

BAB II

KAJIAN TEORI

2.1 Struktur Baja

2.1.1 Pengertian

Struktur baja merupakan sistem konstruksi yang menggunakan baja sebagai elemen utama dalam menahan beban, baik vertikal maupun horizontal. Baja dipilih karena sifat mekanisnya yang unggul, seperti kekuatan tarik yang tinggi dan kemampuan menahan deformasi sebelum terjadi keruntuhan. Dalam literatur teknik, dijelaskan bahwa struktur baja memiliki kelebihan dalam hal efisiensi penggunaan material, kemudahan fabrikasi, dan kecepatan pemasangan di lapangan (Subakti, 2016).

Di sisi lain, struktur baja juga dikenal fleksibel dan dapat dikembangkan menjadi sistem struktur yang kompleks, sehingga sering digunakan pada gedung bertingkat tinggi dan bangunan bentang lebar (Johnson, 1996).

2.1.2 Karakteristik Baja

Baja sebagai material struktural memiliki beberapa sifat penting yang menjadikannya unggul dalam perencanaan struktur, seperti homogenitas, isotropik, dan daktilitas yang tinggi. Sifat daktil ini membuat baja mampu menyerap energi dalam jumlah besar sebelum mengalami keruntuhan, suatu karakteristik penting dalam desain struktur tahan gempa. Dalam standar perencanaan nasional, dijelaskan bahwa kekuatan tarik minimum serta kemampuan sambungan, baik melalui pengelasan maupun baut, menjadi syarat utama kelayakan baja sebagai elemen struktural (SNI 1729:2020).

Secara umum, karakteristik mekanis baja struktural meliputi hal-hal berikut:

Modulus elastisitas (E)	: 200.000 MPa
Modulus geser (G)	: 80.000 MPa
Angka poisson (μ)	: 0,3
Koefisien pemuaian (α)	: $12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$

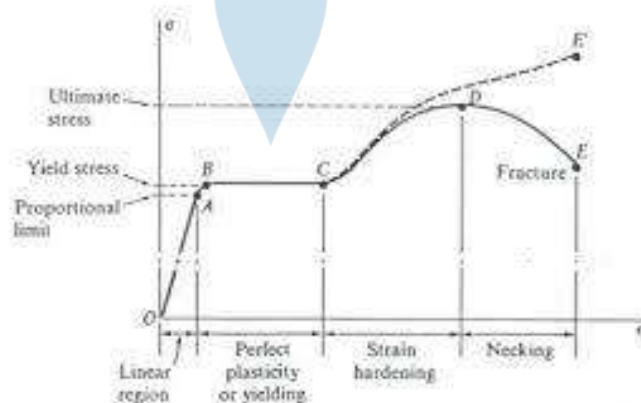
Karakteristik mekanis baja struktural dapat dilihat dari beberapa parameter utama, yaitu tegangan leleh (f_y), tegangan tarik ultimit (f_u), dan persen regangan minimum. Nilai-nilai tersebut mengacu pada standar ASTM yang banyak digunakan dalam perencanaan struktur baja. Tabel berikut menyajikan beberapa jenis baja struktural beserta nilai karakteristik mekanisnya sesuai dengan standar ASTM:

Tabel 2.1 Jenis baja struktural berdasarkan ASTM

Jenis Baja	Tegangan Tarik Ultimit, f_u MPa (ksi)	Tegangan Leleh Minimum, f_y MPa (ksi)	Regangan Minimum (%)
ASTM A36/36M	400–550 (58–80)	250 (36)	- 20% (tebal minimum 200 mm) - 20% (tebal minimum 200 mm)
ASTM A529/A529M Grade 50	485–690 (70–100)	345 (50)	- 18% (tebal minimum 50 mm) - 21% (tebal minimum tidak disebutkan)
ASTM A572/A572M Grade 42	415 (60)	290 (42)	- 20 % (tebal min. 200 mm) - 24 % (tebal min. 50 mm)
ASTM A572/A572M Grade 50	450 (65)	345 (50)	- 18 % (tebal min. 200 mm) - 21 % (tebal min. 50 mm)
ASTM A572/A572M Grade 55	485 (70)	380 (55)	- 17 % (tebal min. 200 mm) - 20 % (tebal min. 50 mm)
ASTM A572/A572M Grade 60	450 (75)	415 (60)	- 16 % (tebal min. 200 mm) - 18 % (tebal min. 50 mm)
ASTM A572/A572M Grade 65	520 (80)	450 (65)	- 15 % (tebal min. 200 mm) - 17 % (tebal min. 50 mm)
ASTM A588/A588M	485 (70)	345 (50)	- 18 % (tebal min. 200 mm) - 21 % (tebal min. 50 mm)
ASTM	400–500 (58–	250 (36)	- 20 % (tebal min.

Jenis Baja	Tegangan Tarik Ultimit, f_u MPa (ksi)	Tegangan Leleh Minimum, f_y MPa (ksi)	Regangan Minimum (%)
A709/A709M Grade 36	80)		200 mm) - 21 % (tebal min. 50 mm)
ASTM A709/A709M Grade 50	450 (65)	345 (50)	- 18 % (tebal min. 200 mm) - 21 % (tebal min. 50 mm)
ASTM A709/A709M Grade 50S	450 (65)	345-450 (50-65)	- 18 % (tebal min. 200 mm) - 21 % (tebal min. 50 mm)
ASTM A913/A913M Grade 50	450 (65)	345 (50)	- 18 % (tebal min. 200 mm) - 21 % (tebal min. 50 mm)
ASTM A913/A913M Grade 65	550 (80)	450 (65)	- 15 % (tebal min. 200 mm) - 17 % (tebal min. 50 mm)
ASTM A992/A992M	450 (65)	345-450	- 18 % (tebal min. 200 mm) - 21 % (tebal min. 50 mm)

Karakteristik tarik baja dapat dijelaskan melalui kurva tegangan-regangan yang menggambarkan hubungan antara tegangan (σ) terhadap regangan (ϵ) saat material dikenai pembebanan tarik secara bertahap.



Gambar 2.1 Grafik tegangan regangan

Pada tahap awal pembebanan, baja menunjukkan perilaku elastis linier, di mana tegangan sebanding dengan regangan sesuai dengan hukum Hooke. Wilayah ini disebut daerah elastis, dengan kemiringan kurva merepresentasikan modulus elastisitas (E) yang menunjukkan tingkat kekakuan material. Setelah mencapai tegangan leleh (*yield stress*), baja mengalami transisi menuju deformasi plastis, yakni kondisi di mana perubahan bentuk menjadi permanen meskipun pembebanan tidak bertambah. Pada baja lunak, seringkali dijumpai dua titik leleh, yaitu *upper yield point* dan *lower yield point*. Seiring bertambahnya regangan, material memasuki daerah plastis yang ditandai dengan peningkatan regangan yang signifikan hingga mencapai tegangan maksimum (*ultimate tensile strength*, f_u). Setelah titik ini, terjadi fenomena necking atau penyempitan penampang lintang, yang menyebabkan penurunan tegangan hingga akhirnya spesimen putus. Regangan total hingga titik putus menjadi indikator daktilitas (*ductility*) baja. Callister (2007) menyatakan bahwa baja karbon menampilkan transisi tajam dari perilaku elastis ke plastis serta regangan putus yang tinggi, yang menunjukkan bahwa baja merupakan material dengan sifat liat yang baik. Disyaratkan bahwa baja struktural harus memiliki nilai tegangan leleh minimum serta regangan putus tidak kurang dari 12–15% untuk menjamin kelayakan dan ketahanan material dalam aplikasi struktur bangunan.

