

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Baja Karbon

Menurut unsur paduannya, baja karbon adalah logam yang terbentuk dari beberapa unsur, dengan unsur utama yaitu Besi / *Ferous*( Fe) dan unsur karbon (C), serta beberapa unsur padu lainnya seperti mangan, phosphor dan sulfur yang masing – masing unsur memiliki pengaruh tersendiri terhadap sifat mekanik dari baja karbon tersebut. Berikut merupakan sedikit penjelasan mengenai pengaruh unsur paduan pada baja karbon:

#### 1. *Carbon (C)*

Carbon memiliki sifat keras namun getas. Pengaruhnya ketika dipadukan pada logam (besi), akan meningkatkan kekuatan mekanik material berupa ketahanan deformasi yang tinggi serta kekerasan permukaan dengan memperhatikan komposisi campuran yang tepat.

#### 2. *Mangan (Mn)*

Mangan dipadukan dalam baja karbon dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan luluh dengan kandungan tidak lebih dari 0,5 % untuk dapat

mencegah terjadinya kegetasan pada suhu tinggi (*hot shortness*) dan untuk mempermudah proses rolling saat pembentukan raw material.

### **3. *Phosphor (P)* dan *Sulfur (S)***

Kedua unsur ini sedapat mungkin diminimalisir dalam paduan baja karbon, karena pada dasarnya sulit untuk mendapatkan paduan baja karbon tanpa phosphor dan sulfur. Phosphor menimbulkan sifat getas pada suhu rendah, menurunkan kekuatan baja dalam menahan beban benturan pada suhu rendah. Sedangkan *Sulfur* menyebabkan baja menjadi getas pada suhu tinggi. Karena hal itu, batas maksimal kandungan keduanya tidak boleh melebihi 0,05 %. (Timings, 1998)

## **B. Pengelompokan Jenis Baja Karbon**

### **1. Baja karbon rendah ( *low carbon steel* )**

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan karbon kurang dari 0,3 %, memiliki keuletan yang baik dan biasa digunakan untuk bahan manufaktur karena baja karbon rendah memiliki sifat mampu tempa yang baik, mampu mesin tinggi, mampu bentuk tinggi, kekuatan tarik dan batas regang rendah namun sulit untuk mencapai nilai kekerasan meskipun dilakukan perlakuan panas.

## 2. Baja karbon sedang ( *medium carbon steel* )

Baja karbon jenis ini mengandung unsur karbon antara 0,30 sampai dengan 0,60 %. Karena memiliki kekuatan yang baik secara nilai keuletan maupun kekerasannya, baja karbon sedangumum digunakan sebagai bahan bakualat-alat perkakas, bahan baku komponen mesin seperti baut, poros putaran tinggi, roda gigi, batang penghubung piston, pegas dan lainnya.

## 3. Baja karbon tinggi( *high carbon steel* )

Baja karbon tinggi adalah baja karbon yang mengandung karbon antara 0,70 s/d 1,5 %. Baja karbon ini digunakan untuk keperluan yang memerlukan ketahanan terhadap defleksi, beban gesek dan temperatur tinggi seperti *bearing*, mata bor, palu, mata pahat, gergaji, blok silinder, cincin torak dan sebagainya. (Van,2005)

### C. Baja AISI 1045

Baja AISI 1045 termasuk dalam jenis baja karbon sedang. Hal ini dapat diketahui dari kandungan unsur karbon yang ditunjukkan pada kode penamaannya berdasarkan AISI yang merupakan badan standarisasi baja *American Iron and Steel Institute* dengan kode 1045 dimana angka 10xx menyatakan karbon steel sedangkan angka 45 menyatakan kadar karbon dengan persentase 0,45 %.

Baja AISI 1045 umumnya memiliki nilai kekuatan tarik antara 570 hingga 700 MPa, dan nilai kekerasan antara 170 hingga 210 brinell. Baja AISI 1045 memiliki karakter dengan kemampuan las yang baik, mampu mesin yang baik, serta memiliki kemampuan menyerap beban impak yang cukup baik.

