

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Baja Karbon

Baja adalah logam paduan, dimana logam besi adalah unsur dasarnya yang diikuti dengan beberapa elemen lainnya termasuk karbon. Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% sesuai jenis baja itu sendiri. Karbon, mangan, fosfor, sulfur, silikon, adalah elemen-elemen yang ada pada baja karbon. Selain itu, ada elemen lain yang ditambahkan untuk membedakan karakteristik antara beberapa jenis baja diantaranya: mangan, nikel, krom, molybdenum, boron, titanium, vanadium dan niobium. Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya kita dapat mendapatkan kualitas baja yang kita inginkan. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi.

Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*). Sedangkan 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.

Untuk *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 dan 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 %.

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

1. Baja karbon rendah dengan kadar karbon kurang dari 0,25 %,

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan karbon kurang dari 0,25 %, Baja ini memiliki keuletan yang baik namun tidak memiliki kekerasan baik dan tidak dapat dilakukan perlakuan panas karena jumlah karbonnya yang sedikit yang mengakibatkan tidak terbentuknya proses *martensit* pada proses perlakuan panas. Baja ini biasanya digunakan untuk bahan manufaktur karena baja karbon rendah memiliki sifat mampu tempa yang baik, mampu mesin tinggi, dan mampu bentuk yang tinggi karena keuletannya.

2. Baja karbon sedang dengan kadar karbon 0,25 – 0,6 %

Baja karbon jenis ini mengandung unsur karbon antara 0,25 sampai dengan 0,6 %. Baja ini dapat dinaikkan sifat mekaniknya dengan melalui

perlakuan panas *austenitizing*, *quenching*, dan *tempering*, biasanya baja ini banyak dipakai dalam kondisi hasil *tempering* sehingga struktur mikronya *martensit*. Baja ini memiliki kekuatan yang baik serta nilai keuletan maupun kekerasannya juga baik, baja karbon sedang umumnya digunakan sebagai bahan baku alat-alat perkakas, komponen mesin seperti poros putaran tinggi, roda gigi, *cranksaft* batang penghubung piston, pegas dan lainnya.

### 3. Baja karbon tinggi mengandung 0,6 – 1,4 % karbon.

Baja karbon tinggi adalah baja karbon yang mengandung karbon antara 0,60 sampai dengan 1,4 %. Baja karbon ini mempunyai kekerasan yang tinggi namun keuletannya yang rendah, biasanya 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 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 dan angka 45 menyatakan kadar karbon dengan persentase 0,45 %.

Baja AISI 1045 memiliki karakter dengan kemampuan las, mesin, serta 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 kompoinen dalam mesin, poros engkol, batang penghubung, bearing, dan lainnya.

Berikut ini adalah sifat-sifat mekanis dari baja karbon AISI 1045

Tabel 1 Sifat-sifat mekanis baja karbon AISI 1045

Sifat Mekanis	Baja Karbon AISI 1045
Berat Spesifik (yield)	7.7-8.03 (x1000kg/m <sup>3</sup> )
Modulus Elastisitas	190-210 Gpa
Kekuatan Geser	505 MPa
Kekuatan Tarik	585Mpa
Kekerasan	179.8
Elongation	12%

Sumber : [www.ezlok.com](http://www.ezlok.com) (diakses pada 20 mei 2014)

Dan berikut adalah tabel komposisi kimia dari baja AISI 1045

Tabel 2 komposisi kimia AISI 1045

Unsur	C	Mn	P	S	Fe
%	0.43-0.50	0.6-0.90	0.04 Max	0.050 Max	Sisanya

Sumber : [www.ezlok.com](http://www.ezlok.com) (diakses pada 20 mei 2014)

#### D. Kekasaran Permukaan

Kekasaran Permukaan adalah suatu batas yang memisahkan benda padat dengan sekitarnya. Profil atau bentuk yang dikaitkan dengan istilah permukaan mempunyai arti tersendiri yaitu garis hasil pemotongan secara normal atau serong dari suatu penampang permukaan. Kekasaran terdiri dari ketidak teraturan tekstur permukaan benda, yang pada umumnya mencakup ketidak teraturan yang diakibatkan oleh perlakuan selama proses produksi. Tekstur permukaan adalah pola dari permukaan yang menyimpang dari suatu permukaan nominal. Kekasaran permukaan (*surface roughness*) dibedakan menjadi dua, yaitu:

