

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Dalam menganalisa atau mendesain struktur perlu ditetapkan kriteria yang dapat digunakan sebagai ukuran apakah suatu struktur dapat diterima untuk penggunaan yang diinginkan atau untuk maksud desain tertentu. Proses perencanaan tower yang terstruktur dan sistematis sangat diperlukan untuk menghasilkan produk perencanaan yang efektif dan efisien.

2.1.1 Kekuatan dan Kekokohan

Struktur harus memiliki cukup kekuatan struktural untuk dapat mendukung beban rencana terfaktor yang bekerja padanya. Struktur dan segenap komponennya harus direncanakan sehingga penampangnya mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu yang dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya terfaktor yang sesuai.

Tabel 2.1 Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis baja	Tegangan putus minimum, f_u (MPA)	Tegangan leleh minimum, f_y (MPA)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sumber : SNI Baja-2002

2.1.2 Kemampuan Layan (*Serviceability*)

Komponen struktur harus memenuhi kemampuan layanan pada tingkat beban kerja atau mampu menjamin tercapainya perilaku struktur yang cukup baik pada strata beban kerja.

2.1.3 Effisiensi

Kriteria ini mencakup tujuan desain struktur yang ekonomis. Ukuran dalam kriteria ini adalah banyaknya material yang digunakan untuk memikul beban dalam ruang pada kondisi dan kendala yang ditentukan.

2.1.4 Konstruksi atau Perakitan

Tinjauan ini sangat mempengaruhi pemilihan struktur. Kriteria ini sangat luas cakupannya, termasuk di dalamnya peralatan, waktu, biaya, dan *manpower* yang diperlukan.

2.1.5 Harga

Harga merupakan kriteria yang sangat penting dalam pemilihan struktur. Kriteria ini tidak terlepas dari efisiensi bahan dan kemudahan pelaksanaan. Struktur harus didesain secara ekonomis dan efisien serta mudah dalam pelaksanaan.

2.2. Desain Struktur

Desain merupakan perhitungan setelah dilakukan analisis struktur. Struktur bangunan tower terdiri dari dua bagian yaitu struktur bangunan atas dan struktur bangunan bawah. Struktur bangunan atas merupakan konsep struktur bangunan ringan dan tahan gempa. Merupakan Struktur Rangka Baja (*Truss*) setinggi 70 meter. Struktur bangunan bawah berupa pondasi *bore pile*.

Ada beberapa desain perencanaan struktur baja, yaitu:

- Desain Elastis (*Elastic Design*).

Pada desain struktur ini beban yang digunakan adalah beban kerja, tanpa menggunakan faktor beban. Sedangkan desain kekuatan penampang tidak boleh melebihi tegangan ijin. Prinsip desain ini diadopsi dalam desain ASD (*Allowable Stress design*).

➤ Desain Kekuatan Batas (*Ultimate Strength Design*).

- Desain Plastis (*Plastic Design*).

Pada desain ini dianggap baja telah mencapai tegangan leleh (σ_y). Sedangkan beban yang digunakan adalah beban kerja dikalikan koefisien beban. Mekanisme keruntuhan struktur ditandai dengan terbentuknya Sendi Plastis (*Plastic Hinge*).

- LRFD (*Load and Resistance Factor Design*).

Merupakan desain struktur baja dengan menggunakan faktor beban dan faktor resistensi. Metode ini mulai diperkenalkan pada tahun 1986 dengan terbitnya AISC-LRFD. Para ahli berpendapat bahwa desain ini lebih rasional karena menggunakan angka keamanan yang berbeda untuk setiap macam beban, dan kekuatan penampang yang berbeda untuk setiap kondisi pembebanan.

Dalam proses perancangan struktural perlu dicari derajat kedekatan antara sistem struktural yang digunakan dengan tujuan desain (tujuan yang dikaitkan dengan masalah fungsional, *serviceability*, kemudahan pelaksanaan, dan biaya).

▪ Aspek Fungsional

Aspek ini berkaitan dengan penentuan tinggi tower pada suatu daerah tersebut agar berfungsi dengan baik dalam memancarkan sinyal dari operator yang bersangkutan.

▪ Aspek Realita (pelaksanaan) dan Biaya

Dalam pelaksanaan suatu tower dapat digunakan beberapa sistem struktur yang bisa digunakan, maka faktor ekonomi dan tingkat kemudahan dalam pelaksanaan pengerjaannya mempengaruhi pemilihan

sistem struktur yang digunakan. Adapun hal – hal yang menentukan dalam pemilihan sistem struktur yang akan dilaksanakan adalah :

- Mudah dan cepat dilaksanakan serta biaya murah.
 - Alat dan bahan mudah didapat.
 - Tidak mengganggu lingkungan (suara / material).
- Aspek *Serviceability* (kemampuan layan)
 - Aspek ini berkaitan dalam penentuan perpindahan horisontal (*swaying*) maksimal pada tower agar panel-panel pemancar pada tower tetap bekerja dengan baik.