2.1.3 Jenis Profil Struktur Baja

Profil baja yang umum digunakan antara lain profil I, kanal, siku, dan tubular. Setiap jenis profil memiliki keunggulan tersendiri sesuai dengan fungsi dan arah pembebanan. Elemen-elemen struktural utama dalam konstruksi baja biasanya terdiri dari balok, kolom, rangka batang, dan sambungan. Fungsi utama balok adalah menahan momen lentur akibat beban transversal, sementara kolom berfungsi menyalurkan gaya aksial dari beban vertikal ke pondasi.

Desain dan pemilihan profil baja harus mempertimbangkan faktor kekuatan, kestabilan, dan kepraktisan dalam pemasangan, sebagaimana dijelaskan dalam buku perancangan struktur baja modern (Segui, 2012).

Sebelum merancang struktur baja, khususnya pada elemen yang bekerja sebagai penahan lentur, penting untuk terlebih dahulu menentukan klasifikasi elemen penyusun profil. Klasifikasi ini menjadi dasar dalam menghitung kapasitas lentur nominal (M_n). Penentuan klasifikasi dilakukan berdasarkan rasio antara lebar dan tebal elemen penampang (b/t atau λ). Mengacu pada SNI 1729:2020 yang disusun berdasarkan AISC 2016, terdapat tiga jenis klasifikasi penampang lentur yaitu penampang kompak, nonkompak, dan langsing.

a. Penampang kompak

Penampang kompak adalah penampang yang elemen-elemen penyusunnya memiliki dimensi sedemikian rupa sehingga mampu mengalami plastifikasi penuh sebelum terjadi lokal buckling (tekuk lokal). Artinya, seluruh penampang dapat berkontribusi secara maksimal dalam menahan momen lentur hingga terbentuk mekanisme plastis. Rasio lebar terhadap tebal dari elemen penampang harus lebih kecil atau sama dengan batas kompak.

$$\lambda \leq \lambda_p$$

Dengan:

λ = Rasio lebar terhadap tebal elemen penampang

λ_p = Batas atas penampang kompak

b. Penampang non-kompak

Penampang non-kompak adalah penampang yang dapat mencapai tegangan leleh pada sebagian besar luas penampang, tetapi tidak mampu membentuk bidang plastis sepenuhnya karena terjadi tekuk lokal terlebih dahulu. Kapasitas lenturnya lebih kecil dibanding penampang kompak, namun lebih besar dari penampang langsing.

$$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$$

Dengan:

λ = Rasio lebar terhadap tebal elemen penampang

λ_p = Batas penampang kompak

λ_r = Batas penampang langsing

c. Langsing

Penampang langsing adalah penampang yang mengalami tekuk lokal sebelum mencapai tegangan leleh, sehingga kekuatan lenturnya harus dikurangi secara signifikan. Elemen-elemen langsing bersifat tidak efisien dan perlu pendekatan reduksi kapasitas lentur.

$$\lambda > \lambda_r$$

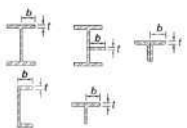
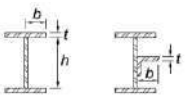
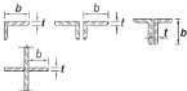
Dengan:

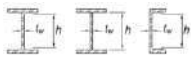
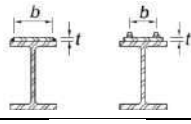
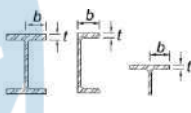
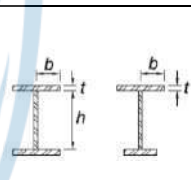
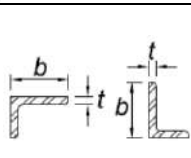
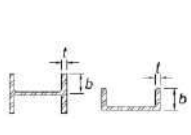
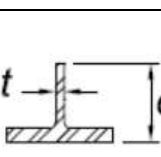
λ = Rasio lebar terhadap tebal elemen penampang

λ_r = Batas penampang langsing

Rasio lebar terhadap tebal untuk elemen tekan pada anggota struktur yang mengalami beban aksial diatur dalam ASCI 2016 Table B4.1a dan B4.1b serta SNI 1729:2020 Tabel B4.1a dan 1b.

Tabel 2.2 Rasio lebar terhadap tebal

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar Terhadap Tebal	Batas Rasio Lebar Terhadap Tebal λ , (nonlangsing/langsing)	Contoh
Elemen diperkaku	1	Sayap profil I gilas panas, pelat yang diproyeksikan dari profil I gilas panas, kaki berdiri bebas dari sepasang siku yang disambung dengan kontak menerus, sayap kanal, dan sayap T.	b/t	$0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2	Sayap profil I tersusun, dan pelat atau kaki siku yang diproyeksikan dari profil I tersusun.	b/t	$0,64 \sqrt{\frac{K_c E}{F_y}}$	
	3	Kaki siku tunggal, kaki siku ganda dengan pemisah, dan semua elemen tidak diperkaku	b/t	$0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

Elemen tidak diperkaku		lainnya.			
	4	Badan T	d/t	$0,75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	5	Badan profil I simetris ganda, penampang profil I tersusun, dan kanal.	h/t_w	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6	Dinding PSR persegi panjang	b/t	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7	Pelat penutup sayap dan pelat diafragma antara baris-baris pengencang atau las	b/t	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8	Semua elemen diperkaku lainnya	b/t	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9	PSR Bulat	D/t	$0,11 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	10	Sayap profil I gilas panas, kanal, dan T	b/t	$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $\lambda_p = 1,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11	Sayap profil tersusun bentuk I simetris ganda dan Tunggal	b/t	$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $\lambda_p = 0,98 \sqrt{\frac{KcE}{F_y}}$	
	12	Kaki siku Tunggal	b/t	$\lambda_p = 0,54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $\lambda_p = 0,91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13	Sayap semua profil I dan kanal yang mengalami lentur terhadap sumbu lemah	b/t	$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $\lambda_p = 1,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	Badan T	d/t	$\lambda_p = 0,84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $\lambda_p = 1,52 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