##### 1. *Ideal Surface Roughness*

*Ideal surface roughness* adalah kekasaran ideal (terbaik) yang biasa dicapai dalam suatu proses permesinan dengan kondisi ideal.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran ideal di antaranya:

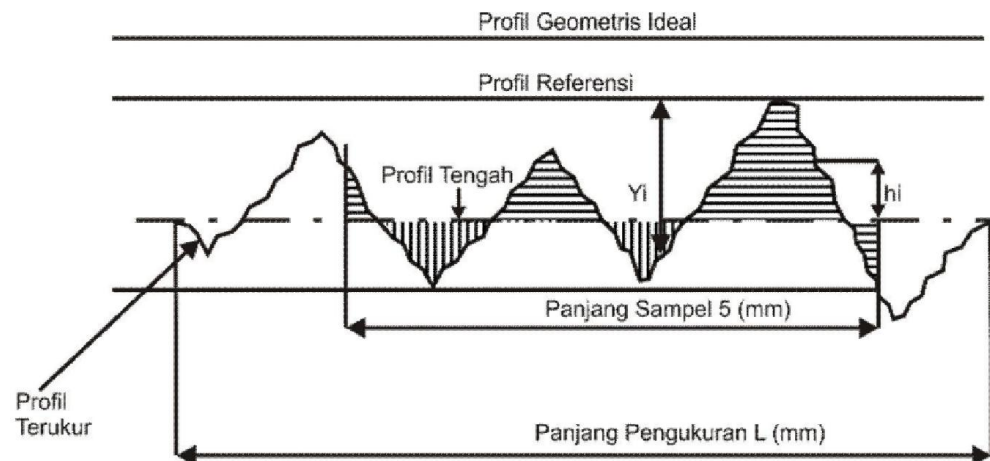
- a) Getaran yang terjadi pada mesin.
- b) Ketidak tepatan gerakan bagian-bagian mesin.
- c) Ketidak teraturan *feed mechanism*.
- d) Adanya cacat pada material.
- e) Gesekan antara chip dan material

##### 2. *Natural Surface Roughness*

Natural surface roughness adalah kekasaran alamiah yang terbentuk dalam proses permesinan karena adanya berbagai faktor yang mempengaruhi proses permesinan tersebut.

Parameter Kekasaran Permukaan.

Sebelum jauh melangkah ke parameter kekasaran perlu diketahui terlebih dahulu tentang profil yang penting seperti yang terlihat pada Gambar berikut ini :



Gambar 1. Posisi Profil Referensi, Profil Tengah, dan Profil Alas terhadap Profil Terukur untuk Satu Panjang Sampel (purbosari.et.Al.,2010)

Profil kekasaran permukaan terdiri dari:

- a) Profil geometrik ideal ialah profil permukaan yang sempurna dapat berupa garis lurus, lengkung atau busur.
- b) Profil terukur (*measured profil*), merupakan profil permukaan terukur.
- c) Profil referensi adalah profil yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisa ketidakraturan konfigurasi permukaan.
- d) Profil akar/alas yaitu profil referensi yang digeserkan ke bawah sehingga menyinggung titik terendah profil terukur.

- e) Profil tengah adalah profil yang digeserkan ke bawah sedemikian rupa sehingga jumlah luas bagi daerah-daerah diatas profil tengah sampai profil terukur adalah sama dengan jumlah luas daerah - daerah di bawah profil tengah sampai ke profil terukur.

Kekasaran permukaan merupakan hasil proses manufaktur. Perbedaan proses manufaktur akan menghasilkan kekasaran permukaan yang berbeda. Demikian pula material perkakas potong, parameter proses manufaktur dan pengerjaan akhir ikut menentukan kualitas permukaan material. Kekasaran permukaan dapat menjadi inisiasi retakan terutama ketika material tersebut menerima pembebanan berulang dan berfluktuasi. Spesimen dengan permukaan yang halus memiliki umur lelah material yang lebih lama (Alanget.et Al., 2011). Dari riset ini pula diperoleh pernyataan bahwa inisiasi retakan meningkat seiring dengan kekasaran spesimen yang meningkat.

