

**PENGARUH BEBAN LEBIH (*OVERLOAD*) TERHADAP PERAMBATAN
RETAK FATIK PADA BAJA AISI 1020**

(Skripsi)

Oleh

RATIH SAFRIA HANDRIKA



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2016

ABSTRAK

PENGARUH BEBAN LEBIH (*OVER LOAD*) TERHADAP PERAMBATAN RETAK FATIK PADA BAJA AISI 1020

Oleh :

RATIH SAFRIA HANDRIKA

Penelitian perambatan retak fatik baja AISI 1020 dilakukan dengan menggunakan mesin MTS landmark 100 kN dengan parameter pengujian $R=0,3$ dan $P_{maks}= 0,7P_y$ pada $f=10$ Hz dalam kondisi temperatur ruang. Dalam penelitian ini beban lebih sebesar 30% dari P_{maks} diberikan setelah panjang retak mencapai 5 mm, hasil menunjukkan beban berpengaruh terhadap perambatan retak fatik yaitu terjadinya perlambatan perambatan retak. Indikasi ini dapat dilihat dari laju perambatan retak baja tanpa overload sebesar $da/dN = 8,107 \cdot 10^{-14} \text{ K}^{4,69}$ sedangkan laju perambatan retak setelah *overload* sebesar $da/dN= 1,703 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{5,691}$. Penampang patahan pada permukaan baja setelah uji fatik yang diambil pada titik sekitar retak sudah mencapai 1,119 mm menunjukkan patahan yang lebih halus dibandingkan pada zona perambatan. Pada titik dimana retak 3,611 mm menunjukkan permukaan patahan liat yang ditandai dengan adanya *dimple fracture*. Morfologi transisi diamati juga setelah panjang retak 5,08 mm. Permukaan patahan dengan panjang retak 5,922 ditandai dengan adanya permukaan rusak parah. Pada titik sekitar panjang retak 9,192 mm permukaan patah adalah transgranular. Pada permukaan patah dengan panjang retak 1,620 cm permukaan nya lebih kasar dan berserabut.

Kata kunci : *overload*, laju retak fatik, retardasi retak, mekanisme retak

ABSTRACT

THE EFFECT OF OVERLOAD ON FATIGUE CRACK PROPAGATION ON STEEL AISI 1020

By :

RATIH SAFRIA HANDRIKA

The fatigue crack growth (FCG) rate of AISI 1020 steel was performed using the MTS Landmark 100 kN under testing parameters load ratio (R) = 0.3, $P_{max} = 0.7P_{yield}$, and $f = 10$ Hz at room temperature. The total of 30% P_{max} overload was applied to the steel during FCG testing while the crack length reached around 5 mm. After overload applying, the fatigue crack growth of the steel showed a crack retardation for a certain period cycles. In this case, a crack retardation was attributed to plastic deformation formed on the crack tip. Therefore, the FCG rate of the steel is decreased to the lower rate (da/dN) of $8.107 \times 10^{-14} K^{4.69}$ mm/cycles than that of $1.703 \times 10^{-7} K^{5.691}$ mm/cycles of the steel without overload applying. Surface fracture morphology of the steel after fatigue testing was taken at when the crack length reached 1.119 mm, showing a slow FCG rate zona. The fracture surface morphology at the total crack length of 3.611 mm shows a characteristic dimples. Fracture surface morphology of the steel after overload applying at the crack length of 5.08 mm shows a transition fracture when the crack growth was a slow rate, leading to decrease a lower rate of FCG until the total crack length of 5.922 mm. The intergranular crack growth was observed at the crack length of around 9.192 mm. In this study, the overload applying on the steel gave a positive effect only when the total of crack length reached around 16.2 mm, after that the FCG rate of the steel shows a rapid rate until static fail.

Keywords : overload, the fatigue crack growth, crack retardation, dimple fracture

**PENGARUH BEBAN LEBIH (OVERLOAD) TERHADAP PERAMBATAN
RETAK FATIK PADA BAJA AISI 1020**

Oleh

Ratih Safria Handriqa

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

Judul Skripsi

: PENGARUH BEBAN LEBIH (OVERLOAD) TERHADAP PERAMBATAN RETAK FATIK PADA BAJA AISI 1020

Nama Mahasiswa

: Ratih Safria Handrika

Nomor Pokok Mahasiswa : 1115021061

Program Studi

: Teknik Mesin

Fakultas

: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

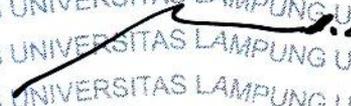


Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T.
NIP. 19721211 199803 1 002



Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
NIP. 19740816 200012 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Mesin



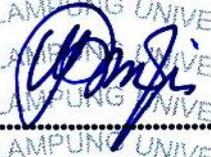
Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
NIP. 19740816 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

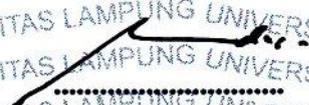
Ketua

: Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T.



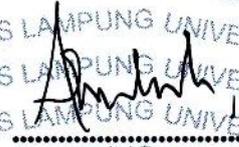
Anggota Penguji

: Ahmad Su'udi, S.T., M.T.



Penguji Utama

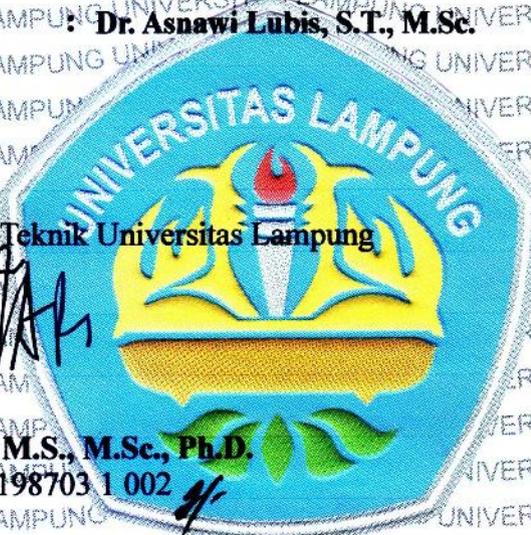
: Dr. Asnawi Lubis, S.T., M.Sc.



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.

NIP. 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 6 Juni 2016

PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PERATURAN
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN
REKTOR No. 3187/H26/DT/2010.

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



Ratih Safria Handrika
NPM. 1115021061

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, 22 November 1993 sebagai anak ke dua dari Orang Tua Bapak Siswanto dan Ibu Dewi Umi Hani. Pendidikan diawali dari Taman Kanak-kanak Ainul Yaqin Tahun 1997, SDN 1 Labuhan maringgai pendidikan ditempuh pada tahun 1998-2004.

Pada tahun 2004 penulis melanjutkan di sekolah tinggi pertama SMPN 2 Labuhan Maringgai Kemudian penulis pada tahun 2007 melanjutkan di Sekolah Menengah Atas SMA Al-Azhar 3 Bandar Lampung, dan diselesaikan pada tahun 2011. Kemudian pada tahun 2011 penulis melanjutkan kuliah di Universitas Lampung dengan jalur SNMPTN jurusan Teknik Mesin dan diselesaikan pada tahun 2016. Pada tahun 2014 penulis melakukan kerja praktek di PT. PLN (PERSERO) PLTP ULU BELU UNIT 1 DAN UNIT 2 2 X 55 MW Lampung dengan judul Perhitungan Performasi *Cooling Tower Tipe Counter Flow Mechanical Induced Draft* Di Pt. Pln (Persero) Sektor Kit Bandar Lampung Pusat Listrik Tanggamus (Pltp Ulubelu).

Selama masa studi kuliah penulis mengikuti organisasi HIMATEM (himpunan mahasiswa teknik mesin) penulis diamanahkan menjadi Anggota Divisi Kreativitas pada periode 2013-2014.

Pada bulan Agustus 2015 penulis mulai melakukan tugas akhir (TA) dengan konsentrasi Material, dengan judul “PENGARUH BEBAN LEBIH (*OVERLOAD*) TERHADAP PERAMBATAN RETAK FATIK PADA BAJA KARBON AISI 1020” dengan Dosen Pembimbing Utama Bpk. Dr. Mohammad Badaruddin, dan Bpk. Ahmad Su’udi, S.T.,M.T. sebagai Dosen Pembimbing Pendamping serta Bpk. Dr. Asnawi Lubis, S.T.,M.Sc. sebagai pembahas atau penguji. Dan penulis dinyatakan lulus sidang Sarjana pada tanggal 6 Juni 2016.

MOTTO

**“Always be yourself no matter what they say and never be anyone else even if
they look better than you”**

(Benyamin Franklin)

“Don’t wait for tomorrow because you will never get today back”

(Thomas Hardy)

“The more you give, the more you will get”

(William Wordsworth)

“Do what you can. Use what you have. Start where you are”

(Penulis)

PERSEMBAHAN

*Dengan Kerendahan Hati Meraih Ridho illahi Kupersembahkan Karya Kecilku
Ini Untuk Orang-Orang Yang Aku Cintai dan Sayangi:*

IBU & AYAHKU

KAKAK KU SATU-SATUNYA

KELUARGA MESIN ANGKATAN 2011

SAHABAT DAN TEMAN-TEMANKU

SERTA ORANG-ORANG YANG ADA DIBELAKANGKU

YANG SELALU MEMBERI SEMANGAT, NASIHAT

MAUPUN DO'ANYA.

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadirat ALLAH SWT karena berkat rahmat, hidayah dan pertolongan-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul "Pengaruh Beban Lebih (*Overload*) Terhadap Perambatan Retak Fatik Pada Baja Aisi 1020". Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam pelaksanaan dan penyusunan skripsi ini penulis sangat berterima kasih dan memberikan penghargaan yang sedalam-dalamnya kepada seluruh pihak yang membantu penulis menyelesaikan skripsi ini. Penulis terutama ingin mengucapkan terima kasih dengan setulus hati kepada:

1. Ibuku tercinta Dewi Umi Hani dan Bapakku tercinta Siswanto serta kakakku Siska Maya Sari Dewi, yang senantiasa memberikan doa, semangat dan motivasi kepada penulis agar dapat menyelesaikan skripsi dengan sebaik mungkin dan menyelesaikan kuliah di Teknik Mesin dan cepat mendapatkan kerja.

2. Bapak Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
3. Bapak Ahmad Su'udi, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Moh. Badaruddin, S.T.,M.T. sebagai pembimbing utama tugas akhir/skripsi atas kesediaannya dan keikhlasannya untuk memberikan dukungan, bimbingan, nasehat, saran,dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Ahmad Su'udi, S.T.,M.T. sebagai dosen pembimbing pendamping atas kesediaannya dan keikhlasannya untuk memberikan dukungan, bimbingan, nasehat, saran,dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini..
6. Bapak Dr. Asnawi Lubis, S.T., M.Sc. sebagai dosen pembahas skripsi penulis, yang telah memberikan saran dan masukan guna penyempurnaan dalam penulisan laporan ini.
7. Seluruh Dosen pengajar Jurusan Teknik Mesin yang banyak memberikan ilmu selama penulis melaksanakan studi, baik berupa materi perkuliahan maupun teladan dan motivasi sehingga dapat saya jadikan bekal untuk terjun ke tengah-tengah masyarakat
8. Sahabat tersayang funtastic four Budi Tri Utami S.T, Beby Theta Dertiny S.T, Jesi Tiastuti S.T.
9. Teman-teman sekaligus keluarga Teknik Mesin Angkatan 2011 serta yang lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terima kasih atas persahabatannya dan juga bantuannya salam “SOLIDARITY FOREVER”

10. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir skripsi ini.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin dalam penulisan laporan tugas akhir/skripsi ini untuk mencapai suatu kelengkapan dan kesempurnaan. Penulis juga mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dari semua pihak. Akhirnya dengan segala kerendahan hati penulis berharap laporan ini member manfaat, baik kepada penulis khususnya maupun kepada pembaca pada umumnya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Bandar Lampung, 21 Juni 2016

Penulis,

Ratih Safria Handrika

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	i
SANWACANA	iii
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Definisi beban lebih (<i>Overload</i>) dan faktor-faktor yang mempengaruhi beban lebih.	7
2.2 Laju perambatan retak fatik	8
2.3 Tegangan Uji Lelah.....	9
2.4 Faktor Intensitas Tegangan (K).....	11
2.5 Mekanisme Fatik.....	14
2.6 Mekanisme penjalaran retak	15
2.7 Scanning Elektron Microscop (SEM).....	17
III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu	18
3.2 Dimensi spesimen uji.....	18

3.3 Alat Pengujian	19
3.4 Prosedur Pengujian	20
3.5 Analisis Data Pengujian.....	22
3.6 Diagram Alir.....	23
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil.....	24
4.2 Pembahasan	26
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	36
5.2 Saran	37

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Data Hasil Pengujian.....	21
4.1 Data hasil pengujian perambatan retak fatik.....	23

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Nomenklatur siklus pembebanan dengan amplitudo konstan	10
2.2 Mode Perpatahan	13
3.1 Bentuk dan ukuran spesimen uji fatik	17
3.2 Mesin MTS landmark 100 kN	18
3.3 Mikroskop digital portable	19
3.4 Diagram alir	22
4.1 Hubungan antara jumlah siklus-panjang retak	25
4.2 Retak diamati pada panjang retak 1,119 mm	26
4.3 Retak fatik pada saat overload dengan panjang retak 5,08 mm	26
4.3 Perbandingan antara da/dN dan K pada beban konstan dan beban lebih (overload)	27
4.5 Hubungan antara beban dan siklus	28
4.6 Hubungan antara beban-panjang retak	29
4.7 SEM pada zona terbentuk nya retak dengan panjang 1,119 mm pada siklus 5000	30
4.8 SEM pada zona perambatan retak sekitar 3,611 mm pada siklus 8000 ..	30
4.9 SEM pada zona overload sekitar panjang retak 5,08 mm pada siklus	

9700.....	31
4.10 SEM pada zona retardasi sekitar panjang retak 5,922 mm pada siklus 11.610.....	32
4.11 SEM pada zona percepatan retak sekitar panjang retak 9,192 mm pada siklus 15.610.....	33
4.12 SEM pada zona batas patah dengan panjang retak 1,620 mm pada siklus 17.160.....	33

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di dalam desain struktur untuk komponen teknik seperti power plant, industri petro kimia, bahan sudu steam turbin, faktor pembebanan menjadi syarat utama untuk mengontrol umur lelah bahan. Di dalam kondisi pembebanan yang sebenarnya, siklus beban yang terjadi tidak selalu dalam amplitudo beban konstan sering kali terjadi peningkatan amplitudo beban tanpa indikasi awal pada komponen bahan yang menyebabkan bahan mengalami pembebanan lebih (*overload*). Fenomena *overload* sering kali terjadi pada kondisi *start* dan *stop* pada sistem turbin, pesawat *landing* yang secara langsung di pengaruhi oleh berat komponen tersebut.

