

**EFEK *PRESTRAIN* PADA BAJA AISI 1020 TERHADAP
PERAMBATAN RETAK FATIK**

(Skripsi)

Oleh

BUDI TRI UTAMI



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

ABSTRAK

EFEK *PRESTRAIN* PADA BAJA AISI 1020 TERHADAP PERAMBATAN RETAK FATIK

Oleh :

BUDI TRI UTAMI

Penelitian perambatan retak fatik baja AISI 1020 yang mengalami *prestrain* sebesar 30% dilakukan menggunakan mesin MTS Landmark 100 kN, dengan parameter pengujian $R=0,3$, $P_{maks} = 0,7P_{yield}$, dan $f=10$ Hz dengan kondisi pengujian pada temperatur ruang. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa efek *prestrain* meningkatkan nilai tegangan luluh, namun kekuatan tarik maksimum, modulus elastisitas dan elongasinya menurun. Hal ini dikarenakan deformasi plastis terjadi pada baja AISI 1020 dalam arah aksial. Laju perambatan retak fatik baja AISI 1020 yang tidak di *prestrain* adalah $da/dN = 8,107 \times 10^{-14} K^{4,69}$ dan yang di *prestrain* adalah $da/dN = 4,338 \times 10^{-9} K^{1,49}$. Berdasarkan nilai laju perambatan retak fatik *prestrain* menurunkan nilai laju perambatan retak fatik baja AISI 1020. SEM fraktografi patahan permukaan baja setelah di uji fatik pada awal retak menghasilkan bentuk patahan berupa cekungan-cekungan kecil (*dimple*) pada siklus 25.000 dan panjang retak 1,6 mm. Pada permukaan perambatan retak sekitar 12 mm dan siklus 42.000 permukaan patahan adalah intergranular. Pola patahan perambatan retak yang cepat terjadi pada siklus 43.500 dengan panjang retak 18,1 mm, setelah itu spesimen mengalami patah statis pada siklus 43.549.

Kata Kunci : *prestrain*, perambatan retak fatik, deformasi plastis, retak intergranular.

ABSTRACT

THE EFFECT OF PRESTRAIN OF STEEL AISI 1020 ON FATIGUE CRACK GROWTH

By :

BUDI TRI UTAMI

In the present research, the fatigue crack growth (FCG) of AISI 1020 steel having the total of 30% prestrain was carried out using MTS Landmark 100 kN under testing parameters load ratio (R) = 0.3, $P_{\max} = 0.7 \times P_{\text{yield}}$, and $f = 10$ Hz at room temperature. Tensile test result showed that the prestrain increased of the value of the yield stress. In contrast, the ultimate tensile strength, modulus of elasticity, and elongation decreased. The FCG rate (da/dN) of AISI 1020 steel without prestrain is $8.107 \times 10^{-14} \text{ K}^{4.69} \text{ mm/cycles}$ and $4.338 \times 10^{-9} \text{ K}^{1.49} \text{ mm/cycles}$ with prestrain. According to microstructural observation for the steel experiencing the 30% prestrain, the plastic deformation formed on the steel in the axial direction affected the FCG rate of the steel, leading to crack retardation for a certain periods time. SEM fractographic observation on the fracture surface of the steel after FCG testing when the crack reached around 1.6 mm at 25,000 cycles, shows a dimples fracture. Moreover, the intergranular crack was observed by the crack length of 12 mm at 42,000 cycles. The steel failed when the crack length was around 18.1 mm with the total of 43,500 cycles. At the total of 43,549 cycles, the steel showed static failure.

Keywords: prestrain, fatigue crack growth, plastic deformation, intergranular crack.

**EFEK *PRESTRAIN* PADA BAJA AISI 1020 TERHADAP
PERAMBATAN RETAK FATIK**

Oleh

Budi Tri Utami

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

: **EFEK PRESTRAIN PADA BAJA AISI 1020 TERHADAP PERAMBATAN RETAK FATIK**

Nama Mahasiswa

: **Budi Tri Utami**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1115021014

Program Studi

: **Teknik Mesin**

Fakultas

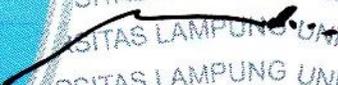
: **Teknik**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

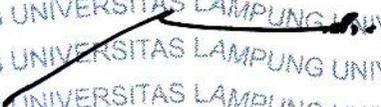


Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T.
NIP. 19721211 199803 1 002



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.



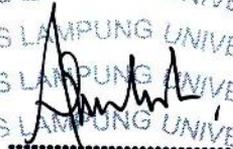
Anggota Penguji

: 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 : 9 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 NOMOR 3187/H26/DT/2010.**

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



BUDI TRI UTAMI

1115021014

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bantul, Yogyakarta pada tanggal 14 November 1992, sebagai anak tunggal, dari pasangan Yadiono dan Ngajiyem. Pendidikan diawali dari Taman Kanak-kanak Tunas Bangsa Bandar Lampung Tahun 1997, SDN 2 Sukabumi Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2004, SMPN SMPN 5 Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2008, SMAN Gajah Mada Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2011, dan pada tahun 2011

penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri Jalur SMPTN Undangan.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai KEPALA divisi KREATIVITAS (2013 s.d. 2014). Penulis juga pernah melakukan kerja praktik di PT. Daya Radar Utama Unit 3 Bandar Lampung pada tahun 2014 dengan judul **“Pengujian Sistem Kemudi Kapal Pada *Landing Ship Tank* (LST) Teluk Bintuni -520 di PT. Daya Radar Utama Unit 3 Bandar Lampung”**. Pada tahun 2015 penulis

melakukan penelitian dengan judul **“Efek *Prestrain* Pada Baja AISI 1020 Terhadap Perambatan Retak Fatik”** dibawah bimbingan Utama Bapak Dr. Mohammad Badaruddin S.T.,M.T., dan Bapak Ahmad Su’udi, S.T.,M.T. sebagai Dosen Pembimbing Pendamping serta Bapak Dr. Asnawi Lubis, S.T.,M.Sc. sebagai pembahas atau penguji. Dan penulis di nyatakan lulus sidang Sarjana pada tanggal 9 Juni 2016.

MOTTO

“Cukup Allah sebagai penolong kami dan Dia adalah sebaik-baik pelindung.”
(QS. Ali Imran : 173)

“Orang tua bilang aku harus berusaha untuk kebahagiaan ku kelak, tapi aku bilang aku lakukan ini tuk bahagiakan orang tua tersayang.”

“Aku tidak membebani seseorang, melainkan sesuai kesanggupannya.”
(QS. Al Baqarah : 286)

PERSEMBAHAN

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

MAMAK & BAPAKKU

SAHABAT DAN TEMAN-TEMANKU

KEKASIHKU

KELUARGA MESIN ANGKATAN 2011

KAKAK TINGKATKU

ADIK-ADIK TINGKATKU

SERTA ORANG-ORANG YANG ADA DIBELAKANGKU

YANG SELALU MEMBERI SEMANGAT, NASIHAT

MAUPUN DO'ANYA.

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullohi Wabararokatuh.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah. SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“EFEK PRESTRAIN PADA BAJA AISI 1020 TERHADAP PERAMBATAN RETAK FATIK”**.

