

2. DASAR TEORI

2.1 Hukum Newton

Hukum gerak Newton adalah tiga dari hukum fisika yang telah menjadi dasar mekanika klasik. Hukum ini menggambarkan hubungan antara gaya yang bekerja pada suatu benda dan gerak yang disebabkan. Hukum ini telah dituliskan dengan pembahasan yang berbeda-beda selama hampir 3 abad.

2.1.1 Hukum Pertama Newton

Lex I: "Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare." Hukum dalam bahasa latin tersebut berarti bahwa: "Setiap benda akan mempertahankan keadaan diam atau bergerak lurus beraturan, kecuali ada gaya yang bekerja untuk mengubahnya."

Hukum ini menyatakan bahwa jika resultan gaya (jumlah vektor dari semua gaya yang bekerja pada benda) bernilai nol, maka kecepatan benda tersebut konstan.

1. Sebuah benda yang sedang diam akan tetap diam kecuali ada resultan gaya yang tidak nol bekerja padanya.
2. Sebuah benda yang sedang bergerak, tidak akan berubah kecepatannya kecuali ada resultan gaya yang nilainya tidak nol bekerja padanya.

2.1.2 Hukum Kedua Newton

Lex II: "Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur". Hukum dalam bahasa latin tersebut berarti: "Perubahan dari gerak selalu berbanding lurus terhadap gaya yang dihasilkan atau bekerja, dan memiliki arah yang sama dengan garis normal dari titik singgung gaya dan benda." Dengan F adalah total gaya yang bekerja, m adalah massa benda, dan a adalah percepatan benda. Maka total gaya yang bekerja pada suatu benda menghasilkan percepatan yang berbanding lurus.

Massa yang bertambah atau berkurang dari suatu sistem akan mengakibatkan perubahan dalam momentum. Perubahan momentum ini bukanlah akibat dari gaya. Untuk menghitung sistem dengan massa yang bisa berubah-ubah, diperlukan persamaan yang berbeda.

2.1.3 Hukum ketiga Newton

Lex III: "Actioni contrariam semper et æqualem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse æquales et in partes contrarias dirigi". Hukum dalam bahasa latin tersebut berarti: "Untuk setiap aksi selalu ada reaksi yang sama besar dan berlawanan arah atau gaya dari dua benda pada satu sama lain selalu sama besar dan berlawanan arah."

Hukum ketiga ini menjelaskan bahwa semua gaya adalah interaksi antara benda-benda yang berbeda, maka tidak ada gaya yang bekerja hanya pada satu benda. (Erick Verlinde, 2010).

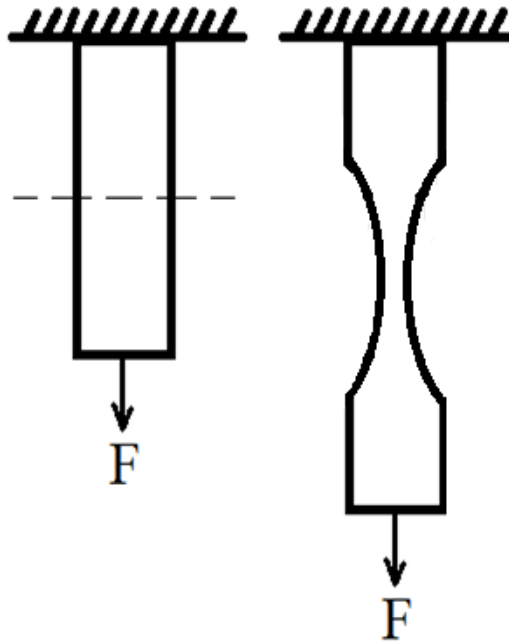
2.2 Tegangan

Tegangan merupakan intensitas gaya yang bekerja pada satuan luas terhadap suatu benda. Menghitung tegangan sangat penting dalam menentukan desain suatu benda produk, dan dapat berakibat buruk apabila tegangan yang dialami benda produk lebih besar dari pada tegangan yang diijinkan oleh material benda produk tersebut, benda tersebut dapat berubah bentuk atau bahkan dapat patah. Peranan dalam perhitungan tegangan juga bermanfaat pula untuk menentukan kekuatan benda dari segi ekonomisnya juga, karena material plastik sudah cukup kuat untuk dijadikan bahan untuk membuat kursi dan tidak perlu menggunakan material *carbon steel* karena material plastik sudah mampu untuk menahan berat badan dari konsumen yang menduduki kursi tersebut. Tidak hanya itu dengan terpilihnya material seperti pada contoh, maka berat dari benda produk akan menjadi lebih ringan karena massa jenis plastik lebih ringan dibandingkan dengan massa jenis *carbon steel*.

