

3100099010892

TUGAS AKHIR (NA 1701)

ANALISA  
PENGUNAAN KEMBALI POROS BEKAS  
DITINJAU DARI  
FRACTURE MECHANICS

RSPe  
620.1126  
Joe  
a-1  

---

1996



Oleh :

JOELIANTO  
NRP. 490.410.0338

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	02-04-96
Terima Oleh	H
No. Agenda Yrp.	6123

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

1996



**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS**

**SURAT KEPUTUSAN TUGAS AKHIR (NA 1701)**

No. : 35 /PT12.FTK2/M/199 5

Nama Mahasiswa : Joelianto .....  
Nomor Pokok : 4904100338 .....  
Tanggal diberikan tugas : 21 September 1995 .....  
Tanggal selesai tugas : 01 Maret 1996 .....  
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Soewify, M.Eng .....  
2. ....

Uraian / judul tugas akhir yang diberikan :

~~ANALISA RE USE (PENGGUNAAN KEMBALI) POROS BEKAS DITINJAU DARI FRACTURE MECHANICS~~

sOn

Surabaya, 28 Oktober 1995

Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS

Me Ketua,

Tembusan :

1. Yth. Dekan FTK-ITS.
2. Yth. Dosen Pembimbing.
3. Arsip.

Ir. Soejitno

NIP. 130 532 029



**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS**

**SURAT KEPUTUSAN TUGAS AKHIR (NA 1701)**

No. : 35 /PT12.FTK2/M/199 5

Nama Mahasiswa : Joelianto  
Nomor Pokok : 4904100338  
Tanggal diberikan tugas : 21 September 1995  
Tanggal selesai tugas : 01 Maret 1996  
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Seowefy, M.Eng.  
2. ....

**Uraian / judul tugas akhir yang diberikan :**

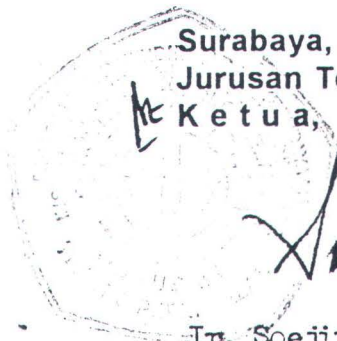
~~ANALISA RE USE (PENGUNAAN KEMBALI) POROS BEKAS DITINJAU DARI FRACTURE MECHANICS~~

son

Surabaya, 28 Oktober 1995

Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS

Ketua,



Ir. Soejitno

NIP. 130 532 029

**Tembusan :**

1. Yth. Dekan FTK-ITS.
2. Yth. Dosen Pembimbing.
3. Arsip.

## LEMBAR PENGESAHAN



Surabaya, 7 Maret 1996

Mengetahui/Menyetujui

Dosen Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Soe', with a long horizontal line extending to the right.

Ir. SOEWEIFY, M.Eng  
Nip. 130 368 597



## Abstrak

Indikasi dari suatu material yang mendapatkan pembebanan berulang salah satunya adalah berubahnya struktur mikronya. Konsekuensi dari hal ini, sifat mekanisnya juga mengalami perubahan misalnya kekerasannya. Indikasi lainnya adalah terjadinya kelelahan dan apabila pembebanan berulang terus terjadi, sangat mungkin untuk terjadi kegagalan yang disebut kegagalan kelelahan yang diawali dengan terjadinya retak.

Untuk mendisain suatu struktur dengan spesifikasi tertentu harus menggunakan suatu aturan yang didalam aturan tersebut pasti terdapat standar-standar yang harus di penuhi. Tak terkecuali untuk mendisain suatu poros baling-baling. Permasalahan tidak akan menjadi terlalu kompleks apabila yang digunakan adalah poros baru, karena spesifikasi poros tersebut sudah jelas diketahui. Sedangkan untuk poros bekas yang akan digunakan kembali permasalahan akan menjadi sangat kompleks. Hal ini disebabkan akibat pembebanan berulang selama poros tersebut digunakan menjadikan spesifikasi poros bekas tersebut tidak jelas. Oleh karena itu perlu dilakukan analisa terhadap sifat mekanisnya dengan melakukan beberapa pengujian untuk memperjelas spesifikasinya.

Dari analisa hasil pengujian dapat diketahui kelayakan poros bekas tersebut untuk digunakan kembali. Berdasarkan analisa juga dapat diketahui apa yang harus dilakukan untuk menghidupkan kembali kelayakannya. Tentu saja semua itu harus disesuaikan dengan standar dari peraturan yang berlaku.

## Kata Pengantar

Tiada yang pantas diucapkan selain ucap syukur Alhamdulillahirobbil 'alamin, puji syukur kehadirat Allah SWT atas terselesaikannya penulisan tugas akhir ini. Tugas akhir dengan judul Analisa Penggunaan Kembali Poros Bekas Ditinjau Dari Fracture Mechanics adalah sebagai salah satu prasyarat dalam menyelesaikan studi di jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS.

Dengan ini saya selaku penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ibu, Bapak serta saudara-saudaraku yang telah memberikan dorongan materiil maupun moril dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan ini.
2. Bapak Ir. Soejitno dan Bapak Ir. Ahmad Zubaydi, M.Eng. selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Perkapalan, FTK ITS.
3. Bapak Ir. Soeweify, M.Eng. selaku dosen pembimbing tugas akhir, yang telah memberikan bimbingan, saran dan petunjuk dalam menyelesaikan penelitian dan tulisan ini.
4. Bapak Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin FTI ITS beserta Ketua Laboratorium Metalurgi dan seluruh stafnya yang telah memberikan ijin untuk mengadakan percobaan di laboratorium metalurgi.
5. Direktur Politeknik Perkapalan dan teknisi laboratorium material test, Bapak M. Thoriq, yang telah memberikan ijin dan bantuan dalam

melakukan percobaan dan pemotretan di bawah mikroskop di laboratorium material test.

6. Bapak Ir. Heri Soepomo Msc. selaku Ketua Laboratorium Produksi beserta seluruh stafnya terutama Mas Hardiman yang telah memberikan bantuan untuk pembuatan specimen uji.
7. PT. PAL Indonesia beserta seluruh staf terutama di bengkel mesin dan pemeliharaan yang telah memberikan bantuan data berupa material poros bekas.
8. Rekan Dadang Bagus Nugroho yang telah memberikan bantuan fasilitas transportasi untuk pencarian data.

Sebagai penutup, disini penulis menyadari bahwa tulisan dan hasil penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis senantiasa mengharapkan kritik dan saran yang membangun sehingga dapat mengembangkan hasil penelitian dan tulisan ini. Semoga tulisan ini berguna bagi kita semua.

Surabaya, Maret 1996

Penulis



## Daftar Isi

Abstrak.....	vi
Kata Pengantar .....	vii
Daftar Isi .....	ix
Daftar Notasi .....	xii
Daftar Gambar. ....	xiv
Daftar Tabel .....	xv
Daftar Grafik .....	xvi
Bab I Pendahuluan.....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Batasan Permasalahan .....	3
1.3. Metodologi Pemecahan Masalah .....	4
1.4. Tujuan Penulisan .....	5
1.5. Manfaat .....	5
Bab II Pembebanan Pada Poros Baling-baling .....	8
2.1. Pembebanan Oleh Baling-baling .....	8
2.2. Pembebanan Torsional .....	10
2.3. Pembebanan Akibat Gaya Dorong ( thrust loads ) .....	11
2.4. Distribusi Tegangan Akibat Pembebanan-pembebanan Pada Poros.....	13
2.4.1. Distribusi Tegangan Akibat Pembebanan oleh Baling-baling .....	13
2.4.2. Distribusi Tegangan Akibat Pembebanan Torsional .....	14
2.4.3. Distribusi Tegangan Akibat Gaya dorong .....	15



2.5. Jenis Kelelahan Pada Poros Baling-baling .....	16
2.5.1. Kelelahan Rotating Bending .....	16
2.5.2. Kelelahan Torsional .....	17
Bab III Kelelahan Material Poros .....	18
3.1. Terjadinya Kelelahan .....	18
3.2. Mekanisme Kelelahan .....	21
3.2.1. Retak Mikro Awal .....	21
3.2.2. Perambatan Retak dan Striation .....	22
3.3. Faktor Intensitas Tegangan .....	24
3.4. Pembebanan Gabungan .....	28
3.5. Umur Kelelahan .....	31
3.5.1. Perambatan Retak Fatigue .....	31
3.6. Pengaruh Besar Pembebanan Berulang Terhadap Proses Kelelahan ....	33
Bab IV Pengaruh Pembebanan Berulang Terhadap Kekerasan Poros .....	35
4.1. Strain Hardening .....	35
4.2. Mekanisme Strain Hardening .....	36
4.3. Fenomena Strain Hardening Pada Proses Terjadinya Kelelahan .....	39
Bab V Prosedur Dan Pelaksanaan Percobaan .....	41
5.1. Marterial .....	41
5.2. Persiapan Uji Kekerasan .....	42
5.3. Prosedur Pengujian .....	42
5.4. Persiapan Uji Kelelahan .....	43

5.5. Prosedur Pengujian .....	44
5.6. Perhitungan Beban .....	44
5.7. Pelaksanaan Percobaan .....	46
5.7.1. Uji Kekerasan .....	46
5.7.2. Uji Kelelahan .....	47
5.8. Hasil Pengamatan/Percobaan Uji Kekerasan dan Uji Kelelahan .....	48
Bab VI Pegolahan Dan Analisa Data .....	50
6.1. Penghitungan Kekerasan .....	50
6.2. Perhitungan Kuat Tarik .....	52
6.3. Perhitungan Tegangan .....	58
6.4. Analisa Kekuatan Tarik .....	59
6.4. Analisa Pengaruh Kekerasan Terhadap Usia Kelelahan .....	60
Bab VII Kesimpulan Dan Saran .....	61
7.1. Kesimpulan .....	61
7.2. Saran .....	62
Lampiran .....	63

## Daftar Notasi

$a$	= panjang retak
$a_0$	= panjang retak awal
$D$	= diameter
$d$	= diameter sisa
$da/dN$	= laju perambatan retak
$K_i$	= faktor intensitas tegangan mode $i$ ( $i = I, II, III$ )
$K_{ieq}$	= faktor intensitas tegangan mode gabungan
$\Delta K$	= range faktor intensitas tegangan
$K_{Ic} = K_0$	= fracture toughness
$K_t$	= faktor konsentrasi tegangan
maks	= maksimum
min	= minimum
$c$	= koefisien formula Paris-Erdogan
$m$	= konstanta eksponen formula Paris-Erdogan
$f$	= frekwensi pembebanan
$N$	= jumlah cycle
$E$	= modulus Young
$W$	= modulus penampang
$I$	= momen inerti penampang
$\alpha$	= koreksi geometri retak

- $\sigma$  = tegangan
- $\tau$  = tegangan geser
- $\Delta\sigma$  = range tegangan
- $\sigma_y$  = tegangan yield
- $\sigma_{ut}$  = tegangan ultimate
- $\nu$  = angka Poisson
- $\theta$  = sudut arah perambatan retak
- $\sigma_0$  = tegangan nominal
- $\sigma_1$  = tegangan pada takikan



## Daftar Gambar

- 2.1. Variasi angle of attack dalam satu putaran propeller
- 2.2. Variasi beban pada poros
- 2.3. Distribusi tegangan akibat beban alternating bending
- 2.4. Distribusi tegangan akibat pembebanan torsional
- 2.5. Distribusi tegangan akibat beban alternataing thrust
- 2.6. Penampang rotating bending fatigue
- 3.1. Striation pada perambatan retak
- 3.2. Dua bagian kegagalan kelelahan
- 3.3. Model Wood untuk retak awal dalam suatu deret slip
- 3.4. Dua sistem slip
- 3.5. Dua model microplasticity dan striation
- 3.6. Tiga mode pembukaan retak
- 3.7. Batang silinder dengan takikan
- 3.8. Grafik hubungan antara panjang retak dan  $\Delta K$  dalam log
- 3.9. S-N diagram
- 4.1. Struktur atom fcc
- 4.2. Uji tarik specimen single kristal
- 4.3. Proses pemuluran specimen
- 5.1. Specimen uji fatigue

## Daftar Tabel

- 2.1. Harga torsi untuk jumlah daun propeller berbeda
- 5.1. Hasil pengukuran diagonal indentation
- 5.2. Hasil pengukuran diameter retak dan N cycle patah fatigue
- 6.1. Perhitungan kekerasan
- 6.2. Tabel persamaan kekuatan tarik dan kekerasan
- 6.3. Konversi kekerasan vickers dan kuat tarik

## Daftar Grafik

6.1. Grafik kekerasan versus radius

# Bab I

## Pendahuluan

### 1.1. Latar belakang

Material yang telah digunakan untuk suatu pekerjaan tertentu dalam suatu kurun waktu akan mengalami kelelahan dengan indikasi yang beragam. Sama halnya dengan poros propeller akan juga mengalami kelelahan. Hal ini disebabkan pada saat bekerja poros mengalami pembebanan. Indikasi kelelahan yang paling sering terjadi dan dialami poros propeller adalah retak. Bila telah terjadi demikian bisa dipastikan pihak klasifikasi akan meminta pemilik kapal untuk menggantinya. Poros bekas tersebut banyak ditemui di galangan-galangan dan dibiarkan begitu saja. Sebenarnya apabila dikehendaki poros propeller bekas tersebut dapat digunakan kembali, yang tentunya harus melalui treatment tertentu.

Kelelahan yang dialami poros propeller bekas sangat berpengaruh pada ketahanan ( endurance ) nya pada saat digunakan kembali. Karena pertimbangan tersebut maka dipandang perlu untuk melakukan treatment dan pengujian tertentu untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kelelahan yang dialaminya terhadap fatigue life poros propeller tersebut saat digunakan kembali. Hal ini penting untuk menghindari kemungkinan terburuk yang mungkin terjadi pada waktu operasi karena tidak diketahuinya kondisi sebenarnya dari poros bekas tersebut.



Seperti telah diketahui bahwa poros propeller merupakan salah satu bagian terpenting dari elemen penggerak kapal. Daya yang dihasilkan mesin induk disalurkan ke propeller oleh poros sehingga dihasilkan daya dorong. Propeller yang bekerja dalam fluida dengan kedalaman dan kekentalan tertentu mengakibatkan berbagai beban yang diterima poros. Pembebanan ini berlangsung selama poros tersebut berputar sehingga disebut beban berulang ( repeated loading ). Pembebanan berulang inilah yang menyebabkan kelelahan pada poros yang sangat mungkin nantinya akan menyebabkan kegagalan kelelahan ( fatigue failure ), yang tentunya akan mengganggu operasi kapal. Fatigue life poros harus diperkirakan sehingga dapat ditentukan kelayakan penggunaannya kembali.

Kelelahan akibat pembebanan berulang yang diterima poros propeller pada saat operasi sebelumnya akan berpengaruh terhadap fatigue life poros tersebut pada saat digunakan kembali. Fatigue life dari poros bekas tersebut tentunya lebih singkat bila dibanding poros baru karena sebelumnya telah mengalami kelelahan. Dalam tugas akhir ini akan dijelaskan pengaruh kelelahan yang dialami poros bekas terhadap fatigue lifenya dan pengaruh pebebanan berulang terhadap sifat mekanis material poros dengan menggunakan pendekatan mekanika kepecahan ( fracture mechanics ) dan dengan eksperimen pada suatu material poros bekas.

Material yang digunakan untuk speciment percobaan dalam tugas akhir ini diambil dari material poros propeller bekas yang terdapat di galangan. Pada tugas akhir ini percobaan kelelahan yang dilakukan adalah dengan menggunakan pembebanan rotating bending pada speciment material poros. Hal ini disebabkan pembebanan rotating bending adalah yang dominan dalam penentuan usia kelelahan

suatu poros. Alasan lain dari pemilihan percobaan hanya dengan rotating ini, adalah karena fasilitas yang terbatas pada pengujian kelelahan. Sedangkan percobaan untuk mengetahui sifat mekanis material poros digunakan uji kekerasan vickers.

