

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Sulendra dan Tatong (2007), telah melakukan penelitian terhadap baja tulangan dengan metode pengujian pemanasan dengan suhu 400°C, 600°C, 800°C, 1000°C dengan waktu tunggu selama 2 jam pada pengujian ini mereka menggunakan metode pengujian kuat tekan *hammer test*, kuat tekan silinder & *core drill*, phenolphthalein test, dan uji tarik baja. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil nilai kuat tekan terendah sebesar 1,61 MPa - 6,09 MPa, baja tulangan mengalami penambahan kuat tarik sebesar 0,21% pada suhu 400°C tetapi juga mengalami penurunan tegangan luluh, tegangan patah, dan modulus elastisitas. Dan juga pada suhu 600°C mengalami kenaikan regangan maksimum masing-masing 6,33%, 1,59%, 6,86%, 1,65%, dan 2,65% namun mengalami penurunan tegangan luluh, tegangan patah, dan modulus elastisitas. Dan pada suhu 1000°C juga mengalami kenaikan regangan maksimum masing-masing sebesar 19,42%, 11,85%, 18,30%, 5,99%, dan 31,69% dan mengalami penurunan pada tegangan luluh, tegangan patah, tegangan maksimum, dan modulus elastisitas.

Umiati (2008), telah melakukan penelitian terhadap baja tulangan sebagai bahan konstruksi dengan metode pengujian dengan cara dibakar pada suhu 540°C sampai 750°C dengan metode pengujian komposisi bahan dan didapatkan hasil pada suhu 723°C sifat mekanis baja tulangan menurun drastis.

Budi (2011), telah melakukan penelitian terhadap baja tulangan dengan metode pengujian membengkokkan baja tulangan dengan sudut 45° dan 90°, dan 135° kemudian diluruskan kembali ke 0° dan selanjutnya dilakukan pengujian tarik terhadap baja tulangan dan didapatkan hasil baja tulangan yang telah dibengkokkan mengalami penurunan tegangan leleh dan kekuatan yang lebih rendah dibandingkan dengan baja tulangan baru.

Wior dkk (2015), telah melakukan penelitian terhadap baja tulangan dan beton dengan metode penelitian studi kasus kebakaran yang suhunya diperkirakan 600°C sampai 900°C kemudian dilakukan pengujian dengan metode *schmidt hammer test*, *core drill test*, dan pengujian tarik baja. Dari hasil pengujian *core drill*

test didapatkan hasil yaitu kuat tekan beton sebesar 5,99 MPa dimana mutu tersebut jauh dari standar yaitu 17 MPa. Selanjutnya hasil dari *schmidt hammer test* didapatkan nilai koefisien variasi kekuatan sisa beton sekitar 16% sampai 52%. Dan yang terakhir hasil uji tarik baja tulangan diameter 10 mm kuat tarik sebesar 579 sampai 676 MPa, sedangkan diameter 16 mm kuat tarik sebesar 528 sampai 627 MPa.

Affi Dkk (2015), telah melakukan penelitian terhadap baja tulangan dengan metode pengujian memanaskan baja tulangan dengan suhu 720°C dengan waktu penahanan tunda (*spheroidizing*) selama 1, 10, 30, dan 100 jam. Dan selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan dan pengujian tarik pada setiap tahapannya. Setelah pengujian didapatkan hasil struktur *spherodite* sukses didapatkan setelah waktu penahanan selama 100 jam, elongasi ditingkatkan dari 20% menjadi 31,6% setelah waktu penahanan selama 100 jam, namun didapatkan kekuatannya menurun dari 596 MPa menjadi 433,5 MPa.