Baja AISI 1045 memiliki cakupan aplikasi yang cukup luas diantaranya digunakan sebagai roda gigi, pin ram, batang ulir kemudi, baut pengikat komponen dalam mesin, poros engkol, batang penghubung, bearing, dan lainnya. (azom,2012)

#### **D. Perlakuan Panas (*Heat Treatment*).**

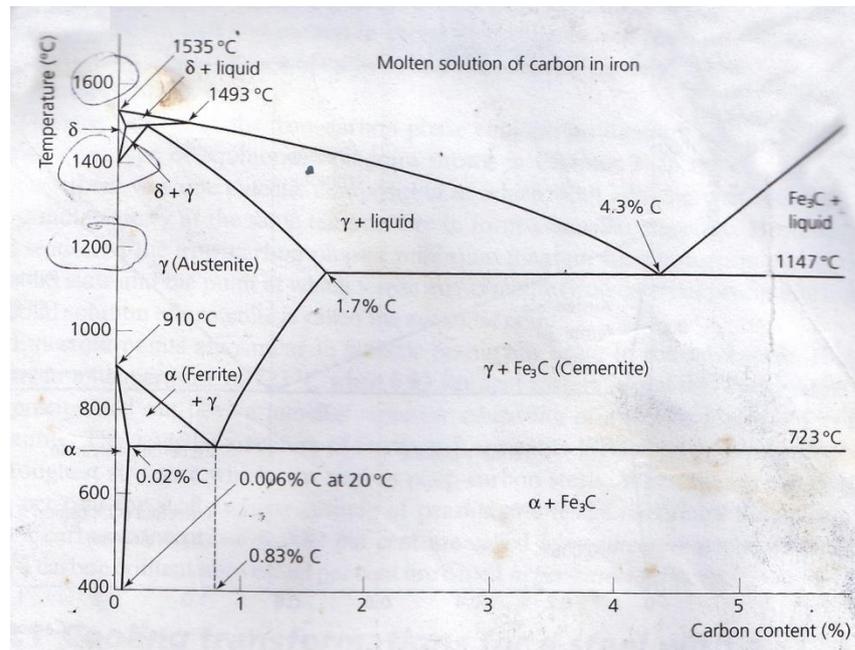
##### **1. Proses perlakuan panas**

Perlakuan panas (*heat treatment*) adalah suatu proses mengubah sifat logam dengan jalan mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan, penahanan waktu dan pengaturan kecepatan pendinginan tanpa merubah komposisi kimia didalamnya. Tujuan dilakukannya proses perlakuan panas yaitu untuk merekayasa atau mendapatkan kekerasan baja sesuai dengan rencana yang diinginkan. Ragam perlakuan panas pada logam adalah:

- *Annealing*
- *Normalizing*
- *Hardening*
- *Tempering*

Adapun prinsip-prinsip dasar proses perlakuan panas yaitu:

### a. Diagram fasa equilibrium baja karbon



Gambar 1. Diagram fasa equilibrium baja karbon (Timings, 1998)

Penjelasan diagram:

- Pada kandungan karbon mencapai 6.67% terbentuk struktur mikro dinamakan Sementit  $\text{Fe}_3\text{C}$  (dapat dilihat pada garis vertikal paling kanan).
- Sifat – sifat cementit: sangat keras dan sangat getas
- Pada sisi kiri diagram dimana pada kandungan karbon yang sangat rendah, pada suhu kamar terbentuk struktur mikro ferit.
- Pada baja dengan kadar karbon 0.83%, struktur mikro yang terbentuk adalah Perlit, kondisi suhu dan kadar karbon ini dinamakan titik Eutectoid.