Terselesaikannya penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bantuan, bimbingan dan arahan dari semua pihak, oleh karena itu penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua Orangtua ku Bapak Yadiono dan Ibu Ngajiyem tercinta yang selalu memberikan kasih saayang, semangat motivasi, dan mendo'akan atas harapan dan kesuksesan penulis.
2. Kekasihku Muhammad Irvan, S.T yang selalu sabar, memberikan semangat dan motivasi penulis.
3. Sahabat tersayang Fantastic four Jesi Tiasuti, S.T, Beby Theta Dertiny, S.T dan Ratih Safria Handrika, S.T.
4. Bapak Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

5. Bapak Ahmad Su'udi, S.T.,M.T. Sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung sekaligus selaku dosen pembimbing pedamping tugas akhir, terima kasih atas saran-saran, bimbingan juga atas segala nasehat terhadap penulis.
6. Bapak Dr. Mohammad Badaruddin, S.T.,M.T. selaku pembimbing utama tugas akhir, dan selaku dosen Pembimbing Akademik terima kasih atas saran-saran, bimbingan, motivasi dan ilmu yang diberikan selama penyelesaian tugas akhir penulis.
7. Bapak Dr. Asnawi Lubis, S.T.,M.Sc. selaku dosen pembahas, terima kasih atas semua saran-saran, motivasi serta nasehat terhadap penulis.
8. Tri Susanto terimakasih sudah membantu penulis.
9. Kakak-kakakku Agus Rantaujaya, S.T dan Eko Hermawan, S.T yang selalu menasehati penulis.
10. M. Fahmi Reza dan Yudi Setiawan terimakasih sudah membantu penulis.
11. Ansori, Amd. terimakasih sudah membantu penulis.
12. Saudara-sauradaku "**Teknik Mesin 2011**", Dimas Rizky Hermanto, A. Kurniawan Purga, Harry Christianto, Andicha Aulia Putra, Maulana Efendi, Riski Irawan, Panly M.E, Ahmad Sarif, Febriantoro, Bahrul Ilmi, Ryan Rusdi W, Benny Silalahi, M. Khoirul Anam, Eko Nurdianto, Jati, Eko alan, Dika Akut, Dedek Lamputra, Panji Mario Leksono, Adi Yusuf S, A.Fadly, Siswanto, Wisnu Ismoyo, Wahyu Gautama, M. Husein Manaloe, M. Faisal, Joko, Ali Mustofa, Printo, Adi Ernadi, Eko Wahyu Saputra, Eko Apriliando, Andreas PW, Ferli Yoga, Ikhwan Z, Yusuf Kurniansyah, Reza, Rio, Robby Saputra, Rifqi, Ruri, Rido, Agung Prastyo,

Agung P, Sukris yang telah memberikan semangatnya serta keluarga Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah membantu. Semoga persaudaraan kita tetap terjaga degan slogan “*Solidarity Forever*”.

13. Adik-adik tercinta Selviana Larasati, Isma Yanti,Ratna Latifah,winda, Kadek Sukanadi, Riki Andriyano, Ahmet Faisal, Rizky S, Putu, Nurcahya, Fachri, Yogi, Yuda, Rahmat, Alan, Bagus, Jaya,Irwan,Rian,Reno dan 2013 yang tidak bisa saya sebutkan namanya satu persatu.
14. Sahabatku Ayu Septriana, Cintya, Berta, Lia, Yeni, Ayu, Lia, Rury, Imawati, S.pd.
15. Adik-adikku A.Aldino, Eko agus, Riswanto, Riki Yakup, Armulani, Anugrah Ariawan, Bayu, Obbi, Riyansyah.
16. Cewek-cewek cantik Teknik Mesin Mba Annisa, Mba Rabiah, Dara, Anggun, Intan, Jumaliya, Armulani, Din, Sarah, Neneng, Fenni, Zulfa dan Intan.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin dalam penulisan laporan tugas akhir/skripsi ini untuk mencapai suatu kelengkapan dan kesempurnaan. Akhirnya dengan segala kerendahan hati penulis berharap laporan ini memberi manfaat, baik kepada penulis khususnya maupun kepada pembaca pada umumnya.

Wassalamu’alaikum Warahmatullohi Wabararokatuh.

Bandar Lampung, 21 Juni 2016

Penulis,

BUDI TRI UTAMI

NPM. 1115021014

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN PENULIS.....	iv
RIWAYAT HIDUP	v
MOTTO	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
SANWACANA	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	3
C. Batasan Masalah	3
D. Sistematika Penulisan	4

II.	TINJAUAN PUSTAKA	
	A. <i>Prestrain</i>	5
	B. Pengerasan-regang	6
	C. Sifat Mekanik Baja	7
	D. Perambatan Retak Bahan	11
	E. Faktor Bentuk Retak	15
	F. Kelelahan Material	15
	G. Faktor yang Mempengaruhi Material	18
	H. Struktur Mikro	19
	I. <i>Scanning Electron Microscop (SEM)</i>	21
III.	METODOLOGI PENELITIAN	
	A. Tempat dan Waktu	23
	B. Alat dan Bahan	23
	C. Dimensi Spesimen Uji	24
	D. Pelaksanaan Pengujian.....	25
	E. Metode Perhitungan Perambatan Retak	32
	F. Diagram Alir.....	34

IV.	HASIL DAN PENGUJIAN	
	A. Hasil Pengujian Tarik	35
	B. Pembahasan Hasil Uji Tarik	37
	C. Hasil Pengujian Fatik	41
	D. Pembahasan Hasil Uji Fatik	43
V.	SIMPULAN DAN SARAN	
	A. Simpulan	53
	B. Saran	54

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel			Halaman
Tabel	3.1	Data	Uji
Tarik.....			31
Tabel 3.2 Data Uji Fatik.....			32
Tabel 4.1 Ringkasan hasil pengujian tarik baja AISI 1020			37
Tabel 4.2 Data perambatan retak fatik baja AISI 1020.....			44
Tabel 4.3 Nilai konstanta bahan C dan m tanpa <i>prestrain</i> dan <i>prestrain</i>			47

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Kurva tegangan regangan.....	6
2.2 Benda kerja bertambah panjang L ketika diberi beban P	8
2.3 Kurva umum tegangan - regangan hasil uji tarik.....	9
2.4 Hubungan intensitas tegangan dengan laju pertumbuhan retak	13
2.5 Spesimen Uji Fatik.....	14
2.6 Skema perjalanan sinar pada mikroskop optik	20
2.7 Pemeriksaan benda uji dengan mikroskop metalurgi.....	20
2.8 Posisi pengujian struktur mikro	21
2.9 Ilustrasi bentuk retakan <i>intergranular</i> dan <i>transgranular</i>	21
2.10 Perbandingan hasil mikroskopi cahaya dengan SEM	22
3.1 Dimensi Spesimen Awal	24
3.2 Dimensi Spesimen Uji Tarik.....	24
3.3 Dimensi Spesimen Uji Fatik	25