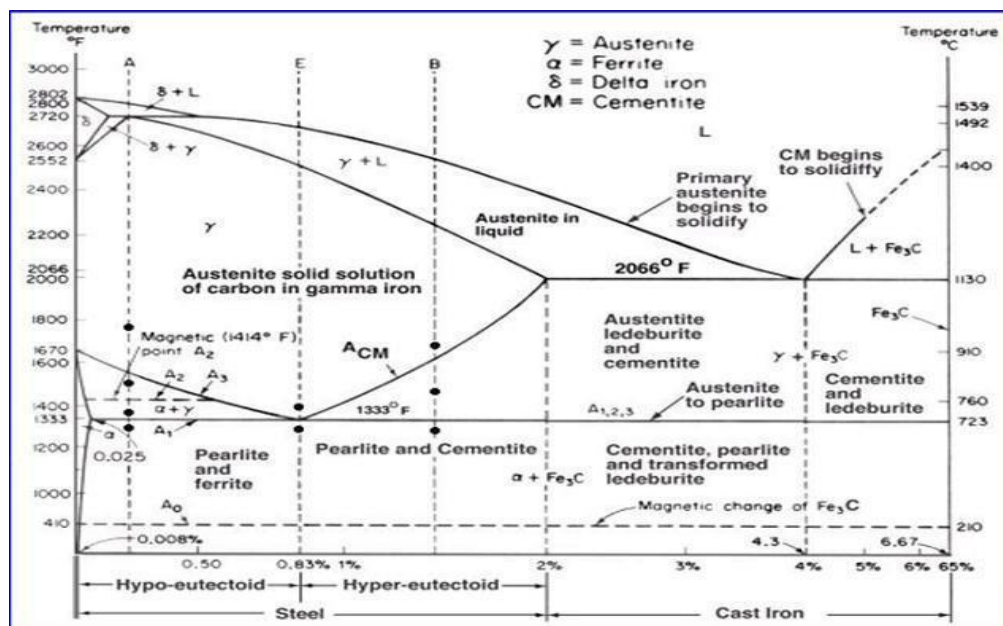
Ukiman Dkk (2017), telah melakukan penelitian terhadap baja tulangan polos dengan diameter 8, 10, 12 mm dengan dibakar dengan durasi waktu 0, 2, 4, dan 8 jam. Dan pada selanjutnya baja tulangan yang telah diberi perlakuan di uji dengan metode pengujian uji kuat tekan beton dan uji kuat tarik baja tulangan setelah dilakukan pengujian maka didapatkan hasil beton mengalami penurunan kuat mutu setelah terbakar selama 4 jam lebih sebesar 52% dan kehilangan nilai kuat tarik pada baja tulangan sebesar 22%. Pada durasi bakar sampai 8 jam kuat tekan beton kehilangan 67% dan nilai kuat tarik baja tulangan hilang sebesar 24,16%.

Sarjito Jokosisworo (2018), Pengaruh *Normalizing* Dengan Variasi Waktu Penahanan (*Holding Time*) Terhadap Sifat Mekanik Baja ST 46. Proses perlakuan panas *normalizing* dilakukan pada baja ST 46 yang merupakan baja tipe *low carbon* pada pemanasan 880°C dengan variasi waktu penahanan 20 menit dan 40 menit dengan media pendingin udara. Dengan waktu tahan 20 menit didapatkan nilai maksimal 334.61 MPa, nilai tegangan luluh sebesar 238.09 dan regangan 8,9%. Sedangkan pada waktu tahan 40 menit didapatkan nilai tegangan maksimal 328.72 MPa, nilai tegangan luluh sebesar 235.61 dan nilai regangan 31,33%.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Normalizing

Normalizing adalah bagian dari proses *heat treatment*. Memanaskan baja dengan suhu 40°C-50°C di atas kritikal temperatur (A_3 atau A_{cm}), ditahan selama beberapa waktu, dan didinginkan di suhu udara kamar normal. Dan setelah mendapat perlakuan *normalizing*, hasil dari mikro struktur menjadi *pearlitic*. Material terutama *carbon steel* akan mengalami perubahan struktur dan *grain size* karena efek dari pemanasan dan pendinginan akibat dari proses pengelasan. Struktur yang tidak homogen ini menyimpan banyak tegangan sisa yang membuat material tersebut memiliki sifat yang lebih keras namun ketangguhannya lebih rendah. Untuk mengembalikan kepada sifat yang diinginkan terutama dalam ketangguhannya maka struktur yang berubah tadi dikembalikan lagi ke struktur yang semula melalui pemanasan pada waktu tertentu dan dalam jangka waktu tertentu pula, tergantung dari jenis materialnya. Diagram Fe- Fe₃C adalah diagram kesetimbangan unsur besi dengan fasa *cementite* (Fe₃C). Awal untuk memahami proses perlakuan baja terlebih dahulu dalam penelitian ini harus memahami diagram kesetimbangan Fe-Fe₃C yang berfungsi untuk melihat reaksi-reaksi dari fase pembentukan yang terjadi.



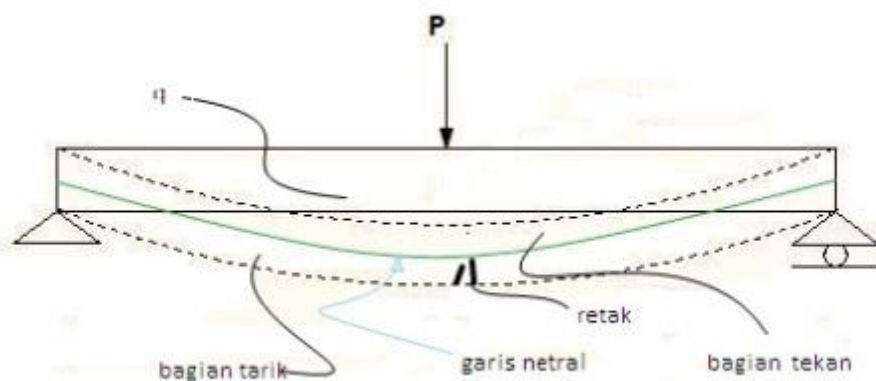
Gambar 2.1 Diagram Fe- Fe₃C

Gambar 2.2.1. Diagram Fe- Fe₃C . Unsur karbon dalam baja dapat berupa grafit yakni karbon dalam bentuk yang stabil atau bebas sehingga dinamakan sistem paduan Fe-C yang stabil, dapat pula berupa senyawa interstiti atau sementit yakni suatu struktur yang metastabil dan sistem paduannya dinamakan sistem paduan Fe-C yang metastabil.

