BAB 2

STUDI PUSTAKA

2.1 Jenis-Jenis Material Baja Yang Ada di Pasaran

Jenis material baja yang ada di pasaran saat ini terdiri dari *Hot Rolled Steel* dan *Cold Formed Steel*/ Baja Ringan.

1. *Hot Rolled Steel*/ Baja Canai Panas *(http//:www.google.com)*

Hot Rolled Steel/ Baja Canai Panas adalah material baja yang dihasilkan dari proses pengerolan panas. Proses pembuatannya melalui beberapa tahapan antara lain melalui *proses thermomekanik* dan *proses desulfurisasi*. Baja jenis ini dapat dipergunakan untuk berbagai penggunaan dari kualitas umum/ komersil hingga kualitas khusus seperti struktur rangka baja, tiang pancang, komponen alat berat, dan komponen kendaraan bermotor, fabrikasi umum, pipa dan tabung bertekanan tinggi, baja tahan korosi cuaca, boilers, dan lain-lain.

Ketebalan pelat *Hot Rolled Steel* berkisar antara 0,18-25 mm sedangkan lebarnya berkisar antara 600-2060 mm, produk pelat *Hot Rolled Steel* dapat berupa pelat atau coil dan dapat berupa HRC-PO

2. *Cold Formed Steel*/ Baja Canai Dingin *(http//:www.google.com/Baja Ringan& Profil PT.Gunung Garuda)*

Cold Formed Steel adalah material baja yang dihasilkan dari proses pengerolan dingin, material baja ini memiliki sifat tipikal berbeda secara

signifikan dengan material baja *Hot Rolled Steel*. Cold Formed Steel memiliki kualitas permukaan yang lebih baik, ukuran yang lebih presisi serta memiliki sifat mekanis dan *formability* yang sangat baik. Material jenis ini umumnya dipergunakan dalam proses pembentukan karena kelebihan dalam sifat mekanis, formability dan weldability yang sangat baik.

Ketebalan pelat berkisar antara 0,2- 3 mm untuk pelat yang mengalami penguatan (*annealed steel*) dan ketebalan maksimum 2 mm untuk pelat dalam bentuk gulungan (*unannealed steel*).

2.1.1 Sambungan Baja

Sambungan adalah lokasi dimana ujung-ujung batang bertemu. Umumnya sambungan dapat menyalurkan ketiga jenis gaya dalam. Beberapa jenis sambungan yaitu: sambungan kaku, sambungan sendi, sambungan rol. Deformasi yang terjadi pada sambungan antara balok-kolom pada struktur baja yang menggunakan sambungan baut akan mempengaruhi kekakuan struktur, sehingga akan berpengaruh pada momen lentur yang terjadi. Perubahan kekakuan pada struktur dapat dilihat dari perubahan momen lentur yang terjadi, sehingga dapat ditentukan tingkat penekanan rotasi yang sesuai dengan tipe sambungan yang digunakan.

2.1.2 Momen

Momen adalah gaya dalam yang terjadi akibat lenturan pada elemen struktur atau akibat beban-beban luar yang memiliki eksentris atau jarak tertentu. “Momen bernilai positif apabila titik yang ditinjau berada ditengah bentang”.

2.1.3 Pembebanan

Pembebanan pada struktur terdapat sejumlah gaya yang akan membebani sistem struktur tersebut. Beban dapat berasal dari struktur itu sendiri maupun beban yang akibat penggunaan, atau yang terjadi diakibatkan kejadian alami misalnya angin, gempa, air, dll.

2.2 Sambungan Baut *(SNI 03-1729-2002)*

2.2.1 Baut

Berdasarkan kekuatan dan kandungan karbonnya, baut dapat dibagi menjadi 2 (dua) jenis, yaitu :

1. Baut Biasa (*Unfinished Bolt*)

   Baut biasa adalah baut yang dibuat dari baja kandungan karbon rendah (*low-carbon steel*) dan mempunyai kekuatan tarik minimum (*minimum tensile strenght*) sebesar 4218 kg/cm2 (60 ksi) . Berdasarkan ASTM (*American Standard for Testing Material*) , baut biasa harus memenuhi spesifikasi ASTM-A307.

