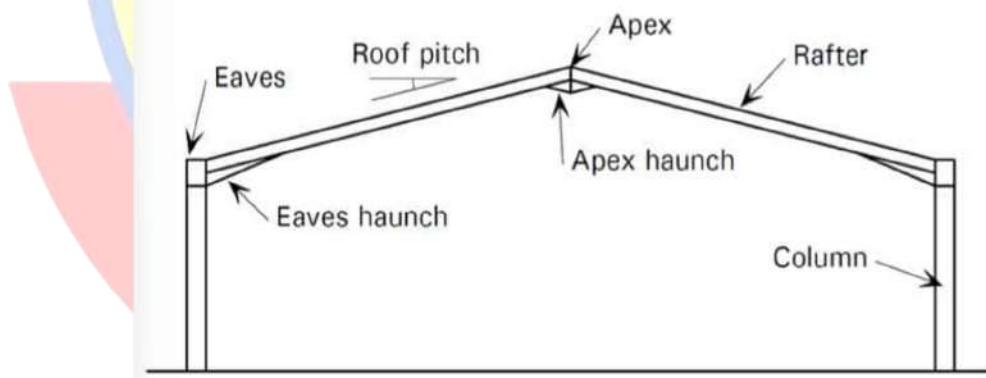
Melalui analisis struktur portal, dapat diperoleh gaya-gaya dalam yang terjadi pada elemen-elemen balok dan kolom. Nilai-nilai gaya dalam ini

menjadi dasar untuk proses perencanaan dan penentuan dimensi elemen struktural secara tepat dan efisien.

Struktur portal terdiri atas berbagai jenis yang secara umum diklasifikasikan sebagai *portal frame*. Pemilihan tingkat kekakuan yang sesuai merupakan aspek krusial dalam proses perancangan, karena berpengaruh langsung terhadap kinerja dan stabilitas struktur. Dalam praktiknya, penggunaan tumpuan sendi sering menjadi pilihan utama karena memudahkan dalam proses desain dan pelaksanaan konstruksi, serta mampu memberikan stabilitas tambahan meskipun tingkat kekakuan relatif sederhana.

Dalam publikasi yang disampaikan oleh Salter et al. (2004), dijelaskan bahwa masing-masing jenis portal frame memiliki karakteristik serta keunikan tersendiri. Adapun tipe-tipe portal frame tersebut di antaranya adalah:

1. Rangka Portal Simetris (*Pitched roof portal*)



Gambar 2.13 Model Struktur Portal simetris.

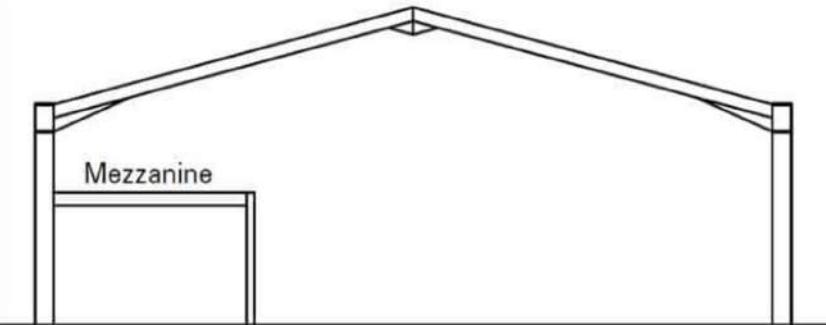
Portal atap bernada simetris dengan bentang tunggal atau dikenal sebagai pitched roof portal umumnya memiliki karakteristik sebagai berikut :

- Memiliki rentang bentang antara 15 hingga 50 meter,
- Tinggi atap berkisar antara 5 hingga 10 meter,
- Sudut kemiringan atap berada dalam kisaran 5 hingga 10 derajat, dengan sudut 6 derajat sebagai pilihan umum,

- Jarak antar portal biasanya berada dalam rentang 5 hingga 8 meter.
- *Haunch* Atau penebalan diberikan pada sambungan antara kolom dan rafter serta di titik puncak pertemuan antar rafter.