Pada penelitian material Al 2024-T3 yang banyak digunakan sebagai komponen industri pesawat terbang, Munir (2009) melakukan penelitian pemberian beban lebih tunggal sebesar $1.7s_{max}$, menunjukkan umur bahan meningkat sebesar 75.35 %. Sedangkan pada pemberian beban lebih sebesar $1.9s_{max}$, maka umur lelahnya bertambah sebesar 78,22%. Selama pengujian fatik bahan Al 2024-T3, bahan mengalami deformasi plastis pada ujung retak yang menimbulkan efek pengatupan retak (*crack closure*), sehingga retak untuk jangka waktu tertentu mengalami perlambatan.

Pada penelitian sebelumnya Schijve (1991), variasi pembebanan pada aluminium Al 2024-T3 menunjukkan retak tidak merambat dengan cepat setelah *overload* terjadi beberapa saat, karena material mengalami perlambatan retak atau retardasi.

Pada penelitian terbaru yang dilakukan oleh Vaneshwar dan Verma (2014), penerapan beban lebih dapat menghambat laju pertumbuhan retak sehingga umur kelelahan bahan meningkat, *Overload* pada suhu rendah meningkatkan efek retardasi lebih besar dibanding *overload* pada suhu normal. Perambatan retak ditingkatkan dengan menurunkan suhu siklus beban berlebih yang juga dapat dijelaskan dengan bantuan efek Bauschinger. Hal ini dapat dijelaskan atas dasar penurunan ukuran zona plastik monoton serta sifat plastisitas pada ujung retak karena penurunan suhu selama aplikasi beban berlebih.

Codrington dan Andrei (2009), melakukan penelitian yaitu efek dari variabel-amplitudo pembebanan dalam kondisi skala kecil untuk simulasi pada kondisi pesawat *take off* dan *landing*. Mekanisme penutupan retak plastis dimasukkan sebagai dasar untuk model teoritis. Ditemukan bahwa peningkatan rasio berlebihan menyebabkan peningkatan retardasi pertumbuhan retak yang parameter lainnya tidak berubah. Demikian pula, peningkatan rasio juga dapat menyebabkan peningkatan efek plastisitas, jika semua beban dan parameter bahan lainnya tetap dijaga konstan. Hasil untuk rasio beban pembukaan retak kemudian digunakan untuk memprediksi pertumbuhan retak dan tingkat perambatan retak pada siklus *overload*.

Haag, dkk, (2013) menyimpulkan ketangguhan patah dari bahan kabel yang berdiamter 0,058 mm diukur dengan teknik CTOD memungkinkan untuk menghasilkan deformasi plastik pada ujung retak melalui proses kontrol variasi faktor intensitas tegangan (K) dari 69-95 MPa \sqrt{m} . Hasil ini penting dilakukan untuk mengatur *overload* yang diterapkan untuk menghasilkan retardasi sebagai pengaruh proses *overload*. *Overload* dikendalikan untuk menyelidiki retardasi pertumbuhan retak yang efektif, meningkatkan umur kelelahan sisa kabel dengan cacat jenis retak. Dalam kasus pipa fleksibel dengan struktur berat menghasilkan tegangan rata-rata dengan rasio 0,5, *overload* memberikan efek menguntungkan dengan peningkatan lebih dari 31% terhadap jumlah total siklus.

Perbedaan pengujian yang dilakukan oleh penelitian sebelumnya adalah bahan material yang digunakan yaitu menggunakan baja karbon rendah dan rasio pembebanannya 0,3 karena rasio pembebanan mempengaruhi perambatan fatik. Oleh karena itu penulis tertarik untuk melakukan pengujian ini untuk mempelajari efek retardasi selama terjadi *overload*, untuk mempelajari mekanisme patahan, dan untuk menentukan umur fatik.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Mempelajari efek retardasi retak selama terjadi *overload* pada baja karbon rendah yang diuji fatik.
2. Untuk mempelajari mekanisme patahan di zona *overload*.
3. Untuk menentukan umur fatik melalui perambatan retak fatik pada zona 2 menggunakan hukum Paris.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Rasio pembebanan $R= 0,3$ dan $P_{maks} = 0,7P_y$ dari tegangan luluh bahan.
2. Pemberian beban lebih setelah beberapa siklus dan panjang retak tertentu yaitu sebesar 30% dari beban maksimum awal.
3. Prediksi perambatan retak hanya didasarkan pada zona 2 menggunakan metode Paris.

1.4 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun menjadi lima bab, adapun sistematika penulisannya adalah sebagai berikut:

I. Pendahuluan

Menguraikan latar masalah belakang secara jelas, tujuan dan batasan masalah yang diambil sebagai batasan utama dalam laporan tugas akhir serta sistematika tugas akhir.

II. Tinjauan Pustaka

Berisikan landasan teori yang merupakan uraian tentang beban berlebih terhadap retak fatik, dan teori-teori yang dibahas sesuai dengan materi yang dibahas pada laporan ini.

III. Metodologi Penelitian

Berisikan tentang metode-metode yang dilakukan penulis dalam melakukan pengumpulan informasi, tempat dan waktu tugas akhir dan menerangkan tentang alur tugas akhir serta bagai mana proses pengambilan data yang dilakukan.

IV. Hasil Dan Pembahasan

Berisi tentang data-data yang didapatkan dari tugas akhir dan dipakai dalam melakukan analisis, perhitungan, dan pembahasan serta evaluasi terhadap hasil perhitungan tersebut.

V. Penutup

Berisikan simpulan dan saran yang diambil dari hasil perhitungan dan pembahasan masalah serta saran yang dapat diberikan.

Daftar Pustaka

Memuat literatur yang menunjang penyusunan laporan.

Lampiran

Merupakan Lampiran yang berupa foto, dan data yang lainnya yang mendukung laporan ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi beban lebih (*Overload*) dan faktor-faktor yang mempengaruhi beban lebih.

Beban lebih (*Overload*) adalah beban yang diberikan di atas beban maksimum. Pada suatu operasi pembebanan, siklus yang terjadi tidak selalu beramplitudo konstan, seringkali pembebanan yang terjadi mempunyai amplitudo yang bervariasi. Dalam pembebanan yang seperti itu dapat terjadi beban lebih (*overload*). Sejumlah hal mempengaruhi *crack growth* setelah kelebihan beban tarik. Salah satu dasar adalah efek dari tegangan tekan residual yang muncul sebagai akibat dari deformasi plastik yang disebabkan oleh kelebihan beban. Mengidentifikasi keteraturan perubahan parameter dalam siklus SIF (stress intensity factor) seperti retak meluas pada beban yang menyediakan cara memperkirakan perkembangan kelelahan retak di bawah kondisi pembebanan yang tidak teratur dengan bantuan standar diagram kegagalan lelah. Perubahan pertumbuhan retak di lokasi yang berlebihan terpengaruh tergantung pada berbagai faktor yaitu dasar-dasar parameter dari siklus yang berlebihan dan tingkat beban dasar, karakteristik mekanik awal bahan, sifat pengerasan dan pelunakan logam dalam proses deformasi plastik, tingkat kendala deformasi, dan lingkungan. Karena efek dari faktor-faktor ini pada

tingkat pertumbuhan retak tak tentu, perlu untuk menggunakan algoritma eksperimental dihitung untuk mengidentifikasi SIF secara efektif untuk jenis bahan tertentu, perlakuan panas, kondisi deformasi, dan proses beban. Dari faktor-faktor ini, tegangan sisa memiliki efek paling signifikan yaitu efek dari beban berlebih secara periodik memiliki hubungan dengan tingkat kemulusan spesimen yang diuji. Untuk komponen bertakik memiliki perilaku yang sangat berbeda yang diakibatkan oleh adanya residual stress (tegangan sisa) yang ditimbulkan oleh beban berlebih (Schutz,1985).

2.2 Laju perambatan retak fatik

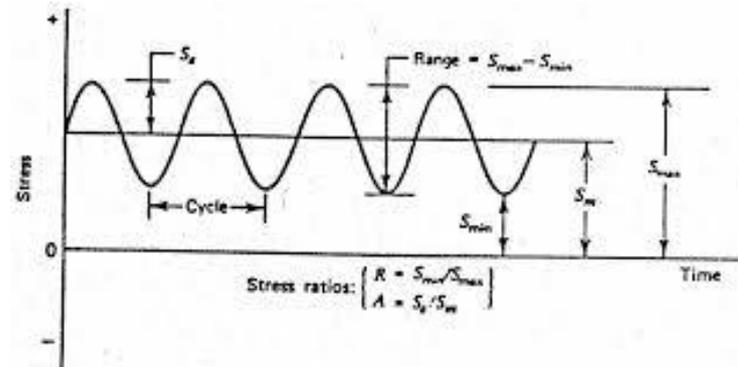
Beban statis adalah sistem pembebanan pada suatu komponen dengan beban konstan, sedangkan beban dinamis adalah sistem pembebanan pada suatu komponen dengan beban berubah-ubah dari beban maksimum ke beban minimum secara terus-menerus. Beban yang berubah-ubah ini sering disebut beban berfluktuasi. Pada kondisi tegangan yang sama, komponen struktur yang mengalami pembebanan dinamis akan mempunyai batas umur pakai lebih pendek dibandingkan dengan batas umur pakai komponen yang mengalami pembebanan statis, karena komponen seolah-olah mendapat beban kejut secara tiba-tiba. Setelah sekian siklus pembebanan dinamis, komponen akan mengalami kegagalan (patah). Patah yang terjadi akibat beban berulang inilah yang disebut fatik atau patah lelah. Penyebab terjadinya fatik adalah adanya retak yang berawal pada daerah yang konsentrasi tegangannya

tinggi. Daerah ini adalah lekukan, lubang pada material, permukaan yang kasar, dan rongga baik didalam maupun di permukaan material. Jadi,terjadinya fatik adalah retak yang terus bertambah panjang hingga komponen tidak lagi mempunyai toleransi terhadap tegangan dan regangan yang lebih tinggi, dan akhirnya terjadi patah statis secara tiba-tiba. Panjang retak ini akan terus bertambah karena pembebanan dinamis yang terus-menerus. Semakin besar amplitudo pembebanan dinamis semakin cepat retak merambat.

Akhir dari perambatan retak pada komponen akibat beban dinamis adalah terpisahnya komponen menjadi 2 bagian yang lebih dikenal dengan istilah fracture atau perpatahan. Perpatahan yang sangat berbahaya adalah patah getas. Hal ini sering terjadi pada bahan yang getas dan keras. Kegagalan patah getas akan terjadi secara tiba-tiba tanpa ada tanda-tanda pada komponen(Fuchs,1980).

2.3 Tegangan Uji Lelah

Pengujian fatik pada umumnya dilakukan dengan memberikan tegangan atau beban dinamis uniaksial. Tegangan dinamis yang dikenakan dapat bervariasi seperti tarik-tarik, tarik-tekan ataupun tekan-tekan.



Gambar 2.1. Nomenklatur siklus pembebanan dengan amplitudo konstan

(Fuchs, 1980)

Gambar di atas menunjukkan siklus tegangan tarik berulang dengan tegangan maksimum S_{max} dan tegangan minimum S_{min} . Siklus tegangan bervariasi terdiri dari 2 komponen yaitu : tegangan rata-rata S_m , dan tegangan bolak-balik .