2. Baut Mutu Tinggi (*High Strenght Bolt*)

   Baut mutu tinggi dibagimenjadi dua jenis, yaitu :

   a. Baut mutu tinggi yang terbuat dari baja kandungan karbon rendah (*low-carbon steel*) dan mempunyai kekuatan tarik minimum sebesar 8437 kg/cm2 (120 ksi) untuk baut berdiameter 12 mm – 25 mm dan kekuatan tarik minimum 7382 kg/cm2 (105 ksi) untuk baut berdiameter 28 mm – 38 mm. Berdasarkan ASTM , maka baut mutu tinggi jenis ini harus memenuhi spesifikasi ASTM-A325. Baut jenis ini

umumnya digunakan untuk struktur yang menggunakan bahan baja kandungan karbon rendah.

b. Baut mutu tinggi yang terbuat dari Baja Alloy (*alloy steel*) dan mempunyai kekuatan tarik minimum sebesar 10546 kg/cm2 (150 ksi) ,berdasarkan ASTM, baut jenis ini harus memenuhi spesifikasi ASTM-A490. Baut jenis ini umumnya digunakan untuk struktur yang menggunakan bahan baja alloy.

2.2.2 Sistem Sambungan Baut

Suatu sambungan terdiri dari komponen sambungan (pelat pengisi, pelat buhul, pelat pendukung, dan pelat penyambung) dan alat sambung (baut dan las). Pada sambungan yang menggunakan alat sambung baut ada dua tipe sambungan yaitu:

1. Sambungan Tipe Tumpu (*bearing type connection*)

   Pada sambungan tipe ini, sambungan dibuat dengan menggunakan baut biasa atau baut mutu tinggi yang dikencangkan sampai gaya tarik minimum yang disyaratkan. Beban rencana yang bekerja disalurkan melalui gaya geser baut atau tumpu pada bagian yang disambungkan *(Charles G Salmon & Johnson)*.

2. Sambungan Tipe Gesek (*friction type connection*)

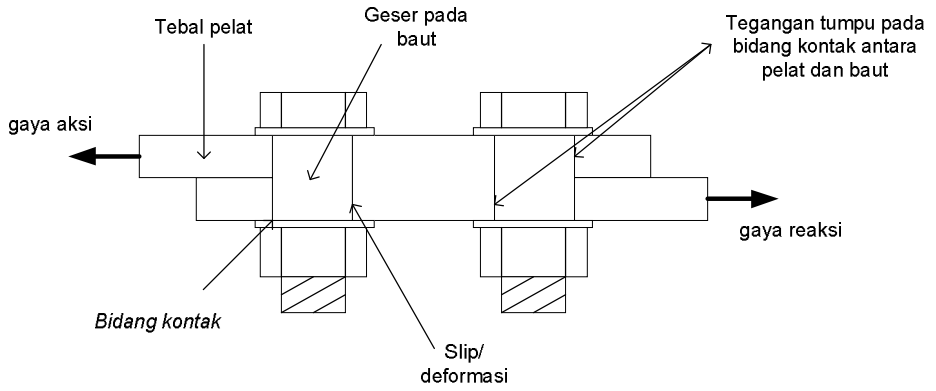
   Pada sambungan tipe ini, sambungan dibuat dengan menggunakan baut mutu tinggi yang dikencangkan sampai gaya tarik minimum yang disyaratkan sedemikian rupa sehingga gaya-gaya geser rencana yang

bekerja disalurkan melalui jepitan yang bekerja dalam bidang kontak dan gesekan yang ditimbulkan antara bdang-bidang kontak.

Terdapat 3 (tiga) jenis tegangan yang mungkin terjadi pada sebuah baut akibat adanya gaya luar yang bekerja pada sambungan ,yaitu : tegangan tarik, tegangan geser dan tegangan tumpu.

2.2.3 Sambungan Tipe Tumpu *(SNI 03-1729-2002)*

Kekuatan sambungan tipe tumpu terletak pada bidang kontak tepi lubang baut, sehingga diameter baut dan tebal pelat tertipis pada sambungan menjadi parameter utama dalam mekanisme tumpu. Agar terjadi bidang kontak maka diperlukan deformasi searah gaya, umum menyabutnya sebagai slip. Jadi mekanisme tumpu sambungan hanya dapat terjadi jika sambungan telah mengalami slip.



Gambar 2.1 Sambungan Baut- Mekanisme Tumpu

Karena gaya-gayanya adalah aksi-reaksi maka kedua pelat yang disambung mengalami slip dalam arah berlawanan, teoritis total deformasi adalah 2 X gap (± 1/8 in) meskipun pada prakteknya kurang dari itu (*Kulak et.al 2001*). Perlunya slip agar sambungan dapat bekerja penuh menyebabkan sistem sambungan tipe tumpu tidak dapat digabung dengan tipe sambungan lainnya.