Karakteristik – karakteristik tersebut umumnya ditetapkan atas dasar pertimbangan ekonomi dibandingkan alternative bentuk struktur lainnya. Penerapan haunch di area atap maupun puncak membantu mengurangi dimensi rafter yang dibutuhkan dan mendukung terbentuknya sambungan momen yang optimal.

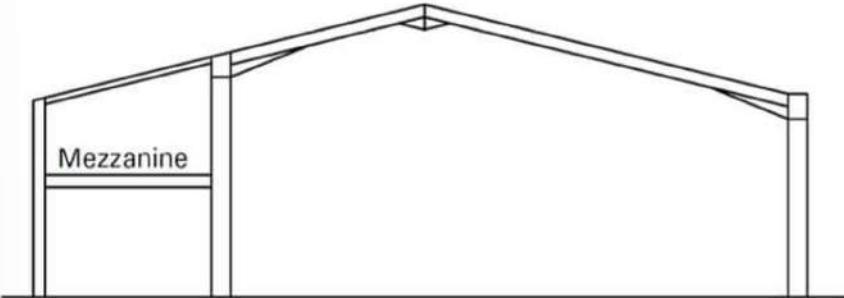
2. *Portal frame* dengan lantai *mezzanine*.



Gambar 2.14 Model Struktur Portal frame dengan lantai mezzanine.

Struktur portal ini serupa dengan struktur *portal frame* simetris, namun memiliki tambahan berupa *mezzanine* pada rangka portalnya. *Mezzanine* merupakan area tambahan yang terletak di antara lantai utama dan plafon, atau dapat pula berada pada ketinggian yang sejajar dengan lantai dua dalam bangunan bertingkat. Keberadaan *mezzanine* berfungsi untuk memaksimalkan penggunaan ruang vertikal tanpa memerlukan pembangunan lantai penuh tambahan.

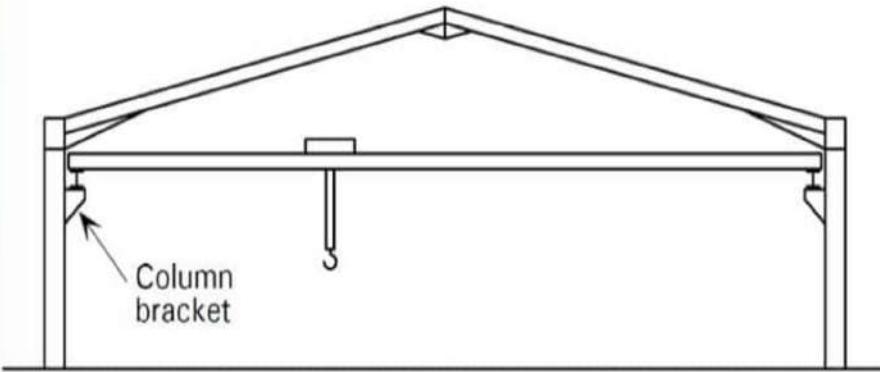
3. *Portal Frame* dengan “lean-to”



Gambar 2.15 Model Struktur Portal fame dengan lean-to.

Keunggulan utama dari portal ini adalah bahwa kolom dan hanch tidak mengganggu area kantor, karena sistem portal ini sepenuhnya bersifat *lean-to*. portal harus didesain dengan tujuan agar mampu memberikan stabilitas pada ruang tersebut, dengan prinsip yang serupa seperti saat rangka portal digunakan untuk menstabilkan area *mezzanine*.

4. *Portal frame* derek dengan kolom braket

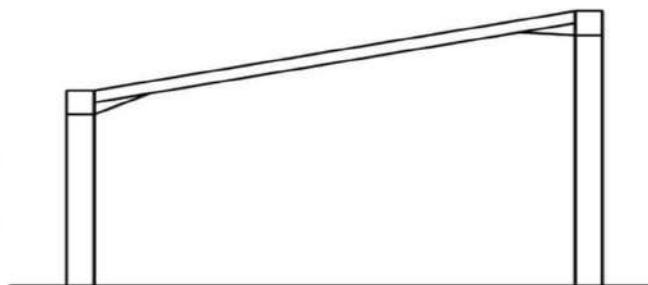


Gambar 2.16 Model Struktur Portal fame dengan kolom braket.

