

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bangunan Tahan Gempa

2.1.1 Umum

Indonesia merupakan suatu negara yang memiliki tingkat resiko gempa yang tinggi di antara beberapa daerah gempa di dunia. Salah satu faktor penyebab terjadinya gempa bumi di Indonesia adalah pergerakan magma gunung berapi atau gempa vulkanik, namun tidak hanya itu, gempa bumi yang terjadi juga dapat disebabkan oleh pergerakan lempeng bumi. Hal-hal tersebut disebabkan Indonesia memiliki banyak gunung berapi dan berada pada wilayah pertemuan 3 lempeng kerak bumi, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng India-Australia. Selain itu, Indonesia juga berada pada wilayah pertemuan 2 jalur gempa utama dunia, yaitu jalur gempa Sirkum Pasifik dan jalur gempa Alpide Transiatic.

Suatu Gedung dikatakan tinggi jika analisis struktur dan desainnya dipengaruhi oleh beban lateral yang akan menyebabkan goyangan pada bangunan. Goyangan adalah besarnya perpindahan lateral pada bagian atas bangunan terhadap dasarnya. Persyaratan kekuatan, kekakuan, dan stabilitas harus dipertimbangkan dalam pertimbangan persyaratan Gedung. Persyaratan kekuatan adalah faktor dominan dalam desain struktur bangunan rendah. Sedangkan untuk bangunan tinggi, persyaratan kekakuan dan stabilitas menjadi lebih penting dan lebih dominan dalam desain. (Taranath, 1998)

2.1.2 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

Bangunan tahan gempa mempunyai tiga filosofi. Pertama, apabila terjadi gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non-struktural maupun strukturnya. Kedua, apabila terjadi gempa sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non-strukturalnya, akan tetapi komponen struktur tidak boleh rusak. Ketiga, apabila

terjadi gempa besar, bangunan boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non-struktural maupun strukturalnya, akan tetapi sebelum bangunan runtuh masih ada waktu bagi penghuni bangunan untuk mengungsi ke tempat aman. (Tular, 1984)

Bangunan yang dikatakan tahan gempa adalah bangunan yang merespon gempa dengan sifat daktilitas yang mampu bertahan dari keruntuhan, fleksibilitas dalam meredam getaran gempa.

Prinsip-prinsip bangunan tahan gempa: (Tular, 1984)

1. Daktilitas

Perencanaan secara daktilitas atas desain struktur rumah, Gedung, serta semua unsur penahan gempa sesuai dengan pedoman sehingga berperilaku secara daktilitas atau ulet.

2. Konfigurasi bentuk bangunan

Baik konfigurasi secara mendatar (horizontal) maupun ke atas (vertikal) harus diletakkan simetris mungkin terhadap pusat massa dari bangunan tersebut untuk menghindari terjadinya pemusatan gaya gempa di titik-titik tertentu pada struktur bangunan.

3. Diafragma dan ikatan lantai

Diperlukan perencanaan yang tepat demi membagi beban-beban tingkat akibat gempa kepada unsur-unsur penahan gempa dalam tingkat itu sebanding dengan kekakuan lateral masing-masing.

4. Hubungan dinding antar lantai dan atap

Dinding beton dan dinding pasangan harus dijangkarkan kepada semua lantai dan atap yang diperlukan untuk menghasilkan dukungan atau stabilitas horizontal.

5. Hubungan antar pondasi

Pondasi-pondasi harus saling berhubungan dalam dua arah yang pada umumnya saling tegak lurus oleh unsur-unsur penghubung yang direncanakan terhadap gaya aksial Tarik dan tekan sebesar 10 persen dari beban vertikal maksimum pada pembebanan dengan gempa pada salah satu pondasi yang dihubungkan.

6. Bobot yang ringan

Dalam perencanaan bangunan tahan gempa dikenal istilah bahwa semakin ringan bobot bangunan, maka gaya gempa yang diterima bangunan akan jauh berkurang. Hal ini

terjadi karena besarnya gaya gempa yang diterima suatu bangunan tergantung dari besarnya percepatan gempa dan berat total bangunan itu sendiri. Semakin berat suatu bangunan maka semakin besar pula gaya gempa yang akan terjadi pada bangunan tersebut.