2.2.2 Besi beton tulangan

Beberapa besi yang dapat anda temukan di dalam beton (lazimnya di temukan di dalam beton dengan susunan tertentu) dinamakan besi tulangan beton / baja tulangan beton. Ketika disebut beton, lazimnya di tempat kita diartikan beton bertulang sedangkan untuk penyebutan beton tanpa penulangan disebut beton tak bertulang, maka ketika ditanya sebuah gedung lantai 12 konstruksinya beton, maka yang dimaksud dalam hal ini adalah beton bertulang. Kombinasi besi tulangan beton dengan beton dinamakan beton bertulang.

Sifat Paling Mendasar Dari Beton (Beton Bertulang) :

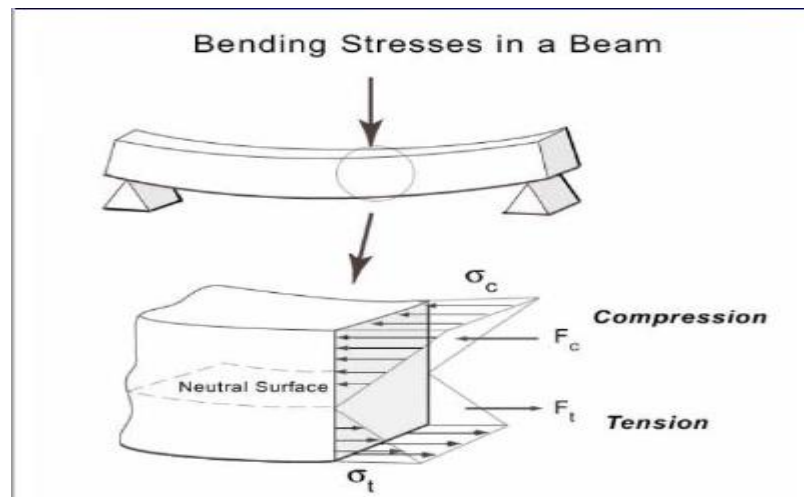


Gambar 2.2 Sifat Besi Beton

Beton tak bertulang sangat kuat terhadap tekanan dan sangat lemah terhadap tarikan dan lenturan. Bahkan di dalam asumsi perhitungan beton kekuatannya diabaikan artinya sebenarnya beton tidak punya kekuatan tarik, dia hanya punya kekuatan tekan saja. Sedangkan besi tulangan / baja tulangan beton (banyak disebut orang besi beton, sebagian orang menyebut besi stal) adalah material yang

sangat kuat terhadap tarik maupun lentur akan tetapi dengan ukuran besi beton yang ada pada kita, material tersebut sangat lemah terhadap tekanan. Selain penulangan beton tadi untuk menghasilkan kekuatan tarik dan lentur yang baik, tulangan beton juga menghilangkan retak pada beton.

Beton bertulang pada prinsipnya ketika digunakan dalam konstruksi rumah terdapat dua gaya yang bekerja padanya, gaya tekan dan gaya tarik.



Gambar 2.3 Gaya tekan

Gaya tekan diantisipasi oleh beton, sedangkan gaya tarik dan gaya lintang diantisipasi oleh baja tulangan beton. Maka dalam sebuah konstruksi, beton bertulang ini sudah memenuhi syarat untuk digunakan.

Secara bersama-sama sebenarnya kombinasi besi beton, beton dan lekatan antara keduanya ini yang menjadikan faktor penentu utama kekuatan beton (beton bertulang).

Lekatan antara besi beton dan beton dipengaruhi oleh :

a. Bentuk dan Tegangan Leleh Besi Beton

Semakin kasar bentuk besi beton, maka lekatan antara besi beton dan beton semakin baik. Besi beton yang kasar yang dimaksud dalam hal ini adalah besi beton bersirip . Artinya kalau ditanya bagusmana besi beton yang polos dengan besi beton yang bersirip, ya tentu saja baik yang pakai sirip dong.

Sedangkan tegangan leleh beton disebut dengan kekuatan besi beton. Satuan yang digunakan adalah MPa. Terdapat 2 jenis pembagian yaitu Baja Tulangan Polos (BJTP) dengan tegangan leleh sebesar 240 MPa dan Baja Tulangan *Deform* (BJTD) dengan tegangan leleh sebesar 400 MPa

b. Mutu Beton

Semakin baik mutu betonya, maka semakin baik kuat tekan beton tersebut (semakin keras) dan lekatan antara beton dan besi betonya juga semakin baik.