(Kokavec. et Al., 2011) menyatakan bahwa kondisi permukaan memiliki pengaruh yang sangat kuat terhadap sifat lelah bahan. Hal ini ditunjukkan oleh permukaan yang digerinda halus memiliki perilaku dan umur *fatigue* yang lebih baik. Permukaan hasil coran menunjukkan perilaku lelah material yang buruk.

## E. Uji Tarik

### 1. Pengujian tarik

Uji tarik rekayasa banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan (Dieter, 1987). Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji. Kurva tegangan regangan rekayasa diperoleh dari pengukuran perpanjangan benda uji. Tegangan yang dipergunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian tarik yang diperoleh dengan membagi beban dengan luas awal penampang melintang benda uji.

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

Dimana :

$\sigma_u$  : Tegangan tarik maksimal (MPa)

$P_u$  : Beban tarik (kN)

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



Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan regangan rekayasa adalah regangan linier rata-rata, yang diperoleh dengan membagi perpanjangan panjang ukur (*gage length*) benda uji,  $\Delta L$ , dengan panjang awalnya,

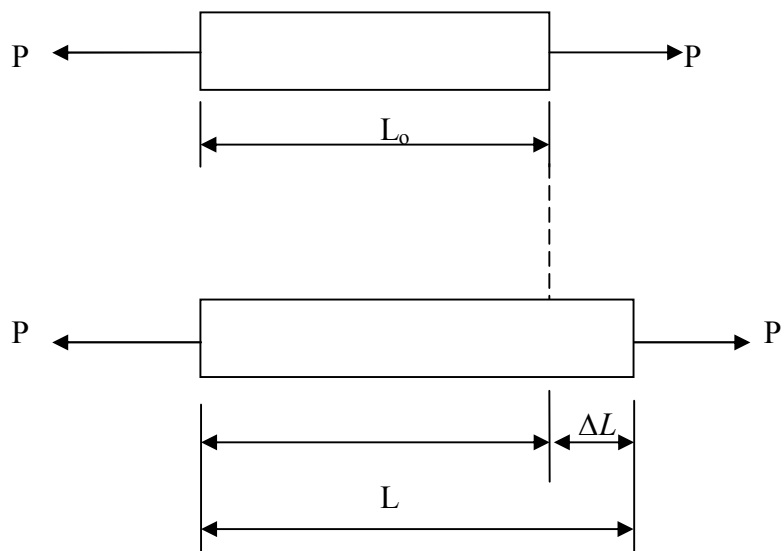
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

$\varepsilon$  : Regangan (%)

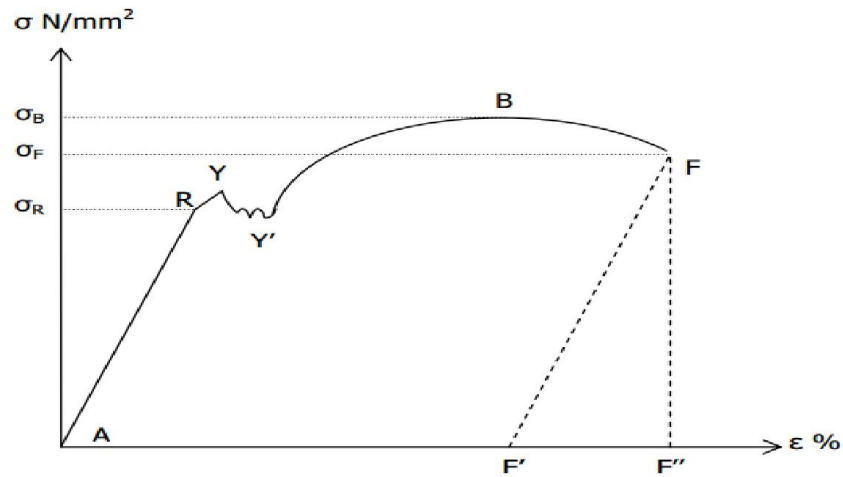
$L_0$  : Panjang awal (mm)

$L$  : Panjang akhir (mm)



Gambar 2. Panjang bertambah  $\Delta L$  setelah diberi pembebanan

Dan gambar berikut merupakan gambar umum tegangan-regangan dari hasil uji tarik yang biasa dilakukan.



