BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. BAHAN/MATERIAL BAJA

Bahan/material baja yang banyak digunakan dalam proyek-proyek pembangunan konstruksi gedung maupun sarana penunjang transportasi seperti jembatan dan lain-lain merupakan bahan/material yang memiliki sifat diantaranya proses pembuatan dan pelaksanaannya yang relatif lebih cepat. Namun selain memiliki keuntungan tersebut material ini memiliki kekurangan yakni diantaranya mudahnya material ini mengalami karat jika tidak cepat ditanggulangi secara dini, yang akan berakibat fatal pada saat pengerjaannya.

Penggunaan material baja ini di Amerika Serikat pada mulanya adalah sebagai konstruksi utama Jembatan Eads di St. Louis, Missouri, yang dimulai pembangunannya pada tahun 1868 dan selesai pada tahun 1874. Kemudian pada tahun 1884 diikuti dengan pembangunan gedung bertingkat sepuluh berstruktur baja (nantinya menjadi 12 tingkat), yaitu Home Insurance Company Building di Chicago. Seabad setelah ditemukannya, bahan baja telah banyak dikembangkan, baik dalam sifat materialnya maupun dalam metode dan jenis penggunaannya. Beberapa struktur baja yang dapat dicatat disini antara lain adalah jembatan gantung Humber Estuary di Inggris, yang bentang utamanya sampai 4626 ft; menara radio di Polandia dengan tinggi 2120 ft; dan Sears Tower di Chicago setinggi 109 tingkat (1454 ft)[1].

[1] Spiegel L. dan Limbrunner George F. *Desain Baja Struktural Terapan*. PT. ERESCO, Bandung, 1991

2.2. SIFAT SIFAT BAHAN/MATERIAL BAJA

Seperti yang telah disinggung pada awal pembahasannya, bahwa salah satu sifat dari bahan/material baja yakni mudahnya material ini menjadi karat jika dalam proses konstruksi tidak dilakukan perawatan secara khusus terhadap material ini. Pengaruh buruknya cuaca dalam proses konstruksi merupakan salah satu penyebab yang dapat mempengaruhi material ini menjadi karat.

Seseorang akan mengetahui sifat mekanik pada material baja apabila dilakukan percobaan uji tarik pada material tersebut. Uji ini melibatkan pembebanan tarik sampel baja dan bersamaan dengan itu dilakukan pengukuran beban dan perpanjangan sehingga akan diperoleh tegangan dan renggangan, yang dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{tegangan } \left(f_t\right) = \frac{P}{A}$$

$$\text{regangan } \left(\varepsilon\right) = \frac{\Delta L_o}{L_o}$$

dimana : f_t tegangan tarik yang dihitung (ksi)

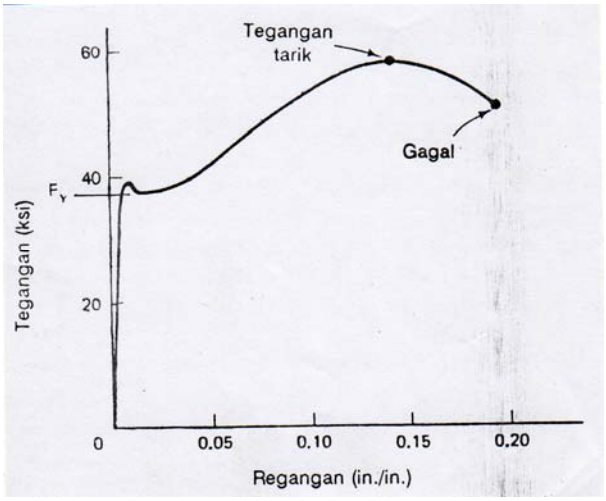
P beban tarik yang diberikan (kips)

A luas penampang melintang spesimen tarik (in.^{2}); harga ini diasumsikan konstan selama uji dilakukan; pengurangan luas penampang diabaikan

ε regangan (in./in.)

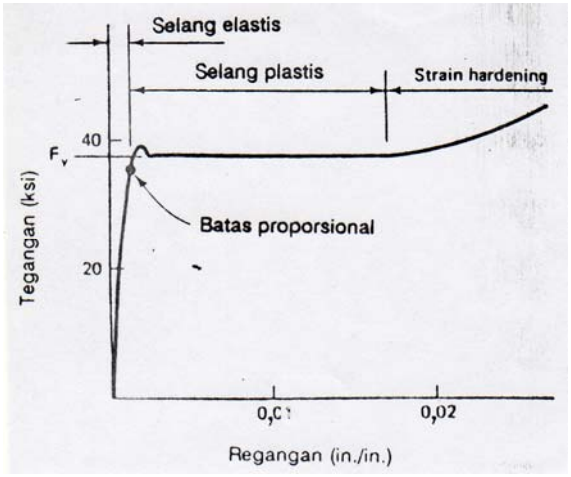
ΔL_o perpanjangan atau perubahan panjang antara dua titik acuan pada spesimen tarik (in.)

L_o panjang semula di antara dua titik acuan (dapat berupa tanda berlubang) pada spesimen tarik sebelum dibebani (in.)



Gambar 2.1. Kurva tegangan f_1 terhadap renggangan ε

Pada gambar 2.1 diatas diperlihatkan diagram tegangan-regangan khas untuk baja struktural yang umum digunakan. Akibat dibebani, sampel yang diuji tarik ini pada awalnya menunjukkan hubungan linear antara tegangan dan regangan. Titik dimana hubungan tegangan-regangan menjadi tidak linear disebut limit proporsional. Hal ini ditunjukkan dalam gambar 2.2. berikut, dimana bagian kiri dari gambar 2.1. diperlihatkan dengan skala besar. Baja tersebut tetap elastis (artinya, apabila beban dihilangkan akan kembali ke panjangnya semula) asalkan tegangannya tidak melampaui harga sedikit di atas limit proporsional yang disebut *limit elastis*.



Gambar 2.2 **Kurva tegangan f_1 terhadap renggangan ε dalam skala yang lebih besar**

Dengan menambah bebannya, akan tercapai suatu titik pada saat regangan sangat bertambah pada harga tegangan yang konstan. Tegangan pada saat hal ini terjadi disebut *tegangan leleh*, F_y. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2., bahwa F_y adalah besarnya tegangan untuk daerah horizontal kurva tegangan-regangan. Bagian kurva mulai dari titik awal sampai limit proporsional disebut dengan *selang elastis*. Pada desain demikian, hanya bagian kiri dari kurva yang diperlukan oleh seorang perancang. Sekalipun demikian, perancang harus menyadari bahwa masih ada selang tengangan-regangan yang dapat dialami oleh baja sebelum benar-benar mengalami kegagalan tarik.

Pada gambar 2.2. terlihat bahwa apabila telah melampaui limit proporsionalnya, baja tersebut akan masuk ke dalam *selang plastis* dan regangannya akan konstan pada tegangan sebesar F_y. Pada saat baja ini terus meregang, lama-kelamaan akan dicapai titik dimana kapasitas pikul bebannya bertambah. Fenomena bertambahnya kekuatan ini disebut *strain hardening*.

Sekalipun desain elastis hingga saat ini masih merupakan cara yang banyak digunakan, ada metode desain lain yang memperbolehkan sebagian dari penampang elemen struktur mengalami tegangan F_y dan regangannya ada di dalam selang plastis. Hal ini disebut dengan *desain plastis* [1].

Salah satu sifat bahan/material baja yang lain yakni *daktilitas*, yakni kemampuan material baja mengalami deformasi sebelum mengalami keruntuhan/*collapse*. Dari tinjauan desain struktural, material baja yang menunjukkan perilaku daktil sangat diinginkan karena daerah plastisnya memberikan arti sebagai ukuran cadangan kekuatan. Defleksi ini dengan jelas dapat terlihat dengan mata, dan jauh lebih besar dibandingkan defleksi yang digunakan dalam desain sehingga dapat dipakai sebagai peringatan akan adanya kegagalan [2].

[1] Spiegel L. dan Limbrunner George F. *Desain Baja Struktural Terapan*. PT. ERESCO, Bandung, 1991

[2] Schodek Daniel L. *Struktur*. PT. REFIKA ADITAMA, Bandung 1998

2.3. RANGKA BATANG

Rangka batang merupakan salah satu komponen penting yang dimiliki oleh struktur selain pondasi, kolom, balok dan lain-lain. Karena rangka batang dapat disusun menjadi rangka atap yang dapat berfungsi melindungi penghuninya dari sinar matahari maupun hujan.