2.2.1 Tegangan Tarik

Tegangan tarik adalah tegangan yang terjadi pada luasan penampang benda akibat gaya tarik yang mengakibatkan terjadinya pertambahan panjang pada suatu

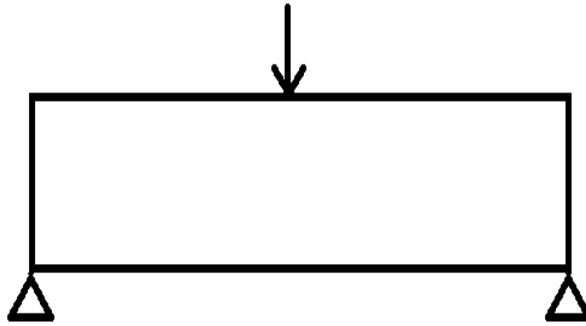
benda. Fenomena ini disebabkan karena besarnya suatu gaya yang bekerja bagi luas penampang suatu benda. Tegangan tarik yang terjadi tidak boleh lebih besar daripada UTS (*Ultimate Tensile Stress*) dari material pada benda kerja. Jika tegangan tarik yang terjadi lebih besar maka benda kerja akan mengalami patah.



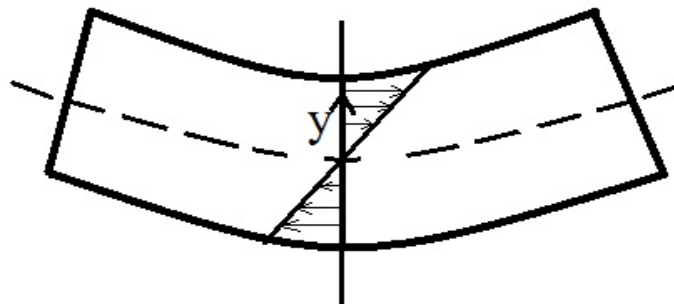
Gambar 2.1 Tegangan Tarik

2.2.2 Tegangan Bending

Merupakan tegangan yang diakibatkan oleh gaya yang bekerja pada permukaan benda sehingga menyebabkan terjadinya bengkok atau *bending* pada benda tersebut. Pelenturan benda tersebut terjadi disepanjang sumbunya menyebabkan sisi pada bagian atas tertekan, karena berkurangnya panjang dan sisi bagian bawah mengalami tegangan tarik, karena adanya pertambahan panjang yang terjadi akibat adanya gaya yang menekan. Dengan demikian struktur material benda pada bagian atas sumbu akan mengalami tegangan tekan, sebaliknya pada bagian bawah sumbu akan mengalami tegangan tarik. Sedangkan daerah diantara permukaan atas dan bawah, yaitu yang sejajar dengan sumbu benda tetap dan tidak mengalami perubahan, bagian dari benda ini disebut sebagai sumbu *neutral*. Ilustrasi tegangan bending dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3.



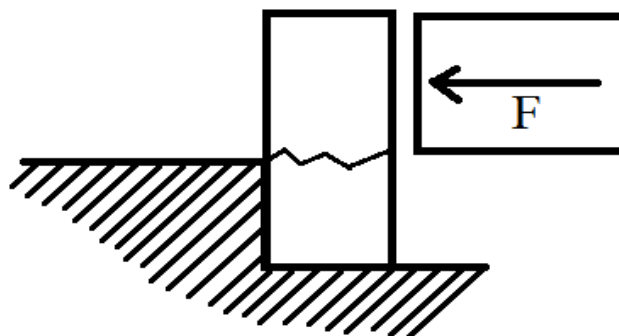
Gambar 2.2 Tegangan Bending



Gambar 2.3 Diagram Tegangan Bending

2.2.3 Tegangan Geser

Tegangan geser adalah intensitas gaya yang bekerja searah dengan bidang atau sepanjang bidang luasan. Ketika benda kerja diberi dua gaya yang sama atau berlawanan yang bergerak secara tangensial dengan sisi yang berlawanan maka akan terjadi tegangan geser atau *shear stress* pada suatu titik dimana gaya tersebut diberikan. (Lipson, C. & Juvinall, R. C, 1963)