## **1.2. Batasan Permasalahan**

Untuk memungkinkan penelitian tugas akhir ini maka perlu dibuat batasan-batasan permasalahan sebagai berikut :

1. Pembebanan ditentukan berdasarkan yield stress material yang digunakan dalam percobaan dan masih dalam batas elastisitas sehingga hukum Hooke berlaku.
2. Dianggap tidak ada tegangan sisa ( residual stress ) akibat pengerjaan pada specimen.
3. Jenis pembebanan pada uji kelelahan yang digunakan adalah pembebanan dinamis rotating bending dengan amplitudo konstan.
4. Kondisi tegangan adalah plane strain.
5. Kondisi specimen uji dianggap mewakili kondisi poros secara keseluruhan terutama di bagian radius terluar poros.
6. Pertumbuhan retak berjalan stabil ( stable crack growth rate ).

### **1.3. Metodologi Pemecahan Masalah**

Metode yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan adalah metode analisis dan eksperimen.

Analisis didasarkan pada studi literatur dilakukan untuk :

1. Mengetahui pembebanan yang terjadi pada poros propeller yang sedang bekerja.
2. Memperkirakan distribusi tegangan yang dialami poros bekas ditinjau terhadap penampang lintangnya.
3. Mengetahui pengaruh distribusi tegangan terhadap usia kelelahan pada daerah tegangan yang berbeda.
4. Mengetahui mode kelelahan yang mungkin terjadi.
5. Mengetahui pengaruh distribusi tegangan terhadap sifat mekanis material poros pada daerah tegangan yang berbeda.

Sedangkan metode eksperimen adalah sebagai berikut :

Speciment uji kelelahan diambil dari bagian tengah/pusat poros dan bagian tepi terluar yang bertujuan untuk :

1. Membandingkan N ( cycle ) patah masing-masing bagian tersebut.
2. Mengetahui hubungan N dari kedua bagian tersebut.



Sedangkan untuk uji kekerasan dilakukan pengujian pada penampang melintang poros dari tepi ke tepi sisi yang berlawanan melalui pusat poros yang bertujuan untuk:

1. Mengetahui adanya fenomena pengerasan ( strain hardening ) sepanjang radius poros.
2. Mengetahui perbedaan sifat mekanis sepanjang radius poros.

#### **1.4. Tujuan Penulisan**

Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk :

1. Memperkirakan apakah poros bekas masih memenuhi syarat untuk digunakan kembali.
2. Memperkirakan pengecilan diameter poros bekas sehingga dapat digunakan kembali.

#### **1.5. Manfaat**

Dari penelitian tugas akhir ini maka dapat diambil manfaat sebagai berikut :

1. Dapat memperhitungkan kelayakan poros propeller bekas.
2. Dapat menentukan treatment apa yang harus dilakukan dalam penggunaan kembali poros propeller bekas.



sehingga dengan hasil percobaan tersebut memungkinkan untuk digunakan sebagai judgement penggunaan kembali (re-use) poros bekas oleh praktisi di galangan.

## Bab II

### Pembebanan Pada Poros Baling-Baling

Secara umum kriteria dalam perencanaan suatu konstruksi adalah berdasarkan kekuatan. Seberapa besar kemampuan atau kekuatan konstruksi tersebut menerima beban-beban yang diperhitungkan akan diterima saat konstruksi tersebut digunakan merupakan pertimbangan utama. Dengan tanpa mengabaikan faktor keamanan ( safety faktor ) sebagai faktor yang mutlak harus disertakan dalam perhitungan akan terciptalah suatu konstruksi yang bisa digunakan sekaligus bisa dijamin keamanannya. Hal serupa tentunya berlaku juga untuk perencanaan poros baling-baling. Agar dapat merencanakan sebuah poros baling-baling yang handal, sehingga nantinya mampu untuk menerima beban-beban yang diterimanya, mutlak harus diketahui lebih dulu jenis dan besar beban-beban tersebut.

Pada poros baling-baling yang sedang bekerja akan menerima berbagai jenis beban, baik berupa beban tetap ( steady loads ) atau beban yang berubah-ubah (alternating loads)<sup>1</sup>. Beban-beban tersebut menimbulkan berbagai tegangan, seperti tegangan geser torsional, tegangan aksial thrust, dan tegangan bending pada poros. Dan selain itu juga terdapat tegangan tekan antara poros dengan elemen-elemen yang terpasang pada poros (misal antara poros dengan baling-baling) yang jika digabung dengan regangan aksial akibat tegangan bending akan merupakan titik awal terjadinya kelelahan ( fatigue raiser ).

<sup>1</sup> L. Harington, Roy, ' Matine Engineering ', 1992

Untuk poros baling-baling bekas yang telah sekian lama menerima beban-beban tersebut tentunya telah mengalami suatu kelelahan pada tingkat tertentu atau minimal terjadi perubahan terhadap sifat-sifat mekanisnya (misal kekerasannya). Sehingga penggunaan kembali poros baling-baling bekas harus juga mempertimbangkan kemampuan atau kekuatannya dalam menerima beban-beban saat dioperasikan berdasarkan perubahan sifat-sifat mekanis dan kelelahan yang mungkin telah dialami poros bekas tersebut.

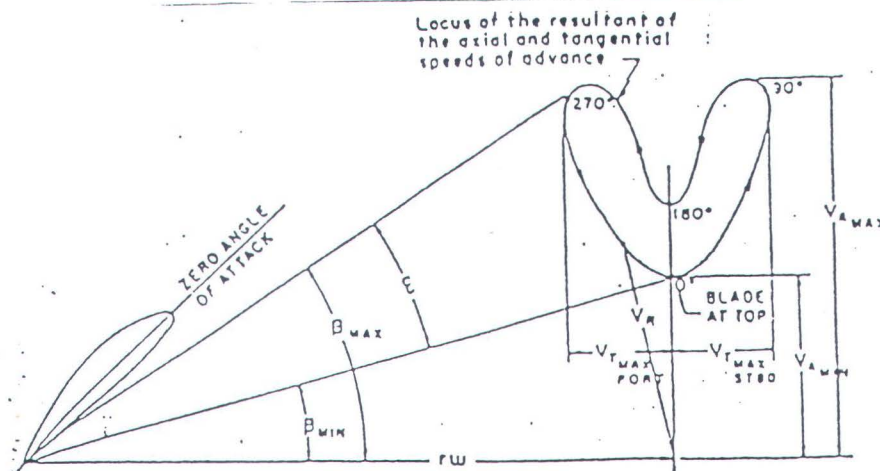
### **2.1. Pembebanan oleh baling-baling**

Baling-baling sebagai elemen utama yang menempel pada poros merupakan salah satu sumber beban utama pada suatu sistem poros. Secara umum, gaya berat baling-baling akan menimbulkan tegangan bending pada poros. Tiap-tiap daun baling-baling akan menghasilkan tegangan bending yang berubah-ubah (alternating bending), yang akan menyebabkan fluktuasi beban yang diterima oleh sistem poros tersebut.

Disamping adanya tegangan alternating bending akibat gaya berat daun baling-baling, ketidakuniforman arus ikut (wake) yang masuk pada piringan baling-baling (propeller disk) merupakan salah satu sumber penting yang menimbulkan beban yang berubah-ubah (alternating loads). Variasi kecepatan air yang masuk ke dalam baling-baling akan mengakibatkan perubahan angle of attack sehingga menimbulkan gaya hidrodinamis yang berubah-ubah pula terhadap poros.



Gambar 2.1 menunjukkan kecepatan aksial ( $V_a$ ), kecepatan tangensial ( $V_t$ ) dan kecepatan air yang masuk ke bidang baling-baling pada suatu kapal dengan baling-baling tunggal. Komponen tangensial simetri pada kedua sisi tegak centerline kapal. Kecepatan tangensial akan cenderung menunjukkan bahwa efek yang ditimbulkannya adalah uniform, padahal pada kenyataannya tidaklah demikian.

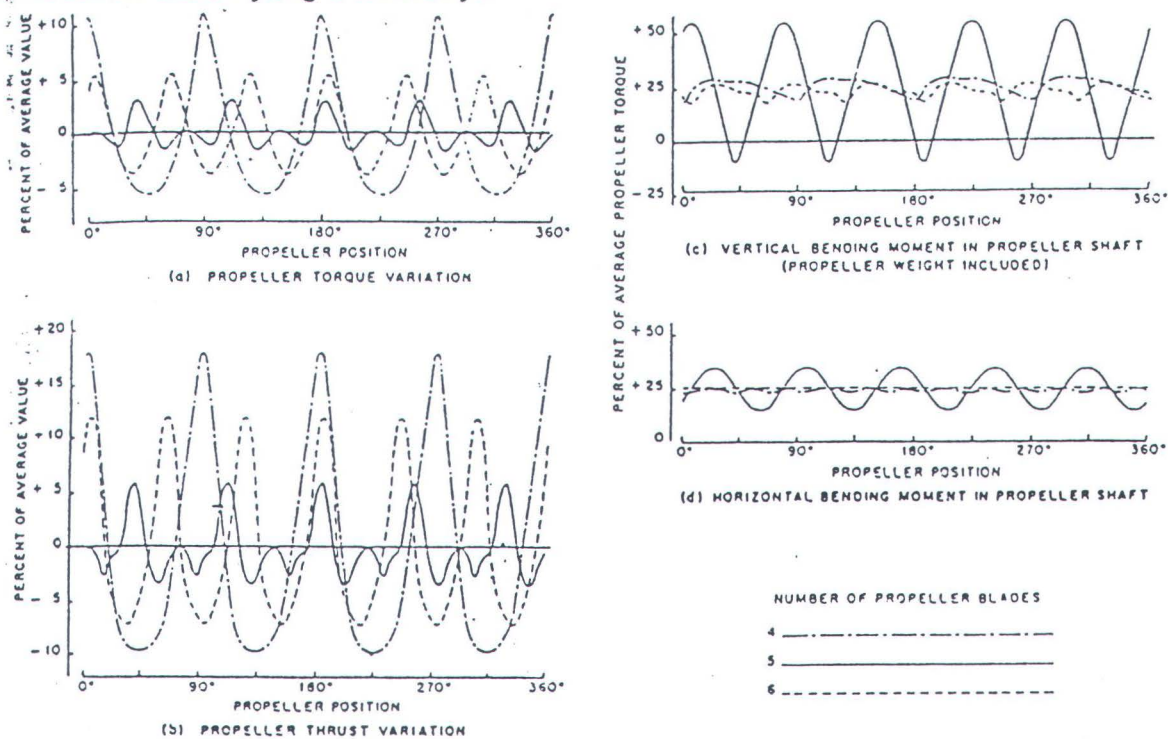


Gambar 2.1 Variasi angle of attack dalam satu putaran

Pada kapal dengan putaran baling-baling searah jarum jam dalam menghasilkan gaya dorong, maka komponen-komponen kecepatan tangensial akan mengubah pusat gaya dorong baling-baling ke sisi kiri baling-baling. Pergeseran pusat gaya dorong ( thrust ) ini akan menghasilkan tambahan bending momen pada poros baling-baling.

Gambar 2.2 menunjukkan bahwa kapal berbaling-baling tunggal dengan empat atau enam daun ( berdaun genap ) mempunyai variasi torsi dan aksial thrust lebih besar dibanding kapal berbaling-baling tunggal dengan lima daun baling-baling atau yang berdaun baling-baling ganjil. Akan tetapi dalam gambar juga dapat dilihat

bahwa momen bending poros kapal yang berdaun baling-baling lima ( berdaun ganjil ) jauh lebih besar dibanding yang berdaun genap. Hal ini disebabkan pada saat daun baling-baling melewati daerah yang kecepatan alirannya rendah ( wake besar ) tidak diimbangi dengan daun yang lainnya. Berbeda dengan yang berdaun genap, pada saat daun baling-baling melewati daerah yang kecepatan alirannya rendah akan diimbangi oleh daun pada sisi yang berlawanan sehingga secara simultan saling meniadakan beban yang diterimanya.



Gambar 2.2 Variasi beban pada poros

## 2.2. Pembebanan torsional

Beban-beban torsional yang diterima oleh suatu sistem poros yang menghasilkan tegangan torsional ( berupa tegangan geser ) dapat dihitung dari



output mesin induk. Bila output kekuatan penuh poros disimbulkan H dan putaran mesin induk disimbulkan N, maka beban torsional tetap yang diterima poros adalah sebagai berikut :

$$Q = \frac{630,25H}{N} \frac{in}{lb}$$

dengan H : HP motor induk ; N : RPM motor induk

Beban torsional yang berubah-ubah ( alternating torsional loads ) timbul sebagai akibat baling-baling yang melewati daerah arus ikut yang tidak uniform ( ununiform wake field ). Harga torsi yang berubah-ubah ini dapat dilihat dalam tabel 2.1.

No. of Propeller Blade	Torque excitation factor, r		
	3	4	5
Single screw vessel	0.07-0.12	0.10-0.15	0.06-0.10
Twins screw vessel with struts	0.02-0.05	0.02-0.05	0.02-0.04
Twins screw vessel with	0.04-0.08	0.04-0.06	0.04-0.05

Notes: Excitation Torqe = rQ, Where Q = mean torque

Tabel 2.1.

### 2.3. Pembebanan akibat gaya dorong ( thrust loads )

Harga dari gaya dorong pada suatu poros sebanding dengan besarnya tahanan kapal. Harga ini dikoreksi dengan pengaruh interaksi antara baling-baling dan

lambung pada saat baling-baling mendorong kapal. Pengaruh interaksi ini dikenal sebagai thrust deduction factor. Bila thrust disimbulkan T dan R merupakan tahanan kapal maka beban yang dialami oleh poros adalah sebagai berikut :

$$T = \frac{R}{1-t}$$

dengan t = thrust deduction factor.

Harga beban gaya dorong ini akan berubah-ubah, tergantung pada frekuensi rata-rata daun baling-baling ( Blade Rate Frequency ) sebagai akibat dari ketidakuniforman arus ikut. Besar beban gaya dorong ini juga dipengaruhi oleh jumlah daun baling-baling yang terpasang. Pada kapal dengan jumlah daun baling-baling genap akan lebih besar bila dibandingkan dengan yang berdaun baling-baling ganjil. Dalam tahapan awal desain ( preliminary design ) maka besar beban thrust ini dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Excitation thrust} = f T$$

T = Thrust rata-rata;

f = thrust excitation factor

Untuk kapal dengan baling-baling tunggal maka harga thrust excitation factor adalah sebagai berikut :

3 daun	0.08 - 0.12
4 atau 5 daun	0.03 - 0.08

## **2.4. Distribusi tegangan akibat pembebanan-pembebanan pada poros**

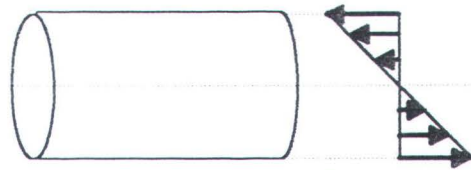
Adalah penting untuk mengetahui distribusi tegangan yang dialami poros baling-baling, sehingga akan dapat dianalisa pada bagian mana poros mengalami tegangan maksimum dan minimum. Dengan diketahuinya bagian-bagian tersebut terutama pada bagian yang tegangannya maksimum dapat diprediksi bagian mana yang mengalami kelelahan maksimal. Hal ini penting sebagai salah satu faktor utama dalam memperkirakan tingkat kelelahan yang dialami poros bekas.

### **2.4.1. Distribusi tegangan akibat pembebanan oleh baling-baling**

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa akibat gaya berat baling-baling akan menimbulkan tegangan alternating bending pada poros. Disamping itu ketidakuniforman arus ikut ( wake ) yang masuk pada putaran baling-baling akan menimbulkan gaya alternating hidrodinamis pada sistem poros. Komponen-komponen kecepatan tangensial pada kapal dengan arah putar baling-baling searah jarum jam dalam menghasilkan gaya dorong akan mengubah pusat gaya dorong baling-baling ke sisi kiri baling-baling yang hal ini tentunya menimbulkan tegangan alternating bending. Karena poros dalam operasinya adalah berputar dengan frekwensi tertentu maka tegangan alternating bending tersebut akan menimbulkan tegangan tarik dan tegangan tekan pada sisi yang berlawanan. Tegangan tarik dan tegangan tekan tersebut akan berharga maksimal pada bagian tepi poros dan berharga minimal ( nol )



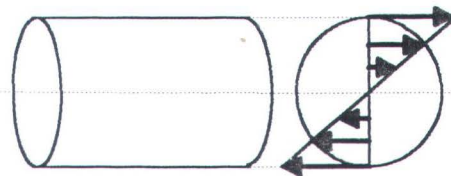
pada pusat poros. Bentuk distribusi tegangan tarik dan tegangan tekan pada suatu bagian poros dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gbr.2.3  
Distribusi tegangan akibat beban alternating bending

#### 2.4.2. Distribusi tegangan akibat pembebanan torsional

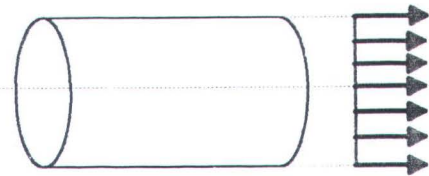
Tegangan torsional yang berupa tegangan geser adalah akibat dari pembebanan torsional yang diterima poros. Seperti halnya dengan tegangan tarik dan tegangan tekan yang timbul akibat pembebanan oleh baling-baling tegangan geser torsional yang dialami poros berharga maksimal pada bagian tepi dan berharga minimal ( nol ) pada pusatnya. Distribusi tegangan geser ini dapat dilihat pada penampang melintang poros seperti pada gambar 2.4.



