CORROSION FATIGUE ON LOW-CARBON STEEL

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat sarjana S-1

Program studi Teknik Mesin
Jurusan Teknik Mesin

Diajukan Oleh :

RIASINIR PRISCA PITARIA TALAGA
99 5214 146

Kepada

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA
2004

HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING

TUGAS AKHIR

CORROSION FATIGUE ON LOW-CARBON STEEL

Oleh :

RIASINIR PRISCA PITARIA TALAGA

NIM : 995214146

Telah disetujui oleh :

Dosen Pembimbing Utama

I Gusti Ketut Puja, S.T, M.T Tanggal :18-01-2005

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

CORROSION FATIGUE ON LOW-CARBON STEEL

Oleh :

RIASINIR PRISCA PITARIA TALAGA
NIM : 995214146

Telah dipertahankan didepan panitia penguji
pada tanggal : 11 Desember 2004
dan dinyatakan memenuhi syarat

Susunan panitia penguji

	Nama Lengkap	Tanda Tangan
Ketua	Budi Setyahandana, S.T., M.T	
Sekretaris	Budi Sugiharto, S.T., M.T	
Anggota	RB.Dwiseno Wihadi, S.T., M.Si	
Anggota	I.G Ketut Puja, S.T., M.T	
Anggota	D. Doddy Purwadianto, S.T., M.T	

Yogyakarta, 18 Januari 2005
Fakultas Teknik
Universitas Sanata Dharma
Dekan,

Ir. Greggorius Heliarko, S.J, S.S., B.ST., M.Sc., M.A

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya yang saya tulis ini tidak memuat/bagian orang lain, kecuali yang telah disebutkan dalam kutipan dan daftar pustaka sebagaimana layaknya karya ilmiah.

Yogyakarta, 18 Januari 2005

Penulis

Riasinir Prisca Pitaria Talaga

995214146

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA

Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman -Yogyakarta

Telp.(0274) 883037, 883968, 886530; Fax.(0274) 886529; Email :teknik@staff.usd.ac.id

TUGAS AKHIR/SKRIPSI PROGRAM S-1 JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIV. SANATA DHARMA YOGYAKARTA

No: 453 /FT .USD/TM/ September/2004

NAMA	: Riasinir Priska P Talaga
NIM	: 995214146
Program Studi	: Teknik Mesin
Fakultas	: Teknik , Univ. Sanata Dharma Yogyakarta
Judul TGA	:

Lakukan penelitian kelelahan baja medium pada media korosif Na Cl 3,5 %, dan bandingkan dengan tanpa korosif.

Tanggal dimulai : 2 September 2004

Yogyakarta , 28 September 2004

Pembimbing II

Pembimbing I

I Gusti Ketut Puja, S.T.,M.T.

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA

Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman-Yogyakarta

Telp (0274) 883037, 883968, 886530; Fax. (0274) 886529; Email :teknik@staff.usd.ac.id

TUGAS AKHIR / SKRIPSI PROGRAM S-1
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIV. SANATA DHARMA YOGYAKARTA

No : 453 /FT.USD/TM/September/2004

NAMA : Riasinir Prisca P Talaga

NIM : 995214146

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik, Univ. Sanata Dharma

Judul TGA :

Lakukan penelitian kelelahan baja medium pada media korosif NaCl 3,5 %, dan bandingkan dengan tanpa korosif.

Tanggal dimulai : 2 September 2004

Pembimbing I : I Gusti Ketut Puja, S.T., M.T.

Pembimbing II : -

No	Tgl	Uraian	Keterangan	Tandatangan
1	05 - 02 - 04	Penentuan Materian Penelitian		
2	20 - 02 - 04	Pengerjaan alat & Beriksa lagi		
3	19 - 04 - 04	Test chamber & Pengujian		
4	28 - 6 - 04	Bab I - II	direvisi	
5	14 - 09 - 04	Bab I - III		
6	26 - 10 - 04	Bab IV & V	foto makro di beri lat.	
7	30 - 10 - 04	Naskah TA	pembahas + saran di revisi	
8	05 - 11 - 04	Naskah Seminar	di perbaiki lagi	
9		Intisari + Daftar pustaka.	dibuat + p	
10				

ABSTRACT

This research is purposes to investigate the effect of NaCl solution to the fatigue endurance on low-carbon steel. It was used test machine of Rotary Bending in Laboratory Metallurgy Mechanical Engineering University of Sanata Dharma. Some of the specimen tested in NaCl solution 3,5 % and the other tested without the corrosive media.

The result of this research shows the fatigue endurance of low-carbon steel on corrosive media (NaCl) lower than research without corrosive media. The deacrease of this is about 69 %. The section of fatige fracture seen the existance of pitting corrosion at specimen which was tested by corrosive media.

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh larutan NaCl terhadap ketahanan lelah baja karbon rendah dan melihat bentuk patahan benda uji. Baja karbon rendah dibuat sesuai standar ASTM E 366. Pengujian kelelahan ini menggunakan mesin uji lengkung putar (Rotary Bending) di Laboratorium Ilmu Logam Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma. Benda uji sebagian di uji pada larutan NaCl 3,5 % dan sebagian lagi di uji tanpa media korosif.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketahanan lelah baja karbon rendah pada pengujian media korosif (NaCl) lebih rendah di banding pengujian tanpa media korosif. Penurunan ini berkisar 69 %. Penampang patahan lelah terlihat adanya korosi celah (pitting corrosion) pada benda uji yang di uji pada media korosif.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "CORROSION FATIGUE ON LOW-CARBON STEEL".

Adapun penyusunan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi setiap mahasiswa guna memperoleh gelar sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin pada Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Penulis men yadari sepenuhnya bahwa dalam proses penyusunan tugas akhir ini banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik moral maupun materil yag sangat berharga bagi penulis. Maka dai itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Orangtuaku, Bapak dan Mama yang telah memberikan dukungan dan cinta kasihnya serta segalanya sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Yosef Cahyanta, S.T., M.T, selaku ketua jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
3. Bapak I Gusti Ketut Puja, S.T., M.T, selaku Pembimbing utama, yang telah memberikan judul tugas akhir serta meluangkan waktunya untuk memberikan saran-saran guna penyelesaian tugas akhir ini.
4. Bapak D. Doddy Purwadianto, S.T., M.T, selaku dosen wali serta dosen Penguji, yang telah

memberikan waktunya dan bimbingannya selama kuliah dan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

5. Dosen-dosen TM USD, yang tidak dapat disebutkan satu-satu, yang telah memberikan ilmu yang berharga semasa kuliah.
6. Pegawai Tata Usaha yang sudah memberikan waktunya guna membantu penulis untuk menyelesaikan masalah administrasi serta kelancaran penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari hasil dari penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Maka dari itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan penulisan tugas akhir ini.

Akhirnya penulis berharap semoga tugas akhir ini berguna bagi semua pihak yang membutuhkan.

Yogyakarta, September 2004

Penulis

I would like thanks to....

Jesus Christ, who always gives His bless, love n strenght so that the writer is able to complete this...

Mom and **Dad**, thanx for ur kindness giving me all that i need to finish this study. I dedicate this for you ☺ i love u Mom, Dad...

My brother **IWAN TALAGA (ma'bakwan)**, sorry ye... dah kadoloantn aku heheeh mudah mudahan bang i cepat nyusul ye...trus buat adekku **nela (no'tela)**, at last my pic will be on the family room hahahahaha...my young sisters **ria (no'raya)** n **de'ina (no'gede)**.,love u sis,,,,

My beloved **nine frederiek** ☺ i don't know what to say...it's just tanx to be my bestfriend n of course my boyfriend hehee..,welllll i hope we always 2gether n 4ever :p (cepetin kelarin TA nya ya say...)

Usu Kombes Dinar Pabayo, walopun *'teke baleok'* tapi kan tetap keponakan jendral yang baek heheh..tarimakasih manyak atas tumpangan gratis salama aku balajar ka'jogja (rumah maksudnya) trus **Uwa' Gemar (artis Dayak bo...)**, makasih uga nyuruh aku badiamn ka'rumah kita',,,ina' lupa ka' patuah yang race kita' bare ka'aku...

Kak Din n **ade**, akhirnya selesai juga heheh...buat kak Din, met menunggu si bayi nongol ya, trus aku n ade jadi tante tante dong...hmmm mudahmudahan si calon keponakan cakep n cantik kayak tantenya.

Teman temanku yang baik...**Nadia** (lu kog selesainya pas gue gak ada di jgj sihhhhh...btw tanx ya dah jd tmnku yg plg cerewet n bawel tp ttp baek ati)., **Lilik** (wahhhh lu tu ya !!! udah makin cuantiiiik aja,,,"keep fight it" u know what i meen ☺)., **Nova** (ayooooo va cepetan nyusul aku biar kita wisudanya barengan bln April jgn keasikan kerja n pacaran hihihih..CAY YO!!!!)

Anak2 TM yang yang udah minggat maupun masih tetep betah di jogja.....

- **Kontrakanku di blkg pak Kapten**; kak deni,kak ndut,aan.,**tetanggaku** Abang2 ucok,agus,sembiring,indra,andri, Bose hehee tanx to be my friend,,i'll never forget u all
- **Anak2 DKD n anak kalimantan barat** yang laennya yg gak bisa aye sebutin atu atu...muakasih manyak boh ka'kita samua...ame lupa kade' batamu ka' tampat laintn ame supe ba'tagur sapa...
- **Temen seangkatan gue** (99 dong ahhh); Bayu n Doni (muakasih dah jadi partner dlm TA ku walopun si Doni hik hik mengkhianati kita bedua ya bay.... ☺), anak kos **'pasar setan'** (matur nuwun dah pinjemin scannernya ye...),
- **Adek2 tingkat**.....ayoooooo semangat!!!!!!jangan takut ma Dosen2nya,deketin aja baek baek semuanya kog...jangan tepengaruh ma omongan orla about our teachers okay.
- **Abang2**; om Sapanx, Charles, Bejo, juga Wendi...tanx ya dah nyempetin waktunya buat TC H23☺

- **Tetanggaku cowok Tantri** satu2nya...lu tu ya kl dah mlm jgn suka nyuruh kita keluar rmh dong...takut ma antu tau heheheh, becanda ☺ lu tetangga yg plg jail yg pernah ada eiiit...cerewet jg !!!!

At last, i wanna tanx to houseguide in Taman Cemara H23....buat Oink, Dora, Pee Wee n Yuli (their mother),**kucing kucingku** yang manis n lucu walopun kalian ditelantarkan ma mama u all...n akhirnya kalian pada mati semua... gak pa pa aku tetep makasih ma kalian coz jd temen gemes aku hehehe.....Yuli masih idup loooo....

The really really finally ☺

You all, the truly my strenght n my support.... i cannot be like this without u all.

wel.....**tengkiuw very much**.....

NB : makasih buat Bunda Maria atas terkabulnya doa Novena 3 x Salam Maria.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING ii
HALAMAN PENGESAHAN iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA iv
HALAMAN SOAL v
HALAMAN KONSULTASI TUGAS AKHIR vi
ABSTRACT vii
KATA PENGANTAR ix
HALAMAN PERSEMBAHAN xi
DAFTAR ISI xiv
DAFTAR GAMBAR xvi
DAFTAR TABEL xviii

BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar belakang 1
1.2 Perumusan masalah 2
1.3 Tujuan penelitian 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **4**
2.1 Dasar teori 4
2.2 Efek permukaan dan kelelahan 12
2.3 Pengujian kelelahan 14
2.3.1 Kekuatan lelah 18
2.3.2 Batas ketahanan 19
2.4 Pengaruh temperatur pada kelelahan 20
2.5 Pengaruh air garam 22
2.6 Lelah korosi 24
BAB III PELAKSANAAN PENELITIAN **28**
3.1 Peralatan dan bahan 28

PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS SANATA DHARMA YOGYAKARTA

3.1.1 Peralatan 28
3.1.2 Bahan 30
3.2 Jalan penelitian 31
3.3 Analisis hasil 32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 34
4.1 Uji kekasaran dan pesrmukaan 34
4.2 Pengujian kelelahan 35
4.3 Pengamatan makro 39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 45
5.1 Kesimpulan 45
5.2 Saran 45
DAFTAR PUSTAKA 47
LAMPIRAN 48
Lembar revisi naskah ujian 54
Lembar Berita Acara Seminar TA 55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema terjadinya kegagalan lelah 8

Gambar 2.2 Konsep W.A. Wood mengenai deformasi mikro yang menyebabkan terjadinya retakan lelah 9

Gambar 2.3 Proses penumpulan plastik pada perambatan retakan lelah tahap II..... 12

Gambar 2.4 Faktor redukdi untuk batas lelah baja yang disebabkan oleh beragamnya perlakuan permukaan 14

Gambar 2.5 Pengujian kelelahan 17

Gambar 2.6 Diagram S-N 19

Gambar 2.7 Pengaruh temperatur operasi pada kurva S-N dari paduan baja paduan 12 % Cr 21