Gambar 3. Kurva umum tegangan - regangan hasil uji tarik

(sumber : [www.commonswikimedia.org](http://www.commonswikimedia.org))

Kurva tegangan regangan hasil pengujian tarik umumnya tampak seperti pada gambar 3. Dari gambar tersebut dapat dilihat:

- a. A-R garis lurus. Pada bagian ini pertambahan panjang sebanding dengan pertambahan beban yang diberikan. Pada bagian ini, berlaku hukum Hooke:

$$\Delta L = \frac{P}{A} \times \frac{L_0}{E} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan :  $\Delta L$  = pertambahan panjang benda kerja (mm)

$L_0$  = panjang benda kerja awal (mm)

P = beban yang bekerja (N)

A = luas penampang benda kerja (mm<sup>2</sup>)

E = modulus elastisitas bahan (N/mm<sup>2</sup>)

Dari persamaan (1) dan (2), bila disubstitusikan ke persamaan (3), maka akan diperoleh:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots (4)$$

- b. Y disebut titik luluh (*yield point*) atas.
- c. Y' disebut titik luluh bawah.
- d. Pada daerah YY' benda kerja seolah-olah mencair dan beban naik turun disebut daerah luluh.
- e. Pada titik B beban mencapai maksimum dan titik ini biasa disebut tegangan tarik maksimum atau kekuatan tarik bahan ( $\sigma_B$ ). Pada titik ini terlihat jelas benda kerja mengalami pengecilan penampang (*necking*).
- f. Setelah titik B, beban mulai turun dan akhirnya patah di titik F (*failure*)
- g. Titik R disebut batas proporsional, yaitu batas daerah elastis dan daerah AR disebut daerah elastis. Regangan yang diperoleh pada daerah ini disebut regangan elastis.
- h. Melewati batas proporsional sampai dengan benda kerja putus, biasa dikenal dengan daerah plastis dan regangannya disebut regangan plastis.
- i. Jika setelah benda kerja putus dan disambungkan lagi (dijajarkan) kemudian diukur pertambahan panjangnya ( $\Delta L$ ), maka regangan yang diperoleh dari hasil pengukuran ini adalah regangan plastis ( $AF'$ ).

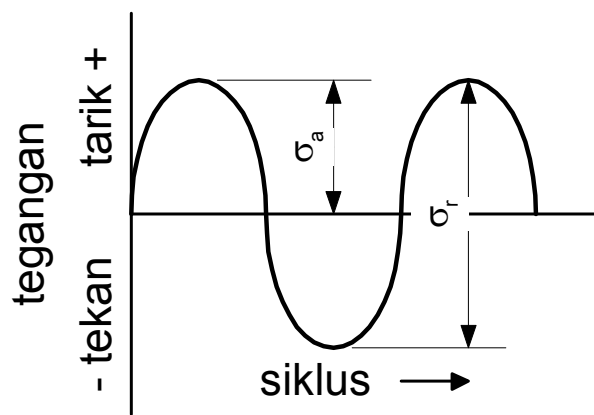
## F. Pengujian *Fatigue*

Gejala *Fatigue* berkaitan dengan perpatahan dini yang dialami logam yang menerima tegangan rendah secara berulang-ulang. Gejala *fatigue* ini sangat penting pada berbagai bidang rekayasa (misal pada konstruksi pesawat terbang, poros, dan lain-lain). Penyebab terjadinya *fatigue* adalah adanya retak yang berawal pada daerah yang konsentrasi tegangannya tinggi. Daerah ini antara lain lekukan, lubang pada material, permukaan yang kasar, dan rongga baik di dalam maupun di permukaan material. Jadi terjadinya *fatigue* adalah retak yang terus bertambah panjang hingga komponen tidak lagi mempunyai toleransi terhadap tegangan dan regangan yang lebih tinggi, dan akhirnya terjadi patah statis secara tiba-tiba. Panjang retak ini akan terus bertambah karena pembebanan dinamis yang terus-menerus. Semakin besar amplitudo pembebanan dinamis semakin cepat retak merambat. (Timings,1998)

Akhir dari perambatan retak pada komponen akibat beban dinamis adalah terpisahnya komponen menjadi 2 bagian yang lebih dikenal dengan istilah *fracture* atau perpatahan. Perpatahan yang sangat berbahaya adalah patah getas. Hal ini sering terjadi pada bahan yang getas dan keras. Kegagalan patah getas akan terjadi secara tiba-tiba tanpa ada tanda-tanda pada komponen tersebut. Suatu bagian dapat dikenakan berbagai macam kondisi pembebanan termasuk tegangan berfluktuasi, regangan berfluktuasi, temperatur berfluktuasi (*fatigue thermal*), atau dalam kondisi lingkungan *korosif* atau temperatur tinggi.