Arsitek Italia Andrea Palladio (1518-1580) telah memberikan ilustrasi mengenai struktur rangka batang berpola segitiga yang benar, dan menunjukkan bahwa memiliki pengetahuan tentang potensi dan cara struktur tersebut memikul beban. Setelah itu, rangka batang kadang-kadang digunakan pula pada gedung besar seperti Independence Hall, Philadelphia, tetapi lagi-lagi hal ini tidak memberikan pengaruh apapun pada inovasi struktur. Para ahli jembatan pada abad ke-sembilan belaslah yang mulai secara sistimatis mempelajari dan bereksperimen dengan potensi rangka batang, hal ini dilakukan karena meningkatnya kebutuhan transportasi pada saat itu.

Rangka batang/*trusses* adalah struktur yang dibuat dengan menyusun batang yang relatif pendek dan lurus menjadi pola-pola segitiga. Berkembangnya rangka batang sebagai bentuk struktural utama berlangsung sangat cepat dan memberikan pengaruh yang sangat cepat, dengan demikian perkembangan rangka batang dibantu oleh dasar pengetahuan teoritis yang bersifat percobaan berkembang dengan cepat.

Hal ini berbeda dengan bentuk struktur lain yang berkembang agak lambat dengan cara empiris. Penggunaan rangka batang untuk gedung juga berkembang meskipun lebih lambat karena adanya perbedaan tradisi kebutuhan hingga akhirnya menjadi elemen umum dalam arsitektur modern [1].

2.4. PRINSIP-PRINSIP UMUM RANGKA BATANG

2.4.1. PEMBENTUKAN SEGITIGA (TRIANGULASI)

Rangka batang adalah susunan elemen-elemen linear yang membentuk segitiga atau kombinasi segitiga, sehingga menjadi bentuk rangka batang yang tidak dapat berubah bentuk apabila diberi beban eksternal tanpa adanya perubahan bentuk pada satu atau lebih batangnya.

Prinsip utama yang mendasari penggunaan rangka batang sebagai struktur pemikul beban adalah penyusunan elemen menjadi konfigurasi segitiga hingga menjadi bentuk stabil. Pentingnya penentuan apakah kofigurasi batang stabil atau tidak dapat dilebih-lebihkan karena hal ini dapat membahayakan. Keruntuhan total dapat langsung terjadi kalau struktur tak stabil dibebani. Sebagai pembantu dalam menentukan kestabilan rangka batang bidang digunakan persamaan aljabar yang menghubungkan banyak titik hubung pada rangka batang dengan banyak batang yang diperlukan untuk kestabilan

$$n = 2.j - 3 \qquad \ldots. (2.1)$$

[1] Spiegel L. dan Limbrunner George F. *Desain Baja Struktural Terapan*. PT. ERESCO, Bandung, 1991

dimana : n adalah banyak batang yang diperlukan

j adalah banyak titik hubung

Persamaan diatas hanya merupakan indikator apakah suatu gaya batang pada struktur dapat dihitung dengan persamaan keseimbangan saja atau tidak. Sekalipun demikian, persamaan tersebut memang dapat digunakan sebagai petunjuk awal kestabilan karena kita tidak dapat menghitung gaya-gaya pada struktur tidak stabil dengan persamaan statika[2].

2.4.2. KONFIGURASI

Rangka batang yang stabil yakni susunan segitiga yang disusun menjadi sebuah rangka batang. Dalam mendesain sebuah struktur rangka batang, seorang perencana harus mengetahui besar gaya tekan dan gaya tarik yang terjadi pada rangka batang tersebut.

Efek beban eksternal menyebabkan keadaan tarik murni atau tekan murni pada setiap batang. Untuk rangka batang yang hanya memikul beban vertikal, pada batang tepi atas umumnya timbul gaya tekan, dan pada batang tepi bawah umumnya timbul gaya tarik [2].

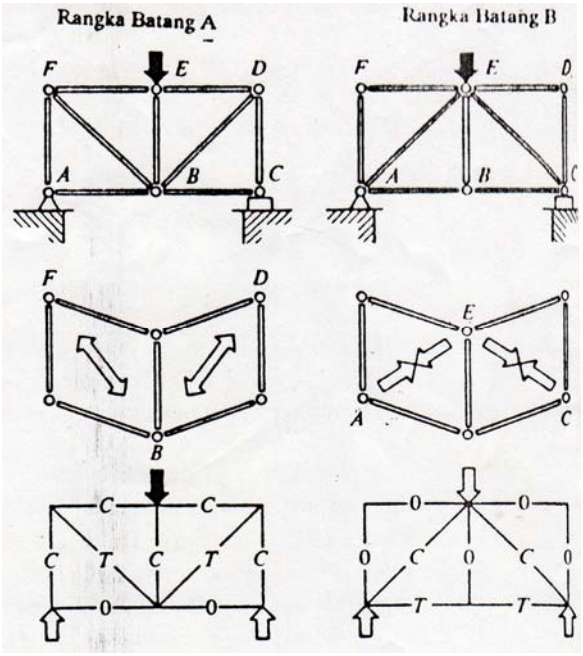
2.4.3. GAYA BATANG

Salah satu cara untuk menentukan gaya dalam batang pada rangka batang adalah dengan menggambarkan bentuk berdeformasi yang mungkin dari struktur yang akan terlihat apabila batang yang hendak diketahui sifat gayanya

dibayangkan tidak ada. Perhatikan batang-batang diagonal pada rangka batang A pada Gambar 2.3-(a). Apabila diagonal tersebut dibayangkan tidak ada, maka susunannya akan berubah bentuk, seperti terlihat pada Gambar 2.3-(b), karena konfigurasinya tidak segitiga. Agar diagonal dapat mencegah deformasi, jelas bahwa diagonal kiri dan kanan harus mencegah berubahnya jarak (berturut-turut titik B-F dan titik B-D). Dengan demikian, diagonal-diagonal yang terletak diantara titik-titik itu akan memanjang, yang artinya batang tersebut mengalami gaya tarik. Batang-batang diagonal pada rangka batang B yang terlihat pada Gambar 2.3. harus berada dalam keadaan tekan karena berfungsi untuk menjaga titik A-E dan C-E dari perubahan jarak mendekat.

Apabila ditinjau batang BE pada kedua rangka batang, mudah untuk membayangkan apa yang akan terjadi pada titik-titik B dan E apabila batang BE tidak ada/dihilangkan.

Pada rangka batang A, titik B dan E akan mempunyai kecenderungan mendekat sehingga akan timbul gaya tekan pada setiap batang yang terletak diantara titik-titik tersebut



Gambar 2.3. Gaya batang pada rangka batang

Akan tetapi pada rangka batang B, apabila batang BE tidak ada/dihilangkan, maka tidak ada perubahan bentuk struktur total karena masih tetap dalam keadaan stabil (konfigurasi masih segitiga). Perhatikan bahwa batang AF, FE, ED, dan DC pada rangka batang B merupakan batang nol sama seperti batang BE [2].

[2] Schodek Daniel L. *Struktur*. PT. REFIKA ADITAMA, Bandung 1998

2.5. METHOD OF JOINT/KESEIMBANGAN TITIK KUMPUL

Suatu benda berada dalam keadaan keseimbangan apabila sistem gaya yang bekerja pada benda tersebut tidak menyebabkan translasi maupun rotasi pada benda tersebut. Keseimbangan akan ada dari sistem gaya kongkuren yang bekerja pada titik atau partikel apabila resultan sistem gaya kongkuren tersebut sama dengan nol. Resultan dari sistem gaya kongkuren dapat diperoleh dengan meninjau komponen-komponen gaya dan menggunakan persamaan :

$$R = \sqrt{\left(\sum F_x\right)^2 + \left(\sum F_y\right)^2} \qquad \ldots\ldots (2.2)$$

Apabila sistem tersebut dalam keadaan seimbang, maka resultan ini sama dengan nol $(R = 0)$, jadi haruslah $\sum F_x = 0$ dan $\sum F_y = 0$. Dengan demikian, jumlah aljabar semua komponen gaya yang bekerja pada partikel dalam arah x dan y haruslah sama dengan nol.

Untuk sistem gaya tak-kongkuren bekerja pada suatu benda tegar, maka akan ada potensial untuk mengalami translasi dan rotasi. Agar benda tegar mengalami keseimbangan, keduanya harus tidak ada.