Gambar 2.8 Pengaruh temperatur operasi pada kurva S-N dari paduan Aluminium 2024-T4 22

Gambar 2.9 Pengaruh konsentrasi NaCl pada laju korosi Fe dalam lingkungan air 23

Gambar 2.10 Peran lingkungan korosif terhadap perambatan retak fatik 27

Gambar 3.1a Rotary Bending Fatigue Testing Machine 29

Gambar 3.2b Chamber dengan benda uji 30

Gambar 3.3 Diagram alir pelaksanaan penelitian.. 33

Gambar 4.1 Kurva S-N hasil pengujian lelah material tanpa media korosif dan dengan media korosif 37

Gambar 4.2 Penampang patahan lelah material tanpa media korosif. Tegangan lengkung 56,58 kg/mm^2, siklus 126.896 39

Gambar 4.3 Penampang patahan lelah material dengan media korosif. Tegangan lengkung 56,58 kg/mm^2, siklus 103.228 39

Gambar 4.4 Penampang patahan lelah material tanpa media korosif. Tegangan lengkung 26,8 kg/mm^2, siklus 2.438.958 40

Gambar 4.5 Penampang patahan lelah material dengan media korosif. Tegangan lengkung 14,38 kg/mm^2, siklus 1.750.758 40

Gambar 4.6 Ilustrsi skematis bentuk patahan lelah 42

Gambar 4.7 Ilustrasi skematis penampakkan permukaan patah dari suatu perpatahan lelah lengkung putar 43

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ketahanan lelah benda uji Baja SAE 3130 yang diuji dengan beban balik sempurna, sebesar 95.000 psi 13

Tabel 4.1 Angka kekasaran permukaan material sebelum dilakukan pengujian 34

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Seiring perkembangan kemajuan di bidang ilmu pengetahuan dan teknologi, pembuatan suatu konstruksi ataupun komponen mesin sangat membutuhkan ketelitian dan ketepatan dalam pemilihan bahan. Bahan yang baik dan kuat akan menjamin konstruksi atau komponen mesin sehingga dapat digunakan sesuai dengan umur yang diinginkan. Untuk mendapatkan bahan tersebut diperlukan penelitian sifat-sifat mekanis yang meliputi kekuatan, kekerasan, kekakuan, keliatan, keuletan dan lain-lain. Sifat-sifat khas dari bahan industri itu perlu di kenal secara baik, karena bahan tersebut dipergunakan dalam berbagai macam keperluan dan dalam berbagai macam keadaan. Kegunaan dari sifat - sifat ini berguna untuk perancangan suatu alat (piranti) teknik antara lain ; pembuatan badan pesawat, poros kereta api, rotor generator, roda gigi, dan lain-lain di mana perlu mendapatkan perhatian yang sangat serius.

Pemilihan bahan suatu bagian mesin adalah salah satu keputusan yang dibuat oleh seorang perencana teknik pada pemilihan bahan dan prosesnya ditentukan sebelum ukuran bagian tersebut didapat, kemudian melalui proses perhitungan ukuran bagian mesin yang dirancang sehingga kekuatan bahan yang dirancang mempunyai harga yang wajar dan memuaskan dibanding dengan sifat yang berkaitan kegagalan suatu bahan.

Kegagalan suatu bahan akibat pembebanan berulang-ulang akan mengakibatkan kelelahan pada komponen suatu mesin dan pada suatu konstruksi yang bersangkutan sehingga dibutuhkan analisa akibat kegagalan lelah suatu bahan dengan mengadakan penelitian tentang umur suatu bahan akibat beban berulang-ulang. Hal ini sangat penting mengingat tujuan analisa kelelahan sendiri adalah untuk mengetahui kapan kegagalan suatu bahan terjadi sehingga dapat mengantipasinya dengan menerapkan perancangan bahan pada suatu kondisi yang sebenarnya.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Semua patahan yang disebabkan kelelahan melalui tahapan proses ; terjadinya retakan lelah, perambatan retakan lelah, patahan statik terhadap luas penampang

sisa. Karena itu pencegahan masing-masing perlu dilakukan pada setiap tahapan proses tersebut di bagian yang paling efektif.

Pengujian kelelahan ini dilakukan pada baja karbon rendah dan sekaligus ingin diketahui bentuk patahannya.

Dalam penelitian ini, penulis ingin melihat perbandingan hasil pengujian kelelahan dengan membandingkan percobaan sebelum benda uji mendapat perlakuan dan sesudah benda uji mendapat perlakuan, dalam hal ini perlakuan dengan menggunakan larutan NaCl.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan menyelidiki pengaruh lingkungan air garam pada permukaan bahan poros baja karbon rendah terhadap ketahanan lelah, yaitu :

1. Membandingkan kurva S-N bahan baja karbon rendah pada lingkungan media korosif NaCl 3,5 % dan lingkungan tanpa media korosif.
2. Mengamati bentuk patahan lelah bahan baja karbon rendah yang diuji pada media korosif dan tanpa media korosif.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 DASAR TEORI

Fatik atau kelelahan menurut ASTM (dalam Funch, 1980) didefinisikan sebagai proses perubahan struktur permanen *"progressive localized"* pada material yang berada pada kondisi yang menghasilkan fluktuasi regangan dan tegangan pada beberapa titik atau titik - titik yang dapat memuncak menjadi retak (crack) atau patahan (fracture) secara keseluruhaan sesudah fluktuasi tertentu.

Pada umumnya *crack* (retakan) merupakan awal terjadinya kegagalan lelah. *Crack* dapat merambat karena adanya beban berulang. *Fracture* merupakan tahap akhir dari proses kelelahan dimana material tidak dapat menahan tegangan dan regangan yang ada sehingga patah menjadi dua bagian atau lebih (Dieter, 1985).

Mekanisme Kegagalan Lelah

Terdapat tiga faktor dasar yang diperlukan agar terjadi kegagalan-lelah (Dieter, 1985). Ketiga hal tersebut adalah (1) tegangan tarik maksimum yang cukup tinggi, (2) variasi atau fluktuasi yang cukup tinggi, (3) siklus penerapan tegangan yang cukup besar. Selain itu masih terdapat sejumlah variabel - variabel lain, yakni : konsentrasi tegangan, korosi, suhu, kelebihan beban, struktur metalurgi, tegangan-tegangan sisa dan tegangan kombinasi yang cenderung mengubah kondisi kelelahan. Penelitian mengenai perubahan-perubahan struktur dasar (Plumbridge, 1969) yang terjadi apabila logam mengalami tegangan berulang, secara tepat telah membagi proses kelelahan menjadi tahapan berikut ini :

a) *Permulaan pembentukan retak* ; termasuk pembentukkan awal kerusakan retak yang dapat dihilangkan dengan pelunakan / anil termal yang sesuai.

b) *Pertumbuhan retak pergelinciraan pita (slip band crack growth)* ; melibatkan pertumbuhan lebih lanjut retakan awal pada bidang di mana dengan tegangan yang tinggi. Tahap ini biasa disebut *Pertumbuhan retakan tahap I*.

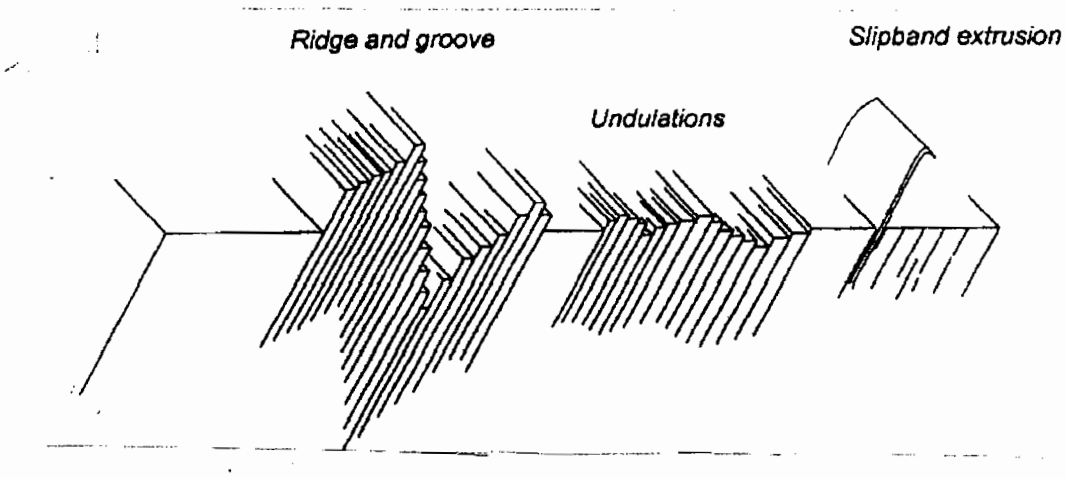
c) *Pertumbuhan retak pada bidang-bidang yang tegangan tarik tinggi* ; meliputi pertumbuhan retak pada arah tegak lurus tegangan tarik maksimum. Tahap ini disebut *pertumbuhan retakan tahap II.*

d) *Kegagalan ulet ultimate* ; terjadi apabila retak mencapai panjang yang cukup besar, sedemikian hingga penampang yang tersisa, tidak mampu menahan beban yang ada.

Retakan biasanya terjadi pada daerah yang mempunyai deformasi padat sejajar dengan pita gelincir semula. Suatu ciri struktur yang khas yang terjadi pada deformasi lelah adalah pembentukan bukit (ridge) dan alur permukaan yang dinamakan sebagai *ekstrusi pita gelincir* dan *intrusi pita gelincir* (Forsyth, 1956). Retak lelah dari retak-retak yang tumbuh dan sering menjalar sampai terjadinya kegagalan, dianggap sebagai akibat pergerakan dislokasi yang membentuk pita-pita gelincir (slip) halus pada permukaan kristal. Ini dapat terjadi karena adanya tegangan geser statis yang membentuk tingkat-tingkat gelincir di permukaan sebesar 10^{-5} sampai dengan 10^{-4} cm. Pita gelincir tersebut dapat digolongkan sebagai pita gelincir kasar (coarse). Dengan pembebanan bolak-balik, lebih sering ditemukan

pita gelincir yang besarnya 10^{-7} cm. Pita gelincir ini akhirnya menonjol keluar dari permukaaan yang mana dimulainya retakan lelah.

Selanjutnya, pita gelincir fatik tersebut membentuk takik dan bukit di permukaan sebagai hasil dari gelincir bolak-balik (reserved slip) pada bidang gelincir yang berdekatan. Hal ini disebabkan oleh beban bolak-balik. Takik dan bukit tersebut bisa berbentuk tajam seperti gigi gergaji atau bulat halus bergelombang. Jika terdapat banyak bidang gelincir maka striasi hasil adalah bergelombang dan dangkal. Jika hanya beberapa bidang berdekatan yang bergerak, maka yang terbentuk adalah celah dan dinding. Secara skematis mekanisme pembentukan awal retak lelah ditunjukkan seperti pada Gambar 2.1 berikut (Collins,1981).

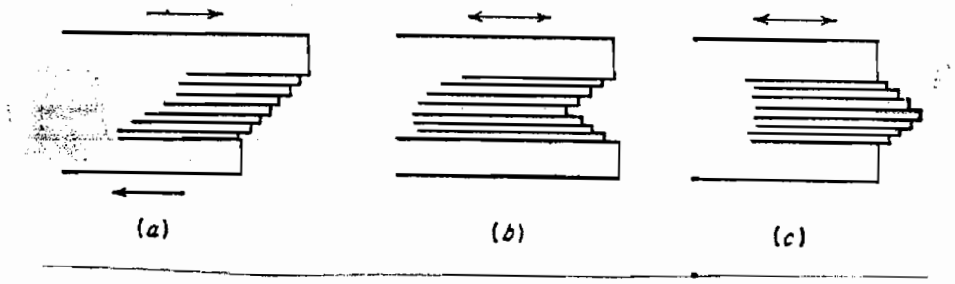


Gambar 2.1 Skema terjadinya kegagalan lelah
(Sumber : Collins, 1981)

Wood, mengemukakan mekanisme pembentukkan ektrusi dan intrusi pita gelincir dengan menafsirkan hasil pengamatan pergelinsiran fatik dengan mikroskop, yang menunjukkan bahwa pita-pita gelincir adalah hasil pembentukkan yang sistematik dari pergerakan bidang gelincir yang kecil. Sesuai dengan pergerakan sebesar 10^{-7} cm, lebih besar dari hasil yang diperoleh pada pengamatan pengujian statik, yaitu sebesar 10^{-5} hingga 10^{-4} cm. Gambar berikut memperlihatkan konsep Wood mengenai perkembangan deformasi pergelinciran halus, menjadi retakan lelah :

a) Pergelinciran akibat deformasi statis, akan menghasilkan kontur permukaan logam serupa dengan yang ditunjukkan pada Gambar 2.2a.

b) Sebaliknya pergerakan maju-mundur dari gelincir halus pada fatik, dapat membentuk takik (2.2b) atau bukit (ridge-2.2c) pada permukaan.