Pada portal frame yang dirancang untuk mendukung pemasangan derek pengangkat dengan kapasitas relative minim (sekitar 20 ton), *bracket* dapat menempati pada kolom sebagai penopang rel derek, dapat dilihat pada **Gambar 2.16**.

Untuk meminimalkan defleksi pada atap akibat beban operasional derek, mungkin diperlukan penggunaan ikatan atau fondasi kolom yang bersifat kaku. Selain itu, distribusi beban pada elemen portal di elevasi rel derek menjadi aspek penting dalam menjaga kinerja optimal sistem pengangkutan. Oleh karena itu, sangat disarankan agar persyaratan teknis elemen struktur ini dikonsultasikan dan disesuaikan dengan spesifikasi dari produsen derek yang digunakan.

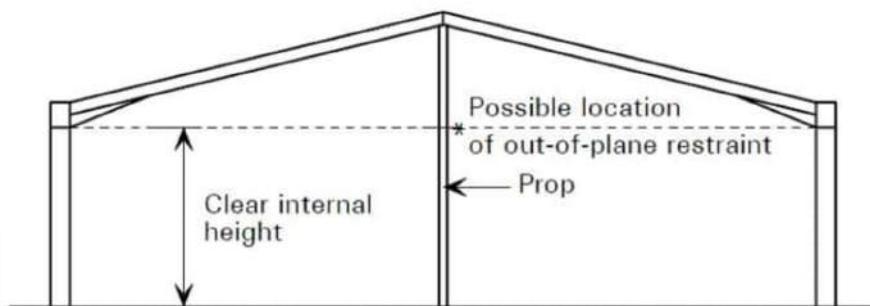
5. *Mono-pitch portal frame*



Gambar 2.17 Model Struktur mono-pitch portal frame.

Jenis portal ini umumnya diaplikasikan untuk bangunan dengan bentang relative pendek atau yang berdekatan dengan struktur lainnya. Jenis portal ini merupakan tipe sederhana dari sistem rangka portal dan sering diaplikasikan pada bangunan berukuran kecil, dengan bentang maksimum hingga sekitar 15 meter.

6. Rangka portal dengan penopang (*Propped portal frame*)



Gambar 2.18 Model Struktur rangka portal dengan penopang.

Portal frame dengan bentang besar (lebih dari 30 meter) umumnya tidak membutuhkan area bebas antar portal. Penggunaan sistem rangka dengan elemen penyanga (bracing) dapat membantu mengurangi dimensi rafter serta gaya desakan horizontal, sehingga memberikan keuntungan dari segi efisiensi penggunaan material baja maupun kebutuhan pondasi, yang pada akhirnya lebih ekonomis secara keseluruhan.

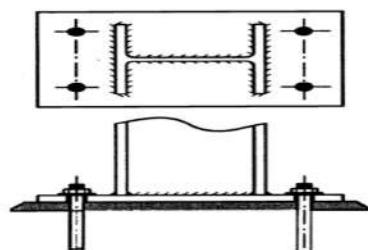
Dalam merancang struktur portal, diperlukan analisis struktur untuk mendapatkan besar gaya-gaya dalam serta momen yang akibatkan gaya yang bekerja pada struktur. Hasil dari analisis ini akan menentukan dimensi elemen struktural seperti elemen Beam, elemen Kolom, elemen Sloof, ketebalan pelat lantai, ketebalan pelat atap, dan dimensi pondasi.

Sesuai dengan ketentuan peraturan gempa dan beton terkini (SNI Beton 2019), perencanaan struktur gedung portal beton bertulang dapat dilakukan melalui tiga pendekatan, antara lain sebagai berikut:

1. Perencanaan Gedung menggunakan sistem pendekatan elastik penuh.
2. Perencanaan Gedung menggunakan sistem pendekatan daktail parsial.
3. Perencanaan Gedung menggunakan sistem pendekatan daktail penuh.

Struktur portal terdiri dari beberapa elemen kunci yang saling terhubung membentuk rangka atau kerangka struktur. Berikut adalah elemen-elemen utama struktur portal :

2.4.1. Base Plate



Gambar 2.19 Model Pelat dasar (*base plate*).