Pada sambungan dengan jumlah baut yang banyak (ada beberapa baris baut pada arah gaya), maka masing-masing baut dianggap bekerja bersama-sama jika telah mengalami mekanisme inelastis, setelah terjadi leleh(*yielding*) pada masing-masing baut tersebut. Kondisi tersebut tentu saja menyebabkan deformasi sambungan bertambah besar

Akibat bekerjanya gaya P pada sambungan , maka besarnya tegangan geser yang terjadi pada penampang baut adalah :

$$\boldsymbol{\tau = \frac{P}{m.Ab}} \qquad (2.1)$$

Dimana : P = *gaya yang bekerja pada satu baut*

m = jumlah bidang geser

Ab = luas satu bidang geser

Kemampuan sebuah baut menahan gaya geser disebut kuat geser nominal. Besarnya kuat geser nominal pada sambungan tipe tumpu, adalah :

a. Untuk baut dengan ulirnya berada diluar bidang geser :

$$\boldsymbol{Rnv = 0,50.Fub.Ab.m} \qquad (2.2)$$

b. Untuk baut dengan ulirnya berada dalam bidang geser :

$$\boldsymbol{Rnv = 0,40.Fub.Ab.m} \qquad (2.3)$$

Dimana : *Rnv = kuat geser nominal tipe tumpu pada satu baut*

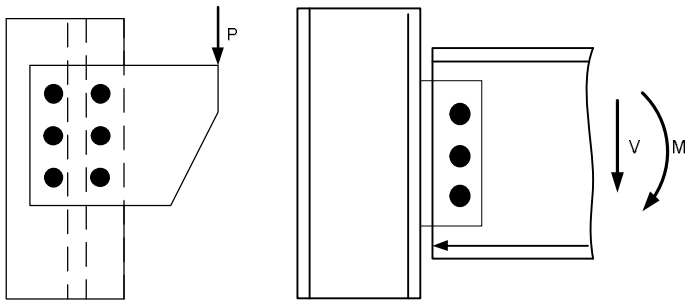
Fub = tegangan ultimate baut

Ab = luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

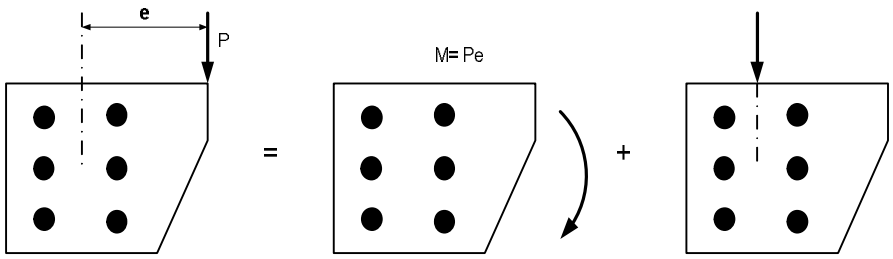
m = jumlah bidang geser

2.2.4 Geser Eksentris *(Charles G Salmon & Johnson)*

Ketika gaya *P* diaplikasikan pada garis kerja yang tidak melewati titik berat kelompok baut, maka akan timbul efek akibat gaya eksentris tersebut. Beban *P* yang mampunyai eksentrisitas sebesar *e* , adalah ekuivalen statis dengan momen *P* dikali *e* ditambah gaya konsentris *P* yang bekerja pada sambungan. Karena baik momen maupun beban konsentris tersebut memberi efek geser pada kelompok baut, kondisi ini sering disebut sebagai **geser eksentris.**



Gambar 2.2 Contoh Sambungan Geser Eksentris

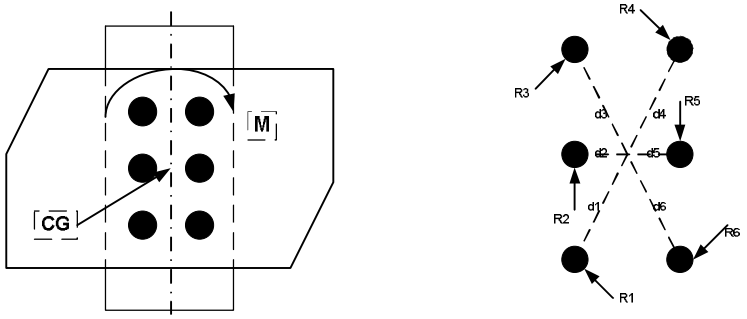


Gambar 2.3 Kombinasi Momen dan Geser

Dalam mendesain sambungan seperti ini , dapat dilakukan dua macam pendekatan yaitu :