Gambar 2.2 Konsep W.A. Wood mengenai deformasi mikro yang menyebabkan terjadinya retakan lelah.
(Sumber : George E. Dieter, *Metalurgi mekanik*, Jilid II, hal 20)

Keterangan gambar :

a) Deformasi statik

b) Deformasi lelah yang menyebabkan pembentukan takik permukaan (intrusi).

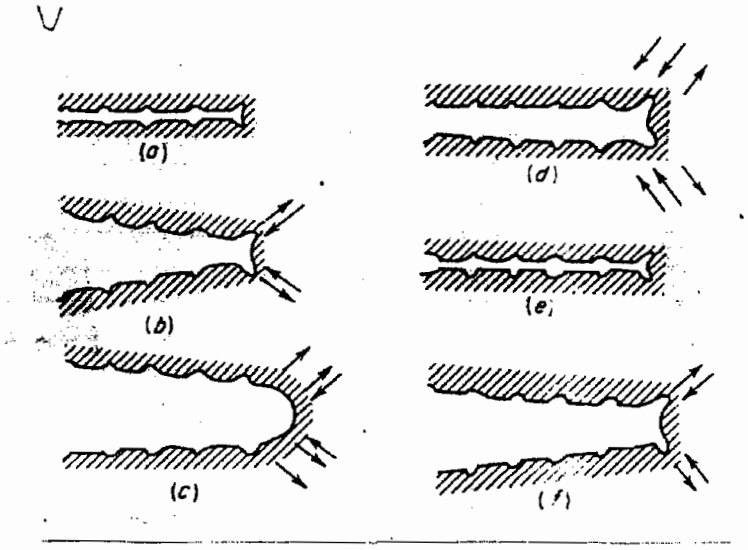
c) Deformasi takik yang menyebabkan terjadinya ekstrusi pita gelincir.

Takik merupakan konsentrasi tegangan, dan dasar takik mempunyai dimensi atomik. Keadaan demikian mendorong terbentuknya retakan lelah. Mekanisme pembentukam awal retak lelah tersebut sesuai dengan kenyataan bahwa retakan lelah mulai terjadi pada permukaan dan retakan mulai terjadi pada intrusi dan ekstrusi pita gelincir.

Pada retak tahap I merambat sepanjang pita gelincir datar. Pada logam polikristalin, retakan dapat berkembang sejauh beberapa diameter butiran sebelum perambatan retak berubah menjadi perambatan tahap II. Permukaan retakan tahap II, memperlihatkan adanya pola riak stiriasi patahan lelah (Gambar 2.3). Setiap stiriasi menyatakan kedudukan berurut dari medan retak yang bergerak tegak lurus pada tegangan tarik terbesar. Setiap stiriasi dihasilkan oleh satu siklus tegangan. Adanya stiriasi tersebut memberikan petunjuk pasti bahwa kegagalan dihasilkan oleh kelelahan, tetapi adanya stiriasi tidak menutup kemungkinan terjadinya patah lelah. Tiadanya stiriasi pada permukaan patah dapat disebabkan oleh jarak yang sangat kecil, sehingga tidak dapat dilihat dengan metode pengamatan yang digunakan. Atau dapat juga disebabkan oleh kurangnya keuletan pada ujung retak untuk menghasilkan riak

melalui deformasi plastis yang cukup besar untuk di amati, atau disebabkan oleh hilangnya stiriasi akibat kerusakan di permukaan.

Perambatan retakan tahap II terjadi akibat proses penumpulan plastik (Laird, 1967), seperti tampak pada Gambar 2.3. Pada awal siklus pembebanan, ujung retakannya tajam (Gambar 2.3a). Dengan diberikannya beban tarik, takik ganda pada ujung retak mengarah (concentrate) pergelinciran ke bidang yang membuat sudut 45^0 dengan bidang retakan (Gambar 2.3b). Sejalan dengan pelebaran retakan hingga harga maksimum (Gambar 2.3c), retakan tersebut bertambah panjang akibat pergeseran plastik dan pada saat yang sama retak menjadi lebih tumpul. Apabila bebannya berubah menjadi beban tekan, arah pergelinciran pada daerah ujung berbalik (Gambar 2.3d). Kedua permukaan retakan saling berinteraksi dan permukaan retakan baru yang terbentuk oleh beban tarik ditekan ke bidang retakan (Gambar 2.3e), dimana sebagian retakan bertekuk, hingga membentuk ujung retakan yang tajam. Retak yang tajam kembali ini, kemudian akan merambat, mengalami penumpulan lagi pada siklus tegangan berikutnya.



Gambar 2.3 Proses penumpulan plastik pada perambatan retakan lelah pada tahap II
(Sumber : C. Laird, ASTM *Spec. Tech.Pulb.* 415, p.136,1967)

2.2 EFEK PERMUKAAN DAN KELELAHAN

Pada dasarnya semua kegagalan lelah mulai terjadi pada permukaan. Cukup banyak bukti, bahwa sifat-sifat lelah mulai terjadi pada permukaan. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi permukaan benda uji, yaitu :

1) Kekasaran permukaan atau mempertinggi tegangan pada permukaan.
2) Perubahan kekuatan lelah permukaan logam.
3) Perubahan kondisi tegangan sisa pada permukaan.
4) Mudahnya suatu permukaan mengalami oksidasi dan korosi.

Perbedaan penyelesaian akhir dari pembuatan benda uji dapat menimbulkan perbedaan performance kelelahan yang cukup besar. Sebagai perbandingannya; Benda uji yang dipoles halus, dengan goresan-goresan halus (mempertinggi tegangan) berarah sejajar dengan arah tegangan tarik utama. Tabel 2.1 memperlihatkan perbedaan ketahanan lelah benda uji batang ungkit tergantung pada penyiapan permukaan.

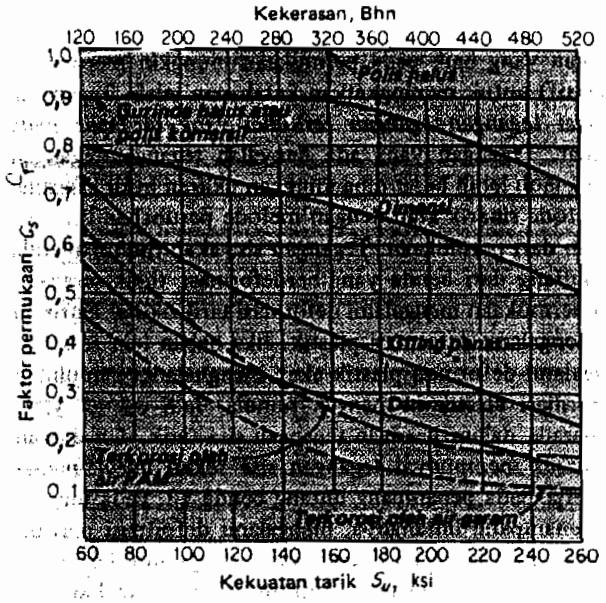
Tabel 2.1 Ketahanan lelah benda uji baja SAE 3130 yang diuji dengan beban balik sempurna, sebesar 95.000 psi.

Jenis pengolahan akhir	Kekasaran permukaan, μ in	Median ketahanan lelah. siklus
Dibubut	105	24.000
Dipoles, sebagian		
Pemolesan dilakukan dengan tangan	6	91.000
Pemolesan, seluruhnya dengan tangan	5	137.000
	7	217.000
Digerinda	2	234.000
Digerinda dan dipoles	7	212.000
Pengolahan super (Superfinished)		

(Sumber : Dieter, 1987)

Gambar 2.4, memperlihatkan pengaruh berbagai penyelesaian akhir permukaan pada baja, terhadap pengurangan batas lelah *"batang sejajar"* yang dipoles dengan hati-hati. Karakteristik penyelesaian permukaan ditandai oleh proses yang digunakan untuk membentuk

permukaan. Pada gambar tersebut telah diungkapkan kepekaan yang ekstrim dari kondisi permukaan baja dan kekuatan tinggi.



Gambar 2.4 Faktor reduksi untuk batas lelah baja, yang disebabkan oleh beragamnya perlakuan permukaan (Sumber : Dieter, 1987).

2.4 PENGUJIAN KELELAHAN

Kelelahan adalah suatu fenomena yang sangat berbahaya dan terjadi pada bahan teknik serta elemen - elemen akibat suatu siklus atau proses pembebanan berfluktuasi yang dikenakan pada bahan tersebut.

Kelelahan berkaitan dengan perpatahan logam secara prematur, karena tegangan rendah yang terjadi berulang kali dan itu biasa terjadi dalam konstruksi mesin, konstruksi pesawat terbang, sambungan pengelasan, dan

bagian elemen suatu mesin, dan lain-lain. Ada beberapa tipe pengujian yang diberikan melalui pengujian bending, pengujian torsi, dan pengujian kompresi, tetapi semuanya ini melibatkan prinsip yang sama yaitu memberikan tegangan konstan secara berulang-ulang pada benda uji.

Untuk menyatakan karakteristik sistem tegangannya ada 3 hal yang perlu diketahui, yaitu :

1. Periode siklus tegangan.
2. Kurva tegangan maksimum
3. Tegangan rata-rata

Dalam pengujian kelelahan benda uji mendapat beban lengkung puntir dalam jangka waktu tertentu dan akan timbul tegangan lentur yang besarnya bervariasi secara berulang - ulang dari harga maksimum tekanan ke harga maksimum tarikan.

Kondisi tarik-tekan ini berlangsung terus-menerus hingga benda uji mengalami kelelahan dan akhirnya patah pada tegangan yang lebih rendah dari tegangan statisnya. Besarnya tegangan lengkung pada pengujian kelelahan ini dapat dihitung dengan persamaan :

$$\sigma = \frac{M \times c}{I} \quad \text{dengan;} \quad c = \frac{d}{2} \quad \text{dan} \quad I = \frac{\pi}{4}\left(\frac{d}{2}\right)^4$$

maka :

$$\sigma = \frac{\frac{W}{2} \times L \times \frac{d}{2}}{\frac{\pi}{4} \times \frac{d^4}{16}}$$

$$\sigma = \frac{\frac{W}{2} \times L}{\frac{\pi}{32} \times d^3} \quad (\text{kg/mm}^2) \qquad (2.1)$$

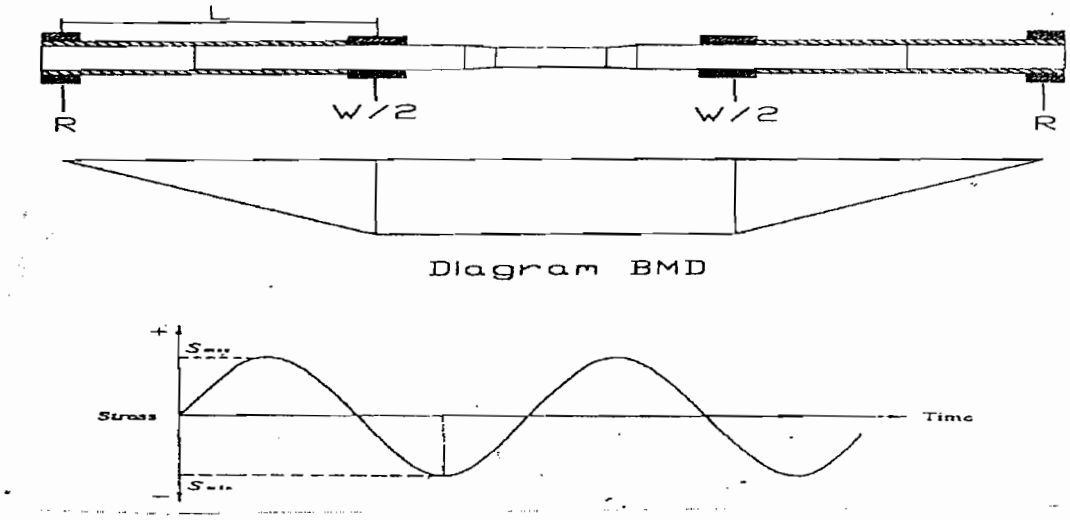
dengan : W adalah beban yang diberikan (kg)

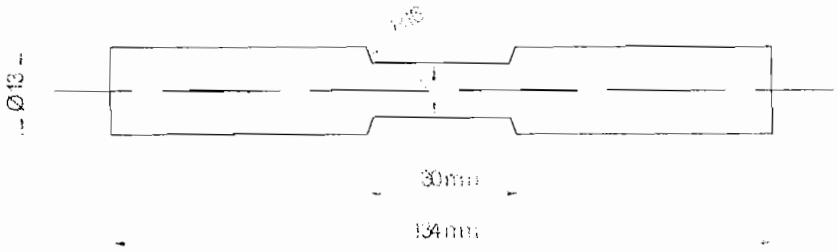
L adalah jarak dari beban terhadap titik tumpuan (mm)

d adalah diameter ukur benda uji (mm)

σ adalah tegangan lengkung (kg/mm^2)

Analisa kelelahan lebih lanjut diilustrasikan dengan suatu Diagram S - N (D*iagram Wohler*). Bahan berada pada kondisi perancangan, secara teori didapat pada siklus antara 10^6 - 10^7 yang merupakan titik di mana suatu bahan dalam hal ini baja karbon rendah dapat di tinjau kelelahannya. Jumlah siklus yang dapat di tahan oleh bahan akan turun dengan naiknya tegangan (S), demikian juga turunnya tegangan akan diikuti dengan naiknya jumlah siklus (N).