- Pada baja dengan kandungan karbon rendah sampai dengan titik eutektoid, struktur mikro yang terbentuk adalah campuran antara ferit dan perlit.
- Pada baja dengan kandungan titik eutektoid sampai dengan 6.67%, struktur mikro yang terbentuk adalah campuran antara perlit dan sementit.
- Pada saat pendinginan dari suhu leleh baja dengan kadar karbon rendah, akan terbentuk struktur mikro Ferit Delta lalu menjadi struktur mikro Austenit.
- Pada baja dengan kadar karbon yang lebih tinggi, suhu leleh turun dengan naiknya kadar karbon, peralihan bentuk langsung dari leleh menjadi Austenit.

#### **b. Laju pemanasan**

Material dipanaskan sampai temperatur tertentu dimana pemanasan yang dilakukan tidak merubah bentuk komponen (tetap dalam keadaan solid, temperatur pemanasan tidak sampai fasa  $\delta$ (delta), karena fasa  $\delta$  terbatas, pemanasan tidak sampai pada fasa  $\gamma$  yang bertemperatur tinggi, karena butir akan menjadi kasar.

**c. Penahanan waktu (*holding time*)**

Setelah material mencapai temperatur yang diinginkan kemudian dilakukan penahanan waktu untuk mendapatkan struktur yang diinginkan.

**d. Media pendingin**

Dimana media pendingin yang digunakan yaitu oli, air, tungku dan udara terbuka. Untuk baja karbon, medium pendingin yang digunakan adalah air, sedangkan untuk baja paduan medium yang disarankan adalah oli, cairan polimer atau garam.

**2. Annealing**

**a. *Stress-relief annealing***

*Stress-relief annealing* (*annealing* untuk menghilangkan tegangan dalam). Tujuannya adalah untuk menghilangkan tegangan sisa (tegangan dalam) dalam baja tuang yang tebal, juga pada logam yang sudah mengalami pengelasan. Prosesnya benda kerja dipanaskan sampai suhu dibawah  $550 - 650^{\circ} \text{C}$  dipertahankan beberapa saat kemudian didinginkan perlahan - lahan, dan hasilnya dapat memperbaiki sifat mampu mesin.

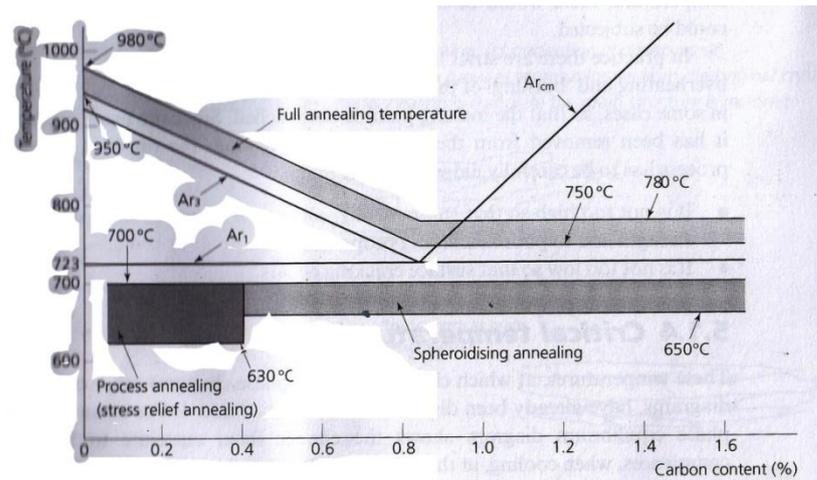
**b. *Sporoidising annealing***

Tujuannya membentuk / menghaluskan struktur sementit dengan menghancurkan bentuk *spheroids* (bulatan kecil) dalam kandungan ferit. Prosesnya yaitu dengan memperpanjang waktu pemanasan pada

suhu mendekati *austenite*, diikuti dengan pendinginan yang lambat, memperpanjang periode disekitar suhu tersebut. Untuk baja perkakas dan baja paduan tinggi, pemanasan antara  $750 - 800^{\circ}\text{C}$  atau lebih tinggi dan dipertahankan pada suhu tersebut untuk beberapa jam, diikuti oleh pendinginan yang perlahan-lahan. Hasilnya sifat mampu mesin meningkat seiring sifat bahan yang menjadi lebih lunak.