2.3. Pembebanan

2.3.1 Beban- beban pada Struktur

Suatu sistem struktur pada konstruksi sipil direncanakan untuk dapat menahan beban-beban yang bekerja. Oleh karena itu dalam perencanaan dimensi selalu memperhatikan beban-beban yang bekerja pada struktur yang berkaitan dengan umur rencana dari strukturn itu, sehingga struktur tersebut akan berfungsi sebagai mana yang diharapkan dalam waktu yang telah direncanakan. Pada struktur tower ini beban-beban yang bekerja antara lain :

➤ **Beban Mati (*Dead Load*)**

Beban Mati adalah beban yang bekerja pada struktur akibat adanya gaya gravitasi yang tetap posisinya karena posisinya karena bekerjanya terus – menerus dengan arah ke bumi tempat struktur berdiri. Berat struktur dipandang sebagai beban mati, demikian juga semua benda yang tetap posisinya selama struktur berdiri.

➤ **Beban Hidup (*Live Load*)**

Beban hidup berasal dari beban pekerja pada tower sebesar 100 kg. Serta beban tangga dan pemanjat

➤ **Beban Angin (*Wind Load*)**

Beban angin diperhitungkan dengan formulasi sebagai berikut:

$$q = 1/30 H^{0.25} V^2$$

dimana, q = beban angin (kg/m²)

H = referensi ketinggian aksi beban (m)

V = kecepatan angin (m/s)

Diketahui bahwa pada semua struktur bangunan tinggi akan terjadi perpindahan horisontal (*swaying*) akibat beban angin. Tetapi pada bangunan tinggi sistem konvensional terjadi efek kunci terhadap gerakan lateral akibat gaya gravitasi yang besar, karena sistem struktur menggunakan material yang berat, sehingga pengaruh *swaying* tidak terasa. Inovasi teknologi struktur bangunan tinggi dan teknologi bahan cenderung untuk membuat material yang semakin ringan, maka beban angin pada tower menjadi faktor utama yang dipertimbangkan.

➤ **Beban gempa (*Earthquake Load*)**

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada bangunan atau bagian bangunan yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Ketika pengaruh gempa pada struktur bangunan ditentukan berdasar suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

Setiap struktur bangunan, menurut SNI 03-1726-2002, harus direncanakan untuk menahan suatu beban geser dasar akibat gempa (V) dalam arah-arrah yang ditentukan menurut rumus:

$$V = \frac{C.I.W_t}{R}$$

Dimana :

C adalah Koefisien Gempa Dasar

I adalah Faktor Keutamaan

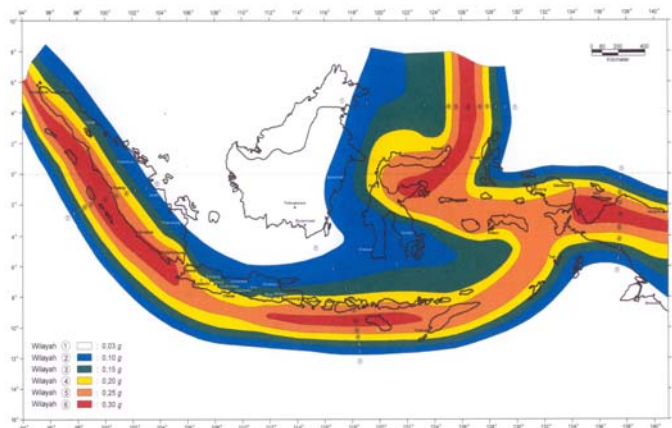
R adalah Faktor Reduksi Gempa

W_t adalah Kombinasi dari beban mati dan beban hidup

W_t = 1,05(BM + 0,3 BH)

○ **Koefisien Gempa Dasar (C)**

Telah disajikan pada SNI – 1726 – 2002, bahwa di Indonesia terdapat 6 daerah gempa. Pembagian daerah gempa ini didasarkan pada frekuensi kejadian dan potensi daya rusak gempa yang terjadi pada daerah tersebut. Daerah gempa I adalah daerah gempa terbesar sedangkan daerah gempa VI adalah daerah gempa paling kecil. Pembagian daerah gempa tersebut adalah seperti pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Pembagian daerah gempa di Indonesia