2.1.4 Kelebihan dan Kekurangan Struktur Baja

Struktur baja memiliki keunggulan dalam kekuatan tinggi terhadap beratnya, efisiensi konstruksi, serta kemudahan pembongkaran dan perakitan ulang. Selain itu, terdapat beberapa keunggulan lain yaitu:

- a. Baja memiliki kekuatan yang tinggi, sehingga memungkinkan penggunaan penampang yang lebih kecil dan berdampak pada pengurangan berat total struktur.
- b. Komposisi material baja bersifat lebih konsisten dan homogen.
- c. Baja memiliki tingkat elastisitas yang tinggi dan perilakunya mengikuti hukum Hooke dengan baik.
- d. Nilai momen inersia pada elemen baja dapat dihitung secara presisi, sehingga mendukung akurasi analisis struktur.
- e. Material baja memiliki daktilitas yang baik, yaitu mampu mengalami deformasi besar tanpa langsung mengalami kegagalan, serta memiliki tegangan tarik yang tinggi.
- f. Ketangguhan (*toughness*) baja ditunjukkan oleh kemampuannya dalam menyerap energi dalam jumlah besar sebelum mengalami keruntuhan.
- g. Proses pemasangan baja tergolong mudah dan dapat diintegrasikan dengan struktur eksisting, sehingga dapat mempercepat pelaksanaan proyek konstruksi.

Namun demikian, baja juga memiliki kekurangan, antara lain:

- a. Baja rentan mengalami korosi jika terkena paparan langsung udara lembab atau air, sehingga memerlukan perlindungan tambahan seperti pelapisan cat secara berkala.
- b. Karena sifatnya yang sangat menghantarkan panas, baja memerlukan perlakuan tahan api khusus, yang menambah biaya konstruksi, seperti penggunaan lapisan fireproofing.
- c. Elemen baja yang bekerja dalam kondisi tekan memiliki kecenderungan mengalami tekuk, sehingga perlu diperhatikan dalam desain.
- d. Beban berulang (*fatigue*) dapat mempengaruhi kinerja elemen struktur dan sambungannya, sehingga perlu diperhitungkan dalam perencanaan.

- e. Dalam kondisi tertentu, baja dapat kehilangan sifat daktilnya dan mengalami keruntuhan getas (*brittle failure*), terutama pada bagian dengan konsentrasi tegangan tinggi.

2.2 Peraturan dan Standar yang Digunakan

Peraturan yang digunakan dalam perancangan ini yaitu:

1. SNI 1729:2020 – Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Struktur Baja
2. AISC 360-16 – *Specification for Structural Steel Buildings*
3. SNI 1726:2019 – Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan
4. SNI 1727:2020 – Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lainnya
5. SNI 2847:2019 – Tata cara perencanaan struktur beton

2.3 Struktur Atas

2.3.1 Perencanaan Elemen Lentur (Balok)

Elemen lentur atau balok merupakan komponen struktur yang berfungsi utama menahan momen lentur dan gaya geser akibat beban yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu panjang elemen. Dalam struktur baja, perencanaan balok menjadi hal yang sangat penting karena elemen ini berperan dalam mendistribusikan beban dari pelat lantai atau atap ke sistem rangka utama, seperti kolom atau girder. Perencanaan balok baja harus memperhatikan beberapa aspek, antara lain kapasitas lentur nominal (M_n), stabilitas lateral (*lateral-torsional buckling*), kekuatan terhadap geser, deformasi, serta klasifikasi penampang. Klasifikasi penampang dilakukan berdasarkan rasio lebar terhadap tebal (b/t) elemen penampang, yang menentukan apakah suatu penampang tergolong kompak, non-kompak, atau langsing. Hal ini penting karena akan mempengaruhi metode dan rumus perhitungan kekuatan lenturnya. Dalam praktiknya, profil baja yang umum digunakan untuk balok adalah profil *Wide Flange* (WF) karena memiliki kekakuan tinggi terhadap lentur dan efisiensi material yang baik. Untuk struktur ringan, profil kanal (C) juga sering digunakan, namun memerlukan perhatian khusus terhadap kestabilan lateral karena sifatnya yang lebih

rentan terhadap gaya lateral dan puntir, sehingga seringkali dibutuhkan pengaku atau bracing tambahan. Perhitungan kapasitas lentur harus mengacu pada ketentuan dalam standar perencanaan seperti SNI 1729:2020, yang merupakan adopsi dari AISC (American Institute of Steel Construction). Standar ini mengatur perhitungan berdasarkan prinsip LRFD (*Load and Resistance Factor Design*) maupun ASD (*Allowable Strength Design*), termasuk perhitungan terhadap efek tekuk lateral, klasifikasi penampang, serta faktor-faktor reduksi kekuatan akibat elemen langsing. Dengan memperhatikan seluruh aspek tersebut secara cermat, perencanaan elemen lentur dapat menghasilkan struktur yang aman, efisien, dan memenuhi standar teknis yang berlaku.

Metode LRFD Konsep perencanaan elemen lentur didasarkan pada pendekatan metode LRFD (*Load and Resistance Factor Design*) sesuai dengan ketentuan dalam SNI 1729:2020, yang menyatakan bahwa:

$$\phi_b M_n \geq M_u$$

Dengan:

- M_u = Momen lentur ultimit
- M_n = Momen lentur desaint
- ϕ_b = koefisien

Nilai M_u merupakan momen ultimit yang diperoleh dari hasil analisis struktur akibat kombinasi beban luar yang telah dikalikan dengan faktor beban. Sementara itu, M_n merepresentasikan kapasitas lentur desain atau kekuatan penampang yang telah dikalibrasi dengan faktor reduksi. Mengacu pada SNI 1729:2020, perhitungan kapasitas lentur dapat dilakukan menggunakan dua pendekatan, yaitu kekuatan lentur desain ($\phi_b M_n$) dengan faktor reduksi $\phi_b = 0,90$ dan kekuatan lentur izin (M_n / Ω_b) dengan faktor keamanan $\Omega_b = 1,67$.

Momen ultimit (M_u) yang diperoleh dari analisis beban terfaktor kemudian dibandingkan dengan kapasitas penampang lentur, salah satunya berupa momen plastis (M_p) yaitu kapasitas maksimum teoritis penampang saat seluruh serat telah mencapai tegangan leleh. Dalam kondisi ideal tanpa kegagalan akibat tekuk lokal atau lateral, nilai momen plastis digunakan sebagai acuan kapasitas lentur nominal (M_n) untuk penampang kompak. Momen plastis (M_p) diperoleh dari analisis distribusi tegangan plastis penuh pada penampang. Artinya, momen plastis merupakan kapasitas maksimum lentur saat seluruh luas

penampang telah mencapai tegangan leleh (f_y), sehingga menghasilkan bidang netral plastis yang membagi penampang menjadi dua bagian yang seimbang—bagian atas mengalami tekan dan bagian bawah tarik (atau sebaliknya tergantung arah lentur). $M_p = F_y \times Z$ Dengan: M_p = Momen plastis (kNm) Z = Modulus plastis penampang (mm^3 atau cm^3) F_y = Tegangan leleh baja (MPa) Tegangan Lentur Tegangan lentur adalah tegangan yang diakibatkan oleh adanya momen lentur. $f_b = \frac{My}{I_x}$ digunakan pada kondisi elastis yang tegangan lenturnya terjadi pada sembarang titik di ketinggian y terhadap garis netral. $f_{max} = \frac{M}{S_x}$ digunakan untuk tegangan lentur maksimum yang terletak di serat terluar dengan nilai $y = c$.