3.4 Spesimen awal <i>prestrain</i>	26
3.5 Spesimen hasil <i>prestrain</i>	26
3.6 Spesimen uji tarik.....	26
3.7 Spesimen <i>prestrain</i>	27
3.8 Spesimen hasil <i>prestrain</i>	27
3.9 Spesimen uji fatik.....	28
3.10 Diagram alir penelitian.....	34
4.1 Spesimen sebelum dan sesudah uji tarik.....	35
4.2 Kurva tegangan dan regangan sebelum dan sesudah <i>prestrain</i>	36
4.3 Kurva perbandingan tegangan dan regangan tanpa <i>prestrain</i> dan <i>prestrain</i> ...	36
4.4 Perbandingan struktur mikro arah permukaan baja sebelum dan sesudah diberikan <i>prestrain</i>	41
4.5 Perbandingan struktur mikro ketebalan baja sebelum dan sesudah diberikan <i>prestrain</i>	41
4.6 Spesimen sebelum dan sesudah uji fatik.....	43
4.7 Pengukuran retak yang merambat.....	43
4.8 Kurva hubungan antara jumlah siklus terhadap panjang retak sebelum dan sesudah <i>prestrain</i> baja AISI 1020	45

4.9 Kurva hubungan antara selisih faktor intensitas tegangan terhadap	
perambatan retak (da/dN) tanpa <i>prestrain</i> dan <i>prestrain</i>	46
4.10 Kurva hubungan antara jumlah siklus terhadap beban	48
4.11 Kurva hubungan antara panjang retak terhadap beban	48
4.12 SEM patahan pada posisi retak 0,001 dengan siklus 25.000	50
4.13 SEM patahan pada posisi retak intergranular pada siklus 42000 dengan	
panjang retak 0,012 m	51
4.14 SEM pola patahan batas butir besar pada siklus 43500 dengan panjang retak	
0,018 m	52

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Prestrain adalah deformasi plastis awal yang terjadi pada logam liat karena proses *manufactur* yang dilakukan. Deformasi plastis dapat meningkatkan sifat mekanik terutama tegangan luluh (σ_{yield}) karena terbentuknya tegangan sisa tekan (*compressive residual stress*) pada logam. Deformasi plastis yang terjadi dapat meningkatkan densitas atau kerapatan dislokasi salah tumpuk (*stacking fault*) selama proses peregangan, yang mengakibatkan pengerasan regangan (*strain hardening effect*) pada logam. Selain itu, *prestrain* yang berlebihan dapat mengakibatkan logam menjadi getas, sehingga menurunkan sifat mekanik dan fatiknya. Bila *prestrain* terjadi pada komponen material yang mengalami beban dinamis, maka umur fatik dan sifat mekaniknya meningkat.

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah AISI 1020 yang mengandung kadar karbon sekitar 0,3%, dan memiliki sifat keuletan yang besar. Pengaruh *prestrain* dengan derajat peregangan tarik mempengaruhi ketangguhan retak, kekuatan dan keuletan bahan (Hiraoka, 2005). Penelitian pengaruh kontak kelelahan terhadap pertumbuhan retak di rel yang dilakukan oleh Reza (2015) umur kelelahan dipengaruhi oleh panjang retak awal. Panjang retak awal muncul sebagai cacat menyebabkan penurunan umur kelelahan.

Selain itu, retakan awal biasanya muncul pada kontak roda dengan rel, dapat menjadi dua faktor utama dalam perancangan umur fatik bahan. Pengaruh regangan siklik plastik terhadap pertumbuhan retak menunjukkan bahwa penurunan plastis pada ujung retak pada tegangan tekan yang cukup besar menyebabkan pertumbuhan retak cepat (Michael, 2015).

Pengerasan regangan juga berpengaruh terhadap pengecilan ukuran butir (Juriah dkk, 2013). Penelitian pengaruh proses pengerjaan dingin (*cold working*) pada stainless steel 316L yang dilakukan oleh Muslim (2014), menunjukkan bahwa proses *cold working* dapat menghasilkan pengecilan ukuran butir SS316L. Pengecilan ukuran butir disebabkan meningkatnya kerapatan butir pada daerah yang terpengaruh penekanan. Penelitian pengaruh deformasi plastis pada baja karbon rendah dengan ukuran butiran sangat halus terhadap perambatan retak fatik, menunjukkan bahwa semakin halus ukuran butir, maka semakin menurun perambatan retak fatiknya dan menghasilkan butiran patahan permukaan baja yang halus (Chin dkk, 2002).

Berdasarkan uraian di atas, proses *prestrain* yang terjadi pada logam dapat menghasilkan struktur butir yang lebih halus, yang berkontribusi terhadap peningkatan umur fatik logam. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melakukan penelitian baja karbon rendah yang diberi peregangan awal terhadap perlakuan perambatan retak fatiknya. Analisis struktur mikro dan observasi penampang patahan baja karbon yang telah diuji fatik, akan di evaluasi untuk menjelaskan fenomena peningkatan umur fatik baja.

B. Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari penelitian dalam tugas akhir ini adalah :

1. Mempelajari peningkatan sifat mekanik baja karbon rendah dan umur fatik setelah *prestrain* diberikan.
2. Mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi pada baja karbon rendah sesudah mengalami regangan.
3. Mempelajari fraktografi patahan permukaan baja setelah uji fatik.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Material yang digunakan adalah baja karbon rendah.
2. Rasio pembebanan ($R = 0,3$) dan beban maksimum, $P_{max} = 0,7 P_{yield}$.
3. Perhitungan umur fatik pada perambatan retak (da/dN) didasarkan dalam zona dua menggunakan metode hukum Paris.
4. Spesimen saat pengujian dianggap sempurna, sehingga tidak membahas cacat dari hasil pengujian.

D. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah :

I. PENDAHULUAN

Pendahuluan berisi tentang latar belakang, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan dari penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka menjelaskan tentang teori-teori dasar mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian ini.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Terdiri atas hal-hal yang berhubungan dengan pelaksanaan penelitian, yaitu tempat penelitian, bahan penelitian, peralatan penelitian, prosedur pengujian dan diagram alir pelaksanaan penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan hasil penelitian dan pembahasan dari data-data yang diperoleh setelah pengujian.

V. PENUTUP

Berisikan hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran-saran yang ingin disampaikan dari penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Memuat referensi yang dipergunakan penulis untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir.

LAMPIRAN

Berisikan pelengkap laporan penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Prestrain*

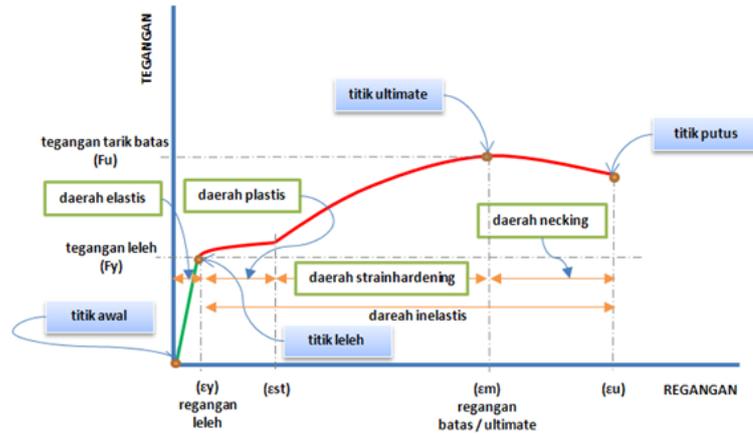
Prestrain adalah suatu fenomena deformasi plastis yang terjadi pada logam, dimana regangan awal diberikan terhadap material. Efek *prestrain* akan meningkatkan tegangan luluh dan tegangan tarik material (Sakata, 2003). Regangan awal yang diberikan terhadap material akan mengakibatkan gerakan dislokasi sehingga menyebabkan pengerasan regang (Smallman, 1994). Pada proses *prestrain* suatu material akan menunjukkan peningkatan nilai sifat-sifat mekaniknya seperti meningkatnya kekuatan tarik dan kekerasannya, hal ini disebabkan regangan awal yang diberikan terhadap material akan mengakibatkan gerakan dislokasi sehingga menyebabkan pengerasan (*strain hardening*) (Suratman, 1994).