7. Ketahanan terhadap kebakaran

Gempa bumi sering kali diikuti oleh terjadinya bahaya kebakaran yang terjadi karena besarnya kemungkinan terjatuhnya kompor, lilin, atau lampu penerangan, sambungan arus pendek pada instalasi listrik dan lain sebagainya. Oleh karena itu, struktur bangunan harus tahan terhadap kebakaran, supaya tidak terjadi bahaya yang lebih besar.

Tujuan dari struktur Gedung yang direncanakan tahan gempa adalah:

1. Sedikit mungkin menghindari korban jiwa manusia yang diakibatkan runtuhnya Gedung tersebut.
2. Mengijinkan Gedung mengalami sedikit kerusakan akibat gempa kecil dan sedang sehingga bias diatasi.
3. Membatasi ketidaknyamanan penghunian bagi penghuni Gedung ketika terjadi gempa ringan sampai sedang.
4. Mempertahankan setiap layanan vital dari fungsi Gedung.

2.2 Struktur Baja

2.2.1 Umum

Baja merupakan perpaduan antar logam dengan besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) sebagai unsur paduan utama. Karbon dalam baja berfungsi sebagai unsur pengerasan pada kisi kristal atom besi. Baja karbon adalah baja yang mengandung karbon kurang dari 1,7%, sedangkan besi mengandung karbon dengan persentasi lebih besar dari 1,7%.

Baja merupakan bahan konstruksi yang memiliki kekuatan tinggi dibandingkan bahan lain. Salah satu sifat baja adalah keliatan (ductility) dimana baja mampu untuk berdeformasi baik dalam tegangan maupun kompresi sebelum terjadi patah. Selain itu, baja juga memiliki daya tahan (durability) khususnya terhadap cuaca yang merupakan pertimbangan penting untuk

menggunakan baja selain penyediaan secara luas yang dapat dilakukan dengan mudah. Dibandingkan dengan beton, baja memiliki keunggulan ditinjau dari berat material dan waktu pelaksanaannya dimana baja relatif lebih ringan dan waktu pelaksanaannya lebih singkat. Jika ditinjau dari segi kekuatan, kekakuan, dan daktilitas, maka baja sangat baik digunakan untuk mengevaluasi struktur yang diberi pembebanan. Namun, selain kondisi tadi akan ada pengaruh lingkungan bagi kelangsungan struktur bangunannya. Jadi, pada kondisi tertentu, suatu bangunan bahkan dapat mengalami kerusakan meskipun tidak dibebani sehingga perlu adanya antisipasi.

2.2.2 Kelebihan Struktur Baja

Sebagai bahan struktur, baja mempunyai kontrol mutu yang baik karena merupakan buatan pabrik. Oleh sebab itu, kualitas material baja yang dihasilkan relatif homogen dan konsisten dibanding material lain. Berikut adalah beberapa kelebihan dari baja sebagai bahan struktur.

- **Kekuatan tinggi**
Baja memiliki kekuatan Tarik lebih besar dibandingkan kekuatan tekannya. Kekuatan baja yang tinggi membuat baja mempunyai ukuran penampang yang relatif kecil. Hal ini menjadikan baja struktur yang cukup ringan sekalipun berat jenis baja tinggi.
- **Keseragaman**
Sifat baja tidak banyak berubah terhadap waktu tidak seperti halnya dengan struktur beton.
- **Elastisitas**
Momen inersia untuk penampang baja dapat ditentukan dengan pasti dibandingkan dengan penampang beton bertulang.
- **Daktilitas**
Daktilitas didefinisikan sebagai sifat material untuk menahan deformasi yang besar tanpa keruntuhan terhadap beban tarik. Suatu elemen baja yang diuji terhadap tarik akan mengalami pengurangan luas penampang dan akan terjadi perpanjangan sebelum terjadi keruntuhan. Sifat daktil baja memungkinkan terjadinya leleh local pada titik-titik tersebut sehingga dapat mencegah keruntuhan prematur.