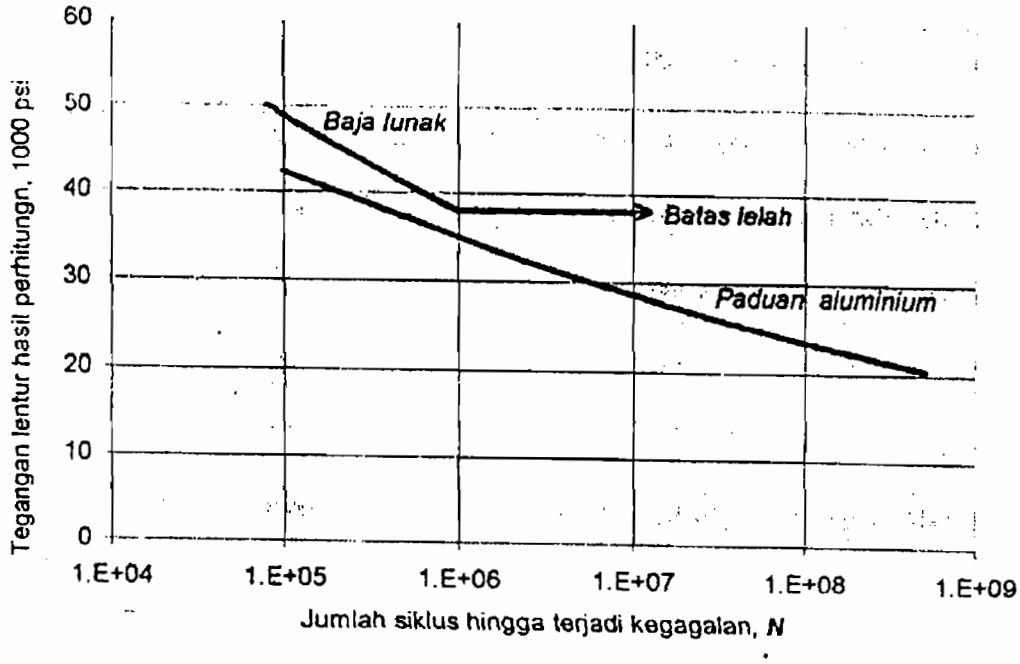


Gambar 2.5 Pengujian Kelelahan

2.4.1 KEKUATAN LELAH (*Fatigue Strength*)

Dalam menyusun kekuatan lelah suatu bahan diperlukan beberapa buah bahan uji. Pada pengujian kelelahan ini bahan uji diberi beban yang berbeda-beda untuk tiap bahan uji, dengan jumlah putaran yang sama tiap bahan, yaitu kira-kira 2870 putaran tiap menitnya. Pengujian ini dihentikan sampai benda uji patah atau melampaui 10^7 siklus dan hasilnya dicatat.

Merupakan suatu hal yang baik bila pengujian dilakukan dengan beban terbesar terlebih dahulu sampai beban yang kecil, sehingga mempermudah penganalisaan dari pengujian. Selanjutnya di buat diagram S - N. Pada kasus logam ferro grafik, akan berbentuk lengkungan lutut pada suatu titik dan kemudian mendatar sampai siklus amannya. Koordinat pada diagram S - N disebut kekuatan lelah (fatigue strenght) suatu pernyataan yang harus selalu diikuti dalam jumlah siklus (N) yang bersangkutan.



Gambar 2.6 Diagram S - N
(Sumber : Dieter, *1987*)

2.4.2 BATAS KETAHANAN (*Endurance Limit*)

Beberapa kondisi pada diagram S - N memperlihatkan logam mampu menahan siklus tegangan balik yang berulang tak terhingga jika besarnya tegangan lebih kecil dari tegangan batas yang disebut juga sebagai batas ketahanan. Pada kasus baja, terdapat sebuah bentuk lutut pada grafik yang bila melampaui lutut ini kegagalan tidak akan terjadi tidak peduli berapapun besar jumlah siklus yang dikenakan.

Dalam menentukan batas kelelahan, kita perlu menyelesaikan semua pengujian terlebih dahulu, kemudian

baru membuat diagram S - N sehingga dapat kita ketahui seberapa besar batas ketahanan terhadap kelelahan.

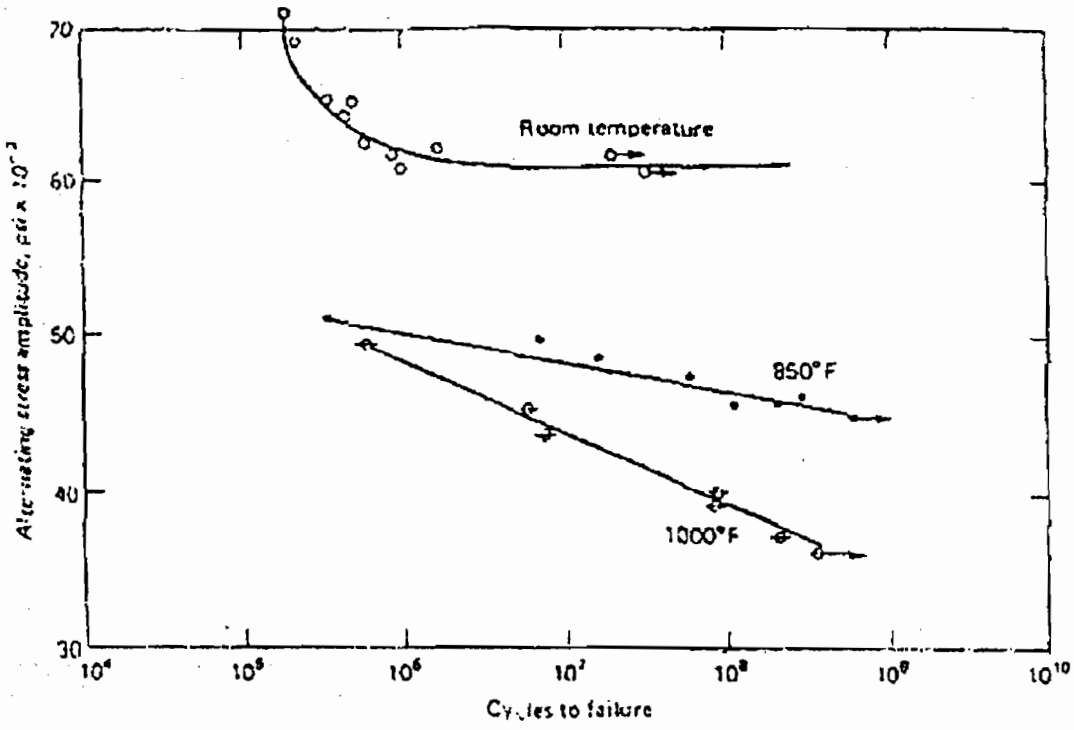
Pada grafik akan terlihat garis mendatar setelah diberi tegangan dan jumlah siklus tertentu antara satu juta sampai dengan 10 juta dianggap bahan sudah dapat melalui ketahanan lelahnya. Batas ketahanan dapat diturunkan secara empiris yang secara umum berada dibawah tegangan lelah bahan.

2.5 PENGARUH TEMPERATUR PADA KELELAHAN

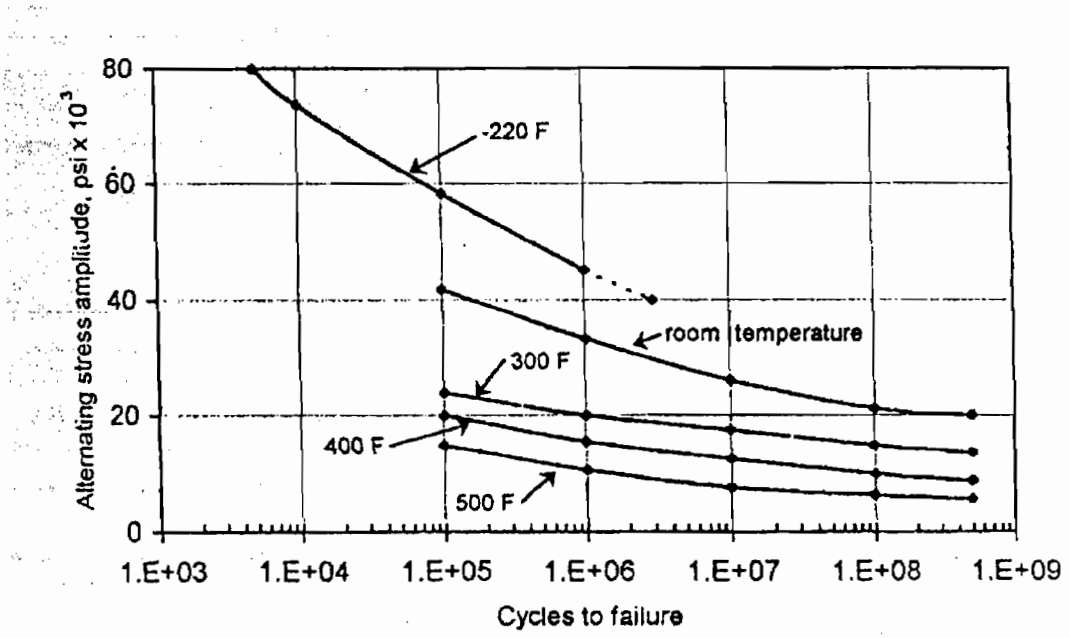
Secara umum, kekuatan lelah logam akan turun dengan bertambahnya suhu diatas suhu kamar. Suatu pengecualian adalah pada baja lunak, yang menunjukkan kekuatan lelah maksimum pada suhu antara 400 ^{0} F sampai 600^0 F. Kehadiran kekuatan tarik maksimum pada selang suhu tersebut disebabkan oleh penyepuhan regang. Sejalan dengan bertambahnya suhu jauh diatas suhu kamar, maka mulur menjadi penting dan suhu tinggi (kira-kira diatas setengah suhu lebur) mulur tersebut merupakan penyebab utama terjadinya kegagalan.

Peralihan dari kegagalan lelah menjadi mulur dengan bertambahnya suhu akan mengakibatkan perubahan jenis kegagalan dari kegagalan lelah transkristalin biasa menjadi kegagalan lelah mulur interkristalin.

Oksidasi batas butir setempat dapat mempunyai peran yang penting pada pembentukan retakan (C.H. Wells, 1979). Pada sebarang suhu, besarnya mulur akan bertambah besar dengan bertambahnya tegangan rata-rata. Gambar 2.4 dan 2.5 akan memperlihatkan pengaruh temperatur operasi pada kurva S - N. Bahan-bahan besi tidak akan memiliki batas lelah pada temperatur tinggi seperti tampak pada gambar 2.4.



Gambar 2.7 Pengaruh temperatur operasi pada kurva S - N dari baja paduan 12 % Cr (Collins, 1981)

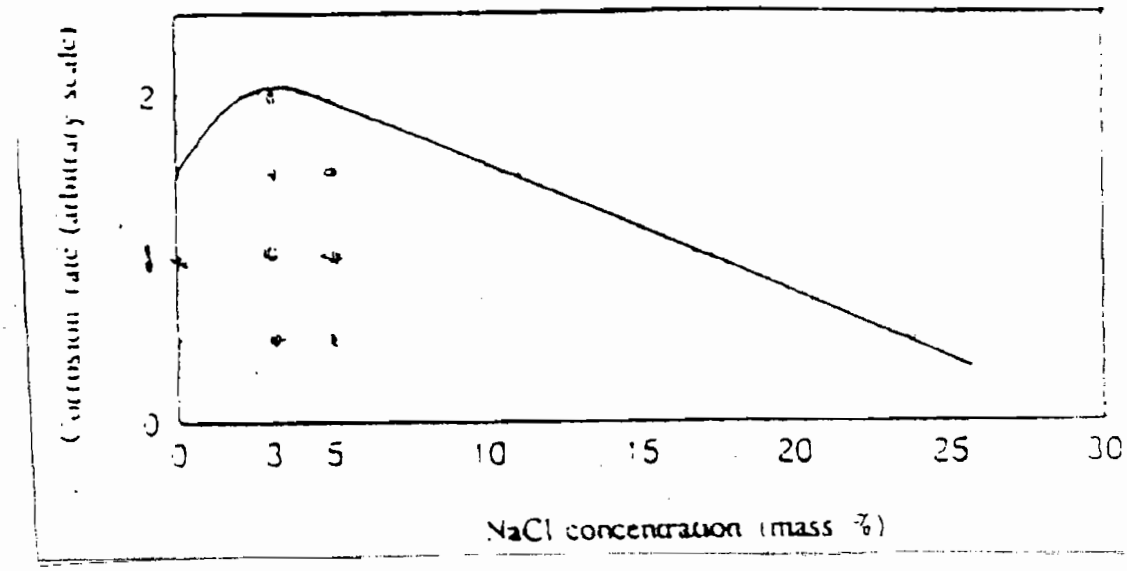


Gambar 2.8 Pengaruh temperatur operasi pada kurva S - N dari paduan Aluminium 2024 - T4 (Collins, 1981)

2.6 PENGARUH AIR GARAM

Pengaruh air garam terhadap perlakuan khusus yang diberikan pada benda uji ini adalah untuk melihat seberapa ketahanan baja karbon rendah diberi air garam. Dari percobaan yang pernah dilakukan (Uhlig, 1985) di peroleh bahwa 5 % NaCl adalah komposisi dengan efek percepatan korosi yang paling cepat. Tetapi yang didapat di air laut komposisi NaCl- nya sekitar 3 %. Dengan melihat Gambar 2.6, memperlihatkan hubungan antara tingkat korosi besi (Fe) dan konsentrasi NaCl dalam air yang berada pada suhu kamar. Tingkat korosi

besi naik dengan konsentrasi klorida yang hanya relatif lebih rendah dengan konsentrasi klorida. Perlu dicatat bahwa tingkat korosi besi berada di bawah konsentrasi saturation (26 %) daripada dalam air murni suling. Jadi lebih tepatnya konsentrasi NaCl berada di antara 3- 5 %.