Sedangkan daerah jangkauan tegangannya disebut S_r . Daerah tegangan atau jangkauan tegangan adalah selisih antara tegangan maksimum dan tegangan minimum (Fuchs,1980).

$$S_r = S_{max} - S_{min} \quad (2.1)$$

Tegangan bolak-balik adalah setengah dari jangkauan tegangan, yang dirumuskan sebagai berikut :

$$S_a = \frac{S_r}{2} = \frac{S_{max} - S_{min}}{2} \quad (2.2)$$

Tegangan rata-rata adalah harga rata-rata aljabar tegangan maksimum dan tegangan minimum, yang dirumuskan sebagai berikut :

$$S_m = \frac{S_{max} + S_{min}}{2} \quad (2.3)$$

Faktor lain yang sangat membantu dalam mengemukakan data-data kelelahan digunakan 2 buah besaran perbandingan, yaitu :

$$\text{Perbandingan tegangan: } R = \frac{S_{min}}{S_{max}} \quad (2.4)$$

$$\text{Perbandingan amplitudo: } A = \frac{1-R}{1+R} = \frac{2S_a}{2S_m} \quad (2.5)$$

2.4 Faktor Intensitas Tegangan (K)

Faktor K merupakan cara yang sangat mudah untuk membahas distribusi tegangan di sekitar retak. Dua retak dengan geometri yang berbeda yang mempunyai harga K yang sama akan memiliki distribusi tegangan yang identik. Secara umum faktor intensitas tegangan (K) dapat dihitung dari persamaan P.C. Paris dan G.C. Sih (Dieter, 1986) :

$$K = \beta S \sqrt{\pi a} \quad (2.6)$$

Dimana β adalah faktor geometri retakan.

Menurut Feddersen nilai β untuk spesimen center crack tension (CCT) adalah (Schijve, 2001) :

$$\beta = \sqrt{\pi a / W} \quad (2.7)$$

sehingga harga K dapat dihitung dengan rumus :

$$K = S \sqrt{\pi a \sec\left(\frac{\pi a}{W}\right)} \quad (2.8)$$

Berdasar ASTM harga ΔK untuk spesimen center crack tension(CCT) dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta K = \frac{\Delta P}{B} \sqrt{\frac{\pi a}{2W} \sec \frac{\pi a}{2}} \quad (2.9)$$

Dengan catatan $\Delta P = P_{max} - P_{min}$

$$\alpha = 2a/W$$

K = Faktor intensitas tegangan (MPa \sqrt{m})

S = Tegangan (Mpa)

β = Faktor geometri retakan

B = Tebal plat (meter)

W = Lebar plat (meter)

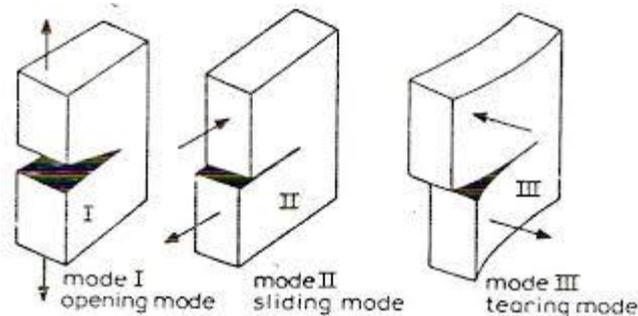
α = Panjang retak (meter)

P_{max} = Beban maksimum (Newton)

P_{min} = Beban minimum (Newton)

Di dalam mekanika perpatahan ada 3 macam mode sehingga ada 3 macam nilai K. KI untuk mode I yaitu mode tarik dengan arah membuka retak. KII untuk mode II yaitu model geser. Sedangkan KIII untuk mode III model geser sejajar. KI merupakan faktor intensitas tegangan untuk mode I dimana retak terentang oleh tegangan tarik yang bekerja pada arah tegak lurus terhadap permukaan bidang retak. Jadi

KI adalah faktor intensitas tegangan untuk arah pembebanan membuka retak.



Gambar 2.2. Mode Perpatahan (Broek,1986)

Pada mode I merupakan sistem pembebanan yang paling penting, karena pembebanannya membuka retak dimana nilai KI kritisnya disebut KIC, yang lebih dikenal dengan istilah ketangguhan perpatahan regangan bidang. KIC merupakan sifat ketahanan bahan terhadap perpatahan. Ada 2 macam keadaan ekstrim yaitu; benda uji tipis keadaan tegangannya disebut tegangan bidang (plane stress), sedangkan benda uji tebal terdapat regangan bidang (plane strain). Plane stress adalah kondisi munculnya tegangan bidang pada daerah sekitar retak yang disebabkan oleh pembebanan pada komponen. Sedangkan plane strain adalah meningkatnya tegangan bidang menjadi kondisi regangan yang terjadi pada daerah sekitar retak yang disebabkan oleh pembebanan pada komponen. Kondisi regangan bidang ditinjau dari segi tegangan bidang lebih berbahaya dan nilai faktor intensitas tegangan kritisnya lebih rendah dibanding benda uji yang hanya mengalami tegangan bidang (Broek,1986).

2.5 Mekanisme Fatik

Pengamatan mikroskopis menunjukkan bahwa mulainya retak ditandai oleh adanya deformasi plastis lokal. Hal ini terjadi pada daerah yang konsentrasi tegangannya tinggi. Umumnya, terjadinya deformasi plastis ini terletak pada daerah-daerah :

1. Cacat permukaan karena goresan dan rongga.
2. Inklusi lapisan batas butir.
3. Lekukan atau cekungan.
4. Daerah yang luasannya tereduksi, seperti lubang baut.
5. Permukaan yang kasar.
6. Intrusi dan Ekstrusi.

Daerah-daerah tersebut di atas sangat potensial terhadap awal mulanya retak karena konsentrasi tegangannya tinggi. Terjadinya deformasi plastik dapat diamati jelas dengan adanya garis-garis slip pada permukaan spesimen . Pada saat pembebanan akan terjadi slip, dan pada pembebanan berikutnya slip terjadi berlawanan arah dan sejajar dengan bidang slip sebelumnya. Pembebanan berulang ini dapat menghasilkan pembentukan rangkaian intrusi dan ekstrusi pada permukaan bebas logam sepanjang bidang slip. Intrusi dan ekstrusi menjadi semakin banyak dan retak awal terbentuk pada bagian intrusi.

Tingkat kehomogenan material juga menjadi faktor munculnya retak. Dimana proses pembentukan retakan terjadi pada batas butir karbida. Penyebabnya adalah sifat karbida yang rapuh. Material yang kurang homogen mempunyai ketangguhan terhadap fatik rendah, karena pada bagian butir material yang kekuatannya rendah menjadi sebab awal mulainya retak (Broek, 1986).

2.6 Mekanisme penjalaran retak

Mekanisme Penjalaran Retak Perpatahan adalah pemisahan atau pemecahan suatu benda padat, menjadi 2 bagian atau lebih diakibatkan adanya tegangan. Proses perpatahan terdiri atas 2 tahap, yaitu timbulnya retak dan tahap penjalaran retak. Tahap awal mulainya retak adalah slip pada beberapa butir yang terus menjalar. Tahap awal pembentukan retak ini memerlukan jumlah siklus yang cukup besar. Perambatan retak yang terjadi pada tahap ini sangat lambat.

Tahap penjalaran retak ini diawali oleh adanya garis-garis halus (striasi) dari tempat awal mulainya slip antar butir. Ini akan jelas jika diamati dengan mikroskop elektron. Patah dapat digolongkan dalam 2 kategori umum, yakni patah liat dan patah getas. Patah liat ditandai oleh deformasi plastik yang cukup besar, sebelum dan selama proses penjalaran retak. Pada permukaan patahan, biasanya tampak adanya deformasi yang cukup besar. Patah getas pada logam ditandai oleh adanya kecepatan penjalaran retak yang tinggi, tanpa terjadi deformasi kasar dan sedikit sekali terjadi deformasi mikro. Patah getas ada

kaitannya dengan pembelahan pada kristal ionik. Kecenderungan terjadinya patah getas akan bertambah besar, bila temperatur turun, laju regangan bertambah, dan tegangan yang bekerja adalah tegangan 3 sumbu (biasanya dihasilkan oleh adanya takik). Bagaimanapun juga retak getas harus dihindarkan, karena terjadi tanpa adanya proses perambatan retak dan biasanya menimbulkan kerugian yang sangat besar. Perubahan yang terjadi akibat adanya takik mempunyai dampak yang penting pada proses perpatahan. Sebagai contoh, kehadiran suatu retak akan meningkatkan suhu transisi liat-getas pada baja.

Adanya takik dalam suatu bahan dapat menimbulkan konsentrasi tegangan dan menghasilkan keadaan tegangan triaksial pada pangkal takik. Pembangkitan tegangan ini sangat penting dalam kegagalan lelah logam. Dampak pembangkitan tegangan lebih menonjol dalam bahan getas daripada dalam bahan ulet. Struktur dapat gagal pada beban rendah, meskipun struktur tersebut sudah didesain dengan faktor keamanan 80-90%. Kegagalan struktur tersebut dapat disebabkan oleh kegagalan fatik (Broek, 1986).

Bagian 1: Komponen mengalami beban tarik, sehingga tegangan tarik pada bidang retakan membentuk sudut 45° .

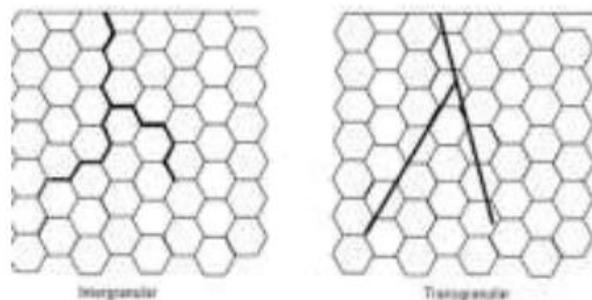
Bagian 2: Adanya konsentrasi tegangan yang sangat besar pada ujung retak memudahkan terjadinya slip.

Bagian 3: Terjadi perpanjangan retak akibat adanya bidang slip yang lain

2.7 Scanning Elektron Microscop (SEM)

Scanning Electron Microscope adalah suatu tipe mikroskop electron yang menggambarkan permukaan sampel melalui proses *scan* dengan menggunakan pancaran energi yang tinggi dari electron dalam suatu pola *scan raster*. *Electron* berinteraksi dengan atom-atom yang membuat sampel menghasilkan sinyal yang memberikan informasi mengenai permukaan topografi sampai, komposisi dan sifat-sifat lainnya seperti konduktivitas listrik. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi dari pada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1-0,2 nm. Di bawah ini diberikan perbandingan hasil Gambar mikroskop cahaya dengan elektron. Disamping itu dengan menggunakan elektron kita juga bisa mendapatkan beberapa jenis pantulan yang berguna untuk keperluan karakterisasi.

Alur perambatan merupakan karakteristik dari beberapa logam atau paduan. Untuk logam, alur perpisahannya merupakan *intergranular* yaitu retak di sepanjang butir antara kristal material dan sebagian lainnya merupakan *transgranular* yaitu memotong bidang kristal.



Gambar 2.3 Ilustrasi bentuk retakan *intergranular* dan *transgranular*

(octane.nmt.edu, 2009)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Sedangkan waktu penelitian dilakukannya pada rentang waktu pada bulan November 2015 - Mei 2016 .

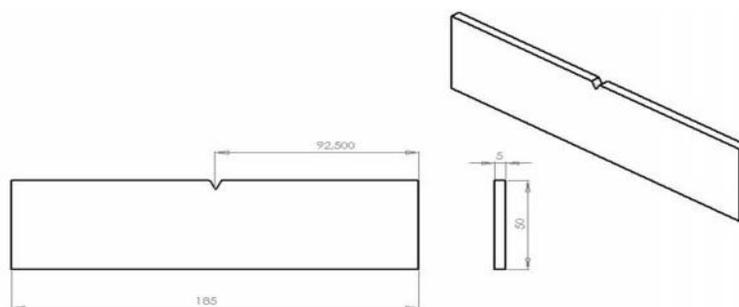
3.2 Dimensi spesimen uji

1. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah ini berbentuk plat dan memiliki ukuran panjang 185 mm, lebar 50 mm dan tebal 4 mm. Memiliki kadar karbon kurang dari 0,3%

2. Dimensi uji fatik

Spesimen yang digunakan untuk uji fatik yaitu dengan menggunakan standar ASTM E 647. Ukuran panjang spesimen 185 mm, lebar 50 mm, tebal 4 mm, dan kedalaman takik 1 cm.



Gambar 3.1. Bentuk dan ukuran spesimen uji fatik (ASTM E647, 2000)

3.3 Alat Pengujian

Dalam penelitian ini diperlukan alat dan benda kerja yang akan digunakan.

Peralatan yang digunakan sebagai berikut :

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Mesin MTS Landmark 100 kN

Alat ini dapat digunakan untuk pengujian tarik statis dan fatik, yang tersedia di laboratorium Material Teknik-Jurusan Teknik Mesin-Universitas Lampung.



Gambar 3.2. Mesin MTS landmark 100 kN

2. Mikroskop *digital portable*

Mikroskop ini digunakan untuk mengamati pertumbuhan dan perambatan retak selama pengujian retak fatik. Alat ini mampu mengamati retak dengan perbesaran 100 X sesuai standar ASTM E647.



