

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja mempunyai kontrol produk yang baik dan bermutu tinggi, serta mempunyai rasio kekuatan terhadap beratnya yang relatif tinggi dan juga relatif ringan. Penggunaan baja di lapangan sebagai material pada struktur bangunan sering kali perlu dilakukan penyambungan, hal ini untuk menyesuaikan kebutuhan baik ukuran maupun bentuk. Selain itu, sambungan pelat juga sangat penting untuk menghindari keruntuhan. Jenis sambungan pelat yang paling umum digunakan saat ini adalah sambungan baut dan sambungan las.

Menurut Salmon dan Johnson (1997), bila batang tarik disambung dengan baut, lubang-lubang harus disediakan pada sambungan. Akibatnya luas penampang lintang batang disambungan mengecil dan beban tarik yang diizinkan pada batang juga bisa berkurang sesuai dengan ukuran dan letak lubang. Menurut Spiegel dan Limbrunner (1991), fungsi sambungan terutama untuk memindahkan beban dari satu elemen ke elemen lainnya. Menurut SNI 1729:2015, jarak antar baut tidak boleh kurang dari 3 kali diameter baut dan tidak melebihi dari 14 kali tebal pelat tertipis atau 180 mm.

Pada skripsi ini penulis akan mengevaluasi tentang Analisis Sambungan Pelat Buhul Pada Struktur Bangunan Proyek Pembangunan Kantor Bupati Kabupaten Tapanuli Tengah yang bertujuan untuk mengetahui nilai dari kapasitas sambungan yang terdiri dari perhitungan pembebanan pada struktur rangka atap

sesuai SNI 1727:2020, desain kebutuhan minimum jumlah baut, kapasitas pelat pada sambungan, jarak dari baut ke baut (s) dan jarak dari tepi baut (s_1) sesuai SNI 1729:2015. Sambungan baut kelihatannya sangatlah sederhana, namun memiliki fungsi sangat penting dan seringkali menjadi masalah utama yang menyebabkan kegagalan struktur. Adapun penyebab terjadinya kegagalan sambungan baut pada konstruksi baja diantaranya adalah kesalahan pada saat desain, perhitungan analisa kekuatan, dan kesalahan pada operasi maupun perakitan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dipaparkan, maka diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapakah nilai kapasitas sambungan untuk desain kebutuhan baut pada struktur rangka atap bangunan.
2. Berapakah beban maksimum yang bekerja pada sambungan buhul struktur rangka atap bangunan.
3. Berapakah nilai kapasitas pelat baja pada sambungan struktur rangka atap bangunan, baik akibat leleh dan fraktur.

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup batasan penelitian ini meliputi:

1. Nilai dari kapasitas desain kebutuhan minimum jumlah baut didasarkan pada properties baut yang digunakan pada sambungan struktur rangka atap.

2. Perhitungan beban maksimum yang bekerja pada di pelat buhul dihitung dengan bantuan aplikasi SAP 2000 sesuai kombinasi pembebanan SNI 1727:2020.
3. Kekuatan desain akibat leleh dan desain akibat fraktur, dipengaruhi oleh luasan pelat yang digunakan pada sambungan struktur rangka atap.

1.4 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan penulisan skripsi ini adalah:

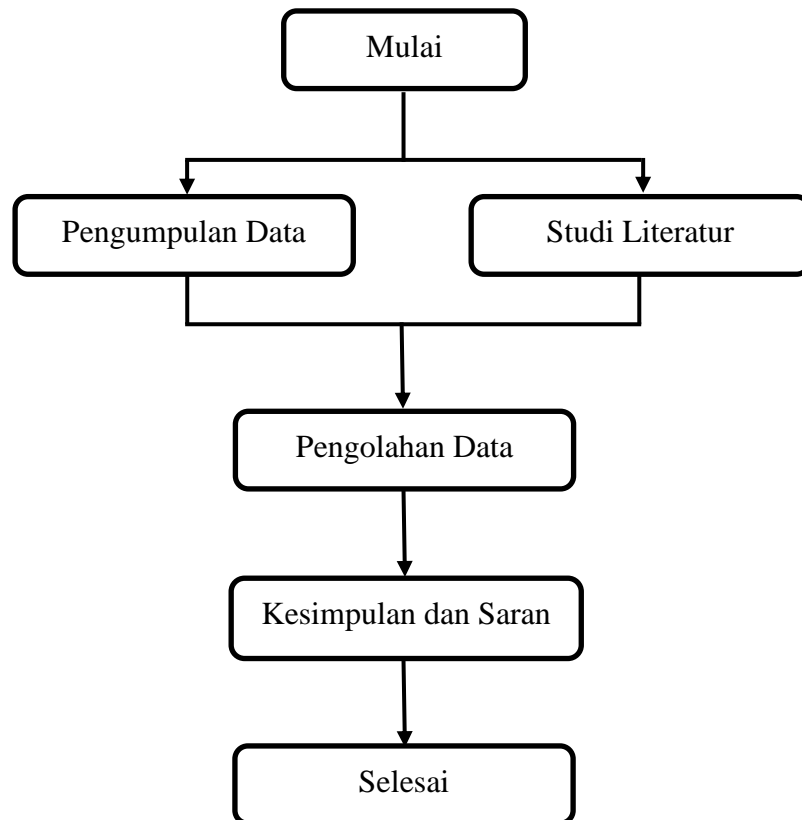
1. Mengetahui kapasitas desain kebutuhan minimum jumlah baut akibat geser dan akibat gaya tarik pada buhul yang ditinjau.
2. Mengetahui beban maksimum yang bekerja pada buhul sambungan yang ditinjau.
3. Mengetahui kapasitas desain pelat sambungan akibat leleh dan akibat fraktur pada buhul yang ditinjau.

1.5 Manfaat Penulisan

Manfaat dari penulisan skripsi ini, antara lain:

1. Menjadi referensi dalam menganalisis sambungan pelat buhul dan perhitungan pembebanan pada struktur rangka atap bangunan.
2. Sebagai referensi dalam menentukan kapasitas desain kebutuhan minimum baut, kapasitas sambungan pelat, dan penentuan jarak minimum antar baut.

1.6 Diagram Alir Penulisan



Gambar 1.1 Skema Diagram Penulisan
Sumber: (Hasil Penulisan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

Baja merupakan bahan konstruksi yang ketersediaannya bergantung pada produk industri berat dan tidak tersedia di semua negara. Komposisi baja adalah paduan besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) sebagai unsur paduan utama. Kandungan besi dalam baja bervariasi mulai dari 0,2% C hingga 1,7% C tergantung pada grade baja. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai penguat dengan mencegah dislokasi bergerak melalui kisi atom besi. Baja karbon ini disebut baja hitam karena warnanya yang hitam, banyak digunakan untuk peralatan pertanian seperti arit dan cangkul. Penambahan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik, namun di sisi lain justru membuat baja rapuh dan mengurangi keuletan (Salmon dan Johnson 1992). Selama proses pembuatan, akan ada beberapa spesifikasi material baja yang digunakan dalam desain, yaitu:

Tabel 2.1 Spesifikasi material baja untuk keperluan desain

Tipe	Kuat leleh (MPa)	Kuat Tarik (MPa)	Elongasi (%)
BJ 34	210	340	22
BJ 37	240	370	20
BJ 41	250	410	18
BJ 50	290	500	16
BJ 55	410	500	13