Syarat-Syarat Besi Beton :

Syarat Mutu Baja Tulangan Beton:

- Sifat tampak

Baja tulangan beton tidak boleh mengandung serpihan, lipatan, retakan (luka pada besi beton yang terjadi karena proses cenai) yang dalam dan hanya diperkenankan berkara ringan pada permukaan.

- Bentuk

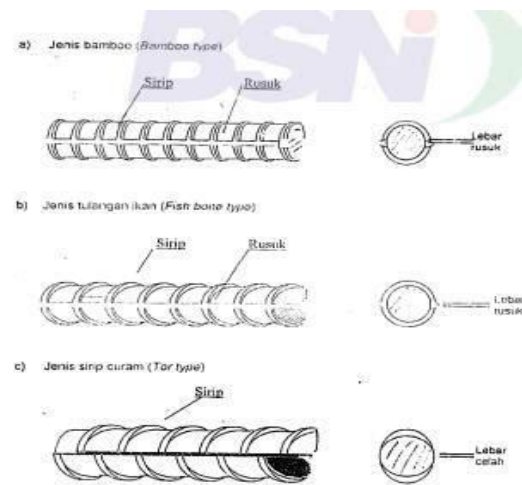
Besi tulangan polos :

permukaan batang baja tulangan beton harus tidak bersirip



Gambar 2.4 Baja Tulangan Polos

Baja Tulangan Beton Sirip :



Gambar 2.5 Baja Tulangan Sirip

Baja tulangan beton sirip harus mempunyai sirip yang teratur. Setiap batang diperkenankan mempunyai rusuk memanjang yang sejajar dan sejajar dengan sumbu batang, serta sirip-sirip lainnya dengan arah melintang sumbu batang. Sirip-sirip melintang sepanjang batang baja tulangan beton harus terletak pada jarak yang teratur. Serta mempunyai bentuk dan ukuran yang sama. Sirip melintang tidak boleh membentuk sudut kurang dari 45 derajat terhadap sumbu batang, apabila membentuk sudut antara 45 sampai dengan 75 derajat, arah sirip melintang pada satu sisi atau kedua sisi dibuat berlawanan. Bila sudutnya di atas 70 derajat arah berlawanan tidak diperlukan.

Ukuran baja tulangan polos adalah sebagai berikut :

No.	Penamaan	Diameter nominal (d) (mm)	Luas penampang Nominal (L) (cm ²)	Berat nominal per meter (kg/m)
1.	P.6	6	0,2827	0,222
2.	P.8	8	0,5027	0,395
3.	P.10	10	0,7854	0,617
4.	P.12	12	1,131	0,888
5.	P.14	14	1,539	1,12
6.	P.16	16	2,011	1,58
7.	P.19	19	2,835	2,23
8.	P.22	22	3,801	2,98
9.	P.25	25	4,909	3,85
10.	P.28	28	6,158	4,83
11.	P.32	32	8,042	6,31

Tabel 2.1 Ukuran baja tulangan polos

Ukuran baja tulangan sirip atau *deform* sebagai berikut :

No	Pena- maan	Dia- meter nominal	Luas Penam- pang nominal	Dia- meter dalam nominal	Tinggi sirip melintang		Jarak sirip melintang (maks)	Lebar rusuk me- marjang (maks)	Berat nominal
		(d)		(d _i)	min	maks			
		mm		mm	mm	mm			
1	S.6	6	0,2827	5,5	0,3	0,6	4,2	4,7	0,222
2	S.8	8	0,5027	7,3	0,4	0,8	5,6	6,3	0,395
3	S.10	10	0,7854	8,9	0,5	1,0	7,0	7,9	0,617
4	S.13	13	1,327	12,0	0,7	1,3	9,1	10,2	1,04
5	S.16	16	2,011	15,0	0,8	1,6	11,2	12,6	1,58
6	S.19	19	2,835	17,8	1,0	1,9	13,3	14,9	2,23
7	S.22	22	3,801	20,7	1,1	2,2	15,4	17,3	2,98
8	S.25	25	4,909	23,6	1,3	2,5	17,5	19,7	3,85
9	S.29	29	6,625	27,2	1,5	2,9	20,3	22,8	5,18
10	S.32	32	8,042	30,2	1,6	3,2	22,4	25,1	6,31
11	S.36	36	10,18	34,0	1,8	3,6	25,2	28,3	7,99
12	S.40	40	12,57	38,0	2,0	4,0	28,0	31,4	9,88
13	S.50	50	19,64	48,0	2,5	5,0	38,0	39,3	17,4

