BAB II
STUDI LITERATUR

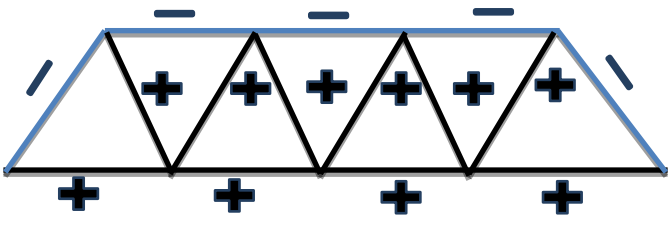
2.1 Struktur Baja

2.1.1 Pengertian Baja

Baja struktur adalah suatu jenis baja berupa batangan dan pelat, yang berdasarkan pertimbangan ekonomi, kekuatan dan sifatnya, cocok untuk pemikul beban. Baja struktur banyak digunakan dalam pembuatan bangunan , seperti, gedung , pabrik, jembatan, dan sebagainya (Supriatna,2011). Berikut adalah gambar jembatan struktur baja.



Gambar 2. 1 Jembatan struktur baja
(http://202.67.224.136/pdimage/32/3000932_pict0258.jpg)



Keterangan: — : Tekan
\+ : Tarik

2.1.2 Sifat-Sifat Baja

Agar perancanangan struktur dapat optimal, sehingga hasil rancangan cukup aman dan ekonomis , maka sifat -sifat bahan struktur perlu diketahui dengan baik. Sifat -sifat baja yang paling utama untuk dikatahui adalah (Supriatna,2011):

1. Sifat kekuatan (*solidity*)

   Sifat kekuatan artinya mempunyai ketahanan terhadap tarikan, tekanan atau lentur.

2. Sifat elastis (*elasticity*)

   Sifat elastis (*elasticity*) artinya kemampuan / kesanggupan untuk dalam batas –batas pembebanan tertentu, sesudahnya pembebanan ditiadakan kembali kepada bentuk semula.

3. Kekenyalan/keliatan (*tenacity*)

   Kekenyalan/keliatan (*tenacity*) artinya kemampuan/kesanggupan untuk dapat menerima perubahan perubahan bentuk yang besar tanpa menderita kerugian-kerugian berupa cacat atau kerusakan yang terlihat dari luar dan dalam untuk jangka waktu pendek.

4. Sifat kekerasan (*hardness*)

   Sifat kekerasan (*hardness*) artinya tidak mudah mengalami cacat kalau kena benturan. Jadi bahan baja ini cukup keras tetapi elastis.

5. Sifat dapat ditempa (*maleability*)

   Sifat dapat ditempa (*maleability*) artinya pada keadaan pijar/lembek karena dipanasi mudah ditempa sehingga dapat dirubah bentuknya. Tetapi pada keadaan dingin/selesai dipanasi kekuatannya tidak berubah.

6. Kemungkinan dilas (*weklability*)

   Kemungkinan dilas (*weklability*) artinya sifat dalam keadaan panas dapat digabungkan satu sama lain dengan memakai atau tidak memakai bahan tambahan, tanpa merugikan sifat-sifat keteguhannya.

2.1.3 Jenis-Jenis Baja

Baja yang dipergunakan untuk konstruksi adalah baja paduan (*alloy steel*) terdiri atas 98% besi, 1% karbon, silicon, mangan, sulfur, phosphor, tembaga, chromium dan nikel. Karbon dan mangan adalah bahan pokok untuk meningkatkan tegangan atau strength dari baja murni. Baja tidak merupakan sumber yang dapat

diperbaharui (*renewable*), tetapi mempunyai daur ulang (*recycled*) dan komponen utamanya yaitu besi sangat banyak.

Berdasarkan jumlah karbon yang dikandungnya baja dapat dibagi menjadi empat kategori yaitu :

1. *Low carbon* : Mengandung karbon kurang dari 0,15%
2. *Mild carbon* : Mengandung karbon 0,15% - 0,29%
3. *Medium carbon* : Mengandung karbon 0,3% - 0,59%
4. *High carbon* : Mengandung karbon 0,6% - 1,7%

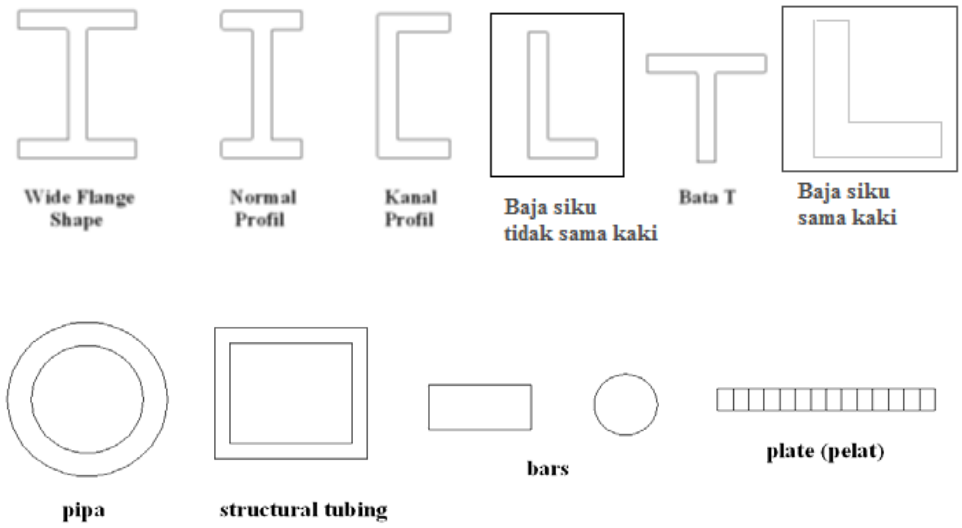
Penambahan persentase karbon akan meningkatkan tegangan ijin baja, tetapi akan mengurangi daktilitas baja tersebut. Idealnya adalah kadar karbon pada baja adalah tidak lebih dari 0,3 %.(Santoso, 2011)

2.1.4 Bentuk Profil Baja

Bentuk profil baja yang dibahas pada penelitian ini adalah baja *hot rolled shapes*. Profil baja dibentuk dengan cara blok-blok baja yang panas, di mana bongkahan baja yang merah menyala secara besar-besaran digelindingkan di antara beberapa kelompok penggiling. Penampang melintang dari bongkahan yang biasanya dicetak dari baja yang baru dibuat dan biasanya berukuran sekitar 0,5 m x 0,5 m persegi, yang akibat proses penggilingan ukuran penampang melintang dikurangi menjadi lebih kecil dan menjadi bentuk yang tepat dan khusus.