Gambar 3.3. Mikroskop *digital portable*

3. SEM (*Scanning Elektron Microscop*)

Pengujian ini dilakukan di PUSLIT FISIKA digunakan untuk mengobservasi patahan permukaan baja setelah pengujian retak fatik melalui penampang patahan specimen uji.

4. Mikroskop Optik

Mikroskop optic digunakan untuk mengamati dan memfoto morfologi bentuk perambatan retak specimen uji.

3.4 Prosedur Pengujian

Uji Fatik

Prosedur pengujian perambatan retak fatik yang akan dilakukan yaitu:

1. Menyiapkan spesimen sesuai dengan standar ASTM E 647.
2. Membuka program Controller 793B setelah itu klik *manual command*, pilih *displacement mode*, lalu naikan *actuator* ke posisi nol (*zero*).

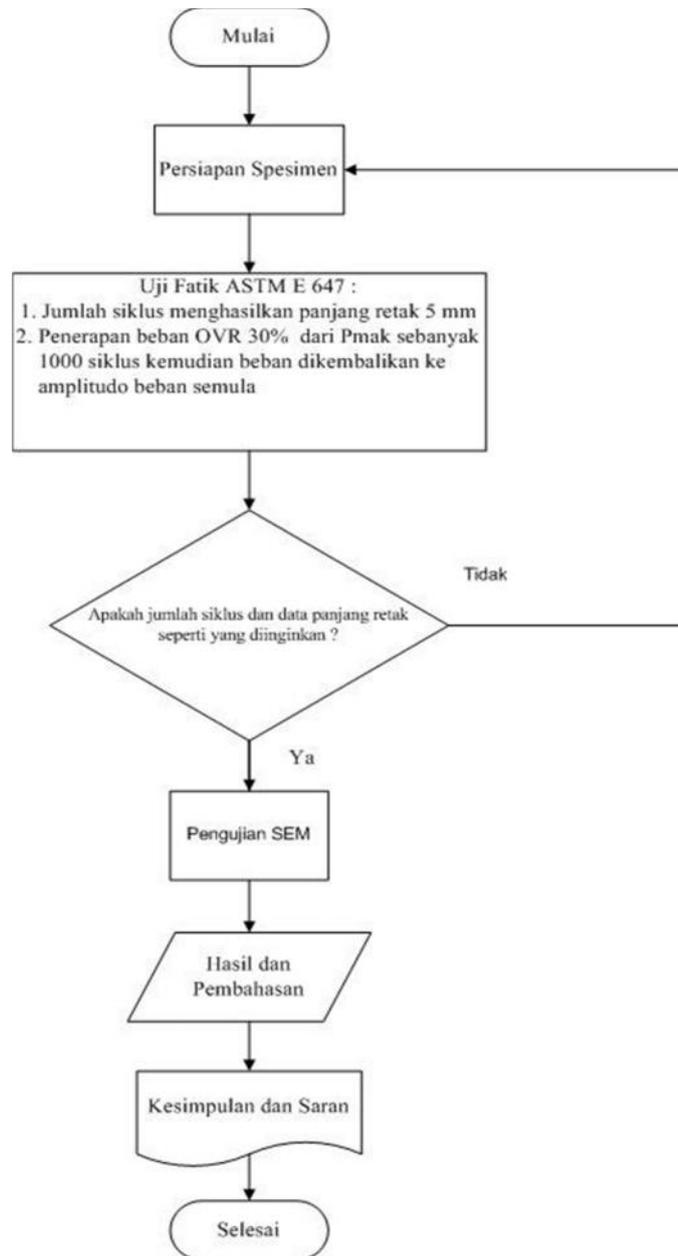
3. Memasang spesimen pada *crosshead grip* atas kemudian spesimen dicekam.
4. Lalu *crosshead* diturunkan sampai ujung bawah spesimen masuk ke dalam grip bawah dengan kedalaman 3 cm.
5. Klik *manual command* dan klik *control mood* ke *force*.
6. Kemudian klik *auto offset* untuk *force*. Setelah itu grip bagian bawah dicekam sehingga ujung spesimen bagian bawah tidak berubah.
7. Membuka Software MTS Test Suite (MPE), pilih template untuk *high cycle fatigue testing*
8. Memasukkan data *Pmaks* dan *Pmin*, siklus total, *incremental cycles* untuk mengatur stop mesin secara otomatis pada setiap jumlah siklus tertentu dengan tujuan agar retak dapat diamati/diukur dengan menggunakan mikroskop digital portabel (lihat gambar 3)
9. Memberikan beban lebih ketika retak mencapai 5mm dan memberikan beban normal setelah 1000 siklus.
10. Setelah menginput semua data lalu klik RUN.
11. Mengamati panjang retak dengan menggunakan mikroskop dan mencatatnya.

3.5 Analisis Data Pengujian

Tabel 3.1. Data Hasil Pengujian

No	Cycles	Panjang Retak (mm)
1	6000	
2	7000	
3	7200	
	
	
	10.200	0,5

3.6 Diagram Alir



Gambar 3.4. Diagram alir

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 HASIL

Pengujian perambatan retak fatik baja AISI 1020 mengacu pada standar ASTM E-647 (ASTM E-647, 2004). Dari hasil pengujian tarik tegangan luluh baja AISI 1020 (σ_y) sebesar 395 Mpa. Pada pengujian ini, rasio pembebanan $R= 0,3$, $P_{maks} = 0,7P_y$, frekuensi 10 Hz dan suhu ruangan 22 °C. Beban maksimum (P_{maks}) diberikan sebesar 38,38 kN. Pemberian beban berlebih (*overload*) dilakukan setelah ukuran retak mencapai sekitar 5,00 mm, yaitu $P_{overload} = 30\% \cdot P_{maks} + P_{maks}$ sebesar 49,89 kN. Data jumlah siklus dan panjang retak hasil pengujian perambatan retak fatik dapat dilihat secara lengkap pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data hasil pengujian perambatan retak fatik

No	Siklus	Panjang retak (m)
1	5000	0,001119
2	6000	0,001696
3	7000	0,002316
4	7500	0,002982
5	8000	0,003611
6	8500	0,003935
7	9000	0,004139
8	9500	0,004615
9	9600	0,004771
10	9700	0,00508

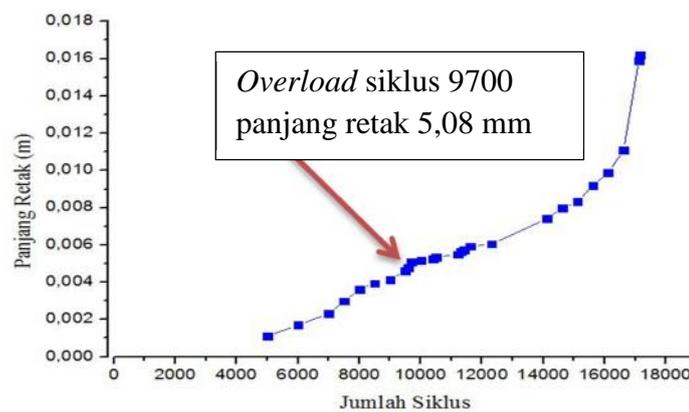
Tabel 4.1. Lanjutan

11	10010	0,005169
12	10410	0,005239
13	10510	0,005353
14	11210	0,005492
15	11310	0,005632
16	11410	0,005718
17	11610	0,005922
18	12310	0,006048
19	14110	0,007407
20	14610	0,00797
21	15110	0,00833
22	15610	0,009192
23	16110	0,009882
24	16610	0,01108
25	17110	0,0159
26	17160	0,0162

Data-data yang diperoleh dari hasil pengujian berupa panjang retak dan jumlah siklus kemudian diplot grafik hubungan antara jumlah siklus (N) dan panjang retak (a). Perhitungan laju perambatan retak (da/dN) dan perubahan faktor intensitas tegangan (K) menggunakan metode *polynomial incremental* (ASTM E-647, 2004).

4.2 PEMBAHASAN

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa panjang retak meningkat seiring dengan jumlah siklus atau lamanya pengujian. Retak pertama kali dapat diamati pada siklus 5000 dengan panjang retak sebesar 1,119 mm dan pertumbuhan retak mengalami percepatan sampai terjadinya *overload* pada panjang retak 5,08 mm pada siklus 9700 dengan beban lebih sebesar 49,89 kN. Bentuk umum kurva jumlah siklus dan panjang retak setelah *overload* diberikan dapat dilihat pada tabel 4.1 setelah *overload* terjadi panjang retak menurun setelah beberapa siklus.. Setelah *overload* terjadi retardasi perambatan retak sampai retak mencapai panjang 5,922 mm dengan siklus 11610.



Gambar 4.1. Hubungan antara jumlah siklus-panjang retak

Dari gambar di atas dapat dilihat pengaruh *overload* terhadap panjang retak pada siklus 10.010 panjang retak mengalami penundaan perambatan retak sebesar 5,169 mm hingga pada siklus 11.610 perambatan retak hanya bertambah sebesar 5,922 mm. Hal ini menunjukkan bahwa perambatan retak setelah *overload* mengalami perlambatan atau retardasi retak. Perlambatan atau percepatan tergantung pada keadaan tegangan sisa pada awal retak. Dalam pengujian ini dilakukan untuk memahami mekanisme keterlambatan perambatan retak karena suatu beban dan untuk memberikan bukti untuk menentukan nilai dari tingkat perambatan retak minimum.

Tujuannya adalah untuk memprediksi umur lelah suatu bahan. Perambatan retak adalah tahap kedua dari ketiga tahap proses kegagalan/kerusakan. Dalam tahap ini retak tumbuh dan menjalar hingga mencapai batas kritis (*critical size*).



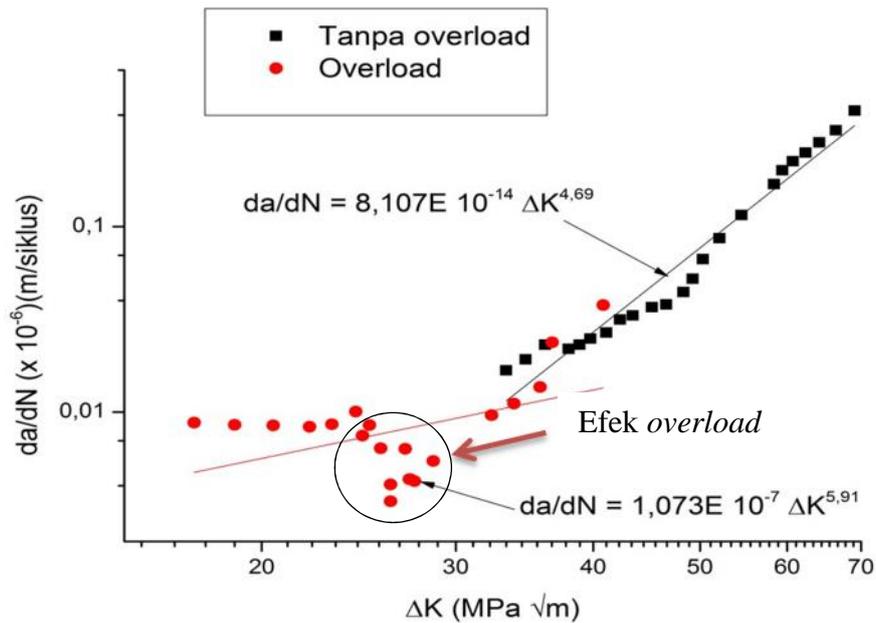
Gambar 4.2. Retak diamati pada panjang retak 1,119 mm



Gambar 4.3. Retak fatik pada saat *overload* dengan panjang retak 5,08 mm

Gambar 4.2 menunjukkan retak terbentuk pada panjang retak 1,119 mm dan gambar 4.3 menunjukkan panjang retak pada saat *overload* dengan perambatan retak 5,08 mm. *Overload* dapat dilihat bahwa pada saat terjadinya perambatan retak awal retak tidak langsung terbuka secara lebar, namun seiring dengan bertambahnya siklus pembebanan retak merambat dengan cepat hingga mencapai pada titik *overload* yaitu panjang retak sekitar 5,08 mm. Kemudian beban sebesar 49,98 kN ditambahkan dalam beberapa siklus. Pengukuran retak dimulai dari ujung takikan dan untuk mempermudah dalam melihat panjang retak digunakan calipers untuk kalibrasi. Dari

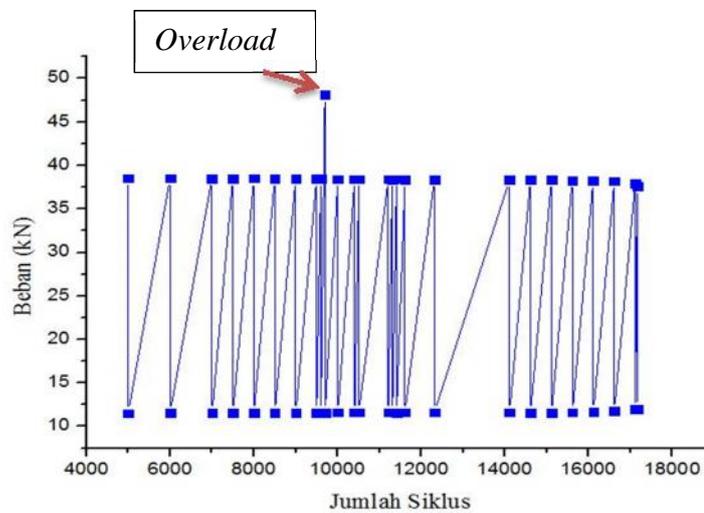
data perambatan retak suatu prediksi umur lelah (*fatigue life*) dapat dikembangkan. Laju pertumbuhan retak dinyatakan dengan da/dN yang merupakan fungsi dari sifat material, panjang retak, dan tegangan operasi. Laju perambatan retak merupakan fungsi dari faktor intensitas tegangan. Retak berawal dari daerah yang paling lemah, kemudian berkembang seiring dengan berjalannya siklus pembebanan.