Sumber: (Dewobroto, Struktur Baja Edisi Ke-2. 2016)

2.1.1 Kegagalan Sambungan Baja

Sambungan pada batang tarik adalah penyebab utama banyak kegagalan. Beberapa variabel yang ada pada sambungan antara lain alat penyambung, jarak antar alat penyambung, konfigurasi alat penyambung, dan luas area yang disambungkan. Konfigurasi sambungan batang tarik sangat bervariasi sehingga sangat membantu dalam beberapa kasus yang diuji sehingga dalam praktik lapangan banyak produsen lain hanya mengikuti apa yang dianggap menjadi praktik umum tanpa referensi yang jelas. Adapun beberapa kegagalan sebagai berikut:

- a. Kegagalan jungkit sekrup berotasi dan melukai badan pelat
- b. Meregangnya sambungan antar pelat akibat gaya terus menerus bekerja pada sekrup
- c. Sekrup yang terangkat tapi belum lepas karena masih ada drat yang tertahan di pelat dan secara teknik drat tersebut masih mampu menahan beban tarik.

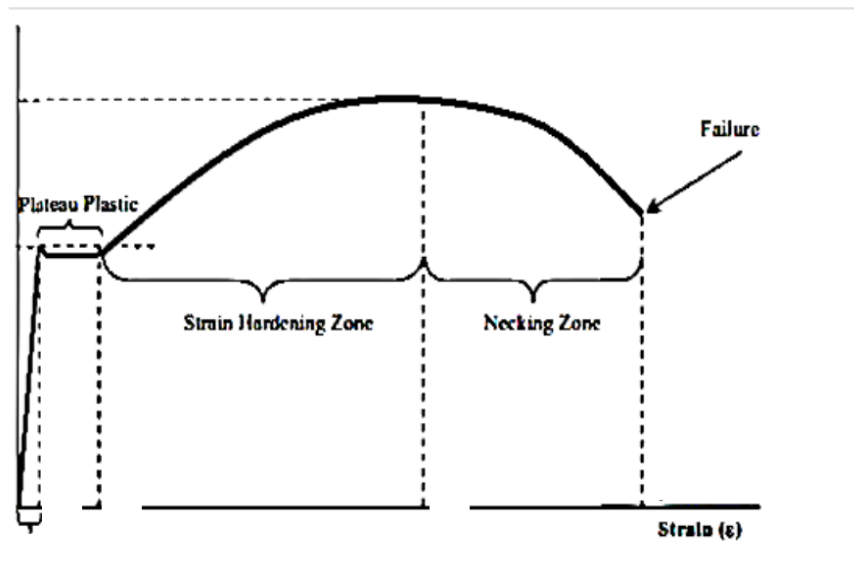


Gambar 2.1 Kegagalan Sambungan Baja
Sumber: (<https://id.pinterest.com/pin/412360909624256420>)

2.1.2 Sifat Mekanisme Baja

Sifat mekanik baja dapat diperiksa dengan uji tarik karena jika berupa uji tekan maka uji tersebut tidak akan efektif dalam memberikan data sifat mekanik baja yang akurat, karena disebabkan oleh tekuk yang terjadi pada benda uji, selain itu untuk menghitung tegangan yang muncul pada benda uji lebih mudah melakukan uji tarik dari pada uji tekan.

Gambar di bawah menunjukkan hasil uji tarik untuk material baja pada suhu ruangan dan untuk laju regangan normal. Tegangan nominal (σ) yang ada pada benda uji diplot pada sumbu vertikal, sedangkan regangan (ϵ) adalah rasio antara pertambahan panjang dengan panjang semula ($\Delta L/L$) diplot pada sumbu horizontal.



Gambar 2.2 Hasil Uji Tarik Benda Uji Sampai Mengalami Keruntuhan
Sumber: (Agus Setiawan, Struktur Baja Metode LRF, 2008)

Keterangan:

- a. Pada area regangan, tegangan dan regangan berbanding lurus satu sama lain, kemiringan linier yang ada adalah modulus/modulus elastisitas.
- b. *Young* (E), daerah ini disebut daerah elastis, yang ditandai dengan tercapainya kelelahan material (F_y).
- c. Setelah daerah leleh muncul daerah berupa garis datar di daerah ini, setiap kali nilai regangan bertambah, nilai tegangan yang melekat tidak bertambah. Daerah ini disebut daerah plastis.
- d. Ketika daerah plastis berakhir, proses pengerasan dimulai dan nilai tegangan secara bertahap dinaikkan sampai tegangan maksimum (F_u) tercapai. Kemudian tegangan cenderung menurun seiring dengan bertambahnya regangan karena nilainya menunjukkan masuk ke daerah neckling dan diakhiri dengan keruntuhan kegagalan.
- e. Sesuai peraturan SNI, sifat mekanik baja yang dipakai adalah:
 - 1) Modulus Elastisitas, $E = 200.000 \text{ Mpa}$
 - 2) Poison ratio = 0.30
 - 3) Modulus Geser, $G = 80.000 \text{ Mpa}$
 - 4) Koefisien muai panjang, $\alpha = 12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$

2.1.3 Kuat Tarik Pelat Pada Penampang Netto Kritis

Kekuatan batang tarik dipengaruhi oleh penampang sebenarnya dari sambungan. Menurut Salmon dan Johnson (1997), bila batang tarik disambung dengan baut, lubang-lubang harus disediakan pada sambungan. Akibatnya,

penampang batang pada sambungan mengecil dan beban tarik yang diizinkan pada batang juga dapat berkurang tergantung pada ukuran dan lokasi lubang.

Luas penampang bersih dari sambungan dan posisi baut dapat mempengaruhi kegagalan garis yang akan terjadi akibat beban tarik. Salmon dan Johnson (1997) menyatakan bila pada suatu batang terdapat lebih dari satu lubang dan lubang-lubang tersebut tidak terletak pada satu garis yang tegak lurus arah pembebanan (berseling), maka banyaknya garis keruntuhan yang potensial akan lebih dari satu. Garis keruntuhan yang menentukan adalah garis netto terkecil.

2.1.4 Kekutan Geser Alat Sambung

Sambungan dari setiap batang tarik sangat penting untuk menghindari keruntuhan. Menurut Spiegel dan Limbrunner (1991), Spiegel dan Limbrunner (1991) menyatakan, sambungan berfungsi terutama untuk meneruskan beban dari suatu elemen ke elemen bertemu. Jenis sambungan baja struktural yang paling umum digunakan saat ini adalah sambungan baut dan sambungan las.