Batasan bentuk penampang melintang yang dihasilkan sangat besar dan masing-masing bentuk memerlukan penggilingan akhir tersendiri. Bentuk penampang melintang I dan H biasanya digunakan untuk elemen-elemen besar yang membentuk balok dan kolom pada rangka struktur. Bentuk kanal dan siku cocok untuk elemen-elemen kecil seperti lapisan tumpuan sekunder dan sub-elemen pada rangka segitiga. Bentuk penampang persegi, bulat dan persegi empat yang berlubang dihasilkan dalam batasan ukuran yang luas dan digunakan seperti halnya pelat datar dan batang solid dengan berbagai ketebalan. Perincian ukuran dan geometri yang dimiliki seluruh penampang standar didaftarkan dalam tabel penampang yang dibuat oleh pabrik baja. *Hot rolled shapes* ini mengandung

tegangan residu. Jadi sebelum batang dibebanipun sudah terdapat residual yang berasal dari pabrik (Santoso, 2011). Bentuk profil baja (*hot rolled shapes*) dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. 2 Bentuk profil baja (*hot rolled shapes*)
(http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/25833/3/Chapter)

Profil baja yang di dalam kotak adalah profil baja yang dibahas pada penelitian ini yaitu baja siku sama sisi dan tidak sama sisi.

2.1.5 Kelebihan dan Kelemahan Baja

Kelebihan dan kelemahan baja sebagai bahan struktur adalah sebagai berikut:

Struktur (Supriatna,2011) :

Kelebihan:

1. Mempunyai kekuatan cukup tinggi serta merata .
2. Kekuatan terhadap tarik dan tekan tidak banyak berbeda.
3. Struktur dari baja pada umumnya mempunyai ukuran tampang yang relatif kecil dibandingkan dengan struktur dari bahan lain.
4. Struktur cukup ringan, sekalipun berat jenis baja tinggi.
5. Pemakaian pondasi lebih hemat.
6. Mutu dapat dipertanggung jawabkan.
7. Pada umumnya struktur baja dapat dibongkar pasang.
8. Pengangkutan elemen struktur mudah dikerjakan.

Kelemahan:

1. Memerlukan pemeliharaan secara berkala , yang membutuhkan pembiayaan tidak sedikit.
2. Kekutan baja dipengaruhi oleh temperatur , pada temperatur yang tinggi kekuatannya berkurang.
3. Bahaya tekuk mudah terjadi , karena kekuatannya cukup tinggi maka banyak dijumpai batang struktur yang langsing.

2.2 Tegangan dan Regangan

Pemahaman terhadap perilaku struktur baja sangatlah memerlukan pengetahuan tentang sifat baja struktur. Diagram tegangan-regangan memberikan informasi yang sangat penting tentang perilaku baja terhadap beban. Jika baja struktur diberikan gaya tarik, akan terjadi perpanjangan yang sebanding dengan gaya yang diberikan. Jadi besar perpanjangan akan dua kalinya jika gaya yang diberikan bertambah dari 6000 psi (41,37 MPa atau MN/m^2) menjadi 12.000 psi (pound/in^2 atau lb/in^2) (82,74 MPa). Jika tegangan tarik mendekati 1,5 kekuatan ultimate/batas baja, maka perpindahan akan bertambah lebih cepat dan tidak sebanding dengan pertambahan tegangan.

Tegangan terbesar yang masih dapat berlaku hukum Hooke atau titik tertinggi pada bagian linier dari kurva tegangan-regangan adalah *batas proporsional*. Tegangan terbesar yang dapat ditahan oleh material tanpa terjadi deformasi permanen disebut *batas elastis* tetapi nilainya jarang diukur. Untuk material struktur batas elastis sama dengan batas proporsional. Tegangan konstan yang disertai perpanjangan atau regangan disebut *titik leleh*. Titik ini merupakan titik awal dari diagram tegangan-regangan dengan kemiringan nol atau horizontal. Titik ini merupakan nilai yang penting untuk material baja karena perencanaan dengan metoda elastis didasarkan pada nilai tegangan ini. Pengecualian terjadi pada batang tekan karena nlai dapat tidak dicapai akibat adanya tekuk. Tegangan ijin yang digunakan dalam metoda ini diambil sebagai persentase atau fraksi dari titik leleh. Di atas titik leleh akan terjadi pertambahan regangan tanpa penambahan tegangan. Regangan yang terjadi sebelum titik leleh disebut

regangan elastis, sedangkan regangan setelah titik leleh disebut *regangan plastis* yang besarnya sekitar 10 sampai dengan 15 kali dari regangan elastis. Leleh baja tanpa penambahan tegangan dianggap sebagai suatu kelemahan dan sekaligus kelebihan. Sifat ini seringkali digunakan sebagai 'pelindung' terhadap keruntuhan yang diakibatkan oleh kesalahan dalam perancangan. Jika tegangan pada suatu titik dari suatu struktur daktil mencapai tegangan leleh, elemen dari struktur tersebut akan leleh secara lokal/setempat tanpa penambahan tegangan sehingga dapat mencegah keruntuhan prematur/awal. Dengan adanya daktilitas ini, tegangan dalam struktur dapat diredistribusi atau disebarkan ke seluruh komponen struktur. Demikian juga dengan tegangan tinggi yang disebabkan oleh fabrikasi, pelaksanaan, atau pembebanan akan didistribusi dengan sendirinya. Dengan kata lain, struktur baja mempunyai cadangan regangan plastis sehingga dapat menahan beban yang relatif besar dan beban kejut. Jika material tidak memiliki sifat daktilitas, akan terjadi kehancuran mendadak seperti halnya pada gelas atau kaca. Setelah regangan plastis, terdapat daerah yang dinamakan *strain hardening* yaitu daerah dimana diperlukan tegangan untuk terjadinya tambahan regangan, tetapi bagian ini belum dianggap penting dalam perancangan. Suatu diagram tegangan-regangan baja struktur diberikan dalam Gambar 2.3.