Gbr.2.4.  
Distribusi tegangan akibat pembebanan torsional

### 2.4.3. Distribusi tegangan akibat gaya dorong

Akibat gaya dorong ( thrust ) yang dihasilkan oleh mesin induk akan menimbulkan tegangan aksial pada poros baling-baling. Berputarnya baling-baling pada daerah arus ikut yang tidak uniform mengakibatkan gaya dorong selalu berubah-ubah ( alternating thrust ). Gaya dorong tersebut akan menimbulkan tegangan aksial pada sistem poros baling-baling. Pada gambar 2.5 dapat dilihat distribusi dari tegangan aksial akibat gaya dorong kapal.



Gbr.2.5.  
Distribusi tegangan akibat  
beban alternating thrust

Apabila distribusi tegangan-tegangan tersebut digabung akan nampak bahwa perubahan sifat-sifat mekanis dan kelelahan yang mungkin dialami oleh poros bekas pada bagian tepi adalah yang terbesar, sebanding dengan besarnya tegangan yang dialami bagian tepi poros tersebut.

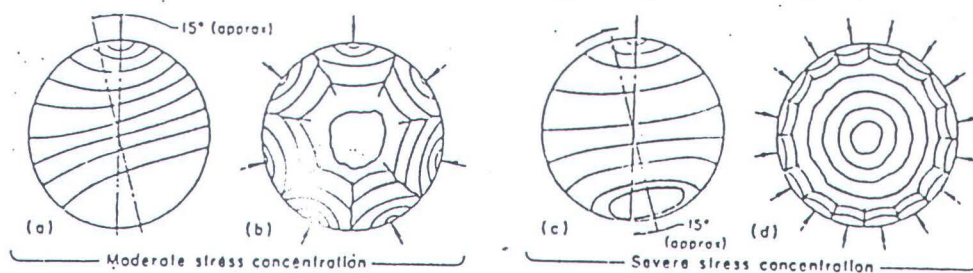


## 2.5. Jenis kelelahan pada poros baling-baling

### 2.5.1. Kelelahan rotating bending

Pembebanan alternating bending akan menyebabkan berbagai bentuk kelelahan. Tegangan bending yang dihasilkan akan menimbulkan tegangan tarik dan tegangan tekan pada sisi yang berlawanan. Jika fenomena ini terjadi dalam suatu struktur yang berputar maka setiap elemen pada benda tersebut akan mengalami tegangan positif dan negatif dengan frekuensi tertentu. Bentuk pembebanan seperti ini dikenal dengan rotating bending atau rotary bending. Disebabkan oleh hal tersebut, maka struktur dalam hal ini poros baling-baling mengalami kelelahan yang disebut kelelahan rotating bending.

Penampang makroskopis dari suatu batang yang mengalami kelelahan rotating bending dapat dilihat pada gambar 2.6. Bentuk ini mempunyai kesamaan dengan yang ditampilkan oleh patahan akibat pembebanan geser torsional.



Gambar 2.6 Penampang rotating bending fatigue

### 2.5.2. Kelelahan torsional

Retak kelelahan akibat pembebanan torsional menunjukkan kesamaan dengan yang dihasilkan oleh kelelahan rotating bending. Elemen pemicu tegangan yang terletak secara memanjang/logitudinal merupakan daerah berbahaya untuk terjadinya retak kelelahan torsional. Akibatnya, lubang spee ( key way ) dapat menjadi daerah awal terjadinya kelelahan torsional.

Retak kelelahan torsional akan berawal pada daerah yang mempunyai tegangan geser maksimum. Retak yang terjadi pada umumnya membentuk sudut  $45^{\circ}$  terhadap sumbu poros. Jika dikaitkan dengan jenis pembukaan dan perambatan retak maka kelelahan ini termasuk dalam mode III\*

## BAB III

### Kelelahan Material Poros

#### 3.1. Terjadinya Kelelahan

Telah disinggung dalam bab sebelumnya bahwa kelelahan ( fatigue ) suatu material adalah suatu kegagalan struktur yang diakibatkan oleh tegangan atau regangan berulang ( repeted stress or strain ). Satu beban tunggal mungkin tidak akan berbahaya atau minimal menimbulkan kegagalan suatu struktur karena masih dibawah kekuatan statik material bila hanya terjadi sekali. Akan tetapi bila beban tersebut berulang terus-menerus kegagalan kelelahan ( fatigue failure ) dapat terjadi. Kelelahan merupakan suatu mode kegagalan yang harus dipertimbangkan dalam mendisain suatu struktur karena struktur tersebut akan menerima banyak sekali beban berulang selama dioperasikan.

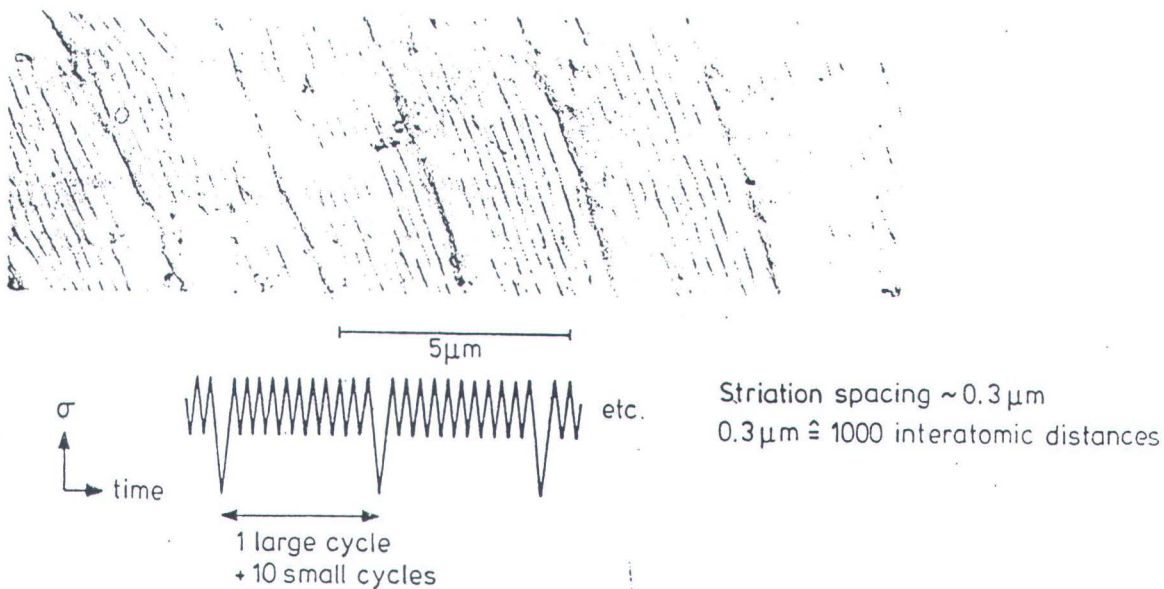
Kelelahan umumnya ditandai dengan timbulnya retak awal ( initiation crack ) pada daerah dengan faktor konsentrasasi tegangan ( SCF ) terbesar pada permukaan dengan tegangan tertinggi. Yang kemudian dilanjutkan dengan merambatnya retak tersebut sampai terjadi struktur mengalami kegagalan ( final failure ). Dimana faktor yang mempengaruhi perambatan retak adalah faktor intensitas tegangan ( SIF ) pada ujung retak.



Secara umum proses terjadinya kelelahan dapat dibagi dalam tiga tahap sebagai berikut :<sup>1</sup>

1. Pembentukan retak awal ( crack initiation )
2. Perambatan retak sampai penampang yang tidak retak menjadi lemah untuk menerima beban ( crack propagation )
3. Kegagalan akhir, yaitu pecah kelelahan ( fatigue fracture ) yang terjadi secara tiba-tiba pada penampang yang tersisa.

Tahap pertama dan kedua merupakan tahapan yang menjadi perhatian utama dalam pertimbangan untuk mendisain suatu struktur. Karena untuk kedua tahap awal tersebut masih memungkinkan untuk diadakan perekayasaan sehingga kontrol terhadap kegagalan dapat dilakukan. Sedangkan untuk tahap ketiga tidak mungkin dilakukan pengontrolan karena tidak bisa dicegah lagi.



Gambar 3.1

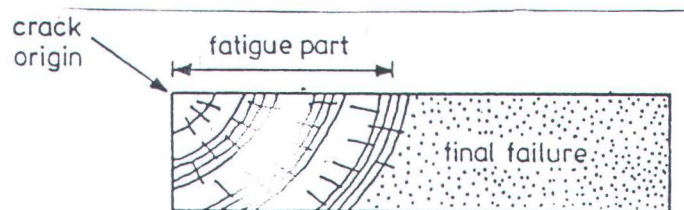
Striation pada perambatan retak

<sup>1</sup> ASM Hand Book Committee, 'Failure Analysis and Prevention', 1975



Dengan menggunakan fractographi, jalannya perambatan retak dari retak awal sampai terjadinya kegagalan akhir dapat dilihat dari striation/beach mark (gambar 3.1) yang terjadi.

Dari striation-striation ini maka, panjang retak ( $d_a$ ) untuk cycle pembebanan tertentu ( $dN$ ) dapat dilihat. Kegagalan kelelahan ( fatigue failure ) terdiri dari dua bagian (gambar 3.2) yaitu, bagian kelelahan ( fatigue part ) yang ditandai dengan striation-striation dan bagian kegagalan akhir ( final failure ).



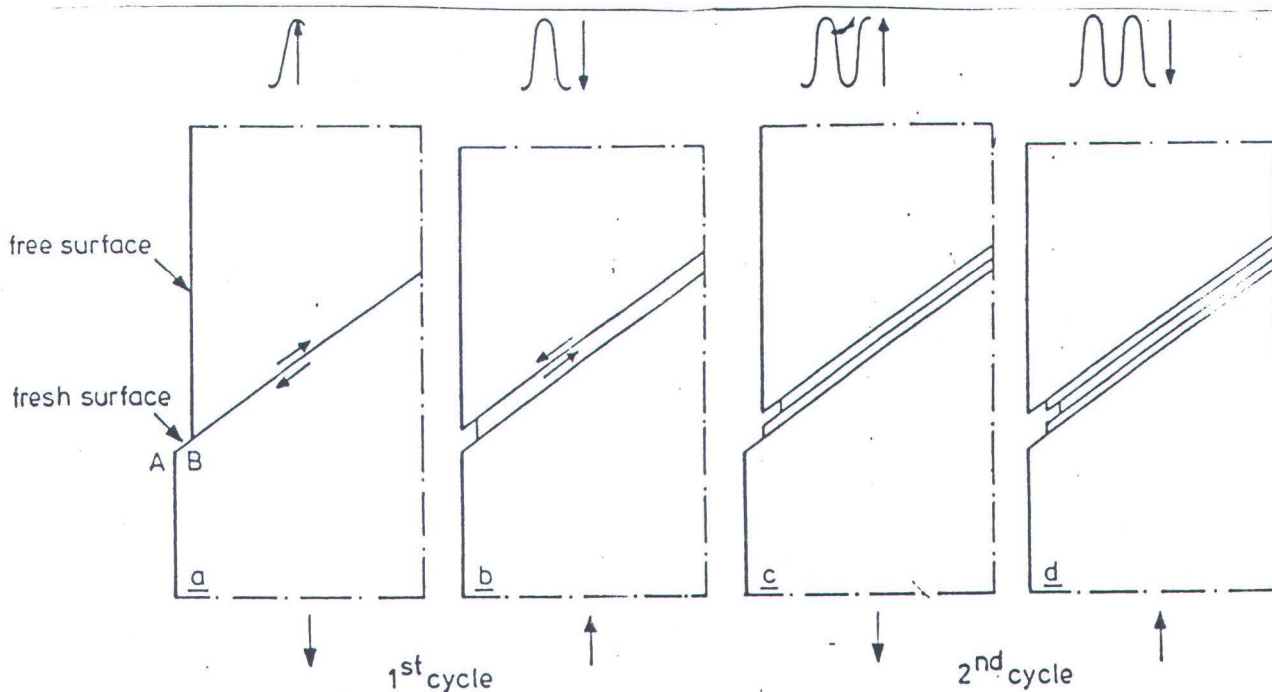
Gambar 3.2  
Dua bagian kegagalan kelelahan

Telah disinggung sebelumnya bahwa retak awal akan terjadi pada daerah dengan faktor konsentrasi tegangan ( SCF ) terbesar, oleh karena itulah retak pada poros baling-baling umumnya diawali pada daerah yang mengalami perubahan diameter ataupun sambungan. Kemungkinan tersebut adalah pada sambungan antara poros dengan motor induk, poros dengan propeller ataupun diantara poros antara.

### 3.2. Mekanisme Kelelahan

Dalam sub bab sebelumnya telah dijelaskan bagaimana terjadinya kelelahan pada poros. Untuk selanjutnya perlu diketahui bagaimana mekanisme kelelahan dari suatu struktur. Sehingga gambaran tentang bagaimana kelelahan itu sendiri menjadi lebih jelas.

#### 3.2.1. Retak Mikro Awal ( Microcrack Initiation )



Gambar 3.3

Model Wood untuk retak awal mikro dalam suatu deret slip

Wood (1958)<sup>2</sup> telah mengenalkan suatu model yang atraktif dan sederhana untuk permulaan dari retak mikro awal (gambar 3.3). Selama pembebanan ke atas

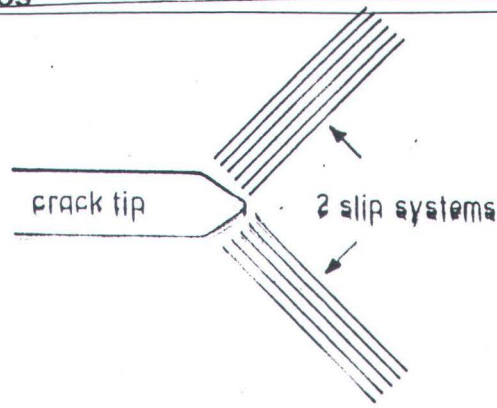
<sup>2</sup> Schijve, J.' Lecture Notes on Fatigue, Static, Tensile Strength and Stress Corrosion of Aircraft material and Structures '.

pertama (gambar 3.3.a) slip akan menghasilkan suatu bentuk seperti tangga di permukaan. Pembebanan ke bawah selanjutnya (gambar 3.3.b) akan menyebabkan slip dalam arah yang berlawanan, tidak tepat pada bidang slip yang sama, tapi pada bidang slip batas yang berdekatan. Tegangan geser pada bidang ini akan menjadi tinggi karena pada microlevel terdapat konsentrasi tegangan geser dalam butir kristal pada bidang slip paralel tersebut seperti yang telah ditunjukkan selama pembebanan keatas pertama dan mikroplastisitas dari pembebanan ke atas akan meninggalkan tegangan sisa mikro ( *microresidual stress* ) yang akan membantu menimbulkan plastisitas dalam arah kebalikannya.