Kapasitas beban geser baut sama dengan hasil kali dari luas penampang baut, tegangan geser yang diijinkan dan jumlah bidang geser.

$$P_{geser} = \phi (0,5 F_u) m \cdot A_b \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

P_{geser} = kekuatan geser izin untuk satu baut (ton)

\emptyset = faktor reduksi

A_b = luas penampang baut (mm^2)

F_u = tegangan geser izin baut (MPa)

m = jumlah bidang geser

2.1.5 Kekuatan Tumpu Pelat

Salmon dan Johnson (1997) menyatakan, disamping kekuatan tarik pelat pada penampang netto kritis dan kekuatan geser alat sambung harus memadai, kekuatan tumpu pelat juga harus memadai untuk mencegah kehancuran. Untuk mencegah terkoyaknya ujung pelat akibat desakan baut, SNI 1729:2015 mengatur jarak antara sumbu baut dan jarak tepi baut.

$$3d_b < s < 15tp \text{ atau } 180\text{mm} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$1,5d_b < s_1 < (4tp + 100\text{mm}) \text{ atau } 180\text{mm} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

d_b = Diameter baut (mm)

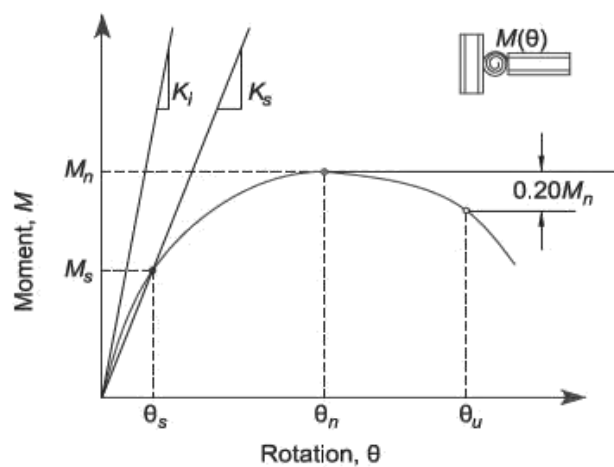
tp = Tebal pelat (mm)

s = Jarak antar sumbu baut (mm)

s_1 = Jarak tepi baut (mm)

2.1.6 Klasifikasi Sambungan Berdasarkan AISC 360-10

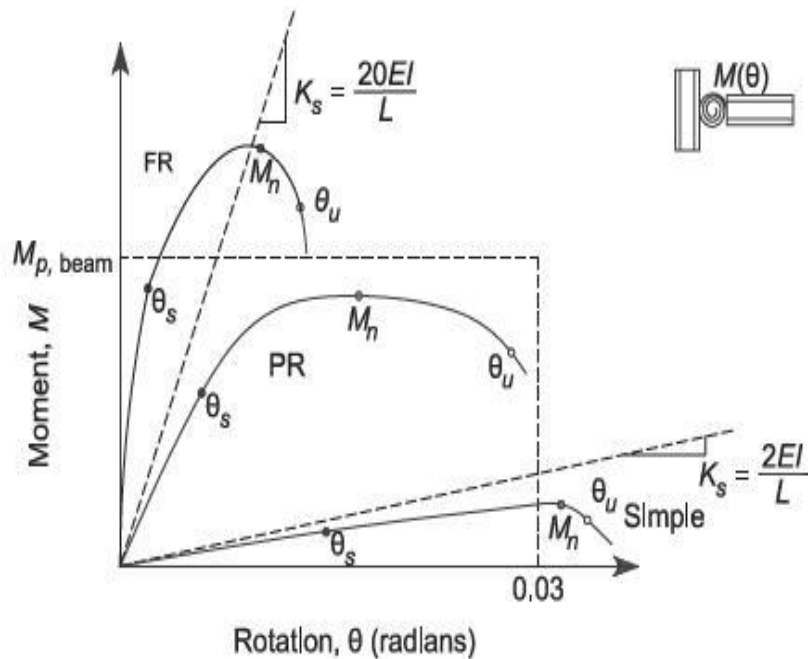
Asumsi dasar yang dibuat dalam mengklasifikasikan sambungan adalah bahwa perilaku karakteristik sambungan dapat di modelkan dengan kurva momen-rotasi (M- θ). Pada gambar 2.3 menunjukkan kurva momen-rotasi (M- θ).



Gambar 2.3 Definisi Kekakuan, Kekuatan, dan Karakteristik Daktilitas Momen-Rotasi

Sumber: (Suryolelono, 2012)

Jika $K_S.L/EI \geq 20$, maka dapat dianggap sebagai sambungan *fully restrained* atau rigid. Apabila $K_S.L/EI \leq 2$, maka dapat dianggap sebagai sambungan simple. Sambungan dengan kekakuan yang berada di antara 2 batas tersebut dianggap sebagai partially restrained atau semi-rigid. Kondisi tersebut terdapat pada gambar 2.4 yang menjelaskan hubungan klasifikasi momen-rotasi dengan batas *fully restrained* (FR), *partially restrained* (PR), dan *simple*.



Gambar 2.4 Klasifikasi Momen-Rotasi Dengan Batas (FR), (PR), dan *Simple*
 Sumber: (Suryolelono, 2009)

2.1.7 Keuntungan dan Kerugian Penggunaan Material Baja

Pemilihan baja sebagai material elemen struktur pada bangunan didasarkan pada keuntungan yang dimiliki oleh material baja itu sendiri, beberapa keuntungan material baja antara lain adalah:

- Baja memiliki kekuatan tinggi yang dapat mengurangi ukuran struktur secara langsung dapat mengurangi berat struktur secara keseluruhan.
- Material penyusun baja lebih seragam.
- Tingkat elastisitas baja yang tinggi sesuai dengan hukum Hooke.
- Momen inersia pada material baja dapat dihitung secara akurat.

- e. Daktilitas material baja yang cukup tinggi, kemampuan dalam menahan deformasi besar tanpa terjadinya keruntuhan dengan tegangan tarik yang tinggi.
- f. Kekerasan (*toughness*) adalah kemampuan baja dalam menyerap energi dengan jumlah yang besar.
- g. Mudah dipasang atau digabungkan dengan struktur yang sudah ada sehingga dapat mempercepat waktu pelaksanaan konstruksi.

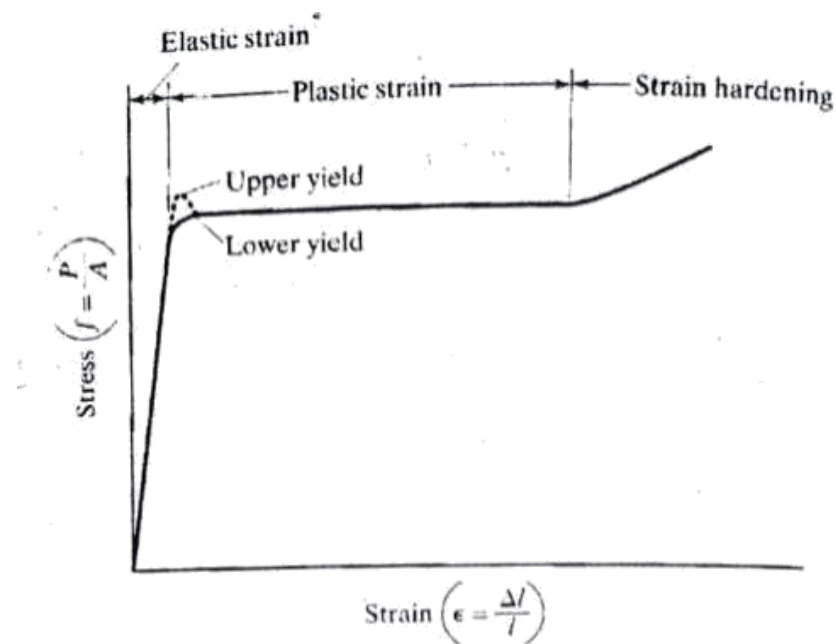
Selain memiliki keuntungan, material baja juga memiliki beberapa kerugian yang harus diperhatikan karena dapat mengakibatkan penurunan kekuatan dari baja struktur tersebut, beberapa kerugian material baja adalah sebagai berikut:

- a. Mudah mengalami korosi apabila terpapar dengan udara dan air secara langsung sehingga harus diperlukan perlakuan khusus misalkan dicat secara periodik.
- b. Terdapat biaya tambahan untuk pemberian lapisan tahan api (*fireproofing*) karena baja merupakan material penghantar panas yang sangat baik.