- Dapat dibongkar

Struktur baja umumnya dapat dibongkar dan dapat dipasang kembali sesuai kebutuhan, sehingga struktur baja ini dapat dipakai berulang-ulang dalam berbagai bentuk struktur.

2.2.3 Kekurangan Struktur Baja

Secara umum baja mempunyai kekurangan sebagai berikut.

- Biaya pemeliharaan

Umumnya pemeliharaan struktur baja membutuhkan biaya yang cukup besar.

- Biaya perlindungan terhadap kebakaran

Baja merupakan bahan yang mudah terpengaruh oleh temperatur sehingga bila terjadi perubahan temperatur secara drastis seperti adanya kebakaran, maka kekuatan baja akan menurun dengan sangat mudah sehingga menyebabkan bangunan runtuh meskipun belum mencapai tegangan ijin.

- Rentan terhadap bahaya tekuk (buckling)

Baja memiliki kekuatan yang tinggi maka banyak ditemui batang struktur yang langsing. Semakin langsing suatu elemen tekan, semakin besar pula bahaya tekuk (buckling).

2.3 Pembebanan

2.3.1 Umum

Beban adalah gaya luar yang bekerja pada suatu struktur. Penentuan secara pasti besarnya beban yang bekerja pada suatu struktur selama umur layannya merupakan salah satu pekerjaan yang cukup sulit. Umumnya penentuan besarnya suatu beban hanya berupa estimasi. Meskipun beban yang bekerja pada suatu lokasi dari struktur dapat diketahui secara pasti, namun distribusi beban dari elemen ke elemen, dalam suatu struktur umumnya memerlukan asumsi dan pendekatan. Jika beban-beban yang bekerja pada suatu struktur telah diestimasi, maka yang perlukan selanjutnya adalah menentukan kombinasi-kombinasi beban yang paling dominan yang mungkin bekerja pada struktur tersebut.

2.3.2 Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian suatu bangunan yang bersifat tetap selama masa layan struktur, termasuk unsur-unsur tambahan, finishing, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian tak terpisahkan dari bangunan tersebut. Termasuk dalam beban ini adalah berat struktur, pipa-pipa, saluran listrik, AC, lampu-lampu, penutup lantai, dan plafon.

2.3.3 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban gravitasi yang bekerja pada struktur dalam masa layannya, dan timbul akibat penggunaan suatu gedung. Termasuk beban ini adalah berat manusia, perabotan yang dapat dipindah-pindah, kendaraan, dan barang-barang lain.

2.3.4 Kombinasi Beban Terfaktor

Kombinasi beban untuk metode ultimit berdasarkan SNI 2847-2013 adalah sebagai berikut.

1. $1,4 D$ (2.2.a)
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$ (2.2.b)
3. $1,2 D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$ (2.2.c)
4. $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$ (2.2.d)
5. $1,2 D + 1,0 E + L$ (2.2.e)
6. $0,9 D + 1,0 W$ (2.2.f)
7. $0,9 D + 1,0 E$ (2.2.g)

Keterangan:

D = beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen.

L = beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung.

Lr = beban hidup yang diakibatkan oleh beban atap.

R = beban hujan.

W = beban angin.

G = beban gempa.

2.4 Analisis Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726-2012

2.4.1 Wilayah Gempa

Parameter percepatan gempa ditentukan berdasarkan 2 hal, yaitu parameter percepatan terpetakan dan kelas situs. Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spectral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada pasal 14 dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R , 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bidang decimal terhadap percepatan gravitasi. Bila $S_1 \leq 0,04$ g dan $S_s \leq 0,15$ g, maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A. (SNI 1762-2012 Pasal 6.1.1)

Sedangkan kelas situs mengatur klasifikasi berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasikan sebagai kelas situs SA, SB, SC, SD, SE, atau SF. Bila sifat-sifat tanah tidak teridentifikasi secara jelas sehingga tidak bias ditentukan kelas situs, maka kelas situs SE dapat digunakan kecuali jika pemerintah/dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs SF. (SNI 1762-2012 Pasal 6.1.2)

2.4.2 Kategori Gedung

Pada SNI 1762-2012 Pasal 4.1.2, berdasarkan fungsinya Gedung akan diklasifikasikan sebagai berikut.