CATATAN Cara menghitung luas penampang nominal, keliling nominal, berat nominal dan ukuran sirip adalah sebagai berikut:

a) Luas penampang nominal (L)

$$L = \frac{0,7854 \times d^2}{100} \text{ (cm}^2\text{)} \quad \text{dibulatkan sampai 4 angka berarti}$$

b) Keliling nominal (K)

$$K = 0,3142 \times d \text{ (mm)} \quad \text{dibulatkan sampai 1 angka desimal}$$

c) Berat = 0,785 × L (kg/m) dibulatkan sampai 3 angka berarti

d) Jarak sirip melintang maksimum = 0,70 d dibulatkan sampai 1 angka desimal

e) Tinggi sirip minimum = 0,05 d dibulatkan sampai 1 angka desimal
 Tinggi sirip maksimum = 0,10 d dibulatkan sampai 1 angka desimal

Tabel 2.2 ukuran baja tulangan sirip

Sedangkan toleransi diameter pada masing-masing baja tulangan beton adalah :

No	Diameter (d) (mm)	Toleransi (mm)	Penyimpangan kebundaran (%)
1	6	± 0,3	Maksimum 70 dari batas toleransi
2	8 ≤ d ≤ 14	± 0,4	
3	16 ≤ d ≤ 25	± 0,5	
4	28 ≤ d ≤ 34	± 0,6	
5	d > 346	± 0,8	

CATATAN

- Penyimpangan kebulungan adalah perbedaan antara diameter maksimum dan minimum dari hasil pengukuran pada penampang yang sama dari baja tulangan beton
- Untuk baja tulangan beton sirip, d = diameter dalam

Tabel 2.3 Toleransi diameter baja tulangan

Sedangkan toleransi berat pada masing-masing baja tulangan beton adalah:

Diameter Nominal (mm)	Toleransi (%)
6 s/d 8	± 7
10 s/d 11	± 6
16 s/d 28	± 5
> 28	± 4

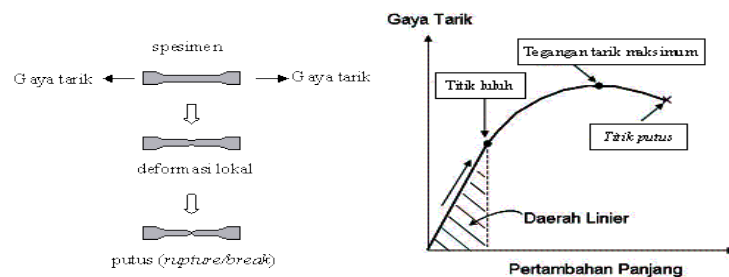
Tabel 2.4 Toleransi berat baja tulangan

2.2.3 Tensile Testing

Untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan, tentu kita harus mengadakan pengujian terhadap bahan tersebut. Ada empat jenis uji coba yang biasa dilakukan, yaitu uji tarik (*tensile test*), uji tekan (*compression test*), uji torsi (*torsion test*), dan uji geser (*shear test*). Dalam tulisan ini kita akan membahas tentang uji tarik dan sifat-sifat mekanik logam yang didapatkan dari interpretasi hasil uji tarik.

Uji tarik mungkin adalah cara pengujian bahan yang paling mendasar. Pengujian ini sangat sederhana, tidak mahal dan sudah mengalami standarisasi di seluruh dunia, misalnya di Amerika dengan ASTM E8 dan Jepang dengan JIS 2241. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*). Brand terkenal untuk alat uji tarik antara lain adalah antara lain adalah Shimadzu, Instron dan Dartec.

Banyak hal yang dapat kita pelajari dari hasil uji tarik. Bila kita terus menarik suatu bahan (dalam hal ini suatu logam) sampai putus, kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva seperti digambarkan pada gambar 2.6. Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang. Profil ini sangat diperlukan dalam desain yang memakai bahan tersebut. Biasanya yang menjadi fokus perhatian adalah kemampuan maksimum bahan tersebut dalam menahan beban. Kemampuan ini umumnya disebut “*Ultimate Tensile Strength*” disingkat dengan **UTS**, dalam bahasa Indonesia disebut tegangan tarik maksimum.



Gambar.2.6 Gambaran singkat uji tarik dan datanya

Hukum Hooke (*Hooke's Law*) :

Untuk hampir semua logam, pada tahap sangat awal dari uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah linier atau *linear zone*. Di daerah ini, kurva pertambahan panjang vs beban mengikuti aturan Hooke sebagai berikut: rasio tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) adalah konstan

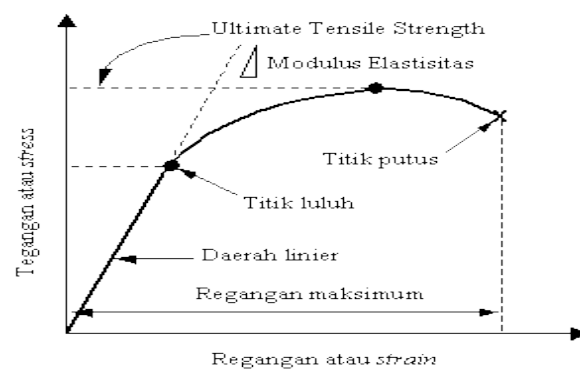
Stress adalah beban dibagi luas penampang bahan dan *strain* adalah pertambahan panjang dibagi panjang awal bahan.