Analisis (vektor) tradisional elastik, mengasumsikan tidak ada gesekan antara pelat yang kaku dan alat pengencang yang elastik. Prosedur analisis ini didasarkan pada konsep mekanika bahan sederhana , dan digunakan sebagai prosedur konservatif. Untuk menurunkan persamaan yang digunakan dalan analisis ini , perhatikan sambungan yang menerima beban momen *M* dalam Gambar 2.4 .

$$M = R1.d1 + R2.d2 + \cdots + R6.d6 = \Sigma\, R.d \qquad \text{persamaan 1.1}$$



Gambar 2.4 Sambungan dengan Beban Momen

Dapat dituliskan dalam persamaan :

$$R1 = \frac{R1}{d1}.d1 \; ; R2 = \frac{R1}{d1}.d2; \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots R6 = \frac{R1}{d1}.d6 \qquad \text{persamaan 1.2}$$

Substitusikan persamaan 1.1 ke persamaan 1.2 :

$$M = \frac{R1}{d1}.d1^2 + \frac{R1}{d1}.d2^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + \frac{R1}{d1}.d6^2$$

$$M = \frac{R1}{d1}.[\, d1^2 + d2^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots d6^2\,]$$

$$M = \frac{R1}{d1}.\Sigma d^2 \qquad \text{persamaan 1.3}$$

Sehingga gaya pada baut 1 :

$$R1 = \frac{M.d1}{\sum d^2} \qquad \text{persamaan 1.4}$$

Dengan cara yang sama , maka gaya pada baut- baut yang lain adalah :

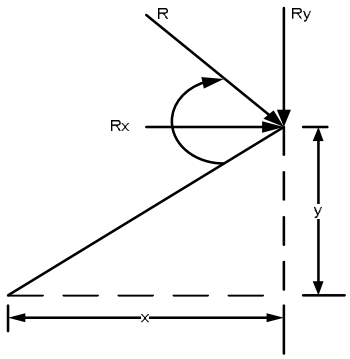
$$R2 = \frac{M.d2}{\sum d^2} \; ; R3 = \frac{M.d3}{\sum d^2}; \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots R6 = \frac{M.d6}{\sum d^2} \qquad \text{persamaan 1.5}$$

Atau secara umum dituliskan :

$$R = \frac{M.d}{\sum d^2} \qquad \text{persamaan 1.7}$$

Apabila gaya *R* diuraikan secara vertikal dan horizontal, atau dalam arah *x* dan *y*, maka komponen gaya dalam *x* dan *y* dapat dituliskan :

$$Rx = \frac{y}{d}.R \quad \text{dan} \quad Ry = \frac{x}{d}.R \qquad \text{persamaan 1.8}$$



Gambar 2.5 Gaya R Diuraikan dalam Arah x dan y

Substitusikan ke persamaan 1.7 ke persamaan 1.8 , maka diperoleh :

$Rx = \frac{M.y}{\sum d^2}$ dan $Ry = \frac{M.x}{\sum d^2}$ persamaan 1.9

Karena $d^2 = x^2 + y^2$, maka pers.1.9 secara umum dapat dituliskan lagi menjadi :

$Rx = \frac{M.y}{\sum x^2 + \sum y^2}$ dan $Ry = \frac{M.x}{\sum x^2 + \sum y^2}$ persamaan 1.10

Dengan hukum penjumlahan vektor maka, gaya *R* didapatkan dari :

$R = \sqrt{Rx^2 + Ry^2}$ persamaan 1.11

Untuk menghitung gaya total akibat beban eksentris seperti pada Gambar 2.4, maka pengaruh gaya *Rv* memberikan kontribusi gaya pada setiap baut sebesar :

$Rv = \frac{P}{\sum N}$ persamaan.1.12

Dengan N adalah jumlah baut, sehingga total resultan gaya pada tiap baut yang mengalami gaya eksentris adalah :

$$R = \sqrt{Rx^2 + (Ry + Rv)^2}$$ persamaan. 1.13

(*Salmon and Johnson 1990*)