Gambar 4.4. Hubungan antara da/dN dan ΔK pada beban konstan dan beban lebih (*overload*)

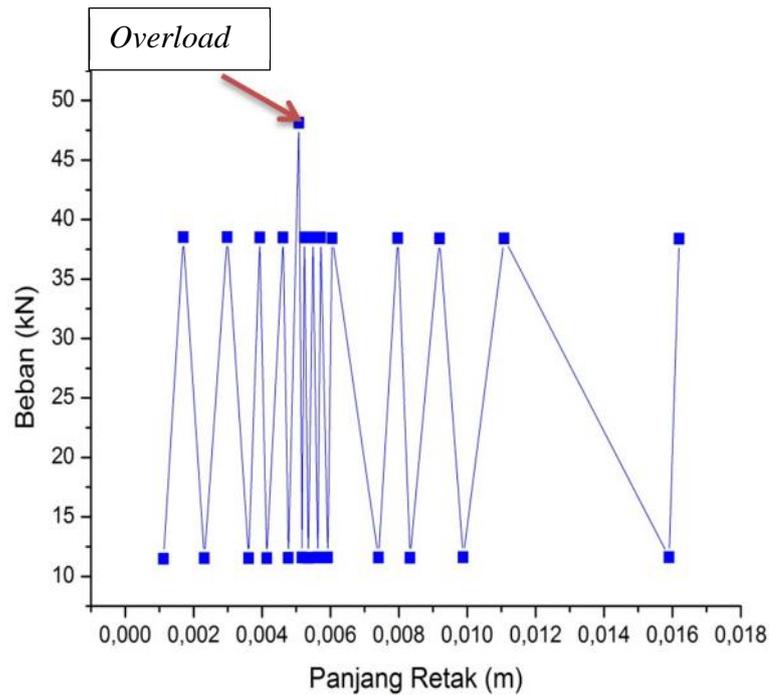
Gambar 4.4 menunjukkan bahwa hubungan antara da/dN dan ΔK pada beban konstan membentuk garis linier. Dari grafik di atas dapat dibagi menjadi 3 daerah yaitu, daerah I (region I) disebut daerah ambang fatik yang terjadi pada laju perambatan retak, dibawah laju ini tidak terjadi laju perambatan retak. Daerah II (region II) menunjukkan suatu hubungan linier antara $\log da/dN$ dan $\log K$, sedangkan untuk daerah III (region III), terjadi laju perambatan retak berlangsung sangat cepat sehingga sulit dikontrol, biasanya daerah ini jarang digunakan untuk persoalan perambatan retak fatik.

Berbeda dengan hubungan antara da/dN dan ΔK pada saat diterapkannya beban lebih kurva di atas menunjukkan naik turunnya kurva karena laju perambatan retak mengalami percepatan sebelum terjadinya *overload* dan mengalami perlambatan atau retardasi setelah diterapkannya beban lebih (*overload*). Penyebab retardasi retak karena *overload* bisa dijelaskan oleh beberapa fenomena seperti defleksi retak, pengerasan regangan material di ujung retak, penutupan retak (yang disebabkan oleh plastisitas), kekasaran atau oksidasi (John Codrington, 2009).



Gambar 4.5. Hubungan antara beban dan siklus

Gambar 4.5 Tiga siklus umum yang dapat menunjukkan suatu siklus tegangan fatik yaitu yang pertama adalah fluktuasi tegangan terjadi mulai dari tegangan rata-rata nol dengan amplitude yang konstan. Yang kedua yaitu fluktuasi tegangan dimulai diatas garis rata-rata nol dengan amplitude konstan. Dan yang ketiga fluktuasi tegangan yang acak/random. Pengaruh kondisi pembebanan fatik akan mempengaruhi karakteristik permukaan patahnya dari grafik di atas dapat dilihat beban berpengaruh terhadap siklus dengan beban lebih menunjukkan adanya perlambatan dibandingkan dengan tanpa beban lebih dan terdapat daerah retardasi konstan.



Gambar 4.6. Hubungan antara beban-panjang retak

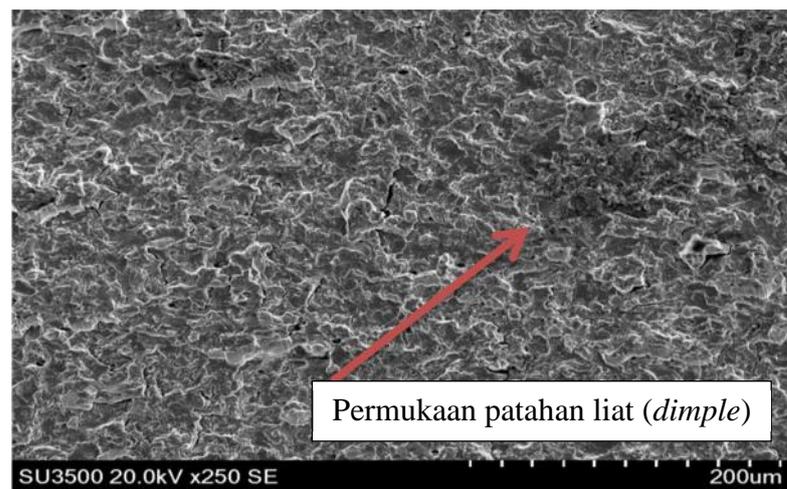
Gambar 4.6 menunjukkan bahwa beban berpengaruh terhadap perambatan panjang retak. Beban awal yang diberikan sebesar 38,38 kN membentuk panjang retak 1,119 mm membuat panjang retak semakin cepat hingga mencapai 4,771 mm. Pada saat panjang retak sebesar 5,08 mm diberikan beban lebih sebesar 49,89 kN dan membuat perambatan retak mengalami penundaan retak atau retardasi hingga mencapai panjang retak 5,922 mm. Penundaan retak terjadi beberapa saat setelah *overload* dan kembali mengalami percepatan perambatan retak seiring berjalannya siklus hingga mencapai batas patah.

Untuk mengamati pola patahan yang terjadi pada baja AISI 1020 dengan perbesaran dilakukan dengan pengamatan melalui SEM. Sampel yang digunakan untuk pengujian SEM adalah material retak yang diamati pada daerah awal retak (*crack initiation*), daerah propagasi (*crack propagation*), daerah *overload*, retardasi retak, daerah percepatan retak, dan batas patah akhir (*final fracture*). Hasil pengujiannya dapat dilihat pada gambar 4.7 sampai gambar 4.18.



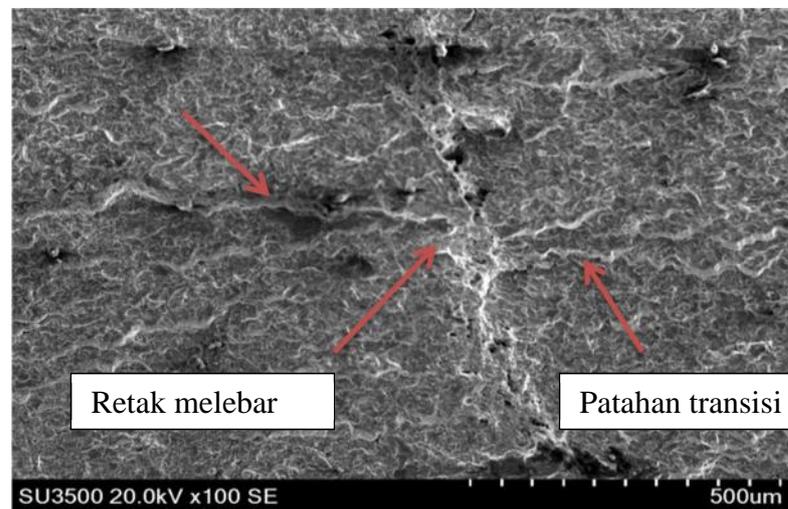
Gambar 4.7. SEM pada zona terbentuk nya retak dengan panjang 1,119 mm pada siklus 5000

Gambar 4.7 menunjukkan zona terbentuknya retak pada permukaan patahan yang lebih halus dibandingkan dengan daerah perambatan. Pola patahan ini adalah ciri khas pola rambatan retak awal terbentuk pertama kali. Penampang permukaan zona patahan pada siklus 5000 dengan panjang retak 1,119 mm yang diamati menggunakan SEM (Gambar 4.7). Untuk spesimen dengan ketebalan tertentu, bentuk awal retak tergantung pada tingkat beban yang diterapkan.



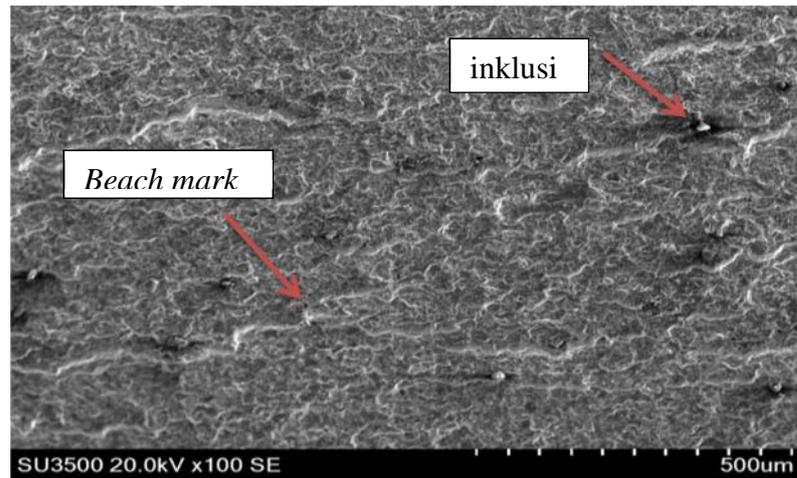
Gambar 4.8. SEM pada zona perambatan retak sekitar 3,611 mm pada siklus 8000

Pada gambar 4.8, hasil observasi menunjukkan permukaan patahan liat (dimple fracture) dimana terjadinya perambatan yang menyerupai bentuk *beachmark* yang merupakan karakteristik dari patah akibat beban siklik atau fatik, tetapi setelah diamati di area pasangan patahan, bentuk permukaan patahan tersebut justru merupakan radial mark yang merupakan indikasi perambatan retak yang cepat. Daerah permukaan patahan ini merupakan daerah kritis yang mengalami tegangan yang besar (*high stress area*). Daerah uji SEM ini di ambil pada siklus 8000 dengan panjang retak 3,611 mm.



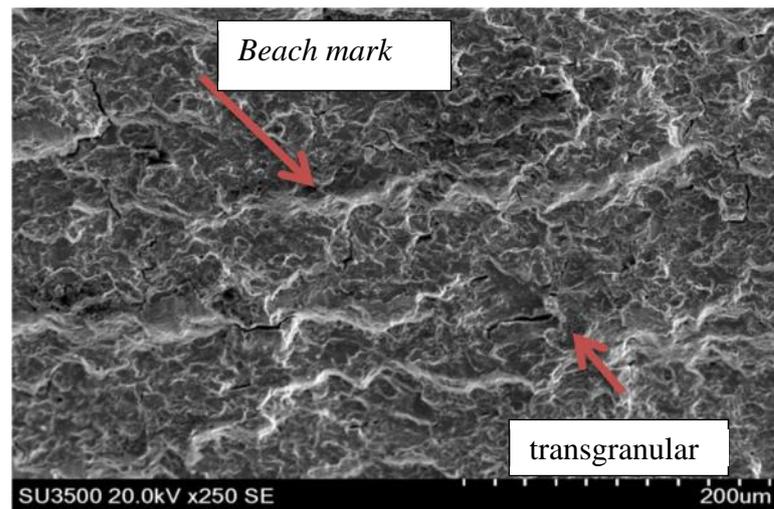
Gambar 4.9. SEM pada zona overload sekitar panjang retak 5,08 mm pada siklus 9700

Tampak suatu morfologi patahan transisi pada zona *overload*, dimana terlihat perambatan retak lebih dari satu. Pada daerah *overload* ini di ambil pada siklus 9700 dengan panjang retak 5,08 mm.



Gambar 4.10. SEM pada zona retardasi sekitar panjang retak 5,922 mm pada siklus 11.610

Penyebab retardasi retak karena overload bisa dijelaskan oleh beberapa fenomena seperti defleksi retak pengerasan regangan material pada awal retak, inklusi, penutupan retak, (yang disebabkan oleh plastisitas). Keterlambatan pertumbuhan retak diamati dalam zona transisi dapat dikaitkan dengan waktu yang dibutuhkan untuk mereformasi retak awal setelah penerapan beban lebih (*overload*). Berdasarkan pengamatan SEM, kegagalan dalam transisi zona ditandai dengan permukaan rusak parah. keterbelakangan atau percepatan tergantung pada keadaan tegangan sisa di awal ujung retak.