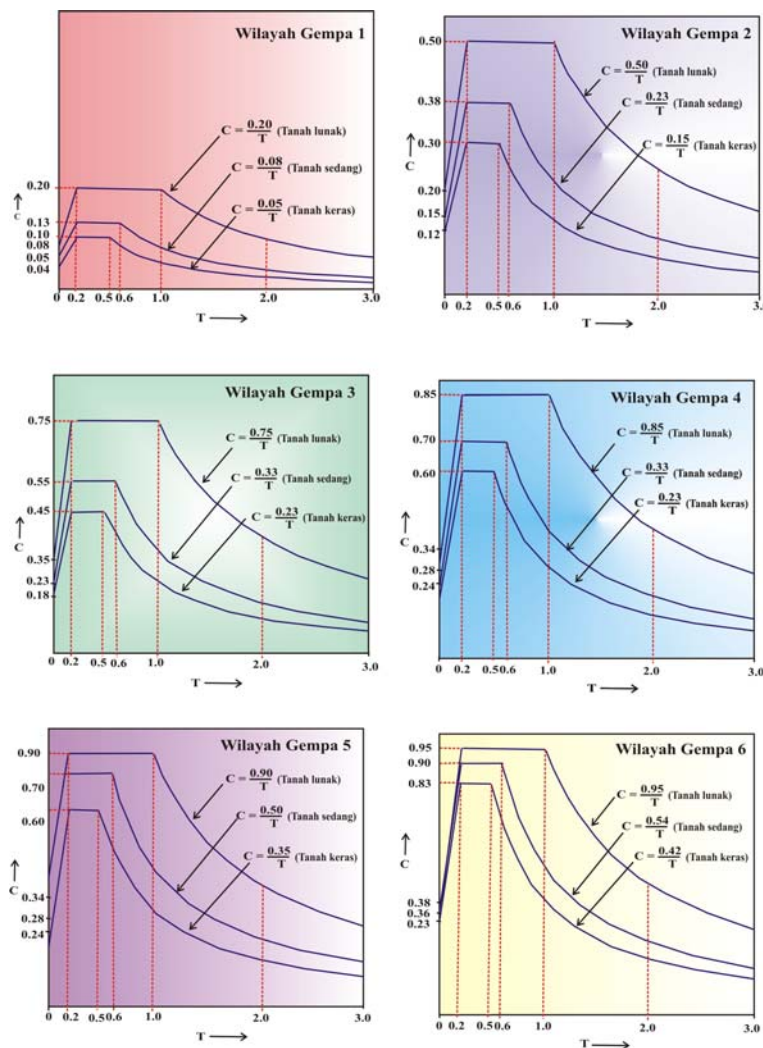
Selanjutnya tiap-tiap daerah gempa akan mempunyai spektrum respon sendiri-sendiri, seperti pada Gambar 2.10 spektrum respon dalam hal ini adalah plot antara koefisien gempa dasar C lawan periode getar struktur T. Secara umum dapat dikatakan bahwa koefisien gempa dasar C utamanya dipengaruhi oleh daerah gempa, periode getar T dan jenis tanah. Untuk setiap respon spektrum disajikan juga pengaruh kondisi tanah, yaitu spektrum untuk tanah keras dan tanah lunak. Definisi tanah keras dan tanah lunak dapat didekati menurut beberapa kriteria. Kriteria yang dipakai untuk menentukan jenis tanah ini diantaranya adalah jenis dan kedalaman tanah endapan, nilai N-SPT, nilai *undrain shear strenght*, c_u , atau kecepatan gelombang geser V_s .

Secara umum Spektrum Respons adalah suatu diagram yang memberi hubungan antara percepatan respons maksimum suatu sistem Satu Derajat Kebebasan (SDK) akibat suatu gempa masukan tertentu, sebagai fungsi dari faktor redaman dan waktu getar alami sistem SDK tersebut. Spektrum Respons C-T yang ditetapkan untuk masing-masing Wilayah Gempa, adalah suatu diagram yang memberi hubungan antara percepatan respons maksimum (= Faktor Respons Gempa) C dan waktu getar alami T sistem SDK akibat Gempa Rencana, dimana sistem SDK tersebut dianggap memiliki fraksi redaman kritis 5%. Kondisi $T = 0$ mengandung arti, bahwa sistem SDK tersebut adalah sangat kaku dan karenanya mengikuti sepenuhnya gerakan tanah. Dengan demikian, untuk $T = 0$ percepatan respons maksimum menjadi identik dengan percepatan puncak muka tanah ($C = A_0$). Bentuk spektrum respons yang sesungguhnya menunjukkan suatu fungsi acak yang untuk T meningkat menunjukkan nilai yang mula-mula meningkat dulu sampai mencapai suatu nilai maksimum, kemudian turun lagi secara asimtotik mendekati sumbu-T. Bentuk tersebut distandarkan (diidealisasikan) sebagai berikut : untuk $0 \leq T \leq 0,2$ detik, C meningkat secara linier dari A_0 sampai A_m ; untuk $0,2 \leq T \leq T_c$, C bernilai tetap $C = A_m$; untuk $T > T_c$, C mengikuti fungsi hiperbola $C = A_r/T$. Dalam hal ini T_c disebut waktu getar alami sudut. Idealisasi fungsi hiperbola ini mengandung arti, bahwa untuk $T > T_c$ kecepatan respons maksimum yang bersangkutan bernilai tetap.