Dengan:

M = Momen lentur pada suatu penampang

y = Jarak antar garis netral ke serat yang ditinjau secara tegak lurus

c = Jarak dari garis netral terhadap serat terluar penampang secara tegak lurus

I_x = Momen Inersia pada sumbu utama x (in^4 atau mm^4)

Modulus penampang elastis terhadap sumbu x , dilambangkan dengan S_x (dalam satuan in^3 atau mm^3), menunjukkan kapasitas lentur penampang pada kondisi elastis, di mana tegangan maksimum yang terjadi tidak boleh melampaui tegangan leleh material ($f_{maks}=f_y$). Oleh karena itu, momen lentur pada kondisi elastis dapat dihitung dengan persamaan $M_y=f_y \cdot S_x$. Sementara itu, perbandingan antara modulus plastis (Z) dan modulus elastis (S) dikenal dengan istilah *shape factor* (SF), yang dihitung menggunakan rumus:

$$SF = \frac{Z}{S}$$

Shape factor ini menggambarkan efisiensi bentuk penampang dalam memobilisasi kapasitas lenturnya dari kondisi elastis hingga plastis.

a. Tekuk Lokal dan Tekuk Lateral

Tekuk lokal merupakan bentuk kegagalan yang terjadi pada elemen-elemen tipis penampang, seperti sayap atau badan profil baja, yang mengalami deformasi lokal akibat gaya tekan sebelum seluruh penampang mencapai kapasitas leleh penuh. Fenomena ini umumnya terjadi pada elemen dengan rasio lebar terhadap tebal (b/t) yang besar, di mana bagian penampang menjadi terlalu ramping sehingga kehilangan kestabilan secara lokal.

Meskipun secara keseluruhan struktur belum mengalami kegagalan global, tekuk lokal dapat secara signifikan menurunkan kapasitas lentur atau tekan elemen tersebut. Ciri utama dari tekuk lokal adalah terjadinya pelipatan atau gelombang pada bagian tertentu dari penampang yang menahan tekan. Kondisi ini sering dijumpai pada profil dengan elemen tidak diperkaku, seperti pelat tipis atau profil kanal terbuka. Untuk mencegahnya, desain penampang harus memperhatikan batas rasio b/t sesuai ketentuan dalam SNI 1729:2020, menggunakan profil kompak, atau menambahkan pengaku pada elemen-elemen tekan. Tekuk lokal menjadi pertimbangan penting dalam klasifikasi penampang karena menentukan apakah penampang mampu mencapai kapasitas momen plastis atau tidak.

Berdasarkan SNI 1729:2020, terdapat tiga parameter batasan utama yang harus dianalisis untuk menentukan apakah elemen lentur berpotensi mengalami tekuk torsi lateral (*lateral-torsional buckling*). Ketiga parameter ini menjadi acuan dalam mengevaluasi stabilitas elemen terhadap puntir dan perpindahan lateral saat menerima beban lentur.

- Jika $L_b \leq L_p$ maka tidak terjadi tekuk lateral
- Jika $L_p < L_b \leq L_r$ dan $L_b > L_r$ maka tekuk lateral dapat terjadi dan akan memengaruhi perhitungan kapasitas momen nominal penampang, sebagaimana diatur dalam Bab F pada SNI 1729:2020.

Faktor modifikasi untuk tekuk torsi-lateral pada kondisi momen yang tidak merata, dengan pengekangan pada kedua sisi, dinyatakan dengan nilai C_b sebagai berikut:

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

Dengan:

$C_b = 1,0$ digunakan jika momen – momen ujung yang sama besar dan berlawanan arah (momen beragam).

M_{maks} = Momen terbesar

M_A = Momen seperempat bentang

M_B = Momen tengah bentang

M_C = Momen tiga-perempat bentang

b. Klasifikasi Profil Baja

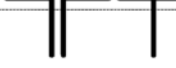
Sebelum merancang struktur baja, khususnya pada elemen yang bekerja sebagai penahan lentur, penting untuk terlebih dahulu menentukan klasifikasi dari elemen-elemen penyusun penampang. Klasifikasi ini menjadi dasar dalam menghitung kapasitas lentur nominal (M_n). Penentuan klasifikasi didasarkan pada rasio lebar terhadap tebal elemen (b/t atau λ). Mengacu pada SNI 1729:2020 yang disusun berdasarkan AISC 2016, terdapat tiga jenis klasifikasi penampang batang lentur sebagaimana tercantum dalam Tabel ...

c. Perencanaan Kuat Batas

Menurut Bab F dalam SNI 1729:2020 yang membahas tentang perencanaan elemen struktur penahan lentur, terdapat berbagai rumus perhitungan yang penggunaannya disesuaikan dengan bentuk serta klasifikasi penampang, baik kompak, nonkompak, maupun langsing.

Tabel 2.3 disajikan untuk memudahkan proses analisis struktur, karena prosedur perhitungannya ditampilkan secara sistematis sehingga lebih mudah dipahami dan diterapkan.

Tabel 2.3 Penampang baja dan kelangsingan

Pasal dalam Bab F	Penampang melintang	Kelangsingan Sayap	Kelangsingan Badan F	Keadaan Batas
F2		C	C	Y, LTB
F3		NC, S	C	LTB, FLB
F4		C, NC, S	C, NC	CFY, LTB, FLB, TFY
F5		C, NC, S	S	CFY, LTB, FLB, TFY
F6		C, NC, S	N/A	Y, FLB
F7		C, NC, S	C, NC, S	Y, FLB, WLB, LTB
F8		N/A	N/A	Y, LB
F9		C, NC, S	N/A	Y, LTB, FLB, WLB
F10		N/A	N/A	Y, LTB, LLB