### **3.2.2. Perambatan Retak dan Striation**

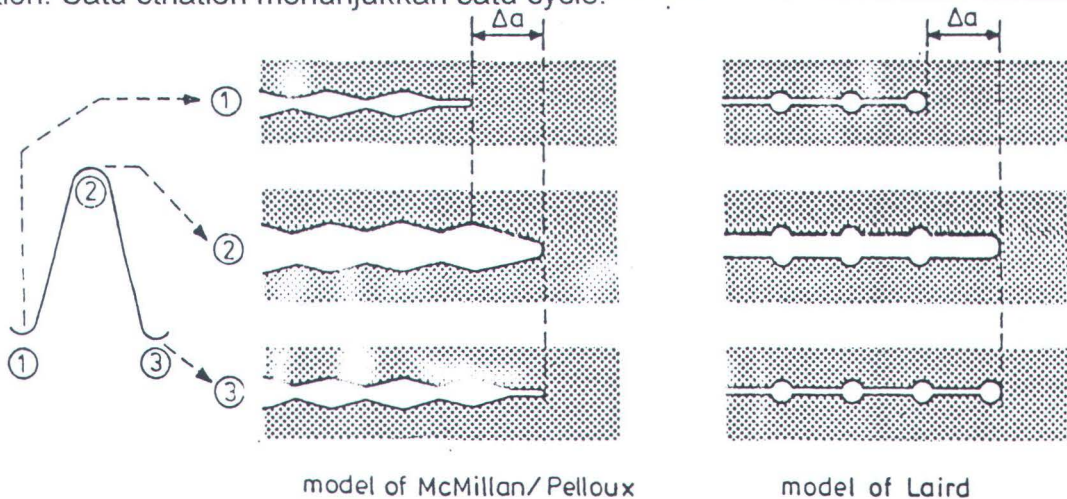
Dalam tahap awal perambatan retak mikro, penahan bawah pada slip sebagai hasil dari permukaan bebas yang ada di sekitarnya akan memperbanyak slip deretan retak untuk beberapa saat. Setelah penetrasi masuk ke dalam material, penahan bawah akan hilang. Selanjutnya intensitas tegangan di ujung retak akan naik. Sebagai hasilnya slip lebih dari satu bidang slip terjadi. Keadaan ini dapat dilihat dalam gambar 3.4.





Gambar 3.4  
Dua sistem slip

Bahkan jika dua sistem yang berbeda aktif di ujung retak, perpanjangan retak oleh tangga slip adalah mungkin. Sehingga retak akan merambat dalam arah di antara orientasi dari dua sistem kontribusi slip. Jika retak menjadi lebih panjang intensitas tegangan akan naik dan perpanjangan retak dalam tiap cycle pembebanan akan menjadi lebih besar. Pada kedua model yang ditunjukkan dalam gambar 3.5 pada microlevel meninggalkan suatu jenis puncak/punggung deformasi plastis pada permukaan yang mengalami kepecahan. Puncak/punggung umumnya dikenal dengan striation. Satu striation menunjukkan satu cycle.



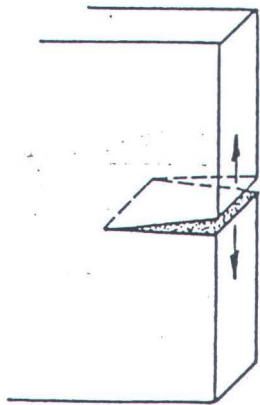
Gambar 3.5  
Dua model untuk microplasticity dan striation



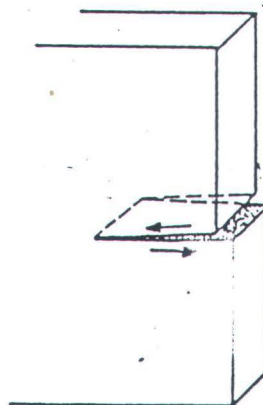
### 3.3. Faktor Intensitas Tegangan

Salah satu hal penting dalam mempelajari kelelahan suatu struktur dengan menggunakan pendekatan fracture mechanics adalah Faktor Intensitas Tegangan. Faktor Intensitas Tegangan ini sangat berpengaruh terhadap umur kelelahan suatu struktur. Pada saat suatu struktur mengalami retak, faktor yang menentukan penjaran retak adalah Faktor Intensitas Tegangan ( Stress Intensity Faktor / SIF ). Seperti telah dijelaskan dalam sub bab sebelumnya tentang mekanisme kelelahan, semakin tinggi Faktor Intensitas Tegangan semakin cepat penjaran retak yang terjadi sehingga umur kelelahan dari suatu struktur menjadi lebih rendah.

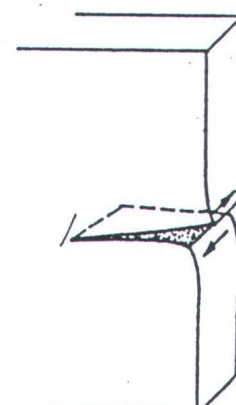
Faktor ini mempunyai unit satuan tegangan dikalikan akar kuadrat panjang. Setiap pembukaan dan perambatan yang berbeda akan menghasilkan Faktor Intensitas Tegangan yang berbeda pula. Sehingga Faktor Intensitas Tegangan sangat bergantung pada kedua hal tersebut. Pembukaan retak dalam fracture mechanics dibagi dalam tiga mode pembukaan ( gambar 3.6 ).



Mode I : opening in tension



Mode II : shear



Mode III : transverse shear

Gambar 3.6

Tiga mode pembukaan retak

Mode I adalah mode yang sering terjadi pada retak kelelahan yang dialami suatu struktur. Mode I disebut juga sebagai opening mode. Arah pendekatan retak pada Mode I adalah tegak lurus dengan arah pembebanan. Mode I ini merupakan mode yang paling berpengaruh dan paling berbahaya dalam proses terjadinya kelelahan.

Mode II disebut juga shearing mode atau sliding mode. Mode kedua ini sering terjadi akibat pembebanan in plane shear. Pada mode ini arah perambatan retak terletak sebidang dengan arah pembebanan.

Yang terakhir adalah mode III dan seringkali disebut juga sebagai tearing mode. Sebab dari terjadinya mode ini adalah out plane mode. Struktur yang mengalami pembebanan torsional seringkali mengalami pembukaan retak dalam mode III ini.

Dengan menggunakan teori matematis untuk elastis linier dan bentuk kompleks dari Westergaard maka tegangan di setiap ujung retak dapat diturunkan.

Sehingga dapat diperoleh rumusan tegangan sebagai berikut :<sup>3</sup>

Mode I

$$\sigma_x = \frac{K_I}{\sqrt{(2\pi r)}} \cos \frac{\theta}{2} \left[ 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right]$$

$$\sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{(2\pi r)}} \cos \frac{\theta}{2} \left[ 1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right]$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{(2\pi r)}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2}$$

<sup>3</sup>

Broek, David,' Elementary Engineering Fracture Mechanics',1982



$$\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{xz} = 0$$

Mode II

$$\sigma_x = \frac{-K_{II}}{\sqrt{(2\pi r)}} \sin \frac{\theta}{2} \left[ 2 + \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \right]$$

$$\sigma_y = \frac{K_{II}}{\sqrt{(2\pi r)}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2}$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_{II}}{\sqrt{(2\pi r)}} \cos \frac{\theta}{2} \left[ 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right]$$

$$\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{xz} = 0$$

Untuk Mode III

$$\tau_{xz} = -\frac{K_{III}}{\sqrt{(2\pi r)}} \sin \frac{\theta}{2}$$

$$\tau_{yz} = \frac{K_{III}}{\sqrt{(2\pi r)}} \cos \frac{\theta}{2}$$

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \tau_{xy} = 0$$

$K_I$  ;  $K_{II}$  ;  $K_{III}$  adalah Faktor Intensitas Tegangan untuk masing-masing mode pembukaan retak. Secara sederhana persamaan tersebut diatas dapat dituliskan sebagai berikut :<sup>4</sup>

$$\sigma_{ij} = \frac{K}{\sqrt{(2\pi r)}} f_{ij}(\theta)$$

$$K = \alpha \sigma \sqrt{\pi a}$$

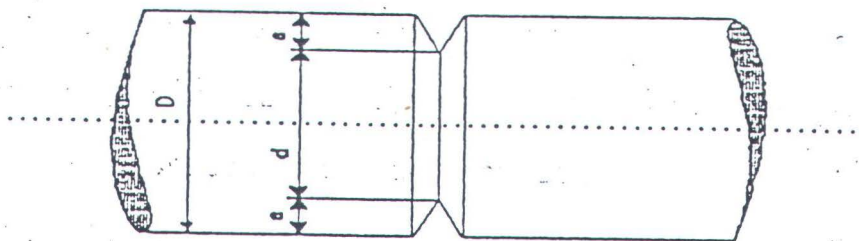
dimana :

$\alpha$  = konstanta karena geometri retak ( ada yang menyimbulkan dengan c )

$\sigma$  = tegangan

a = panjang retak

Untuk spesimen dengan bentuk pelat maka harga  $\alpha$  merupakan fungsi dari panjang retak (a) dan lebar spesimen (w). Pada spesimen dengan bentuk silinder seperti misalnya poros maka  $\alpha$  merupakan fungsi diameter spesimen (D), diameter sisa (d) dan kedalaman retak (a), seperti pada gambar 3.7.



Gambar 3.7

Batang silinder dengan takikan

<sup>4</sup> Schijve, J. ' Lecture Notes on Fatigue, Static, Tensile Strength and Stress Corrosion of Aircraft Material and Structures '



Dari persamaan Faktor Intensitas Tegangan (  $K$  ) di atas dapat diketahui bahwa harga  $K$  semakin tinggi dengan semakin besarnya panjang retak  $a$ . Hal ini sesuai dengan yang telah dijelaskan dalam sub bab mekanisme kelelahan.

### 3.4. Pembebanan Gabungan

Pada kenyataannya bentuk pembebanan yang menghasilkan mode-mode yang murni misalnya murni mode I, murni mode II ataupun murni mode III hampir tidak mungkin ditemui. Kebanyakan yang terjadi adalah mode gabungan, seperti misalnya gabungan antara mode I dan mode II, mode I dan mode III, ataupun gabungan antara ketiga mode tersebut. Bentuk gabungan mode pembukaan retak tersebut adalah akibat dari pembebanan geser-torsi, tarik-torsi, tarik-geser ataupun gabungan dari ketiga jenis pembebanan.

Dengan menggunakan teori pelepasan energi seperti yang dikemukakan oleh Griffith<sup>5</sup>, maka masalah pembebanan yang menghasilkan mode gabungan dapat diselesaikan. Kriteria Griffith untuk mekanika kepecahan menyatakan bahwa perambatan retak dapat terjadi jika besar energi yang diperlukan untuk membentuk retak tambahan dapat dipenuhi. Energi yang diperlukan untuk perambatan retak tersebut akan dilepas dalam bentuk energi elastis.

Jika energi elastis dinyatakan dengan  $U$ , kemudian  $F$  merupakan kerja yang dihasilkan oleh gaya eksternal, dan  $W$  adalah energi untuk pembentukan retak maka kriteria dari Griffith dapat dinyatakan sebagai :

---

<sup>5</sup> Broek, David, 'Elementary Engineering Fracture Mechanics', 1982

$$\frac{d[F - U]}{da} = \frac{dW}{da}$$

$$\frac{d[F - U]}{da} = G$$

$$\frac{dW}{da} = R$$

G menyatakan rata-rata energi yang dilepas atau gaya penambahan retak (crack extension force). Sedangkan R menyatakan ketahanan retak (crack resistance force).

Antara G dan K ( faktor intensitas tegangan ) terdapat hubungan sebagai berikut :<sup>6</sup>

$$G_I = \frac{\beta}{E} K_I^2$$

$$G_{II} = \frac{\beta}{E} K_{II}^2$$

$$G_{III} = \frac{1 + \nu}{E} K_{III}^2$$

$$\beta = 1 ; \text{plane stress}$$

$$= \frac{1 - \nu^2}{E} ; \text{plane strain}$$

Dengan demikian total energi yang diperlukan untuk terjadinya perambatan retak adalah :

$$G = G_I + G_{II} + G_{III}$$

<sup>6</sup> Hellan, Kare, ' Introduction to Fracture Mechanics', 1985

$$G = \frac{\beta}{E} K_I^2 + \frac{\beta}{E} K_{II}^2 + \frac{1+\nu}{E} K_{III}^2$$

Jika retak yang terjadi adalah stabil seperti yang dihasilkan oleh formula Paris-Erdogan maka harga energi yang dilepas untuk terjadinya perambatan retak dapat dinyatakan sebagai :

$$G = \frac{\pi \sigma^2 a}{E}$$

$$\pi \sigma^2 a = K^2$$

Menurut Kare-Hellen perambatan retak akan mengikuti dominasi salah satu mode. Karena dominasi yang terjadi adalah mode I maka K adalah ekuivalensi dari  $K_I$  dan disimbulkan dengan  $K_{leq}$ .

Dengan demikian maka  $K_{leq}$  dapat ditulis sebagai :

$$K_{leq}^2 = \beta K_I^2 + b K_{II}^2 + [1 + \nu] K_{III}^2$$

Selanjutnya untuk menentukan umur kelelahan maka harga faktor intensitas tegangan yang digunakan adalah  $K_{leq}$ . Secara matematis hal ini ditulis,

$$\frac{da}{dN} = f(K_{leq})$$

### 3.5. Umur Kelelahan ( Fatigue Life )

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, kelelahan terjadi disebabkan struktur menerima beban berulang. Apabila pembebanan terus berlangsung maka kegagalan struktur tidak dapat dihindari lagi. Jumlah cycle untuk terjadinya retak awal ( initiation crack cycle ) dan cycle perambatan retak ( propagation crack cycle ) didefinisikan sebagai umur kelelahan ( fatigue life ).

Dalam tahap disain, umur kelelahan suatu struktur sangat penting untuk diketahui. Sehingga berapa lama suatu struktur mampu untuk dioperasikan dengan pembebanan tertentu dapat diperkirakan.

Dalam tugas akhir ini akan di analisa bagaimana perambatan retak terjadi pada poros bekas dengan melakukan percobaan sampai kondisi poros mengalami kegagalan kelelahan/patah.

#### 3.5.1. Perambatan Retak Fatigue

Dalam sub bab tentang mekanisme terjadinya kelelahan dijelaskan bagaimana besarnya pengaruh faktor intensitas tegangan (SIF) dalam perambatan retak. Laju perambatan retak fatigue dapat didefinisikan dengan menggunakan formula Paris-Erdogan sebagai berikut :

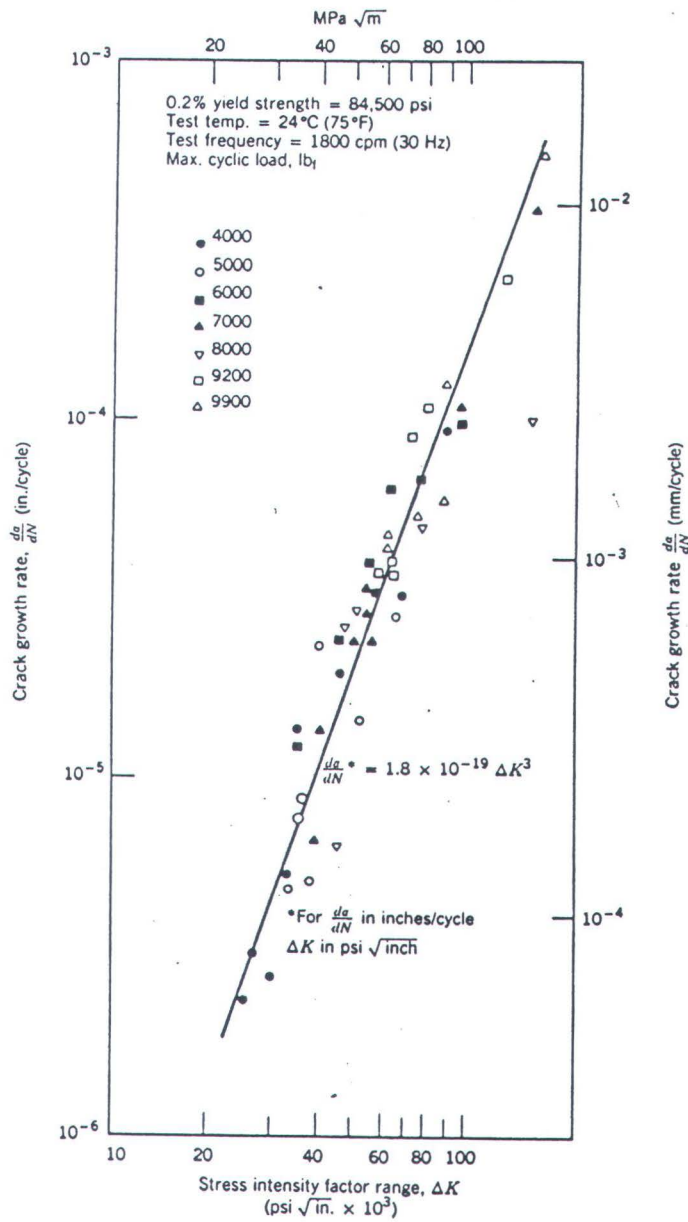
$$\frac{da}{dN} = c (\Delta K)^m$$



$\Delta K$  adalah range dari faktor intensitas tegangan, yaitu :

$$\Delta K = K_{\max} - K_{\min}$$

$$= \sigma_{\max} \sqrt{\pi a} \alpha - \sigma_{\min} \sqrt{\pi a} \alpha$$



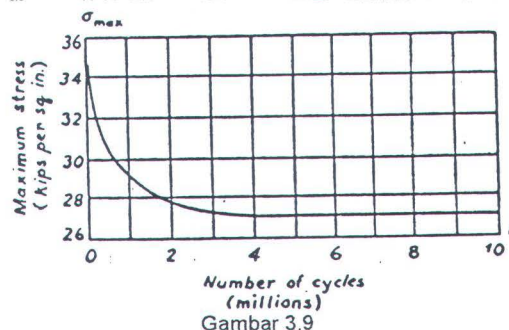
Gambar 3.8

Grafik hubungan antara panjang retak dan  $\Delta K$ , dalam log

Dalam bentuk logaritmik, maka formula Paris-Erdogan akan menghasilkan suatu grafik linier (gambar 3.8). Pada grafik ini dapat dilihat, hubungan antara panjang retak dan faktor intensitas tegangan dalam fungsi logaritma adalah linier.