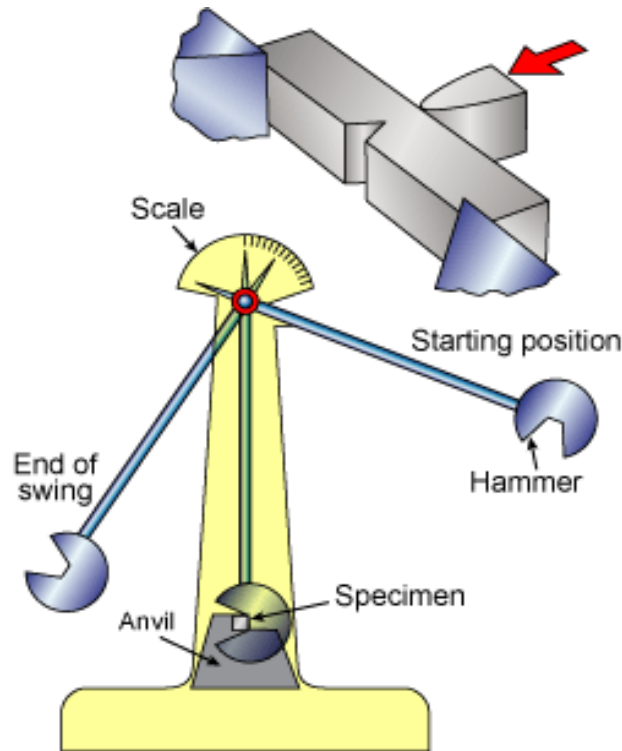
Gambar 2.4 Tegangan Geser

2.3 Uji Impak

Untuk menentukan sifat perpatahan suatu logam, keuletan maupun kegetasannya, dapat dilakukan suatu pengujian yang dinamakan dengan uji impak. Uji *impact* adalah suatu pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat atau dapat disebut dengan beban kejut (*rapid loading*). Pengujian impak merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Pengujian impak menggunakan batang spesimen yang diberi takikan yang sudah distandarisasi. Berbagai jenis pengujian impak batang bertakik telah digunakan untuk menentukan kecenderungan benda untuk bersifat getas. Pengujian benda berbentuk pipa mengikuti sebuah standart yang tercantum dalam JIS G 3474 dan prosedur pengujiannya yang terdapat pada JIS Z 2242, berikut adalah kutipan JIS G 3474 dan JIS Z 2242 yang selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 1 dan lampiran 2. Pernyataan dalam bahasa asli JIS G 3474 dituliskan sebagai berikut.

The test piece shall be V notch test piece specified in JIS Z 2242. However, the width of the test piece may be altered to 7.5 mm or 5 mm in accordance with the dimensions of tubes. The notch shall be made in the thickness direction. The test piece shall be taken in tube axis direction at a position of 90 degrees from the weld of the tube. For tubes over 350 mm in outside diameter, the test piece may be taken from the steel strip or steel sheet used for manufacturing tubes excepting the case where the expansion forming process is carried out. The test method shall be in accordance with JIS Z 2242.

Sebagaimana dituliskan di dalam JIS G 3474, bahwa pipa berdiameter di bawah 350 mm dapat diuji secara impak dan metode pengujiannya mengacu kepada JIS Z 2242 yang merupakan standart pengujian untuk Charpy impact test. Secara singkat pengujian impak JIS Z 2242 dituliskan bahwa benda uji diberi takikan dan dapat diuji dengan tiga kondisi temperatur, yaitu temperatur tinggi, temperatur rendah dan temperatur ruangan atau *room temperature*. Benda yang akan diuji kemudian diletakan pada support yang bersudut 90 derajat lalu ditumbuk dengan pendulum. Dasar pengujian impak ini adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi atau patahan. Sifat material yang berhubungan dengan kerja yang dibutuhkan untuk menyebabkan patahan dinamakan ketangguhan dan tergantung pada tipe pembebanan.