Stress: $\sigma = F/A$ F: gaya tarikan, A: luas penampang

Strain: $\varepsilon = \Delta L/L$ ΔL : pertambahan panjang, L: panjang awal

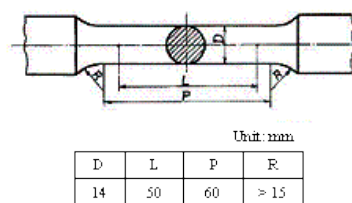
Hubungan antara stress dan strain dirumuskan : $E = \sigma / \varepsilon$

Untuk memudahkan pembahasan, gambar 2.7 kita modifikasi sedikit dari hubungan antara gaya tarikan dan pertambahan panjang menjadi hubungan antara tegangan dan regangan (*stress vs strain*). Selanjutnya kita dapatkan gambar 2.7, yang merupakan kurva standar ketika melakukan eksperimen uji tarik. E adalah gradien kurva dalam daerah linier, di mana perbandingan tegangan (σ) dan regangan (ϵ) selalu tetap. E diberi nama “*Modulus Elastisitas*” atau “*Young Modulus*”. Kurva yang menyatakan hubungan antara *strain* dan *stress* seperti ini kerap disingkat kurva SS (*SS curve*).

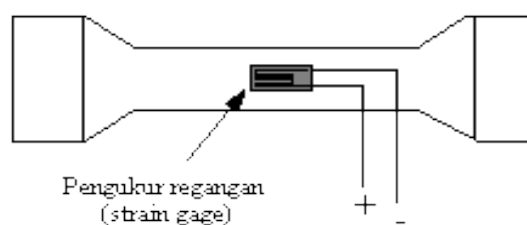


Gambar.2.7 Kurva tegangan-regangan

Bentuk bahan yang diuji, untuk logam biasanya dibuat spesimen dengan dimensi seperti pada Gambar 2.8 berikut.



Gambar.2.8 Dimensi spesimen uji tarik (JIS Z2201).

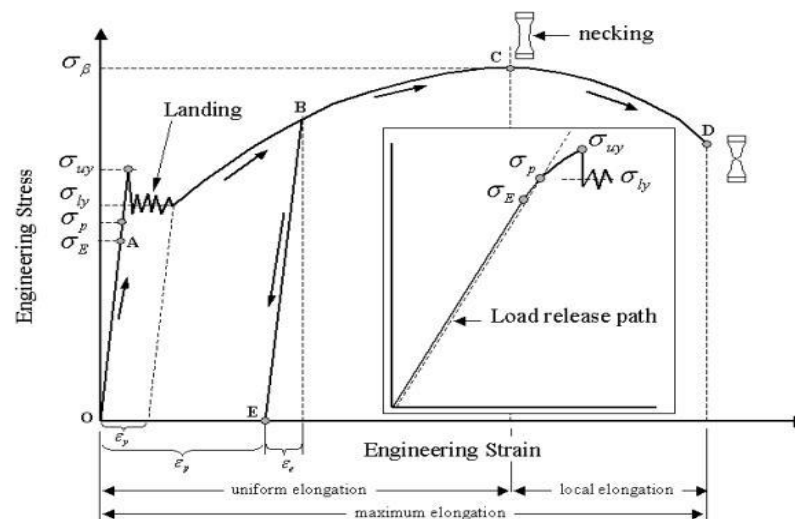


Gambar.2.9 Ilustrasi pengukur regangan pada spesimen

Perubahan panjang dari spesimen dideteksi lewat pengukur regangan (*strain gage*) yang ditempelkan pada spesimen seperti diilustrasikan pada gambar 2.9. Bila pengukur regangan ini mengalami perubahan panjang dan penampang, terjadi perubahan nilai hambatan listrik yang dibaca oleh detektor dan kemudian dikonversi menjadi perubahan regangan.

Detail profil uji tarik dan sifat mekanik logam :

Sekarang akan kita bahas profil data dari tensile test secara lebih detail. Untuk keperluan kebanyakan analisa teknik, data yang didapatkan dari uji tarik dapat digeneralisasi seperti pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Profil data hasil uji tarik

Kita akan membahas istilah mengenai sifat-sifat mekanik bahan dengan berpedoman pada hasil uji tarik seperti pada Gambar 2.10. Asumsikan bahwa kita melakukan uji tarik mulai dari titik O sampai D sesuai dengan arah panah dalam gambar.