2.1.8 Karakteristik Tarik Baja

Karakteristik atau sifat material akan sangat penting untuk memahami perilaku setiap struktur baja. Diagram tegangan-regangan dapat memberikan informasi berharga untuk memahami perilaku baja dalam kondisi tertentu. Sifat tarik baja pada umumnya ditentukan berdasarkan uji tarik pada potongan baja kecil benda uji menurut prosedur ASTM. Perilaku baja dalam pengujian ini berkaitan erat dengan perilaku baja struktural di bawah beban statis. Uji tekan pada baja struktural jarang digunakan karena kuat leleh dan modulus elastisitas yang diperoleh dari uji tarik dan tekan memiliki nilai yang hampir sama.

Diagram tersebut digambarkan yang merupakan grafik hubungan antara tegangan-regangan baja tipikal untuk baja struktural dengan kadar karbon yang rendah pada suhu ruang. Berdasarkan grafik tersebut, terdapat beberapa kondisi di antaranya adalah elastisitas plastis serta *strain-hardening*.



Gambar 2.5 Grafik Tegangan-Regangan Baja Tipikal Untuk Baja Struktural dengan Kadar Karbon Rendah Pada Temperature Ruang
Sumber: (Arifi, Eva dkk. Perencanaan Struktur Baja.2021)

Batas elastis adalah kondisi dimana suatu material dapat menahan tegangan maksimum tanpa deformasi permanen atau dapat kembali ke bentuk semula. Hukum Hooke berlaku pada kondisi tersebut, dimana perbandingan antara tegangan dan regangan pada titik leleh disebut modulus elastisitas (*Young's modulus E*) dengan nilai 29×10^3 ksi untuk seluruh struktur baja tanpa syarat khusus.

Kekuatan leleh merupakan sifat baja yang penting untuk diketahui karena digunakan sebagai dasar perancangan struktur baja. tegangan leleh terjadi ketika

ada perpanjangan atau deformasi yang signifikan tanpa peningkatan tegangan. Deformasi elastis adalah deformasi yang terjadi sebelum titik leleh terjadi. Sementara itu, deformasi plastis adalah regangan yang terjadi setelah penambahan tegangan, biasanya bernilai 10 sampai 15 kali lebih besar dari regangan elastis. Setelah deformasi plastis terjadi, kemudian *strain-hardening*, yaitu suatu kondisi dimana tegangan tambahan diperlukan untuk menghasilkan deformasi. Berikut untuk batas getas, diagram tegangan-regangannya antara lain:

a. Pembatasan Kelangsingan

Bedasarkan SNI 1729:2020 sub D1, menjelaskan bahwa komponen struktur sesuai tarik rasio kelangsingan L/r disarankan nilainya tidak lebih dari 300, dengan L merupakan panjang batang yang mengalami tarik, dan r merupakan jari-jari girasi minimum suatu penampang. Akan tetapi syarat-syarat ini tidak berlaku untuk batang gantung yang mengalami tarik.

b. Tahanan Nominal Tarik

Ada tiga jenis keruntuhan yang mungkin akan terjadi pada batang tarik, yaitu diantaranya sebagai berikut:

- 1) Keruntuhan leleh, di mana keruntuhan terjadi pada batang tarik yang berada pada daerah yang jauh dari sambungan sehingga yang dapat menentukan adalah luas penampang *bruto* (atau tanpa pengurangan luas akibat lubang baut).
- 2) Keruntuhan fraktur, di mana keruntuhan terjadi pada sambungan, yang ditentukan oleh luas penampang *netto* akibat adanya pengurangan luas akibat lubang baut pada daerah sambungan.

- 3) Keruntuhan geser blok, di mana keruntuhan terjadi akibat adanya daerah sambungan yang sobek pada elemen pelat (baik elemen pelat penyambung atau pelat profil yang disambung) yang akan mengalami tarik.

Berdasarkan SNI 1729:2020 pada metode *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) kekuatan tarik desain, $\phi_t P_n$ dari komponen struktur tarik harus nilai terendah yang diperoleh berdasarkan keadaan batas dari leleh tarik pada penampang *bruto* dan keruntuhan tarik pada penampang *netto*.

$$P_u \leq \phi_t \cdot P_n \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

P_u = Gaya tarik aksial terfaktor (ton)

P_n = Tahanan nominal penampang (ton)

ϕ_t = Faktor tahanan tarik

Besarnya nilai ϕ_t dan P_n ditentukan sebagai berikut:

- a) Untuk keruntuhan leleh pada penampang *bruto*:

$$P_n = F_y \cdot A_g \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

$$\phi_t = 0,9$$

A_g = Luas *bruto* dari komponen struktur (mm^2)

F_y = Tegangan leleh minimum yang disyaratkan (MPa)

- b) Untuk keruntuhan fraktur pada penampang *netto*:

$$P_n = F_u \cdot A_e \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

$$\phi_i = 0,75$$

$$A_e = \text{Luas } \textit{netto} \text{ efektif (mm}^2\text{)}$$

F_u = Kekuatan tarik minimum yang disyaratkan (MPa)

c) Luas Netto

Luas *netto* (A_n) merupakan luas penampang yang setelah dikurangi dengan luas lubang baut. Untuk komponen struktur tanpa lubang (misalnya: sambungan las) maka $A_n = A_g$. Perhitungan luas penampang *netto* dipengaruhi oleh konfigurasi lubang baut terhadap potongan melintang pada penampang. Ada dua konfigurasi mengenai konfigurasi baut, yaitu sebagai berikut:

Lubang Baut Segaris

$$A_n = A_g - n \times d \times t \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

$$A_n = \text{Luas penampang } \textit{netto} \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$A_g = \text{Luas penampang } \textit{bruto} \text{ (mm}^2\text{)}$$

n = Jumlah baut segaris

d = Diameter lubang baut (mm)

t = Tebal penampang (mm)

$$A_n = A_g - n \times d \times t \times s \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

A_n = Luas penampang *netto* (mm^2)

A_g = Luas penampang *bruto* (mm^2)

n = Jumlah baut segaris

d = Diameter lubang baut (mm), diambil 1/16 in., (2 mm)

t = Tebal penampang (mm)

s = Jarak antar baut dalam arah sejajar gaya (mm)

d) Luas Netto Efektif

Luas netto efektif dari komponen struktur tarik harus ditentukan berdasarkan:

$$A_e = A_n \cdot U \dots\dots\dots (2.9)$$

Di mana U merupakan faktor *shear lag* yang dapat ditentukan berdasarkan SNI 1729:2020 yang beberapa dijelaskan sebagai berikut:

Semua komponen tarik beban tariknya disalurkan secara langsung ke setiap elemen profil yang melintang dengan sambungan las, maka:

$$U = 1 \dots\dots\dots (2.10)$$

Semua komponen tarik, kecuali pada pelat dan profil struktur berongga (PSR) beban tariknya disalurkan ke beberapa tapi tidak semua dari elemen profil yang melintang melalui pengencang atau las longitudinal dalam kombinasi dengan las transversal, maka:

$$U = 1 - \frac{e}{L} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

e = jarak titik berat penampang ke sambungan (mm)