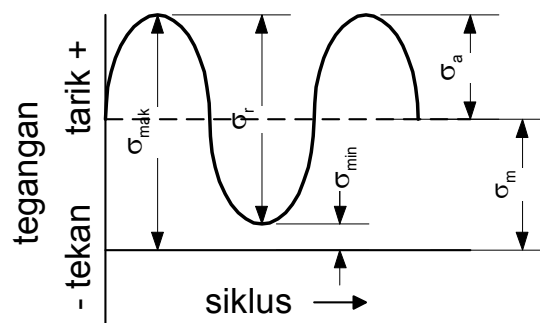
Kebanyakan kegagalan pemakaian terjadi sebagai akibat tegangan-tegangan tarik Tiga jenis siklus tegangan yang umum terjadi diperlihatkan pada gambar berikut:

1. Pembalikan sempurna dimana *fluktuasi* tegangan berkisar suatu rata-rata (*mean*) nol dengan amplitudo konstan



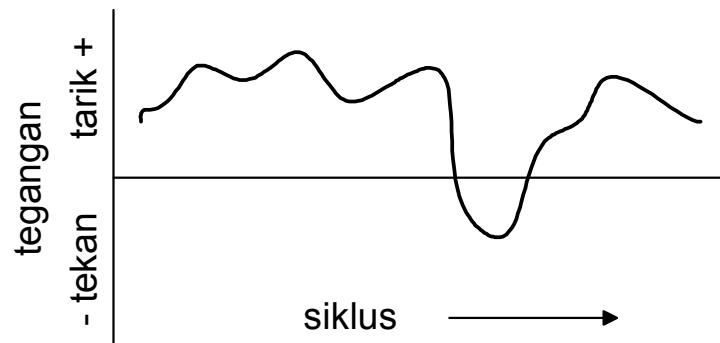
Gambar 4. Pembalikan sempurna dan konstan tegangan pada titik nol (asrikin. 2011)

2. Pengulangan dimana *fluktuasi* tegangan berkisar suatu rata-rata (*mean*) tidak sama dengan nol tetapi dengan amplitudo konstan.



Gambar 5. Pembalikan sempurna dan konstan pada titik tidak nol (asrikin,2011)

3. Gambar dimana kedua pertukaran dan rata-rata beban berubah, bisa secara acak maupun berpola tertentu.



Gambar 6. Pembalikan dan tegangan tidak sempurna atau acak. (asrikin,2011)

*Fatigue* secara jelas menunjukkan akumulasi kerusakan melalui proses *crack propagation*, dimana proses tersebut tidak akan terjadi tanpa adanya *deformasi plastis* pada ujung *crack*. Sehingga apabila tegangan yang terjadi masih pada daerah elastis maka sebesar apapun tegangan tersebut tidak akan menyebabkan *crack propagation*. Penggunaan kekuatan material (*yield strength* ataupun *ultimate strength*) tidak cukup untuk menggambarkan kegagalan *fatigue* akibat beban dinamik, karena kekuatan material tersebut dapat berubah disekitar ujung *crack* akibat beban dinamik. Selain itu kekuatan material tersebut dapat berubah (bertambah atau berkurang kekuatannya) tergantung pada material dan sejarah manufakturnya. Oleh karena itu kekuatan material pada daerah dimana *propagation crack* terjadi berbeda dengan kekuatan keseluruhan material yang diperoleh dari hasil uji tarik.

Beberapa macam pendekatan telah dilakukan untuk menggambarkan kekuatan material pada daerah *crack*, salah satunya adalah dengan menggunakan persamaan *Manson-Coffin*.

$$\frac{\Delta\varepsilon}{2} = \frac{\sigma'_f}{E} (2N')^a + \varepsilon'_f (2N')^\alpha \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

$\Delta\varepsilon$  : Total Strain

$\sigma'_f$  : Tegangan di *fracture* dalam satu siklus, Pa

E : Modulus elastisitas material, Pa

$N'$  : Jumlah siklus yang akan terjadi sebelum terjadi kegagalan

$\varepsilon'_f$  : Koefisien keuletan *fatigue* (*true strain* berhubungan dengan *fracture* dalam satu siklus tegangan.