Tabel 2.1 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan. - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan	I

- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dala kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan non gedung, tidak termasuk dalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi	III

Gedung dan non gedung yang tidak termasuk kategori risiko IV, (termasuk, tapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	
Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin, badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas public lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk Menara telekomunikasi, tangka penyimpanan bahan bakar, Menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangka air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau mineral atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat. Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Tabel 2.2 Faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

2.5 Metode Analisis dan Desain

2.5.1 Analisis Struktur

Analisis struktur menurut cara-cara mekanika teknik yang baku merupakan pra-perencanaan bagi desain struktur. Bentuk dan besarnya ukuran penampang akibat pembebanan akan menentukan desain. Analisis dengan bantuan komputer menggunakan aplikasi analisis struktur dalam mendapatkan bentuk dan besarnya sistem struktur berupa gaya-gaya dalam harus dilakukan dengan model matematik yang mensimulasikan keadaan struktur yang sesungguhnya dilihat dari bahan dan kekakuan unsur-usurnya. Dengan menggunakan bantuan aplikasi komputer akan mempermudah perhitungan analisis struktur, struktur statis tak tentu.

Struktur statis tak tentu mempunyai beberapa kelebihan dibanding struktur statis tertentu. Kelebihan-kelebihan tersebut di antaranya, yaitu momen lentur lebih kecil sehingga defleksinya berkurang dan penampang juga menjadi lebih kecil. Perbedaan yang signifikan pada struktur statis tertentu dan struktur statis tak tentu adalah adanya aksi tahanan yang berkembang pada struktur statis tak tentu akibat adanya perubahan bentuk yang ada padanya. Reaksi yang dihasilkan oleh tumpuan akibat aksi prategang disebut reaksi sekunder. Reaksi sekunder ini menghasilkan momen dan geser sekunder.

2.5.2 Analisis Portal Tiga Dimensi

Struktur terbentuk dari elemen-elemen batang lurus (lazimnya) prismatic yang dirangkai dalam ruang tiga dimensi, dengan sambungan antar ujung-ujung batang diasumsikan kaku sempurna. Namun, dapat dipindah tempat dan berputar dalam ruang tiga dimensi. Beban luar yang bekerja boleh berada pada titik-titik buhul maupun pada titik-titik di sepanjang batang dengan arah sembarang. Posisi tumpuan yang berupa jepit atau sendi harus berada pada titik-titik buhul. Mengingat sambungan antar ujung-ujung batang adalah kaku sempurna yang dapat

menjamin stabilitas elemen, maka sistem portal tiga dimensi ini meskipun lazim mendekati bentuk-bentuk segiempat, namun, pada prinsipnya diperbolehkan berbentuk sembarang. Elemen-elemen pembentuk portal tiga dimensi (space frame system) tersebut akan mengalami gaya-gaya dalam (internal forces) berupa: momen lentur (bending moment) dalam dua sumbu putar, momen torsi (torsional moment), gaya geser dalam dua arah, dan gaya aksial. Berbagai contoh struktur di lapangan yang dapat diidealisasikan menjadi sistem portal tiga dimensi antara lain adalah struktur portal gedung bertingkat banyak, struktur bangunan industri/pabrik, struktur jembatan berbentang panjang, struktur dermaga, dan sejenisnya, yang ditinjau secara tiga dimensi. (Nasution, 2000)

Portal ruang mempunyai enam komponen reaksi disetiap tumpuan. Tiga komponen x, y, z serta tiga kopel M_x, M_y, M_z . Pada titik kumpul kaku mempunyai tiga persamaan momen, resultan tegangan disetiap bisa enam dari 12 gaya diketahui sehingga setiap batang memberi enam gaya yang tak diketahui. (Nasution, 2000)

2.6 Analisis Penampang Komponen Baja

2.6.1 Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Keruntuhan dari suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (collapse) lantai yang bersangkutan dan juga keruntuhan total (total collapse) pada seluruh struktur. Oleh sebab itu, kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan.