Untuk mencegah translasi, ini mengandung arti sama dengan pada sistem gaya kongkuren, yaitu resultan sistem gaya tersebut haruslah sama dengan nol. Sedangkan untuk mencegah rotasi, haruslah jumlah momen yang diakibatkan oleh semua gaya sama dengan nol.

Dengan demikian kondisi keseimbangan benda tegar adalah :

$$\sum F_x = 0 \qquad \sum F_y = 0 \qquad \sum F_z = 0$$

$$\sum M_x = 0 \qquad \sum M_y = 0 \qquad \sum M_z = 0 \quad \ldots\ldots (2.3)$$

Dengan meninjau dari persamaan diatas maka pada kasus seperti pada Gambar 4.1 dapat menggunakan persamaan 2.3 untuk menentukan reaksi perletakan pada rangka batang tersebut.

Pada analisis rangka batang dengan metode titik kumpul, rangka batang dianggap sebagai gabungan batang dan titik kumpul. Gaya batang diperoleh dengan meninjau keseimbangan titik-titik kumpul.

Titik awal analisis biasanya adalah titik tumpuan dimana rekasi telah dihitung terlebih dahulu, dan biasanya di titik tersebut hanya dua gaya yang belum diketahui yaitu gaya batang yang bertemu pada titik tersebut. Apabila gaya suatu batang telah diketahui dari keseimbangan pada satu titik kumpul, maka kita dapat meninjau titik kumpul berikutnya dimana gaya batang tersebut sekarang sudah diketahui. Hal ini terus dilakukan berurutan untuk setiap titik kumpul hingga semua gaya batang diperoleh[2].

Berikut ini tata cara dalam mendesain rangka batang dengan menggunakan metode keseimbangan titik kumpul/*method of joint*:

1. Hitunglah reaksi peletakkan dengan menganggap rangka batang sebagai balok sederhana di atas dua peletakkan.

[2] Schodek Daniel L. *Struktur*. PT. REFIKA ADITAMA, Bandung 1998

2. Analisis dimulai dari titik simpul yang mempunyai jumlah batang yang paling sedikit. Kemudian pindah ke titik simpul berikutnya yang mempunyai jumlah batang yang belum diketahui paling sedikit, dan seterusnya.
3. Gaya batang yang belum diketahui selalu diumpamakan sebagai gaya tarik/positif (+) terlebih dahulu. Bila hasil perhitungannya memberikan hasil negatif (-), maka arah gaya batang dibalik.
4. Sering kali harus dipakai gabungan persamaan dari beberapa titik simpul untuk dapat menghitung besarnya gaya batang[3].

2.6. PERHITUNGAN KOMPONEN STRUKTUR TEKAN DAN TARIK BERDASARKAN SNI 2002

2.6.1. KOMPONEN STRUKTUR TEKAN

Perbandingan Kelangsingan

Dalam menentukan kelangsingan penampang, perlu diperhatikan syarat sebagai berikut :

- kelangsingan elemen penampang < λr
- kelangsingan komponen struktur tekan, $\lambda = \frac{Lk}{r} < 200$

[3] Setiyarto Djoko,ST.,MT. *Diktat Statika Jurusan Teknik Sipil Dan Teknik Arsitektur*. Universitas Komputer Indonesia, Bandung 2003

Untuk batang-batang yang direncanakan terhadap tekan, angka perbandingan kelangsingan $\lambda = \frac{L_k}{r}$ dibatasi sebesar 200

Menentukan Kuat Tekuk Lentur/Perencanaan Akibat Gaya Tekan

Suatu komponen struktur yang mengalami gaya tekan konsentris akibat beban terfaktor, Nu harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$N_u \leq \phi_n . N_n \quad \text{.... (2.4)}$$

dimana : ϕ_n adalah faktor reduksi kekuatan.

N_n adalah kuat tekan nominal komponen struktur yang ditentukan.

Faktor reduksi kekuatan ϕ_n untuk komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial (sesuai dalam SNI 2002 hal 18) sebesar 0,85. Sedangkan untuk penampang yang mempunyai perbandingan lebar terhadap tebalnya lebih kecil λ_r pada tabel 7.5-1 (SK-SNI 2002 hal 30), daya dukung nominal komponen struktur tekan dihitung sebagai berikut :

$$N_n = A_g . f_{cr} \quad \text{.... (2.5)}$$

$$f_{cr} = \left(\frac{f_y}{\omega} \right) \quad \text{.... (2.6)}$$

Untuk $\lambda_c \leq 0{,}25$ maka $\omega = 1$ .... (2.7)

Untuk $0{,}25 < \lambda_c < 1{,}2$ maka $\omega = \frac{1{,}43}{1{,}6 - (0{,}67 . \lambda_c)}$ .... (2.8)

Untuk $\lambda_c \geq 1{,}2$ maka $\omega = 1{,}25 . \lambda_c^2$ .... (2.9)

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} . \frac{L_k}{r} . \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{.... (2.10)}$$

dimana : A_g adalah luas penampang bruto, mm^2

f_{cr} adalah tegangan kritis penampang, MPa

f_y adalah tegangan leleh material, MPa

Untuk penampang yang mempunyai perbandingan lebar terhadap tebalnya lebih besar daripada λ_r pada tabel 7.5-1, analisis kekuatan dan kekakuannya dilakukan secara tersendiri dengan mengacu pada metode-metode analisis yang rasional

Jika ditinjau berdasarkan peraturan AISC – LRFD 1999, tegangan kritis tekuk lentur pada penampang yang tidak langsing dapat di hitung berdasarkan persamaan berikut :

Untuk $\lambda_c \leq 1.5$ rumus yang digunakan yakni :

$$F_{cr} = \left(0.658^{\lambda_c}\right).F_y \qquad \text{.... (2.11)}$$

Untuk $\lambda_c > 1.5$ rumus yang digunakan yakni :

$$F_{cr} = \left(\frac{0.877}{\lambda_c{}^2}\right).F_y \qquad \text{.... (2.12)}$$

Sedangkan tegangan kritis tekuk lentur pada penampang yang langsing dapat di hitung berdasarkan persamaan berikut :

Untuk $\lambda_c \leq 1.5$ rumus yang digunakan yakni :

$$F_{cr} = Q.\left(0.658^{Q.\lambda_c}\right).F_y \qquad \text{.... (2.13)}$$

Untuk λ_c > 1.5 rumus yang digunakan yakni :

$$F_{cr} = \left(\frac{0.877}{Q.\lambda_c^{\,2}} \right).F_y \qquad \text{.... (2.14)}$$

$$\text{dimana } \lambda_c = \frac{kL}{r.\pi}.\sqrt{\frac{F_y}{E}} \qquad \text{.... (2.15)}$$

Kuat Tekan Rencana Akibat Tekuk Lentur Torsi

Kuat tekan rencana akibat tekuk lentur torsi, ϕ_n , N_{nlt} dari komponen struktur tekan yang terdiri dari siku ganda atau berbentuk T, dengan elemen-elemen penampangnya mempunyai rasio lebar tebal, λ_r lebih kecil daripada yang tercantum dalam Tabel 7.5-1 (SNI 2002 hal 30) harus memenuhi :

$$N_u \le \phi_n . N_{nlt} \qquad \text{.... (2.16)}$$

dengan ϕ_n adalah faktor reduksi kekuatan

$$N_{nlt} = A_g . f_{clt} \qquad \text{.... (2.17)}$$

$$f_{clt} = \left(\frac{fcry + fcrz}{2H} \right)\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4\, fcry\ fcrz\, H}{\left(fcry + fcrz \right)^2}} \right] \qquad \text{.... (2.18)}$$

$$f_{crz} = \frac{G.J}{Aro^2} \qquad \text{.... (2.19)}$$

dengan r_o adalah jari-jari girasi polar terhadap pusat geser

$$r_o^{\,2} = \frac{Ix + Iy}{A} + xo^2 + yo^2 \qquad \text{.... (2.20)}$$

$$H = 1 - \left(\frac{xo^2 + yo^2}{ro^2} \right) \qquad \text{.... (2.21)}$$

Keterangan :

x_o , y_o adalah koordinat pusat geser terhadap titik berat, xo = 0 untuk siku ganda dan profil T (sumbu y – sumbu simetris)

f_{cry} dihitung berdasarkan persamaan (2.3) hingga persamaan (2.7) untuk tekuk lentur terhadap sumbu lemah y-y, dan dengan menggunakan harga λ_c ,

yang dihitung dengan rumus $\lambda_c = \frac{Lky}{\pi.ry}\sqrt{\frac{fy}{E}}$ dengan L_{ky} adalah panjang tekuk dalam arah sumbu lemah y-y