**c. *Full annealing***

Tujuannya untuk mengubah bentuk lapisan sementit didalam pearlit dan sementit pada batas-batas butir dari baja karbon tinggi menjadi bentuk spheroidal (bentuk bola). Prosesnya untuk Baja hypoeutctoid baja dipanaskan  $30 - 60^{\circ}\text{C}$  ( $50-100^{\circ}\text{F}$ ) diatas suhu austenit kemudian ditahan beberapa saat, baru didinginkan didalam dapur dengan kecepatan pendinginan  $10 - 30^{\circ}\text{C/jam}$  sampai suhu  $30^{\circ}\text{C}$ , kemudian didinginkan diudara. Untuk baja *hypereutectoid* pada dasarnya sama dengan baja *hypoeutectoid*, kecuali pada permulaan pemanasan hanya sampai daerah *austenit + sementit*, yaitu pada suhu sekitar  $30 - 60^{\circ}\text{C}$  diatas *austenit*.



Gambar 2. Grafik temperatur annealing baja karbon (Timings, 1998)

### 3. Normalising

Tujuannya menjadikan bahan seperti awal produksi rawnya dengan menghilangkan tegangan dalam yang timbul akibat pembentukan atau permesinan dengan menyeragamkan butir dan sekaligus menghaluskan butir. Penggunaannya ditujukan untuk baja-baja konstruksi, baja roll, material yang mengalami penempaan, tidak mempunyai struktur yang sama karena jumlah beban tidak sebanding dengan area perubahan bentuk pada tahap - tahap pendinginan yang tidak merata untuk benda yang ketebalannya tidak sama. Prosesnya yaitu dengan memanaskan sampai sedikit diatas suhu kritis (sekitar  $60^{\circ}$  C diatas suhu kritis atas), kemudian setelah suhu merata didinginkan diudara. Hasilnya diperoleh benda kerja yang mempunyai sifat mampu mesin dan mampu bentuk yang baik.

#### **4. Quenching**

Tujuannya merubah mikro struktur baja sedemikian rupa sehingga diperoleh mikro struktur martensit yang keras. Penggunaannya untuk semua macam alat perkakas dan beberapa bagian mesin yang penting khususnya untuk yang mendapatkan beban berat (seperti roda gigi, cam shaft, pegas). Prosesnya baja dipanaskan sampai suhu kritis, kemudian ditahan pada suhu tersebut beberapa saat (sesuai dengan dimensi dan bentuknya) dilanjutkan dengan pendinginan dengan cepat.

#### **5. Tempering**

Tempering adalah pemanasan kembali baja yang telah dikeraskan untuk menghilangkan tegangan dalam dan mengurangi kekerasan. Prosesnya dengan memanaskan kembali benda kerja berkisar pada setengah dari suhu hardening dan didinginkan dalam ruang terbuka. (Timings,1998)

### **E. Penerapan Pengujian Bahan**

#### **1. Pengujian tarik**

Pengujian tarik adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis suatu logam dan paduannya. Pengujian ini paling sering dilakukan karena merupakan dasar pengujian-pengujian dan studi mengenai kekuatan bahan. Pada pengujian tarik beban diberikan secara kontinyu dan perlahan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji. Kemudian dapat dihasilkan tegangan dan regangan.

