

STRUKTUR BAJA 1

MODUL 1

Material Baja Sebagai Bahan Struktur

Materi Pembelajaran :

1. Sejarah Baja dan Baja Ringan
2. Sifat Mekanik Bahan Baja.
3. Keliatan dan Kekenyalan.
4. Kelakuan Baja Pada Suhu Tinggi.
5. Patah Getas.
6. Sobekan Lamela.
7. Keruntuhan Lelah.
8. Aplikasi Material Baja Pada Struktur.
 - Atap Rangka Baja.
 - Bangunan Portal Baja.
 - Jembatan.
 - Menara.

Tujuan Pembelajaran :

- *Mahasiswa memahami karakteristik/perilaku baja sebagai bahan struktur*
- *Mahasiswa mengetahui berbagai tipe struktur baja*

DAFTAR PUSTAKA

- a) Agus Setiawan, "Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI 03-1729-2002)", Penerbit AIRLANGGA, Jakarta, 2008.
- b) Charles G. Salmon, Jhon E. Johnson, "STRUKTUR BAJA, Design dan Perilaku", Jilid 1, Penerbit AIRLANGGA, Jakarta, 1990.
- c) SNI 03 - 1729 – 2002. Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung.
- d) Photo-photo dikutip dari Internet dan photo dokumentasi pribadi.

Material Baja Sebagai Bahan Struktur

1. Sejarah Baja dan Baja Ringan

Baja adalah logam campuran yang terdiri dari besi (Fe) dan karbon (C). Jadi baja berbeda dengan besi (Fe), aluminium (Al), seng (Zn), tembaga (Cu), dan titanium (Ti) yang merupakan logam murni. Dalam senyawa antara besi dan karbon (unsur nonlogam) tersebut besi menjadi unsur yang lebih dominan dibanding karbon. Kandungan karbon berkisar antara 0,2 – 2,1% dari berat baja, tergantung tingkatannya. Secara sederhana, fungsi karbon adalah meningkatkan kualitas baja, yaitu daya tariknya (*tensile strength*) dan tingkat kekerasannya (*hardness*). Selain karbon, sering juga ditambahkan unsur chrom (Cr), nikel (Ni), vanadium (V), molybden (Mo) untuk mendapatkan sifat lain sesuai aplikasi dilapangan seperti antiokorosi, tahan panas, dan tahan temperatur tinggi.

Besi ditemukan digunakan pertama kali pada sekitar 1500 SM - Tahun 1100 SM, Bangsa hittites yang merahasiakan pembuatan tersebut selama 400 tahun dikuasai oleh bangsa asia barat, pada tahun tersebut proses peleburan besi mulai diketahui secara luas. Tahun 1000 SM, Bangsa Yunani, Mesir, Jews, Roma, Carhaginians dan Asiria juga mempelajari peleburan dan menggunakan besi dalam kehidupannya. Tahun 800 SM, India berhasil membuat besi setelah di invansi oleh bangsa arya. Tahun 700 – 600 SM, Cina belajar membuat besi. Tahun 400 – 500 SM, Baja sudah ditemukan penggunaannya di Eropa. Tahun 250 SM, Bangsa India menemukan cara membuat baja. Tahun 1000 M, Baja dengan campuran unsur lain ditemukan pertama kali pada 1000 M pada kekaisaran Fatim yang disebut dengan baja Damaskus. 1300 M rahasia pembuatan baja damaskus hilang. 1700 M, Baja kembali diteliti penggunaan dan pembuatannya di Eropa.

Penggunaan logam sebagai bahan struktural diawali dengan besi tuang untuk bentang lengkungan (*arch*) sepanjang 100 ft (30 m) yang dibangun di Inggris pada tahun 1777 – 1779, lihat gambar 1 pada halaman berikut. Dalam kurun waktu 1780 – 1820,. Dibangun lagi sejumlah jembatan dari besi tuang, kebanyakan berbentuk lengkungan dengan balok – balok utama dari potongan – potongan besi tuang individual yang membentuk batang – batang atau kerangka (*truss*) konstruksi. Besi tuang juga digunakan sebagai rantai penghubung pada jembatan – jembatan suspensi sampai sekitar tahun 1840.

Setelah tahun 1840, besi tempa mulai mengganti besi tuang dengan contoh pertamanya yang penting adalah Brittonia Bridge diatas selat Menai di Wales yang dibangun pada 1846 – 1850. Jembatan ini menggunakan gelagar –gelagar tubular yang membentang sepanjang 230 – 460 – 460 – 230 ft (70 – 140 – 140 – 70 m) dari pelat dan profil siku besi tempa.

Proses canai (*rolling*) dari berbagai profil mulai berkembang pada saat besi tuang dan besi tempa telah semakin banyak digunakan. Batang – batang mulai dicanai pada skala industrial sekitar tahun 1780. Perencanaan rel dimulai sekitar 1820 dan diperluas sampai pada bentuk – I menjelang tahun 1870-an.



Gambar 1: Coalbrookdale Arch Bridge di Inggris, dibuka pada tanggal, 01 – 01 – 1781.