Penjalaran retak akan terus berlangsung sampai bagian dari struktur yang tersisa tidak mampu lagi menahan sehingga terjadi kegagalan kelelahan pada struktur tersebut. Pada bagian ini perambatan retak akan berlangsung sangat cepat, hingga sulit untuk dilakukan observasi. Faktor intensitas tegangan linier tidak lagi mengontrol perambatan retak. Disini Fracture Toughness ( $K_c$  atau  $K_{Ic}$ ) mengontrol perambatan retak. Retak yang terjadi kita sebut sebagai retak kritis.

### 3.6. Pengaruh Besar Pembebanan Berulang Terhadap Proses Kelelahan



S-N diagram

Dari berbagai pengujian yang telah dilakukan oleh para peneliti, diketahui bahwa semakin besar beban berulang yang dikenakan pada suatu struktur, semakin cepat struktur tersebut mengalami kelelahan. Dari S-N diagram (gambar 3.9) dapat dilihat bahwa semakin besar tegangan yang diberikan semakin kecil jumlah cycle

yang dibutuhkan sampai struktur mengalami kegagalan/patah. Dengan kata lain, umur kelelahan suatu struktur semakin pendek dengan semakin besarnya tegangan yang diterimanya. Hal ini berarti dengan semakin tinggi tegangan proses terjadinya kelelahan berlangsung lebih cepat.

Pada poros bekas yang telah mengalami pembebanan sekian lama, seperti telah dijelaskan sebelumnya, tegangan yang diterima pada bagian tepi dan bagian pusatnya berbeda. Pada bagian tepi mendapatkan tegangan maksimal sedangkan pada pusatnya minimal. Dengan kondisi yang seperti ini secara teoritis kelelahan yang dialami pada masing-masing bagian tersebut berbeda. Pada bagian tepi, karena tegangannya maksimum maka kelelahannya lebih besar ( maksimal ) dibanding bagian lainnya.

Sehingga untuk penggunaan kembali poros bekas, penting untuk diketahui seberapa jauh kelelahan yang dialaminya terutama pada bagian tepi. Hal ini menjadi penting lebih-lebih apabila kelelahan yang dialami bagian ini sampai pada tahap terjadinya retak awal. Bila tidak diantisipasi sejak dini akan sangat berbahaya saat poros bekas tersebut dioperasikan, karena begitu retak awal terjadi, proses menuju kegagalan kelelahan/patah akan berlangsung cepat dan tentunya hal ini sangat merugikan.



## BAB IV

### Pengaruh Pembebanan Berulang Terhadap Kekerasan Poros

#### 4.1. Strain Hardening

Suatu struktur metal apabila mendapat beban tarik dibawah yield strengthnya tidak akan mengalami deformasi plastis bahkan sangat tidak mungkin mengalami kegagalan ( failure ) karena masih berada dalam daerah elastis. Dengan terus menaikkan beban tarik akhirnya struktur akan mencapai titik yield dan mulur secara plastis atau dengan kata lain mengalami deformasi plastis ( slip ). Bersamaan dengan deformasi plastis ( slip ) yang dialami struktur tersebut terjadi pula perubahan struktur dan sifat-sifatnya. Sifat-sifat kekuatannya naik diiringi dengan turunnya ductilitasnya. Sehingga dengan turunnya duktilitas berarti struktur menjadi lebih brittle. Hal ini berarti juga meningkatnya kekerasan dari struktur tersebut.

Fenomena seperti tersebut di atas adalah yang dikenal sebagai Strain Hardening atau Work Hardening.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Brick. RM / Pense. AW / Gordon RB, ' Structure and Properties of Engineering Material ', 4<sup>th</sup>, 1977



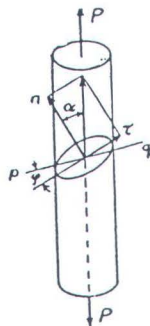
Sebagai contoh, bahwa dalam suatu uji tarik dari specimen single-crystal (gambar 4.2) yang mempunyai penampang melintang  $A$ , arah orientasi bidang oktahedral yang paling menguntungkan dari slip didefinisikan sebagai normal  $n$ , dan arah slip didefinisikan dengan  $pq$ . Tegangan geser yang bekerja pada bidang slip adalah :

$$\tau = \frac{P}{A} \cos \alpha \sin \alpha \quad (4.1)$$

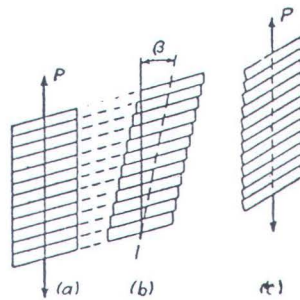
Eksperimen menunjukkan bahwa permulaan slip dihasilkan oleh besarnya komponen  $\tau \cos \varphi$  dari tegangan tersebut dalam arah slip  $pq$ , bukan oleh besarnya  $\tau$ . Slip terjadi saat komponen tersebut mencapai suatu harga tertentu  $\tau_{cr}$ . Dari persamaan 4.1 didapatkan :

$$\tau_{cr} = \tau \cos \varphi = \frac{P}{A} \cos \alpha \sin \alpha \cos \varphi \quad (4.2)$$

Terlihat bahwa,  $\tau_{cr}$  adalah konstan untuk material yang diberikan, beban  $P$  pada permulaan yield dari spesimen bergantung pada sudut  $\alpha$  dan  $\varphi$ .



Gambar 4.2 Uji tarik spesimen single kristal



Gambar 4.3

Proses pemuluran spsimen

Proses pemuluran spesimen karena slip sepanjang bidang crystallographic ditunjukkan dalam gambar 4.3. Kita dapat mengasumsikan bahwa stretching dihasilkan dalam dua tahap, (1) gerakan translasi sepanjang permukaan slip (gambar 4.3.b) dan (2) perputaran dari spesimen dengan sudut  $\beta$  pada arah semula (gambar 4.3.c).

Ketika deformasi terjadi pada suatu set tunggal bidang slip paralel, dengan meningkatkan sedikit tegangan yang diperlukan untuk memulai deformasi, deformasi dapat berlanjut hingga kristal terpisah. Jika kristal mempunyai beberapa set bidang yang dapat mengalami slip, kemudian jika deformasi mulai terjadi hanya pada satu set bidang, pada akhirnya akan diikuti oleh yang lainnya. Kejadian slip pada dua set atau lebih dari bidang slip berarti bahwa bidang slip aktif akan berinteraksi dengan yang lain. Dengan demikian tegangan harus dinaikkan dengan berkesinambungan untuk menjaga deformasi terus terjadi.

### 4.3. Fenomena Strain Hardening Pada Proses Terjadinya Kelelahan

Pada proses terjadinya kelelahan pada suatu material, sebelum terjadinya retak awal ( crack nucleation ) terlebih dahulu terjadi apa yang disebut cyclic slip.<sup>3</sup> Pada pembebanan berulang yang relatif rendah ( rendah bila dibandingkan dengan beban kegagalan statik ) cyclic slip akan terjadi dalam sejumlah kecil butiran-butiran dari material polycrystallin. Dalam butiran-butiran ini merupakan kejadian lokal karena hal ini terkonsentrasi hanya pada deret slip dalam jumlah yang kecil. Sedangkan alasan bahwa hanya pada deret slip dalam jumlah kecil, tegangan geser berulang sudah cukup tinggi untuk menghasilkanslip. Sehingga bila cyclic slip tidak terjadi tidak akan terjadi kelelahan. Deformasi plastis yang terjadi di sini adalah kecil secara mikroskopis, juga karena hal ini merupakan suatu deformasi cyclic.

Apabila hal ini dibandingkan dengan mekanisme terjadinya strain hardening terdapat kesamaan, yaitu sama-sama terjadi deformasi plastis. Dengan demikian pada struktur/material yang mendapat pembebanan berulang terjadi juga fenomena strain hardening. Mengingat bahwa tegangan yang dialami poros baling-baling berbeda sepanjang diameter penampang melintangnya maka proses strain hardening pada bagian-bagian tersebut juga berbeda. Karena tegangan pada bagian tepi adalah maksimal maka pada bagian ini pengaruh dari proses strain hardening adalah maksimal. Pengaruh dari strain hardening yang kita bahas di sini adalah perubahan kekerasannya. Dengan kondisi seperti itu maka bagian tepi kekerasannya adalah

<sup>3</sup> Schijve, J. ' Lecture Note on Fatigue, Static, Tensile Strength, and Stress Corrosion of Aircraft Materials and Structures ', 1977



paling tinggi untuk poros bekas. Karena semakin tinggi kekerasan suatu material menyebabkan material tersebut semakin brittle, hal ini berarti material semakin mudah retak. Dengan semakin mudah material mengalami retak, semakin pendek pula usia kelelahannya.



## BAB V

### Prosedur dan Pelaksanaan Percobaan

#### 5.1. Material

Sesuai dengan fungsinya maka poros baling-baling harus dibuat dari material dengan kekuatan dan kekerasan yang cukup tinggi dan tentu saja harus memenuhi standar. Material yang umum digunakan adalah baja karbon dan baja manganese karbon. Untuk poros dengan diameter sampai dengan 10", material yang sering digunakan adalah baja karbon 40 sedangkan untuk diameter yang lebih besar biasa dipakai baja karbon 60 ataupun baja paduan ( alloy steel ).<sup>1</sup>

Material yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah material poros bekas dengan diameter 100 mm yang diperoleh dari galangan kapal PT. PAL Indonesia. Material yang digunakan untuk poros baling-baling sesuai dengan persyaratan yang diberikan BKI harus mempunyai kekuatan tarik ( tensile strength ) antara 400 samapai dengan 800 N/mm<sup>2</sup> ( 58000 s/d 116000 Psi ). Untuk mengetahui sifat mekanis yang dimiliki oleh material poros bekas tersebut maka dilakukan uji kekerasan terhadap material tersebut. Dengan uji kekerasan ini akan dapat diketahui sifat mekanis sepanjang diameter melintang poros. Hasil dari uji kekerasan tersebut salah satunya nanti digunakan untuk menghitung beban pada uji kelelahan.

---

<sup>1</sup> Frederick, S. H, H. Capper, ' Material for Marine Machinery'.

## 5.2. Persiapan Uji Kekerasan

Uji kekerasan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji kekerasan vickers. Percobaan dilakukan pada suhu ruang dan dengan mengikuti syarat dalam standart ASTM<sup>2</sup>.

Bentuk spesimen yang digunakan merupakan potongan melintang poros bekas. Penampang melintang tersebut yang nantinya akan diuji kekerasannya sepanjang diameter poros bekas tersebut. Tentu saja sebelum percobaan dilakukan permukaan penampang melintang poros bekas tersebut dihaluskan terlebih dahulu menurut standart yang digunakan.

## 5.3. Prosedur Pengujian

Pada prinsipnya pengujian kekerasan dilakukan sepanjang diameter penampang melintang poros. Dari tepi sampai tepi di sisi yang berlawanan melalui pusat lingkaran penampang.

Maksud dari bentuk pengujian tersebut adalah agar kita dapat mengetahui perbedaan kekerasan material poros bekas dari sisi terluar (tepi) hingga pusat. Dari data hasil pengujian dapat diperoleh grafik yang menghubungkan antara kekerasan dengan radius poros.

---

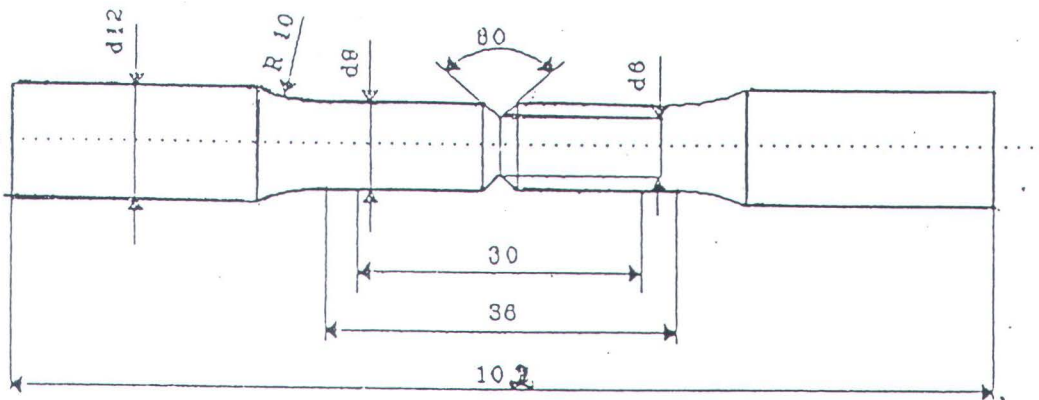
<sup>2</sup> ASTM,03.01,' Mechanical Testing; Elevated and Low Temperatur Test ; Metalography ', 1994

menghubungkan antara sifat mekanis material ( kuat tarik ) dengan radius poros. Dengan menggunakan grafik tersebut dapat diketahui kemungkinan dari poros bekas tersebut untuk digunakan kembali. Untuk selanjutnya perlu dilakukan uji kelelahan untuk membuktikan bahwa berubahnya sifat mekanis mempengaruhi usia kelelahan suatu material.

#### 5.4. Persiapan Uji Kelelahan

Uji kelelahan dalam penelitian ini hanyalah uji kelelahan jenis rotating bending. Percobaan dilakukan dengan mengikuti syarat dalam standart JIS Z 2274.

Bentuk spesimen yang digunakan adalah specimen dengan menggunakan V-notched. Jadi pada spesimen sengaja diberikan konsentrasi tegangan. Bentuk dan ukuran-ukuran spesimen dapat dilihat pada gambar 5.1.



Gambar 5.1 Specimen uji fatigue



$$= \frac{\text{beban maksimum yang dapat diterima}}{\text{faktor keamanan}}$$

Berdasarkan beban tersebut maka beban uji harus diambil lebih tinggi daripada beban operasional. Dengan demikian hasil uji tersebut akan aman dipakai pada beban operasi. Untuk baja karbon ( material poros diasumsikan sebagai baja karbon), tegangan operasional 165 MPa jika beban adalah tarik tekan. Dengan demikian beban yang diambil haruslah lebih besar daripada 165 MPa. Pada percobaan ini diambil beban sebesar 200 MPa.

Perhitungan beban uji selengkapnya adalah sebagai berikut :

$$\text{Stress } (\sigma_0) = 200 \text{ Mpa} = 29007.55 \text{ psi}$$

$$D_0 = 9 \text{ mm} = 0.30573 \text{ inch}$$

$$I_0 = \frac{1}{64} \pi D_0^4 = 0.000428867 \text{ inch}^4$$

$$W_0 = \frac{I_0}{Z_0} = 0.002805542 \text{ inch}^3$$

$$\text{Beban } (M_0) = \sigma_0 \cdot W_0 = 81.381377 \text{ lb inch}$$

Untuk mempermudah pengaturan beban pada mesin uji maka pada percobaan digunakan beban 80 lb inch.