Disini hanya ditunjukkan bagian awal dari kurva kerena akan terjadi deformasi yang besar sebelum terjadi keruntuhan. Total regangan baja pada saat terjadi keruntuhan adalah 150 sampai dengan 200 kali regangan elastis. Kurva akan terus naik mencapai tegangan maksimum dan selanjutnya akan terjadi pengurangan luas penampang yang diikuti dengan keruntuhan. Tipikal kurva tegangan-regangan adalah untuk baja struktur daktil dan diasumsikan sama untuk tarik dan tekan. (Elemen tekan harus cukup pendek karena elemen yang panjang akan berdefleksi secara lateral dan sifat material sangat dipengaruhi oleh momen yang dihasilkan oleh defleksi lateral). Bentuk kurva bervariasi tergantung pada kecepatan pembebanan, tipe baja, dan temperatur. Salah satu variasi diberikan dengan garis putus dan dinamakan leleh atas (*upper yield*) sebagai hasil pembebanan yang cepat. Leleh bawah (*lower yield*) didapat jika pembebanan diberikan dengan lambat.(Mc.Cormac, 1986)

2.2.1 Tegangan Normal

Intensitas gaya (gaya per satuan luas) disebut tegangan dan diberi notasi huruf Yunani σ (sigma). Gaya P yang bekerja dipenampang adalah resultan dari tegangan yang terdistribusi kontinu. Dengan mengasumsikan bahwa tegangan terbagi rata, maka dapat dilihat bahwa resultannya harus sama dengan intensitas σ dikalikan dengan luas penampang A dari batang tersebut. Dengan demikian diperoleh rumus berikut untuk menyatakan besar tegangan.

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

Dimana :

σ = Tegangan (N/m²) / MPa

P = Gaya/beban yang diberikan (lb atau N)

A = Luas penampang (in² atau m²)

Persamaan ini memberikan intensitas tegangan merata pada batang prismatis yang dibebani secara aksial dengan penampang sembarang. Apabila batang ini ditarik dengan gaya P, maka tegangannya adalah tegangan tarik (tensile stress); apabila gayanya mempunyai arah sebaliknya, sehingga menyebabkan batang tersebut mengalami tekan, maka terjadi tegangan tekan (compressive stress). Karena tegangan ini mempunyai arah yang tegak lurus permukaan potongan, maka tegangan ini disebut tegangan normal (normal stress).

Karena tegangan normal σ diperoleh dari membagi gaya aksial dengan luas penampang, maka satuannya adalah gaya per satuan luas (N/m2) yang disebut juga pascal (Pa).

2.2.2 Regangan Normal

Suatu batang lurus akan mengalami perubahan panjang apabila dibebani secara aksial, yaitu menjadi panjang jika mengalami tarik dan menjadi pendek jika mengalami tekan. Perpanjangan per satuan panjang disebut regangan, yang diberi notasi huruf Yunani ε (epsilon) dan dihitung dengan persamaan :

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

Dimana:

ε = Regangan

δ = Perpanjangan (Setelah terjadi perubahan panjang, m)

L = Panjang batang (m)

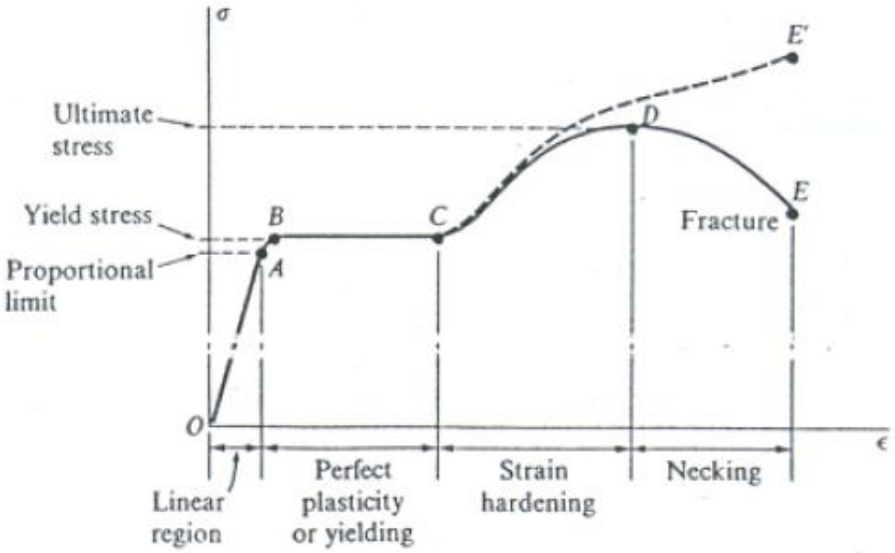
Jika batang tersebut mengalami tarik, maka regangannya disebut regangan tarik, yang menunjukkan perpanjangan bahan. Jika batang tersebut mengalami tekan, maka regangannya adalah regangan tekan menunjukkan batang tersebut memendek. Regangan tarik biasanya bertanda positif, dan regangan tekan bertanda negatif.

Regangan ε disebut regangan normal karena regangan ini berkaitan dengan tegangan normal. Karena merupakan ratio antara dua panjang, maka regangan normal ini merupakan besaran tak berdimensi, artinya regangan tidak mempunyai satuan. Dengan demikian regangan dinyatakan hanya dengan suatu bilangan, tidak bergantung pada sistem satuan apapun.

2.3 Kurva Tegangan Regangan

Uji tarik rekayasa sering dipergunakan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Benda uji tarik diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah besar secara kontinu, kurva yang diperoleh dari uji tarik pada umumnya digambarkan sebagai kurva tegangan-regangan.

Kurva tegangan-regangan menunjukkan karakteristik dari bahan yang diuji dan memberikan informasi penting mengenai besaran mekanis dan jenis perilaku (Jacob Bernoulli 1654 – 1705 dan J.V. Poncelet 1788 – 1867). Kurva tegangan-regangan untuk baja struktral tipikal yang mengalami tarik ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 2. 3 Kurva tegangan-regangan untuk baja
(Sumber: James M. Gere, Mekanika Bahan jilid 1)

Kurva tersebut dimulai dengan garis lurus dari pusat sumbu *O* ke titik *A*, yang berarti bahwa hubungan antara tegangan dan regangan pada daerah awal ini bukan saja *linear* melainkan juga *proporsional* (dua variabel dikatakan *proporsional* jika rasio antar keduanya konstan, dengan demikian suatu hubungan *proporsional* dapat dinyatakan dengan sebuah garis lurus yang melalui pusatnya). Melewati titik *A*, proporsionalitas antara tegangan dan regangan tidak terjadi lagi; maka tegangan di titik *A* disebut *limit proporsional*. Kemiringan garis lurus dari titik *O* ke titik *A* disebut *modulus elastisitas*. Karena kemiringan mempunyai satuan tegangan dibagi regangan, maka modulus elastisitas mempunyai satuan yang sama dengan tegangan yang dinyatakan dengan persaman :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas (N/m2) / MPa