Sumber : http://en.wikipedia.org/wiki/File:Ironbridge_6.jpg

Perkembangan proses Bessemer (1855) dan pengenalan alur dasar pada konverter Bessemer (1870) serta tungku siemens-martin semakin memperluas penggunaan produk – produk besi sebagai bahan bangunan. Sejak tahun 1890, baja telah mengganti kedudukan besi tempa sebagai bahan bangunan logam yang terutama. Dewasa ini (1990-an), baja telah memiliki tegangan leleh dari 24 000 sampai dengan 100 000 *pounds per square inch*, psi (165 sampai 690 MPa), dan telah tersedia untuk berbagai keperluan struktural.

Besi dan baja mempunyai kandungan unsur utama yang sama yaitu Fe, hanya kadar karbonlah yang membedakan besi dan baja, penggunaan besi dan baja dewasa ini sangat luas mulai dari peralatan seperti jarum, peniti sampai dengan alat – alat dan mesin berat. Berikut ini disajikan klasifikasi baja menurut komposisi kimianya:

a). **Baja Karbon** (*carbon steel*), dibagi menjadi tiga yaitu;

- Baja karbon rendah (*low carbon steel*) – *machine, machinery dan mild steel*
- 0,05 % – 0,30% C.

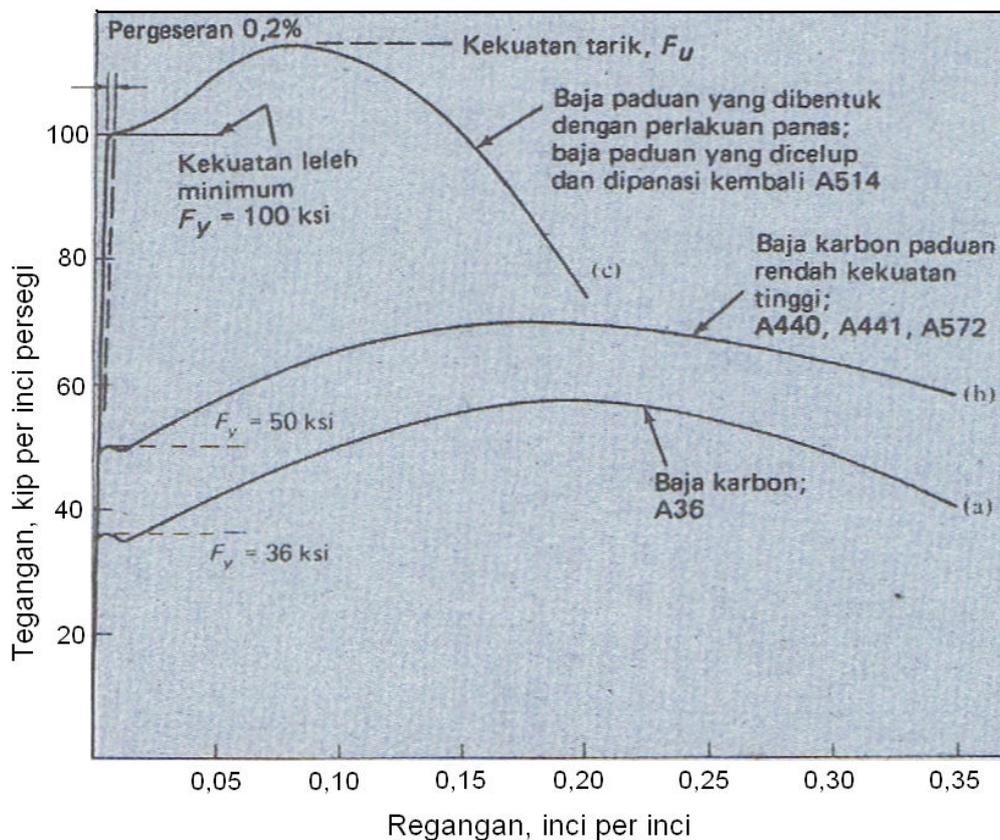
Sifatnya mudah ditempa dan mudah di mesin. Penggunaannya:

- 0,05 % – 0,20 % C : *automobile bodies, buildings, pipes, chains* (rantai), *rivets* (paku keling), *screws* (sekrup), *nails* (paku).
- 0,20 % – 0,30 % C : *gears* (roda gigi), *shafts* (poros), *bolts* (baut), *forgings, bridges, buildings*.
- Baja karbon menengah (*medium carbon steel*)
- Kekuatan lebih tinggi daripada baja karbon rendah.

- Sifatnya sulit untuk dibengkokkan, dilas, dipotong. Penggunaan:
- 0,30 % – 0,40 % C : *connecting rods* (penghubung batang/kabel), *crank pins* (pin engkol), *axles* (as roda).
- 0,40 % – 0,50 % C : *car axles*(as mobil), *crankshafts*, *rails* (rel), *boilers*, *auger bits*, *screwdrivers* (obeng).
- 0,50 % – 0,60 % C : *hammers* dan *sledges* (kereta luncur).
- Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) – *tool steel*
 - Sifatnya sulit dibengkokkan, dilas dan dipotong. Kandungan 0,60 % – 1,50 % C Penggunaan,
 - *screw drivers*, *blacksmiths hummers*, *tables knives*, *screws*, *hammers*, *vise jaws*, *knives*, *drills*. *tools for turning brass and wood*, *reamers*, *tools for turning hard metals*, *saws for cutting steel*, *wire drawing dies*, *fine cutters*.