Gambar 2.9 Pengaruh konsentrasi NaCl pada laju korosi Fe dalam lingkungan air garam
(Sumber : Uhlig H.H, 1985.)

2.7 LELAH KOROSI (Corrosion Fatigue)

Proses yang berlangsung secara bersamaan antara tegangan berulang dan serangan kimia, dikenal sebagai lelah korosi. Serangan korosi tanpa ada beban tegangan, biasanya mengakibatkan lubang pada permukaan logam. Lubang ini bertindak sebagai takik dan menyebabkan pengurangan besarnya kekuatan lelah. Akan tetapi, apabila serangan korosi bersamaan dengan pembebanan lelah, maka dihasilkan sifat-sifat lelah yang lebih besar dibanding kerugian yang di alami apabila terjadi serangan korosi sebelumnya. Bila korosi dan fatik terjadi bersamaan, maka serangan kimia akan mempercepat laju rambat retak fatik. Karena serangan korosi merupakan gejala yang tergantung pada waktu makin cepat laju pengujian, makin kecil kerusakan yang disebabkan oleh korosi. Uji lelah korosi, dapat dilakukan dengan 2 cara. Pada metode yang sering digunakan, benda uji secara terus-menerus diberi beban tegangan berulang dan mengalami proses korosi, sekaligus hingga terjadi kegagalan.

Pada cara benda uji 2 tahap, pengujian lelah korosi dihentikan setelah periode tertentu dan kerusakan yang dihasilkan di nilai dengan menentukan ketahanan yang tersisa dalam lingkungan udara. Adanya tegangan

berulang menimbulkan kerusakan lapisan oksida permukaan setempat, sedemikian hingga terjadi lubang-lubang korosi. Tegangan berulang juga cenderung untuk mengikis produk korosi, yang mungkin mencegah proses korosi lebih lanjut.

Antara lelah korosi dan peretakan korosi tegangan (SCC) memang banyak miripnya, tetapi antara keduanya juga terdapat perbedaan yang sangat nyata, yakni bahwa lelah korosi sangat tidak spesifik. Lelah mekanik dapat dialami semua logam, yaitu menyebabkan logam gagal pada tingkat tegangan jauh di bawah tingkat tegangan static yang dapat membuatnya gagal. Di lingkungan basah, kita sering menjumpai bahwa ketahanan logam terhadap lelah menurun. Ini membuat korosi menjadi bentuk korosi yang lazim di jumpai dan berbahaya.

Selanjutnya contoh-contoh lelah korosi dapat dianggap terjadi menurut salah satu dari tiga kategori yang berbeda :

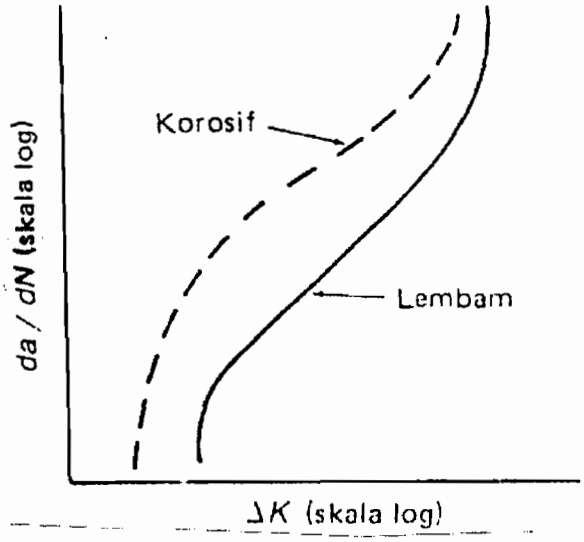
1. **Aktif** : terkorosi dengan bebas, misalnya baja karbon dalam air laut
2. **Imun** : logam dalam keadaan dalam terlindung baik secara katodik maupun dengan pengecatan

UNIVERSITAS SANATA DHARMA YOGYAKARTA PERPUSTAKAAN

3. **Pasif** : logam dalam keadaan terlindung oleh selaput permukaan yang dibangkitkan oleh korosi sendiri, biasanya selaput oksida.

Terdapat fakta-fakta yang menunjukkan bahwa uji lelah udara pada suhu ruang juga dipengaruhi oleh lelah korosi. Uji lelah pada tembaga menunjukkan bahwa kekuatan lelah di ruang hampa parsial lebih tinggi di banding kekuatan lelah di udara. Uji yang terpisah dalam oksigen dan uap air memperlihatkan penurunan dibandingkan kekuatan lelah dalam ruang hampa. Uap air diduga bertindak sebagai katalis sehingga kekuatan lelah diudara berkurang, karena itu kelembaban relatif merupakan variabel yang harus diperhitungkan pada uji lelah. Penelitian mengenai tembaga menunjukkan bahwa ketahanan jauh lebih lama pada lingkungan nitrogen yang bebas oksigen dan dibandingkan dengan di lingkungan udaara.

Lingkungan yang agresif mempunyai pengaruh yang besar terhadap perambatan retak fatik. Pada Gambar 2.7 tampak bahwa proses korosi sangat besar pengaruhnya terhadap ketahanan lelah suatu konstruksi. Daerah dimana terjadi retak perlahan-lahan sesuai dengan kaidah Paris dan retak halus dengan cepat tumbuh menjadi retak besar.



Gambar 2.10 Peran lingkungan korosif terhadap perambatan retak fatik
(Sumber : Dieter, *1987*)

Ada beberapa metode yang dapat dipergunakan untuk menekan kerusakan yang disebabkan oleh lelah-korosi. Pertama-tama, didasarkan pada sifat-sifat ketahanan terhadap korosi. Jadi, baja tahan karat, perunggu, atau tembaga berilium dapat memberikan hasil yang lebih baik daripada baja perlakuan panas. Perlindungan logam terhadap lingkungan korosif dengan pelapisan logam ataupun bukan logam memberikan hasil yang baik asalkan lapisan tersebut tidak rusak akibat regangan siklik. Cara efektif untuk mencegah lelah korosi adalah nitridisasi, dan penumbukkan peluru yang cukup berhasil pada kondisi- kondisi tertentu.

BAB III

PELAKSANAAN PENELITIAN

Untuk melengkapi penelitian tentang baja karbon rendah, maka disamping studi literatur dilakukan juga studi laboratorium. Secara umum studi dilaboratorium perlu dilakukan untuk meneliti perubahan sifat-sifat baja tersebut, karena pada kenyataannya dipabrik industri bahan dan pasaran beredar beraneka ragam baja yang masing-masing mempunyai struktur kimia yang berbeda-beda pula, dan juga kualitas baik itu sifat fisis dan mekanis yang berbeda-beda.

3.1 PERALATAN DAN BAHAN

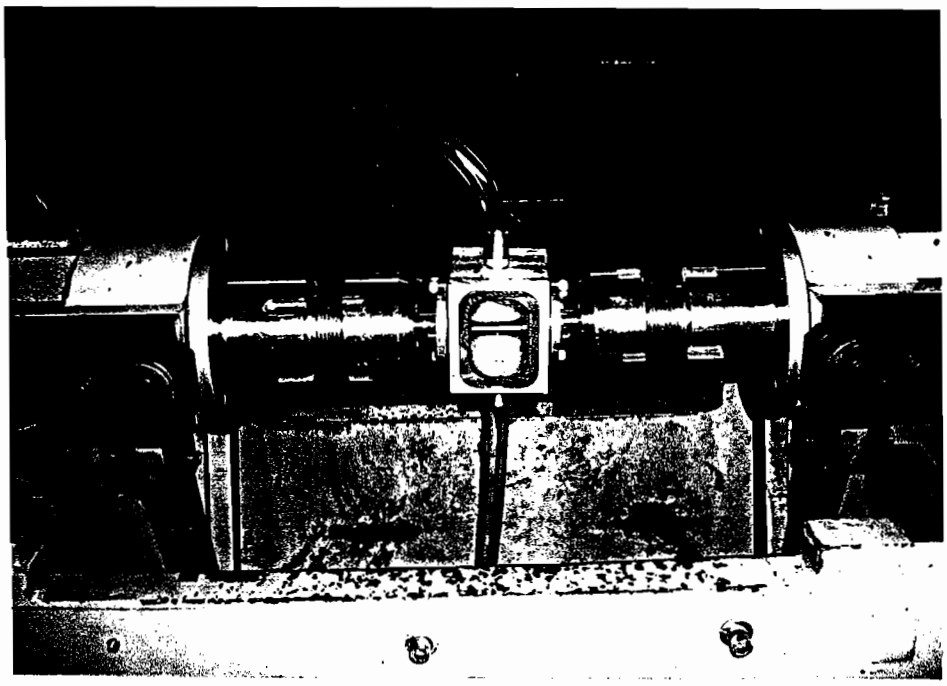
3.1.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini berupa :

- Mesin uji kelelahan *"Rotary Bending Fatigue Testing Machine"*, milik Laboratorium Ilmu Logam Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma.
- Corrosion Fatigue Test Chamber, sebagai alat medium air garam.

- Surftest 402, alat penguji kekasaran suatu bidang guna melihat dan menganalisa permukaan.
- Kamera, untuk pemotretan struktur makro.
- Mesin CNC, untuk pembuatan benda uji.
- Pompa air, untuk mengalirkan air garam.

Gambar 3.1a Rotary Bending Fatigue Testing Machine



Gambar 3.2b Chamber dengan benda uji

3.1.2 BAHAN

Bahan yang digunakan untuk spesimen uji kelelahan adalah jenis baja karbon rendah, berdasarkan analisis komposisi kimia yang dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Metalurgi - LIPI di Serpong, bahan ini didapatkan dipasaran tanpa sertifikasi. Dari data komposisi kimianya, bahan penelitian ini termasuk jenis baja AISI 1010. Spesimen uji kelelahan dibuat dengan mesin CNC, yang kemudian langsung di pasang pada mesin uji kelelahan (Rotary Bending Fatigue Testing Machine) di laboratorium Ilmu Logam, Universitas Sanata Dharma. Adapun bahan yang lainnya adalah larutan air garam

(NaCl) dengan kadar larutan 3,5 % yaitu sebagai bahan media korosif benda uji.

3.2 Jalan Penelitian

Skema jalannya penelitian ditampilkan sebagai diagram alir pada Gambar 2.9. Pertama, spesimen uji kelelahan dibuat dengan mesin CNC di Lab Mekatronika, Jurusan Mekatronika, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Benda uji yang dibuat sebanyak 30 buah spesimen. Di ambil 3 buah spesimen sebelum diuji terlebih dahulu guna diuji kekasaran permukaan dengan menggunakan *Surface Texture Measuring Instrument* yang dilakukan di Lab. Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin FT UGM. Selanjutnya dilakukan uji kelelahan di Lab. Ilmu Logam Jurusan Teknik Mesin FT USD.