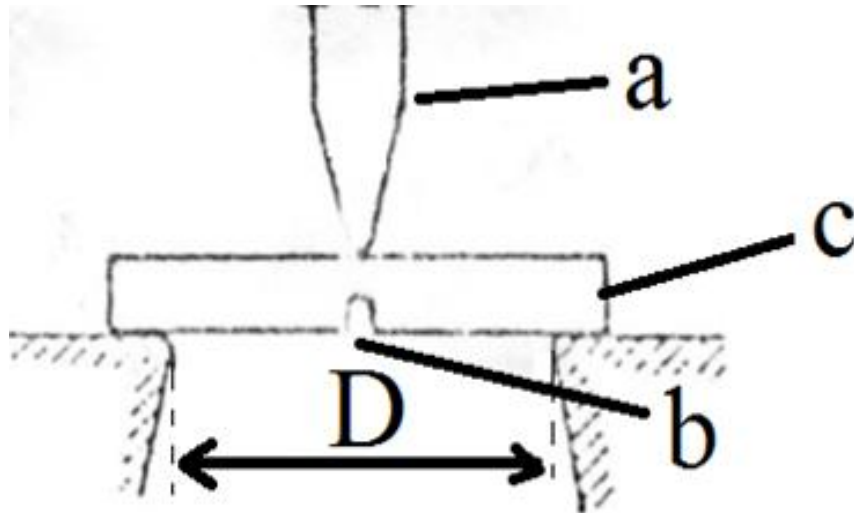


Gambar 2.5 Ilustrasi Pengujian Impak

Walaupun demikian, tingkat dimana energi diserap dengan nyata dapat mempengaruhi sifat material dan ukuran ketangguhan yang berbeda mungkin didapat dari beban impak.

2.3.1 Metoda Pengujian Impak

Benda uji *Charpy* memiliki luas penampang lintang bujur sangkar (10 x 10 mm) dengan panjang 55 mm² dan memiliki takikan (*notch*) berbentuk V dengan sudut 45°, dengan jari-jari dasar 0,25 mm dan kedalaman 2 mm. Ruang ayun yang tersedia pada dudukan adalah sebesar 4.5 cm. Pada pengujian ini, pendulum diarahkan pada bagian belakang takikan dari batang uji (takikan spesimen diletakan secara horizontal pada dudukan *support* membelakangi arah tumbukan impak bandul). Pemosisian juga harus diperhatikan agar bandul dapat tepat menumbuk pada bagian tengah takikan benda uji agar didapatkan hasil yang baik demikian pula dengan angka pada skala yang ditunjukkan. Gambar peletakan spesimen uji beserta dengan posisi pemberian takikan dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Peletakan Spesimen Metoda Charpy

Keterangan untuk gambar peletakan spesimen metoda Charpy:

a : Pendulum atau bandul

b : Takikan yang diposisikan membelakangi arah tumbukan

c : Spesimen uji

D : Jarak tahanan support tumbukan yang memiliki lebar 4.5 cm

Adapun kelebihan dan kekurangan dari metode *Charpy* adalah :

a. Kelebihan :

- 1) Hasil pengujian lebih akurat
- 2) Pengerjaannya lebih mudah dipahami dan dilakukan
- 3) Harga alat lebih ekonomis
- 4) Waktu pengujian lebih singkat

b. Kekurangan :

- 1) Hanya dapat dipasang pada posisi *horizontal*
- 2) Spesimen dapat bergeser dari tumpuannya karena tidak dicekam
- 3) Pengujian hanya dapat dilakukan pada specimen yang kecil saja

2.3.2 Mesin Uji Charpy

Mesin uji *impact* adalah mesin uji untuk mengetahui harga impak suatu beban yang diakibatkan oleh gaya kejut pada bahan uji tersebut. Tipe dan bentuk konstruksi mesin uji bentur beraneka ragam, yaitu mulai dari jenis konvensional

sampai dengan sistem digital yang lebih maju. Dalam pembebanan statis dapat juga terjadi laju deformasi yang tinggi kalau bahan diberi takikan.

Apabila pendulum dengan berat G dan pada kedudukan h_1 dilepaskan, maka akan mengayun sampai kedudukan posisi akhir 4 pada ketinggian h_2 yang juga hampir sama dengan tinggi semula (h_1), dimana pendulum mengayun bebas. Apabila batang uji dipasang pada kedudukannya dan pendulum dilepaskan, maka pendulum akan memukul batang uji dan selanjutnya pendulum akan mengayun sampai kedudukan 3 pada ketinggian h_2 . Usaha yang dilakukan pendulum waktu memukul benda uji atau usaha yang diserap benda uji sampai patah dapat diketahui melalui rumus sebagai berikut:

$$W_1 = G \times h_1 \text{ (kg m)} \quad (2.1)$$

$$W_1 = G \times L(1 - \cos \alpha) \text{ (kg m)}$$

Keterangan :

W_1 = usaha yang dilakukan (kg m)

G = berat pendulum (kg)

h_1 = jarak awal antara pendulum dengan benda uji (m)

L = jarak lengan pengayun (m)

A = sudut posisi awal pendulum

Sedangkan sisa usaha setelah mematahkan benda uji dapat diketahui melalui rumus sebagai berikut :

$$W_2 = G \times h_2 \text{ (kg m)} \quad (2.2)$$

$$W_2 = G \times L(1 - \cos \beta) \text{ (kg m)}$$

Keterangan :