## 5.7. Pelaksanaan Percobaan

### 5.7.1. Uji Kekerasan

Pelaksanaan percobaan secara berurutan adalah sebagai berikut :

1. Sebelum melakukan pembebanan pada permukaan spesimen, beban mesin uji diset lebih dahulu. Dalam pengujian ini beban yang diambil adalah 40 kgf, sesuai dengan standart yaitu antara 1 kgf sampai 120 kgf.
2. Menentukan fokus mikroskop untuk mendapatkan hasil pengamatan dan pengukuran yang akurat.
3. Spesimen diuji kekerasaanya sepanjang diameter penampang melintangnya dari tepi hingga tepi yang berlawanan melalui pusat dengan jarak penekanan (indentation) sebesar 5 mm.
4. Lama penekanan ditentukan 15 detik ( standar, 10 - 15 detik ).
5. Hasil penekanan diukur pada kedua diagonalnya untuk kemudian diambil rata-ratanya.

### 5.7.2. Uji Kelelahan

Pelaksanaan percobaan secara berurutan adalah sebagai berikut :

1. Sebelum pembebanan terhadap specimen dilakukan maka harus diadakan pemeriksaan terhadap kecepatan putar mesin uji yang akan digunakan. Pemeriksaan dilakukan dengan menggunakan tachometer dan stopwatch. Pemeriksaan dilakukan dengan memeriksa kecepatan putar mesin pada dua keadaan, yaitu sesaat setelah uji start dan setelah mesin berputar beberapa waktu. Pemeriksaan ini diulang hingga diperoleh RPM mesin yang konstan sesuai dengan yang diharapkan.
2. Pembebanan diatur sehingga didapat beban momen sesuai dengan yang diperlukan, yaitu sebesar 80 lb inch.
3. Specimen dipasang dan selanjutnya dilakukan pengujian sampai mencapai patah kelelahan ( fatigue fracture ). Jumlah cycle yang diperlukan sampai patah dicatat. Prosedur ini diulang untuk spesimen yang lainnya.
4. Untuk mengetahui struktur mikro dari bagian-bagian yang diuji tersebut dilakukan pemotongan kemudian dilakukan mikroetsa dan pemotretan dibawah mikroskop.

### 5.8. Hasil Pengamatan/Percobaan uji kekerasan dan uji kelelahan.

Dari pengamatan dan pengukuran di bawah mikroskop diperoleh hasil record diagonal penekanan indenter seperti tabel 5.1. Sedangkan untuk hasil record uji kelelahan dapat dilihat dalam tabel 5.2.

No.	Position	$d_1$	$d_2$	$d_{rata-rata}$
1	R	0.6	0.61	0.605
2	0.9R	0.63	0.63	0.63
3	0.8R	0.64	0.645	0.6425
4	0.7R	0.65	0.65	0.65
5	0.6R	0.66	0.66	0.66
6	0.5R	0.66	0.66	0.66
7	0.4R	0.66	0.66	0.66
8	0.3R	0.65	0.66	0.655
9	0.2R	0.65	0.655	0.6525
10	0.1R	0.65	0.655	0.6525
11	CENTER	0.66	0.65	0.655
12	0.1R	0.645	0.66	0.6525
13	0.2R	0.65	0.645	0.6475
14	0.3R	0.64	0.65	0.645
15	0.4R	0.645	0.645	0.645
16	0.5R	0.64	0.64	0.64
17	0.6R	0.645	0.64	0.6425
18	0.7R	0.64	0.635	0.6375
19	0.8R	0.64	0.64	0.64
20	0.9R	0.62	0.635	0.6275
21	R	0.6	0.6	0.6

Tabel 5.1

Hasil pengukuran diagonal indentation

Spec	Record		d mm	N cycle
	1	2		
R	6.5	6.4	6.45	6200
0.5R	6.5	6.4	6.45	8100
Center	6.3	6.5	6.4	12400

Tabel 5.2

Hasil pengukuran diameter retak  
&0  
N cycle patah fatigue



## Bab VI

### Pengolahan dan Analisa Data

#### 6.1. Penghitungan kekerasan.

Dari pengujian kekerasan telah diperoleh data-data tentang panjang diagonal indentation. Data-data ini selanjutnya digunakan untuk menghitung besarnya kekerasan dari masing-masing bagian poros bekas yang telah diuji.

Rumus untuk menghitung kekerasan dengan menggunakan uji kekerasan vickers adalah sebagai berikut<sup>1</sup> :

$$HV = \frac{1.854 P}{d^2}$$

dimana : P = beban indenter ( Kgf )

$$1 \text{ Kgf} = 9.806650 \text{ N}$$

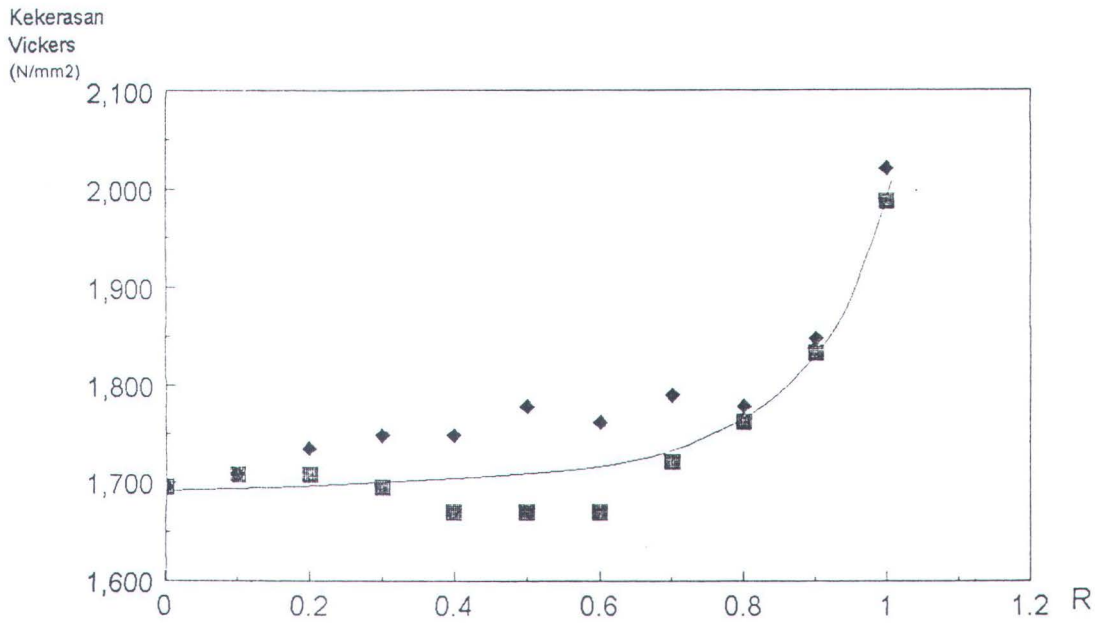
d = diagonal rata-rata indentation ( mm )

Dari perhitungan dengan menggunakan rumus di atas berdasarkan data hasil pengujian didapatkan hasil seperti dalam tabel 6.1. Dari hasil perhitungan dalam tabel tersebut kemudian di buat grafik yang menghubungkan antara kekerasan dan radius poros, yang dapat dilihat pada grafik 6.1.

<sup>1</sup> ASTM, 3.02, ' Mechanical Testing; Elevated and Low TemperaturTest; Metalography', 1994'.

No.	Position	d	HV ( N/mm <sup>2</sup> )
1	R	0.37	1987.050
2	0.9R	0.3969	1832.350
3	0.8R	0.4128	1761.776
4	0.7R	0.4225	1721.328
5	0.6R	0.4356	1669.560
6	0.5R	0.4356	1669.560
7	0.4R	0.4356	1669.560
8	0.3R	0.4290	1695.247
9	0.2R	0.4257	1708.389
10	0.1R	0.4257	1708.389
11	CENTER	0.4290	1695.247
12	0.1R	0.4257	1708.389
13	0.2R	0.4192	1734.878
14	0.3R	0.4160	1748.224
15	0.4R	0.4160	1748.224
16	0.5R	0.4090	1778.145
17	0.6R	0.4128	1761.776
18	0.7R	0.4064	1789.520
19	0.8R	0.4090	1778.145
20	0.9R	0.3937	1847.247
21	R	0.3600	2020.170

Tabel 6.1  
Perhitungan kekerasan



Grafik 6.1 Grafik kekerasan versus radius

## 6.2 Perhitungan kuat tarik

Dengan menggunakan tabel 6.2, data-data kekerasan masing-masing bagian poros yang terdapat dalam tabel 6.1 tersebut dapat diketahui sifat mekanisnya yaitu kekuatan tariknya ( tensile strength ) dengan melakukan konversi harga kekerasan vickers menjadi harga kekuatan tarik dengan interpolasi biasa.

Persamaan Kekuatan-tarik dan Kekerasan baja  
(Menurut catatan Euronorm 8)

Kekuat- an tarik $\sigma_s$ N/mm <sup>2</sup>	KEKERASAN					Kekuat- an tarik $\sigma_s$ N/mm <sup>2</sup>	KEKERASAN				
	Brinell HB N/mm <sup>2</sup>	Rockwell		Vickers HV N/mm <sup>2</sup>	Shore		Brinell HB N/mm <sup>2</sup>	Rockwell		Vickers HV N/mm <sup>2</sup>	Shore
		HRR	HRC					HRR	HRC		
280	800	40,4	-	800	-	1230	3690	-	37	3600	60
300	850	42,4	-	850	-	1260	3680	-	38	3700	-
320	900	47,4	-	900	-	1290	3760	-	38,9	3800	62
330	950	52	-	950	-	1320	3850	-	39,8	3900	-
350	1000	56,4	-	1000	-	1350	3920	-	40,7	4000	65
370	1050	60	-	1050	-	1380	4000	-	41,5	4100	-
390	1100	63,4	-	1100	-	1410	4080	-	42,4	4200	67
400	1150	66,4	-	1150	-	1440	4150	-	43,2	4300	-
420	1200	69,4	-	1200	-	1460	4230	-	44	4400	69
430	1250	72,4	-	1250	-	1490	4300	-	44,8	4500	-
450	1300	74,4	-	1300	20	-	-	-	45,4	4600	62
470	1350	76,4	-	1350	-	-	-	-	46,3	4700	-
480	1400	78,4	-	1400	21	-	-	-	47	4800	64
500	1450	80,4	-	1450	-	-	-	-	47,7	4900	-
510	1500	82,2	-	1500	22	-	-	-	48,3	5000	66
530	1550	83,8	-	1550	-	-	-	-	48	5100	-
550	1600	85,4	-	1600	24	-	-	-	48,7	5200	67
560	1650	86,4	-	1650	-	-	-	-	50,3	5300	-
580	1700	88,2	-	1700	25	-	-	-	50,9	5400	69
600	1750	89,8	-	1750	-	-	-	-	51,5	5500	-
620	1800	90,8	-	1800	26	-	-	-	52,1	5600	71
630	1850	91,8	-	1850	-	-	-	-	52,8	5700	-
650	1900	93	-	1900	28	-	-	-	53,3	5800	72
670	1950	94	-	1950	-	-	-	-	53,8	5900	-
680	2000	95	-	2000	29	-	-	-	54,4	6000	74
700	2050	95,8	-	2050	-	-	-	-	54,9	6100	-
720	2100	96,6	-	2100	30	-	-	-	55,4	6200	75
730	2150	97,6	-	2150	-	-	-	-	55,9	6300	-
750	2200	98,2	-	2200	32	-	-	-	56,4	6400	77
770	2250	99	-	2250	-	-	-	-	56,9	6500	-
780	2300	-	19,2	2300	33	-	-	-	57,4	6600	79
800	2350	-	20,2	2350	-	-	-	-	57,9	6700	-
820	2400	-	21,2	2400	34	-	-	-	58,4	6800	80
840	2450	-	22,1	2450	-	-	-	-	58,9	6900	-
850	2500	-	23	2500	36	-	-	-	59,3	7000	81
870	2550	-	23,8	2550	-	-	-	-	60,2	7200	83
890	2600	-	24,6	2600	37	-	-	-	61,1	7400	84
900	2650	-	25,4	2650	-	-	-	-	61,9	7600	86
920	2700	-	26,2	2700	38	-	-	-	62,8	7800	87
940	2750	-	26,9	2750	-	-	-	-	63,5	8000	88
960	2800	-	27,6	2800	40	-	-	-	64,3	8200	90
970	2850	-	28,3	2850	-	-	-	-	65	8400	91
990	2900	-	29	2900	41	-	-	-	65,7	8600	92
1010	2950	-	29,6	2950	-	-	-	-	66,3	8800	93
1030	3000	-	30,3	3000	42	-	-	-	66,9	9000	95
1060	3100	-	31,5	3100	-	-	-	-	67,5	9200	96
1100	3200	-	32,7	3200	45	-	-	-	68	9400	97
1130	3300	-	33,8	3300	-	-	-	-	-	-	-
1170	3400	-	34,9	3400	47	-	-	-	-	-	-
1200	3500	-	36	3500	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 6.2 Tabel persamaan kekuatan tarik dan kekerasan

Selengkapnya mengenai perhitungan interpolasi konversi harga kekerasan menjadi harga kekuatan tarik adalah sebagai berikut :

1. HV = 1987.05

$$\sigma = 670 + \frac{(1987.05 - 1950)}{(2000 - 1950)} (680 - 670) = 677.41 \text{ N/mm}^2$$



2. HV = 1832.35

$$\sigma = 620 + \frac{(1832.35 - 1800)}{(1850 - 1800)} (630 - 620) = 626.47 \text{ N/mm}^2$$

3. HV = 1761.776

$$\sigma = 600 + \frac{(1761.776 - 1750)}{(1800 - 1750)} (620 - 600) = 604.71 \text{ N/mm}^2$$

4. HV = 1721.328

$$\sigma = 580 + \frac{(1721.328 - 1700)}{(1750 - 1700)} (600 - 580) = 588.53 \text{ N/mm}^2$$

5. HV = 1669.56

$$\sigma = 560 + \frac{(1669.56 - 1650)}{(1700 - 1650)} (580 - 560) = 567.82 \text{ N/mm}^2$$

6. HV = 1669.56

$$\sigma = 560 + \frac{(1669.56 - 1650)}{(1700 - 1650)} (580 - 560) = 567.82 \text{ N/mm}^2$$

7. HV = 1669.56

$$\sigma = 560 + \frac{(1669.56 - 1650)}{(1700 - 1650)} (580 - 560) = 567.82 \text{ N/mm}^2$$

8. HV = 1695.247

$$\sigma = 560 + \frac{(1695.247 - 1650)}{(1700 - 1650)} (580 - 560) = 578.095 \text{ N/mm}^2$$

9. HV = 1708.289

$$\sigma = 580 + \frac{(1708.289 - 1700)}{(1750 - 1700)} (600 - 580) = 583.355 \text{ N/mm}^2$$

10. HV = 1708.289

$$\sigma = 580 + \frac{(1708.289 - 1700)}{(1750 - 1700)} (600 - 580) = 583.355 \text{ N/mm}^2$$

11. HV = 1695.247

$$\sigma = 560 + \frac{(1695.289 - 1650)}{(1700 - 1650)} (580 - 560) = 578.09 \text{ N/mm}^2$$

12. HV = 1708.289

$$\sigma = 580 + \frac{(1708.289 - 1700)}{(1750 - 1700)} (600 - 580) = 583.355 \text{ N/mm}^2$$

13. HV = 1734.878

$$\sigma = 580 + \frac{(1734.878 - 1700)}{(1750 - 1700)} (600 - 580) = 593.95 \text{ N/mm}^2$$

14. HV = 1748.224

$$\sigma = 580 + \frac{(1748.224 - 1700)}{(1750 - 1700)} (600 - 580) = 599.289 \text{ N/mm}^2$$

15. HV = 1748.224

$$\sigma = 580 + \frac{(1748.224 - 1700)}{(1750 - 1700)} (600 - 580) = 599.289 \text{ N/mm}^2$$

16. HV = 1778.145

$$\sigma = 600 + \frac{(1778.145 - 1750)}{(1800 - 1750)} (620 - 600) = 611.258 \text{ N/mm}^2$$

17. HV = 1761.776

$$\sigma = 600 + \frac{(1761.776 - 1750)}{(1800 - 1750)} (620 - 600) = 604.71 \text{ N/mm}^2$$

18. HV = 1789.52

$$\sigma = 600 + \frac{(1789.52 - 1750)}{(1800 - 1750)} (620 - 600) = 615.81 \text{ N/mm}^2$$

19. HV = 1778.145

$$\sigma = 600 + \frac{(1778.145 - 1750)}{(1800 - 1750)} (620 - 600) = 611.258 \text{ N/mm}^2$$

20. HV = 1847.247

$$\sigma = 620 + \frac{(1847.247 - 1800)}{(1850 - 1800)} (630 - 620) = 629.549 \text{ N/mm}^2$$

21. HV = 2020.17

$$\sigma = 680 + \frac{(2020.17 - 2000)}{(2050 - 2000)} (700 - 680) = 688.068 \text{ N/mm}^2$$

Dari perhitungan tersebut kemudian di tabulasi seperti terlihat dalam tabel 6.3 berikut.