Kolom berfungsi sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Selain itu, kolom sendiri termasuk struktur utama yang meneruskan berat bangunan dan beban lain seperti beban hidup (beban pengguna suatu bangunan dan juga barang-barang yang dapat berpindah) serta beban angin.

Persyaratan desain kolom dalam spesifikasi LRFD dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$a) \quad N_u \leq \phi N_n \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

N_u = Gaya tekan terfaktor.

ϕ = Faktor reduksi kekuatan.

N_n = Kuat tekan nominal komponen struktur.
(SNI butir 7.6.2 dan 9.2)

b) Perbandingan kelangsingan

- 1) Kelangsingan elemen penampang $\lambda_{\text{elemen}} \leq \lambda_r$.
- 2) Kelangsingan komponen struktur tekan, $\lambda_{\text{batang}} = \frac{L_k}{r} < 200$.

Dimana:

λ_{elemen} = Kelangsingan elemen batas (SNI, Tabel 7.5-1)

λ_r = Kelangsingan batas (kritis)

λ_{batang} = Kelangsingan batang desak.

L = Panjang kritis/skematis batang.

Jika $\lambda_{\text{elemen}} = \frac{b}{t} < \lambda_r$ (Kompak), maka berlaku:

$$\begin{aligned} N_n &= A_g \cdot f_{cr} \\ &= A_g \cdot \frac{f_y}{\omega} \dots\dots\dots (2.10) \end{aligned}$$

Nilai ω (koefisien tekuk) diambil sebesar 3 kemungkinan berikut:

- 1) Untuk $\lambda_c \leq 0,25$ maka $\omega = 1,0$
- 2) Untuk $0,25 < \lambda_c < 1,2$ maka $\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c}$
- 3) Untuk $\lambda_c \geq 1,2$ maka $\omega = 1,25 \cdot \lambda_c^2$

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{L_k}{r_y} \cdot \left(\sqrt{\frac{f_y}{E}} \right) \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana:

A_g = Luas tampang bruto/gross, mm².

f_{cr} = Tegangan kritis tampang, Mpa.

f_{cr} = Tegangan leleh baja, Mpa.

r_y = jari-jari girasi komponen struktur terhadap sumbu y-y, mm.

L_k = Panjang tekuk komponen struktur tersusun pada arah tegak lurus sumbu, mm.

- c) Komponen struktur tekan yang elemen penampangnya mempunyai perbandingan lebar terhadap tebal lebih besar daripada nilai λ_r yang ditentukan dalam Tabel 1 (SNI, Tabel 7.5-1) harus direncanakan dengan analisis rasional yang dapat diterima.

Tabel 2.3 Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan

(f_y dinyatakan dalam MPA)

Jenis Elemen	Perbandingan terhadap tebal (λ)	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal	
		λ_p (kompak)	λ_r (kompak)
Pelat sayap balok-I dan kanal dalam lentur	b/t	$170 / \sqrt{f_y} [c]$	$370 / \sqrt{f_y - f_y} [c]$
Pelat sayap balok-I hibrida atau balok tersusun yang dilas dalam lentur	b/t	-	$\frac{420}{\sqrt{f_{xf} - f_r/kc}} [c][f]$
Pelat sayap dari komponen-komponen struktur tersusun dalam tekan	b/t	-	$290 / \sqrt{f_y/k_c} [f]$
Sayap bebas dari profil siku kembar yang menyatu pada sayap lainnya, pelat sayap dari komponen struktur kanal dalam aksial tekan, profil siku dan plat yang menyatu dengan balok atau komponen struktur tekan	b/t	-	$250 / \sqrt{f_y}$