W_2 = sisa usaha setelah mematahkan benda uji (kg m)

G = berat pendulum (kg)

h_2 = jarak akhir antara pendulum dengan benda uji (m)

L = jarak lengan pengayun (m)

β = sudut posisi akhir pendulum

Besarnya usaha yang diperlukan untuk memukul patah benda uji dapat diketahui melalui rumus sebagai berikut :

$$W = W1 - W2 \text{ (kg m)} \quad (2.3)$$

$$W = G \times L(\cos \beta - \cos \alpha) \text{ (kg m)}$$

Keterangan :

W = usaha yang diperlukan untuk mematahkan benda uji (kg m)

W1 = usaha yang dilakukan (kg m)

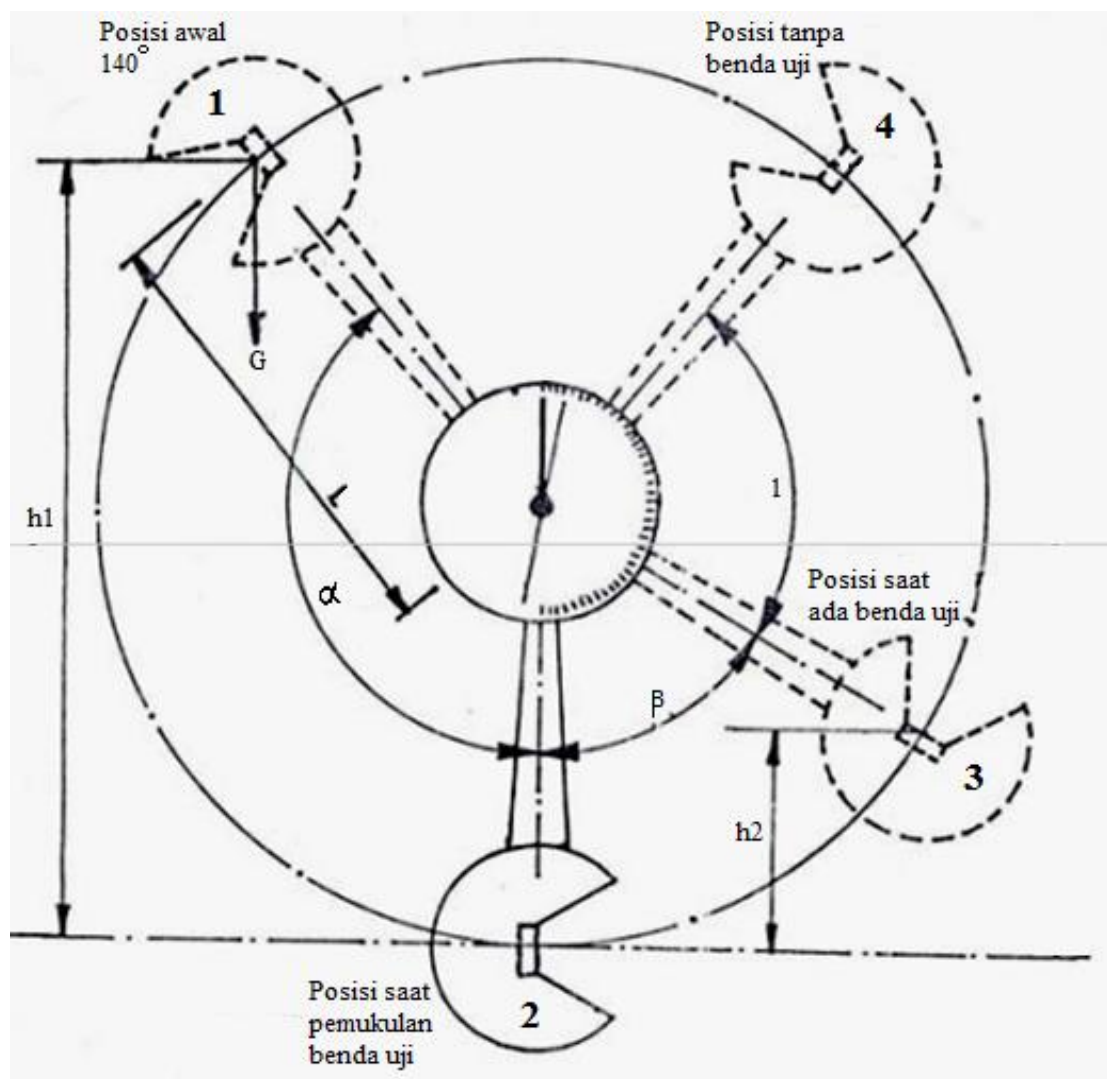
W2 = sisa usaha setelah mematahkan benda uji (kg m)