Sebutan baja karbon berlaku untuk baja yang mengandung unsur bukan hanya besi (Fe) dengan persentase maksimum karbon (C) 1,7 %, mangan (Mn) 1,65 %, silikon (Si) 0,6 % dan tembaga (Cu) 0,6 %. Karbon dan mangan adalah unsur utama untuk menaikkan kekuatan besi murni.

Baja Karbon A36 mengandung karbon maksimum antara 0,25 % s/d 0,29 % tergantung kepada tebalnya. Baja karbon struktural ini memiliki titik leleh 36 ksi (250 Mpa), lihat gambar 2(a) berikut. Penambahan karbon akan menaikkan tegangan leleh, tetapi mengurangi daktilitas (*ductility*), sehingga lebih sukar dilas. Yang termasuk baja karbon adalah A36.



Gambar 2 : Kurva tegangan – regangan.

Sumber : STRUKTUR BAJA, Disain dan Perilaku, Charles G. Salmon.

b). Baja Paduan Rendah Kekuatan Tinggi

(High Strength Low Alloy steel).

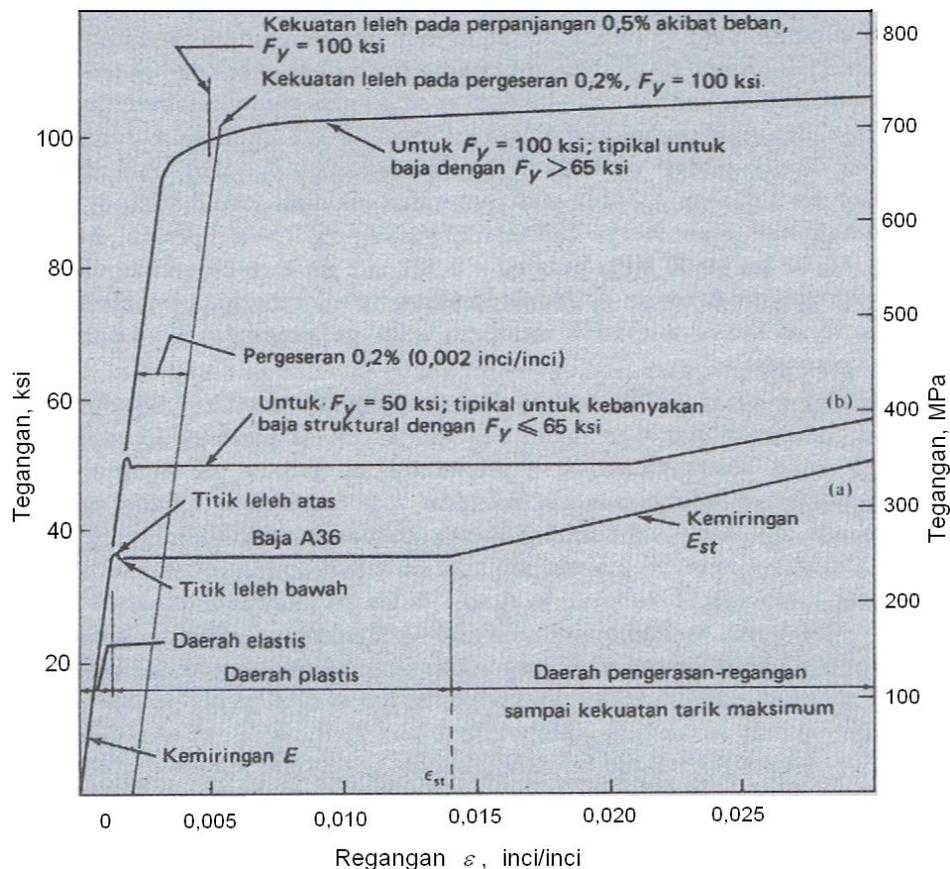
Baja ini diperoleh dari baja karbon dengan menambah unsur paduan seperti chrom, columbium, tembaga, mangan molybdenum, nikel, fosfor, vanadium atau zirconium agar beberapa sifat mekanisnya lebih baik. Sementara baja karbon mendapatkan kekuatan dengan menaikkan kandungan karbon. Tegangan lelehnya berkisar antara 40 ksi dan 70 ksi (275 Mpa dan 480 Mpa). Pada gambar 2 terlihat sebagai kurva (b). Yang termasuk baja paduan rendah kekuatan tinggi ini adalah A242, A441, A572, A558, A606, A618 dan A709.

Tujuan dilakukan penambahan unsur yaitu:

1. Untuk menaikkan sifat mekanik baja (kekerasan, keliatan, kekuatan tarik dan sebagainya).
2. Untuk menaikkan sifat mekanik pada temperatur rendah.
3. Untuk meningkatkan daya tahan terhadap reaksi kimia (oksidasi dan reduksi).
4. Untuk membuat sifat-sifat spesial.

c). Baja Paduan.