σ = Tegangan (N/m2) / MPa

ε = Regangan

Dengan meningkatnya tagangan hingga melewati limit *proporsional*, maka regangan mulai meningkat secara lebih cepat lagi untuk setiap pertambahan tegangan. Dengan demikian, kurva tegangan-regangan mempunyai kemiringan yang berangsur-angsur semakin kecil, sampai pada titik *B* kurva tersebut menjadi horizontal (lihat Gambar 2.3). Mulai dari titik ini, terjadi perpanjangan yang cukup besar pada benda uji tanpa adanya pertambahan gaya tarik (dari *B* ke *C*). Fenomena ini disebut leleh dari bahan, dan titik *B* disebut *titik leleh* (Fy). Pada daerah antara *B* dan *C*, bahan ini menjadi *plastis sempurna*, yang berarti bahan ini berdeformasi tanpa adanya pertambahan beban. Setelah mengalami regangan besar yang terjadi selama pelelehan di daerah *BC*, baja mulai mengalami pengerasan regang *(strain hardening)*. Selama itu, bahan mengalami perubahan dalam struktur kristalin, yang menghasilkan peningkatan resistensi bahan tersebut terhadap deformasi lebih lanjut. Perpanjangan benda uji di daerah ini membutuhkan peningkatan beban tarik, sehingga kurva tegangan-regangan mempunyai kemiringan positif dai *C* ke *D*. Beban tersebut pada akhirnya mencapai harga maksimumnya, dan tegangan pada saat itu (di titik *D*) disebut tegangan *ultimate* (Fu). Penarikan batang lebih lanjut pada kenyataannya akan disertai dengan pengurangan beban, dan akhirnya terjadi putus/patah di suatu titik seperti titik *E* pada Gambar 2.3.

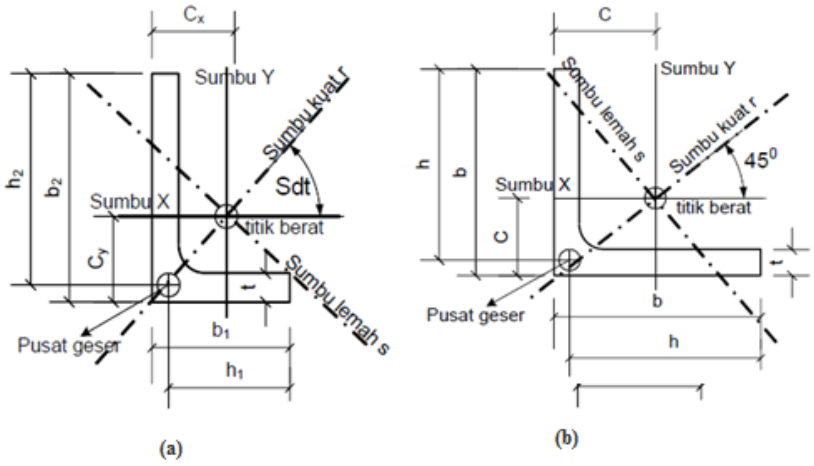
Dari kurva diatas dapat diperoleh nilai Fu dan Fy, dimana pada pembahasaan ini saya memakai jenis baja BJ37. Nilai Fu dan Fy dapat dilihat dari tabel dibawah ini:

Tabel 2. 1 Sifat mekanis baja struktural (SNI 2002)

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

2.4 Metode perhitungan

Langkah pertama yang akan kita lakukan dalam melakukan perhitungan adalah melakukan perhitungan terhadap property penampang, yang ditampilkan dibawah ini :



Gambar 2. 4 penampang siku tidak sama sisi (a) dan sama sisi (b)
(Sumber : profil baja gunung garuda)

- **Desain dengan kekuatan Izin**

$$Ru \leq \frac{Rn}{\Omega}$$

Dimana :

Ru = Kekuatan yang dibutuhkan

Rn = Kekuatan nominal

Ω = Faktor keamanan

$\frac{Rn}{\Omega}$ = Kuat izin

Atau dengan memakai nilai faktor reduksi :

$$Ru \leq \emptyset Rn$$

Dimana :

$\emptyset$ = Faktor reduksi ($\leq 1{,}0$)

- **Kombinasi pembebanan**

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5(La atau H)
3. 1,2 D + 1,6 (La atau H) + ($\gamma_L L$ atau 0,8 W)

4. 1,2 D + 1,3 W + $\gamma_L L$ + 0,5 (La atau H)
5. 1,2 D ± 1,0 E + $\gamma_L L$
6. 0,9 D ± (1,3 W atau 1,0 E)

Dimana :

D = Beban mati

L = Beban hidup

La = Beban hidup di atap

H = Beban hujan

W = Beban angin

E = Beban gempa

$\gamma_L L$ = 0,5 jika L < 5 kPa

= 1 jika L ≥ 5 kPa

2.4.1. Kuat Tarik

Modulus elastisitas : E = 200.000 MPa

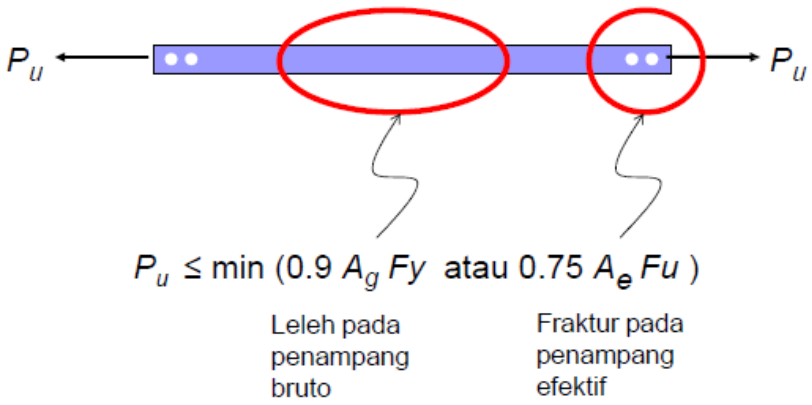
Modulus geser : $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$

G = 80.000 Mpa (SNI 2002)

G = 77.200 Mpa (draft SNI 2011)

Nisbah poisson : μ = 0,3

Koefisien pemuaian : $\alpha = 12 \times 10^{-6}/℃$



Gambar 2. 5 Kuat tarik rencana
(Sumber: suryoatmono, 2005)

- **Luas bruto:**

$$Agt = db.t$$

Dimana :

db = Diameter baut

t = Tebal baja

- **Luas neto:**

$$Ant = Agt - ndb.t$$

Atau

$$A_n = \min[A_n(jalur\ lurus), A_n(jakur\ berseling)] > 0{,}85A_g$$

Dengan:

$$A_n(jalur\ lurus) = A_g - ndt$$

$$A_n(jakur\ berseling) = A_g - ndt + \sum \frac{S^2 t}{4g}$$

Dimana :