G = berat pendulum (kg)

L = jarak lengan pengayun (m)

$\cos \alpha$ = sudut posisi awal pendulum

$\cos \beta$ = sudut posisi akhir pendulum



Gambar 2.7 Prinsip Dasar Mesin Uji Impak

2.3.3 Perpatahan Impak

Secara umum sebagai mana analisis perpatahan pada benda hasil uji tarik maka perpatahan impak digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Perpatahan berserat (*fibrous fracture*), yang melibatkan mekanisme pergeseran bidang-bidang kristal di dalam bahan (logam) yang ulet (*ductile*). Ditandai dengan permukaan patahan berserat yang berbentuk dimpel yang menyerap cahaya dan berpenampilan buram.
2. Perpatahan *granular*/kristalin, yang dihasilkan oleh mekanisme pembelahan (*cleavage*) pada butir-butir dari bahan (logam) yang rapuh (*brittle*). Ditandai dengan permukaan patahan yang datar yang mampu memberikan daya pantul cahaya yang tinggi (mengkilat).
3. Perpatahan campuran (berserat dan *granular*). Merupakan kombinasi dua jenis perpatahan yaitu berserat dan *granular*.

2.3.4 Patah Getas dan Patah Ulet

Secara umum perpatahan dapat digolongkan menjadi dua golongan umum yaitu :

1. Patah Getas

Merupakan fenomena patah pada material yang diawali terjadinya retakan yang terjadi secara cepat dibandingkan patah ulet tanpa deformasi plastis terlebih dahulu dan dalam waktu yang singkat. Dalam kehidupan nyata, peristiwa patah getas lebih berbahaya dari pada patah ulet, karena dapat terjadi tanpa disadari begitu saja secara tiba - tiba. Biasanya patah getas terjadi pada material yang memiliki komposisi karbon yang sangat tinggi sehingga sangat kuat namun rapuh. Ciri – ciri dari spesimen uji yang patah getas adalah:

- a. Permukaannya terlihat berbentuk berkilat dan memantulkan cahaya.
- b. Terjadi secara tiba-tiba tanpa ada deformasi plastis terlebih dahulu sehingga tidak tampak gejala-gejala material tersebut akan patah.
- c. Tempo terjadinya patah lebih cepat.
- d. Bidang patahan relatif tegak lurus terhadap tegangan tarik.
- e. Tidak ada reduksi luas penampang patahan, akibat adanya tegangan multiaksial.



Gambar 2.8 Spesimen Patah Getas

2. Patah Ulet

Patah ulet merupakan patah yang diakibatkan oleh beban statis yang diberikan pada material, jika beban dihilangkan maka penjalaran retakan berhenti. Patah ulet terjadi lebih lambat dibandingkan dengan patah getas dan patah ulet ini ditandai dengan adanya penyerapan energi yang disertai dengan adanya deformasi plastis yang cukup besar di sekitar patahan, sehingga permukaan patahan nampak kasar, berserabut (*fibrous*), dan berwarna kelabu atau buram karena permukaannya yang kasar sehingga bersifat menyerap cahaya. Komposisi dari material juga mempengaruhi jenis patahan yang dihasilkan. Hal ini membuktikan bahwa selain beban yang diberikan, komposisi juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi jenis patahan yang dapat terjadi pada material uji impak. Biasanya patah ulet terjadi pada material yang merupakan baja dengan kandungan karbon rendah. Ciri-cirinya seperti:

- a. Ada reduksi luas penampang patahan.
- b. Tempo terjadinya patah lebih lama.
- c. Pertumbuhan retak lambat, tergantung pada beban.

- d. Permukaan patahannya terdapat garis-garis benang serabut berserat, menyerap cahaya, dan penampilannya buram.



Gambar 2.9 Spesimen Patah Ulet

2.3.5 Ketangguhan Bahan

Ketangguhan suatu bahan adalah kemampuan suatu bahan material untuk menyerap energi pada daerah plastis atau ketahanan bahan terhadap beban tumbukan atau kejutan. Penyebab ketangguhan bahan adalah pencampuran antara satu bahan dengan bahan lainnya. Misalnya baja di campur karbon akan lebih tangguh dibandingkan dengan baja murni. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi ketangguhan bahan adalah.