Sayap dari profil siku tunggal pada penyokong, sayap dari profil siku ganda dengan plat kopel pada penyokong, elemen yang tidak diperkaku, yaitu yang ditumpu pada salah satu sisinya	b/t	-	$200 / \sqrt{f_y}$
Pelat badan dari profil T	b/t	-	$335 / \sqrt{f_y}$

2.6.2 Balok

Balok adalah bagian dari struktural sebuah bangunan yang kaku dan dirancang untuk menanggung dan mentransfer beban menuju elemen-elemen kolom penopang. Ring balok juga dapat berfungsi sebagai pengikat kolom-kolom agar apabila terjadi pergerakan, kolom-kolom tersebut tetap bersatu mempertahankan bentuk dan posisi semula.

2.6.2.1 Hubungan Antar Pengaruh Beban Luar

Untuk sumbu kuat (sumbu x) harus memenuhi $M_{ux} \leq \phi M_{nx}$.

Untuk sumbu lemah (sumbu y) harus memenuhi $M_{uy} \leq \phi M_{ny}$.

Dimana:

M_{ux}, M_{uy} = Momen lentur terfaktor arah sumbu x dan y menurut butir 7.4, N.mm.

M_{ny} = Kuat nominal dari momen lentur memotong arah y menurut butir 7.4, N.mm.

ϕ = Faktor reduksi(0,9).

M_{nx} = Kuat nominal dari momen lentur penampang. M_n diambil nilai yang lebih kecil dari kuat nominal penampang, untuk momen lentur terhadap sumbu x yang ditentukan oleh butir 8.2, atau

kuat nominal komponen struktur untuk momen lentur terhadap sumbu x yang ditentukan oleh butir 8.3 pada balok baja, atau butir 8.4 khusus untuk balok pelat berdinding penuh, N.mm.

2.6.2.2 Tegangan Lentur dan Momen Plastis

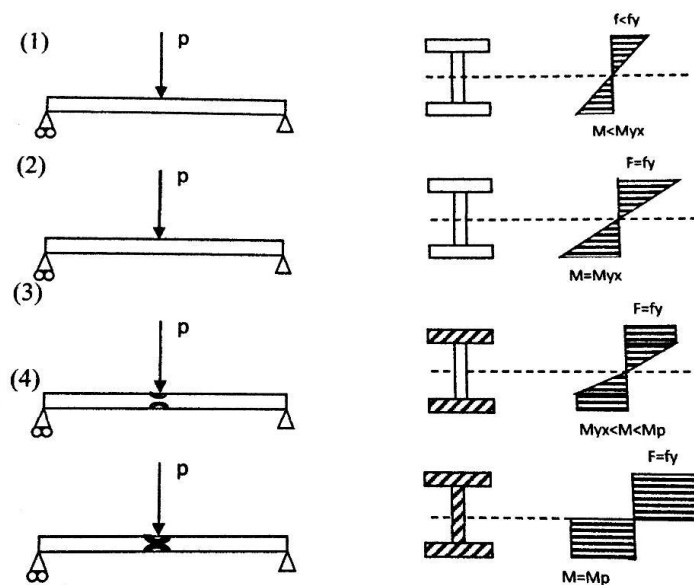
Distribusi tegangan pada sebuah penampang akibat momen lentur, diperlihatkan pada gambar 3. Pada daerah beban layan, penampang masih elastis (gambar 3.1), kondisi elastik berlangsung hingga tegangan pada serat terluar mencapai kuat lelehnya (f_y). Setelah mencapai tegangan leleh (ϵ_y), tegangan akan terus naik.