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A_0} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

$\sigma_u$  = Tegangan tarik maksimal (MPa)

$P_u$  = Beban tarik (kN)

$A_0$  = Luasan awal penampang (mm<sup>2</sup>)

Regangan yang dipergunakan pada kurva diperoleh dengan cara membagi perpanjangan panjang ukur dengan panjang awal, persamaanya yaitu:

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

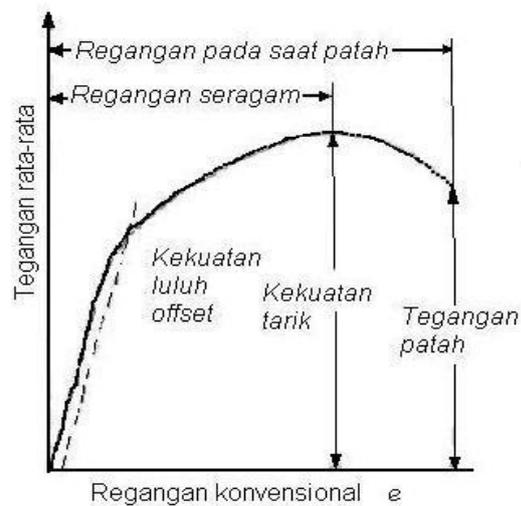
Dimana:

$\varepsilon$  = Regangan (%)

$L_0$  = Panjang awal (mm)

$L_f$  = Panjang akhir (mm)

Pembebanan tarik dilaksanakan dengan mesin pengujian tarik yang selama pengujian akan mencatat setiap kondisi bahan sampai terjadinya tegangan ultimate, juga sekaligus akan menggambarkan diagram tarik benda uji, adapun panjang  $L_f$  akan diketahui setelah benda uji patah dengan menggunakan pengukuran secara normal tegangan ultimate adalah tegangan tertinggi yang bekerja pada luas penampang semula. Diagram yang diperoleh dari uji tarik pada umumnya digambarkan sebagai diagram tegangan-regangan.



Gambar 3. Kurva tegangan – regangan rekayasa. (Dieter,1992)

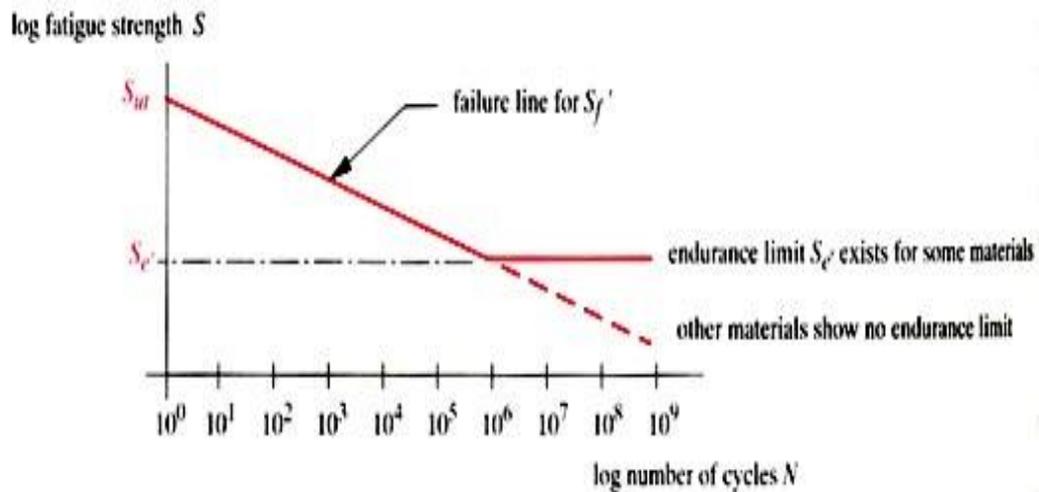
Dari gambar diatas, ditunjukkan bahwa bentuk dan besaran pada kurva tegangan-regangan suatu logam tergantung pada komposisi, perlakuan panas, deformasi plastis yang pernah dialami, laju regangan, suhu dan keadaan tegangan yang menentukan selama pengujian. Parameter – parameter yang digunakan untuk menggambarkan kurva tegangan regangan logam yaitu:-

- a. Kekuatan tarik
- b. Kekuatan Luluh
- c. Perpanjangan. (Dieter, 1986).