Pengerasan regang banyak digunakan untuk mengeraskan logam atau paduan yang tidak bereaksi terhadap perlakuan panas. Untuk paduan yang diperkuat dengan penambahan larutan padat, laju pengerasan regang dapat meningkat atau berkurang dibandingkan dengan logam murni. Tetapi, kekuatan akhir paduan larutan padat pengerjaan dingin hampir selalu besar daripada kekuatan

akhir logam murni yang mengalami pengerjaan dingin sampai tingkat yang sama (Dieter, 1986).

B. Pengerasan-regang

Deformasi bahan disebabkan oleh slip pada bidang kristal tertentu, pada kristal terdapat cacat kisi yang dinamakan dislokasi (Surdia, 1999). Dislokasi merupakan cacat yang menyebabkan slip, yang menjadi sebab sebagian besar logam berubah bentuk secara plastis (Dieter, 1986). Pengerasan regang pada daerah plastis dapat dilihat kurva hubungan tegangan (σ) dan regangan (ϵ) pada gambar 2.2. Jika regangan bertambah, maka kekuatan mulur, kekuatan tarik dan kekerasannya meningkat selama uji tarik akan mengakibatkan pengerasan regang. Pengerasan regang digunakan untuk logam atau paduan yang tidak bereaksi perlakuan panas. Laju pengerasan regang dapat meningkat ataupun berkurang, dibandingkan dengan logam murninya karena penambahan larutan padat. Tetapi, kekuatan akhir paduan larutan padat pengerasan regang hampir selalu lebih besar dari pada kekuatan akhir logam murni yang mengalami pengerasan regang sampai tingkat yang sama (Dieter, 1986).



Gambar 2.1 Kurva tegangan regangan

(sumber : [www.kurva-tegangan-regangan](http://www.kurva-tegangan-regangan.com))

C. Sifat Mekanik Baja

Adanya beban pada elemen struktur selalu menyebabkan terjadinya perubahan dimensional pada elemen struktur tersebut. Struktur tersebut mengalami perubahan ukuran atau bentuk. Pada sebagian besar jenis material baja, perubahan dimensional yang terjadi dapat dikelompokkan, yaitu :

1. Kekerasan (*hardness*)

Kekerasan adalah sifat dasar dari logam, kekerasan ini didefinisikan sebagai ketahanan logam terhadap goresan atau tekanan.

2. Ketangguhan (*toughness*)

Ketangguhan adalah jumlah energi yang mampu diserap bahan sampai bahan terjadi perpatahan.

3. Elastisitas

Merupakan kemampuan logam untuk kembali ke bentuk semula setelah menerima beban hingga berubah bentuk. Semakin tinggi batas elastisitas suatu material maka nilai elastisitas material tersebut juga semakin tinggi.

4. Kekuatan Luluh

Merupakan tegangan yang dibutuhkan untuk mendeformasi plastis.

5. Kekuatan Material Baja

Kekuatan (*strength*) yaitu ketahanan suatu material menerima pembebanan tarik, tekan, lentur, puntir dan geser. Sebutan kekuatan sering digunakan sebagai acuan dalam menentukan kapasitas pikul beban material. Kekuatan material baja secara umum dapat digambarkan kedalam grafik hubungan tegangan-regangan (gambar 2.3). Kurva tegangan regangan rekayasa diperoleh dari pengukuran perpanjangan benda uji. Tegangan yang dipergunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian tarik yang diperoleh dengan membagi beban dengan luas awal penampang melintang benda uji (Dieter, 1987).

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots(1)$$

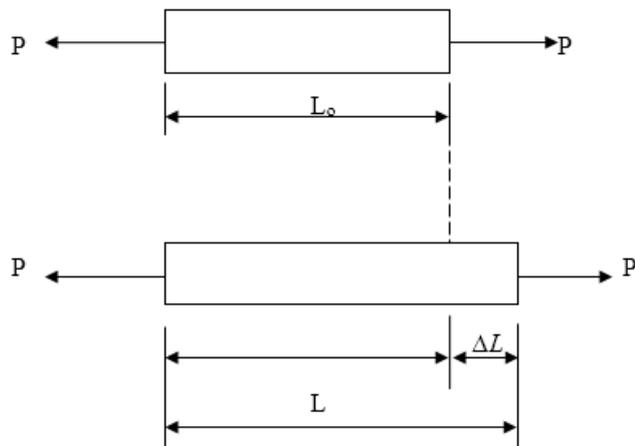
Dimana :

σ : Tegangan tarik maksimal (MPa)

F : Beban tarik (kN)

A_0 : Luasan awal penampang (mm²)

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



Gambar 2.2 Benda kerja bertambah panjang ΔL ketika diberi beban P

Pertambahan panjang pada batang dinotasikan dengan Δ (delta), dimana satu satuan panjang dari batang akan mempunyai perpanjangan yang sama dengan $1/L$ kali perpanjangan total Δ . Perpanjangan pada batang dapat diukur untuk setiap kenaikan tertentu dari beban aksial. Dengan demikian konsep perpanjangan persatuan panjang, atau disebut regangan, yang diberi notasi ε (epsilon) dapat dihitung dengan persamaan:

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

Dimana:

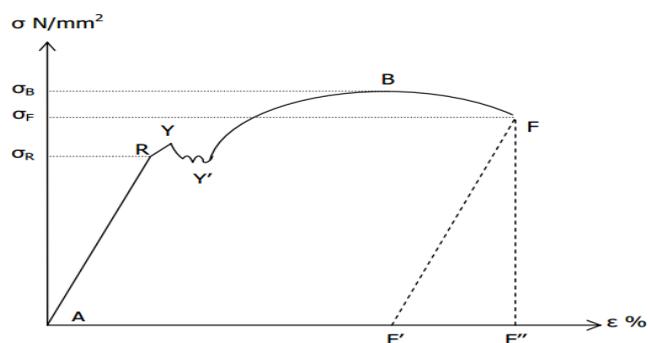
ε : Regangan (%)

L_0 : Panjang awal (mm)

L : Panjang akhir (mm)

Jadi, perpanjangan per unit panjang disebut regangan normal, dinyatakan tidak berdimensi, artinya regangan tidak mempunyai satuan. Regangan ε

disebut regangan normal karena regangan ini berkaitan dengan tegangan normal. Jika batang mengalami tarik, maka regangannya disebut regangan tarik, yang menunjukkan perpanjangan bahan. Demikian juga halnya jika batang mengalami tekan, maka regangannya disebut regangan tekan, dan batang tersebut memendek. Regangan tarik biasanya bertanda positif dan regangan tekan bertanda negatif.