Ketika kuat leleh tercapai pada serat terluar (gambar 3.2), tahanan momen nominal sama dengan momen leleh M_{yx} , dan besarnya adalah:

$$M_{ny} = M_{yx} = S_x \cdot f_y \dots\dots\dots (2.12)$$

Dan pada saat kondisi plastis (gambar 3.4) tercapai, semua serat dalam penampang melampaui regangan lelehnya. Tahanan momen nominal dalam kondisi ini dinamakan momen plastis M_p , dan besarnya adalah:

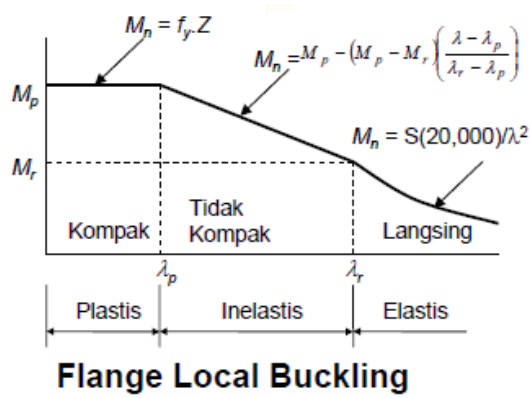
$$M_p = f_y \cdot Z \dots\dots\dots (2.13)$$



Gambar 2.1 Mekanisme Keruntuhan Struktur Baja

2.7 Kontrol Penampang

2.7.1 Tekuk Lokal Sayap (Flange Local Buckling)



Gambar 2.2 Grafik Batas Tekuk Lokal Sayap

Kelangsingan dari sayap untuk penampang I adalah:

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{b_f}{2t_f} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dapat dilihat pada gambar di atas, terdapat 3 zona dengan 3 tipe penampang, yaitu plastis (penampang kompak), inelastis (penampang tidak kompak), dan elastis (penampang langsing).

Untuk penampang I, batas antara kompak dan non kompak adalah:

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \rightarrow f_y = \text{Mpa}$$

(SNI 03-1729 – 2002 tabel 7.5-1)

$$\lambda_p = \frac{65}{\sqrt{f_y}} \rightarrow f_y = \text{ksi}$$

Dan batas antara non kompak dan balok langsing adalah:

$$\lambda_p = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}} \rightarrow f_y = \text{Mpa}$$

(SNI 03-1729 – 2002 tabel 7.5-1)

$$\lambda_p = \frac{141}{\sqrt{f_y - f_r}} \rightarrow f_y = \text{ksi}$$

dimana f_r = tegangan tekan residual rata-rata pada pelat sayap = 70 Mpa (10ksi) untuk penampang di rol = 115Mpa (16.5 ksi) untuk penampang di las. Untuk memberikan kontrol tambahan pada penampang non kompak di daerah gempa, direkomendasikan untuk λ_p direduksi menjadi $\lambda_p = 52/\sqrt{f_y}$

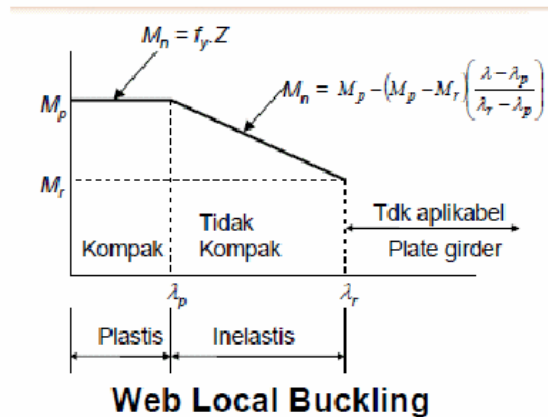
Di dalam zona plastis, momen nominal adalah:

$$M_n = M_p = f_y \cdot Z \dots\dots\dots (2.15)$$

Di batas antara zona non kompak dan langsing, momen adalah:

$$M_r = S (f_y - f_r) \dots\dots\dots (2.16)$$

2.7.2 Tekuk Lokal Badan (Web Local Buckling)



Gambar 2.3 Grafik Batas Tekuk Lokal Badan

Untuk penampang I, batas dari plastis (penampang kompak) adalah:

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \rightarrow f_y = \text{Mpa}$$