Dari berbagai hasil penelitian ternyata, bahwa untuk $0 \leq T \leq 0,2$ detik terdapat berbagai ketidakpastian, baik dalam karakteristik gerakan tanahnya sendiri maupun dalam sifat-sifat daktilitas sistem SDK yang bersangkutan. Karena itu untuk $0 \leq T \leq 0,2$ detik C ditetapkan harus diambil sama dengan A_m . Dengan demikian, untuk $T \leq T_c$ spektrum respons berkaitan dengan

percepatan respons maksimum yang bernilai tetap, sedangkan untuk $T > T_c$ berkaitan dengan kecepatan respons maksimum yang bernilai tetap.

Berbagai hasil penelitian menunjukkan, bahwa A_m berkisar antara $2 A_o$ dan $3 A_o$, sehingga $A_m = 2,5 A_o$ merupakan nilai rata-rata yang dianggap layak untuk perencanaan. Selanjutnya, dari berbagai hasil penelitian juga ternyata, bahwa sebagai pendekatan yang baik waktu getar alami sudut T_c untuk jenis-jenis Tanah Keras, Tanah Sedang dan Tanah Lunak dapat diambil sebesar berturut-turut 0,5 detik, 0,6 detik dan 1,0 detik.



Gambar 2.2 Spektrum Respon untuk masing-masing daerah gempa

o **Periode Getar (T)**

Periode getar yang mempunyai respons struktur terhadap getaran gempa besarnya dipengaruhi oleh masa dan kekakuan struktur. Struktur yang kaku akan mempunyai periode getar yang lebih pendek dibandingkan struktur yang flexible.

Rumus pendekatan yang digunakan untuk menghitung waktu getar alami adalah sebagai berikut:

$$\text{Tempiris} = 0.085 H^{\frac{3}{4}} \text{ untuk portal baja}$$

$$\text{Tempiris} = 0.06 H^{\frac{3}{4}} \text{ untuk portal beton}$$

$$\text{Tempiris} = \frac{0.09H}{\sqrt{B}} \text{ untuk struktur lainnya}$$

Di mana:

H adalah tinggi bangunan

B adalah panjang bangunan pada arah yang ditinjau

2.3.2. Kombinasi pembebanan

Dalam menentukan beban desain, hal yang penting adalah apakah semua beban tersebut bekerja secara simultan atau tidak. Berdasarkan SNI 03 – 1729 – 2002 struktur baja harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan di bawah ini:

$$1,4D$$

$$1,2D + 1,6 L + 0,5 (L_a \text{ atau } H)$$

$$1,2D + 1,6 (L_a \text{ atau } H) + (\gamma L L \text{ atau } 0,8W)$$

$$1,2D + 1,3 W + \gamma L L + 0,5 (L_a \text{ atau } H)$$

$$1,2D \pm 1,0E + \gamma L L$$

$$0,9D \pm (1,3W \text{ atau } 1,0E)$$

Keterangan:

D = beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap

L = beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain

L_a = adalah beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak

H = adalah beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air

W = adalah beban angin

E = adalah beban gempa, yang ditentukan menurut SNI 03-1726-1989, atau penggantinya

dengan,

$\gamma_L = 0,5$ bila $L < 5$ kPa, dan $\gamma_L = 1$ bila $L \geq 5$ kPa.

Pada perencanaan tower ini digunakan kombinasi pembebanan sebagai berikut:

$$1,4D$$

$$1,2D + 1,6L$$

$$1,2D + (L \text{ atau } 0,8W)$$

$$1,2D + 1,3W + L$$

$$1,2D \pm 1,0E + L$$

$$0,9D \pm (1,3W \text{ atau } 1,0E)$$

2.3.3. Aksi-aksi lainnya

Setiap aksi yang dapat mempengaruhi kestabilan, kekuatan, dan kemampuan-layan struktur, termasuk yang disebutkan di bawah ini, harus diperhitungkan:

- 1) gerakan-gerakan pondasi;
- 2) perubahan temperatur;
- 3) deformasi aksial akibat ketaksesuaian ukuran;
- 4) pengaruh-pengaruh dinamis;
- 5) pembebanan pelaksanaan.

Menurut SNI 03 – 1729 – 2002 jika ada pengaruh struktural akibat beban yang ditimbulkan oleh fluida (F), tanah (S), genangan air (P), dan/atau temperatur (T) harus ditinjau dalam kombinasi pembebanan di atas dengan menggunakan faktor beban: $1,3F$, $1,6S$, $1,2P$, dan $1,2T$, sehingga menghasilkan kombinasi pembebanan yang paling berbahaya.