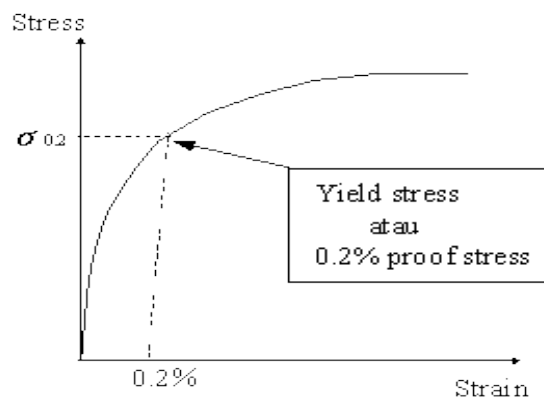
- **Batas elastis σ_E (elastic limit)** : Dalam gambar 2.10 dinyatakan dengan titik A. Bila sebuah bahan diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya *hampir kembali ke kondisi semula*) yaitu regangan “nol” pada titik O (lihat inset dalam gambar 2.10). Tetapi bila beban ditarik sampai melewati titik A, hukum Hooke tidak lagi berlaku dan terdapat

perubahan permanen dari bahan. Terdapat konvensi batas regangan permamen (*permanent strain*) sehingga masih disebut perubahan elastis yaitu kurang dari 0.03%, tetapi sebagian referensi menyebutkan 0.005% . Tidak ada standarisasi yang universal mengenai nilai ini. [1]

- **Batas proporsional σ_p (*proportional limit*)** : Titik sampai di mana penerapan hukum Hook masih bisa ditolerir. Tidak ada standarisasi tentang nilai ini. Dalam praktek, biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.
- **Deformasi plastis (*plastic deformation*)** : Yaitu perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula. Pada gambar 2.10 yaitu bila bahan ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah *landing*.
- **Tegangan luluh atas σ_{uy} (*upper yield stress*)** : Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah landing peralihan deformasi elastis ke plastis.
- **Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*)** : Tegangan rata-rata daerah *landing* sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Bila hanya disebutkan tegangan luluh (*yield stress*), maka yang dimaksud adalah tegangan ini.
- **Regangan luluh ϵ_y (*yield strain*)** : Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.
- **Regangan elastis ϵ_e (*elastic strain*)** : Regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.
- **Regangan plastis ϵ_p (*plastic strain*)** : Regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.
- **Regangan total (*total strain*)** : Merupakan gabungan regangan plastis dan regangan elastis, $\epsilon_T = \epsilon_e + \epsilon_p$. Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, regangan yang ada adalah regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal (OE) adalah regangan plastis.

- **Tegangan tarik maksimum TTM** (*UTS, ultimate tensile strength*) : pada gambar 2.4.5.1 ditunjukkan dengan titik C (σ_{β}), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.
- **Kekuatan patah** (*breaking strength*) : Pada gambar ditunjukkan dengan titik D, merupakan besar tegangan di mana bahan yang diuji putus atau patah.

Tegangan luluh pada data tanpa batas jelas antara perubahan elastis dan plastis : Untuk hasil uji tarik yang tidak memiliki daerah linier dan landing yang jelas, tegangan luluh biasanya didefinisikan sebagai tegangan yang menghasilkan regangan permanen sebesar 0.2%, regangan ini disebut *offset-strain* (gambar 2.10).



Gambar 2.11 Penentuan tegangan luluh (*yield stress*) untuk kurva tanpa daerah linier

Perlu untuk diingat bahwa satuan SI untuk tegangan (*stress*) adalah Pa (Pascal, N/m^2) dan strain adalah besaran tanpa satuan.

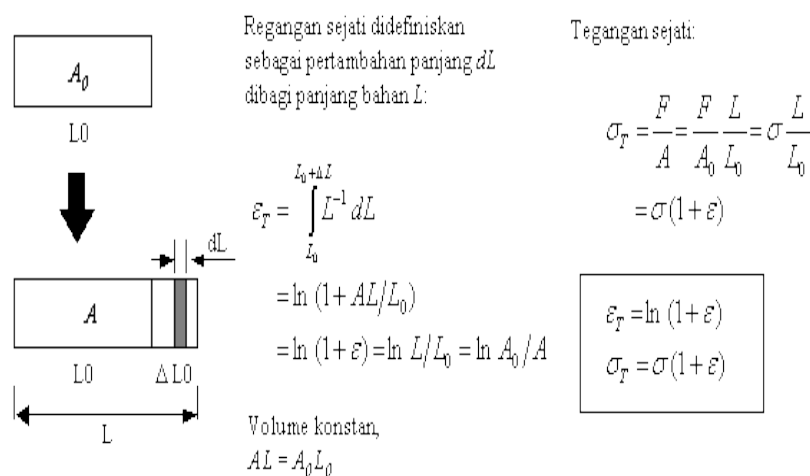
Istilah lain :

Selanjutnya akan kita bahas beberapa istilah lain yang penting seputar interpretasi hasil uji tarik.