## 2. Uji fatik

Tahun 1870, Seorang insinyur Jerman bernama August Wohler mempublikasikan penemuan hasil penelitiannya selama lebih dari 12 tahun tentang kegagalan lelah. Penelitian Wohler berupa investigasi kegagalan poros yang menerima beban *fully reserved*. Hasil penemuannya

berisi identifikasi jumlah siklus waktu terhadap variasi tegangan dan menemukan adanya *endurance limits* (level tegangan yang masih dapat ditoleransi per satu juta siklus *fully reversed stress*) pada baja. Hal tersebut dapat diamati pada diagram Wohler yang lebih dikenal sebagai diagram S-N pada gambar dibawah:



Gambar 4. Diagram S-N. (Schutz, 1996)

Fatig atau kelelahan merupakan fenomena terjadinya kerusakan material karena pembebanan yang berulang-ulang, diketahui bahwa apabila pada suatu logam dikenai tegangan berulang maka logam tersebut akan patah pada tegangan yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan perpatahan pada beban statik. Kerusakan akibat beban berulang ini disebut patah lelah (*fatigue failures*) karena umumnya perpatahan tersebut terjadi setelah periode pemakaian yang cukup lama. Mekanisme terjadinya kegagalan fatik dapat dibagi menjadi tiga fase yaitu : awal retak (*initiation crack*), perambatan retak (*crack propagation*), dan perpatahan akhir (*fracture failure*). (Timings,1998)

**a. Awal retak (*initiation crack*)**

Cacat (*defect*) pada struktur dapat bertindak sebagai awal keretakan. Cacat pada struktur berdasarkan asal terbentuknya dapat dikategorikan menjadi dua kelompok.

1. Cacat yang terbentuk selama masa fabrikasi, disebabkan oleh :

- Cacat lateral yang terjadi pada material (*material defect*).
- Cacat yang disebabkan karena proses pengerjaan material (*manufacturing defect*). Contohnya seperti tumpulnya peralatan-peralatan atau jeleknya peralatan yang digunakan untuk pengerjaan material, panas yang berlebihan yang disebabkan karena pengelasan dan sebagainya.
- Pemilihan material yang salah atau proses perlakuan panas material (*poor choice of material or heat treatment*). Contoh pemilihan material yang salah seperti, material yang seharusnya digunakan untuk *fatigue* tetapi cenderung digunakan untuk *corrosion cracking* oleh karena pemilihan perlakuan panas yang tidak diketahui. Perlakuan panas seperti *carburizing* pengerasan permukaan hampir selalu menyebabkan perubahan pada permukaan.
- Teknik produksi dari material yang salah (*poor choice of production technique*).
- Desain material yang salah (*poor detail design*).

2. Cacat yang terbentuk selama *service* struktur, diantaranya :

- Kelelahan struktur, terjadi saat struktur mencapai umur kelelahannya.
- Fluktuasi tegangan pada permukaan yang telah mengalami korosi

**b. Perambatan retak (*crack propagation* )**

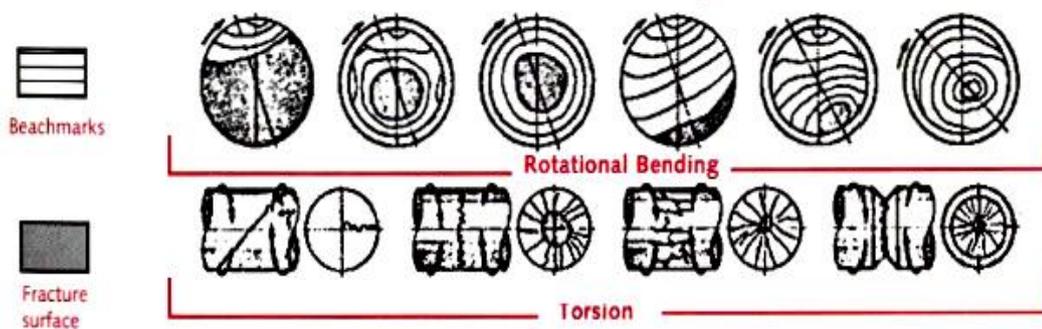
Jumlah total siklus yang menyebabkan kegagalan fracture merupakan penjumlahan jumlah siklus yang menyebabkan retakan awal dan fase perambatannya. *Initiation Crack* ini berkembang menjadi *microcracks*. Perambatan atau perpaduan *microcracks* ini kemudian membentuk *macrocracks* yang akan berujung pada *failure*. Pada permukaan patahan material yang mengalami pembebanan *rotational bending*, perambatan retak ditandai dengan beach mark yang memisahkan antara daerah awal retak dengan daerah patahan akhir