L = jarak dari titik as baut awal ke titik as baut tepi (mm)

e) Geser Blok

Keruntuhan yang mekanismenya merupakan kombinasi dari gaya geser dan gaya tarik dan melalui lubang baut pada elemen struktur penahan beban dikenal sebagai kapasitas geser blok. Ketahanan geser blok biasanya terjadi pada sambungan yang dibaut ke pelat pada komponen penahan beban. Keruntuhan biasanya terjadi pada sambungan pendek, yaitu sambungan dimana dua atau lebih sedikit baut sejajar searah gaya. Dalam kasus keruntuhan geser, balok memiliki dua bidang keruntuhan, yaitu bidang geser, di mana bidang sejajar dengan arah gaya dan bergerak sepanjang baut, dan bidang tegangan tegak lurus terhadap gaya. Sesuai dengan desain LRFD berdasarkan SNI 1729:2020, maka syaratnya kekuatan batasnya adalah:

$$R_u \leq \phi R_n \dots\dots\dots (2.12)$$

Keruntuhan geser blok merupakan penjumlahan antara tarik leleh (atau tarik fraktur) dengan geser fraktur (atau geser leleh). Dengan tahanan nominal ditentukan oleh:

$$R_n = 0,6 \times F_u \times A_{nv} + U_{bs} \times F_u \times A_{nt} \leq 0,6 \times F_y \times A_{gv} + U_{bs} \times F_u \times A_{nt} \dots (2.13)$$

Keterangan:

R_u = Gaya tarik aksial terfaktor yang terjadi pada sambungan (N)

R_n = Kekuatan nominal dari sambungan (N)

F_u = Kekuatan tarik minimum yang disyaratkan (MPa)

F_y = Tegangan leleh minimum yang disyaratkan (MPa)

A_{nv} = Luas *netto* elemen yang menahan gaya geser (mm^2)

A_{nt} = Luas *netto* elemen menahan gaya tarik (mm^2)

A_{gv} = Luas *bruto* elemen menahan gaya geser (mm^2)

$U_{bs} = 1$, bila tegangan tarik rata

$U_{bs} = 0,5$ bila tegangan tarik tidak rata

2.1.9 Karakteristik Geser Baja

Tegangan geser dengan regangan geser memiliki perbandingan pada kondisi elastis yang disebut dengan modulus geser G . Berdasarkan teori elastis, nilai dari modulus tersebut berhubungan erat dengan modulus elastis E dan *Poisson's ratio* ν , di mana:

$$G = E / (2 (1 + \nu)) \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana nilai minimum G adalah 11×10^3 ksi. Rasio Poisson adalah rasio antara regangan lateral dan longitudinal yang disebabkan oleh beban. Rasio ini memiliki nilai yang sama pada setiap struktur baja yaitu 0,3 pada domain elastis dan 0,5 pada domain ulet. Sedangkan kekuatan leleh pada kondisi geser sama dengan 0,57 kali kekuatan leleh pada tarik. Kekuatan geser atau tegangan geser pada keruntuhan pada kondisi beban geser dapat $\frac{2}{3}$ sampai $\frac{3}{4}$ dari kekuatan tarik baja.

2.1.10 Karakteristik Tekan Baja

Batang tekan diperlihatkan untuk elemen struktural yang menopang beban yang terkonsentrasi di pusat penampang melintangnya. Penerapan tulangan tekan dapat dijumpai pada struktur rangka batang, yaitu struktur kolom yang hanya dikenai tekan aksial. Namun, dalam praktik lapangan, eksentrisitas seringkali dapat disebabkan oleh beberapa penyebab, seperti batang penghubung yang tidak sejajar, pemuatan yang salah, atau batasan pada alas yang dapat menyebabkan torsi. Momen yang nilainya relatif kecil dapat diabaikan, sehingga dapat diterapkan prosedur perancangan batang tekan.

Faktor utama yang menentukan kegagalan tulangan tekan adalah kemungkinan bengkok pada struktur batang tekan aksial. Perilaku tekuk pada batang tekan dipengaruhi oleh kelangsingan bagian-bagian yang memungkinkan terjadinya ketidakstabilan sebelum pelelehan dapat dicapai. Desain tulangan tekan berdasarkan SNI 1729 : 2020, adalah sebagai berikut:

a. Panjang Efektif

Panjang efektif dari struktur komponen (L_c) digunakan untuk menghitung kelangsingan batang tekan (L_c/r) dimana nilai L_c ditentukan dari nilai factor panjang efektif, K .

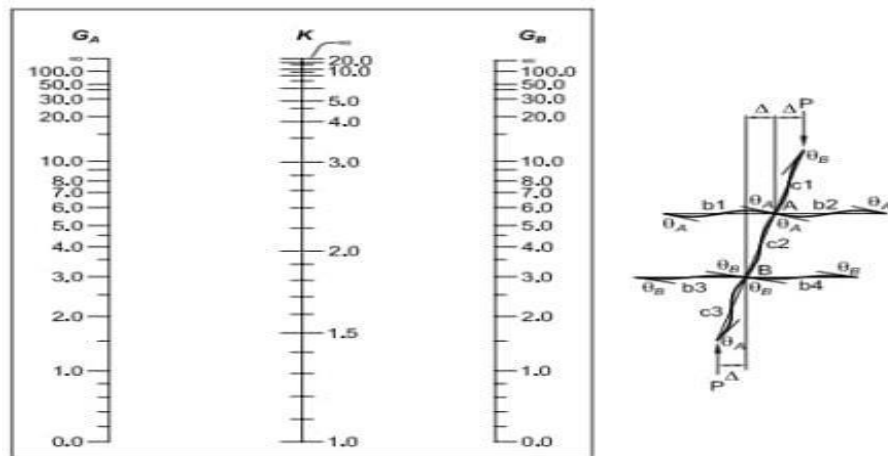
Keterangan:

$L_c = KL$ = Panjang efektif batang tekan (mm)

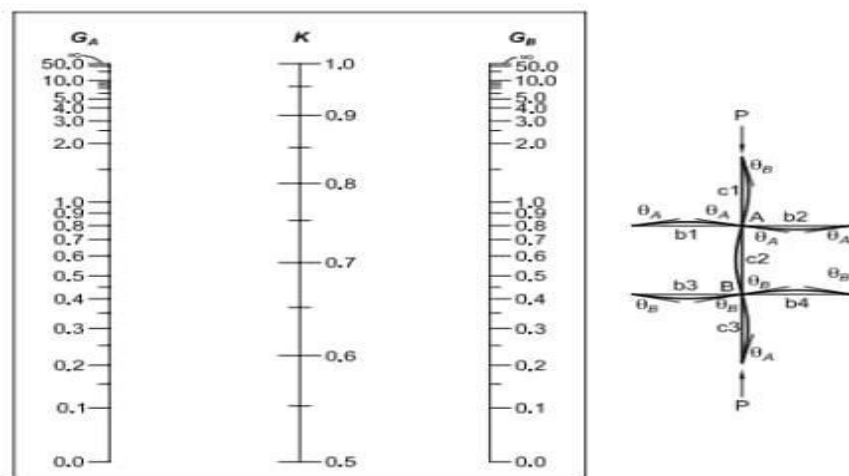
L = Panjang tanpa diberi pengaku lateral dari struktur komponen

r = Radius girasi, in (mm)