Gambar 2.3 Kurva umum tegangan - regangan hasil uji tarik

(sumber : www.commonswikimedia.org)

Kurva tegangan regangan hasil pengujian tarik umumnya tampak seperti pada gambar 2.3. Dari gambar tersebut dapat dilihat :

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

$$\sigma = E \times \varepsilon \dots \dots \dots (3)$$

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

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

Dimana :

E = Modulus Young (N/m^2 atau Pascal)

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

D. Perambatan Retak Bahan

Pembebanan pada suatu konstruksi yang sesungguhnya adalah beban statis atau beban dinamis. Beban statis adalah sistem pembebanan pada suatu komponen dengan beban konstan, sedangkan beban dinamis adalah 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 (Broek, 1986).

Penyebab terjadinya kegagalan fatik adalah adanya retak yang berawal pada daerah yang mempunyai konsentrasi tegangan tinggi. Daerah yang mempunyai konsentrasi tegangan tinggi yakni daerah yang mempunyai lekukan, lubang pada material, permukaan yang kasar, dan rongga baik di dalam 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 yang diberikan maka semakin cepat retak merambat. Akhir dari perambatan retak pada komponen akibat beban dinamis adalah terpisahnya komponen menjadi dua

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 dimana kegagalan patah getas akan terjadi secara tiba-tiba tanpa ada tanda-tanda pada komponen (Broek, 1986). Menurut ASTM E647, fatik adalah suatu proses perubahan struktur permanen yang terjadi secara bertahap dan terjadi pada daerah tertentu pada suatu material, dengan kondisi beban yang menghasilkan tegangan-regangan fluktuasi pada satu atau beberapa titik, yang akhirnya memuncak menjadi retak atau patah total setelah jumlah siklus tertentu. Rambat retak fatik dapat didekati dengan persamaan Paris law sebagai berikut :

$$\frac{da}{dN} = C \Delta K^m \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

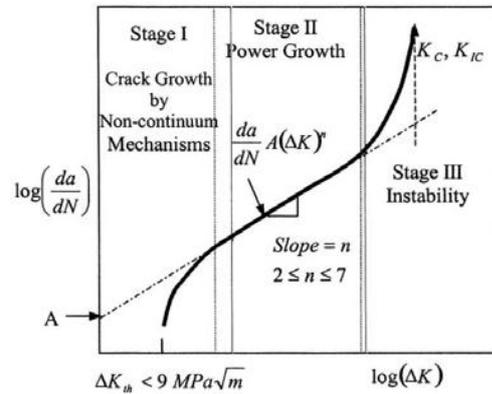
da/dN = perambatan retak

ΔK = selisih faktor intensitas tegangan

C = konstanta material

m = konstanta material

Perilaku perambatan retak pada material dapat juga disajikan dengan grafik hubungan antar laju perambatan retak dan selisih faktor intensitas tegangan. Grafik tersebut dibuat dalam skala logaritmik seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.4.



Gambar 2.4 Hubungan intensitas tegangan dengan laju pertumbuhan retak (Perez, 2004)

Middle tension specimen (MTS), persamaan (5) dapat dihitung dengan menggunakan metode scant (ASTM E 647, 2003) sebagai berikut :

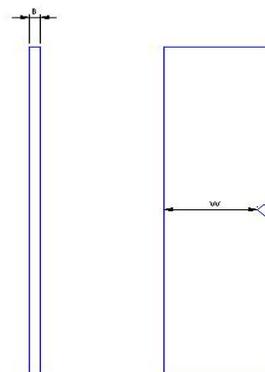
$$\Delta K = \frac{\Delta P}{B} \sqrt{\frac{\pi \alpha}{2W}} \sec \frac{\pi \alpha_{aw}}{2} \dots\dots\dots(6)$$

$$\bar{a} = \frac{1}{2} (a(i+1) + a(i)) \dots\dots\dots(7)$$

$$\alpha_{aw} = \frac{2a}{W} \text{ untuk } \frac{2a}{W} < 0,95 \dots\dots\dots(8)$$

$$\Delta P = P_{\max} - P_{\min}, \text{ untuk } R > 0 \dots\dots\dots(9)$$

$$\Delta P = P_{\max} \text{ untuk } R \leq 0 \dots\dots\dots(10)$$



Gambar 2.5 Spesimen Uji Fatik

Dimana :

ΔK = Faktor intensitas tegangan ($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)

$\alpha = 2a / W$

a = Panjang retak (meter)

W = Lebar pelat (meter)

B = Tebal pelat (meter)

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

P_{\max} = Beban maksimum (Newton)

P_{\min} = Beban minimum (Newton)

E. Faktor Bentuk Retak

Harga faktor intensitas tegangan K akan berubah jika dimensi bendanya berubah persamaan faktor intensitas tegangan secara umum dapat dituliskan:

$$K_1 = Y \cdot \sigma \sqrt{\pi \cdot \alpha} \dots\dots\dots(11)$$

Dimana Y adalah faktor geometri yang biasanya tergantung dari dimensi benda, geometri retak terjadi dibawah ini:

a. Retak ditengah pelat

Retak ditengah pelat merupakan geometri benda yang berada ditengah-tengah pelat, dapat dicari dengan rumus dibawah ini :

1. Untuk pelat tak berhingga dengan $Y = 1$ atau $K = \sigma \sqrt{\pi \cdot \alpha} \dots\dots\dots(12)$

2. Untuk pelat berhingga dengan lebar W , maka

$$Y = \left(\sec \frac{\pi \cdot a}{W} \right)^{1/2} \text{ atau } K = \sigma \sqrt{\pi \cdot a} \left(\sec \frac{\pi \cdot a}{W} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(13)$$

b. Retak pada kedua sisi pelat

Rerak pada kedua sisi pelat merupakan geometri benda yang berada pada kedua sisi pelat pelat, dapat dicari dengan rumus dibawah ini :

1. Untuk pelat tak berhingga $Y = 1.12$

2. Untuk pelat dengan lebar W , maka $Y = 1.12 \left(\frac{W}{2a} \tan \frac{\pi a}{W} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(14)$

F. Kelelahan Material

Fatik atau kelelahan adalah bentuk dari kegagalan yang terjadi pada struktur karena beban dinamik yang berfluktuasi dibawah *yield strength* yang terjadi dalam waktu yang lama dan berulang-ulang. Fatik menduduki 90% penyebab utama kegagalan pemakaian. Terdapat 3 fase dalam perpatahan fatik : permulaan retak, penyebaran retak dan patah.

1. Mekanisme dari permulaan retak umumnya dimulai dari *crack initiation* yang terjadi di permukaan material yang lemah atau daerah dimana terjadi konsentrasi tegangan di permukaan (seperti goresan, notch, lubang-pits dll) akibat adanya pembebanan berulang.
2. Penyebaran retak ini berkembang menjadi *microcracks*. Perambatan atau perpaduan *microcracks* ini kemudian membentuk *macrocracks* yang akan berujung pada *failure*. Maka setelah itu, material akan mengalami apa yang dinamakan perpatahan.
3. Perpatahan terjadi ketika material telah mengalami siklus tegangan dan regangan yang menghasilkan kerusakan yang permanen.

Suatu bagian dari benda dapat dikenakan berbagai macam kondisi pembebanan termasuk tegangan berfluktuasi, regangan berfluktuasi, temperatur berfluktuasi (fatik termal), atau dalam kondisi lingkungan korosif atau temperatur tinggi. Kebanyakan kegagalan pemakaian terjadi sebagai akibat dari tegangan-tegangan tarik.