1. Bentuk takikan

Bentuk takikan amat berpengaruh pada ketangguhan suatu material, karena adanya perbedaan distribusi dan konsentrasi tegangan pada masing-masing takikan tersebut

yang mengakibatkan energi impact yang dimilikinya berbeda-beda pula. Ada beberapa jenis takikan berdasarkan kategori masing-masing. Berikut ini adalah urutan energi impact yang dimiliki oleh suatu bahan berdasarkan bentuk takikannya. Takikan dibagi menjadi beberapa macam antara lain adalah sebagai berikut :

a. Takikan segitiga

Memiliki energi impact yang paling kecil, sehingga paling mudah untuk patah. Hal ini disebabkan karena distribusi tegangan hanya terkonsentrasi pada satu titik saja, yaitu pada ujung takikan.

b. Takikan segi empat

Memiliki energi yang lebih besar pada takikan segitiga karena tegangan terdistribusi pada dua titik pada sudutnya.

c. Takikan Setengah lingkaran

Memiliki energi impact yang terbesar karena distribusi tegangan tersebar pada setiap isinya, sehingga tidak mudah patah.

2. Beban

Semakin besar beban yang diberikan , maka energi impact semakin kecil yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen, dan demikianpun sebaliknya. Hal ini diakibatkan karena suatu material akan lebih mudah patah apabila dibebani oleh gaya yang sangat besar.

3. Temperatur

Semakin tinggi temperatur dari spesimen, maka ketangguhannya semakin tinggi dalam menerima beban secara tiba-tiba, demikian sebaliknya, dengan temperatur yang lebih rendah. Namun temperatur memiliki batas tertentu dimana ketangguhan akan berkurang dengan sendirinya.

4. Transisi ulet rapuh

Hal ini dapat ditentukan dengan berbagai cara, misalnya kondisi struktur yang susah ditentukan oleh sistem tegangan yang bekerja pada benda uji yang bervariasi, tergantung pada cara pengusiaannya

5. Efek komposisi ukuran butir

Ukuran butir berpengaruh pada kerapuhan, sesuai dengan ukuran besarnya. Semakin halus ukuran butir maka bahan tersebut akan semakin

rapuh sedangkan bila ukurannya besar maka bahan akan ulet.

6. Perlakuan panas dan perpatahan

Perlakuan panas umumnya dilakukan untuk mengetahui atau mengamati besar-besar butir benda uji dan untuk menghaluskan butir.

7. Pengerasan kerja dan pengerjaan radiasi

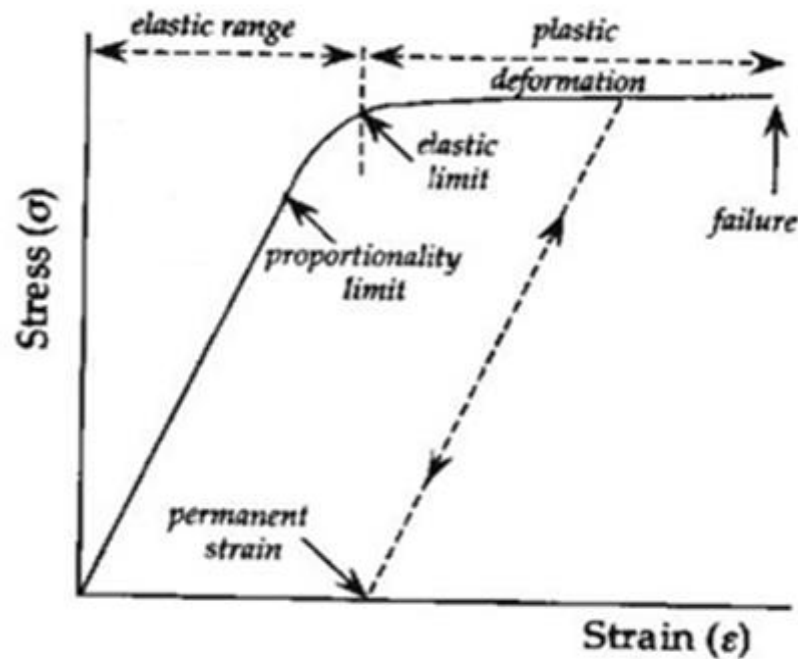
Pengerasan kerja terjadi yang ditimbulkan oleh adanya deformasi plastis yang kecil pada temperatur ruang yang melampaui batas atau tidak luluh dan melepaskan sejumlah dislokasi serta adanya pengukuran keuletan pada temperatur rendah