2.4. Analisis Perencanaan Struktur

2.4.1 Perencanaan Struktur Atas

Struktur atas adalah struktur tower yang secara visual berada di atas tanah, yaitu struktur rangka baja (*Truss*). Pada perencanaan ini menggunakan dua metode, yaitu *Allowable Stress Design* (ASD) dan *Load and Resistance Factor Design* (LRFD).

2.4.1.1 Allowable Stress Design (ASD)

Pada metode ASD menggunakan ketentuan-ketentuan antara lain :

- Beban yang digunakan adalah beban kerja tanpa faktor beban.
- Tegangan ijin baja yang dipakai (σ_{ijin})

$$\sigma_{ijin} \leq \frac{\sigma_y}{F.S} ,$$

$$\text{Dan } \frac{T}{A_n} \leq \sigma_{ijin}$$

dimana σ_{ijin} = tegangan ijin baja

σ_y = tegangan leleh baja

F.S = faktor keamanan struktur = 1,5

T = gaya batang

A_n = luas penampang netto = 85% luas penampang brutto

- Kapasitas momen elastis (M_E)

$$M_E = W_E \times \sigma_y$$

Dimana, M_E = kapasitas momen elastis

W_E = momen tahanan elastis

σ_y = tegangan leleh baja

2.4.1.2 Load and Resistance Factor Design (LRFD)

Pada metode LRFD ketentuan-ketentuan yang digunakan antara lain :

- Dianggap baja telah mencapai Tegangan Leleh (σ_y)
- Desain menggunakan faktor beban dan faktor resistensi.

Pada Desain LRFD, beban kerja (Q_i) dikalikan dengan faktor beban (λ_i) yang besarnya lebih dari 1,0. Sedangkan tegangan (σ_i) dikalikan dengan faktor kapasitas reduksi (Φ) yang besarnya kurang dari 1,0.

$$\Sigma \lambda_i Q_i \leq \Phi \sigma_i$$

Tabel 2.2 Faktor Reduksi (Φ) Untuk Keadaan Batas

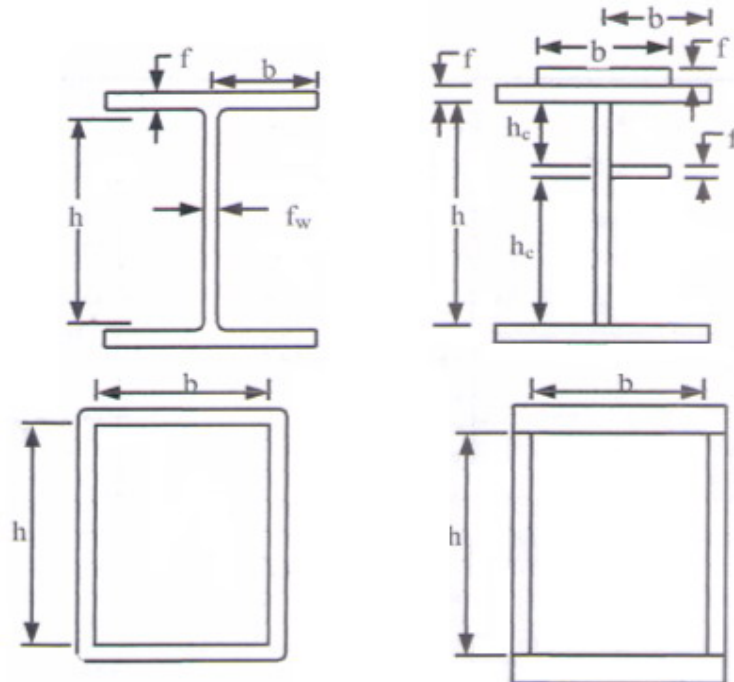
Kuat rencana untuk	Faktor reduksi (Φ)
Komponen struktur yang memikul lentur:	
• balok	0,90
• balok pelat berdinding penuh	0,90
• pelat badan yang memikul geser	0,90
• pelat badan pada tumpuan	0,90
• pengaku	0,90
Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial:	
• kuat penampang	0,85
• kuat komponen struktur	0,85
Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial:	
• terhadap kuat tarik leleh	0,90
• terhadap kuat tarik fraktur	0,75
Komponen struktur yang memikul aksi-aksi kombinasi:	

• kuat lentur atau geser	0,90
• kuat tarik	0,90
• kuat tekan	0,85
Komponen struktur komposit:	
• kuat tekan	0,85
• kuat tumpu beton	0,60
• kuat lentur dengan distribusi tegangan plastik	0,85
• kuat lentur dengan distribusi tegangan elastik	0,90
Sambungan baut:	
• baut yang memikul geser	0,75
• baut yang memikul tarik	0,75
• baut yang memikul kombinasi geser dan tarik	0,75
• lapis yang memikul tumpu	0,75
Sambungan las:	
• las tumpul penetrasi penuh	0,90
• las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian	0,75
• las pengisi	0,75

Sumber : SNI Baja 2002

- Pada LRFD dapat dipakai analisis struktur secara:
1. Analisis elastis : jika penampang (elemen struktur) tidak kompak.
 2. Analisis Plastis ; bila :

- Tegangan leleh baja tidak melebihi 450 Mpa.
- Profil yang digunakan berpenampang kompak.
- Nilai k pada elemen tekan tidak boleh lebih dari 1,5.