Pasal dalam Bab F	Penampang melintang	Kelangsingan Sayap	Kelangsingan Badan F	Keadaan Batas
F11		N/A	N/A	Y, LTB
F12	Bentuk tidak – simetris selain siku tunggal	N/A	N/A	Semua keadaan batas
Y = leleh, CFY = leleh sayap tekan, LTB = tekuk torsi-lateral, FLB = tekuk local sayap, WLB = tekuk local badan, TFY = leleh sayap Tarik, LLB = tekuk local kaki, LB = tekuk local, C = kompak, NC = nonkompak, S = langsing, N/A = tidak berlaku				

d. Perencanaan Kuat Geser Nominal

Setelah kapasitas momen lentur dinyatakan memenuhi persyaratan yang tercantum dalam Bab F SNI 1729:2020, langkah berikutnya adalah melakukan evaluasi terhadap kapasitas geser pelat badan sesuai ketentuan pada Bab G. Secara umum, kapasitas geser yang direncanakan dengan pendekatan LRFD (*Design for Bending and Torsion/DFBT*) harus memenuhi persamaan sebagai berikut:

$$V_u \leq \phi_v V_n$$

Di mana V_u merupakan gaya geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban terfaktor, ϕ_v adalah faktor reduksi geser dengan nilai sebesar 0,9 (kecuali untuk elemen badan dari profil-I gelas panas, yang nilainya sebesar 1,0), dan V_n adalah kapasitas geser nominal dari balok.

$$V_n = 0,6F_y \times A_w \times C_v1$$

Dengan:

A_w = luas badan = $d \cdot t_w$ (in² atau mm²)

C_v1 = koefisien kekuatan geser badan

Badan profil-I dengan $h/tw \leq 2,24 \sqrt{E/Fy}$

$\phi_v = 0,1$ (DFBT)

$\Omega_v = 1,50$ (DKI)

$Cv1 = 1,0$

Semua komponen profil-I lain dan kanal

Jika $h/tw \leq 1,10 \sqrt{KvE/Fy}$ maka $Cv1 = 1,0$

Jika $h/tw > 1,10 \sqrt{KvE/Fy}$ maka $Cv1 = \frac{1,10 \sqrt{KvE/Fy}}{h/tw}$

$Kv=5,34$ (tanpa pengaku transversal)

$Kv = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$ (dengan pengaku transversal)

$Kv = 5,34$ jika $\frac{a}{h} > 30$

Dengan aksi medan Tarik ($a/f < 30$)

Jika $h/tw \leq 1,10 \sqrt{\frac{KvE}{Fy}}$, maka $Vn = 0,6FyAw$

2.3.2 Sistem dan Elemen Struktur Baja

1. Sistem Portal

Sistem portal pada struktur baja merupakan sistem rangka kaku yang terdiri dari elemen vertikal (kolom) dan horizontal (balok) yang terhubung melalui sambungan kaku sehingga mampu menahan beban gravitasi maupun beban lateral seperti angin dan gempa. Dalam sistem ini, gaya lateral ditahan melalui rotasi dan momen yang terjadi pada sambungan balok-kolom, sehingga sistem ini tidak memerlukan elemen tambahan seperti bracing atau dinding geser untuk menjaga kestabilannya (Salmon & Johnson, 1996).

Sistem portal baja banyak diaplikasikan pada bangunan bertingkat rendah hingga menengah, seperti gudang, pabrik, dan gedung komersial, karena kemampuannya dalam mendistribusikan gaya secara efisien dan fleksibilitas dalam perencanaan. Menurut Gunawan (2011) dalam bukunya *Struktur Baja*, keunggulan utama sistem portal baja terletak pada kemudahan fabrikasi, kecepatan pemasangan, serta bobot struktur yang relatif ringan dibanding sistem beton.

Namun demikian, sistem ini juga memiliki tantangan, seperti kebutuhan terhadap perlindungan korosi dan kebakaran serta perencanaan sambungan yang lebih kompleks. Oleh karena itu, perencanaan sistem portal baja harus memperhatikan aspek kekakuan, ketahanan momen, serta detailing sambungan untuk memastikan performa struktur yang optimal dalam kondisi pembebanan ekstrem.

2. Fungsi dan Peran Elemen

Elemen struktur baja memiliki peran vital dalam menyusun sistem struktur bangunan agar mampu menahan berbagai jenis beban dengan aman dan efisien. Setiap elemen memiliki fungsi spesifik, seperti kolom yang berperan menyalurkan beban vertikal dari lantai ke pondasi, balok yang menahan beban lentur dari lantai atau atap, serta elemen bracing yang menjaga kestabilan struktur terhadap gaya lateral akibat angin atau gempa.

Menurut Subramanian (2008) dalam bukunya *Design of Steel Structures*, struktur baja dirancang dengan mengoptimalkan kekuatan dan kekakuan masing-masing elemen agar bekerja secara integral dalam menahan gaya dalam yang timbul. Elemen-elemen tersebut, seperti profil WF, kanal, sudut, dan pelat, dipilih berdasarkan kebutuhan kekuatan, bentuk penampang, serta efisiensi material. Selain itu, struktur baja juga memungkinkan fleksibilitas dalam perakitan dan modifikasi, serta mempercepat waktu

konstruksi karena komponen dapat difabrikasi terlebih dahulu. Sebagaimana dijelaskan oleh Gunawan (2011), keberhasilan sistem struktur baja sangat ditentukan oleh peran masing-masing elemen dalam mendistribusikan beban secara merata dan mempertahankan stabilitas keseluruhan sistem bangunan.

Oleh karena itu, pemahaman terhadap fungsi dan interaksi antar elemen struktur sangat penting dalam proses perencanaan dan analisis struktur baja.

2.4 Perencanaan Sambungan Struktur Baja

Sambungan dalam struktur baja merupakan elemen penting yang berfungsi menghubungkan antar komponen baja, seperti kolom, balok, dan pelat, sehingga mampu bekerja sebagai satu kesatuan struktur. Perencanaan sambungan yang tepat sangat krusial untuk menjamin keselamatan, kestabilan, dan kinerja struktur secara keseluruhan.

Menurut AISC 360-16 (*Specification for Structural Steel Buildings*), sambungan baja dapat didesain menggunakan dua pendekatan utama, yaitu:

- *Load and Resistance Factor Design* (LRFD)
- *Allowable Strength Design* (ASD)

2.4.1 Sambungan Antar Elemen Baja

Sambungan dalam struktur baja adalah elemen yang menghubungkan dua atau lebih batang atau komponen struktur baja sehingga dapat bekerja secara integral dalam menyalurkan beban dan gaya. Keandalan sambungan sangat menentukan kinerja dan keamanan keseluruhan struktur. Sebuah sambungan yang dirancang dengan buruk dapat menjadi titik lemah yang menyebabkan kegagalan struktur, terutama pada kondisi pembebanan ekstrem seperti gempa atau angin kencang.

Menurut Salmon, Johnson, dan Malhas (2009), sambungan struktur baja memiliki tanggung jawab utama dalam meneruskan beban antara elemen struktur dengan kekakuan, kekuatan, dan daktilitas yang memadai.