Pengujian kelelahan ini dibagi menjadi dua bagian yaitu ; bagian pertama tanpa mendapat perlakuan dengan air garam dan bagian kedua dengan air garam yang menggunakan Chamber sebagai media air garamnya. Proses pengujiannya adalah dengan memasang benda uji pada Chamber yang kemudian Chamber dipasang pada mesin Rotary Bending (sebisa mungkin benda uji dalam keadaan center dan Chamber dalam keadaan diam), mesin dihidupkan bersamaan dengan mengalirnya air garam hingga memenuhi *window* Chamber, kemudian beban

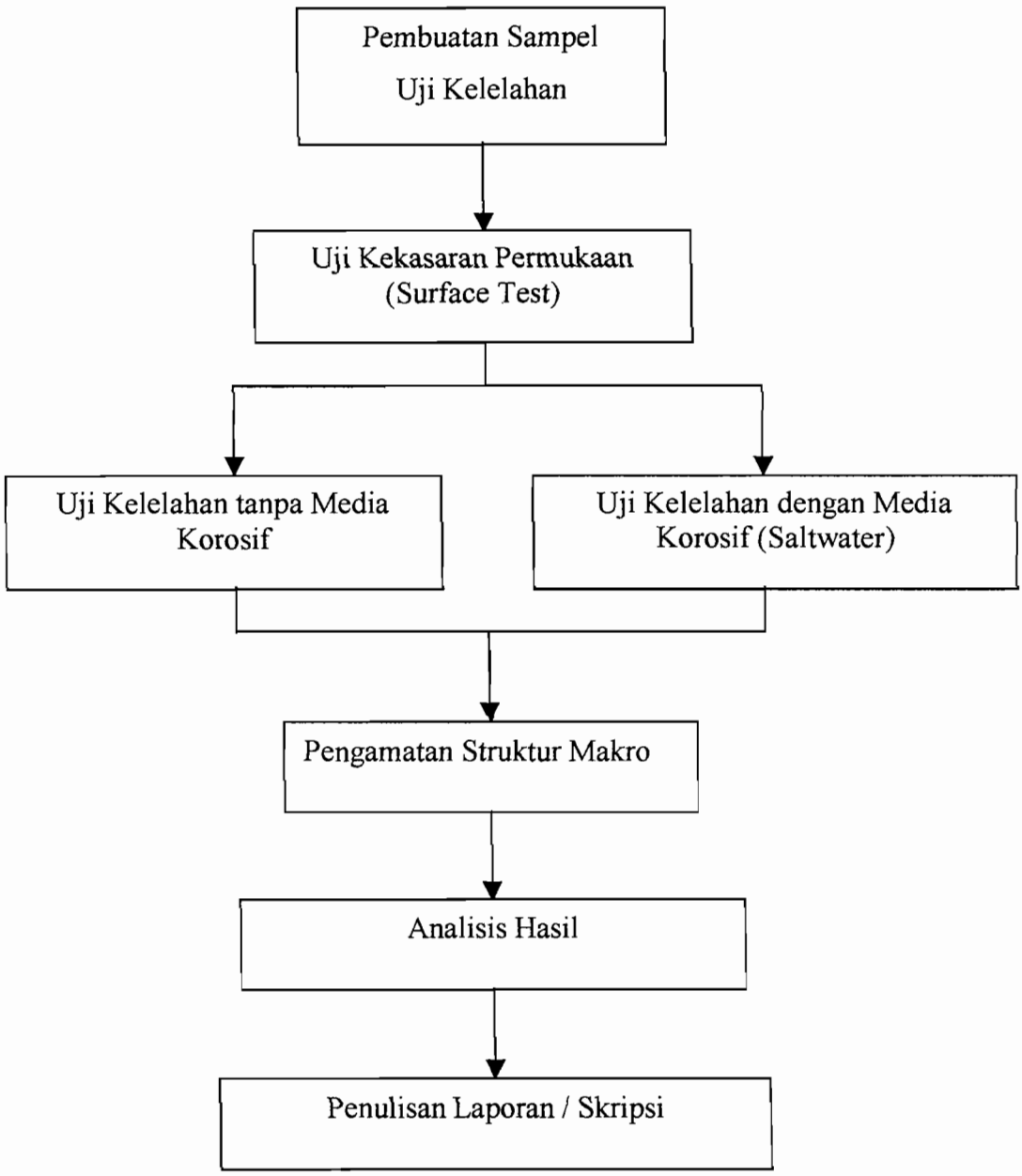
diberikan sesuai dengan perhitungan, bahan uji ditunggu hingga patah, dan akhir dari pengujian adalah mencatat jumlah siklus yang ditunjukkan pada digital yang tertera pada mesin uji kelelahan.

Selanjutnya dilakukan pengamatan pada patahan uji lelah tegangan tinggi (siklus rendah) dan uji lelah tegangan rendah (siklus tinggi), kemudian dilakukan pengamatan pada patahan bahan karena beban maksimum atau patahan bahan karena beban minimum sehingga hasil dari patahan tersebut dapat dibandingkan dengan teori yang ada.

3.3 Analisis Hasil

Secara garis besar, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi yang aman pada perancangan bahan dan aplikasi bahan pada prakteknya sesuai dengan nilai beban aman dengan menggunakan metode pengujian kelelahan. Hasil penelitian dibuat dalam diagram S - N, yaitu perbandingan antara tegangan (S) dengan jumlah siklus (N) yang diketahui. Pengamatan bentuk patahan dibuat secara makrostruktur dan dijelaskan berdasar referensi yang ada. Sedangkan uji kekasaran pada permukaan nilai dapat langsung di baca atau di lihat pada halaman lampiran.

Gambar 3.3 Diagram alir pelaksanaan penelitian



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Kekasaran Permukaan

Pada Tabel 4.1 disajikan hasil pengujian kekasaran permukaan material uji. Hasil pengujian kekasaran permukaan menunjukkan perbedaan yang cukup besar antara spesimen yang satu dengan yang lainnya. Hal ini dapat disebabkan pada saat pengerjaan atau pembuatan spesimen uji kelelahan tidak merata dalam artian pengerjaannya tidak sempurna, dapat juga dipengaruhi karena unsur yang terdapat pada spesimen tidak merata. Terlihat jelas perbedaan antara permukaan yang satu dengan yang lain.

Tabel 4.1. Angka kekasaran permukaan material sebelum dilakukan pengujian.

No	Angkakekasaran permukaan, Ra (μm)	Rata - rata (μm)
1	0,4646	1,1102
2	2,043	
3	0,8230	

4.2 Pengujian Kelelahan

Hasil dari pengujian kelelahan disajikan ke dalam bentuk data dan grafik. Grafik berupa perbandingan tegangan (S) dan siklus putaran (N) atau disebut dengan grafik S - N. Pada pengujian tarik diperoleh hasil 56,58 kg/mm^2 (Puja, 2001) dan dari hasil tersebut dapat dicari beban awal dengan menggunakan rumus 2.1 :

$$\sigma = \frac{\frac{W}{2} \times L}{\frac{\pi}{32} \times d^3}$$

$$56{,}58 = \frac{\frac{W}{2} \times 200}{\frac{\pi}{32} \times 8{,}1^3}$$

$$W = 25{,}2kg$$

Maka besarnya beban awal untuk pengujian kelelahan yaitu sebesar 25,2 Kg. Dengan hasil tersebut pembebanan dimulai dengan beban 25 Kg, selanjutnya secara bertahap beban diturunkan sampai siklus aman yaitu sebesar 10^7 (tahap ini merupakan batas aman ketahanan bahan terhadap lelahnya). Beban awal sebesar 25 Kg dimungkinkan akan patah. Jika dalam pengujian dengan beban awal tapi patahnya berkisar pada 10^5 siklus, maka beban bisa dinaikkan sampai diperoleh patah bahan < 10^5 siklus. Hal ini dapat dilakukan karena beban awal hanya sebagai acuan.

siklus. Hal ini dapat dilakukan karena beban awal hanya sebagai acuan.

Pada gambar 4.1 disajikan kurva tegangan (S) VS jumlah siklus (N) hasil pengujian ketahanan kelelahan terhadap material asal dan material yang diberi perlakuan air garam. Hubungan antara tegangan dan siklus pembebanan mengikuti persamaan Basquin berikut :

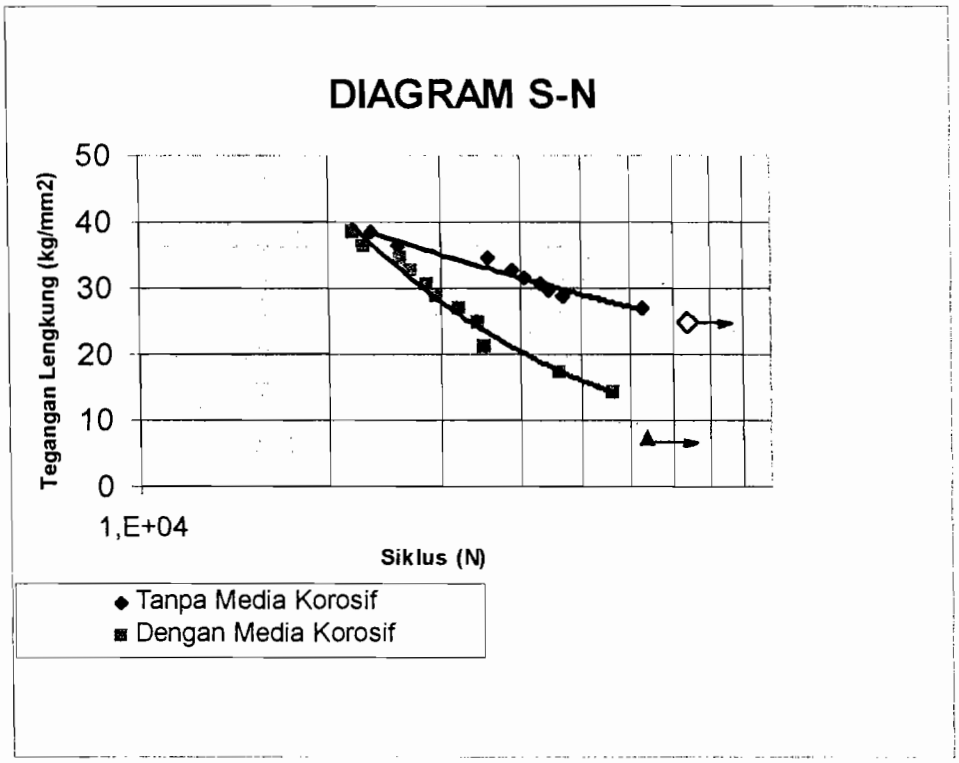
$$\mathbf{N\ \sigma_a^p = C \text{ atau } \sigma_a = C' N^{-p}\ ;\ C' = C^{1/p}}$$

Dengan N adalah jumlah putaran (siklus pembebanan), σ_a adalah tegangan amplitude serta p dan C adalah konstanta empiris material. Dari hasil pengujian didapat hubungan sebagai berikut :

- Material tanpa media korosif $\sigma_a = 164{,}74N^{-0{,}1236}$
- Material dengan media korosif $\sigma_a = 2615{,}7N^{-0{,}3629}$

Dilihat dari kecenderungan kurva kelelahan menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara material asal tanpa media korosif dengan material yang diuji pada media korosif. Kurva untuk material asal berada di atas material dengan media korosif. Ini berarti ada penurunan ketahanan lelah material yang diuji pada media korosif (NaCl). Untuk tegangan 26,85 Kg/mm^2 kegagalan lelah material asal terjadi pada 2.438.958 siklus. Untuk material perlakuan air garam

pada siklus 2.438.958 tegangan yang diterima oleh benda uji tanpa media korosif sebesar 8,1 x 10^{-2} kg/mm^2 dan untuk siklus 1.750.758 tegangan yang diterima oleh media korosif sebesar 2,72 x 10^{-4} kg/mm^2.



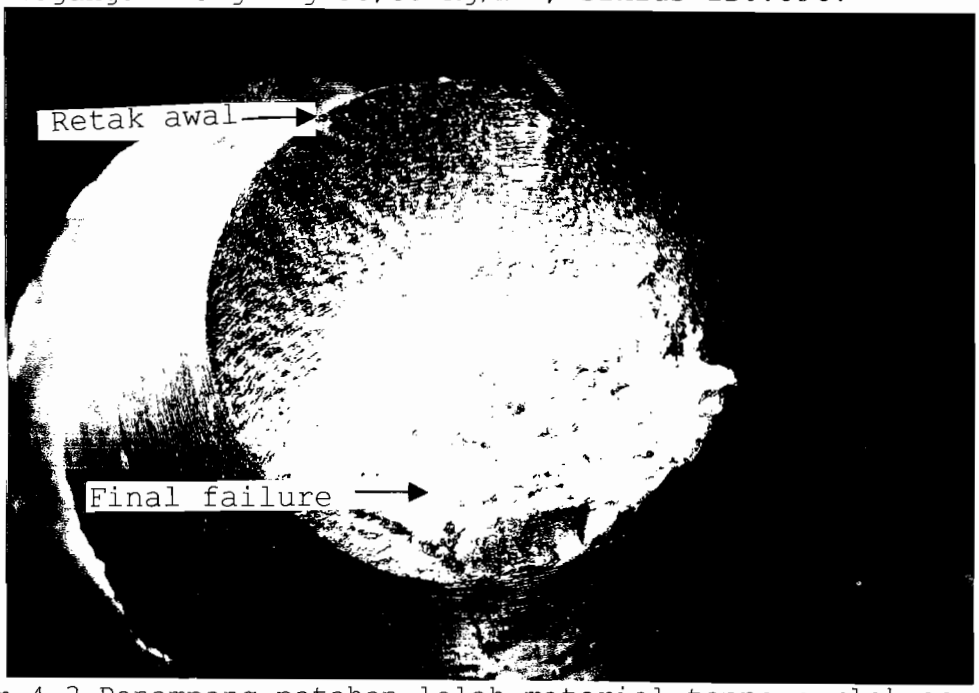
Gambar 4.1 Kurva S - N hasil pengujian lelah material tanpa mesdia korosif dan dengan media koosif.