Gambar 4.11. SEM pada zona percepatan retak sekitar panjang retak 9,192 mm pada siklus 15.610

Gambar 4.11 merupakan hasil uji SEM pada zona percepatan retak setelah terjadi retardasi retak. Hal ini terjadi karena naiknya tegangan pada siklus dan beban yang diberikan dapat dilihat pada gambar terlihat *beach mark* yang lebih banyak dan permukaan spesimen mulai lebih kasar karena mendekati batas patah. Permukaan patah pada zona percepatan retak adalah transgranular.



Gambar 18. SEM pada zona batas patah dengan panjang retak 1,620 mm pada siklus 17.160

Hasil foto SEM di atas adalah daerah batas patah akhir terlihat permukaannya lebih kasar dan berserabut. patah akhir terjadi apabila nilai *stress intensity factor* (K_I) mendekati *fracture toughness value* (K_{Ic}). Artinya pertumbuhan retak pada daerah ini tidak dapat di kontrol lagi. Daerah permukaan batas patah ini merupakan daerah kritis yang mengalami tegangan yang besar (*high stress area*).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil dan pembahasan adalah sebagai berikut:

1. Laju perambatan retak fatik mengalami perlambatan retak atau retardasi setelah diterapkannya beban lebih (*overload*) pada panjang retak 5,08 mm dan jumlah siklus 9700.
2. Nilai $da/dN=8,107 \times 10^{-14} K^{4,69}$ pada beban konstan mengurangi umur fatik sedangkan pada beban lebih (*overload*) $da/dN=1,703 \times 10^{-7} K^{5,691}$ meningkatkan umur fatik.
3. Hasil uji SEM pada zona terbentuknya retak pada panjang retak 1,119 mm dan jumlah siklus 5000 menunjukkan permukaan patahan yang lebih halus dibandingkan pada zona perambatan. Hasil SEM pada zona perambatan siklus 8.000 dengan panjang retak 3,611 mm permukaan patahan liat (*dimple fracture*) dimana terjadinya perambatan yang menyerupai bentuk *beachmark* yang merupakan karakteristik dari patah akibat beban siklik atau fatik. SEM pada zona *overload* dengan panjang retak 5,08 mm dan jumlah siklus 9.700 tampak suatu morfologi patahan transisi. SEM pada zona retardasi sekitar panjang retak 5,922 mm pada siklus 11.610 ditandai dengan adanya permukaan

rusak parah. SEM pada zona percepatan retak sekitar panjang retak 9,192 mm pada siklus 15.610 permukaan patah pada zona percepatan retak adalah transgranular. SEM pada zona batas patah dengan panjang retak 16,20 mm pada siklus 17.160 permukaannya lebih kasar dan berserabut.

4. Penyebab retardasi retak karena *overload* bisa dijelaskan oleh beberapa fenomena seperti defleksi retak, pengerasan regangan material di ujung retak, penutupan retak (yang disebabkan oleh plastisitas), kekasaran atau oksidasi.
5. Penerapan beban lebih (*overload*) terhadap perambatan retak fatik meningkatkan umur lelah suatu bahan.

5.2 SARAN

Beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian beban lebih (*overload*) terhadap perambatan retak fatik menggunakan lebih dari satu rasio sebagai perbandingan.
2. Pada saat pembuatan spesimen pengerolan dilakukan searah dan pendinginan dilakukan dengan seragam agar mengurangi cacat pada spesimen.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM E-647, 2004, “*Metal Test Methods and Analytical Procedures, Annual Book of STM Standard*”, Sec 3, Vol 03.01, E-647-00, pp 615-657, Bar Harbor Drive, West Conshohocken

Broek, David, 1986, “*Elementary Engineering Fracture Mechanics*”, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.

Dieter, ahli bahasa, Djapril Sriati, 1989, *Metalurgi Mekanik*, jilid I & II, Erlangga, Jakarta.

Fuchs, H. O., 1980, “*Metal Fatigue In Engineering*”, Penerbit John Wiley and Sons : New York.

J. Haag, A. Reguly, T.R. Strohaecker, 2013, “*Effect of tensile overloads on fatigue crack growth of high strength steel wires*”, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

John Codrington, Andrei Kotousov, 2009, “*Crack growth retardation following the application of an overload cycle using a strip-yield model*”, School of Mechanical Engineering, University of Adelaide, SA 5005, Australia.

J. Schijve, “*Fatigue crack propagation in light alloy steel material and structures*”, 1991, *Advances in Aeronautical Sciences*, Pergamon Press, New York.

Munir M. Moh, 2009, Pengaruh Beban Lebih (Over Load) terhadap Kekuatan Lelah Paduan Aluminium 2024-T3, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya Kampus PPNS-ITS.

Schutz W, 1985, “*The effect of overloads on threshold and crack closure*”, School of Mechanical Engineering, University of Adelaide, SA 5005, Australia.

Vaneshwar Kr. Sahu, J.K.S. Anil Kumar, J.R. Mohanty, B.B. Verma, P.K. Ray, 2014, “*Effect of low-temperature overload on fatigue crack growth retardation*”

and prediction of post overload fatigue life”, Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Rourkela 769008, India.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di dalam desain struktur untuk komponen teknik seperti power plant, industri petro kimia, bahan sudu steam turbin, faktor pembebanan menjadi syarat utama untuk mengontrol umur lelah bahan. Di dalam kondisi pembebanan yang sebenarnya, siklus beban yang terjadi tidak selalu dalam amplitudo beban konstan sering kali terjadi peningkatan amplitudo beban tanpa indikasi awal pada komponen bahan yang menyebabkan bahan mengalami pembebanan lebih (*overload*). Fenomena *overload* sering kali terjadi pada kondisi *start* dan *stop* pada sistem turbin, pesawat *landing* yang secara langsung di pengaruhi oleh berat komponen tersebut.

Pada penelitian material Al 2024-T3 yang banyak digunakan sebagai komponen industri pesawat terbang, Munir (2009) melakukan penelitian pemberian beban lebih tunggal sebesar $1.7s_{max}$, menunjukkan umur bahan meningkat sebesar 75.35 %. Sedangkan pada pemberian beban lebih sebesar $1.9s_{max}$, maka umur lelahnya bertambah sebesar 78,22%. Selama pengujian fatik bahan Al 2024-T3, bahan mengalami deformasi plastis pada ujung retak yang menimbulkan efek pengatupan retak (*crack closure*), sehingga retak untuk jangka waktu tertentu mengalami perlambatan.

Pada penelitian sebelumnya Schijve (1991), variasi pembebanan pada aluminium Al 2024-T3 menunjukkan retak tidak merambat dengan cepat setelah *overload* terjadi beberapa saat, karena material mengalami perlambatan retak atau retardasi.

Pada penelitian terbaru yang dilakukan oleh Vaneshwar dan Verma (2014), penerapan beban lebih dapat menghambat laju pertumbuhan retak sehingga umur kelelahan bahan meningkat, *Overload* pada suhu rendah meningkatkan efek retardasi lebih besar dibanding *overload* pada suhu normal. Perambatan retak ditingkatkan dengan menurunkan suhu siklus beban berlebih yang juga dapat dijelaskan dengan bantuan efek Bauschinger. Hal ini dapat dijelaskan atas dasar penurunan ukuran zona plastik monoton serta sifat plastisitas pada ujung retak karena penurunan suhu selama aplikasi beban berlebih.

Codrington dan Andrei (2009), melakukan penelitian yaitu efek dari variabel-amplitudo pembebanan dalam kondisi skala kecil untuk simulasi pada kondisi pesawat *take off* dan *landing*. Mekanisme penutupan retak plastis dimasukkan sebagai dasar untuk model teoritis. Ditemukan bahwa peningkatan rasio berlebihan menyebabkan peningkatan retardasi pertumbuhan retak yang parameter lainnya tidak berubah. Demikian pula, peningkatan rasio juga dapat menyebabkan peningkatan efek plastisitas, jika semua beban dan parameter bahan lainnya tetap dijaga konstan. Hasil untuk rasio beban pembukaan retak kemudian digunakan untuk memprediksi pertumbuhan retak dan tingkat perambatan retak pada siklus *overload*.

Haag, dkk, (2013) menyimpulkan ketangguhan patah dari bahan kabel yang berdiameter 0,058 mm diukur dengan teknik CTOD memungkinkan untuk menghasilkan deformasi plastik pada ujung retak melalui proses kontrol variasi faktor intensitas tegangan (K) dari 69-95 MPa \sqrt{m} . Hasil ini penting dilakukan untuk mengatur *overload* yang diterapkan untuk menghasilkan retardasi sebagai pengaruh proses *overload*. *Overload* dikendalikan untuk menyelidiki retardasi pertumbuhan retak yang efektif, meningkatkan umur kelelahan sisa kabel dengan cacat jenis retak. Dalam kasus pipa fleksibel dengan struktur berat menghasilkan tegangan rata-rata dengan rasio 0,5, *overload* memberikan efek menguntungkan dengan peningkatan lebih dari 31% terhadap jumlah total siklus.

Perbedaan pengujian yang dilakukan oleh penelitian sebelumnya adalah bahan material yang digunakan yaitu menggunakan baja karbon rendah dan rasio pembebanannya 0,3 karena rasio pembebanan mempengaruhi perambatan fatik. Oleh karena itu penulis tertarik untuk melakukan pengujian ini untuk mempelajari efek retardasi selama terjadi *overload*, untuk mempelajari mekanisme patahan, dan untuk menentukan umur fatik.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Mempelajari efek retardasi retak selama terjadi *overload* pada baja karbon rendah yang diuji fatik.
2. Untuk mempelajari mekanisme patahan di zona *overload*.
3. Untuk menentukan umur fatik melalui perambatan retak fatik pada zona 2 menggunakan hukum Paris.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Rasio pembebanan $R= 0,3$ dan $P_{maks} = 0,7P_y$ dari tegangan luluh bahan.
2. Pemberian beban lebih setelah beberapa siklus dan panjang retak tertentu yaitu sebesar 30% dari beban maksimum awal.
3. Prediksi perambatan retak hanya didasarkan pada zona 2 menggunakan metode Paris.

1.4 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun menjadi lima bab, adapun sistematika penulisannya adalah sebagai berikut:

I. Pendahuluan

Menguraikan latar masalah belakang secara jelas, tujuan dan batasan masalah yang diambil sebagai batasan utama dalam laporan tugas akhir serta sistematika tugas akhir.

II. Tinjauan Pustaka

Berisikan landasan teori yang merupakan uraian tentang beban berlebih terhadap retak fatik, dan teori-teori yang dibahas sesuai dengan materi yang dibahas pada laporan ini.

III. Metodologi Penelitian

Berisikan tentang metode-metode yang dilakukan penulis dalam melakukan pengumpulan informasi, tempat dan waktu tugas akhir dan menerangkan tentang alur tugas akhir serta bagai mana proses pengambilan data yang dilakukan.

IV. Hasil Dan Pembahasan

Berisi tentang data-data yang didapatkan dari tugas akhir dan dipakai dalam melakukan analisis, perhitungan, dan pembahasan serta evaluasi terhadap hasil perhitungan tersebut.

V. Penutup

Berisikan simpulan dan saran yang diambil dari hasil perhitungan dan pembahasan masalah serta saran yang dapat diberikan.

Daftar Pustaka

Memuat literatur yang menunjang penyusunan laporan.

Lampiran

Merupakan Lampiran yang berupa foto, dan data yang lainnya yang mendukung laporan ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi beban lebih (*Overload*) dan faktor-faktor yang mempengaruhi beban lebih.

Beban lebih (*Overload*) adalah beban yang diberikan di atas beban maksimum. Pada suatu operasi pembebanan, siklus yang terjadi tidak selalu beramplitudo konstan, seringkali pembebanan yang terjadi mempunyai amplitudo yang bervariasi. Dalam pembebanan yang seperti itu dapat terjadi beban lebih (*overload*). Sejumlah hal mempengaruhi *crack growth* setelah kelebihan beban tarik. Salah satu dasar adalah efek dari tegangan tekan residual yang muncul sebagai akibat dari deformasi plastik yang disebabkan oleh kelebihan beban. Mengidentifikasi keteraturan perubahan parameter dalam siklus SIF (stress intensity factor) seperti retak meluas pada beban yang menyediakan cara memperkirakan perkembangan kelelahan retak di bawah kondisi pembebanan yang tidak teratur dengan bantuan standar diagram kegagalan lelah. Perubahan pertumbuhan retak di lokasi yang berlebihan terpengaruh tergantung pada berbagai faktor yaitu dasar-dasar parameter dari siklus yang berlebihan dan tingkat beban dasar, karakteristik mekanik awal bahan, sifat pengerasan dan pelunakan logam dalam proses deformasi plastik, tingkat kendala deformasi, dan lingkungan. Karena efek dari faktor-faktor ini pada

tingkat pertumbuhan retak tak tentu, perlu untuk menggunakan algoritma eksperimental dihitung untuk mengidentifikasi SIF secara efektif untuk jenis bahan tertentu, perlakuan panas, kondisi deformasi, dan proses beban. Dari faktor-faktor ini, tegangan sisa memiliki efek paling signifikan yaitu efek dari beban berlebih secara periodik memiliki hubungan dengan tingkat kemulusan spesimen yang diuji. Untuk komponen bertakik memiliki perilaku yang sangat berbeda yang diakibatkan oleh adanya residual stress (tegangan sisa) yang ditimbulkan oleh beban berlebih (Schutz,1985).