1. Berdasarkan Metode Penghubung, sambungan dibagi menjadi dua:

a. Sambungan Baut (*Bolted Connection*)

Sambungan pada struktur baja dapat menggunakan baut biasa (*bearing type*) atau baut prategang (*slip-critical type*). Baut biasa bekerja dengan menahan gaya geser melalui kontak langsung antara baut dan lubang baut, sedangkan baut prategang memanfaatkan gaya gesekan akibat gaya prategang yang diberikan pada baut untuk menahan gaya geser. Jenis sambungan ini umum digunakan di lapangan karena proses pemasangannya relatif mudah dan cepat, serta memungkinkan pembongkaran tanpa merusak elemen struktur, sehingga cocok untuk struktur yang bersifat sementara atau membutuhkan fleksibilitas dalam perakitan.

- Kekuatan Geser baut

$$\phi V_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b$$

Dengan:

$$F_{nv} = 0,6 \cdot F_u \text{ untuk tegangan geser}$$

$$\phi = 0,75$$

- Kekuatan Tarik baut

$$\phi T_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b$$

Dengan:

$$F_{nt} = F_u \cdot \phi = 0,75$$

Table 3 — Mechanical and physical properties of bolts, screws and studs

No.	Mechanical or physical property	Property class									
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8		9.8	10.9	12.9/12.9
							$d \leq 16 \text{ mm}^a$	$d > 16 \text{ mm}^b$	$d \leq 16 \text{ mm}$		
1	Tensile strength, R_m , MPa	nom. ^c	400	500	500	600	800	800	900	1 000	1 200
		min.	400	420	500	520	600	800	830	900	1 040
2	Lower yield strength, R_{eL}^d , MPa	nom. ^c	240	—	300	—	—	—	—	—	—
		min.	240	—	300	—	—	—	—	—	—
3	Stress at 0,2 % non-proportional elongation, $R_{0,02}$, MPa	nom. ^c	—	—	—	—	640	640	720	900	1 080
		min.	—	—	—	—	640	660	720	940	1 100
4	Stress at 0,0048 / non-proportional elongation for full-size fasteners, R_{p1} , MPa	nom. ^c	—	320	—	400	430	—	—	—	—
		min.	—	340 ^e	—	420 ^e	480 ^e	—	—	—	—
5	Stress under proof load, S_p^f , MPa	nom.	225	310	280	380	440	580	600	650	830
		Proof strength ratio $\frac{S_{pnom} R_{p0,2min} \text{ or } S_{pnom} R_{p0,2min} \text{ or } S_{pnom} R_{p0,2min}}{S_{pnom} R_{p0,2min} \text{ or } S_{pnom} R_{p0,2min} \text{ or } S_{pnom} R_{p0,2min}}$	0,94	0,91	0,93	0,90	0,92	0,91	0,91	0,90	0,88
6	Percentage elongation after fracture for machined test pieces, A_1 , %	min.	22	—	20	—	—	12	12	10	9
7	Percentage reduction of area after fracture for machined test pieces, Z , %	min.	—	—	—	—	—	52	48	48	44
8	Elongation after fracture for full-size fasteners, A_1 (see also Annex C)	min.	—	0,24	—	0,22	0,20	—	—	—	—
9	Head soundness	No fracture									

Gambar 2.2 Nilai properti mekanis baut sambungan

Tabel tersebut adalah “Table 3 — Mechanical and physical properties of bolts, screws and studs” ISO 898-1:2013, yang berisi nilai properti mekanis baut berdasarkan kelas kekuatan (*property class*), seperti tensile strength, yield strength, proof stress, elongation, dan *stress under proof load*. Kelas kekuatan baut yang ditampilkan meliputi: 4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.8, 8.8, 9.8, 10.9, hingga 12.9.

b. Sambungan Las (*Welded Connection*)

Sambungan las merupakan metode yang digunakan untuk menghubungkan elemen baja secara permanen dengan cara melelehkan logam pada titik sambungan, sehingga terbentuk ikatan yang kuat antar elemen. Sambungan ini cocok digunakan dalam proses fabrikasi di pabrik, karena dapat dikerjakan dengan kontrol kualitas yang baik dan presisi tinggi. Selain itu, sambungan las memiliki keuntungan minim pemeliharaan karena tidak memerlukan pengencangan ulang seperti pada sambungan baut, serta tidak memiliki komponen yang longgar atau bergerak. Namun,

proses pengelasan di lapangan memerlukan tenaga ahli dan perlindungan terhadap cuaca, sehingga lebih ideal dilakukan di lingkungan pabrik.

$$\phi R_n = 0,75 \cdot 0,6 \cdot F_{EXX} \cdot A_{eff}$$

Dengan:

$$A_{eff} = 0,707 \cdot w \cdot L$$

2. Berdasarkan Perilaku Struktural

a. Sambungan Sendi (*Simple Connection*)

Sambungan jenis ini hanya menyalurkan gaya geser antar elemen dan tidak dirancang untuk menahan momen lentur, karena sambungan dibuat sedemikian rupa agar memungkinkan rotasi relatif antar elemen. Oleh karena itu, sambungan ini tidak kaku terhadap putaran. Salah satu contoh umum adalah sambungan balok ke kolom menggunakan angkur atau pelat sudut, di mana balok dipasang seperti "tersangkut" tanpa kemampuan menahan momen pada titik pertemuan. Sambungan sendi banyak digunakan untuk struktur yang tidak memerlukan kekakuan rotasi di titik sambungannya, dan lebih mudah dalam perakitan.

b. Sambungan Kaku (*Moment Connection*)

Sambungan ini mampu menyalurkan gaya geser sekaligus momen lentur antar elemen, sehingga tidak terjadi rotasi bebas di titik sambungan. Karena mampu mempertahankan sudut antar elemen, sambungan kaku sangat penting dalam pembentukan sistem rangka kaku atau portal, di mana balok dan kolom saling menopang secara menyatu untuk menahan beban lateral. Oleh sebab itu, sambungan kaku umumnya digunakan pada struktur tahan gempa, karena dapat meningkatkan kekakuan dan kestabilan sistem struktur dalam menahan gaya gempa. Sambungan ini biasanya memerlukan pengelasan atau baut dengan konfigurasi

tertentu agar kekakuan momen tercapai secara efektif. Rumus yang umum digunakan dalam perencanaan sambungan momen adalah sebagai berikut.

$$M_n = 2 \cdot T_{bolt} \cdot h$$

2.4.2 Sambungan Angkur ke Pondasi

Sambungan ankur (*anchor connection*) ke pondasi adalah sistem penghubung antara struktur atas (seperti kolom baja) dan elemen pondasi beton (biasanya pondasi tapak atau pondasi rakit), yang menggunakan ankur baut (*anchor bolts*) sebagai pengikat. Sambungan ini sangat penting karena berfungsi mentransfer gaya dari kolom ke pondasi, baik berupa gaya aksial, gaya geser, maupun momen.