Berdasarkan AISC-LRFD 1999, tegangan kritis tekuk torsi lentur pada penampang yang tidak langsing dapat di hitung berdasarkan persamaan berikut

Untuk $\lambda_e \leq 1.5$ rumus yang digunakan yakni :

$$F_{cr} = \left(0.658^{\lambda_e}\right).F_y \qquad \text{.... (2.22)}$$

Untuk $\lambda_e > 1.5$ rumus yang digunakan yakni :

$$F_{cr} = \left(\frac{0.877}{\lambda_e^{\,2}}\right).F_y \qquad \text{.... (2.23)}$$

Sedangkan tegangan kritis tekuk torsi lentur pada penampang yang langsing dapat di hitung berdasarkan persamaan berikut :

Untuk $\lambda_e \leq 1.5$ rumus yang digunakan yakni :

$$F_{cr} = Q.\left(0.658^{Q.\lambda_c}\right).F_y \qquad \text{.... (2.24)}$$

Untuk λ_e > 1.5 rumus yang digunakan yakni :

$$F_{cr} = \left(\frac{0.877}{Q.\lambda_e^{\,2}}\right).F_y \qquad \text{.... (2.25)}$$

$$\text{dimana } \lambda_e = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}} \qquad \text{.... (2.26)}$$

Nilai F_e dapat ditentukan berdasarkan jenis dari penampang/profil tersebut. Penampang dibedakan berdasarkan jumlah sumbu simetri yang dimiliki oleh sebuah penampang.

Untuk penampang yang memiliki satu sumbu simetri/*singly symmetric*, F_e dapat ditentukan dengan rumus :

$$F_\ell = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H}\right)\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4.F_{cry}.F_{crz}.H}{\left(F_{cry} + F_{crz}\right)^2}}\right] \qquad \text{.... (2.27)}$$

Untuk penampang yang memiliki dua sumbu simetri/*doubly symmetric*, F_e dapat ditentukan dengan rumus :

$$F_\ell = \left[\frac{\pi^2.E.C_w}{\left(K_z L\right)^2} + G.J\right].\frac{1}{I_x + I_y} \qquad \text{.... (2.28)}$$

Sedangkan, untuk penampang yang tidak memiliki sumbu simetri/*unsymmetric*, besar nilai F_e dapat ditentukan dengan rumusan sebagai berikut :

$$\left(F_\ell - F_{ex}\right).\left(F_\ell - F_{ey}\right).\left(F_\ell - F_{ez}\right) - F_\ell^{\,2}.\left(F_\ell - F_{ey}\right).\left(\frac{x_o}{r_o}\right)^2 - F_e^{\,2}.\left(F_\ell - F_{ex}\right).\left(\frac{y_o}{r_o}\right)^2 = 0 \qquad \text{.... (2.29)}$$

Peraturan AISC-LRFD 1999 sangat lengkap dibahas mengenai perhitungan mendesain batang tekan, SNI 2002 sebagai peraturan yang digunakan di Indonesia banyak mendapatkan masukkan/*reference* dari AISC-LRFD 1999

sebagai peraturan dan pedoman yang digunakan di dunia. Sehingga apabila dalam peraturan SNI 2002 tidak terdapat hal-hal yang perlu diperhitungkan dalam AISC-LRFD 1999 maka SNI 2002 menggunakan rumusan-rumusan yang terdapat dalam AISC-LRFD 1999. Namun SNI 2002 tidak selamanya menggunakan rumusan dari AISC-LRFD 1999 dalam mendesain batang tekan.

2.6.2. KOMPONEN STRUKTUR TARIK

Kuat Tarik Rencana

Komponen struktur yang memikul gaya tarik terfaktor harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$N_u \leq \phi . N_n \qquad \text{.... (2.30)}$$

dengan $\phi . N_n$ adalah kuat tarik rencana yang besarnya diambil sebagai nilai terendah di antara dua perhitungan menggunakan harga-harga ϕ dan N_n dibawah ini

$$\phi = 0.9 \qquad \text{.... (2.31)}$$

$$N_n = A_g . f_y \qquad \text{.... (2.32)}$$

$$\phi = 0.75 \qquad \text{.... (2.33)}$$

$$N_n = A_e . f_u \qquad \text{.... (2.34)}$$

Keterangan :

A_g adalah luas penampang bruto, mm^2

A_e adalah luas penampang efektif, mm^2

f_y adalah tegangan leleh, MPa

f_u adalah tegangan tarik putus, MPa

Penampang Efektif

Luas penampang efektif komponen struktur yang mengalami gaya tarik ditentukan sebagai berikut :

$$A_e = A.U \qquad \text{.... (2.35)}$$

dimana :

A adalah luas penampang

U adalah faktor reduksi $\left(U = 1 - \left[\frac{\bar{x}}{L} \right] \leq 0{,}9 \right)$

$\bar{x}$ adalah eksentrisitas sambungan, jarak tegak lurus arah gaya tarik, antara titik berat penampang komponen yang disambung dengan bidang sambungan, mm

L adalah panjang sambungan dalam arah gaya tarik, yaitu jarak antara baut yang terjauh pada suatu sambungan atau panjang las dalam arah gaya tarik, mm

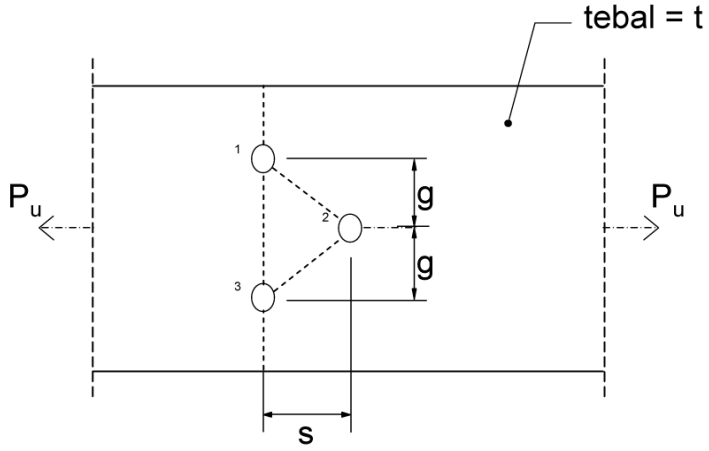
Kasus Gaya Tarik Hanya Disalurkan Oleh Baut

Bila gaya tarik disalurkan melalui penampang yang berlubang dan disambung dengan baut, maka A pada persamaan 2.35 sama dengan :

$$A = A_{nt} \qquad \text{.... (2.36)}$$

dimana A_{nt} adalah luas penampang netto terkecil antara potongan 1-3 dan potongan 1-2-3.

Pada saat mendesain luas penampang netto yang terjadi akibat pengaruh lubang, pertama-tama tinjau potongan lubang baut yang tersusun satu baris kemudian dihitung berdasarkan pada persamaan 2.37. Lalu kemudian tinjau kembali untuk potongan lubang yang letaknya tidak sejajar/berseling dan dihitung berdasarkan pada persamaan 2.38 seperti yang terlihat pada Gambar 2.4. Dalam suatu potongan jumlah luas lubang tidak boleh melebihi 15% luas penampang utuh.