Penurunan ketahanan lelah tersebut dikarenakan adanya unsur kimia yaitu NaCl di dalam pengujiannya di mana unsur tersebut bersifat pengkorosi material, juga dapat terjadi dikarenakan retak yang kemudian menjadi patahan secara teori telah diketahui dari permukaan bahan. Perbaikan ketahanan lelah tersebut dapat diperoleh dengan perbaikan permukaannya, antara lain dengan pembentukan permukaan yang lebih keras dan lebih halus, dapat juga dengan cara mengecat permukaannya. Penentuan batas ketahanan lelah pada pengujian ini dilakukan dengan pemberian tegangan rendah sampai pada siklus $2,5 \times 10^6$. Hal ini dilakukan karena untuk material baja, batas lelahnya adalah pada tegangan yang memberikan siklus patah antara 10^6 sampai 10^7 siklus (Fuch and Stephen, 1980). Bila pada tegangan tertentu yang memberikan siklus diatas $2,5 \times 10^6$ dan benda uji belum mengalami kegagalan, maka tegangan tersebut dianggap sebagai batas lelah. Batas ketahanan lelah material tanpa dan dengan media korosif dapat dilihat pada gambar 4.1. Bila batas ketahanan yang mengacu pada rumus Basquin sebagai acuan maksimum pada media korosif, terjadi penurunan ketahanan lelah sebanyak 69 %.

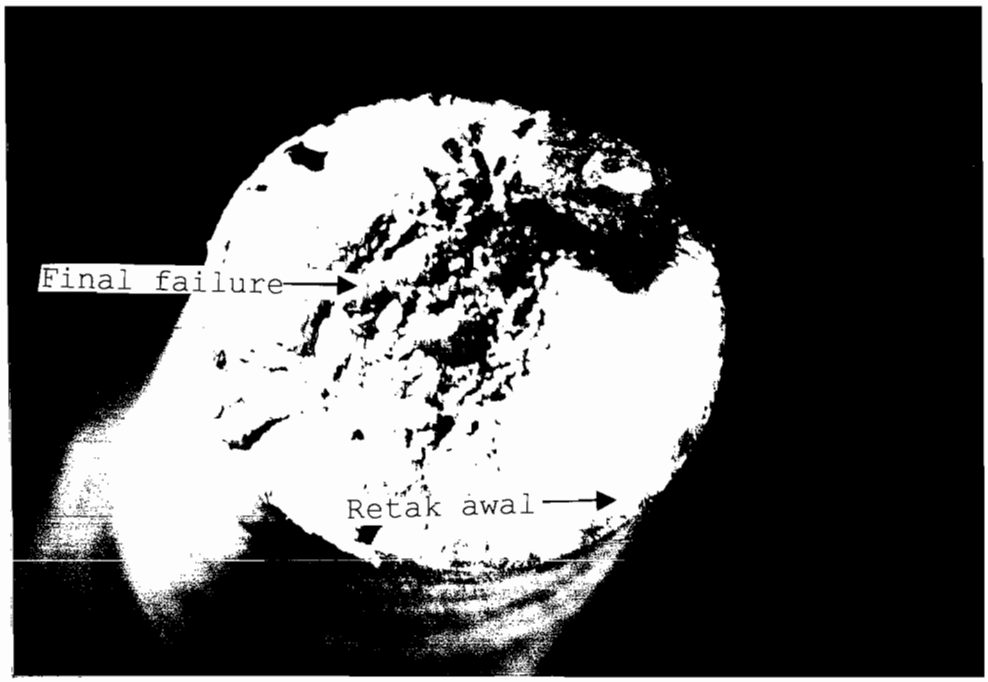
4.3 Pengamatan makro

Hasil pengamatan makro ditunjukkan pada Gambar 4.2, 4.3, 4.4, dan 4.5 ;

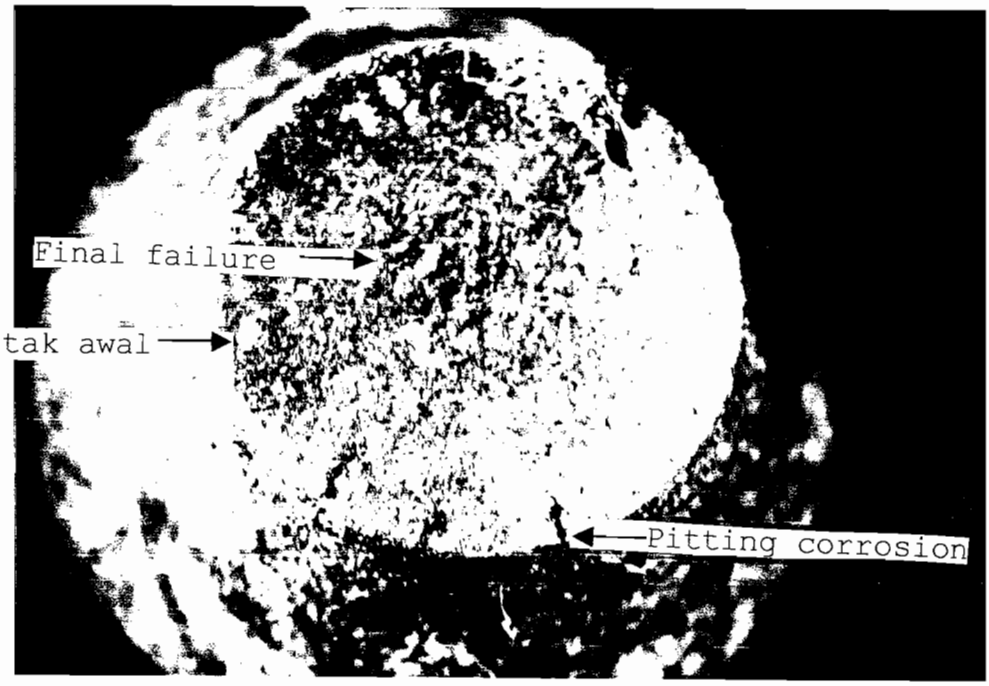
Gambar 4.2 Penampang patahan lelah material tanpa perlakuan. Tegangan lengkung 56,58 Kg/mm^2, siklus 126.896.



Gambar 4.3 Penampang patahan lelah material tanpa perlakuan. Tegangan lengkung 26,8 Kg/mm^2, siklus 2.438.958.



Gambar 4.4 Penampang patahan lelah dengan perlakuan air garam. Tegangan lengkung 56,58 Kg/mm^2, siklus 103.228.



Gambar 4.5 Penampang patahan lelah dengan perlakuan air garam. Tegangan lengkung 14,38 Kg/mm^2, siklus 1.750.758.

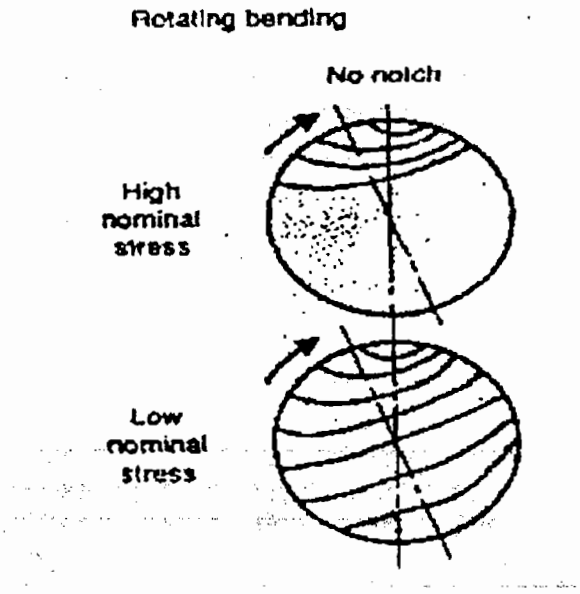
Pengamatan makro dilakukan pada permukaan patah hasil pengujian lelah pada siklus tinggi dan siklus rendah. Pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3, ditampilkan bentuk patahan lelah material asal (tanpa media korosif). Untuk Gambar 4.2, retak awal dimulai pada suatu titik di permukaan material, yang kemudian merambat cepat dan akhirnya patah pada titik yang bertolak belakang dengan titik di mana retak di mulai.

Permukaan yang kasar dan hampir tidak terlihat awal retaknya, kemungkinan disebabkan oleh beban yang besar sehingga patah lelahnya pun cepat. Namun pada Gambar 4.3, perambatan awal retak terlihat jelas sampai terjadi patah lelah.

Bentuk patahan benda uji pada media korosif, untuk Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 terlihat adanya pitting corrosion pada penampang patahan benda uji. Gambar 4.4 hampir tidak terlihat pitting corrosionnya, disebabkan benda uji patah karena sbeban berlebih. Terlihat dari jumlah siklus yang didapat rendah yaitu dengan jumlah 103.228 siklus dan pada tegangan lengkung 56,58 Kg/mm^2. Tetapi pada Gambar 4.5, pitting corrosionnya terlihat jelas. Terjadi oleh reaksi air garam (NaCl) yang masuk sedikit demi sedikit pada permukaan spesimen hingga

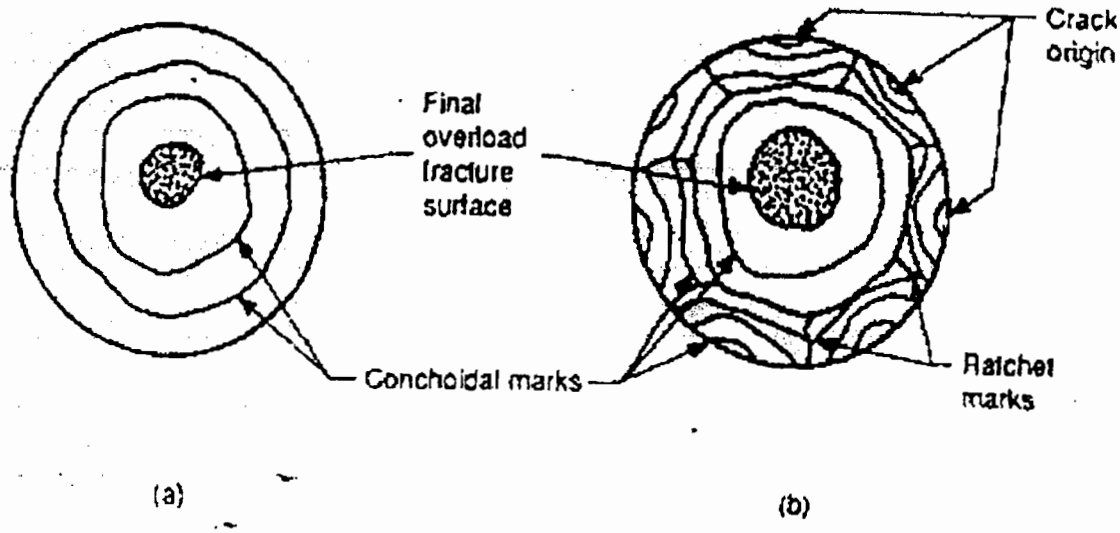
menyebabkan adanya sobekan atau celah (*crevice*) pada permukaannya.

Untuk Gambar 4.3, dilihat dari bentuk patahan, material uji pada penelitian ini tergolong lunak dan ulet. Ini terlihat dari sobekan benda uji yang begitu besar. Di samping itu, adanya garis slip (stiriations), yang ditunjukkan oleh bidang lebih gelap menunjukkan patahan adalah patah lelah. Luas bidang gelap yang lebih besar dengan luas bidang (mengkilap) menunjukkan bahwa benda uji patah pada tegangan nominal. Hal ini sesuai dengan ilustrasi skematis penampakkan permukaan patah seperti terlihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Ilustrasi skematis bentuk patahan lelah
(Sumber : Brooks, 1993)

Berbeda dengan bentuk patahan material pada media korosif (Gambar 4.5), sobekan di permukaan benda uji cukup besar. Ini menunjukkan bahwa lingkungan air garam dapat menurunkan keuletan baja di permukaan.



Gambar 4.7 Ilustrasi skematis penampakkan permukaan patah dari suatu perpatahan lelah lengkung putar.

(a) Retak dimulai pada titik yang berbeda dalam satu bidang keliling.

(b) Retak dimulai pada titik yang berbeda tetapi tidak pada satu bidang keliling.