Baja paduan rendah dapat didinginkan (dalam air) dan dipanaskan kembali untuk mendapatkan tegangan leleh sebesar 80 ksi sampai 110 ksi (550 Mpa sampai 760 Mpa). Tegangan leleh biasanya didefinisikan sebagai tegangan dengan regangan tetap sebesar 0,2%, lihat gambar 3. Namun baja paduan ini tidak menunjukkan titik leleh yang jelas. Kurva tegangan-regangan yang umum diperlihatkan kurva (c) pada gambar 2.



Gambar 3 : Kurva tegangan-regangan tipikal yang diperbesar untuk pelbagai leleh.

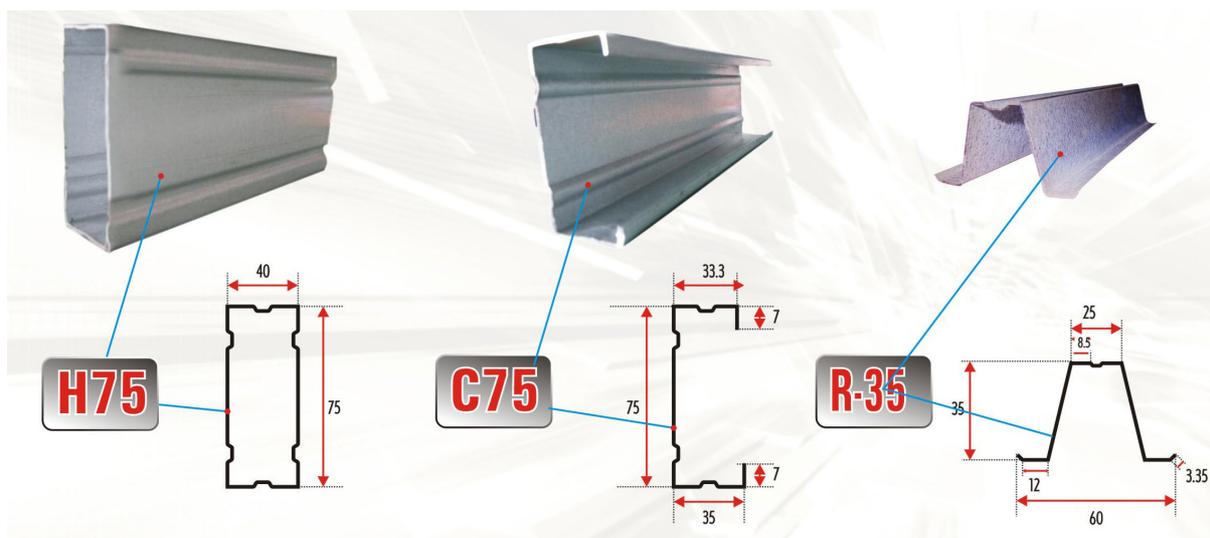
Sumber : STRUKTUR BAJA, Disain dan Perilaku, Charles G. Salmon.



Gambar 4 : Contoh profil baja canai panas (hot rolled), tebal profil > 1 mm.

Baja Ringan

Baja ringan adalah baja canai dingin dengan kualitas tinggi yang bersifat ringan dan tipis namun kekuatannya tidak kalah dengan baja konvensional. Baja ringan memiliki tegangan tarik tinggi (G550). Baja G550 berarti baja memiliki kuat tarik 550 MPa (Mega Pascal). Baja ringan adalah Baja High Tensile G-550 (Minimum Yield Strength 5500 kg/cm²) dengan standar bahan ASTM A792, JIS G3302, SGC 570. Untuk melindungi material baja mutu tinggi dari korosi, harus diberikan lapisan pelindung (coating) secara memadai. Berbagai metode untuk memberikan lapisan pelindung guna mencegah korosi pada baja mutu tinggi telah dikembangkan. Jenis coating pada baja ringan yang beredar dipasaran adalah Galvanized, Galvalume, atau sering juga disebut sebagai zinalume dan sebuah produsen mengeluarkan produk baja ringan dengan menambahkan magnesium yang kemudian dikenal dengan ZAM, dikembangkan sejak 1985, menggunakan lapisan pelindung yang terdiri dari: 96% zinc, 6% aluminium, dan 3% magnesium.