Gambar 2.4. Kasus gaya tarik hanya disalurkan oleh baut

$$A_{nt} = A_g - n.d.t \qquad \text{.... (2.37)}$$

$$A_{nt} = A_g - n.d.t - \sum \frac{s^2.t}{4.u} \qquad \text{.... (2.38)}$$

dimana : A_g luas penampang bruto, mm^2

t tebal penampang, mm

d diameter lubang, mm

n banyaknya lubang dalam garis potongan

s jarak antara sumbu lubang pada arah sejajar sumbu komponen struktur, mm

u jarak antara sumbu lubang pada arah tegak lurus sumbu komponen struktur

Tata Letak Baut

- Jarak antar pusat lubang pengencang tidak boleh kurang dari 3 kali diameter nominal baut pengencang. Jarak antara pusat pengencang tidak boleh melebihi $15t_p$ (dengan t_p adalah tebal pelat lapis tertipis didalam sambungan), atau 200 mm. Pada pengencang yang tidak perlu memikul beban terfaktor dalam daerah yang tidak mudah berkarat, jaraknya tidak boleh melebihi $32t_p$ atau 300 mm. Pada baris luar pengencang dalam arah gaya rencana, jaraknya tidak boleh melebihi ($4t_p$ + 100 mm) atau 200 mm
- Jarak minimum dari pusat pengencang ke tepi atau pelat sayap profil harus memenuhi spesifikasi berikut ini

Tabel 2.0. Jarak tepi minimum

Tepi dipotong dengan tangan	Tepi dipotong dengan mesin	Tepi profil bukan hasil potongan
1,75 . d_b	1,50 . d_b	1,25 . d_b

dengan d_b adalah diameter nominal baut pada daerah tak berulir. Jarak dari pusat tiap pengencang ke tepi terdekat suatu bagian yang berhubungan dengan tepi yang lain tidak boleh lebih dari 12 kali tebal pelat lapis luar tertipis dalam sambungan dan juga tidak boleh melebihi 150 mm

- Ukuran diamater nominal dari suatu lubang yang sudah jadi, harus 2 mm lebih besar dari diamater nominal baut, untuk suatu baut yang diameternya tidak melebihi 24 mm, dan maksimum 3 mm lebih besar untuk baut dengan diamater lebih besar.

Kasus Gaya Tarik Disalurkan Oleh Penampang Las Memanjang

Bila gaya tarik hanya disalurkan oleh pengelasan memanjang ke komponen struktur yang bukan pelat, atau oleh kombinasi pengelasan memanjang dan melintang berlaku persamaan berikut :

$$A = A_g \qquad \text{.... (2.39)}$$

dimana A_g adalah luas penampang bruto komponen struktur ,mm^2

Bila gaya tarik hanya disalurkan oleh pengelasan melintang A adalah jumlah las penampang netto yang dihubungkan secara langsung dan $U = 1{,}0$. Kemudian bila gaya tarik disalurkan ke sebuah komponen struktur pelat dengan pengelasan sepanjang kedua sisi pada ujung pelat, dengan $l \geq w$

$$l \geq 2w \qquad U = 1{,}0$$

$$2w > l \geq 1{,}5w \qquad U = 0.87$$

$$1{,}5w > l \geq w \qquad U = 0{,}75$$

dimana : l adalah panjang pengelasan, mm

w adalah lebar pelat (jarak antar sumbu pengelasan), mm

2.7. PERHITUNGAN KOMPONEN STRUKTUR TEKAN DAN TARIK BERDASARKAN AISC-LRFD 2005

2.7.1. KOMPONEN STRUKTUR TEKAN

Kuat Rencana Komponen Struktur Tekan

Untuk menentukan kekuatan tekan nominal yang bekerja pada sebuah penampang, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_n = A_g \,.F_{cr} \qquad \text{.... (2.40)}$$

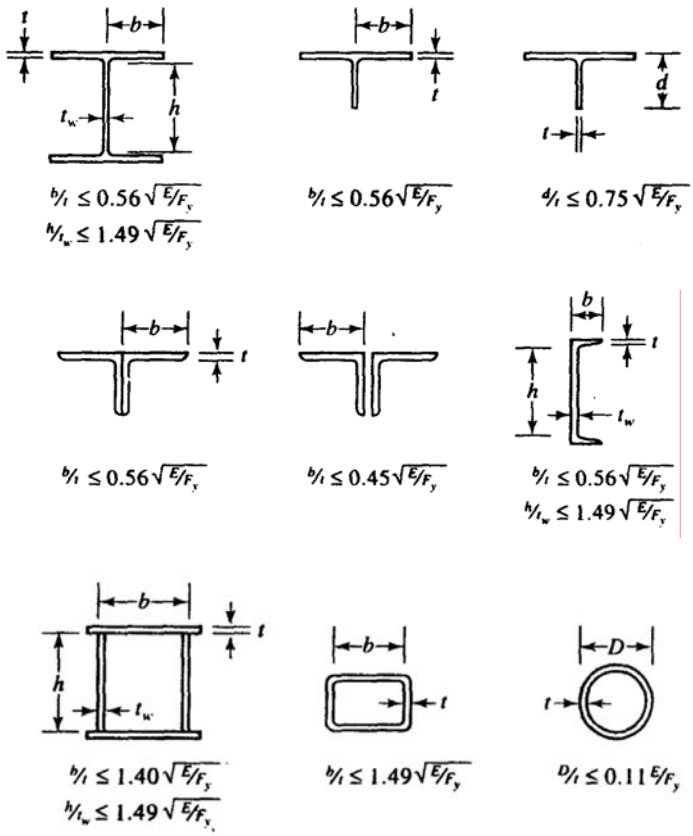
dimana P_n kuat rencana penampang

A_g luas penampang

F_{cr} tegangan kritis penampang, Mpa

Menentukan batas kelangsingan penampang/profil

Dalam menentukan besar kekuatan tekan yang bekerja, diperlu di perhatikan mengenai batas kelangsingan. Sebab dalam perhitungan antara penampang langsing dan tidak langsing sangat berbeda. Penentuan syarat batas kelangsingan dapat ditinjau pada gambar berikut ini :



Gambar 2.5. Menentukan batas kelangsingan penampang/profil

Untuk memudahkan dalam mendesain, dalam Tabel 2.1. terdapat syarat batas kelangsingan penampang yang telah dikalikan oleh pengali sesuai dengan jenis baja yang digunakan dalam pengerjaannya.

Pengali $\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	**BJ34** $F_y = 210$ **MPa**	**BJ37** $F_y = 240$ **MPa**	**BJ41** $F_y = 250$ **MPa**	**BJ50** $F_y = 290$ **MPa**	**BJ55** $F_y = 410$ **MPa**
0,45	13,89	12,99	12,73	11,82	9,94
0,56	17,28	16,17	15,84	14,71	12,37
0,75	23,15	21,65	21,21	19,70	16,56
1,40	43,20	40,41	39,60	36,77	30,92
1,49	45,98	43,01	42,14	39,13	32,91

Tabel 2.1 Batas kelangsingan penampang sesuai dengan jenis baja

Menghitung Tegangan Kritis Tekuk Lentur Pada Penampang

Tekuk lentur dapat saja terjadi pada jenis penampang apapun. Kondisi tekuk juga hanya terjadi terhadap sumbu utama (sumbu yang merupakan sumbu simetri). Batas kelangsingan penampang dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{kL}{r} \leq 200 \qquad \text{.... (2.41)}$$

dimana k adalah faktor panjang efektif

L adalah panjang komponen struktur tekan

r adalah jari-jari girasi

Tegangan kritis tekuk lentur pada penampang yang tidak langsing dapat di hitung berdasarkan persamaan berikut :

Jika $\left(\frac{KL}{r}\right) \leq \left(4{,}71.\sqrt{\frac{E}{F_y}}\right)$ atau $F_\ell \geq 0{,}44.F_y$ rumus yang digunakan yakni :

$$F_{cr} = \left(0{,}658^{F_y/F_\ell}\right).F_y \qquad \text{.... (2.42)}$$

Jika $\left(\frac{KL}{r}\right) > \left(4{,}71.\sqrt{\frac{E}{F_y}}\right)$ atau $F_\ell < 0{,}44.F_y$ rumus yang digunakan yakni :

$$F_{cr} = 0{,}877.F_\ell \qquad \text{.... (2.43)}$$

$$\text{dengan } F_\ell = \frac{\pi^2.E}{(KL/r)^2} \qquad \text{.... (2.44)}$$

Sedangkan tegangan kritis untuk penampang yang langsing, persamaannya menjadi :