**c. Perpatahan akhir (*final fracture*)**

*Final fracture* adalah proses akhir kerusakan pada struktur saat mengalami pembebanan, sehingga struktur tersebut mengalami kegagalan. Ketika terjadi penjaran retak, penampang pada bagian tersebut akan berkurang. Sampai pada kondisi dimana penampang pada bagian tersebut tidak mampu menahan beban. Pada tahap ini penjaran retak yang terjadi sangat cepat sehingga struktur akan pecah menjadi dua. Penjaran yang cepat tersebut sering disebut *fast fracture*. (Dieter, 1986).

#### d. Skematik permukaan patah fatik

Jenis perpatahan yang terjadi pada material umumnya dapat dilihat dari pola atau skema perpatahan pada permukaan material yang mengalami perpatahan dengan pengamatan secara makro. Pada dasarnya ada 3 jenis patahan yang didasarkan pada sifat material yaitu perpatahan ulet, perpatahan getas serta gabungan perpatahan ulet dan getas



Gambar 5. Skematik permukaan patah fatik *rotational bending* dan torsi

#### e. Faktor faktor yang mempengaruhi kekuatan fatik

##### 1. Faktor kelembaban lingkungan

Faktor kelembaban lingkungan sedikit mempengaruhi kekuatan lelah, pada lingkungan kelembaban tinggi membentuk pit korosi dan retak pada permukaan spesimen yang menyebabkan kegagalan lebih cepat terjadi.

##### 2. Tipe pembebanan

Tipe pembebanan ini sangat mempengaruhi kekuatan lelah sebagaimana yang diteliti oleh (Ogawa, 1989) bahwa baja S45S yang diberikan tipe pembebanan lentur putar dan pembebanan aksial mempunyai kekuatan lelah yang sangat berbeda, baja S45S

dengan pembebanan aksial mempunyai kekuatan lelah lebih rendah dari baja yang menerima pembebanan lentur putar.

### 3. Faktor putaran

Sebagaimana yang telah diteliti oleh (Iwamoto, 1989) bahwa nilai kekuatan fatik sebuah benda yang diuji pada putaran 750 rpm hingga 1500 rpm mempunyai kekuatan lelah yang hampir sama tetapi apabila diuji pada putaran 50 rpm, terjadi penurunan kekuatan lelah dibandingkn dari hasil pengujian pada 750 rpm hingga 1500 rpm.

### 4 Faktor suhu

Faktor suhu sangat mempengaruhi kekuatan lelah karena suhu menaikkan konduktifitas elektrolit lingkungan sehingga dapat mempercepat proses oksidasi. Untuk mengkondisikan pengujian standar terhadap suhu, pengujian dilakukan pada temperatur kamar. Pada pengujian di suhu 40° C retakan pada spesimen memanjang dari pada pengujian di suhu 20°C dengan retakan yang halus, karena suhu yang tinggi menyebabkan molekul air yang terbentuk mengecil di permukaan baja sehingga mempercepat terjadinya reaksi oksidasi dan membuat jumlah pit korosi jauh lebih banyak, akibatnya pit korosi cepat bergabung membentuk retakan yang memanjang. Mengemukakan secara umum kekuatan lelah baja akan turun dengan bertambahnya suhu di atas suhu kamar kecuali baja lunak dan kekuatan lelah akan bertambah besar apabila suhu turun. (Hasan, 2006)

### 5 Faktor tegangan sisa

Faktor tegangan sisa yang mungkin timbul pada saat pembuatan spesimen direduksi dengan cara melakukan pemakanan pahat sehalus mungkin terhadap spesimen sehingga pemakanan pahat tidak menimbulkan tegangan sisa maupun tegangan lentur pada spesimen.