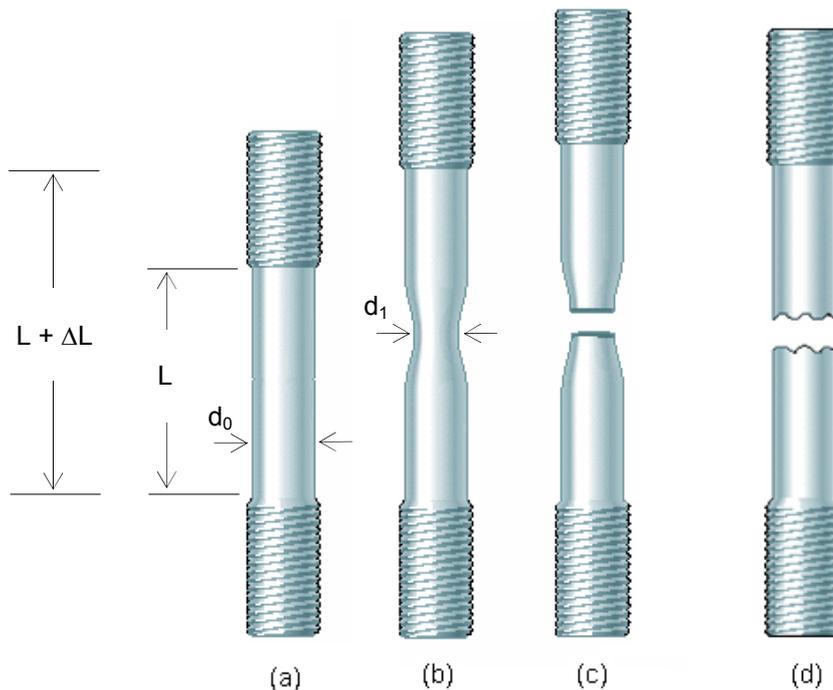


Gambar 5 : Contoh profil baja canai dingin (cold rolled), tebal profil < 1 mm (0,60 mm dan 0,8 mm), dinamai juga baja ringan.

Sumber : Brosur prima truss.

2. Sifat Mekanik Bahan Baja.

Untuk mengetahui sifat mekanik baja dilakukan pengujian tarik terhadap benda uji (gambar 6), dengan memberikan gaya tarikan sampai benda uji menjadi putus. Tegangan diberikan dengan persamaan gaya dibagi luas penampang, (f/A), dan regangan adalah perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang benda uji, ($\Delta L/L$), dan hasil pengujian dilukiskan pada gambar 7.



Gambar 6 : Benda uji, dengan uji tarik, (b) dan (c) bersifat liat (ductile), (d) bersifat rapuh/getas (brittle).

Gambar 7 adalah hasil uji tarik dari suatu benda uji baj yang dilakukan hingga benda uji mengalami putus/runtuh, sedangkan gambar 8 menunjukkan perilaku benda uji sampai dengan regangan 2% yang diperbesar.

Titik-titik penting dalam kurva tegangan-regangan adalah sebagai berikut,

f_p = batas proporsional.

f_e = batas elastis.

$f_y u, f_y$ = tegangan leleh atas dan bawah.

f_u = tegangan ultimate.

ϵ_{sh} = regangan saat mulai terjadi strain-hardening (penguatan regangan).

Titik-titik ini membagi kurva tegangan-regangan menjadi beberapa daerah, yaitu :

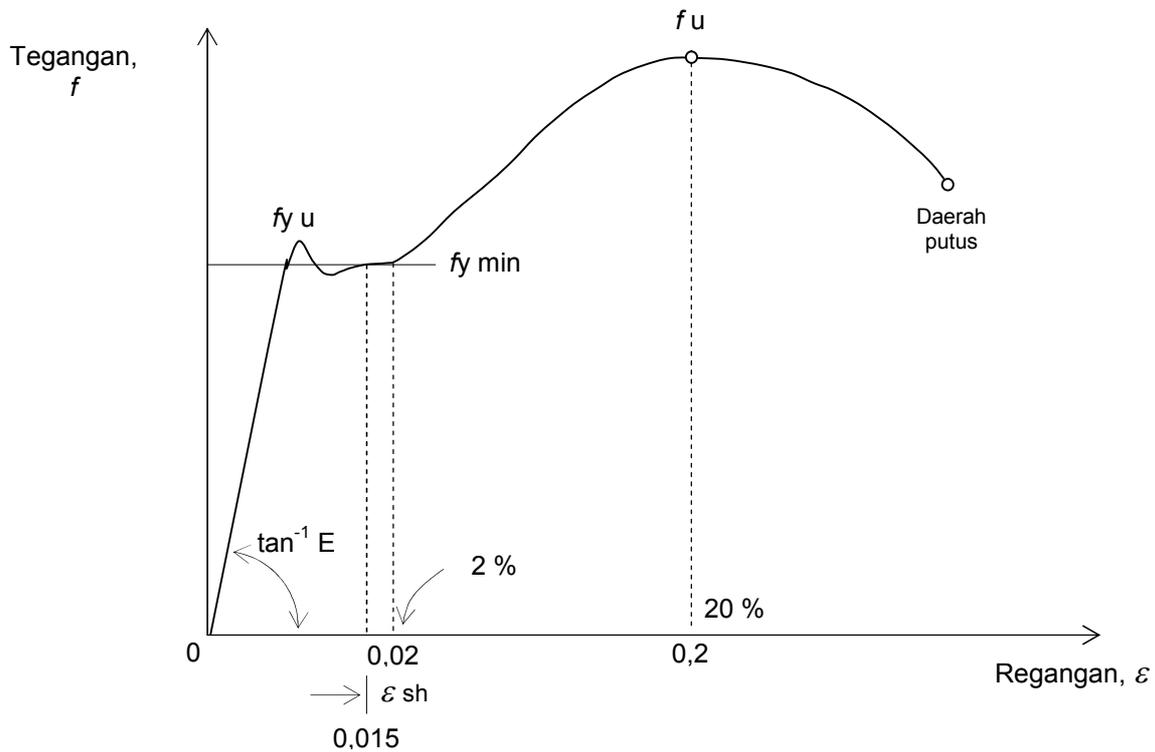
a. Daerah linear antara titik 0 dan f_p , pada daerah ini berlaku Hukum Hooke,