Gambar 2.3 Penampang melintang profil

Apabila seluruh penampang dapat mencapai tegangan lelehnya tanpa terjadi *local buckling* pada badan (*web*) atau sayap (*flange*) yang tertekan, maka disebut sebagai penampang kompak.

Penampang kompak harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- sayap harus tersambung secara menerus (*continue*) dengan badan.
- Perbandingan antara lebar dan tebal elemen penampang yang tertekan harus kurang atau sama dengan λ_p , sesuai dengan tabel 2.4 sebagai berikut.

Tabel 2.3 Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan (f_y dalam Mpa, simbol mengacu pada gambar 2.3)

Jenis Elemen		Perbandingan Lebar Terhadap Tebal (λ)	Perbandingan Maksimum Lebar Terhadap Tebal	
			λ_p (kompak)	λ_r (tak-kompak)
Elemen tanpa Pengaku	Pelat sayap balok-I dan kanal dalam lentur	$\frac{b}{t}$	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$ [c]	$\frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}}$ [e]
	Pelat sayap balok-I hibrida atau balok tersusun yang dilas dalam lentur	$\frac{b}{t}$	$\frac{170}{\sqrt{f_{yf}}}$	$\frac{420}{\sqrt{\frac{(f_{yf} - f_r)}{k_e}}}$ [e] [f]
	Pelat sayap dari komponen-komponen struktur tersusun dalam tekan	$\frac{b}{t}$	-	$\frac{290}{\sqrt{\frac{f_y}{k_e}}}$ [f]
	Sayap bebas dari profil siku kembar yang menyatu pada sayap lainnya, pelat sayap dari komponen struktur kanal dalam aksial tekan, profil siku dan pelat yang menyatu dengan	$\frac{b}{t}$	-	$\frac{250}{\sqrt{f_y}}$

	balok atau komponen struktur tekan			
	Sayap dari profil siku tunggal pada penyokong, sayap dari profil siku ganda dengan pelat kopel pada penyokong, elemen yang tidak diperkaku, yaitu yang ditumpu pada salah satu sisinya	$\frac{b}{t}$	-	$\frac{200}{\sqrt{f_y}}$
	Pelat badan dari profil T	$\frac{d}{t}$	-	$\frac{335}{\sqrt{f_y}}$

Sumber : SNI Baja 2002

Tabel 2.4 Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan (f_y dalam Mpa, simbol mengacu pada Gambar 2.3)

Jenis Elemen		Perbandingan Lebar Terhadap Tebal (λ)	Perbandingan Maksimum Lebar Terhadap Tebal	
			λ_p (kompak)	λ_r (tak-kompak)
Elemen	Pelat sayap dari penampang	$\frac{b}{t}$	$\frac{500}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{625}{\sqrt{f_y}}$

persegi panjang dan bujursangkar berongga dengan ketebalan seragam yang dibebani lentur atau tekan, pelat penutup dari pelat sayap dan pelat diafragma yang terletak diantara baut-baut atau las			
Bagian lebar yang tak terkekang dari pelat penutup berlubang [b]	$\frac{b}{t}$	-	$\frac{830}{\sqrt{f_y}}$
Bagian-bagian pelat badan dalam tekan akibat lentur [a]	$\frac{h}{t_w}$	$\frac{1680}{\sqrt{f_y}}$ [c]	$\frac{2550}{\sqrt{f_y}}$ [g]
Bagian-bagian pelat badan dalam kombinasi	$\frac{h}{t_w}$	Untuk $\frac{N_u}{\phi_b N_y} \leq 0,125$ [c] $\frac{1680}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{2,75 N_u}{\phi_b N_y} \right]$	$\frac{2550}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{0,74 N_u}{\phi_b N_y} \right]$ [g]