NO.	Position	Kekerasan vickers	Kuat tarik (N/mm <sup>2</sup> )
1	R	1987.05	677.41
2	0.9R	1832.35	626.47
3	0.8R	1761.776	604.71
4	0.7R	1721.328	588.53
5	0.6R	1669.56	567.82
6	0.5R	1669.56	567.82
7	0.4R	1669.56	567.82
8	0.3R	1695.247	578.098
9	0.2R	1708.389	583.355
10	0.1R	1708.389	583.355
11	CENTER	1695.247	578.09
12	0.1R	1708.389	583.355
13	0.2R	1734.878	593.95
14	0.3R	1748.224	599.289
15	0.4R	1748.224	599.289
16	0.5R	1778.145	611.258
17	0.6R	1761.776	604.71
18	0.7R	1789.52	615.81
19	0.8R	1778.145	611.258
20	0.9R	1847.247	629.549
21	R	2020.17	688.068

Tabel 6.3

Konversi  
kekerasan vickers dan kuat tarik



### 6.3. Perhitungan tegangan

Dari hasil pengujian kelelahan kemudian dihitung tegangan pada daerah patahan sebagai berikut :

Specimen I.

$$d = 6.45 \text{ mm} = 0.25748 \text{ inch}$$

$$I = \frac{1}{64} \pi d^4 = 2.156 \times 10^{-4}$$

$$W = \frac{I}{Z} = 0.001675$$

$$\text{Stress} = \frac{M}{W} = 47761.194 \text{ psi}$$

Specimen II.

$$d = 6.45 \text{ mm} = 0.25748 \text{ inch}$$

$$I = \frac{1}{64} \pi d^4 = 2.156 \times 10^{-4}$$

$$W = \frac{I}{Z} = 0.001675$$

$$\text{Stress} = \frac{M}{W} = 47761.194 \text{ psi}$$

radius  $0.6R - 0.7R$  kekuatan material poros masih memenuhi standart yaitu sekitar  $600 \text{ N/mm}^2$  sehingga sampai dengan bagian ini memungkinkan untuk digunakan kembali.

#### **6.5. Analisa pengaruh kekerasan terhadap usia kelelahan.**

Berdasarkan hasil pengujian kelelahan dapat diketahui bahwa kekerasan material mempengaruhi usia kelelahannya. Karena semakin tinggi kekerasan suatu material mempunyai sifat semakin getas, sehingga pada saat retak awal terjadi, perambatan retak berlangsung sangat cepat. Hal ini tentunya sangat berbahaya dan harus dihindari.

Dari hasil pengujian kelelahan yang dapat dilihat dalam tabel 5.2 diketahui bahwa specimen I yang kekerasannya paling tinggi sekitar  $2000 \text{ N/mm}^2$  dibanding specimen lainnya jumlah N cycle patah fatiguenya paling rendah yaitu sekitar 6200 cycle. Sedangkan untuk specimen II yang kekerasannya lebih rendah sekitar  $1720 \text{ N/mm}^2$  jumlah N cycle patah fatiguenya lebih besar lagi yaitu sekitar 8100 cycle. Dan untuk specimen III yang kekerasannya terendah sekitar  $1695 \text{ N/mm}^2$  jumlah cycle patah fatiguenya paling tinggi yaitu sekitar 12400 cycle.

## BAB VII

### Kesimpulan dan Saran

#### 7.1. Kesimpulan.

Setelah melakukan perhitungan dan analisa yang didasarkan pada hasil percobaan dan pengamatan, maka dapat ditarik suatu kesimpulan sebagai berikut :

- Akibat beban berulang yang pernah diterima poros bekas pada saat masih digunakan terjadi fenomena strain hardening, yaitu meningkatnya kekerasan material poros. Dimana kekerasan tertinggi terjadi pada bagian tepi hal ini disebabkan bagian ini menerima beban paling besar.
- Berdasarkan analisa hasil pengujian kelelahan diketahui bahwa tingkat kekerasan mempengaruhi usia kelelahan suatu material.
- Berdasarkan analisa hasil pengujian kekerasan diketahui bahwa poros bekas mempunyai kemungkinan untuk digunakan kembali apabila kekuatan tarik dari material poros bekas tersebut, terutama dibagian tepi masih memenuhi standart dan apabila tidak memenuhi, dapat dilakukan pembubutan sampai pada radius tertentu sampai pada bagian yang kekuatan tariknya memenuhi standart.

Kesimpulan ini adalah kesimpulan yang sifatnya tidak mutlak. Kesimpulan ini adalah kesimpulan yang obyektif yang didasarkan pada hasil percobaan yang dilakukan.

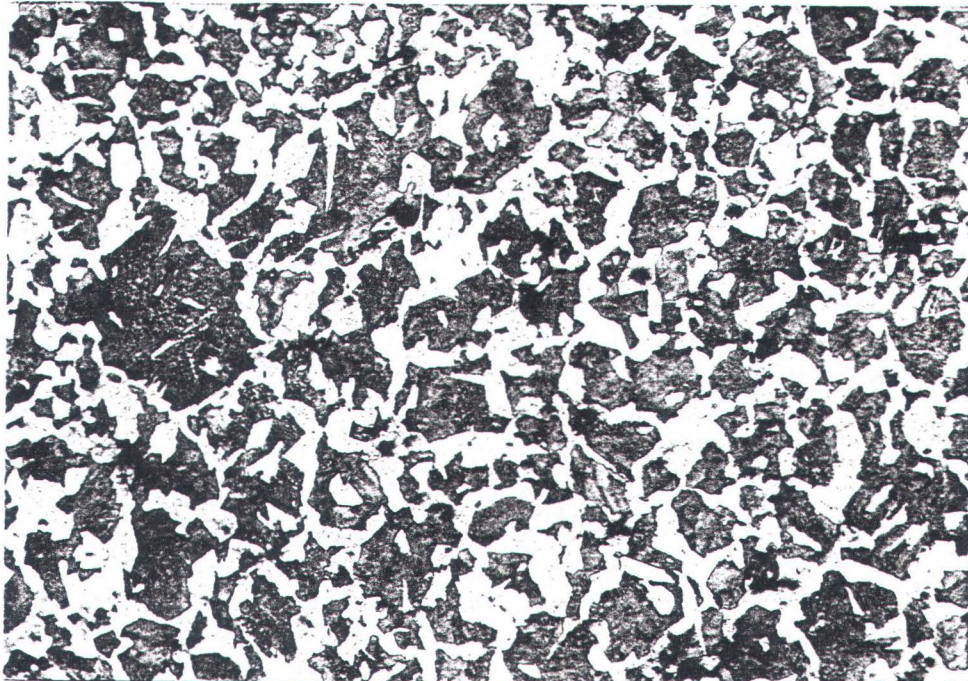
## 7.2. Saran

Suatu penelitian tentu tidak akan bisa secara mutlak memberikan suatu kebenaran dalam menyelesaikan permasalahan. Terlepas dari benar dan tidaknya hasil penelitian ini, maka saya mengajukan beberapa saran untuk menguji dan menyempurnakannya sebagai berikut :

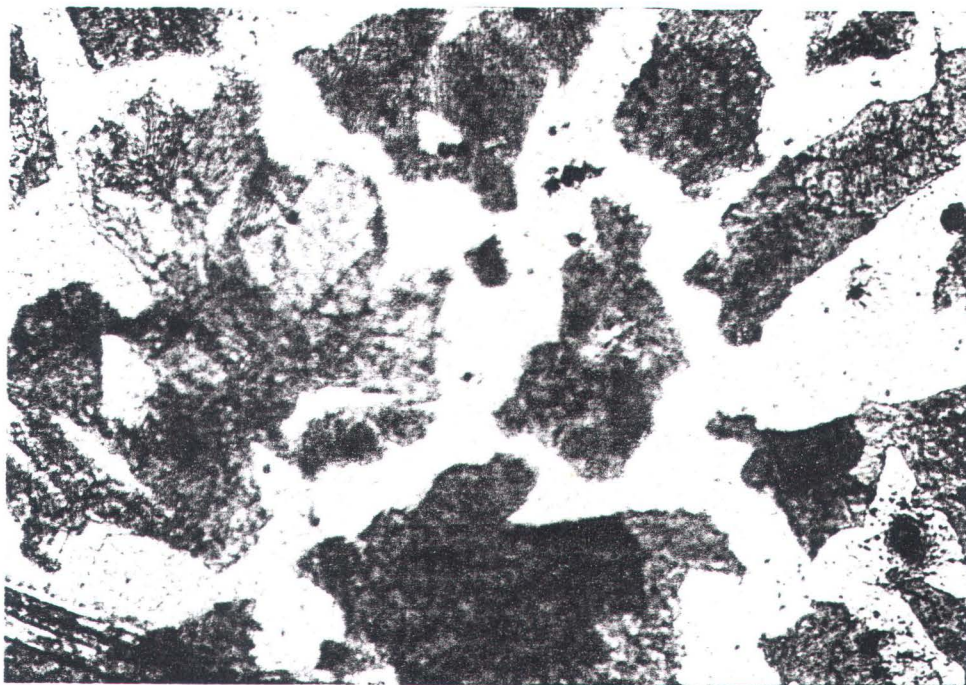
- Treatment pada specimen uji maupun mesin uji sebelum dilakukan pengujian kekerasan dan pengujian kelelahan harus diperhatikan lebih teliti sehingga dapat diharapkan hasil yang lebih akurat.
- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut sampai sejauh mana kekerasan suatu material mempengaruhi usia kelelahan.



Struktur mikro material poros bagian tepi



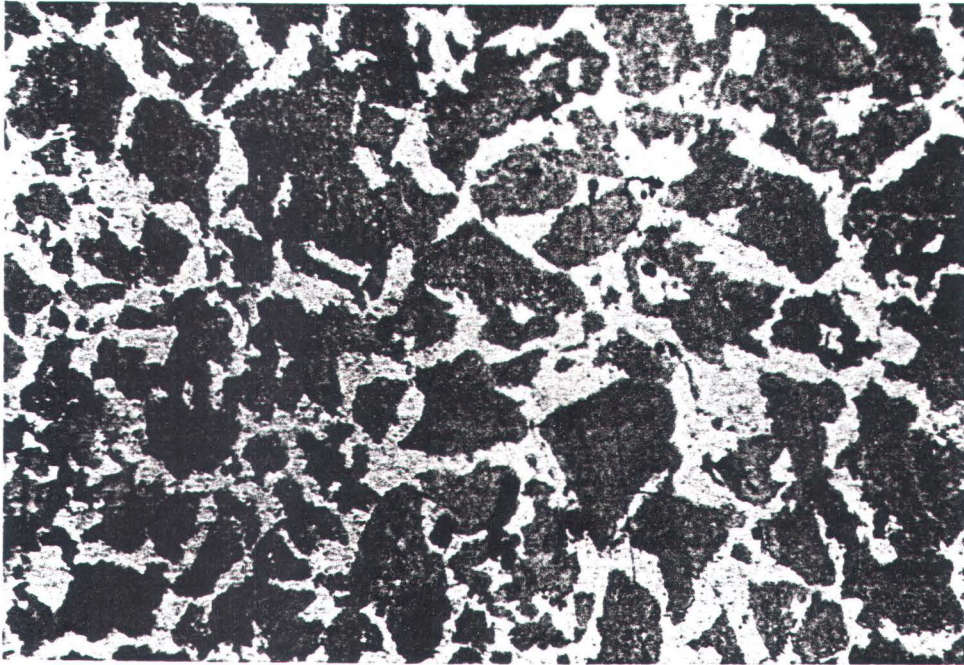
pembesaran 100 X



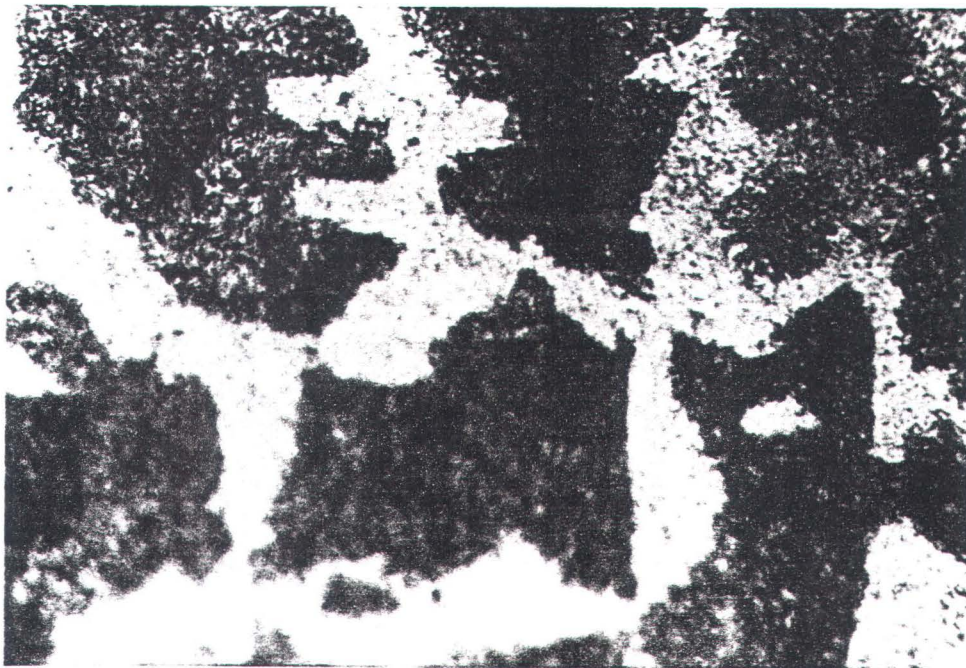
pembesaran 400 X



Struktur mikro material poros bagian 0.5 R



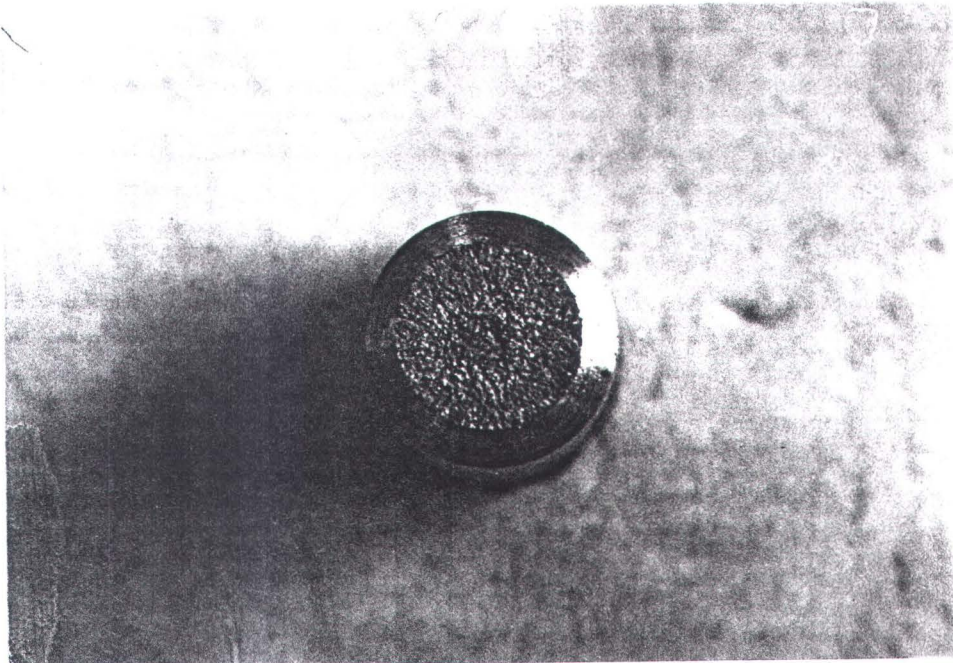
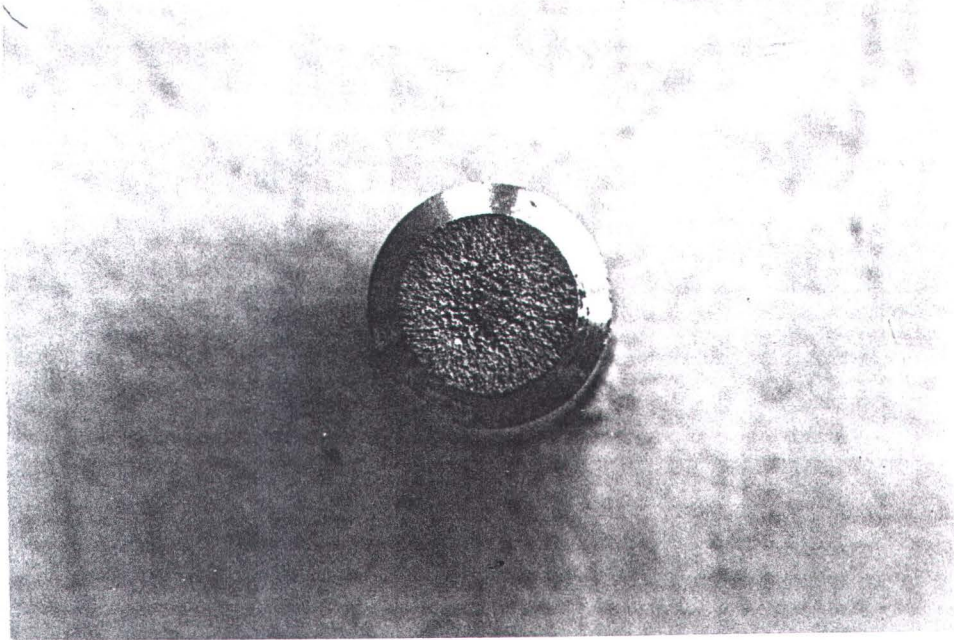
pembesaran 100 X