$$\Delta L = \frac{P.L}{E.A}$$

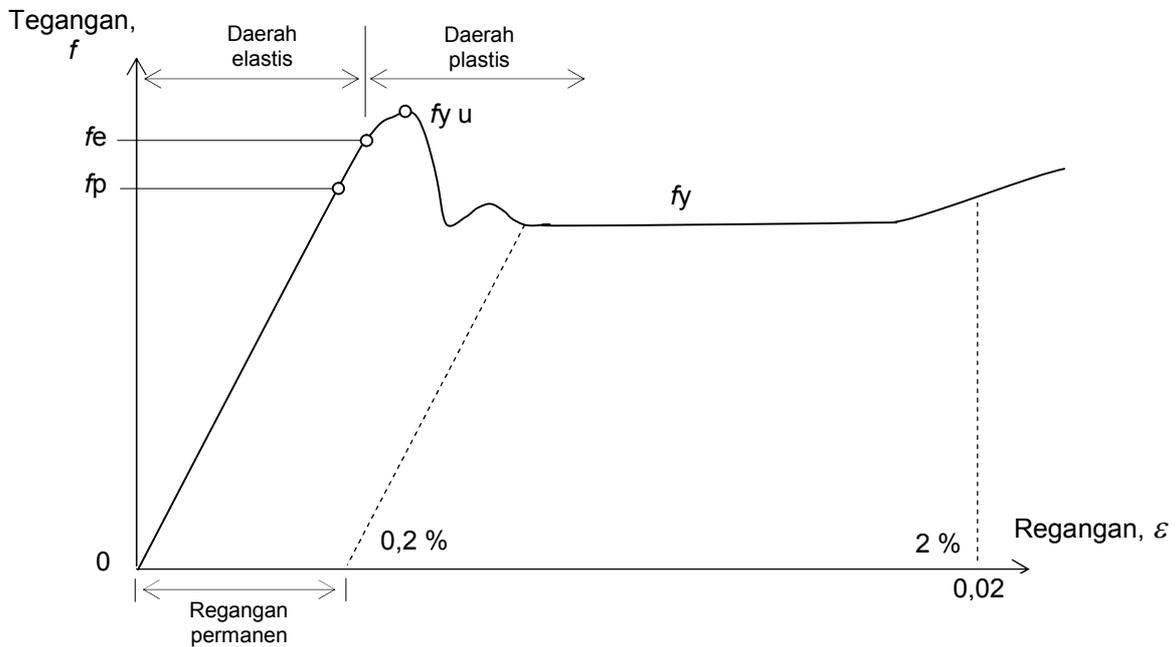
dimana, $f = P/A =$ tegangan.

$\epsilon = \Delta L / L =$ regangan.

$E = f / \epsilon =$ Young modulus = modulus elastisitas.



Gambar 7 : Kurva tegangan – regangan hasil pengujian.



Gambar 8 : Bagian kurva yang diperbesar, $\epsilon = 0,2\%$ merupakan regangan permanen.

- b. Daerah elastis dari 0 sampai f_e , yaitu apabila beban yang bekerja pada benda uji dihilangkan maka benda uji akan kembali ke bentuk semula (masih elastis).
- c. Daerah plastis dibatasi dari f_e sampai dengan regangan 2% (0,02), daerah dimana dengan tegangan yang hampir konstan mengalami regangan yang besar. Metode perencanaan

plastis menggunakan daerah ini untuk menentukan kekuatan plastis. Daerah ini juga menunjukkan tingkat daktilitas dari material baja.

- d. Daerah antara regangan ϵ_{sh} sampai pada daerah dimana benda uji sudah putus dinamai daerah penguatan regangan (*strain hardening*). Sesudah melewati daerah plastis tegangan kemudian naik kembali namun dengan regangan yang lebih besar, sampai pada puncaknya dimana terdapat tegangan ultimate (f_u), sesudah itu terjadi penurunan tegangan namun regangan terus bertambah, sampai kemudian benda uji menjadi putus.

Sifat mekanik tiap jenis baja dapat dilihat dalam tabel 1 berikut,

Tabel 1 : Sifat Mekanik Beberapa Jenis Baja.

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

Sumber : SNI 03-1729-2002.

Sifat-sifat mekanis lainnya baja struktural untuk maksud perencanaan ditetapkan (SNI 03-1729-2002) sebagai berikut:

Modulus elastisitas : $E = 200.000 \text{ MPa}$

Modulus geser : $G = 80.000 \text{ MPa}$

Nisbah poisson : $\mu = 0,3$

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

3. Keliatan dan Kekenyalan.

Keliatan (*toughness*) dan kekenyalan (*resilience*) suatu bahan adalah kemampuan bahan tersebut menyerap energy mekanis sebelum bahan tersebut hancur. Untuk tegangan uniaksial (satu sumbu), besaran ini dapat diperoleh dari kurva uji tarik (tegangan – regangan) seperti yang diperlihatkan Gambar 2.