a : Eksponen kekuatan *fatigue*

$\alpha$  : Eksponen keuletan *fatigue*

Persamaan *Manson-Coffin* sulit untuk digunakan karena penentuan total strain,  $\Delta\varepsilon$  sangat sulit dilakukan dan *strain concentration factor* dalam daerah plastis (*plastic range*) tidak ditemukan di literature manapun. Keuntungan penggunaan persamaan *Manson-Coffin* adalah persamaan tersebut memberikan pengertian yang mendalam tentang sifat-sifat penting dalam penentuan kekuatan *fatigue*. Kekuatan memegang peranan sangat penting, dan hal ini memberikan kesimpulan bahwa sepanjang ada *cyclic plastic strain*, tidak masalah seberapa kecilnya, akhirnya akan terjadi kegagalan.

Kegagalan *fatigue* bermula prioritas terhadap permulaan suatu retak. Dengan pengulangan pembebanan yang terus terjadi (deformasi plastis) Mekanisme terjadinya kegagalan *fatigue* 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*.

#### C. Perpatahan akhir (*final fracture*)

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

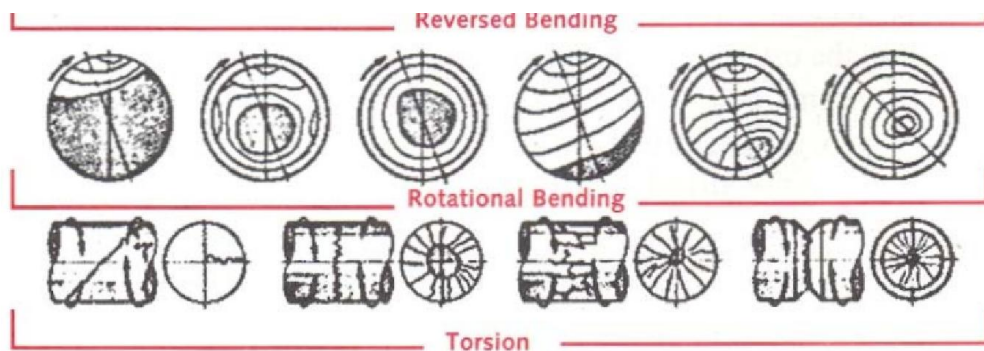
#### D. Faktor faktor yang mempengaruhi kekuatan lelah (uji *fatigue*)

Berikut adalah beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan lelah suatu material

1. Tegangan Siklik. Besarnya tegangan siklik tergantung pada kompleksitas geometri dan pembebanan.
2. Geometri. Konsentrasi stress akibat variasi bentuk geometri merupakan titik dimulainya *fatigue cracks*.
3. Kualitas permukaan. Kekasaran permukaan dapat menyebabkan konsentrasi *stress microscopic* yang menurunkan ketahanan *fatigue*
4. Tipe material. *Fatigue life* setiap material berbeda beda, contohnya komposit dan polymer memiliki *fatigue life* yang berbeda dengan metal.
5. Tegangan sisa. Proses manufaktur seperti pengelasan, pemotongan, casting dan proses lainnya yang melibatkan panas atau deformasi dapat membentuk tegangan sisa yang dapat menurunkan ketahanan *fatigue* material.
6. Besar dan penyebaran *internal defects*. Cacat yang timbul akibat proses casting seperti gas *porosity*, *non-metallic inclusions* dan *shrinkage voids* dapat menurunkan ketahanan *fatigue*.
7. Arah beban. Untuk non-isotropic material, ketahanan *fatigue* dipengaruhi oleh arah tegangan utama.

8. Besar butir. Pada umumnya semakin kecil ukuran butir akan memperpanjang *fatigue life*.
9. Lingkungan. Kondisi lingkungan yang dapat menyebabkan korosi, korosi dapat mempengaruhi *fatigue life*.
10. Temperatur. Temperatur tinggi menurunkan ketahanan *fatigue* material.