2.2 Laju perambatan retak fatik

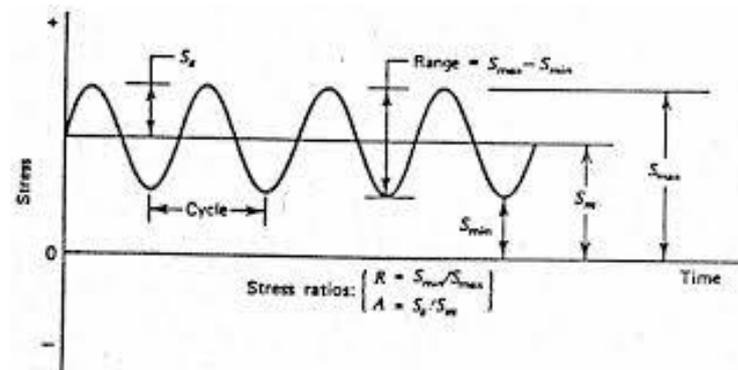
Beban statis adalah sistem pembebanan pada suatu komponen dengan beban konstan, sedangkan beban dinamis adalah sistem pembebanan pada suatu komponen dengan beban berubah-ubah dari beban maksimum ke beban minimum secara terus-menerus. Beban yang berubah-ubah ini sering disebut beban berfluktuasi. Pada kondisi tegangan yang sama, komponen struktur yang mengalami pembebanan dinamis akan mempunyai batas umur pakai lebih pendek dibandingkan dengan batas umur pakai komponen yang mengalami pembebanan statis, karena komponen seolah-olah mendapat beban kejut secara tiba-tiba. Setelah sekian siklus pembebanan dinamis, komponen akan mengalami kegagalan (patah). Patah yang terjadi akibat beban berulang inilah yang disebut fatik atau patah lelah. Penyebab terjadinya fatik adalah adanya retak yang berawal pada daerah yang konsentrasi tegangannya

tinggi. Daerah ini adalah lekukan, lubang pada material, permukaan yang kasar, dan rongga baik didalam maupun di permukaan material. Jadi,terjadinya fatik adalah retak yang terus bertambah panjang hingga komponen tidak lagi mempunyai toleransi terhadap tegangan dan regangan yang lebih tinggi, dan akhirnya terjadi patah statis secara tiba-tiba. Panjang retak ini akan terus bertambah karena pembebanan dinamis yang terus-menerus. Semakin besar amplitudo pembebanan dinamis semakin cepat retak merambat.

Akhir dari perambatan retak pada komponen akibat beban dinamis adalah terpisahnya komponen menjadi 2 bagian yang lebih dikenal dengan istilah fracture atau perpatahan. Perpatahan yang sangat berbahaya adalah patah getas. Hal ini sering terjadi pada bahan yang getas dan keras. Kegagalan patah getas akan terjadi secara tiba-tiba tanpa ada tanda-tanda pada komponen(Fuchs,1980).

2.3 Tegangan Uji Lelah

Pengujian fatik pada umumnya dilakukan dengan memberikan tegangan atau beban dinamis uniaksial. Tegangan dinamis yang dikenakan dapat bervariasi seperti tarik-tarik, tarik-tekan ataupun tekan-tekan.



Gambar 2.1. Nomenklatur siklus pembebanan dengan amplitudo konstan

(Fuchs, 1980)

Gambar di atas menunjukkan siklus tegangan tarik berulang dengan tegangan maksimum S_{max} dan tegangan minimum S_{min} . Siklus tegangan bervariasi terdiri dari 2 komponen yaitu : tegangan rata-rata S_m , dan tegangan bolak-balik .

Sedangkan daerah jangkauan tegangannya disebut S_r . Daerah tegangan atau jangkauan tegangan adalah selisih antara tegangan maksimum dan tegangan minimum (Fuchs,1980).

$$S_r = S_{max} - S_{min} \quad (2.1)$$

Tegangan bolak-balik adalah setengah dari jangkauan tegangan, yang dirumuskan sebagai berikut :

$$S_a = \frac{S_r}{2} = \frac{S_{max} - S_{min}}{2} \quad (2.2)$$

Tegangan rata-rata adalah harga rata-rata aljabar tegangan maksimum dan tegangan minimum, yang dirumuskan sebagai berikut :

$$S_m = \frac{S_{max} + S_{min}}{2} \quad (2.3)$$

Faktor lain yang sangat membantu dalam mengemukakan data-data kelelahan digunakan 2 buah besaran perbandingan, yaitu :

$$\text{Perbandingan tegangan: } R = \frac{S_{min}}{S_{max}} \quad (2.4)$$

$$\text{Perbandingan amplitudo: } A = \frac{1-R}{1+R} = \frac{2S_a}{2S_m} \quad (2.5)$$

2.4 Faktor Intensitas Tegangan (K)

Faktor K merupakan cara yang sangat mudah untuk membahas distribusi tegangan di sekitar retak. Dua retak dengan geometri yang berbeda yang mempunyai harga K yang sama akan memiliki distribusi tegangan yang identik. Secara umum faktor intensitas tegangan (K) dapat dihitung dari persamaan P.C. Paris dan G.C. Sih (Dieter, 1986) :

$$K = \beta S \sqrt{\pi a} \quad (2.6)$$

Dimana β adalah faktor geometri retakan.

Menurut Feddersen nilai β untuk spesimen center crack tension (CCT) adalah (Schijve, 2001) :

$$\beta = \sqrt{\pi a / W} \quad (2.7)$$

sehingga harga K dapat dihitung dengan rumus :

$$K = S \sqrt{\pi a \sec\left(\frac{\pi a}{W}\right)} \quad (2.8)$$

Berdasar ASTM harga ΔK untuk spesimen center crack tension(CCT) dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta K = \frac{\Delta P}{B} \sqrt{\frac{\pi a}{2W}} \sec \frac{\pi a}{2} \quad (2.9)$$

Dengan catatan $\Delta P = P_{max} - P_{min}$

$$\alpha = 2a/W$$

K = Faktor intensitas tegangan (MPa \sqrt{m})

S = Tegangan (Mpa)

β = Faktor geometri retakan

B = Tebal plat (meter)

W = Lebar plat (meter)

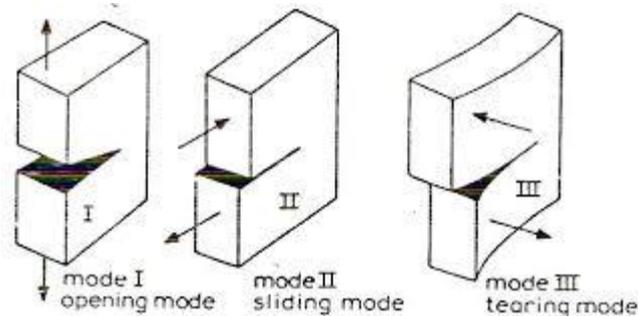
a = Panjang retak (meter)

P_{max} = Beban maksimum (Newton)

P_{min} = Beban minimum (Newton)

Di dalam mekanika perpatahan ada 3 macam mode sehingga ada 3 macam nilai K . K_I untuk mode I yaitu mode tarik dengan arah membuka retak. K_{II} untuk mode II yaitu model geser. Sedangkan K_{III} untuk mode III model geser sejajar. K_I merupakan faktor intensitas tegangan untuk mode I dimana retak terentang oleh tegangan tarik yang bekerja pada arah tegak lurus terhadap permukaan bidang retak. Jadi

KI adalah faktor intensitas tegangan untuk arah pembebanan membuka retak.



Gambar 2.2. Mode Perpatahan (Broek,1986)

Pada mode I merupakan sistem pembebanan yang paling penting, karena pembebanannya membuka retak dimana nilai KI kritisnya disebut KIC, yang lebih dikenal dengan istilah ketangguhan perpatahan regangan bidang. KIC merupakan sifat ketahanan bahan terhadap perpatahan. Ada 2 macam keadaan ekstrim yaitu; benda uji tipis keadaan tegangannya disebut tegangan bidang (plane stress), sedangkan benda uji tebal terdapat regangan bidang (plane strain). Plane stress adalah kondisi munculnya tegangan bidang pada daerah sekitar retak yang disebabkan oleh pembebanan pada komponen. Sedangkan plane strain adalah meningkatnya tegangan bidang menjadi kondisi regangan yang terjadi pada daerah sekitar retak yang disebabkan oleh pembebanan pada komponen. Kondisi regangan bidang ditinjau dari segi tegangan bidang lebih berbahaya dan nilai faktor intensitas tegangan kritisnya lebih rendah dibanding benda uji yang hanya mengalami tegangan bidang (Broek,1986).

2.5 Mekanisme Fatik

Pengamatan mikroskopis menunjukkan bahwa mulainya retak ditandai oleh adanya deformasi plastis lokal. Hal ini terjadi pada daerah yang konsentrasi tegangannya tinggi. Umumnya, terjadinya deformasi plastis ini terletak pada daerah-daerah :

1. Cacat permukaan karena goresan dan rongga.
2. Inklusi lapisan batas butir.
3. Lekukan atau cekungan.
4. Daerah yang luasannya tereduksi, seperti lubang baut.
5. Permukaan yang kasar.
- 6 .Intrusi dan Ekstrusi.

Daerah-daerah tersebut di atas sangat potensial terhadap awal mulanya retak karena konsentrasi tegangannya tinggi. Terjadinya deformasi plastik dapat diamati jelas dengan adanya garis-garis slip pada permukaan spesimen . Pada saat pembebanan akan terjadi slip, dan pada pembebanan berikutnya slip terjadi berlawanan arah dan sejajar dengan bidang slip sebelumnya. Pembebanan berulang ini dapat menghasilkan pembentukan rangkaian intrusi dan ekstrusi pada permukaan bebas logam sepanjang bidang slip. Intrusi dan ekstrusi menjadi semakin banyak dan retak awal terbentuk pada bagian intrusi.

Tingkat kehomogenan material juga menjadi faktor munculnya retak. Dimana proses pembentukan retakan terjadi pada batas butir karbida. Penyebabnya adalah sifat karbida yang rapuh. Material yang kurang homogen mempunyai ketangguhan terhadap fatik rendah, karena pada bagian butir material yang kekuatannya rendah menjadi sebab awal mulainya retak (Broek, 1986).

2.6 Mekanisme penjalaran retak

Mekanisme Penjalaran Retak Perpatahan adalah pemisahan atau pemecahan suatu benda padat, menjadi 2 bagian atau lebih diakibatkan adanya tegangan. Proses perpatahan terdiri atas 2 tahap, yaitu timbulnya retak dan tahap penjalaran retak. Tahap awal mulainya retak adalah slip pada beberapa butir yang terus menjalar. Tahap awal pembentukan retak ini memerlukan jumlah siklus yang cukup besar. Perambatan retak yang terjadi pada tahap ini sangat lambat.

Tahap penjalaran retak ini diawali oleh adanya garis-garis halus (striasi) dari tempat awal mulainya slip antar butir. Ini akan jelas jika diamati dengan mikroskop elektron. Patah dapat digolongkan dalam 2 kategori umum, yakni patah liat dan patah getas. Patah liat ditandai oleh deformasi plastik yang cukup besar, sebelum dan selama proses penjalaran retak. Pada permukaan patahan, biasanya tampak adanya deformasi yang cukup besar. Patah getas pada logam ditandai oleh adanya kecepatan penjalaran retak yang tinggi, tanpa terjadi deformasi kasar dan sedikit sekali terjadi deformasi mikro. Patah getas ada

kaitannya dengan pembelahan pada kristal ionik. Kecenderungan terjadinya patah getas akan bertambah besar, bila temperatur turun, laju regangan bertambah, dan tegangan yang bekerja adalah tegangan 3 sumbu (biasanya dihasilkan oleh adanya takik). Bagaimanapun juga retak getas harus dihindarkan, karena terjadi tanpa adanya proses perambatan retak dan biasanya menimbulkan kerugian yang sangat besar. Perubahan yang terjadi akibat adanya takik mempunyai dampak yang penting pada proses perpatahan. Sebagai contoh, kehadiran suatu retak akan meningkatkan suhu transisi liat-getas pada baja.

Adanya takik dalam suatu bahan dapat menimbulkan konsentrasi tegangan dan menghasilkan keadaan tegangan triaksial pada pangkal takik. Pembangkitan tegangan ini sangat penting dalam kegagalan lelah logam. Dampak pembangkitan tegangan lebih menonjol dalam bahan getas daripada dalam bahan ulet. Struktur dapat gagal pada beban rendah, meskipun struktur tersebut sudah didesain dengan faktor keamanan 80-90%. Kegagalan struktur tersebut dapat disebabkan oleh kegagalan fatik (Broek, 1986).