- **Kelenturan** (*ductility*) Merupakan sifat mekanik bahan yang menunjukkan derajat deformasi plastis yang terjadi sebelum suatu bahan putus atau gagal pada uji tarik. Bahan disebut lentur (*ductile*) bila regangan plastis

yang terjadi sebelum putus lebih dari 5%, bila kurang dari itu suatu bahan disebut getas (*brittle*).

- **Derajat kelentingan** (*resilience*) Derajat kelentingan didefinisikan sebagai kapasitas suatu bahan menyerap energi dalam fase perubahan elastis. Sering disebut dengan Modulus Kelentingan (*Modulus of Resilience*), dengan satuan *strain energy per unit volume* (Joule/m³ atau Pa). Dalam gambar.2.11, modulus kelentingan ditunjukkan oleh luas daerah yang diarsir.
- **Derajat ketangguhan** (*toughness*)Kapasitas suatu bahan menyerap energi dalam fase plastis sampai bahan tersebut putus. Sering disebut dengan Modulus Ketangguhan (modulus of toughness). Dalam gambar 2.11, modulus ketangguhan sama dengan luas daerah dibawah kurva OABCD.
- **Pengerasan regang** (*strain hardening*)Sifat kebanyakan logam yang ditandai dengan naiknya nilai tegangan berbanding regangan setelah memasuki fase plastis.
- **Tegangan sejati , regangan sejati**(*true stress, true strain*)Dalam beberapa kasus definisi tegangan dan regangan seperti yang telah dibahas di atas tidak dapat dipakai. Untuk itu dipakai definisi tegangan dan regangan sejati, yaitu tegangan dan regangan berdasarkan luas penampang bahan secara *real time*. Detail definisi tegangan dan regangan sejati ini dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Tegangan dan regangan berdasarkan panjang bahan sebenarnya

2.2.4 Metode Analisa Data

1. Mengelompokkan Data

Ada dua jenis data, yaitu data kualitatif dan data kuantitatif. Data kualitatif tidak memerlukan perhitungan matematis. Sebaliknya, data kuantitatif memerlukan adanya perhitungan secara matematis. Oleh sebab itu, data kuantitatif perlu diolah dan dianalisis antara lain dengan statistik. Untuk mengolah dan menganalisis data, ada dua macam statistik, yaitu statistik deskriptif dan statistik inferensial. Statistik deskriptif digunakan untuk mendeskripsikan variabel penelitian melalui pengukuran. Statistik inferensial digunakan untuk menguji hipotesis dan membuat generalisasi.

2. Kegiatan Awal dalam Mengelompokkan Data

Agar data dapat dikelompokkan secara baik, perlu dilakukan kegiatan awal sebagai berikut :

- (a) Editing, yaitu proses memeriksa data yang sudah terkumpul, meliputi kelengkapan isian, keterbacaan tulisan, kejelasan jawaban, relevansi jawaban, keseragaman satuan data yang digunakan, dan sebagainya.
- (b) Tabulating, yaitu memasukkan data yang sudah dikelompokkan ke dalam tabel-tabel agar mudah dipahami.

3. Perhitungan Regresi Linear

a. Perhitungan Secara Manual

Pada proses ini perhitungan regresi linear dilakukan secara manual menggunakan rumus-rumus yang telah ada untuk mendapatkan regresi linear pada tiap pengujian.

Model persamaan ini sebagai berikut :

$$Y = a + bX$$

Dimana : Y = Variabel Kriteria

 a = Bilangan Konstan

 b = Koefisien Arah Regresi

X = Variabel Prediktor

Tabel 2.5 Pengolahan Data

Spesimen	Variabel Yang Dipengharui		
1			
2			
3			
Rata-rata			

Variabel Analisa Regresi

X = Variabel yang mempengaruhi yaitu temperatur

Y = Variabel yang dipengaruhi yaitu tegangan tarik

Tabel 2.6 Perhitungan Regresi

No	X ₁	Y ₁	X ₁ Y ₁	X ₁ ²	Y ₁ ²
1					
2					
3					
Jumlah	$\sum X_1 =$	$\sum Y_1 =$	$\sum X_1 Y_1 =$	$\sum X_1^2 =$	$\sum Y_1^2 =$

Persamaan Analisa Regresi

$$Y = a + bX$$

Dimana

Y = Variabel kriterium

X = Variabel Prediktor

a = Bilangan konsten

b = Koefisien arah regresi linier

b. Perhitungan Menggunakan Aplikasi

Pada proses ini perhitungan regresi linear dibantu oleh aplikasi, banya ksekali aplikasi yang bisa dipakai untuk mempermudah menghitung regresi linear.

Pada penelitian kali ini penulis menggunakan aplikasi *Microsoft Excel* untuk membantu mencari dan mencocokkan hasilnya dengan perhitungan manual.