tekan dan lentur		Untuk $\frac{N_u}{\phi_b N_y} > 0,125$ [c] $\frac{500}{\sqrt{f_y}} \left[2,33 - \frac{N_u}{\phi_b N_y} \right] \geq \frac{665}{\sqrt{f_y}}$	
Elemen-elemen lainnya yang diperkaku dalam tekan murni yaitu dikekang sepanjang kedua sisinya	$\frac{b}{t}$ $\frac{h}{t_w}$	-	$\frac{665}{\sqrt{f_y}}$
Penampang bulat berongga Pada tekan aksial Pada lentur	$\frac{D}{t}$	[d] - $\frac{14800}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{22000}{\sqrt{f_y}}$ $\frac{62000}{\sqrt{f_y}}$
[a] Untuk balok hibrida, gunakan tegangan leleh pada sayap f_{yf} sebagai ganti f_y . [b] Ambil luas netto pelat pada lubang terbesar. [c] Dianggap kapasitas rotasi inelastis sebesar 3, untuk struktur-struktur pada zona gempa tinggi		[e] f_r = tegangan tekan residual pada pelat sayap = 70 MPa untuk penampang dirol = 115 MPa untuk penampang dilas [f] $k_e = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}}$ tapi, $0,35 \leq k_e \leq 0,763$ [g] f_y adalah tegangan leleh minimum.	

<p>diperlukan kapasitas rotasi yang lebih besar.</p> <p>[d] Untuk perencanaan plastis gunakan $\frac{9000}{f_y}$</p>	
---	--

Sumber : SNI Baja 2002

2.4.1.3 Sambungan

Menurut Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI) ada beberapa ketentuan dalam perencanaan sambungan struktur baja, antara lain :

- (1) Sambungan-sambungan harus direncanakan sesuai dengan beban-beban kerja pada batang-batang yang disambung.
- (2) Pada prinsipnya sambungan direncanakan hanya memakai satu macam alat penyambung.
- (3) Pada sambungan-sambungan yang menghubungkan batang-batang utama, jumlah minimum paku keling, baut atau baut mutu tinggi adalah dua buah, atau bila menggunakan sambungan las gaya minimum yang direncanakan dalam sambungan tersebut adalah 3 ton.
- (4) Letak pusat titik berat pada sekelompok paku keling, baut, baut mutu tinggi atau las yang memikul gaya axial harus diusahakan berimpit dengan garis berat dari profil yang disambung. Apabila titik berat tersebut diatas tidak berimpit dengan garis berat profil maka perencanaan sambungan sebaiknya memperhitungkan juga adanya eksentrisitas.

Ketentuan ini tidak berlaku untuk profil siku atau dobel siku yang tidak mengalami tegangan yang bolak-balik (berubah tanda).

- (5) Apabila bekerja tiga atau lebih gaya axial yang sebidang pada sambungan yang sama, maka garis kerja gaya-gaya axial harus bertemu pada satu titik.

Bila garis kerja gaya-gaya axial tersebut tidak bertemu dalam satu titik, maka sambungan tersebut sebaiknya diperhitungkan terhadap momen akibat eksentrisitas.

- (6) Apabila profil siku atau kanal disambung hanya pada satu sisi dengan paelat penyambung maka pada perncanaan sebaiknya diperhitungkan juga terhadap momen akibat eksentrisitas.
- (7) Pada sambungan yang memakai paku keling atau baut dengan menggunakan pelat pengisi yang tebalnya 6 mm atau lebih, maka jumlah baut atau paku keling harus ditambah terhadap jumlah paku keling atau baut yang dibutuhkan. Untuk ini diperlukan perpanjangan dari pelat pengisi. Jumlah penambahan baut, atau paku keling dihitung dengan rumus :

$$n \geq \frac{N}{\bar{N}} \frac{A_p}{A + A_p}$$

n = jumlah penambahan baut atau keling.

N = gaya yang bekerja pada sambungan

\bar{N} = gaya izin pada sebuah keling atau baut

A_p = Luas penampang pelat pengisi.

Apabila pelat pengisi da pada kedua sisi pelat yang disambung, maka A_p = luas penampang pelat pengisi yang tertebal.

A = Luas penampang pelat yang disambung.

- (8) Ketentuan pada (7) tidak berlaku apabila sambungan menggunakan baut mutu tinggi.
- (9) Dalam satu sambungan, pelat pengisi tidak lebih dari 4 lapis.
- (10) Pada sambungan las yang menggunakan pelat pengisi dengan tebal 6 mm atau lebih perlu ada perpanjangan pelat pengisi terhadap tepi pelat penyambung, sehingga sambungan las antara pelat pengisi dengan pelat penyambung. Untuk pelat pengisi yang tebalnya lebih kecil dari 6 mm maka letak sambungan las yang menghubungkan pelat pengisi dengan

pelat penyambung mungkin sebaris dengan sambungan las yang menghubungkan pelat pengisi dengan pelat yang disambung.

Tebal las sudut dalam hal ini bertambah disesuaikan dengan setebal pelat pengisi dan pelat penyambung yang dipakai.