Bagian 1: Komponen mengalami beban tarik, sehingga tegangan tarik pada bidang retakan membentuk sudut 45° .

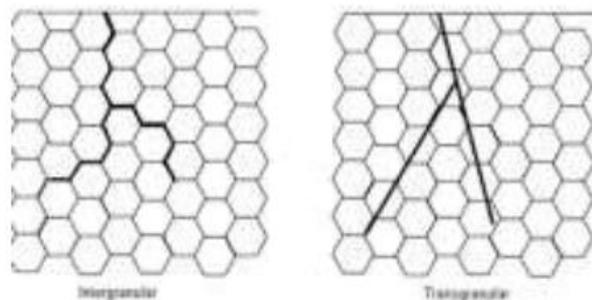
Bagian 2: Adanya konsentrasi tegangan yang sangat besar pada ujung retak memudahkan terjadinya slip.

Bagian 3: Terjadi perpanjangan retak akibat adanya bidang slip yang lain

2.7 Scanning Elektron Microscop (SEM)

Scanning Electron Microscope adalah suatu tipe mikroskop electron yang menggambarkan permukaan sampel melalui proses *scan* dengan menggunakan pancaran energi yang tinggi dari electron dalam suatu pola *scan raster*. *Electron* berinteraksi dengan atom-atom yang membuat sampel menghasilkan sinyal yang memberikan informasi mengenai permukaan topografi sampai, komposisi dan sifat-sifat lainnya seperti konduktivitas listrik. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi dari pada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1-0,2 nm. Di bawah ini diberikan perbandingan hasil Gambar mikroskop cahaya dengan elektron. Disamping itu dengan menggunakan elektron kita juga bisa mendapatkan beberapa jenis pantulan yang berguna untuk keperluan karakterisasi.

Alur perambatan merupakan karakteristik dari beberapa logam atau paduan. Untuk logam, alur perpisahannya merupakan *intergranular* yaitu retak di sepanjang butir antara kristal material dan sebagian lainnya merupakan *transgranular* yaitu memotong bidang kristal.



Gambar 2.3 Ilustrasi bentuk retakan *intergranular* dan *transgranular*

(octane.nmt.edu, 2009)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Sedangkan waktu penelitian dilakukankan pada rentang waktu pada bulan November 2015 - Mei 2016 .

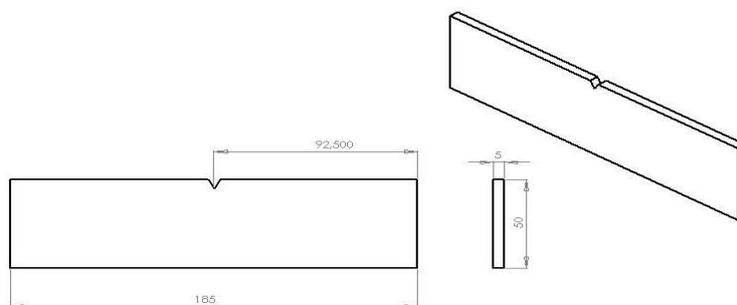
3.2 Dimensi spesimen uji

1. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah ini berbentuk plat dan memiliki ukuran panjang 185 mm, lebar 50 mm dan tebal 4 mm. Memiliki kadar karbon kurang dari 0,3%

2. Dimensi uji fatik

Spesimen yang digunakan untuk uji fatik yaitu dengan menggunakan standar ASTM E 647. Ukuran panjang spesimen 185 mm, lebar 50 mm, tebal 4 mm, dan kedalaman takik 1 cm.



Gambar 3.1. Bentuk dan ukuran spesimen uji fatik (ASTM E647, 2000)

3.3 Alat Pengujian

Dalam penelitian ini diperlukan alat dan benda kerja yang akan digunakan.

Peralatan yang digunakan sebagai berikut :

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Mesin MTS Landmark 100 kN

Alat ini dapat digunakan untuk pengujian tarik statis dan fatik, yang tersedia di laboratorium Material Teknik-Jurusan Teknik Mesin-Universitas Lampung.



Gambar 3.2. Mesin MTS landmark 100 kN

2. Mikroskop *digital portable*

Mikroskop ini digunakan untuk mengamati pertumbuhan dan perambatan retak selama pengujian retak fatik. Alat ini mampu mengamati retak dengan perbesaran 100 X sesuai standar ASTM E647.



Gambar 3.3. Mikroskop *digital portable*

3. SEM (*Scanning Elektron Microscop*)

Pengujian ini dilakukan di PUSLIT FISIKA digunakan untuk mengobservasi patahan permukaan baja setelah pengujian retak fatik melalui penampang patahan specimen uji.

4. Mikroskop Optik

Mikroskop optic digunakan untuk mengamati dan memfoto morfologi bentuk perambatan retak specimen uji.

3.4 Prosedur Pengujian

Uji Fatik

Prosedur pengujian perambatan retak fatik yang akan dilakukan yaitu:

1. Menyiapkan spesimen sesuai dengan standar ASTM E 647.
2. Membuka program Controller 793B setelah itu klik *manual command*, pilih *displacement mode*, lalu naikan *actuator* ke posisi nol (*zero*).

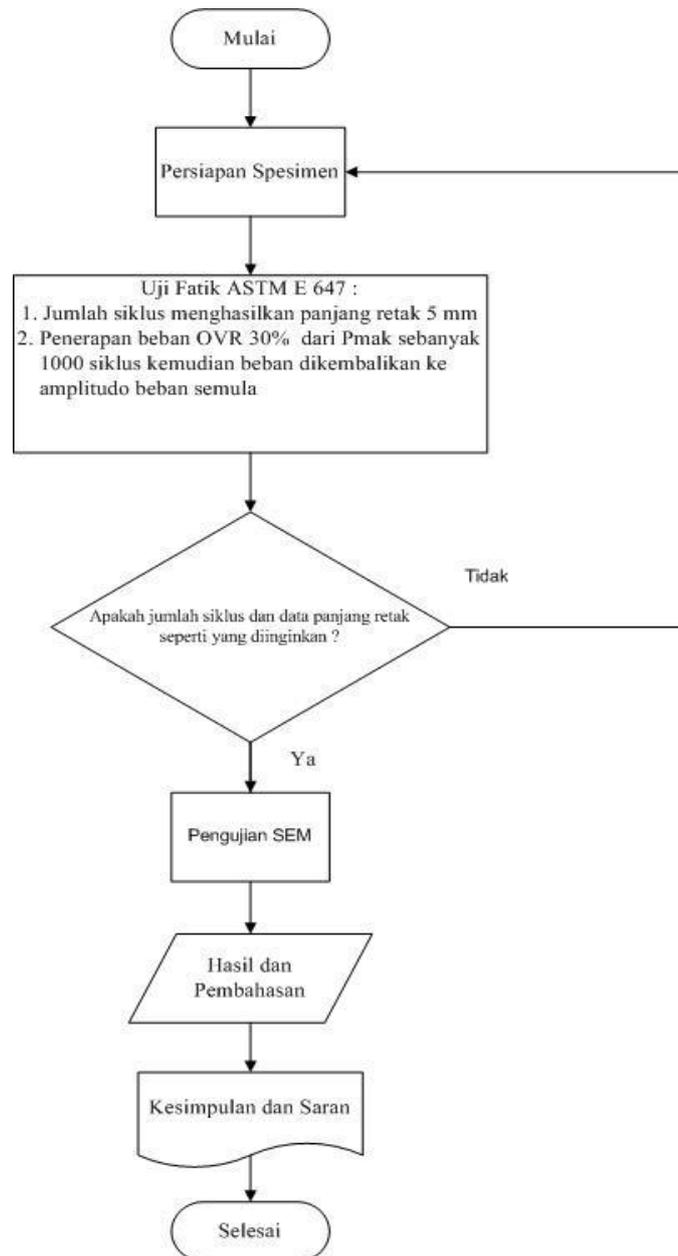
3. Memasang spesimen pada *crosshead grip* atas kemudian spesimen dicekam.
4. Lalu *crosshead* diturunkan sampai ujung bawah spesimen masuk ke dalam grip bawah dengan kedalaman 3 cm.
5. Klik *manual command* dan klik *control mood* ke *force*.
6. Kemudian klik *auto offset* untuk *force*. Setelah itu grip bagian bawah dicekam sehingga ujung spesimen bagian bawah tidak berubah.
7. Membuka Software MTS Test Suite (MPE), pilih template untuk *high cycle fatigue testing*
8. Memasukkan data *Pmaks* dan *Pmin*, siklus total, *incremental cycles* untuk mengatur stop mesin secara otomatis pada setiap jumlah siklus tertentu dengan tujuan agar retak dapat diamati/diukur dengan menggunakan mikroskop digital portabel (lihat gambar 3)
9. Memberikan beban lebih ketika retak mencapai 5mm dan memberikan beban normal setelah 1000 siklus.
10. Setelah menginput semua data lalu klik RUN.
11. Mengamati panjang retak dengan menggunakan mikroskop dan mencatatnya.

3.5 Analisis Data Pengujian

Tabel 3.1. Data Hasil Pengujian

No	Cycles	Panjang Retak (mm)
1	6000	
2	7000	
3	7200	
	
	
	10.200	0,5

3.6 Diagram Alir



Gambar 3.4. Diagram alir

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil dan pembahasan adalah sebagai berikut:

1. Laju perambatan retak fatik mengalami perlambatan retak atau retardasi setelah diterapkannya beban lebih (*overload*) pada panjang retak 5,08 mm dan jumlah siklus 9700.
2. Nilai $da/dN=8,107 \times 10^{-14} \Delta K^{4,69}$ pada beban konstan mengurangi umur fatik sedangkan pada beban lebih (*overload*) $da/dN=1,703 \times 10^{-7} \Delta K^{5,691}$ meningkatkan umur fatik.
3. Hasil uji SEM pada zona terbentuknya retak pada panjang retak 1,119 mm dan jumlah siklus 5000 menunjukkan permukaan patahan yang lebih halus dibandingkan pada zona perambatan. Hasil SEM pada zona perambatan siklus 8.000 dengan panjang retak 3,611 mm permukaan patahan liat (*dimple fracture*) dimana terjadinya perambatan yang menyerupai bentuk *beachmark* yang merupakan karakteristik dari patah akibat beban siklik atau fatik. SEM pada zona *overload* dengan panjang retak 5,08 mm dan jumlah siklus 9.700 tampak suatu morfologi patahan transisi. SEM pada zona retardasi sekitar panjang retak 5,922 mm pada siklus 11.610 ditandai dengan adanya permukaan

rusak parah. SEM pada zona percepatan retak sekitar panjang retak 9,192 mm pada siklus 15.610 permukaan patah pada zona percepatan retak adalah transgranular. SEM pada zona batas patah dengan panjang retak 16,20 mm pada siklus 17.160 permukaannya lebih kasar dan berserabut.

4. Penyebab retardasi retak karena *overload* bisa dijelaskan oleh beberapa fenomena seperti defleksi retak, pengerasan regangan material di ujung retak, penutupan retak (yang disebabkan oleh plastisitas), kekasaran atau oksidasi.
5. Penerapan beban lebih (*overload*) terhadap perambatan retak fatik meningkatkan umur lelah suatu bahan.

5.2 SARAN

Beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian beban lebih (*overload*) terhadap perambatan retak fatik menggunakan lebih dari satu rasio sebagai perbandingan.
2. Pada saat pembuatan spesimen pengerolan dilakukan searah dan pendinginan dilakukan dengan seragam agar mengurangi cacat pada spesimen.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM E-647, 2004, “*Metal Test Methods and Analytical Procedures, Annual Book of STM Standard*”, Sec 3, Vol 03.01, E-647-00, pp 615-657, Bar Harbor Drive, West Conshohocken

Broek, David, 1986, “*Elementary Engineering Fracture Mechanics*”, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.

Dieter, ahli bahasa, Djapril Sriati, 1989, *Metalurgi Mekanik*, jilid I & II, Erlangga, Jakarta.

Fuchs, H. O., 1980, “*Metal Fatigue In Engineering*”, Penerbit John Wiley and Sons : New York.

J. Haag, A. Reguly, T.R. Strohaecker, 2013, “*Effect of tensile overloads on fatigue crack growth of high strength steel wires*”, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

John Codrington, Andrei Kotousov, 2009, “*Crack growth retardation following the application of an overload cycle using a strip-yield model*”, School of Mechanical Engineering, University of Adelaide, SA 5005, Australia.

J. Schijve, “*Fatigue crack propagation in light alloy steel material and structures*”, 1991, *Advances in Aeronautical Sciences*, Pergamon Press, New York.

Munir M. Moh, 2009, Pengaruh Beban Lebih (Over Load) terhadap Kekuatan Lelah Paduan Aluminium 2024-T3, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya Kampus PPNS-ITS.

Schutz W, 1985, “*The effect of overloads on threshold and crack closure*”, School of Mechanical Engineering, University of Adelaide, SA 5005, Australia.

Vaneshwar Kr. Sahu, J.K.S. Anil Kumar, J.R. Mohanty, B.B. Verma, P.K. Ray, 2014, “*Effect of low-temperature overload on fatigue crack growth retardation*”

and prediction of post overload fatigue life”, Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Rourkela 769008, India.