Menurut AISC Design Guide 1 (*Base Plate and Anchor Rod Design, 2nd Edition*), sambungan ankur bertugas untuk menjaga agar kolom tetap stabil, tidak tergeser, dan tidak terangkat akibat kombinasi beban vertikal dan lateral. Rumus dan Perhitungan Kapasitas Angkur (mengacu pada ACI 318-14 dan AISC Design Guide 1) sebagai berikut.

1. Kapasitas Tarik Angkur (*Anchor in Tension*)

$$N_n = \min(N_{cb}, N_{pb}, N_{sb})$$

N_{cb} = kapasitas tarik kendala beton (*concrete breakout strength*)

N_{pb} = kapasitas tarik akibat lepasnya ankur (*pullout strength*)

N_{sb} = kapasitas tarik akibat leleh batang ankur (*steel strength*)

2. Kapasitas Geser Angkur (*Anchor in Shear*)

$$V_n = \min(V_{cb}, V_{sb}, V_{cp})$$

V_{cb} = kekuatan geser breakout beton

V_{sb} = kekuatan geser batang baja ankur

V_{cp} = kekuatan geser akibat penumpuan (*concrete pryout*)

3. Kapasitas Baja Angkur (*Steel Strength in Tension or Shear*)

$$Nsb = Ab \cdot Fut \text{ atau } Vsb = 0.6 \cdot Ab \cdot Fut$$

Dengan:

Ab = Luas penampang (mm^2)

Fut = Tegangan tarik maksimum baja angkur (MPa)

4. Faktor reduksi (ϕ) menurut ACI 318

$\phi = 0.75$ (untuk breakout beton dan tarik lepas)

$\phi = 0.75\text{--}0.90$ tergantung jenis kegagalan

2.5 Struktur Bawah

2.5.1 Pondasi Tapak

Pondasi dangkal merupakan jenis pondasi yang menyalurkan beban struktur secara langsung ke tanah di bawahnya. Menurut Terzaghi, pondasi ini dikategorikan sebagai dangkal apabila rasio antara kedalaman dasar pondasi dari permukaan tanah (D) terhadap lebar pondasi (B) kurang dari atau sama dengan satu, yaitu $D / B \leq 1$ (Analisis dan Desain Pondasi Jilid I, Joseph E. Bowles). Pondasi yang memiliki lebar lebih kecil dari kedalamannya juga termasuk dalam kelompok pondasi dangkal. Umumnya, pondasi dangkal memiliki kedalaman tidak lebih dari 3 meter. Jenis-jenis pondasi yang termasuk dalam kategori pondasi dangkal antara lain: pondasi telapak, pondasi konstruksi sarang laba-laba, pondasi memanjang dari batu kali, pondasi batu bata, serta pondasi rakit.

Pondasi tapak atau pondasi telapak merupakan salah satu jenis pondasi dangkal yang paling umum digunakan pada bangunan gedung bertingkat rendah maupun menengah. Pondasi ini berfungsi untuk memikul beban aksial dari kolom dan menyalurkannya langsung ke tanah pendukung di bawahnya.

Pondasi tapak biasanya digunakan pada kondisi tanah yang relatif kuat di kedalaman dangkal dan ketika kolom tidak saling berdekatan satu sama lain (tidak perlu saling terhubung dalam satu kesatuan pondasi seperti pondasi rakit).

Menurut Bowles (1988) dalam buku “Analisis dan Desain Pondasi Jilid I”, pondasi tapak adalah pondasi dengan luasan tertentu di bawah kolom, yang menyebarkan beban kolom ke tanah sehingga tegangan tanah yang terjadi tidak melebihi daya dukung tanah yang diizinkan.

Dalam perencanaan pondasi, digunakan persamaan-persamaan sebagai berikut.

3. Luas minimum pondasi (A) untuk daya dukung tanah

$$A = \frac{P}{q_{allow}}$$

Dengan:

P = beban aksial dari kolom (kN)

Qallow = daya dukung ijin tanah (kN/m²)

4. Dimensi pondasi untuk bentuk persegi

$$B = \sqrt{A}$$

5. Tegangan kontak antara pondasi dan tanah

$$q = \frac{P}{A} \leq q_{allow}$$

6. Pemeriksaan geser satu arah dan dua arah (*punching shear*)

- Untuk geser satu arah

$$V = q \cdot b \cdot d$$

- Untuk *punching shear*

$$Vu = q \cdot (Acr)$$

7. Perencanaan tulangan lentur (jika pondasi bertindak sebagai pelat)

$$M = \frac{q \cdot L^2}{8}$$

$$As = \frac{M}{fy \cdot j \cdot d}$$

Dengan:

A_s = luas tulangan tarik

f_y = kuat leleh baja tulangan

j = tuas dalam (biasanya $\approx 0,9$)

d = tinggi efektif pondasi

2.5.2 Pondasi Dalam

Pondasi tiang persegi adalah salah satu jenis pondasi dalam berbentuk penampang bujur sangkar yang digunakan untuk menyalurkan beban dari struktur bangunan ke lapisan tanah keras atau batuan di kedalaman tertentu. Tiang persegi umumnya terbuat dari beton bertulang pracetak dan sering digunakan pada kondisi tanah lunak atau ketika beban struktur cukup besar sehingga tidak dapat ditahan oleh pondasi dangkal.

Menurut Das (2011) dalam *Principles of Foundation Engineering*, pondasi tiang adalah elemen struktur vertikal yang dipancang atau dicetak di tempat untuk menyalurkan beban ke lapisan tanah keras di bawah permukaan. Pondasi tiang persegi biasanya digunakan untuk:

- a. Menahan beban aksial tekan atau tarik
- b. Menahan beban lateral (angin/gempa)
- c. Meningkatkan kapasitas dukung tanah pada area dengan tanah lunak
- d. Menyediakan stabilitas tambahan pada bangunan bertingkat

Tiang persegi memiliki penampang berbentuk bujur sangkar, dengan ukuran umum yang sering digunakan yaitu 30x30 cm, 35x35 cm, dan 40x40 cm. Material utama yang digunakan adalah beton bertulang, yang dapat dibuat secara pracetak (*precast*) maupun dicor di tempat (*cast in situ*). Panjang tiang persegi sangat bergantung pada kedalaman tanah keras yang menjadi lapisan pendukung, dan dalam banyak kasus dapat mencapai lebih dari 10 meter. Proses pemasangannya umumnya dilakukan dengan menggunakan alat berat seperti *diesel hammer*, *drop hammer*, atau *hydraulic press*, untuk memastikan tiang tertanam secara optimal hingga mencapai daya dukung yang diinginkan.

Dalam perencanaan pondasi tiang, digunakan persamaan-persamaan sebagai berikut.