Agt = Luas bruto

db = Diameter baut

t = Tebal baja

n = Banyaknya lubang dalam garis potongaan

- **Luas efektif :**

$$Ae = A - (db.t).nb$$

Dimana :

A = Luas penampang

db = Diameter baut

t = Tebal baja

nb = Jumlah baut

Keruntuhan tarik pada daerah efektif neto:

$$P_n = F_u(2tb_e)$$

Keruntuhan geser pada daerah efektif:

$$P_n = 0{,}6F_u A_{sf}$$

Dimana:

A_{sf} = $2t\left(a + \frac{d}{2}\right)$

a = Jarak terpendek dari tepi lubang sendi ke tepi komponen struktur yang diukur paralel terhadap arah gaya

b_e = $2t + 16\ mm$

d = Diameter sendi

t = Ketebalan pelat

- **Kuat putus tarik :**

$$Pn = Fu.Ae$$

Dimana :

Fu = Tegangan putus tarik (Mpa)

Ae = Luas efektif

- **Kuat leleh tarik :**

$$Pn = Fy.A$$

Dimana :

Fy = Tegangan leleh tarik (Mpa)

A = Luas penampang

- **Kuat tarik rencana :**

$$N_u \leq \emptyset N_n$$

Leleh pada penampang bruto = $P_n 1 = 0{,}9\ A_g\ F_y$

Fraktur pada penampang efektif = $P_n 2 = 0{,}75 A_e F_u$

- **Luas efektif (A_e)**

$$A_e = UA_n$$

Dimana :

A_n = Luas neto

U = Faktor geser

- Faktor geser kombinasi:

$$U \quad = \min(1 - \frac{\bar{x}}{\ell} \; dan \; 0{,}9)$$

- Faktor geser longitudinal (las):

$$U = 1(1 \geq 2_w)$$

$$U = 0{,}87(1{,}5_w \leq 1 < 2_w)$$

$$U = 0{,}75(w \leq 1 \leq 1{,}5_w)$$

- Faktor geser transversal (las):

$$U = 1$$

- Kuat desain tarik:

$$P_u = \min(P_n 1, P_n 2, R_n)$$

2.4.2. Geser Blok

$$V_u \leq \emptyset V_n$$

Dimana :

V_u = Gaya geser yang diperlukan

$\emptyset$ = Faktor reduksi

V_n = Kuat geser nominal

$$\emptyset R_n = \emptyset min\big[(0{,}6F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt}) + \big(0{,}6F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}\big)\big]$$

Batas atas: fraktur tarik dan Fraktur geser — leleh geser dan fraktur tarik

Dimana:

A_{nv} = Luas neto yang mengalami tarik

A_{nt} = Luas neto yang mengalami geser

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

- **Kuat geser nominal**
  - Untuk kuat geser nominal pelat :

$$V_n = 0{,}6 f_y A_w$$

Dimana

A_w = Luas kotor pelat

  - Untuk kuat geser nominal penampang pipa :

$$V_n = 0{,}36 f_y A_e$$

Dimana:

A_e = diambil sebagai luas kotor yang besarnya lebih dari yang dibutuhkan untuk alat sambung atau luas bersih lebih besar dari 0,9 luas kotor. Jika tidak ada, A_e diambil sama dengan luas bersih.

- **Kuat tekuk geser plastis**

$$V_n = 0{,}6 f_y A_w \left[1{,}10\sqrt{\frac{k_n E}{f_y}}\right]\frac{1}{(h/t_w)}$$

Atau

$$V_n = 0{,}6 f_y A_w \left[C_v + \frac{(1 - C_v)}{1{,}15\sqrt{1 + (a/h)^2}}\right]$$

Dengan

$$C_v = 1{,}10\frac{\sqrt{k_n E/f_y}}{(h/t_w)}$$

- **Kuat tekuk geser elastis**

$$V_n = \frac{0{,}9 A_w k_n E}{(h/t_w)^2}$$

Atau

$$V_n = 0{,}6 f_y A_w \left[C_v + \frac{(1-C_v)}{1{,}15\sqrt{1+(a/h)^2}}\right]$$

Dengan

$$C_v = 1{,}5\frac{k_n E}{f_y}\frac{1}{(h/t_w)^2}$$

- Leleh tarik dan fraktur geser:

$$F_u A_{nt} \geq 0{,}6 F_u A_{nv}$$

$$R_n 1 = \left[0{,}6 F_y A_{gv} + F_u A_{nt}\right]$$
$$R_n 1 \leq \left[0{,}6 F_u A_{nv} + F_u A_{nt}\right]$$

- Leleh geser dan fraktur tarik

$$R_n 2 = \left[0{,}6 F_u A_{nv} + F_y A_{gt}\right]$$
$$R_n 2 \leq \left[0{,}6 F_u A_{nv} + F_u A_{nt}\right]$$

- Desain geser blok :

$$R_n = 0{,}75 \min(R_n 1, R_n 2)$$

2.4.3. Kuat Tekan

Modulus elastisitas : E = 200.000 MPa

Modulus geser : $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$

G = 80.000 Mpa (SNI 2002)

G = 77.200 Mpa (draft SNI 2011)

Nisbah poisson : μ = 0,3

Koefisien pemuaian : $\alpha = 12 \times 10^{-6}/℃$

Rumus kuat tekan:

$$P_n = F_{cr} A_g$$

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

- $N_U \leq \emptyset_n N_N$

  Dimana :

  $\emptyset_n$ = Faktor reduksi kekuatan

  N_N = Kuat tekan nominal komponen struktur

- Perbandingan kelangsingan

  Kelangsingan komponen struktur tekan harus, $\lambda = \frac{L_k}{r} < 200$

- Komponen struktur tekan yang elemen penampangnya mempunyai perbandingan lebar terhadap tebal lebih besar daripada nilai λ_r harus direncanakan dengan analisis rasional yang dapat diterima.