Kekenyalan berhubungan dengan penyerapan energi elastis suatu bahan, adalah jumlah energi elastis yang dapat diserap oleh satu satuan volume bahan yang dibebani tarikan, besarnya sama dengan luas bidang di bawah diagram tegangan-regangan sampai tegangan leleh, disebut juga modulus kenyal.

Keliatan berhubungan energi total, baik elastis maupun inelastis, yang dapat diserap oleh satu satuan volume bahan sebelum patah/putus. Untuk tarikan uniaksial (satu sumbu), keliatan sama dengan luas bidang di bawah kurva tegangan-regangan tarik sampai titik patah, disebut juga modulus keliatan. Sebagai contoh, harga kekenyalan dan keliatan diberikan dalam tabel 2 berikut :

Tabel 2 : Harga kekenyalan dan keliatan baja.

J E N I S B A J A	Kekenyalan kN. m/m ³	Keliatan kN. m/m ³
Baja Karbon (A36 dengan $F_y = 36$ ksi)	152	82700
Baja paduan rendah kekuatan tinggi (A441 dengan $F_y = 50$ ksi)	296	103000
Baja karbon yang dicelup dan dipanasi kembali ($F_y = 70$ sampai 80 ksi)	758	124000
Baja paduan yang dicelup dan dipanasi kembali (A514 dengan $F_y = 100$ ksi)	1170	131000

Sumber : Charles G. Simon, STRUKTUR BAJA, Design dan Perilaku.

4. Kelakuan Baja Pada Suhu Tinggi.

Perencanaan struktur yang hanya berada pada suhu atmosfer jarang meninjau kelakuan baja pada suhu tinggi. Pengetahuan tentang kelakuan ini diperlukan dalam menentukan prosedur pengelasan dan pengaruh kebakaran.

Bila suhu melampaui 93 °C, kurva tegangan-regangan mulai menjadi tak linear dan secara bertahap titik leleh yang jelas menghilang. *Modulus elastisitas*, *kekuatan leleh*, dan *kekuatan tarik* akan menurun bila suhu naik. Pada suhu antara 430 dan 540 °C terjadi laju penurunan maksimum. Baja dengan persentase karbon yang tinggi, seperti A36 A440 menunjukkan pelapukan regangan (*strain aging*), pada suhu 150 sampai 370 °C. Pelapukan regangan mengakibatkan turunnya daktilitas.

Penurunan modulus elastisitas tidak terlalu besar pada suhu sampai 540 °C, setelah itu modulus elastisitas akan menurun dengan cepat. Yang lebih penting, bila suhu mencapai 260 sampai 320 °C deformasi pada baja akan membesar sebanding dengan lamanya waktu pembebanan, fenomena ini dikenal sebagai "rangkakan" (*creep*). Rangkakan sering dijumpai pada struktur beton dan pengaruhnya pada baja (yang tidak terjadi pada suhu kamar) meningkat bila suhu naik.

Pengaruh suhu tinggi yang lain adalah :

- a). Memperbaiki daya tahan kejut takik sampai kira-kira 65-95 °C.
- a). Menaikkan kegetasan akibat perubahan metalurgis, seperti pengendapan senyawa karbon yang mulai terjadi pada suhu 510°C.
- a). Menaikkan sifat tahan karat baja struktural bila suhu mendekati 540 °C.

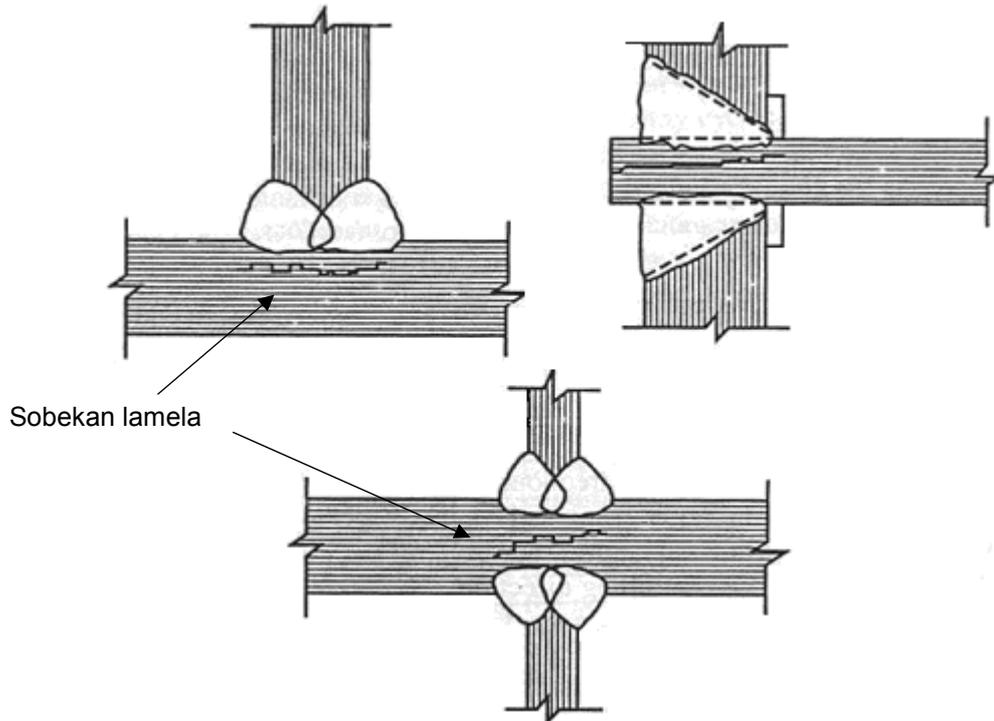
Baja umumnya dipakai pada keadaan suhu di bawah 1000 °F, dan beberapa baja yang diberi perlakuan panas harus dijaga agar suhunya di bawah 430 °C.