1. Total Daya Dukung Tiang (*Ultimate Capacity*)

Menurut Terzaghi dan Peck (1967), daya dukung total pondasi tiang terdiri atas daya dukung ujung dan daya dukung kulit (friksi samping):

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s$$

$$Q_p = q_b \cdot A_b$$

$$Q_s = \sum (f_s \cdot A_s)$$

Dengan:

Q_{ult} = kapasitas dukung total (N)

Q_b = daya dukung ujung (*bearing resistance*) (kN/m²)

A_b = luas ujung tiang (m²)

f_s = tegangan friksi tanah per satuan luas (kN/m²)

A_s = luas permukaan samping tiang (m²)

2. Daya Dukung Izin (*Allowable Capacity*)

$$Q_{allow} = \frac{Q_{ult}}{SF}$$

Dengan:

SF = Faktor keamanan (2,5 – 3)

3. Tegangan Aksial Maksimum pada Tiang

$$\sigma = \frac{p}{A}$$

Dengan:

P = Beban aksial (kN)

A = Luas penampang tiang (m²)

4. Kapasitas Tarik

Beban tarik yang dapat dipikul tiang dihitung dari friksi tanah terhadap sisi samping saja, tanpa kontribusi ujung.

2.6 Pembebanan

2.6.1 Jenis Beban

Beban merupakan sejumlah nilai yang didefinisikan sebagai gaya eksternal yang diberikan pada sebuah struktur sehingga menyebabkan respons struktural seperti gaya, momen, atau deformasi. Beban dihasilkan dari berat seluruh bahan bangunan, beban benda bergerak (manusia, barang, kendaraan, mesin), dan efek lingkungan. Perencanaan pembebanan struktur diatur dalam SNI 1727:2013.

a. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati atau *dead load* adalah berat yang dihasilkan oleh berat sendiri struktur dan elemen konstruksi permanen pada bangunan, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural serta struktural lainnya. Dalam menentukan beban mati untuk perancangan, harus digunakan berat bahan dan konstruksi yang sebenarnya. Dalam menentukan beban mati rencana, harus diperhitungkan berat peralatan layan yang digunakan dalam bangunan gedung seperti perpipaan, mekanikal elektrik, dan sistem lainnya. (Badan Standardisasi Nasional, 2013)

b. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban yang bervariasi atau dapat berubah seiring waktu dan disebabkan oleh aktivitas manusia, peralatan bergerak, atau beban dinamis lainnya. Dengan kata lain beban hidup disebabkan oleh pengguna atau penghuni bangunan yang tidak termasuk pada beban konstruksi dan beban lingkungan seperti beban gempa, beban angin, beban hujan. Beban hidup dihitung berdasarkan SNI 1727:2013 yang menetapkan nilai minimum untuk jenis-jenis beban hidup tertentu. Perhitungan beban hidup ini penting untuk memastikan bahwa struktur memiliki kapasitas yang cukup untuk

menahan beban sehingga mencapai kekuatan struktur yang direncanakan (Badan Standardisasi Nasional, 2013).

c. Beban Gempa

Beban gempa adalah suatu gaya yang diterapkan pada suatu struktur bangunan sebagai akibat dari gempa bumi. Beban gempa ini dapat berupa gaya vertikal, horizontal, atau kombinasi keduanya. Analisis beban gempa sangat penting dalam perencanaan bangunan tahan gempa karena memungkinkan perencana untuk menghitung dampak yang dapat ditimbulkan oleh gempa terhadap struktur bangunan dan memprediksi kemampuan struktur tersebut untuk menahan beban gempa.

d. Beban Angin

Beban angin merupakan gaya yang dihasilkan oleh tekanan angin pada permukaan bangunan dan perhitungannya melibatkan beberapa faktor penting. Kecepatan angin dasar adalah kecepatan angin maksimum yang digunakan dalam perhitungan, yang diperoleh dari peta kecepatan angin dasar dalam SNI 1727:2013. Ketinggian bangunan juga mempengaruhi beban angin karena tekanan angin meningkat seiring dengan ketinggian. Kategori eksposur, yang mengacu pada kondisi lingkungan sekitar bangunan, seperti terbuka, semiterbuka, atau tertutup oleh bangunan lain, juga dipertimbangkan. Selain itu, koefisien tekanan angin memperhitungkan bentuk bangunan, arah angin, dan distribusi tekanan pada permukaan bangunan. Metode perhitungan yang disediakan dalam standar ini mencakup analisis statik dan dinamik, tergantung pada kompleksitas dan ketinggian bangunan.

e. Beban Lainnya

Beban lainnya yang dimaksud adalah beban air hujan, beban salju dan beban banjir. Namun pada analisis ini tidak diperhitungkan karena beban-beban tersebut tidak mempengaruhi struktural bangunan.

2.6.2 Kombinasi Beban

Dalam melakukan perencanaan struktur baja terdapat dua filosofi perencanaan yang dapat digunakan yaitu sebagai berikut:

1. *Load and Resistant Factor Design* (LRFD) atau Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK)

Menurut SNI 1729:2020 desain yang sesuai dengan ketentuan untuk Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK) memenuhi persyaratan Standar ini bila kekuatan desain pada setiap komponen struktur sama atau melebihi kekuatan perlu yang ditentukan berdasarkan kombinasi beban DFBK.

Desain dengan ketentuan DFBK harus dilakukan dengan persamaan:

$$R_u \leq \phi R_n$$

R_u = kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban DFBK

R_n = kekuatan nominal

ϕ = faktor ketahanan

ϕR_n = kekuatan desain

Kombinasi pembebanan dapat menggunakan kombinasi beban Pasal 2.3 ASCE/SEI 7.

- a) 1,4D
- b) 1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr atau S atau R)
- c) 1,2D + 1,6 (Lr atau S atau R) + (L atau 0,5W)

- d) $1,2D + 1,0W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- e) $0,9D + 1,0W$
- f) $1,2D + 1,0E + 1,0L$
- g) $0,9D - 1,0E$

2. *Allowable Strength Design* (ASD) atau Desain Kekuatan Ijin (DKI)

Menurut SNI 1729:2020 desain yang sesuai dengan ketentuan Desain Kekuatan Ijin (DKI) memenuhi persyaratan Standar ini bila kekuatan izin setiap komponen struktur sama atau melebihi kekuatan perlu yang ditentukan berdasarkan kombinasi beban DKI. Desain dengan ketentuan DKI harus dilakukan dengan persamaan:

$$R_a \leq R_n / \Omega$$

dengan:

R_a = kekuatan perlu yang menggunakan kombinasi beban DKI

R_n = kekuatan nominal

Ω = faktor keamanan

R_n / Ω = kekuatan izin

Kombinasi pembebanan dapat menggunakan kombinasi beban Pasal 2.4 ASCE/SEI 7.

- a) D
- b) D + L
- c) D + (L_r atau S atau R)
- d) $D + 0,75L + 0,75 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- e) $D + 0,6 W$
- f) $D + 0,75 L + 0,75(0,6W) + 0,75 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- g) $0,6D + 0,6W$