- **Cek kelangsingan profil siku**

  Tidak langsing

$$\frac{b}{t} \leq 0{,}45\sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

  Langsing

$$\frac{b}{t} \geq 0{,}45\sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

- **Tekuk lentur**

$$\lambda = \frac{kL}{r} \leq 200$$

Dimana:

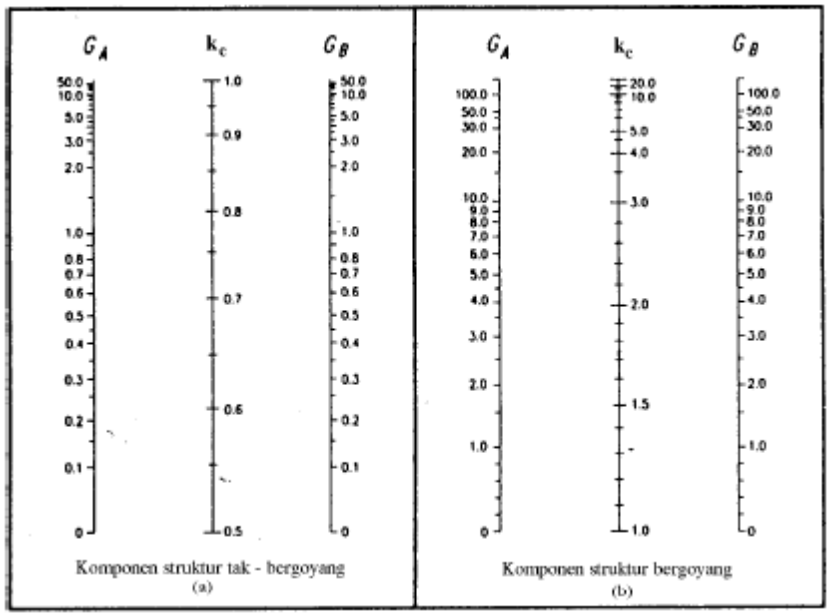
k = Faktor panjang tekuk

L = Panjang komponen struktur tekan

r = Jari-jari girasi

200 = Batas kelangsingan maksimum untuk komponen struktur tekan

Untuk menghitung nilai *k* dapat dilihat dari *alignment Chart* dengan nilai G_A dan G_B dibawah ini :



Gambar 2. 6 Nilai *k*
(a) Untuk komponen struktur tak-bergoyang dan (b) untuk komponen struktur bergoyang

- **Tegangan kritis**

$$F_{cr} = \frac{F_y}{\omega}$$

Dimana:

ω = Koefisien tekuk

$$\lambda c = \frac{\lambda}{\pi}.\sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

$\lambda c \leq 0{,}25$	Maka	$\omega = 1$
$0{,}25 < \lambda c < 1{,}2$	Maka	$\omega = \frac{1{,}43}{1{,}6 - 0{,}67\lambda c}$
$\lambda c \geq 1{,}2$	Maka	$\omega = 1{,}25\lambda_c^2$

Atau

Untuk $\lambda c \leq 1{,}5$ maka rumus tegangan kritis:

$$Fcr = \left[0{,}658^{\lambda c^2}\right].Fy$$

Dan untuk $\lambda c \geq 1{,}5$ maka rumus tegangan kritis:

$$Fcr = \left[\frac{0{,}877}{\lambda c^2}\right].Fy$$

Atau

Bila $\frac{KL}{r} \leq 4{,}71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ atau $\left(\frac{F_y}{F_e} \leq 2{,}25\right)$ maka:

$$Fcr = \left[0{,}658^{\frac{F_y}{F_e}}\right]$$

Bila $\frac{KL}{r} > 4{,}71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ atau $\left(\frac{F_y}{F_e} > 2{,}25\right)$ maka:

$$Fcr = 0{,}877F_e$$

F_e adalah tegangan tekuk kritis elastis yang di peroleh dari rumus di bawah ini:

$$f_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

- **Kuat tekan rencana tekuk torsi- lentur**

$$N_u \leq \emptyset_n N_{nlt}$$

Dengan $\emptyset_n$ adalah faktor reduksi kekuatan, dan

$$N_{nlt} = A_g f_{clt}$$

Dengan:

$$f_{cr} = \left(\frac{f_{cry} + f_{crz}}{2H}\right)\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4f_{cry}f_{crz}H}{\left(f_{cry} + f_{crz}\right)^2}}\right]$$

Dan,

$$f_{crz} = \frac{GJ}{A_g \bar{r}_0^2}$$

Dengan,

$\bar{r}_0$ adalah jari-jari girasi polar terhadap pusat geser

$$\bar{r}_0 = \frac{I_x + I_y}{A_g} + x_0^2 + y_0^2$$

$$H = 1 - \left(\frac{x_0^2 + y_0^2}{\bar{r}_0^2} \right)$$

Dimana:

x_0, y_0 = Koordinat pusat geser terhadap titik berat

f_{cry} = Tekuk lentur terhadap sumbu lemah y-y, dan menggunakan harga λ_c, yang di hitung dengan rumus

$$\lambda_c = \frac{L_{ky}}{\pi r_y} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

Dengan L_{ky} adalah panjang tekuk dalam arah sumbu lemah y-y.

- Nilai f_e untuk simetri ganda :

$$f_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y}$$

- Nilai f_e untuk simetri tunggal:

$$f_e = \left(\frac{f_{ey} + f_{ez}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 f_{ey} f_{ez} H}{\left(f_{ey} + f_{ez} \right)^2}} \right]$$

- Nilai f_e untuk tak simetri:

$$(F_e - F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez}) - F_e^2 (F_e - F_{ey}) \left(\frac{x_0}{\bar{r}_0} \right)^2 - F_e^2 (F_e - F_{ex}) \left(\frac{y_0}{\bar{r}_0} \right)^2 = 0$$

Dimana:

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_x L}{r_x} \right)^2}$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_y L}{r_y}\right)^2}$$

$$F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ\right)\frac{1}{A_g \bar{r}_0^2}$$

Dengan X = sumbu tak simetri dan Y = sumbu simetri

$$F_{cr} = \min(F_{crx}, F_{clt})$$

$$P_u = \emptyset C F_{cr} A$$

Dengan nilai $\emptyset C$ = 0,85

Pada arah tegak lurus sumbu bebas bahan y-y, harus dihitung kelangsingan ideal λ_{iy} dengan persamaan:

$$\lambda_{iy} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2}\lambda_l^2}$$

Dengan,

$$\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y}$$

$$\lambda_i = \frac{L_l}{r_{min}}$$

Dimana:

L_{ky} = Panjang tekuk komponen struktur tersusun pada tegak lurus sumbu y-y, dengan memperhatikan pengekang lateral yang ada dan kondisi jepitan ujung-ujung komponen struktur,

r_y = Jari-jari girasi dari komponen struktur tersusun terhadap sumbu y-y,

L_i = Spasi antar pelat pada arah komponen struktur tekan,

r_{min} = Jari-jari girasi elemen komponen struktur terhadap sumbu yang memberikan nilai yang terkecil (sumbu *l-l*),

m = Konstanta.