Berdasarkan SNI 1729:2020, untuk struktur komponen direncanakan sesuai tekan dan rasio kelangsingan KL/r , sebaiknya tidak lebih dari 200. Nilai Panjang efektif atau faktor panjang tekuk, K dipengaruhi oleh beberapa jenis tumpuan dan panjang elemen struktur batang yang mengalami gaya aksial tekan. Untuk menentukan faktor panjang tekuk (K) pada suatu struktur portal digunakan nomogram yang terbagi menjadi dua yaitu sebagai berikut:



Gambar 2.6 Nomogram Nilai K pada Komponen Struktur Bergoyang
 Sumber: (AISC, Specification for Structural Steel Buildings 2010)



Gambar 2.7 Nomogram Nilai K pada Komponen Struktur Tak Bergoyang
 Sumber: (AISC, Specification for Structural Steel Buildings 2010)

b. Tekuk Lokal dan Tekuk Global pada Batang Tekan

Faktor utama yang menentukan keruntuhan batang tekan adalah adanya kemungkinan terjadinya tekuk (*buckling*) pada komponen struktur yang menerima gaya aksial tekan. Adapun tekuk suatu batang dipengaruhi oleh:

- 1) Luas penampang
- 2) Bentuk penampang terhadap kekuatan lentur
- 3) Panjang batang
- 4) Kondisi tumpuan

Suatu batang dapat mengalami tekuk lokal dan tekuk global. Tekuk lokal adalah tekuk yang terjadi pada elemen penampang, yaitu pada sayap atau badan profil akibat tekan. Jika batang profil cenderung ramping dengan kolom yang pendek dan diberi gaya tekan, maka terjadi tekuk lokal. Sedangkan tekuk global adalah tekuk yang disebabkan oleh tulangan yang panjang atau tulangan memanjang yang terjadi bila penampang bagian relatif tebal.

Berdasarkan tekuk lokal, komponen struktural dapat diklasifikasikan menjadi komponen tipis dan tidak tipis yang ditentukan berdasarkan rasio lebar-tebal penampang (b/t). Jika rasio elemen kurang dari λ_r , maka termasuk dalam jenis elemen non-thin atau non-thin. Sebaliknya, jika fitur tersebut lebih besar dari λ_r , fitur tersebut diklasifikasikan sebagai elemen langsing.

c. Kekuatan Tekan Nominal

Kekuatan tekan nominal, P_n suatu batang diambil dari nilai terendah yang diperoleh dari keadaan batas tekuk lentur, tekuk torsi, dan tekuk lentur-torsi.

$$P_u \leq \phi_c P_n \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan:

P_u = Gaya tekan aksial terfaktor (N)

$\phi_c = 0,90$

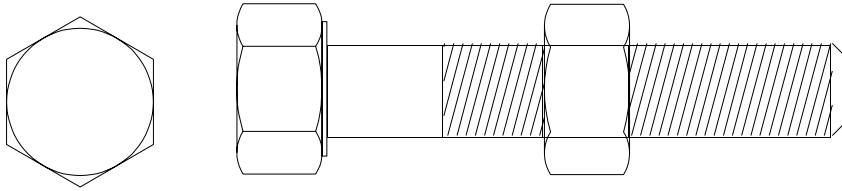
2.1.11 Kurva True Stress dan True Strain

Menentukan perilaku mekanik bahan biasanya digunakan kurva $\sigma - \epsilon$ yang merupakan kurva engineering *stress-strain* berdasarkan kondisi awal penampang, sedangkan untuk analisis inelastis, perubahan luas penampang akibat penciutan (Dewobroto, 2016).

2.1.12 Uji Kekerasan (*Hardness Test*)

Pengujian kekerasan adalah salah satu cara untuk menentukan penetrasi dan digunakan untuk perkiraan cepat kekuatan tarik. Informasi ini diperlukan untuk mengetahui keandalan struktur baja dalam menahan beban kerja. Analisis kekuatan struktur juga diperlukan jika terjadi perubahan fungsi atau kegagalan pada struktur atau infrastruktur, untuk memiliki informasi yang cukup dalam menangani masalah serius dan mengambil tindakan perbaikan yang tepat dan tepat waktu.

2.2 Sambungan Baut



Gambar. 2.8 Sambungan Baut
 Sumber: (William A. Thorton, P.E, 2011)

Setiap struktur baja merupakan kombinasi dari beberapa komponen batang yang disambungkan dengan pengencang. Salah satu pengencang selain las yang cukup populer adalah baut, terutama baut yang berkualitas tinggi. Baut yang kuat telah menggantikan penggunaan paku keling sebagai pengencang karena beberapa keunggulan dibandingkan paku keling, diantaranya ialah kemampuan menahan gaya yang lebih baik dan penghematan umum dalam biaya konstruksi.

Saat merakit baut yang sangat kuat, diperlukan tegangan tarik awal yang cukup, yang dihasilkan dari tegangan awal. Gaya ini menimbulkan gesekan sehingga cukup kuat untuk memikul beban kerja. Kekuatan ini disebut beban pembuktian. Beban tarik diperoleh dengan mengalikan rentang tarik (A_s) dengan titik leleh.

$$A_s = \frac{\pi}{4} \left[db - \frac{0,9743}{n} \right]^2 \quad (mm^2) \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan:

d_b = Diameter nominal baut

n = Jumlah ulir per mm

2.2.1. Tahanan Nominal Baut

Suatu baut yang memikul beban terfaktor, R_u , sesuai persyaratan LRFD harus memenuhi:

$$R_u \leq \phi R_n \dots\dots\dots (2.17)$$

Dengan R_n adalah tahanan nominal baut sedangkan faktor reduksi yang diambil sebesar 0.75. Besarnya R_n berbeda-beda untuk masing-masing tipe sambungan.

1) Tahanan Geser Baut

Tahanan nominal satu buah baut yang memikul gaya geser memenuhi persamaan:

$$R_n = m \cdot r_l \cdot f_{ub} \cdot A_b \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan:

$r_l = 0.5$ untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

$r_l = 0.4$ untuk baut dengan ulir pada bidang geser

f_{ub} = kuat tarik baut (MPa)

A_b = Luas bruto penampang baut (mm²)

m = jumlah bidang geser

2) Tahanan Tarik Baut

Baut yang memikul gaya tarik tahanan nominalnya dihitung menurut:

$$R_n = 0.75 f_{ub} A_b \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan:

f_{ub} = kuat tarik baut (MPa)

A_b = Luas bruto penampang baut (mm²)