- (11) Ukuran maksimum dari diameter lubang paku keling atau lubang baut sama dengan diameter paku keling atau diameter baut ditambah 1 mm. Untuk baut mutu tinggi diameter batang baut ditambah 2 mm.
- (12) Tebal pelat pada sambungan yang memakai paku keling atau baut tidak boleh lebih besar dari 5 kali diameter paku keling atau baut. Apabila panjang lekat baut atau paku keling yang diperlukan harus ditambah dengan ketentuan setiap kelebihan tebal 6 mm ditambah 4%. Dimana penambahan paku keling atau baut paling sedikit satu buah. Untuk panjang lekat yang mempunyai kelebihan tebal lebih kecil dari 6 mm maka jumlah baut atau paku keling tidak bertambah.

2.4.1.3.1 Sambungan Baut

Untuk merencanakan sambungan pada tower menggunakan rumus sambungan baut sesuai buku "STRUCTURAL STEEL DESIGN" *Joseph E. Bowles*, untuk baut mutu tinggi (*high strength bolt*)

Jumlah baut yang dibutuhkan (N) :

$$V^2 + (0.6P)^2 \leq N (0.6A_b F_u)^2 \quad \phi = 0.75$$

Cek kekuatan pelat sambung :

$$V^2 + (0.6P)^2 \leq 3tdF_{u(\text{pelat})} \quad \phi = 0.64$$

Dimana :

P = Gaya aksial batang (kN)

V = Gaya geser batang (kN)

N = Jumlah baut yang dibutuhkan

A_b = Luas area baut

F_u = Kekuatan batas baut (MPa)

ϕ = fakto reduksi

Menurut Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI) sambungan baut harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Banyaknya baut yang dipasang pada satu baris yang sejajar arah gaya tidak boleh lebih dari 5 buah.
2. Jarak antara sumbu baut paling luar ke tepi atau ke ujung bagian yang disambung, tidak boleh kurang dari $1,2 d$ dan tidak boleh lebih besar dari $3 d$ atau $6 t$ dimana t adalah tebal terkecil bagi.
3. Pada sambungan yang terdiri dari satu baris baut, jarak dari sumbu ke sumbu dari 2 baut yang berurutan tidak boleh kurang dari $2,5 d$ dan tidak boleh lebih besar dari $7 d$ atau $14 t$.
4. Jika sambungan terdiri dari satu baris baut yang tidak berseling, maka jarak antara kedua baris baut itu dan jarak sumbu ke sumbu dari 2 baut yang berurutan pada satu baris tidak boleh kurang dari $2,5 d$ dan tidak boleh lebih besar dari $7 d$ atau $14 t$.

Jika sambungan terdiri lebih dari satu baris baut yang dipasang berseling, jarak antara baris-baris baut (u) tidak boleh kurang dari $2,5 d$ dan tidak boleh lebih besar dari $7 d$ atau $14 t$, sedangkan jarak antara satu baut dengan baut terdekat pada baris lainnya (s_2) tidak boleh lebih besar dari $7 d - 0,5 u$ atau $14 t - 0,5 u$.

2.4.2 Perencanaan Struktur Bawah

Pemilihan tipe dan jenis pondasi pada daerah yang berbeda berdasarkan pertimbangan, antara lain sebagai berikut :

- Perkiraan beban yang akan dipikul pondasi
- Daya dukung tanah
- Formasi tanah keras

Jenis pondasi tipikal untuk berbagai kedalaman stratum pendukung (tanah keras) adalah sebagai berikut :

- Pondasi langsung, 0 sampai 3 meter kedalaman ke lapis pendukung.
- Pondasi sumuran, 3 sampai 10 meter ke lapis pendukung.
- Pondasi tiang beton, 10 sampai 20 m kedalaman ke lapis pendukung.

- Pondasi tiang baja, > 10 meter kedalaman ke lapis pendukung.

2.4.2.1 Pemilihan Jenis Pondasi

Dalam merencanakan suatu struktur bawah dari konstruksi bangunan dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi, pemilihan tipe pondasi didasarkan pada hal-hal sebagai berikut :

- Fungsi bangunan atas
- Besarnya beban dan berat dari bangunan atas
- Keadaan tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan
- Jumlah biaya yang dikeluarkan

2.4.2.2 Daya Dukung Tanah

Daya dukung (*Bearing Capacity*) adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban baik dari segi struktur pondasi maupun bangunan di atasnya tanpa terjadinya keruntuhan geser.

Daya dukung batas (*Ultimate Bearing Capacity*) adalah daya dukung terbesar dari tanah dan biasanya diberi simbol q_{ult} . Daya dukung ini merupakan tanah mendukung beban, dan diasumsikan tanah mulai terjadi keruntuhan. Besarnya daya dukung yang diijinkan sama dengan daya dukung batas dibagi angka keamanan dengan rumus sebagai berikut :

$$q_a = q_{ult} / FK$$

Bila hasil data penyelidikan tanah sampai dengan kedalaman lebih dari 20 m belum ditemui indikasi tanah keras harus di gunakan tiang pancang grup agar diperoleh daya dukung yang besar.