(SNI 03-1729 – 2002 tabel 7.5-1)

$$\lambda_p = \frac{640}{\sqrt{f_y}} \rightarrow f_y = \text{ksi}$$

dan untuk daerah inelastis (penampang non kompak):

$$\lambda_p = \frac{2550}{\sqrt{f_y}} \rightarrow f_y = \text{Mpa}$$

(SNI 03-1729 – 2002 tabel 7.5-1)

$$\lambda_p = \frac{970}{\sqrt{f_y}} \rightarrow f_y = \text{ksi}$$

Di batas antara inelastis dan perilaku elastis, momen nominal adalah:

$$M_n = M_r = S \cdot f_y \dots\dots\dots (2.17)$$

Baik untuk tekuk sayap maupun tekuk badan, hubungan antara λ dan M_n dalam daerah inelastis adalah linear, sehingga M_n dapat dengan mudah dikalkulasi sebagai berikut.

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

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \dots\dots\dots (2.18)$$

2.8 Persamaan Interaksi Balok - Kolom

Dalam perencanaan komponen struktur balok-kolom yang diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 11.3 yang menyatakan bahwa suatu komponen struktur yang mengalami momen lentur dan gaya aksial harus direncanakan untuk memenuhi ketentuan sebagai berikut:

$$\text{Untuk } \frac{N_u}{\phi N_n} < 0,2 \text{ maka } \frac{N_u}{\phi N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{2\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (2.19)$$

$$\text{Untuk } \frac{N_u}{\phi N_n} \geq 0,2 \text{ maka } \frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{2\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (2.20)$$

Dengan,

N_u = gaya tekan aksial terfaktor, N.

ϕN_n = kuat nominal penampang, N.

ϕ = faktor reduksi tahanan tekan (0,85).

M_{ux}, M_{uy} = momen lentur terfaktor sumbu x, sumbu y.

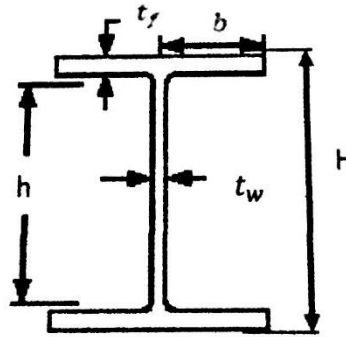
M_{nx}, M_{ny} = momen nominal untuk lentur sumbu x, sumbu y.

ϕ_b = faktor reduksi tahanan lentur (0,9).

2.9 Tekuk Lokal Web Pada Komponen Struktur Balok – Kolom

Untuk menentukan tahanan lentur rencana dari suatu profil, maka kekompakan dari penampang tersebut harus diperiksa terlebih dahulu. Syarat kelangsingan badan atau kekompakan badan sebagai berikut:

Nilai banding $\frac{h}{t_w}$, akan lebih kritis jika $h=H - (2.C_x)$



Kelangsingan dari web dapat dikategorikan menjadi tiga bagian:

- 1) Jika $\lambda \leq \lambda_p$, maka penampang kompak.
- 2) Jika $\lambda < \lambda \leq \lambda_p$, maka penampang tak kompak.
- 3) Jika $\lambda > \lambda_p$, maka penampang langsing.

Tabel 7.5.1 SNI 03 – 1729 – 2002 memberikan batasan nilai untuk λ_p dan λ_r sebagai berikut:

$$\text{Untuk } \frac{N_u}{\phi_b N_y} < 0,125, \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{2,75 \cdot N_u}{\phi_b N_y} \right] \dots\dots\dots (2.21 - 1)$$

$$\text{Untuk } \frac{N_u}{\phi_b N_y} > 0,125, \lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} \left[2,33 - \frac{N_u}{\phi_b N_y} \right] > \frac{665}{\sqrt{f_y}} \dots\dots\dots (2.22 - 2)$$

$$\text{Untuk semua nilai, } \lambda_r = \frac{2550}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{0,74 \cdot N_u}{\phi_b N_y} \right] \dots\dots\dots (2.23 - 3)$$

Dengan $N_y = A_g \cdot f_y$ adalah gaya aksial yang diperlukan untuk mencapai kondisi batas leleh.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)