5. PATAH GETAS

Patah getas didefinisikan sebagai "jenis keruntuhan berbahaya yang terjadi tanpa deformasi plastis lebih dahulu dan dalam waktu yang sangat singkat", lihat gambar 6.d. Kelakuan patah dipengaruhi oleh suhu, laju pembebanan, tingkat tegangan, ukuran cacat, tebal atau pembatas pelat, geometri sambungan, dan mutu pengerjaan.

6. SOBEKAN LAMELA

Sobekan lamela (*lamellar tearing*) merupakan salah satu bentuk patah getas. Dalam kasus ini, bahan dasar pada sambungan las yang sangat dikekang (*restrained*) pecah (sobek) akibat regangan “sepanjang ketebalan” yang timbul karena penyusutan logam las.



Gambar 9 : Sambungan dengan sobekan lamela akibat penyusutan las pada tebal bahan yang sangat dikekang

7. KERUNTUHAN LELAH

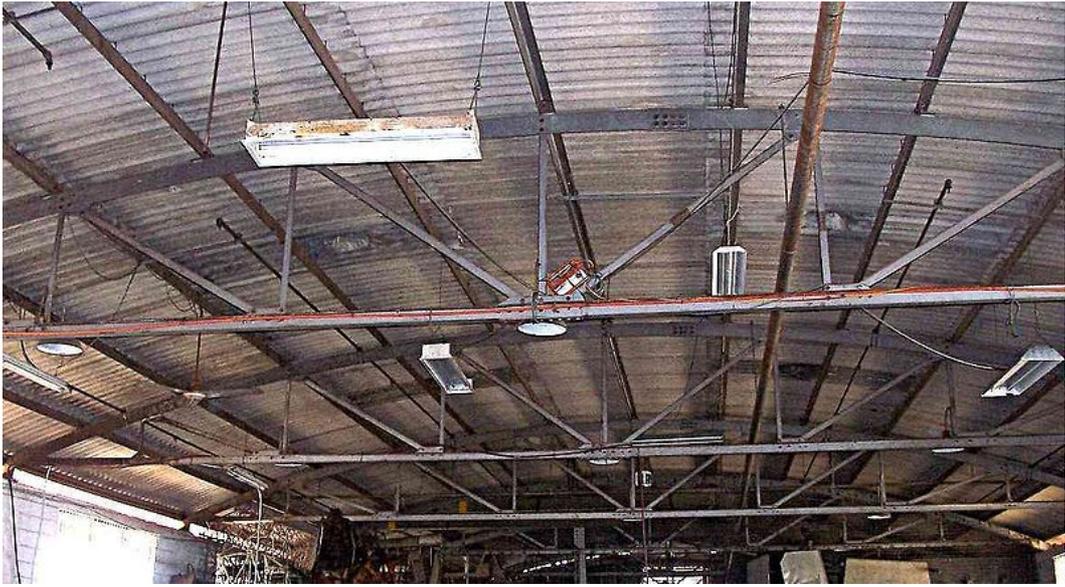
Pembebanan dan penghilangan beban yang berlangsung secara berulang-ulang, walaupun belum melampaui titik leleh dapat mengakibatkan keruntuhan, disebut kelelahan (*fatigue*). Keruntuhan ini dapat terjadi walaupun semua kondisi bajanya ideal. Sebagai contoh, jembatan jalan raya biasanya diperkirakan mengalami lebih dari 100.000 siklus pembebanan sehingga kelelahan (*fatigue*) perlu ditinjau dalam perencanaannya. Pada gedung, karena siklus pembebanannya rendah, maka kelelahannya tidak perlu ditinjau. Siklus pembebanan pada gedung umumnya berasal dari muatan hidup lantai, hujan, angin dan gempa.

8. APLIKASI MATERIAL BAJA PADA STRUKTUR.

Bahan baja dapat diaplikasikan sebagai rangka atap rumah, struktur gedung, jembatan dan menara, secara umum diklasifikasikan sebagai struktur balok biasa, struktur portal dan struktur rangka. Sebagai contoh lihat gambar-gambar berikut.

a). Atap Baja Rangka Hot Rolled





b). Atap Baja Rangka Cold Rolled (baja ringan)



c). Bangunan Portal (Hot rolled)





d). Jembatan Rangka (Hot Rolled).



e). Jembatan Balok (Hot Rolled).



f). Menara Struktur Rangka (Hot Rolled).