- **Komponen struktur tekan pada siku tunggal**

Unuk siku sama sisi atau tidak sama sisi yang di sambungkan sampai sisi terpanjang setiap komponen struktur atau komponen struktur badan dari rangka

batang planar dengan komponen struktur badan yang berdekatan disambungkan pada sisi yang sama dari pelat buhul maka:

Bila $0 \leq \frac{L}{r_x} \leq 80$ maka:

$$\frac{KL}{r} = 72 + 0{,}75\frac{L}{r_x}$$

Bila $\frac{L}{r_x} > 80$ maka:

$$\frac{KL}{r} = 32 + 1{,}25\frac{L}{r_x} \leq 200$$

Nilai $\frac{KL}{r}$ dari komponen struktur tidak boleh diambil lebih kecil dari $0{,}95\frac{L}{r_z}$.

Dan untuk siku sama sisi atau tidak sama sisi yang disambungkan sampai sisi terpanjang komponen struktur badan yang berdekatan disambungkan dengan sisi yang sama dengan pelat buhul maka:

Bila $\frac{L}{r_x} \leq 75$ maka:

$$\frac{KL}{r} = 60 + 0{,}8\frac{L}{r_x}$$

Bila $\frac{L}{r_x} > 75$ maka:

$$\frac{KL}{r} = 45 + \frac{L}{r_x} \leq 200$$

Nilai $\frac{KL}{r}$ dari komponen struktur tidak boleh diambil lebih kecil dari $0{,}82\frac{L}{r_z}$

- **Komponen struktur dengan elemen langsing**

Tegangan kritis ditentukan dengan:

Bila $\frac{KL}{r} \leq 4{,}71\sqrt{\frac{E}{QF_y}}$ atau $\left(\frac{QF_y}{F_e} \leq 2{,}25\right)$ maka:

$$F_{cr} = Q\left[0{,}658^{\frac{QF_y}{F_e}}\right]F_y$$

Bila $\frac{KL}{r} > 4{,}71\sqrt{\frac{E}{QF_y}}$ atau $\left(\frac{QF_y}{F_e} > 2{,}25\right)$ maka:

$$F_{cr} = 0{,}877F_e$$

Menghitung Elemen langsing tak-diperkaku (Q_s) untuk siku tunggal:

Bila $\frac{b}{t} \leq 0{,}45\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ maka:

$$Q_s = 1{,}0$$

Bila $0{,}45\sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{b}{t} \leq 0{,}91\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ maka:

$$Q_s = 1{,}34 - 0{,}76\left(\frac{b}{t}\right)\sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

Bila $\frac{b}{t} > 0{,}91\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ maka:

$$Q_s = \frac{0{,}53E}{F_y\left(\frac{b}{t}\right)^2}$$

Dengan b adalah lebar kaki terpanjang.

Menghitung Elemen langsing yang diperkaku (Q_a)

$$Q_a = \frac{A_e}{A_g}$$

Dengan A_e adalah jumlah dari luas efektif penampang melintang berdasarkan lebar efektif tereduksi (b_e) yang di tentukan sebagai berikut:

Untuk elemen langsing yang ditekan secara merata, dengan $\frac{b}{t} > 1{,}49\sqrt{\frac{E}{f}}$ kecuali sayap dari penampang bujur sangkar dan persegi ketebalan merata maka:

$$b_e = 1{,}92t\sqrt{\frac{E}{f}}\left[1 - \frac{0{,}34}{\left(b/t\right)}\sqrt{\frac{E}{f}}\right] \leq b$$

Dimana f diambil sebagai F_{cr} dengan F_{cr} dihitungan berdasarkan $Q = 1{,}0$

Untuk sayap dari penampang elemen-langsing bujur sangkar dan persegi ketebalan merata dengan $\frac{b}{t} \geq 1{,}40\sqrt{\frac{E}{f}}$ maka:

$$b_e = 1{,}92t\sqrt{\frac{E}{f}}\left[1 - \frac{0{,}38}{\left(b/t\right)}\sqrt{\frac{E}{f}}\right] \leq b$$

Dengan $f = \frac{P_n}{A_e}$

Untuk penampang bulat yang dibebani secara aksial:

Bila $0{,}11\frac{E}{F_y} < 0{,}45\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ maka:

$$Q = Q_a = \frac{0{,}038E}{F_y\left(D/t\right)} + \frac{2}{3}$$

Dengan:

D = Diameter terluar dari PSB bulat

t = Ketebalan dinding

- **Penggunaan beban *notional* untuk mewakili ketidaksempurnaan**

Beban *notional* harus digunakan sebagai beban lateral di semua level. Beban *notional* harus ditambahkan ke beban lateral lainnya dan harus digunakan pada semua kombinasi beban. Beban notional dihitung menggunakan persamaan dibawah ini:

$$N_i = 0{,}002 \propto Y_i$$

Dengan:

$\propto$ = 1,0 (LRFD) dan 1,6 (ASD)