Awal proses terjadinya kelelahan (fatik) adalah jika suatu benda menerima beban yang berulang maka akan terjadi slip. Ketika slip terjadi dan benda berada di permukaan bebas maka sebagai salah satu langkah yang disebabkan oleh perpindahan logam sepanjang bidang slip. Ketika tegangan berbalik, slip yang terjadi dapat menjadi negatif (berlawanan) dari slip awal, secara sempurna dapat mengesampingkan setiap efek deformasi. Deformasi ini ditekan oleh pembebanan yang berulang, sampai suatu retak yang dapat terlihat akhirnya muncul retak mula-mula terbentuk sepanjang bidang slip. Fatik menyerupai *brittle fracture* yaitu ditandai dengan deformasi plastis yang sangat sedikit.

Proses terjadinya fatik ditandai dengan *crack* awal, *crack propagatin* dan *fracture* akhir. Permukaan *fracture* biasanya tegak lurus terhadap beban yang diberikan. Dua sifat makro dari kegagalan fatigue adalah tidak adanya deformasi plastis yang besar dan *fracture* yang menunjukkan tanda-tanda berupa '*beachmark*' atau '*camshell*'. Tanda-tanda makro dari *fatigue* adalah tanda garis garis pada permukaan yang hanya bisa dilihat oleh mikroskop elektron.

Karakteristik kelelahan logam dibagi menjadi dua yaitu :

1. Karakteristik makro

Karakteristik makro merupakan ciri-ciri kelelahan yang dapat diamati secara visual (dengan mata telanjang dan kaca pembesar).

2. Karakteristik mikro

Karakteristik mikro merupakan ciri-ciri kelelahan yang hanya dapat diamati dengan menggunakan mikroskop.

(<http://ftkceria.wordpress.com/2012/04/21/fatigue-kelelahan/>)

G. Faktor yang mempengaruhi kekuatan lelah material

Beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan lelah suatu material adalah sebagai berikut :

1. Tegangan Siklik. Besarnya tegangan siklik tergantung pada kompleksitas geometri dan pembebanan.
2. Geometri. Konsentrasi stress akibat variasi bentuk geometri merupakan titik dimulainya fatik *cracks*.
3. Kualitas permukaan. Kekasaran permukaan dapat menyebabkan konsentrasi *stress microscopic* yang menurunkan ketahanan *fatigue*.
4. Tipe material. Fatik *life* setiap material berbeda beda, contohnya komposit dan polymer memiliki fatik *life* yang berbeda dengan metal.

5. Tegangan sisa. Proses manufaktur seperti pengelasan, pemotongan, *casting* dan proses lainnya yang melibatkan panas atau deformasi dapat membentuk tegangan sisa yang dapat menurunkan ketahanan *fatigue* material.
6. Besar dan penyebaran *internal defects*. Cacat yang timbul akibat proses *casting* seperti *gas porosity*, *non-metallic inclusions* dan *shrinkage voids* dapat menurunkan ketahanan *fatigue*.
7. Arah beban. Untuk non-isotropic material, ketahanan *fatik* dipengaruhi oleh arah tegangan utama.
8. Besar butir. Pada umumnya semakin kecil ukuran butir akan memperpanjang *fatik life*.
9. Lingkungan. Kondisi lingkungan yang dapat menyebabkan korosi, korosi dapat mempengaruhi *fatik life*.
10. Temperatur. Temperatur tinggi menurunkan ketahanan *fatik* material.

(<http://andysembiring.blogspot.com/2011/05/faktor-faktor-yang-mempengaruhi-fatigue.html>)

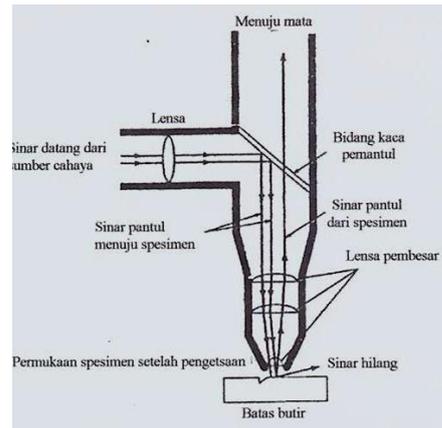
H. Struktur Mikro

Struktur mikro adalah struktur terkecil yang terdapat dalam suatu bahan yang keberadaannya tidak dapat di lihat secara visual, tetapi harus menggunakan alat pengamat struktur mikro diantaranya; mikroskop cahaya, *mikroskop electron*, *mikroskop field ion*, *mikroskop field emission* dan mikroskop sinar-X. Adapun manfaat dari pengamatan struktur mikro ini adalah:

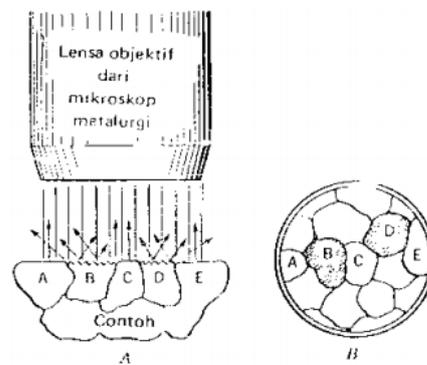
1. Mempelajari hubungan antara sifat-sifat bahan dengan struktur dan cacat pada bahan.
2. Memperkirakan sifat bahan jika hubungan tersebut sudah diketahui.

Persiapan yang harus dilakukan sebelum mengamati struktur mikro adalah pemotongan spesimen, pengampelasan dan pemolesan dilanjutkan pengetsaan. Setelah dipilih bahan uji dan diratakan kedua permukaannya, setelah memastikan rata betul kemudian dilanjutkan dengan proses pengampelasan dengan nomor kekasaran yang berurutan dari yang paling kasar (nomor kecil) sampai yang halus (nomor besar). Arah pengampelasan tiap tahap harus diubah, pengampelasan yang lama dan penuh kecermatan akan menghasilkan permukaan yang halus dan rata. Pemolesan dilakukan dengan autosol yaitu metal polish, bertujuan agar didapat permukaan yang rata dan halus tanpa goresan sehingga terlihat mengkilap seperti kaca.

Langkah terakhir sebelum melihat struktur mikro adalah dengan mencelupkan spesimen dalam larutan etsa dengan posisi permukaan yang di etsa menghadap keatas. Selama pencelupan akan terjadi reaksi terhadap permukaan spesimen sehingga larutan yang menyentuh spesimen harus segar/baru, oleh karena itu perlu digerak-gerakkan. Kemudian spesimen dicuci, dikeringkan dan dilihat atau difoto dengan mikroskop logam. Pemeriksaan struktur mikro memberikan informasi tentang bentuk struktur, ukuran dan banyaknya bagian struktur yang berbeda.