Jika $\left(\frac{KL}{r}\right) \le \left(4{,}71.\sqrt{\frac{E}{Q.F_y}}\right)$ atau $F_\ell \ge 0{,}44\,.\,Q.F_y$ rumus yang digunakan yakni :

$$F_{cr} = \left(Q.0{,}658^{Q.F_y/F_\ell}\right).F_y \qquad \text{.... (2.45)}$$

Jika $\left(\frac{KL}{r}\right) > \left(4{,}71.\sqrt{\frac{E}{Q.F_y}}\right)$ atau $F_\ell < 0{,}44\,.\,Q.F_y$ rumus yang digunakan yakni :

$$F_{cr} = 0{,}877.F_\ell \qquad \text{.... (2.46)}$$

$$\text{dengan } F_\ell = \frac{\pi^2.E}{(KL/r)^2} \qquad \text{.... (2.47)}$$

Menghitung Kuat Rencana Penampang

Dalam menentukan kuat rencana penampang, ditinjau berdasarkan jenis penampang/profil yang digunakan. Untuk menentukan kuat rencana pada penampang/profil siku ganda dan profil T dimana sumbu x merupakan sumbu tak simetri dan sumbu y merupakan sumbu simetri. Pertama-tama menghitung kuat tekuk lentur terhadap sumbu x, f_{cr1} berdasarkan persamaan 2.41 hingga 2.47 sesuai dengan jenis penampang yang langsing atau tidak langsing

Kedua, menghitung kuat tekuk torsi lentur terhadap sumbu y. Persamaan yang digunakan sama seperti menentukan kuat tekuk lentur terhadap sumbu x diatas,

lalu setelah itu untuk menentukan kuat tekuk torsi lentur f_{cr2} dapat digunakan persamaan berikut ini :

$$F_{cr2} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \right) . \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 . F_{cry} . F_{crz} . H}{\left(F_{cry} + F_{crz} \right)^2}} \right] \quad \text{.... (2.48)}$$

$$\text{dengan } f_{crz} = \frac{G.J}{Aro^2} \quad \text{.... (2.49)}$$

F_{cry} adalah tegangan kritis tekuk lentur yang didapat dari rasio kelangsingan terhadap sumbu y .

Untuk penampang siku tunggal, sumbu r dan sumbu s merupakan sumbu utama disamping sumbu x dan sumbu y sumbu sejajar kaki siku. Dalam menentukan kuat rencana untuk penampang/profil siku tunggal ini, pertama ditinjau tekuk lentur terhadap sumbu r atau sumbu s yang mempunyai rasio kelangsingan terbesar. Persamaan yang digunakan yakni persamaan 2.40 hingga 2.47.

Kemudian untuk penampang yang tidak disebutkan di atas, penentuan kuat rencana penampang f_ℓ dibedakan kembali sesuai dengan sumbu simetri yang dimiliki oleh sebuah penampang/profil

Untuk penampang yang memiliki dua sumbu simetri/*doubly symmetric* dapat menggunakan persamaan berikut :

$$F_\ell = \left[\frac{\pi^2 . E . C_w}{\left(K_z L \right)^2} + G . J \right] . \frac{1}{I_x + I_y} \quad \text{.... (2.50)}$$

Pertama-tama periksa kuat tekuk lentur terhadap sumbu simetri dengan kelangsingan komponen struktur yang terbesar f_{cr1}, lalu kemudian periksa kuat tekuk torsi dengan menggunakan persamaan di atas.

Untuk penampang yang memiliki satu sumbu simetri/*singly symmetric*, perbedaan terjadi pada saat menentukan kuat tekuk torsi lentur. Persamaan yang digunakan :

$$F_\ell = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H}\right)\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4.F_{cry}.F_{crz}.H}{\left(F_{cry} + F_{crz}\right)^2}}\right] \quad \text{.... (2.51)}$$

Sebelum menggunakan persamaan di atas, perlu ditinjau kuat tekuk lentur terhadap sumbu tak simetri x, f_{cr1}. Kemudian ditinjau kuat tekuk torsi terhadap sumbu simetri y f_{cr2} dengan persamaan di atas.

Sedangkan untuk penampang yang tidak memilki sumbu simetri/*unsymmetric*, perbedaan terjadi pada saat menentukankuat tekuk torsi lentur. Sehingga persamaan yang digunakan :

$$\left(F_\ell - F_{ex}\right).\left(F_\ell - F_{ey}\right).\left(F_\ell - F_{ez}\right) - F_\ell{}^2.\left(F_\ell - F_{ey}\right).\left(\frac{x_o}{r_o}\right)^2 - F_e{}^2.\left(F_\ell - F_{ex}\right).\left(\frac{y_o}{r_o}\right)^2 = 0 \quad \text{.... (2.52)}$$

Sama seperti pembahasan sebelumnya, dalam menentukan kuat rencana untuk penampang/profil yang tidak memiliki sumbu simetri, pertama tinjau kuat tekuk lentur terhadap sumbu utama dengan kelangsingan komponen struktur terbesar f_{cr1}. Kemudian tinjau kuat tekuk torsi lentur dengan menggunakan persamaan di atas.

Disamping itu terdapat persamaan-persamaan yang akan digunakan lebih lanjut pada saat mendesain batang tekan ini

$$r_o^{\,2} = x_o^{\,2} + y_o^{\,2} + \left(\frac{I_x + I_y}{A} \right) \quad \text{.... (2.53)}$$

$$H = 1 - \left(\frac{x_o^{\,2} + y_o^{\,2}}{r_o^{\,2}} \right) \quad \text{.... (2.54)}$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 . E}{\left(\frac{K_x L}{r_x^{\,2}} \right)^2} \quad \text{.... (2.55)}$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 . E}{\left(\frac{K_y L}{r_y^{\,2}} \right)^2} \quad \text{.... (2.56)}$$

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi . E . C_w}{(K_z L)^2} + G . J \right] . \frac{1}{A . r_o^{\,2}} \quad \text{.... (2.57)}$$

Kuat Desain Batang Tekan

Sebelum menentukan kuat desain batang terhadap gaya tekan yang bekerja, pertama tinjau nilai dari kuat rencana penampang F_{cr1} dan F_{cr2} berdasarkan persyaratan berikut :

$$\text{jika } \left(\frac{KL}{r} \right) \le \left(4{,}71 . \sqrt{\frac{E}{Q . F_y}} \right) ; \; F_{cr1} = Q . 0{,}658^{\frac{Q . F_y}{F_\ell}} . F_y \quad \text{.... (2.58)}$$

$$\text{jika } \left(\frac{KL}{r} \right) > \left(4{,}71 . \sqrt{\frac{E}{Q . F_y}} \right) ; \; F_{cr2} = 0{,}877 . F_\ell \quad \text{.... (2.59)}$$

$$F_{cr} = \min \left(F_{cr1} , F_{cr2} \right) \quad \text{.... (2.60)}$$

$$\phi_n . P_n = 0{,}90 . \left(F_{cr} . A_g \right) \quad \text{.... (2.61)}$$

2.7.2. KOMPONEN STRUKTUR TARIK

Kuat Tarik Rencana

Elemen struktur yang memikul gaya tarik aksial terfaktor Pu, harus dapat memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$P_u \leq \phi . P_n \quad \text{.... (2.62)}$$

Nilai $\phi . P_n$ adalah kuat tarik rencana yang besarnya diambil sebagai nilai terendah di antara dua perhitungan yang menggunakan harga-harga ϕ dan P_n sebagai berikut :

Untuk penampang bruto, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\phi = 0{,}90 \text{ dan } P_n = A_g . F_y \quad \text{.... (2.63)}$$

dimana : A_g adalah luas penampang bruto (mm^2)

F_y adalah tegangan leleh (MPa)

Sedangkan untuk penampang efektif, dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\phi = 0{,}75 \text{ dan } P_n = A_e . F_u \quad \text{.... (2.64)}$$

Dimana : A_e adalah luas netto penampang efektif (mm^2)

F_u adalah tegangan tarik putus (MPa)

Batas kelangsingan maksimum yang ditentukan menurut *American Institute Of Steel Construction, Inc* atau AISC 2005 adalah 300

Luas Netto Efektif, Ae

Luas netto efektif elemen struktur yang mengalami gaya tarik ditentukan sebagai berikut :

$$A_e = U \, . A_n \qquad \ldots . (2.65)$$

dimana : A_n luas netto

U *shear lag factor*/faktor reduksi, yang besarnya diambil dari nilai terkecil antara $\left[1 - \left(\frac{\bar{x}}{l} \right) dan \; 0{,}9 \right]$

$\bar{x}$ adalah eksentrisitas sambungan, jarak tegak lurus arah gaya tarik, antara titik berat penampang komponen yang disambung dengan bidang sambungan (mm)

l adalah panjang sambungan dalam arah gaya tarik, yaitu jarak antara dua baut yang terjauh pada suatu sambungan atau panjang las dalam arah gaya tarik (mm)

Berikut di jelaskan syarat-syarat dalam menentukan nilai *shear lag factor* atau U , yakni sebagai berikut :

- Jika seluruh elemen penampang disambung maka luas netto efektif sama dengan luas netto ($U = 1$), jika tidak nilai U diambil sesuai ketentuan diatas.
- Untuk profil W,M,S, H dan bentuk T hasil potongan dari profil H dengan kondisi pemasangan baut terletak pada flens, maka nilai U diambil berdasarkan kondisi $bf \geq 2/3.d$, $U = 0{,}90$.