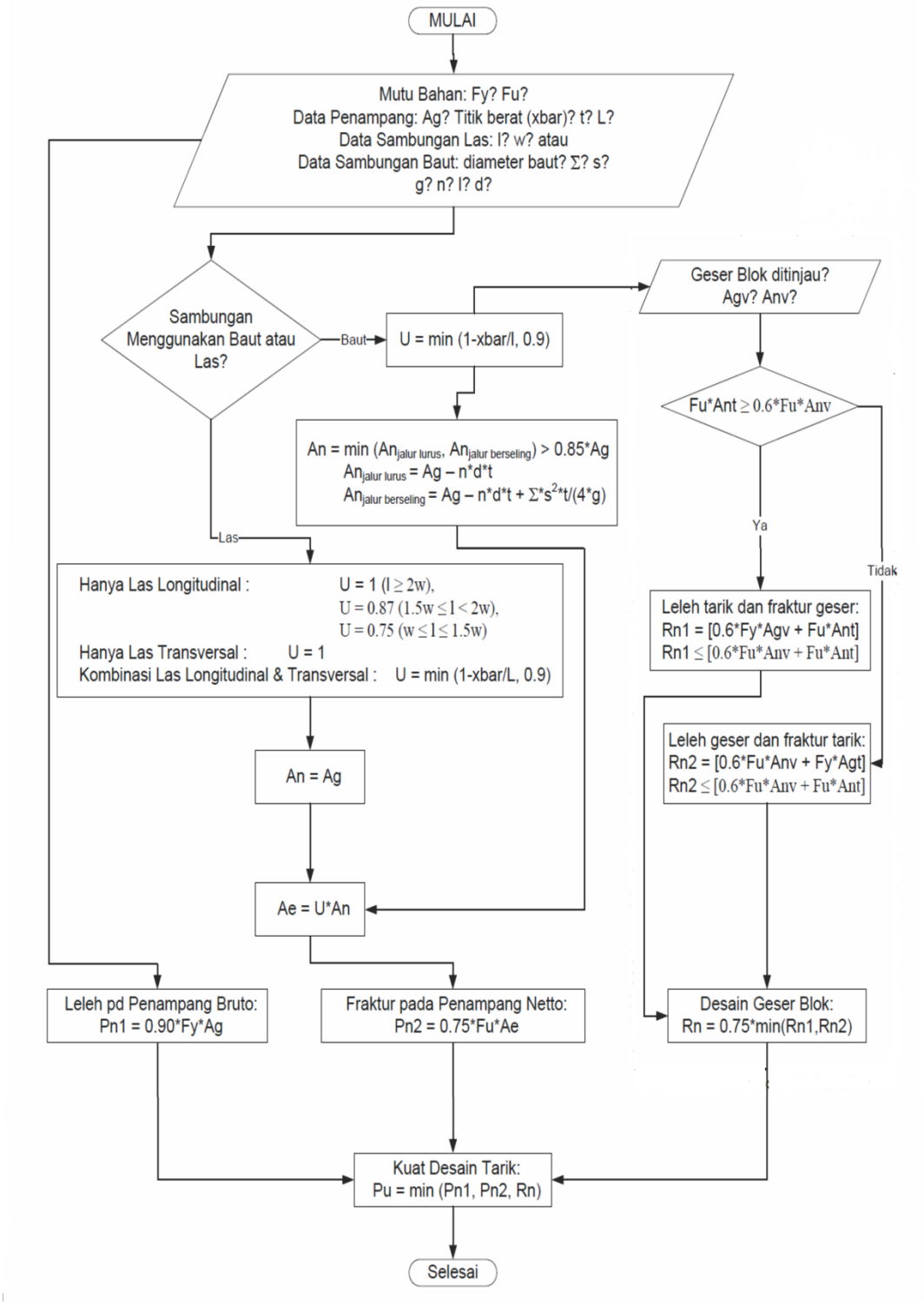
N_i = Beban notional yang digunakan pada level *i*

Y_i = Beban gravitasi yang digunakan pada level *i* dari kombinasi beban.

2.4.4. *Flowchart* Perhitungan

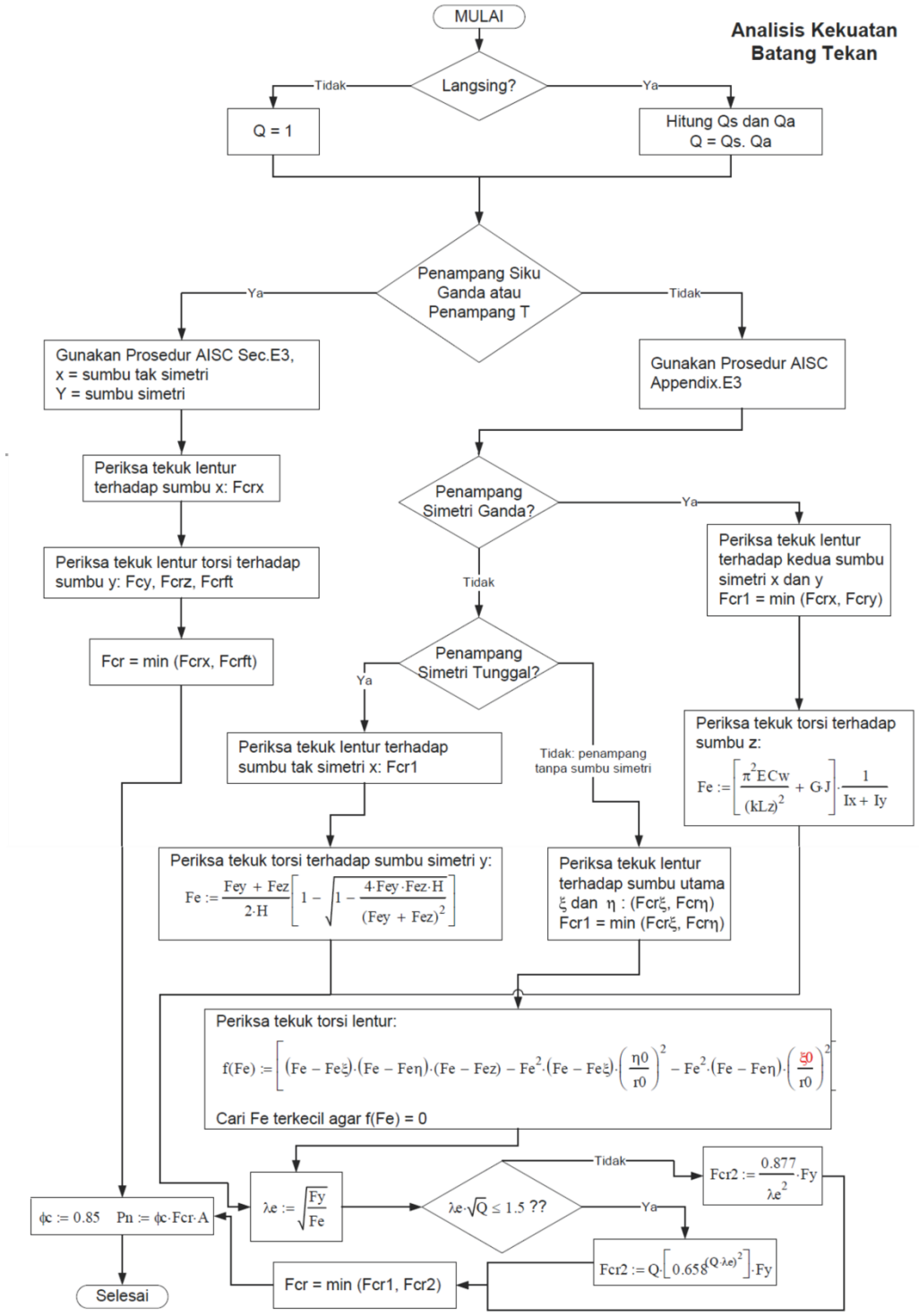
Dalam menyelesaikan perhitungan manual untuk kuat tarik dan kuat tekan pada struktur baja dapat dilakukan dengan mengikuti *flowchart*. Di bawah ini terdapat dua flowchart yg menunjukkan cara menghitung batang tekan dan batang tarik:

1. Batang tarik:



Gambar 2. 7 *Flowchart* Perhitungan Batang Tarik dengan Metode Manual

2. Batang tekan:



Gambar 2. 8 *Flowchart* Perhitungan Batang Tekan dengan Metode Manual