3) Tahanan Tumpu Baut

Tahanan tumpu nominal tergantung kondisi yang terlemah dari baut atau komponen pelat yang disambung. Besarnya dihitung sebagai berikut :

$$R_n = 2.4 d_b . t_p . f_u \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan:

f_u = kuat tarik putus terendah dari baut (MPa)

d_b = Diameter baut pada daerah tak berulir (mm)

t_p = Tebal pelat

2.2.2 Sambungan Struktur

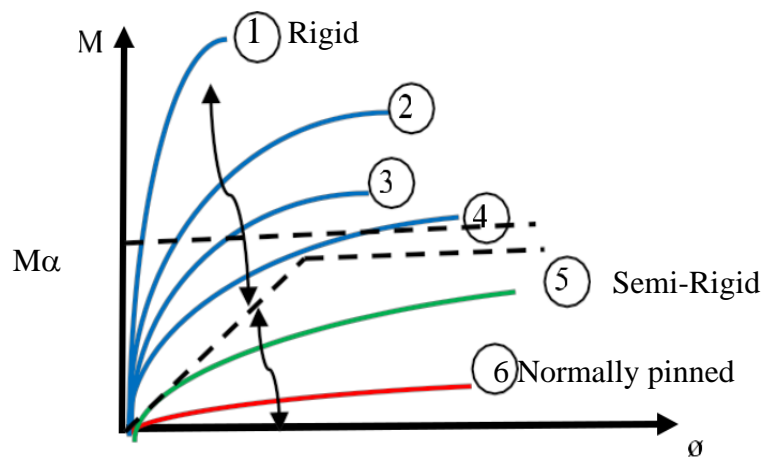
Fungsi sambungan adalah mengalihkan gaya-momen internal dari satu komponen struktur ke komponen lain sehingga pembebanan dapat diteruskan ke pondasi. Sambungan antar balok dan kolom terdiri dari tiga elemen, yaitu: balok, kolom dan alat penyambung. Ketiga elemen tersebut harus direncanakan secara tepat dan detail agar tidak terjadi kesalahan fungsi bangunan hingga kegagalan bangunan / *failure* sehingga oleh karena itu maka perencanaan sambungan harus sesuai dengan syarat yang telah ditentukan. Menurut Ervina, ada beberapa kriteria dasar yang umum dalam merencanakan sambungan, antara lain yaitu:

1) Kekuatan (*strength*)

Dari segi kekuatan, sambungan harus dapat menahan momen, gaya geser dan gaya aksial yang dipindahkan dari batang yang satu ke batang lain.

2) Kekakuan (*stiffness*)

Kekakuan sambungan secara menyeluruh berguna untuk menjaga posisi komponen struktur agar tidak bergerak atau berubah antara satu dengan lainnya. Pada gambar 2.10, kekakuan (*rigidity*) sama dengan kekakuan rotasi dimana kurva 1, 2, 3, dan 4 menunjukkan sambungan rigid. Sedangkan kurva 5 termasuk dalam klasifikasi sambungan semi-rigid. Dalam peraturan BS5950 dijelaskan bahwa garis putus-putus antara rigid dengan semi-rigid diperoleh dari rumus $2EI/L$.

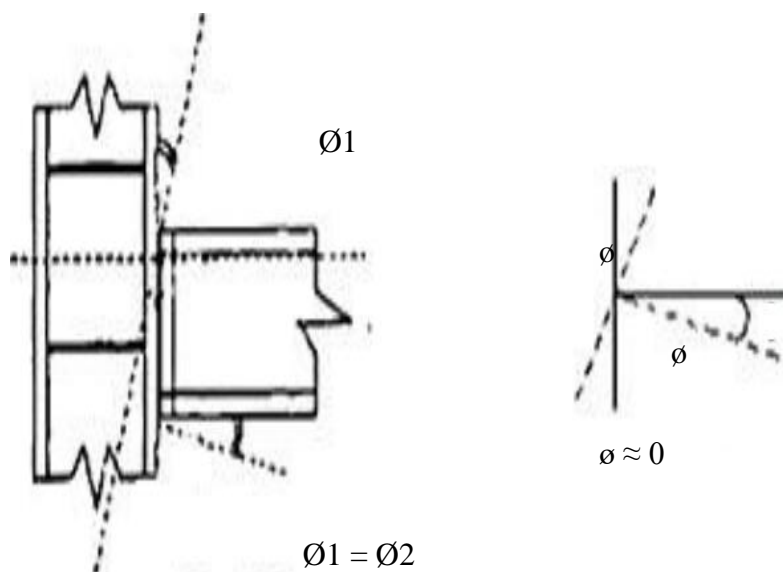


Gambar 2.9 Klasifikasi Sambungan Baja Berdasarkan Kekakuan
 Sumber: (Silviana, M., Studi Kekuatan Sambungan Batang Tarik Pelat Baja ,2017)

Menurut AISC-1.2 tentang perencanaan tegangan kerja (*working stress*) dan AISC-2.1 tentang perencanaan plastis, konstruksi baja dibedakan atas tiga kategori sesuai dengan jenis sambungan yang dipakai. Ketiga jenis ini adalah sebagai berikut:

a. Jenis 1 AISC. Sambungan portal kaku (*rigid connection*)

Sambungan kaku umumnya harus memikul momen ujung M_1 , yang sekitar 90% dari M_{Fa} atau lebih, Sambungan ini memiliki kontinuitas penuh sehingga sudut pertemuan antara batang-batang tidak berubah, yakni pengekanan (*restraint*) rotasi sekitar 90% atau lebih dari yang diperlukan untuk mencegah perubahan sudut (siku di badan).



Gambar 2.10 Distribusi Momen Tahanan Terhadap Momen Jepit Sempurna pada Sambungan Kaku

Sumber: (Ervina Sari, Analisis Sambungan Balok dengan Kolom pada Portal Baja, 2003)

b. Jenis 2 AISC. Sambungan kerangka sederhana (*simple framing*)

Sambungan sederhana hanya dapat menahan 20% dari momen M_{Fa} atau kurang dari 20%, seperti yang ditunjukkan oleh momen M_2 (siku di sayap).

c. Jenis 3 AISC. Sambungan kerangka semi-kaku (*semi-rigid connection*)

Sambungan semi-kaku diperkirakan dapat menahan momen sebesar M_3 , yang mungkin sekitar 50% dari momen primer M_{Fa} (Siku badan dan sayap).

3) Kapasitas rotasi

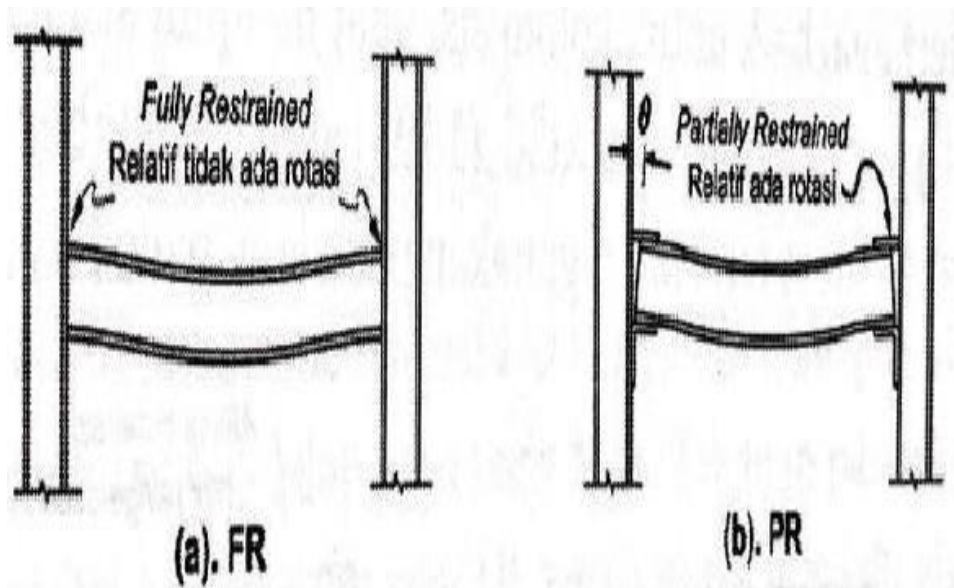
Pada sambungan yang direncanakan untuk menahan momen plastis, titik simpulnya dapat dibuat tidak terlalu kaku (*rigid*). Namun demikian, derajat kekakuannya harus cukup untuk memungkinkan redistribusi momen yang sesuai dengan asumsi analisis.