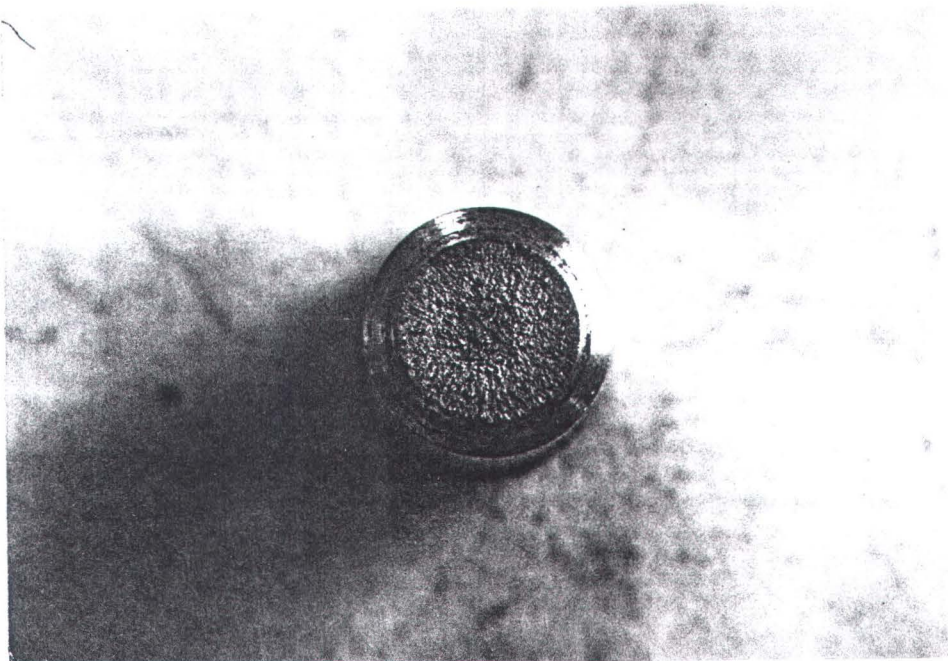
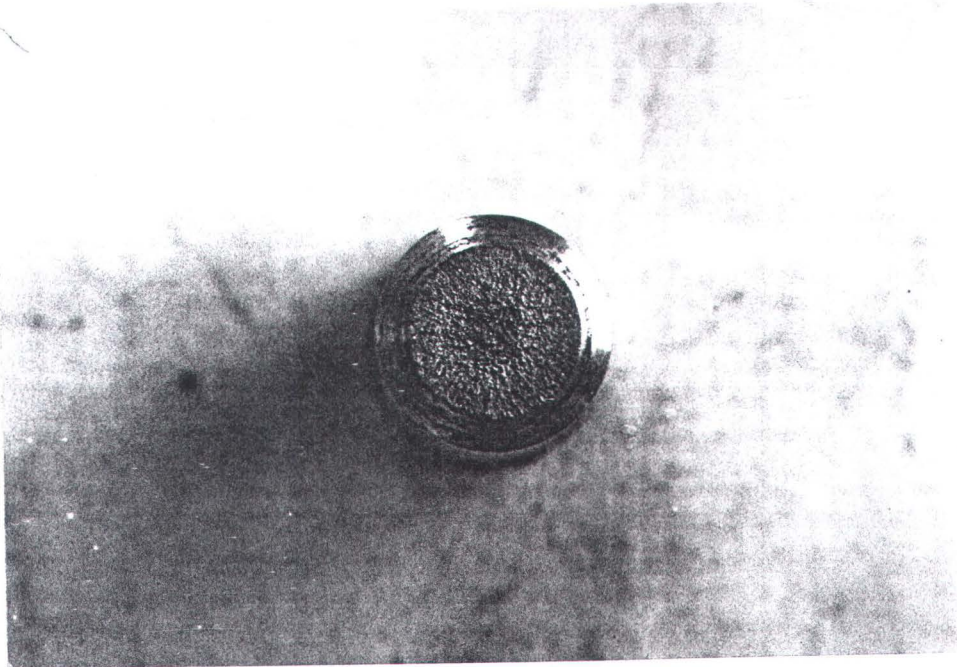
pembesaran 400 X



Penampang patah fatigue bagian tepi

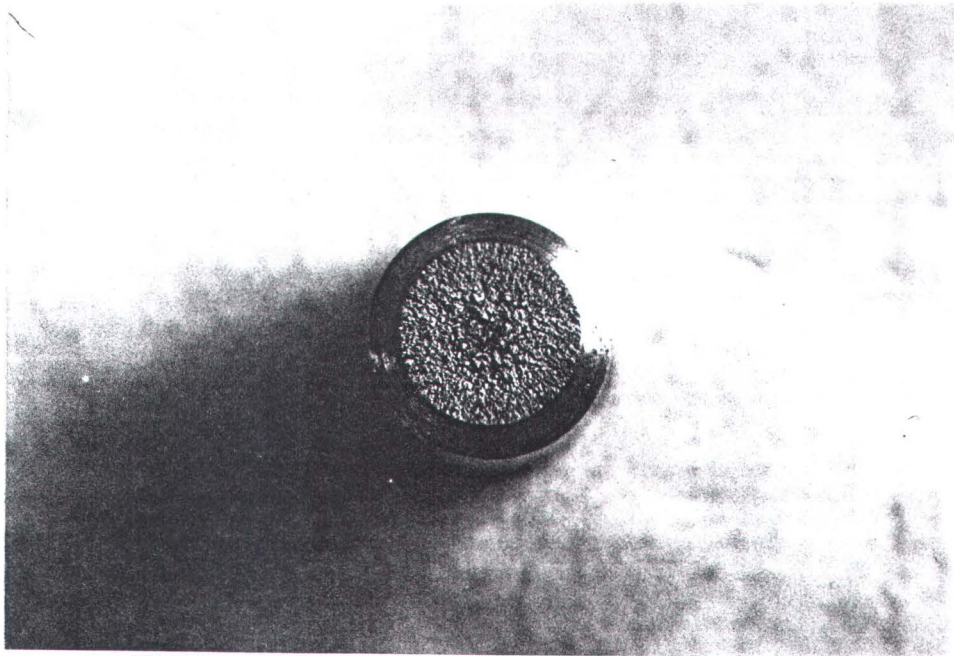
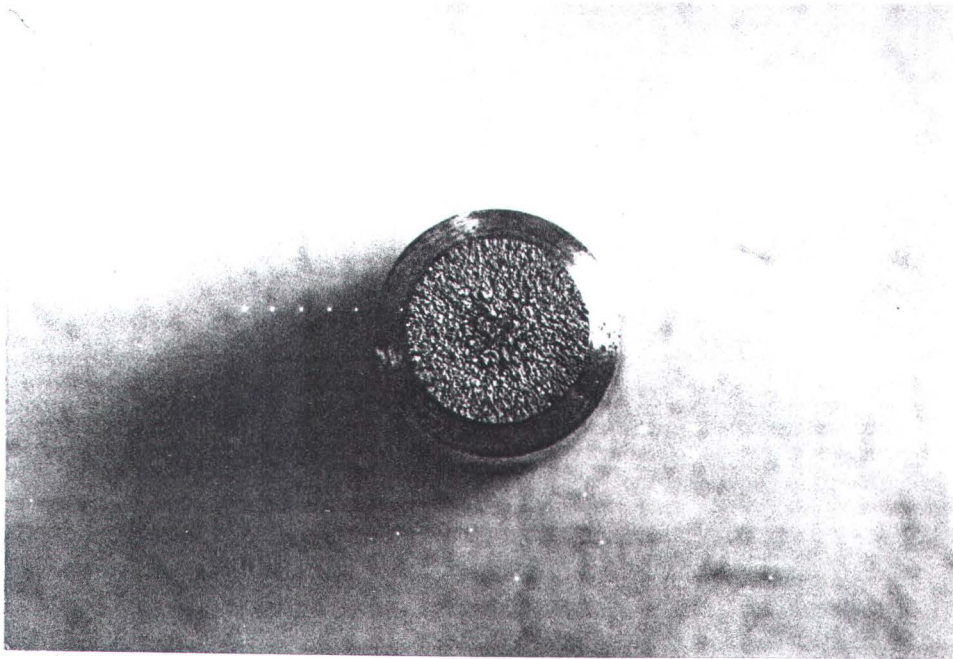


Penampang patah fatigue pada 0.5 R



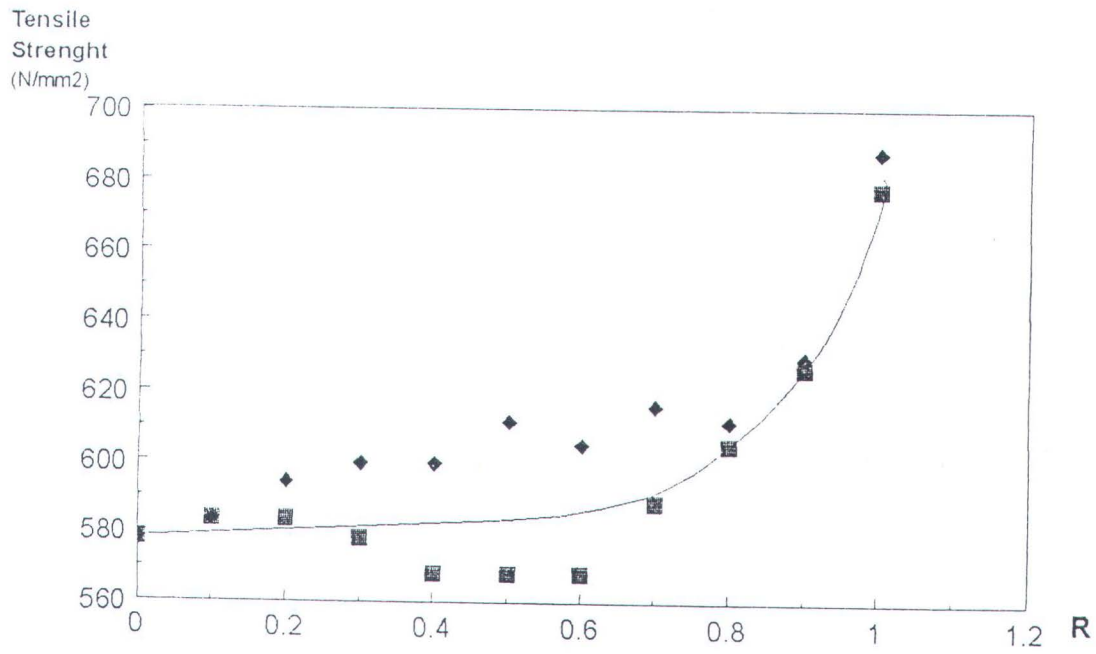


Penampang patah fatigue pada pusat



Grafik

Tensile Strength Versus radius



## Daftar Pustaka

1. ASM Hand Book Committee," **Failure Analysis and Prevention** ", Metal Handbook vol. 10, ASM, Ohio, 1975.
2. ASTM," **Mechanical Testing; Elevated and Low Temperatur Test; Metalography**", Annual Book of ASTM Standart 1994 vol. 03.01, 1916 Race Street Philadelphia, 1994.
3. BKI," **Rules for Machinery Construction** ", vol. III, Biro Klasifikasi Indonesia,1988.
4. Brick, R.M, Pense, A.W, Goran, R.B," **Structure and Properties of Engineering Material** ", 4<sup>th</sup> edition, Mc Graw Hill Kogakusha, Ltd, 1977.
5. Broek David," **Elementary Engineering Fracture Mechanics** ", Martinus Nijhoff Publisher, Boston, 1982.
6. Davis, Harmer E," **The Testing and Inspection of Engineering Material** ", Profesor of Civil Engineering University of California.
7. Frederick, S. H, H. Capper," **Material for Marine Machinery** ", The Institute of Marine Engineers, Marine Media Management Ltd., London, 1976.
8. Hellan, Kare," **Introduction to Fracture Mechanics** ", Mc Graw Hill Company, New York, 1985.
9. JIS," **Ferrous Material and Metalurgy** ", JIS Handbook, Japanese Standart Association, 1981.
10. Long, C. J., L. Harrington (editor), " **Properties, Shafting, and Shafting System Vibration Analysis** ", Marine Engineering, SNAME, 1989.
11. Popov, E.P.," **Mekanika Teknik**", terjemahan oleh Zainul Astamar, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1986.
12. Schijve, J.," **Lecture Notes on Fatigue, Static, Tensile Strength and Stress Corrosion of Aircraft Materials and Structures** ", Delft-The Netherlands.
13. Timoshenko,s., " **Strength of Material, Part II Advanced** ", Krieger, New York, 1976.





# FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS





## JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

### DAFTAR KEMAJUAN TUGAS AKHIR (NA 1701)

Nama mahasiswa : Joelianto .....  
N.R.P. : 4904100338 .....  
Tugas diberikan : Semester Gasal 1995 . / 1996 ..  
Tanggal mulai tugas : 21 September 1995 .....  
Tanggal selesai tugas : 01 Maret 1996 .....  
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Soewify, M.Eng .....  
2. ....

Tanggal	Uraian Kemajuan Tugas	Tanda Tangan
1	Konsultasi model pengujian ( 30/ 9/1995 )	
2	Konsultasi teori tentang proses kelelahan material (15/10/95)	
3	Konsultasi Bab I Pendahuluan ( 7/11/1995 )	
4	Konsultasi prosedur pengujian ( 15/11/1995 )	
5	Konsultasi Bab II ( 30/11/1995 )	
6	Konsultasi Bab III ( 9/12/1995 )	
7	Konsultasi Bab IV ( 18/12/1995 )	
8	Konsultasi data hasil pengujian ( 7/2/1996 )	

lihat halaman berikutnya .....

Tanggal	Uraian Kemajuan Tugas	Tanda Tangan
9	Konsultasi pengolahan data ( 15/2/1996 )	
10	Konsultasi analisa hasil pengujian kelelahan ( 26/2/1996 )	
11	Konsultasi kemajuan akhir ( 4/3/1996 )	
12	Konsultasi hasil akhir ( 6/3/1996 )	

**Catatan :**

- Formulir ini harus dibawa pada saat konsultasi
- Konsultasi dilaksanakan minimal seminggu sekali.
- Formulir ini harus dikumpulkan kembali pada saat mengumpulkan laporan tugas akhir.

Surabaya, .....19 ..

Dosen Pembimbing,



Ir. Soeweify, M.Eng. ....

NIP. 130 368 597