Namun jika kondisi pemasangan baut terletak pada web maka nilai U digunakan dengan kondisi $bf < 2/3.d$, $U = 0{,}70$. Dengan jumlah baut 3 buah dalam satu baris

- Jika profil W,M,S, H dan bentuk T hasil potongan dari profil H dengan jumlah baut 4 atau lebih dan berada dalam satu baris, maka nilai U diambil sebesar 0,70
- Untuk profil L/siku tunggal dengan empat buah baut atau lebih berada dalam satu baris, maka nilai U diambil sebesar 0,80. Jika dalam satu baris terdapat dua atau tiga baut, maka nilai U diambil sebesar 0,60
- Kemudian untuk semua elemen yang dihubungkan dengan dua buah baut per baris dalam arah gaya tegangan, nilai *shear lag factor*-nya sama dengan 0,75 (U =0,75).

Jika gaya tarik di salurkan pada sebuah komponen struktur pelat dengan menggunakan sambungan las, dengan panjang pengelasan pada kedua sisi ujung pelat maka dalam menentukan nilai *shear lag factor*/U dapat ditentukan melalui persyaratan berikut :

$$l \geq 2w \qquad U = 1{,}0$$

$$2w > l \geq 1{,}5w \qquad U = 0.87$$

$$1{,}5w > l \geq w \qquad U = 0{,}75$$

dimana l adalah panjang pengelasan, mm

w adalah lebar pelat (jarak antara sumbu pengelasan), mm

Sedangkan gaya tarik yang disalurkan oleh pengelasan melintang, nilai *shear lag factor* (U) sama dengan 1,0

Luas Netto Pada Pelat Berlubang

Untuk kondisi dimana sebuah penampang yang akan disambung memiliki lubang yang tersusun sejajar maka luas netto, A_{nt} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.66). Namun apabila letak lubang tersebut tersusun secara berseling/tidak sejajar, maka dalam menentukan nilai A_{nt} dapat dihitung berdasarkan persamaan (2.67) berikut :

$$A_{nt} = A_g - n.d.t \qquad \text{.... (2.66)}$$

$$A_{nt} = A_g - n.d.t - \sum \frac{s^2.t}{4.u} \qquad \text{.... (2.67)}$$

dimana : A_g luas penampang bruto, mm^2

t tebal penampang, mm

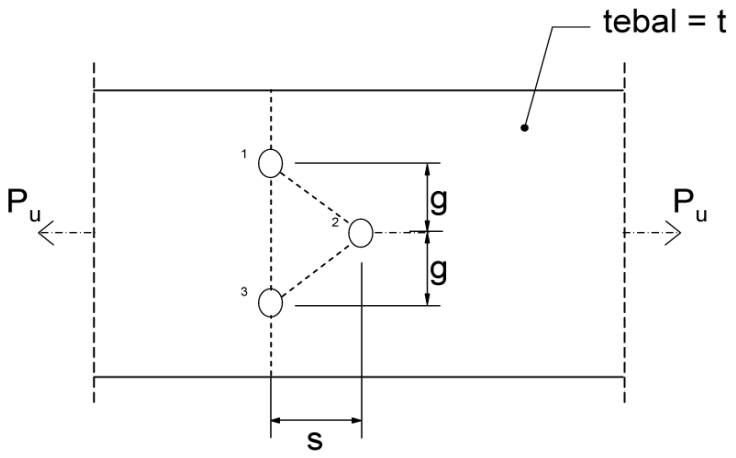
d diameter lubang, mm (dimana, $d = d_{baut} + 22\,mm$)

n banyaknya lubang dalam garis potongan

s jarak antara sumbu lubang pada arah sejajar sumbu komponen struktur, mm

u jarak antara sumbu lubang pada arah tegak lurus sumbu komponen struktur

Pada kondisi lubang baut berseling, dalam menentukan nilai luas penampang netto A_{nt} kita tinjau dalam beberapa potongan. Potongan pertama dimana lubang baut ditinjau arahnya sejajar, dengan menggunakan persamaan (2.66) diatas. Lalu potongan kedua ditinjau berdasarkan arah lubang baut yang berseling, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.67)



Gambar 2.6. Luas netto pada pelat berlubang

Untuk pelat-pelat yang digunakan pada hubungan atau sambungan yang mengalami gaya tarik, luas netto efektif harus diambil sama dengan luas netto actual, tetapi tidak boleh lebih besar daripada 85% dari luas bruto.

$$A_e = A_n \text{(tidak melebihi 0,85 . } A_g \text{)} \qquad \text{.... (2.68)}$$

Dengan demikian, untuk pelat pendek yang mengalami tarik, U tidak berlaku dan untuk elemen struktur tarik yang tidak pendek, apabila semua elemen dihubungkan pada elemen struktur yang menumpunya, maka $A_e = A_n$

Tata Letak Baut

- Jarak antara pusat pengencang tidak boleh kurang dari $3.d$, dan $2\frac{2}{3}.d$ dimana d adalah diameter baut yang digunakan.
- Jarak antara pusat pengencang hingga tepi pelat terdekat tidak boleh melebihi $12.t_p$ atau 150 mm.

Geser Blok (Block Shear Rupture Strength)

Geser Blok/*Block shear rupture strength* adalah kondisi batas dimana tahanan ditentukan oleh jumlah kuat geser dan kuat tarik pada segmen yang saling tegak lurus. Nilai dari geser blok ini dapat dihitung dengan membandingkan

$$\phi R_n = \min\left[\left(0{,}6 . F_u . A_{nv} + U_{bs} . F_u . A_{nt}\right) dan \left(0{,}6 . F_y . A_{gv} + U_{bs} . F_u . A_{nt}\right)\right]$$

…. (2.69)

dimana : ϕ 0,75

A_{gv} luas bruto yang mengalami geser

A_{nt} luas netto yang mengalami tarik

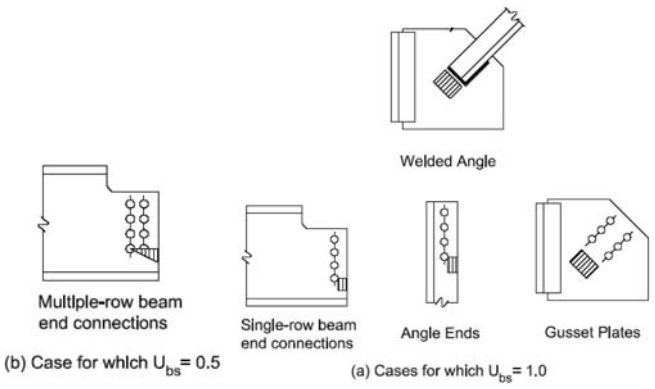
A_{nv} luas netto yang mengalami geser

F_y tegangan leleh, MPa

F_u tegangan putus, MPa

U_{bs} koefisien reduksi, untuk menghitung kuat fraktur geser blok

Penentuan nilai dari U_{bs} dapat dilihat melalui Gambar 3.18 berikut ini :



Gambar 2.7. Geser Blok (Block Shear Rupture Strength)

2.8. BEBAN-BEBAN PADA STRUKTUR

Mungkin tugas paling penting dan paling sulit yang harus dihadapi oleh para perencana struktur adalah memperkirakan secara akurat beban-beban yang akan diterapkan kepada struktur selama umur struktur tersebut. Semua beban yang muncul harus diperhitungkan. Setelah beban-beban diperkirakan, masalah berikutnya adalah memutuskan kombinasi beban yang terburuk yang mungkin terjadi pada saat yang bersamaan.

Misalnya mungkin sebuah jembatan jalan raya yang tertutup seluruhnya oleh es dan salju pada saat yang bersamaan dilewati oleh banyak trailer berat berkecepatan tinggi di setiap lajurnya dan masih ditambah oleh angin dari arah samping dengan kecepatan 90 mil/jam, atau mungkin yang terjadi adalah kombinasi dari sebagian beban-beban diatas.