4) Cukup ekonomis

Sambungan harus cukup sederhana agar biaya fabrikasinya murah, namun tetap memenuhi syarat kekuatan dan kemudahan dalam pelaksanaannya.

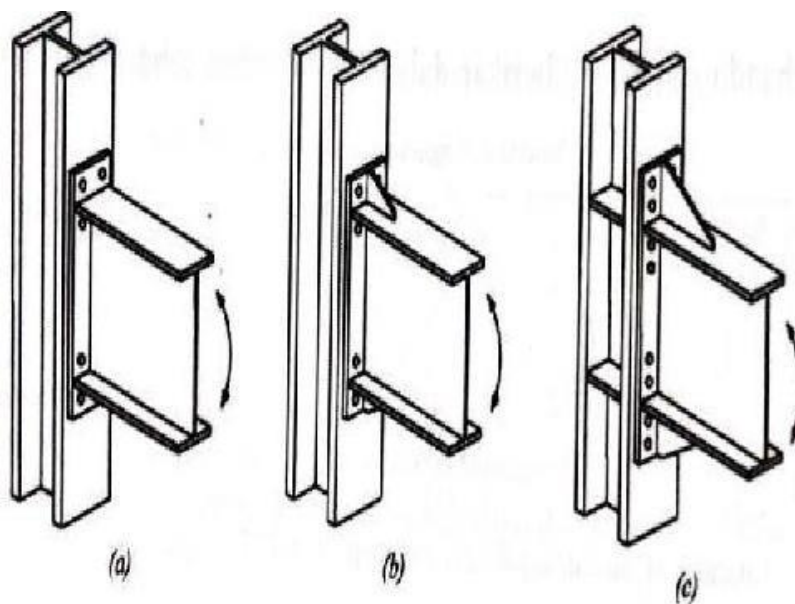
2.2.3 Sambungan Momen *End-Plate*

Sambungan momen struktur baja dapat dibagi dua, yaitu FR (*Fully Restrained*) atau sambungan rigid seperti profil utuh; dan PR (*Partially Restrained*) atau sambungan semi-rigid atau elastis, dimana pada kondisi beban tertentu elemen-elemen sambungan bisa berotasi. Untuk memahami dapat mempelajari gambar di bawah ini:



Gambar 2.11 Perilaku Sambungan Momen pada Struktur Baja
 Sumber: (Dewobroto, Struktur Baja Edisi ke-2, 2016)

Sambungan momen tipe FR tidak perlu pemodelan khusus untuk analisis strukturnya, karena dapat dianggap sebagai penampang utuh, yang meneruskan momen sekaligus gaya geser dan aksial.



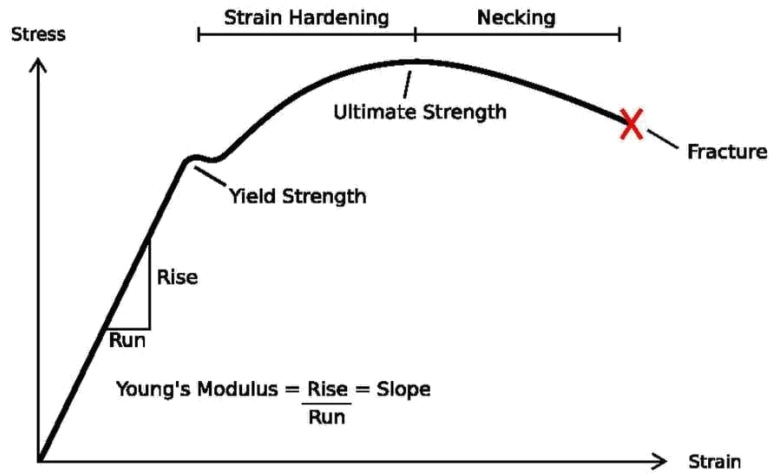
Gambar 2.12 Sambungan *End-Plate* dengan Pengaku
 Sumber: (Dewobroto, Struktur Baja Edisi ke-2, 2016)

2.3 Tegangan-Regangan

Hubungan antar tegangan-regangan dideskripsikan oleh Robert Hooke dapat beberapa karakteristik. Perilaku elastis: perilaku elastis terjadi apabila tegangan yang terjadi masih dalam area elastis. Dimana pada daerah elastis ini kurva yang terbentuk adalah garis linier. Jadi pada daerah ini tegangan yang terjadi proporsional terhadap regangan yang terjadi. Titik akhir dari garis linier ini disebut dengan batas elastis.

- 1) *Leleh*: tegangan yang terjadi sedikit diatas area elastis akan menyebabkan material berdeformasi secara permanen. Perilaku ini disebut dengan leleh. Peristiwa leleh ini terjadi pada dua buah titik antara tegangan leleh bawah dimana tegangan tidak berubah tetapi regangan terus maningkat hingga titik leleh atas.
- 2) *Strain hardening*: ketika material telah mencapai titik leleh atas tegangan dapat ditingkatkan dan menghasilkan kurva yang terus meningkat tetapi semakin datar hingga mencapai tegangan ultimate.
- 3) *Necking*: setelah melewati tegangan ultimate kurva menurun hingga mencapai tegangan patah. Pada area kurva ini tegangan turun kemudian regangan bertambah tetapi luas permukaan berkurang pada sebuah titik.

Terdapat grafik hubungan tegangan-regangan yang terjadi pada material baja pada gambar 2.13



Gambar 2.13 Grafik Tegangan-Regangan Baja
 Sumber: (Dewobroto, Struktur Baja Edisi ke-2, 2016)

2.4 Metode Penulisan

Untuk menyelesaikan dan menyempurnakan penulisan skripsi ini dilakukan beberapa metode pelaksanaan penulisan antara lain:

1. Studi literatur

Mencari referensi terhadap *text book* dan jurnal-jurnal yang terkait dengan pelat baja, struktur bangunan baja, sambungan pelat baja dan melakukan analisis antara data yang diperoleh dengan buku yang sesuai pembahasan tentang penggunaan teori dan persamaan yang sesuai dan jenis literatur lainnya yang berhubungan dengan penulisan Skripsi ini.

2. Pengumpulan Data

Pengambilan data diperoleh dari PT PILAR JURONG SEJATI selaku penanggungjawab proyek, data yang diambil meliputi:

- a. Gambar (denah, layout rencana, potongan, detail – detail)
 - b. Data penyelidikan sambungan pelat baja struktur rangka atap bangunan
3. Metode Analisa

Setelah data yang diperlukan secara keseluruhan maka data yang ada tersebut dikumpulkan. Kemudian dengan literatur yang sudah didapatkan maka data tersebut diolah dan dianalisa secara manual dengan metode LRFD berdasarkan SNI 1929:2020 sesuai dengan landasan teori pada tinjauan pustaka.