(Sumber : Brooks, 1993)

Retak lelah juga dapat berawal dari beberapa tempat secara simultan di permukaan benda uji. Hal ini

dapat dijelaskan secara skematis dalam Gambar 4.6a. Jika retak lelah berawal di beberapa tempat tetapi secara aksial tidak terletak pada satu bidang, maka terjadi penyesuaian untuk mempertemukan retak tersebut ke dalam satu retak lelah.

Titik pertemuan ini membentuk tanda pada permukaan patah yang di sebut dengan *rachet marks*, seperti dilustrasikan dalam Gambar 4.6b. Tanda seperti ini juga tampak pada permukaan patah benda uji pada media korosif.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat di tarik beberapa kesimpulan yaitu :

1. Ketahanan lelah baja karbon rendah pada media korosif NaCl 3,5 % lebih rendah dibandingkan dengan tanpa media korosif. Penurunan ketahanan lelah ini berkisar sekitar 69 %.
2. Pengamatan bentuk patahan menunjukkan adanya pitting corrosion pada benda uji yang diuji pada larutan media korosif NaCl 3,5 % dibanding dengan bentuk patahan tanpa media korosif.

5.2 SARAN

1. Penurunan batas ketahanan lelah yang diperoleh pada penelitian ini telah dikemukakan karena adanya perubahan sifat material yang lebih lemah pada permukaan. Disarankan untuk penelitian selanjutnya, benda uji terlebih dahulu diperhalus dengan amplas maupun dipolis

dengan silikon sehingga didapatkan hasil yang lebih baik.

2. Pada penelitian ini tidak dilakukan variasi temperatur lingkungan uji terhadap material tanpa korosif. Oleh karena itu perlu kiranya dilakukan pengkajian seberapa besar pengaruh NaCl terhadap temperatur lingkungan uji.

DAFTAR PUSTAKA

ASM, 1987, Metal Handbook, *Fractography*, Ninth Edition, Volume 12, pp. 13,36,49, Metal Park Ohio.

ASTM, 1991, *Constant Aplitude Axial Fatigue Tests of Metalic Materials, Designation* E466-76, Annual Book of ASTM Standards, Philadelpia.

Brooks, C.R., Choudhury, A., 1993, *Metallurgical Failure Analysis*, Mc.Graw-Hill, Tokyo, Japan.

Collins, J.A., 1981, *Failure of Material in Mechanical Design; Analysis, Pridiction and Prevention,* Interscience Publication, John Willey & Sons, New York.

Chamberlain J. T., *Korosi untuk Mahasiswa & Rekayasawan,* hal. 191, Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Dieter, G. E., 1987, *Metalurgi Mekanik*, Jilid 2, edisi ketiga, alih bahasa oleh Sriari Djaprie, Erlangga, Jakarta.

Funch, H.O., Stephwn, R.I., 1980, *Metal Fatigue in Engineering*, John Willey and Sons, New York.s

Juvinnal, R.C., 1967, *"Stress, Strain, and Strenght."* P.234, Mc-Graw-Hill Book, New York.

Laird C., 1967, ASTM *Spec. Tech.Pulb.* 415, p.136.

Puja, I.G.K., 2001, *Pengaruh Temperatur Pengujian Terhadap ketahanan Lelah Baja Karbon Rendah Yang Di nitridasi*, Thesis. S2, TM FT UGM Yogyakarta.

Uhlig, H.H., Revie, R.W., 1985, *Corrosion and Corrosion Control*, 3rd ed., Wiley, pp. 99-111.

Lampiran 1

Perhitungan tegangan dan data pada pengujian kelelahan

Persamaan yang digunakan :

$$\sigma = \frac{\frac{W}{2} \times L}{\frac{\pi}{32} \times d^3} \qquad (Kg/cm^2) \qquad (2.1)$$

dengan : W adalah beban yang diberikan (Kg)

d adalah diameter benda uji (mm)

L adalah jarak antara tumpuan (L = 20 cm)

Hasil perhitungan dan data pengujian disajikan dalam tabel berikut :

1. Data hasil pengujian uji kelelahan tanpa perlakuan

No	W (Kg)	D (mm)	σ (kg/mm²)	N (Jumlah siklus)
1	20	8,1	38,35	126.896
2	19	8,1	36,43	169.996
3	18	8,1	34,517	446.706
4	17	8,1	32,6	596.523
5	16,5	8,1	31,64	669.668
6	16	8,1	30,68	799.432
7	15,5	8,1	29,72	890.761
8	15	8,1	28,76	1.024.795
9	14	8,1	26,85	2.438.958
10	13	8,1	24,9	3.974.426*

2. Data hasil pengujian uji kelelahan dengan perlakuan air garam

No	W (Kg)	D (mm)	σ (kg/mm^2)	N (Jumlah siklus)
1	20	8,1	38,35	103.228
2	19	8,1	36,43	115.533
3	18	8,1	34,51	173.214
4	17	8,1	32,6	192.666
5	16	8,1	30,68	232.790
6	15	8,1	28,76	256.313
7	14	8,1	26,85	333.217
8	13	8,1	24,92	402.755
9	11	8,1	21,09	429.852
10	9	8,1	17,25	975.434
11	7,5	8,1	14,38	1.750.758
12	4	8,1	7,67	2.551.510*

Keterangan : * benda uji tidak patah

Lampiran 2

Nama alat dan hasil pengujian kekasaran permukaan :

Nama alat : Surftest 402
Merek : Mitutoya
Date : 4/ 5/ 2004
Time : 8:28:25
M speed : 0,100 mm/s
Standard : JIS. 1994
Filter : GAUS
Cut off : λC 0,800 mm
E lenght : 0,800 mm
F profile
V 2000 → 5,000 μm/10 mm
H 150,0 ↓ 0,067 mm/10 mm

Data hasil pengujian kekasaran permukaan material sebelum dilakukan uji kelelahan :

Spesimen	I (μm)	II (μm)	III (μm)
Ra	2,043	0,8230	0,4646
Ra 1	2,043	0,8230	0,4646
Ramax	2,043	0,8230	0,4646
Ramin	2,043	0,8230	0,4646
Rz	7,420	3,410	2,220
Rz1	7,420	3,410	2,220
Rzmax	7,420	3,410	2,220
Rzmin	7,420	3,410	2,220

UNIVERSITAS SANATA DHARMA PERPUSTAKAAN YOGYAKARTA

Lampiran 3

Laporan analisis komposisi kimia

LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN METALURGI
R & D CENTRE FOR METALLURGY - INDONESIAN INSTITUTE OF SCIENCES
KAWASAN PUSPIPTEK SERPONG - TANGERANG 15314 ☎ 7560911, 7560562 PS. 3211 - FAX. 7560553 - E- mail: metallpi@centrin.net.id

LAPORAN ANALISIS

Laporan No. : 0145/An/ H/ VI/2000

Dibuat untuk : I. GUSTI KETUT PUJA
Perumahan Candi Indah B-12A
YOGYAKARTA

Komoditi : Baja karbon

Diterima Tanggal : 10 Juli 2000

Dikerjakan Tanggal : 11 Juli 2000

HASIL PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA

Unsur	Jenis sampel				
	S0	S1	S2	S3	S4
	% berat	% berat	% berat	% berat	% berat
C	0.10439	0.12285	0.06923	0.08401	0.06752
Si	0.05594	0.08887	0.05928	0.08180	0.06077
S	0.0202	0.0216	0.0308	0.0244	0.0196
P	0.0253	0.0101	0.0187	0.0089	0.0120
Mn	0.47337	0.45210	0.46305	0.44672	0.46631
Ni	0.04082	0.05956	0.04531	0.03035	0.04266
Cr	0.02878	0.02204	0.03202	0.02755	0.03207
Mo	0.00406	0.00693	0.00711	0.00457	0.00622
V	0.01045	0.00096	0.00093	0.00062	0.00065
Cu	0.06697	0.14128	0.11630	0.09859	0.10529
W	0.00207	0.00216	0.00257	0.00127	0.00084
Ti	0.00111	0.00136	0.00098	0.00097	0.00095
Sn	0.00542	0.01889	0.00564	0.00480	0.00604
Al	0.00212	0.00059	0.00191	0.00427	0.00475
Pb	0.00119	0.00116	0.00049	0.00127	0.00048
Nb	0.00215	0.00208	0.00121	0.00136	0.00020
Zr	0.00064	0.00068	0.00007	0.00020	0.00083
Zn	0.00061	0.00075	0.00110	0.00054	0.00124
Fe	99.1544	99.0473	99.1435	99.1778	99.1742

Laporan ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji.

Serpong, 11 Juli 2000
Puslitbang Metalurgi-LIPI
Ka. Lab. Analisa / korosi

Ir. Harsisto M.Eng
NIP. 370004810

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA

Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman -Yogyakarta

Telp.(0274) 883037, 883968, 886530; Fax.(0274) 886529; Email : teknik@staff.usd.ac.id

UJIAN PENDADARAN TUGAS AKHIR / SKRIPSI
TANGGAL : 11 Desember 2004

NAMA Mhs. : RIASINIR PRISCA PITARIA TALAGA

NIM : 995214146

JUDUL :
" Corrosion Fatigue on Low-Carbon Steel "

Pembimbing Utama : I Gusti Ketut Puja, S.T.,M.T.

Pembimbing Kedua : -

USULAN REVISI DARI DOSEN PENGUJI

1. 1 lembar untuk mahasiswa
2. 1 lembar untuk dosen pembimbing

① Keterangan daftar isi & daftar tabel
② Kesimpulan
③ Tulisan (cek setiap masalah)

Ace diajukan
20/1-05

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA

Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman -Yogyakarta

Telp.(0274) 883037, 883968, 886530; Fax.(0274) 886529; Email : **teknik@staff.usd.ac.id**

BERITA ACARA SEMINAR TGA / SKRIPSI

Telah diselenggarakan Seminar TGA / Skripsi Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Nama : Riasinir Prisca P Talega

N I M : 995214146

Jurusan : Jurusan Teknik Mesin

Fakultas : Teknik Univ. Sanata Dharma Yogyakarta

Judul : Corrotion Fatigue on Low-Carbon Steel

Hari / Tgl : Jumat, 26 Nopember 2004
Tempat : 3.11
Pukul : 13.00 WIB

Pemb I / II : I Gusti Ketut Puja, S.T., M.T. Tanda Tangan

Dihadiri Dosen

1 I GUSTI KETUT PUJA, S.T., M.T Tanda Tangan

2 BUDI SATYAHANDANA, S.T., M.T Tanda Tangan

3 RINES ALADAN, S.T., M.T Tanda Tangan

4 DEDDY PURWANDIANTO, S.T., M.T Tanda Tangan

5 _____ Tanda Tangan

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA

Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman -Yogyakarta

Telp.(0274) 883037, 883968, 886530; Fax.(0274) 886529; Email : **teknik@staff.usd.ac.id**

DAFTAR HADIR SEMINAR TGA / SKRIPSI

Nama : Riasinir Prisca P Talega

NIM : 995214146

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik Univ. Sanata Dharma Yogyakarta

Judul :
Corrotion Fatigue on Low-Carbon Steel

Pembim TGA : I Gusti Ketut Puja, S.T., M.T.
Hari / Tgl : Jumat, 26 Nopember 2004
Tempat : 3.11 Pukul : 13.00 WIB

No	NIM	Nama	Tanda Tangan	
1	995214056	Roberthus Bayu Prasetyo	1	
2	995214081	Aris Anggoro		2
3	995214049	Bram Prasetyo	3	
4	005214041	Sri Murwati		4
5	995214076	Agus Handoyo C.N	5	
6	995214168	NINE FREDERIEK-S		6
7	985214002	MARTUS SETYONO	7	
8	985214001	Ag. Hari. S		8
9	995214147	Fto. P.	9	
10	015214086	Fransiskus Iman		10
11	015214121	TRIS SAPUTRA	11	
12	995214097	Stevie. Pranata.		12
13	015214016	TEGUH	13	
14	995214116	P. YUYUM Santoso		14
15	015214075	REDI SUMENDI	15	
16	005214066	Yudiatin		16
17	005214079	Heriadi Dedet	17.	
18	005214123	Lambertus. Sugiarto. Nali		18
19	005214056	K. Gunawan	19	
20	005214083	Hardi		20

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA

Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman -Yogyakarta

Telp.(0274) 883037, 883968, 886530; Fax.(0274) 886529; Email : **teknik@staff.usd.ac.id**

Nama :Riasinir Prisca P Talega NIM : 995214146

No	NIM	Nama	Tanda Tangan	
21	00-024	SADHA HARYBAWA . T	21	
22	24101036	Riasinir L. Talaga		22
23	99-136	ARDOYO IRAHYU	23	
24	99-128	ANTONIUS DHANIS		24
25	99-160	BAYU SURYO S.	25	
26				26
27			27	
28				28
29			29	
30				30
31			31	
32				32
33			33	
34				34
35			35	
36				36
37			37	
38				38
39			39	
40				40
41			41	
42				42
43			43	
44				44
45			45	
46				46
47			47	
48				48
49			49	
50				50