Gambar 2.6 Skema perjalanan sinar pada mikroskop optik (Vlack, 1992)



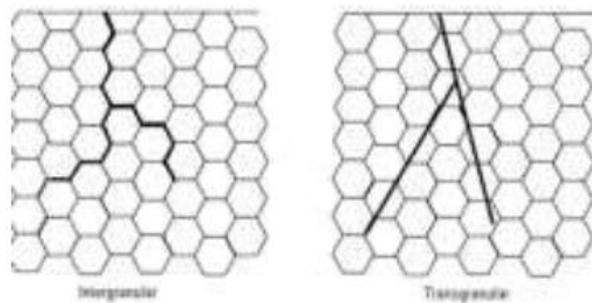
Gambar 2.7 Pemeriksaan benda uji dengan mikroskop metalurgi

Gambar 2.7 A. contoh yang dietsa sedang diperiksa dengan mikroskop. B. penampilan contoh melalui mikroskop. Pengamatan struktur mikro pada baja karbon rendah yang dilakukan dua titik, yaitu pada arah permukaan dan ketebalan. Adapun penjelasan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Posisi pengujian struktur mikro

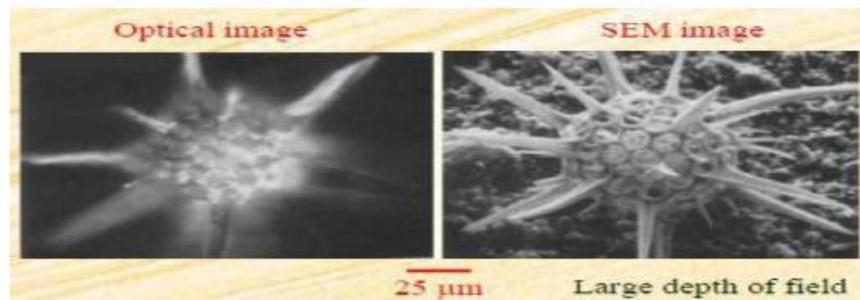
Alur perambatan merupakan karakteristik dari beberapa logam atau paduan. Untuk logam, alur perpatahannya merupakan *intergranular* yaitu retak di sepanjang butir antara kristal material dan sebagian lainnya merupakan *transgranular* yaitu memotong bidang kristal.



Gambar 2.9 Ilustrasi bentuk retakan *intergranular* dan *transgranular*
(octane.nmt.edu, 2009)

I. *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.



Gambar 2.10 Perbandingan hasil mikroskopi cahaya dengan SEM
(Sumber : https://materialcerdas.com/teori_scanning_electron_microskop/)

Adapun keunggulan SEM adalah sebagai berikut:

a. Daya pisah tinggi

Dapat Ditinjau dari jalannya berkas media, SEM dapat digolongkan dengan optik metalurgi yang menggunakan prinsip refleksi, yang diarti sebagai permukaan spesimen yang memantulkan berkas media.

b. Menampilkan data permukaan spesimen

Teknik SEM pada hakekatnya merupakan pemeriksaan dan analisis permukaan. Data atau tampilan yang diperoleh adalah data dari permukaan atau lapisan yang tebalnya sekitar 20 mikro meter dari permukaan.

c. Kemudahan penyiapan sampel

Spesimen untuk SEM dapat berupa material yang cukup tebal, oleh karena itu penyiapannya sangat mudah. Untuk pemeriksaan permukaan patahan (fraktografi), permukaan diusahakan tetap seperti apa adanya, namun bersih dari kotoran, misalnya debu dan minyak. Permukaan spesimen harus bersifat konduktif. Oleh karena itu permukaan spesimen harus bersih dari kotoran dan tidak terkontaminasi oleh keringat.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu

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

B. Alat dan Bahan

Adapun material yang digunakan dari penelitian ini adalah :

1. Baja AISI 1020

Material yang digunakan yaitu baja AISI 1020 berbentuk pelat dengan kadar karbon kurang dari 0,3 %.

Adapun alat yang digunakan dari penelitian ini adalah :

1. Mesin MTS Landmark 100 kN

Mesin MTS Landmark 100 kN digunakan untuk pengujian tarik dan fatik.

2. Mikroskop Optik

Mikroskop optik digunakan untuk melihat panjang retak dan batas butir struktur mikro baja sebelum dan sesudah *prestrain* dan uji fatik.

3. *Scanning Elektron Microscop* (SEM)

Scanning Elektron Microscop (SEM) adalah mengamati permukaan patahan baja selama pengujian perambatan retak dengan perbesaran 500 X. Tempat pengujian SEM ini dilakukan di LIPI Pusat Penelitian Fisika, Puspittek Serpong.

4. Mikroskop *digital portable*

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

C. Dimensi Spesimen Uji

1. Dimensi Spesimen Awal

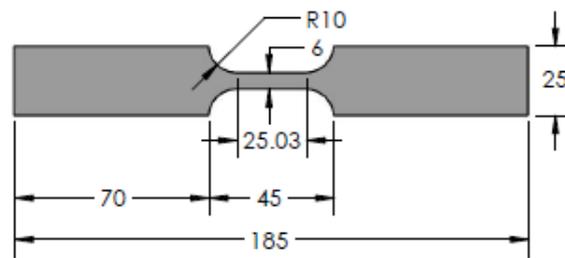
Material yang digunakan adalah baja karbon rendah, berbentuk plat dengan ketebalan 4 mm dengan panjang dan lebar dimensi awal adalah 240 mm x 50 mm.



Gambar 3.1 Dimensi Spesimen Awal

1. Dimensi Spesimen Uji Tarik

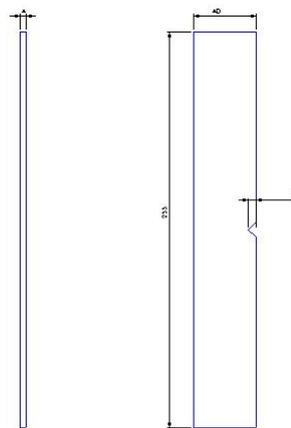
Bentuk dan ukuran benda uji tarik berdasarkan standar ASTM E-8 [ASTM E8, 2001].



Gambar 3.2 Dimensi Spesimen Uji Tarik

2. Dimensi Uji Fatik

Bentuk dan ukuran benda uji fatik berdasarkan standar ASTM E-647 [ASTM E647, 2004]. Dengan ukuran panjang spesimen 255 mm, lebar 40 mm, panjang retak awal ($a_0 = 5$ mm), dan tebal 4 mm.



Gambar 3.3 Dimensi Spesimen Uji Fatik

D. Pelaksanaan Penelitian

1. Persiapan Spesimen

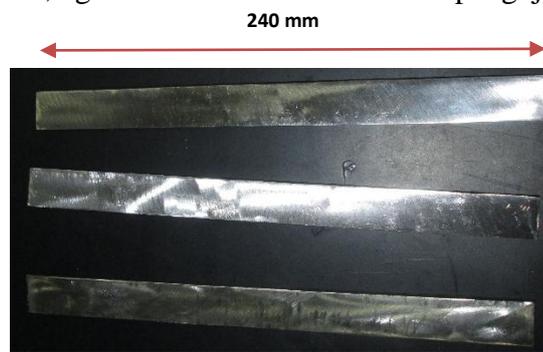
Material yang digunakan yaitu baja AISI 1020, dengan kadar karbon kurang dari 0,3 %.

2. Pembuatan Spesimen

Material yang digunakan adalah baja AISI 1020 berbentuk plat dengan ketebalan 4 mm dengan panjang dan lebar dimensi awal adalah 240 mm x 50 mm.

a. Untuk uji tarik

Spesimen dengan dimensi awal kemudian dipotong menjadi dua bagian sama besar, agar memudahkan melakukan pengujian *prestrain*.