2.8.1. BEBAN MATI

Beban mati (dead load) adalah beban yang memiliki besar yang konstan dan terdapat pada satu posisi tertentu. Beban mati meliputi berat struktur yang sedang ditinjau, termasuk semua bagian pelengkap yang melekat pada struktur secara permanen. Untuk memahami sebuah struktur, kita harus dapat memperkirakan berat atau beban mati dari berbagai bagian struktur yang akan digunakan dalam analisis. Ukuran dan berat pasti dari bagian-bagian struktur tidak dapat diketahui secara tepat sebelum analisis struktur selesai dibuat dan batang-batang struktur telah ditentukan.

Perkiraan berat struktur yang masuk akal dapat diperoleh dengan cara melihat struktur-struktur yang serupa atau bisa juga dengan melihat berbagai tabel dan rumusan yang dijadikan sebagai pedoman perencanaan. Perencana yang berpengalaman dapat memperkirakan berat sebagian besar struktur dengan cukup tepat dan hanya membutuhkan sedikit waktu untuk mengulangi desain karena perkiraan yang buruk. Informasi mengenai berbagai berat satuan berbagai material yang sering digunakan pada bangunan untuk perhitungan beban mati dicantumkan dalam tabel 2.2. berikut:

Tabel 2.2.

Berat Sendiri Bahan Bangunan Dan Komponen Gedung

BAHAN BANGUNAN :	
B a j a	7.850 kg/m^3
Batu alam	2.600 kg/m^3
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1.500 kg/m^3
Batu karang (berat tumpuk)	700 kg/m^3
Batu pecah	1.450 kg/m^3
Besi tuang	7.250 kg/m^3
Beton (1)	2.200 kg/m^3
Beton bertulang (2)	2.400 kg/m^3
Kayu kelas 1 (3)	1.000 kg/m^3
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1.650 kg/m^3
Pasangan bata merah	1.700 kg/m^3
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2.200 kg/m^3
Pasangan batu cetak	2.200 kg/m^3
Pasangan batu karang	1.450 kg/m^3
Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600 kg/m^3
Pasir (jenuh air)	1.800 kg/m^3
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.850 kg/m^3
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700 kg/m^3
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2000 kg/m^3
Timah hitam (timbel)	11.400 kg/m^3
KOMPONEN GEDUNG	
Adukan, per cm tebal :	
- dari semen	21 kg/m^2
- dari kapur, semen merah atau tras	17 kg/m^2

Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14 kg/m^2
Dinding pasangan bata merah	
- satu batu	450 kg/m^2
- setengah batu	250 kg/m^2
Dinding pasangan batako :	
Berlubang :	
- tebal dinding 20 cm (HB 20)	200 kg/m^2
- tebal dinding 10 cm (HB 10)	120 kg/m^2
Tanpa Lubang :	
- tebal dinding 15 cm	300 kg/m^2
- tebal dinding 10 cm	200 kg/m^2
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari :	
▪ semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm.	11 kg/m^2
▪ kaca, dengan tebal 3 -5 mm	10 kg/m^2
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m^2.	40 kg/m^2
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s minimum 0.80 m	7 kg/m^2
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m^2 bidang atap.	50 kg/m^2
Penutup atas sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m^2 bidang atap.	40 kg/m^2
Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa gordeng.	10 kg/m^2
Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per m tebal.	24 kg/m^2
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 kg/m^2

Catatan : (1) Nilai ini berlaku untuk beton pengisi

(2) Untuk beton getar, beton kejut, beton mampat dan beton padat lain sejenis, berat sendirinya harus ditentukan tersendiri.

(3) Nilai ini adalah nilai rata-rata, untuk jenis-jenis kayu tertentu lihat Pedoman Perencanaan Konstruksi Kayu

2.8.2. BEBAN HIDUP

Beban hidup adalah beban yang besar dan letaknya dapat berubah. Beban hidup meliputi beban orang, barang-barang gudang, beban konstruksi, beban kran laying gantung, beban peralatan yang sedang bekerja, dan sebagainya. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat berpindah atau bergerak. Secara khas beban ini bekerja vertikal ke bawah, tetapi kadang-kadang dapat berarah horisontal. Secara umum, beban hidup dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi. Beberapa macam beban hidup yang bekerja pada lantai ke arah bawah dan terbagi merata di seluruh lantai diberikan pada Tabel 2.3. Macam-macam beban hidup lainnya antara lain :

- Beban lalu lintas pada jembatan, jembatan menerima sejumlah beban terpusat yang besarnya bervariasi
- Beban tumbukan, beban yang disebabkan oleh getaran dari beban yang bergerak atau berpindah-pindah[4].

Tabel 2.3.

Beban Hidup Pada Lantai Gedung

a.	Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam b	200 kg/m^2
b.	Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan toko, pabrik, atau bengkel	125 kg/m^2
c.	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama, dan rumah sakit	250 kg/m^2
d.	Lantai ruang olah raga	400 kg/m^2
e.	Lantai ruang dansa	500 kg/m^2
f.	Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain daripada yang disebut dalam a s/d e, seperti masjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop, dan panggung penonton, dengan tempat duduk tetap	400 kg/m^2
g.	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri	500 kg/m^2
h.	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam c	300 kg/m^2
i.	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam c, d, e, dan g	500 kg/m^2
j.	Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam c, d, e, dan g	250 kg/m^2
k.	Lantai untuk pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko	

	besi, ruang alat-alat dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri dengan minimum	400 kg/m^2
l.	Lantai gedung parkir	
	- untuk lantai bawah	800 kg/m^2
	- untuk lantai tingkat selanjutnya	400 kg/m^2
m.	Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidupdari lantai ruang yang berbatasan dengan minimum.	300 kg/m^2

2.8.3. BEBAN LINGKUNGAN

Beban lingkungan adalah beban yang disebabkan oleh lingkungan dimana struktur berada. Untuk bengunan, beban lingkungan disebabkan oleh hujan, salju, angin, perubahan temperatur, dan gempa bumi. Secara kasar, beban-beban ini termasuk beban hidup, tetapi beban-beban ini berasal dari lingkungan dimana struktur berada. Meskipun besarnya berubah-ubah setiap waktu, beban ini tidak seluruhnya disebabkan oleh gravitasi ataupun kondisi operasional, disini perbedaannya dengan beban-beban hidup yang lain. Berikut ini diberikan penjelasan mengenai jenis-jenis beban lingkungan :

- *Salju dan es*. Dinegara bagian yang beriklim dingin, beban salju dan es seringkali sangat penting. Untuk beban atap, beban salju berkisar 10 sampai 40 *psf* (pon per feet persegi), besar beban salju pada atap terutama bergantung pada kemiringan atap dan sedikit dibawah itu bergantung juga pada karakteristik permukaan atap.
- *Hujan*. Jika air pada atap datar terkumpullebih cepat daripada air yang mengalir, terjadilah genangan karena beban yang bertambah akan menyebabkan atap melendut sehingga akan menampung lebih banyak air,

[4] Departemen Pekerjaan Umum. *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*. DPU.Jakarta, 1987

yang kemudian akan menyebabkan lendutan yang lebih besar, dan seterusnya.

- *Angin.* Hal yang penting untuk diketahui adalah bahwa sebagian besar keruntuhan struktur terjadi karena pengaruh angin pada masa pendirian bangunan/pada tahap konstruksi.
- *Gempa Bumi*. Banyak tempat di dunia berada pada daerah gempa, dan untuk bangunan-bangunan yang berada di daerah tersebut sangatlah penting untuk memasukkan beban gempa dalam desain semua jenis struktur[5].

2.8.4. KOMBINASI PEMBEBANAN

Berdasarkan beban-beban yang bekerja pada struktur baja, maka struktur baja harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan dibawah ini :

1,4 D

1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_α atau H)

1,2 D + 1,6 (L_α atau H) + (γ_LL atau 0,8 W)

1,2 D + 1,3 W + γ_LL + 0,5 (L_c atau H)

1,2 D ± 1,0E + γ_LL

0,9 D ± (1,3 W atau 1,0 E)

Keterangan :

D adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanent, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan layan tetap.

[5] McCormac Jack C. *Edisi Kelima Desain Beton Bertulang*. PENERBIT ERLANGGA. Jakarta, 2004.

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

L_α 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[6].

[6] Badan Standarisasi Nasional (BSN). *SNI Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*. BSN. Bandung, 2002