2.2.5 Rumus Perhitungan Profil Baja *Channel* /Kanal

a. Perhitungan Properti Penampang

Elemen Sudut :

$$\boldsymbol{R' = R + \frac{t}{2}} \quad (2.4)$$

Panjang Busur :

$$\boldsymbol{L = 1,57 \times R'} \quad (2.5)$$

Titik Pusat Busur :

$$\boldsymbol{c = 0,637 \times R'} \quad (2.7)$$

b. Lebar Efektif Sayap Tekan

$$\boldsymbol{w = b - 2.(t + R)} \quad (2.8)$$

$$\boldsymbol{S = 1,28.\sqrt{\frac{E}{f}}} \quad (2.9)$$

$$\boldsymbol{\lambda = \frac{1,052}{\sqrt{k}}.\left(\frac{w}{t}\right).\sqrt{\frac{f}{E}}} \quad (2.10)$$

c. Lebar Lip

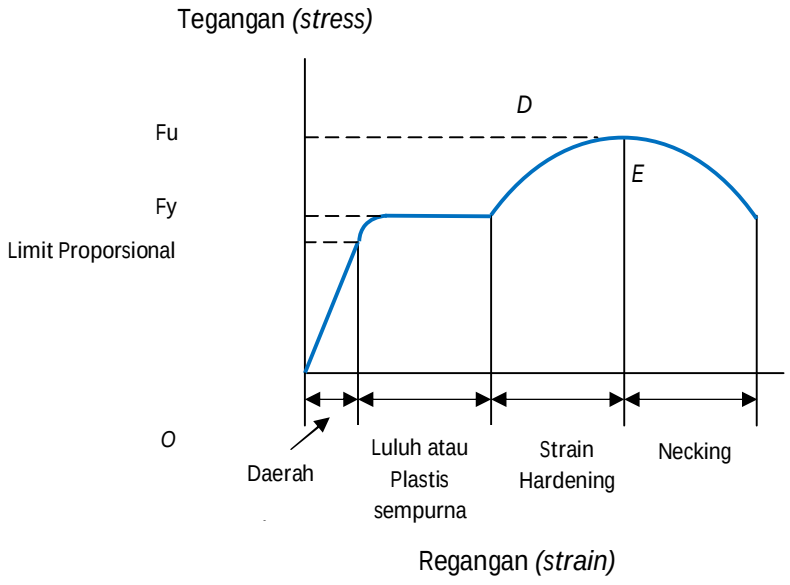
$$\boldsymbol{\lambda lip = \frac{1,052}{\sqrt{k}}\left(\frac{dlip}{t}\right)\sqrt{\frac{f}{E}}} \quad (2.11)$$

$$\boldsymbol{Plip = \left[\frac{1-\frac{0.22}{\lambda lip}}{\lambda lip}\right]} \quad (2.12)$$

2.3 Diagram 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, diagram yang diperoleh dari uji tarik pada umumnya digambarkan sebagai diagram tegangan-regangan.

Diagram 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*). Diagram tegangan-regangan untuk baja struktral tipikal yang mengalami tarik ditunjukkan pada Gambar 2.6 .



Gambar 2.6 Diagram Tegangan-Regangan untuk Baja Struktural Tipikal yang Mengalami Tarik (tidak berskala).

Diagram 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 persamaan :

$$\boldsymbol{E = \frac{\sigma}{\varepsilon}} \qquad \textbf{(2.12)}$$

E = *Modulus Elastisitas* (N/m^2) / *MPa*

σ = *Tegangan* (N/m^2) / *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 2.4). Mulai dari titik ini, terjadi perpanjangan yang

cukup besar pada benda uji tanpa adanya pertambahan gaya tarik (dari *B* ke *C*). Fenomena ini disebut luluh dari bahan, dan titik *B* disebut *titik luluh* (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 peluluhan di daerah *BC*, baja mulai mengalami pengerasan regang *(strain hardening)*. Selama itu, bahan mengalami perubahan dalam struktur kristalin, yang menghasilkan peningkatan resitensi bahan tersebut terhadap deformasi lebih lanjut. Perpanjangan benda uji di daerah ini membutuhkan peningkatan beban tarik, sehingga diagram 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 2.4 .