2.3.6 Deformasi Plastis dan Deformasi Elastis

Deformasi elastis adalah perubahan bentuk material yang di beri gaya tarik atau tekan sehingga dapat berubah bentuk dan bila energi tarik atau tekan dihilangkan benda tersebut akan kembali ke bentuk semula, hal ini dapat dilihat pada waktu uji tarik dilakukan, pada saat material yang kita uji ditarik maka akan terjadi perubahan panjang pada material itu tetapi material itu akan kembali pada bentuk semula apa bila gaya tarik dihilangkan. Sedangkan pada deformasi plastis material yang sudah di beri gaya tarik hingga mengalami perubahan panjang atau bentuk tidak akan kembali pada bentuk semula setelah gaya tarik dihilangkan. Seperti diperlihatkan dalam grafik tegangan-regangan terdapat yang namanya batas luluh (*yield strength*), untuk deformasi elastis itu berada dibawah batas luluh sedangkan untuk deformasi plastis berada/melewati batas luluh suatu material, dimana untuk setiap material memiliki karakteristik yang berbeda-beda, misalnya saja pada pipa jenis API 5L X 52 di mana *yield strength* (SMYS) adalah 52.000 psi yang artinya karakter elastis pada material tersebut adalah < 52.000 psi sedangkan plastisnya > 52.000 psi.

Daerah elastis dibatasi oleh garis proporsional antara tegangan - tegangan, pada ujung dari titik proporsional ini disebut sebagai *yield point*. Setelah keluar dari daerah ini, disebut sebagai daerah *plastic* yang tidak akan kembali kepada bentuk semula. Alasannya karena sudah terjadi perubahan, sedangkan di daerah *elastic* tidak terjadi perubahan secara drastis, hal ini disebabkan ketika masih didaerah elastis, logam dapat menahan beban yg diberikan yg disebabkan oleh bertemunya dengan batas butir dengan dislokasi, sehingga menghambat pergerakan dari

dislokasi, sedangkan ketika sudah memasuki daerah plastik, dislokasi sudah memotong batas butir. (Avallone, E.A & Baurmeister III, 1987).



Gambar 2.10 Grafik Deformasi Elastis dan Plastik

2.3.7 Alat dan Bahan

Pengujian tahanan Charpy impact test ini menggunakan beberapa alat yang mendukung setiap kegiatan pengujian impak yang akan dilakukan sehingga proses pengujian berjalan dengan baik. Gambar dari peralatan yang digunakan untuk pengujian dapat dilihat pada lampiran 6:

1. Furnace pemanas

Alat pemanas digunakan untuk menaikkan suhu spesimen yang akan diuji hingga temperatur tinggi yang diinginkan seperti yang telah ditetapkan pada buku standarisasi JIS Z 2242.

2. Spesimen Uji

Bahan material yang dipotong menjadi beberapa potongan yang kemudian diberi takikan sesuai dengan standart pengujian pada buku atau modul dan diposisikan pada dudukan pengujian yang sudah disediakan agar dapat diperoleh angka tahanan impaknya.

3. Galdabini Impact Tester

Alat yang digunakan untuk menguji ketahanan suatu benda terhadap tumbukan impact. Memiliki sebuahudukan yang berfungsi untuk menyangga spesimen uji dan alat uji impact ini memiliki sebuah bandul atau pendulum yang dikopel dengan jarum penunjuk pada skala yang berada di samping alat tersebut. Ketika bandul diayunkan dan setelah menumbuk benda uji maka jarum yang dikopel dengan bandul tersebut akan ikut bergerak dan menunjukkan angka tahanan impact dari spesimen yang sedang diuji. Kapasitas energi maksimum yang dapat diukur oleh alat ini adalah 295 Joule.

4. Pinset Penjepit atau *Crucible Tong*

Pinset penjepit berbentuk seperti gunting tetapi digunakan untuk memegang dan memposisikan spesimen yang akan diuji setelah di panaskan sampai dengan suhu tinggi dan atau setelah didinginkan hingga suhu yang rendah sesuai dengan modul yang telah distandarisasi untuk pengujian impact. Sehingga tangan penguji tetap *safety* dan tidak terkena suhu yang tinggi maupun suhu yang rendah.

5. *Box* Pendingin

Kotak pendingin berisi cairan medium alcohol yang dicampur dengan es batu digunakan untuk menurunkan suhu pada spesimen uji sampai dengan suhu rendah yang diinginkan untuk proses pengujian tahanan impact.