### 6 Faktor komposisi kimia

Pengaruh faktor komposisi kimia terhadap kekuatan lelah diharapkan sama untuk seluruh spesimen uji dengan pemilihan bahan yang diproduksi dalam satu kali proses pembuatan, sehingga didapat kondisi pengujian yang standar untuk seluruh spesimen uji.  
(Dieter, 1986)

## 3. Alat Uji Fatik

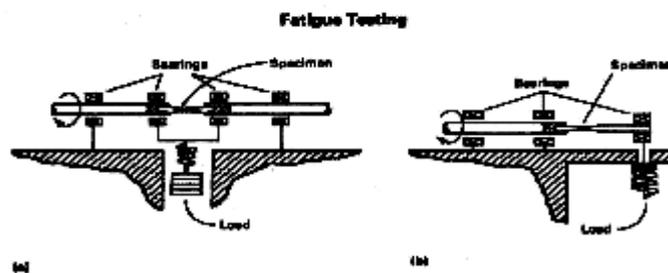
Alat uji fatik di klasifikasikan menjadi beberapa jenis seperti yang di jelaskan berikut.

### *a. Axial (Direct-Stress)*

Mesin uji fatik ini memberikan tegangan ataupun regangan yang seragam kepenampangnya. Untuk penampang yang sama mesin pengujian ini harus dapat memberikan beban yang lebih besar dibandingkan mesin lentur statik dengan maksud untuk mendapatkan tegangan yang sama.

### ***b. Cantilever Beam Machines***

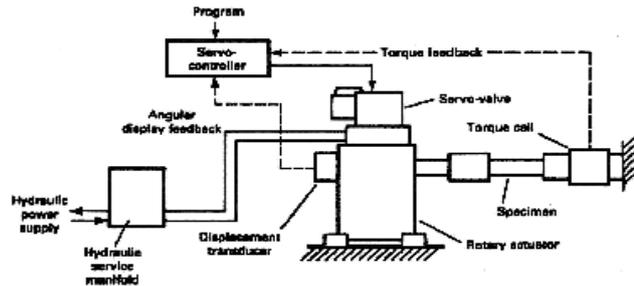
*Cantilever Beam Machines*, dimana spesimen memiliki bagian yang mengecil baik pada lebar, tebal maupun diameternya, yang mengakibatkan bagian daerah yang diuji memiliki tegangan seragam hanya dengan pembebanan yang rendah dibandingkan lenturan fatik yang seragam dengan ukuran bagian yang sama.



Gambar 6. RR. Moore-Type Machines dapat beroperasi sampai 10.000rpm  
(Sastrawan, 2010)

### ***c. Torsional Fatigue Testing Machines***

Sama dengan mesin tipe Axial hanya saja menggunakan penjepit yang sesuai jika puntiran maksimal. yang dibutuhkan itu kecil. Gambar dibawah ini adalah “Mesin Uji Fatik akibat Torsi” yang dirancang khusus.



Gambar 7. *Torsional Fatik Testing Machines* (Sastrawan, 2010)

#### *d. Special-Purpose Fatigue Testing Machines*

Dirancang khusus untuk tujuan tertentu. Dan merupakan modifikasidarimesin penguji fatik yang sudah ada. Penguji kawat adalah modifikasi dari “*Rotating Beam Machines*”.

#### *e. Multiaxial Fatigue Testing Machines*

Dirancang untuk pembebanan atau lebih dengan maksud untuk menentukan sifat logam dibawah tegangan *biaxial* atau *triaxial*. (Muchsin, 2002)