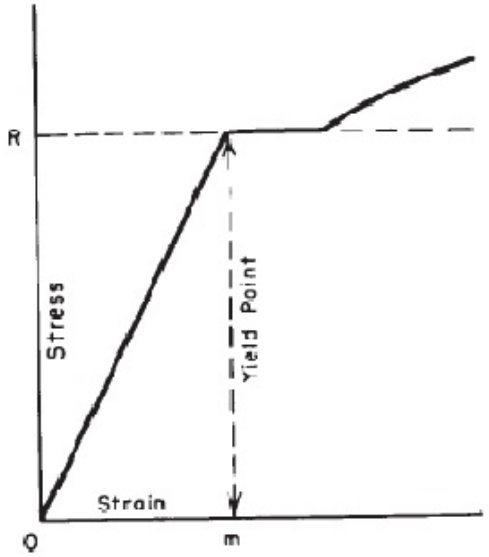
2.4 Cara Menentukan Titik Tegangan Leleh dan Titik Tegangan Ultimit

Ada beberapa metode yang sering dipergunakan dalam menentukan titik tegangan leleh dan tegangan ultimit suatu material yang mengacu pada ASTM 370, diantaranya adalah :

a. Metode Diagram Anagraphic

Metode ini dapat dipakai karena alat ujinya dilengkapi alat rekam otomatis data tegangan dan regangan pada setiap tahap pembebanan. Ini dipakai

jika kurva tegangan –regangan material tersebut membentuk suatu perubahan drastis pada titik lelehnya seperti berikut :

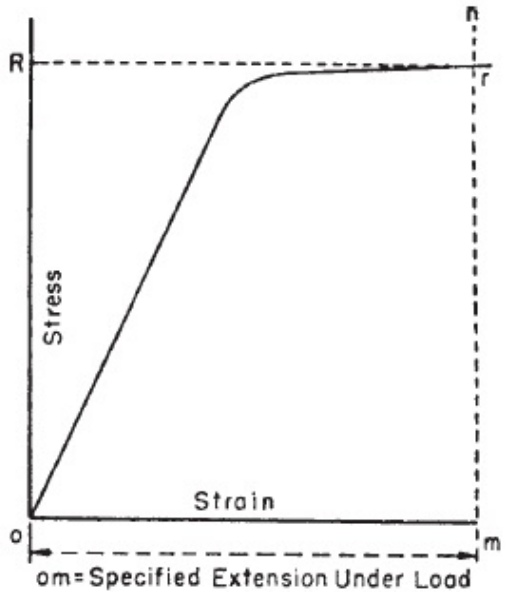


Gambar 2.7 Metode Diagram Anagraphic (ASTM A370)

Bagian kurva yang flat pada puncak perubahan di atas adalah terletak pada tegangan leleh pada material (titik R pada Gambar 2.7).

b. Metode Perpanjangan Total selama Pembebanan (*Total Extension Under Load Method*)

Metode ini diperlukan juka kurvanya tidak seperti Gambar 2.8 , untuk itu tegangan leleh diperoleh dari tegangan yang berkesesuaian dengan suatu regangan yang disepakati (specified extension under load). Menurut ASTM A370, untuk material dengan tegangan leleh tidak lebih dari 550 Mpa dapat diambil nilai sebesar 0,005 mm/mm.

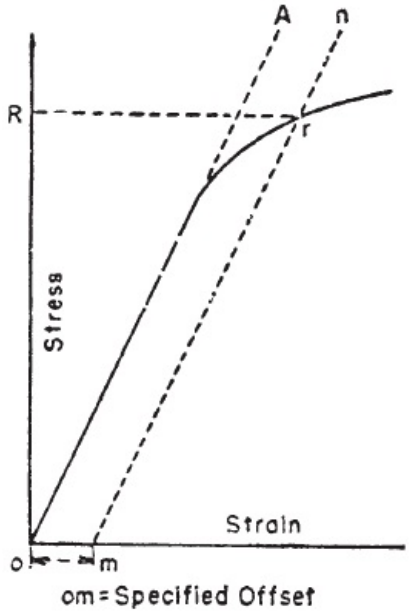


Gambar 2.8 Metode Berdasarkan *Extension Under Load* (ASTM A370)

Untuk menandai bahwa tegangan lelehnya memakai EUL (*Extension Under Load*) maka diperlukan penulisan khusus berikut : tegangan leleh (0,5% EUL) = (*R yang terbaca*) Mpa.

c. Metode Offset

Metode ini adalah metode yang paling umum dipakai , besarnya offset regangan ditentukan 0,002 mm/mm. Adapun penulisannya : tegangan leleh (0,2%offset) = (*R yang terbaca*) Mpa.



Gambar 2.9 Metode Offset (ASTM A370)