Dan berikut gambar pola skematik perpatahan *fatigue*



Gambar 7. Skematik pola patahan *fatigue rotary bending*

### G. Alat Uji *Fatigue*

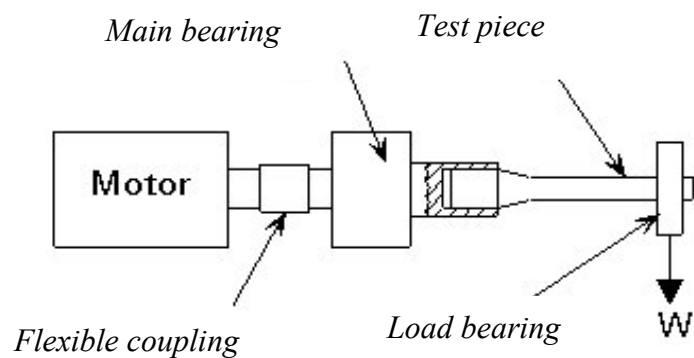
Alat uji *fatigue* diklasifikasikan menjadi beberapa jenis seperti yang di jelaskan berikut.

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

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

b. *Bending Fatigue Machines*

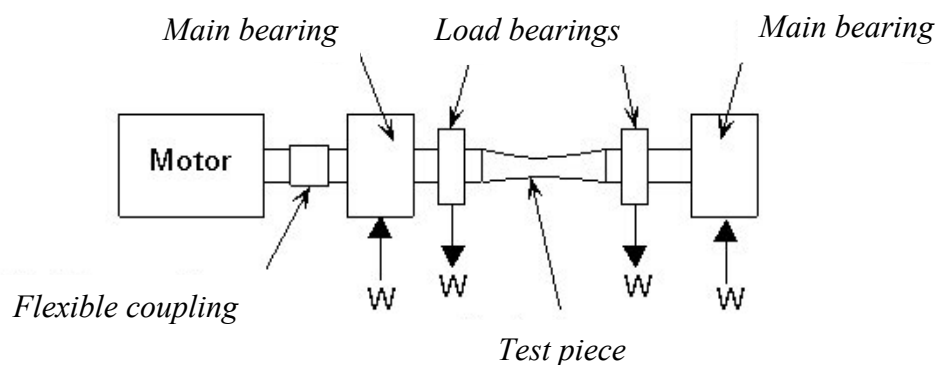
Dimana spesimen memiliki bagian yang mengecil baik pada lebar, tebal maupun diameternya, yang mengakibatkan bagian daerah yang diuji memiliki tegangan seragam hanya dengan pembebanan yang rendah dibandingkan lenturan yang seragam dengan ukuran bagian yang sama.



Gambar 8. *Cantiliver Type*

(Sumber : [www.twi-global.com](http://www.twi-global.com) , diakses pada 1 juni 2014)

Dan berikut skema gambar alat uji *fatigue* tipe *four point bending* dimana terdapat terdapat empat pembebanan yang diberlakukan

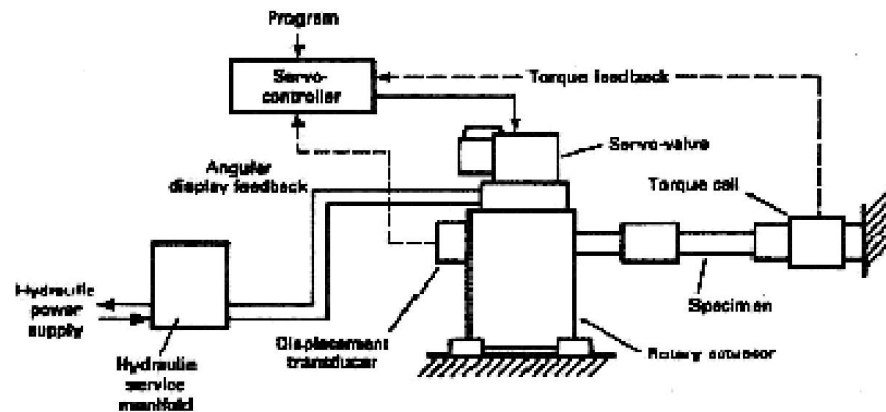


Gambar 9. *Four-point bending type*

(sumber : [www.twi-global.com](http://www.twi-global.com), diakses pada 1 juni 2014)

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 *Fatigue* akibat Torsi” yang dirancang khusus.



Gambar 10. *Torsional Fatigue Testing Machines* (Sastrawan, 2010)

d. *Special-Purpose Fatigue Testing Machines*

Dirancang khusus untuk tujuan tertentu. Dan merupakan modifikasi dari mesin pengujian fatigue yang sudah ada. Pengujian 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*.