Gambar 3.4 Spesimen awal *prestrain*



Gambar 3.5 Spesimen hasil *prestrain*

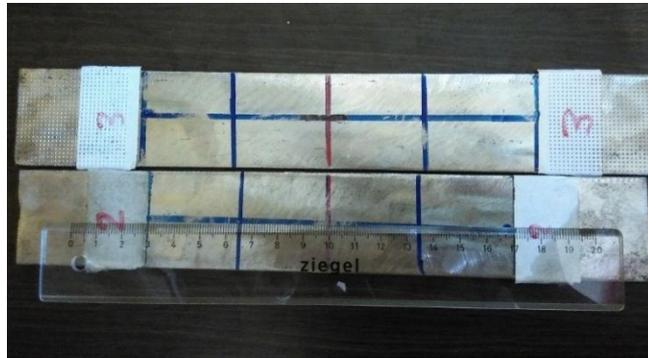


Gambar 3.6 Spesimen uji tarik

Gambar 3.4 pesimen dengan ketebalan 4 mm dengan panjang dan lebar dimensi adalah 240 mm x 25 mm kemudian diuji *prestrain*. Spesimen tersebut diuji *prestrain* dengan memberikan regangan awal sebesar 30%. Pada gambar 3.5 spesimen dengan ketebalan 4 mm dengan panjang dan lebar dimensi adalah 255 mm x 25 mm adalah hasil dari pengujian *prestrain* yang mengalami pertambahan panjang sebesar 15 mm. Kemudian spesimen di bentuk uji tarik yang sesuai standar ASTM E-8 seperti pada gambar 3.6.

b. Untuk uji fatik

Spesimen dengan dimensi awal kemudian dipotong lebarnya sebesar 10 mm, jadi ukuran spesimennya adalah dengan ketebalan 4 mm dengan panjang dan lebar dimensi adalah 240 mm x 40 mm. Spesimen tersebut di uji *prestrain* dengan memberikan regangan awal sebesar 30%.

Gambar 3.7 Spesimen *prestrain*Gambar 3.8 Spesimen hasil *prestrain*

Gambar 3.9 Spesimen uji fatik

Pada spesimen yang telah di uji *prestrain* mengalami pertambahan panjang dari dimensi awal sebelum pengujian *prestrain*. Gambar 3.7 Spesimen dengan ketebalan 4 mm dengan panjang dan lebar dimensi adalah 255 mm x 40 mm adalah hasil dari pengujian *prestrain* yang mengalami pertambahan panjang (Gambar 3.8). Kemudian spesimen di

bentuk uji fatik yang sesuai standar ASTM E-647 seperti pada gambar

3.9.

3. Proses *Prestrain*

Proses *prestrain* diperoleh dari uji tarik untuk mengetahui tegangan luluh (*yield strength*). Kemudian material ini diberikan regangan awal sebesar 30%.

Adapun prosedur pengujian yang dilakukan yaitu :

1. Menyiapkan spesimen uji *prestrain*.
2. Membuka program Controller 793B setelah itu klik *manual command*, pilih *displacement mode*, lalu naikkan *actuator* ke posisi nol (*zero*).
3. Memasang spesimen pada *crosshead grip* atas kemudian spesimen diceka
4. Menurunkan *crosshead* sampai ujung bawah spesimen masuk kedalam grip bawah dengan kedalaman 3 cm.
5. Memilih *manual command* dan klik *control mood* ke *force*.
6. Memilih *auto offset* untuk *force*. Setelah itu *grip* bagian bawah dicekam sehingga spesimen bawah ujung spesiman bagian bawah tidak berubah.
7. Memasang *extensometer* ke spesimen dengan posisi *zero pin*, dan klik *manual offset* untuk *extensometer*. Lalu melepaskan *zero pin* dari *extensometer*.
8. Membuka Software MTS Test Suite (MPE), pilih *template* untuk *prestrain*.
9. Memasukkan data panjang plat, lebar plat dan tebal plat.

10. Memasukkan *initial speed* dan *secondary speed* (mm/s).
11. Memasukkan nilai regangan 4,7 mm/mm. Lalu memasukkan nilai regangan yang sudah dihitung dari uji tarik yakni 1,41 mm/mm.
12. Menginput semua data lalu klik RUN.
13. Mengamati tegangan regangan pada layar, jika sudah 30% maka mesin akan otomatis stop. Spesimen setelah diuji *prestrain* ditunjukkan pada gambar 3.5 dan gambar 3.8.

4. Pengujian

Pengujian spesimen baja karbon rendah meliputi :

a. Pengujian Tarik Statis

Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Material Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Sebelum melakukan pengujian material terlebih dahulu dibentuk spesimen uji tarik yang sesuai standar ASTM E-8 (gambar 3.7).

Adapun prosedur pengujian tarik yang dilakukan yaitu :

1. Menyiapkan spesimen uji tarik yang sesuai standar ASTM E-8.
2. Membuka program Controller 793B setelah itu klik *manual command*, pilih *displacement mode*, lalu naikkan *actuator* ke posisi nol (*zero*).
3. Memasang spesimen pada *crosshead grip* atas kemudian spesimen dicekam.
4. Menurunkan *crosshead* sampai ujung bawah spesimen masuk kedalam grip bawah dengan kedalaman 3 cm.
5. Memilih *manual command* dan klik *control mood* ke *force*.

6. Memilih *auto offset* untuk *force*. Setelah itu *grip* bagian bawah dicekam sehingga ujung spesimen bagian bawah tidak berubah.
7. Memasang *extensometer* ke spesimen dengan posisi *zero pin*, dan klik *manual offset* untuk *extensometer*. Lalu lepaskan *zero pin* dari *extensometer*.
8. Membuka Software MTS Test Suite (MPE), pilih *template* untuk uji tarik statis.
9. Memasukkan data panjang plat, lebar pelat dan tebal plat.
10. Memasukan *initial speed* dan *secondary speed* (mm/s).
11. Menginput semua data lalu klik RUN.
12. Mengulangi langkah 1-11 untuk pengujian berikutnya.
13. Mesin akan stop secara otomatis.

Dari uji tarik yang dilakukan didapatkan data-data sebagai berikut :

Tabel 3.1 Data Uji Tarik

<i>Name</i>	<i>Units</i>
<i>Tensile Strength</i>	MPa
<i>Yield Strength</i>	MPa
<i>Elasticity Modulus</i>	GPa
<i>Elongation</i>	%

b. Pengujian Fatik

Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Lampung. Tujuan dilakukan pengujian ini adalah mengetahui perambatan retak dari baja karbon rendah.

Adapun prosedur pengujian yang dilakukan yaitu :

1. Menyiapkan spesimen uji fatik yang sesuai standar ASTM E-647.

2. Membuka program Controller 793B setelah itu klik *manual command*, pilih *displacement mode*, lalu naikkan *actuator* ke posisi nol (*zero*).
3. Memasang spesimen pada *crosshead grip* atas kemudian spesimen dicekam.
4. Menurunkan *crosshead* diturunkan sampai ujung bawah spesimen masuk kedalam grip bawah dengan kedalaman 3 cm.
5. Memilih *manual command* dan klik *control mood* ke *force*.
6. Memilih *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 P_{maks} dan P_{min} , 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 portable.
9. Memasukan *initial speed* dan *secondary speed* (mm/s).
10. Menginput semua data lalu klik RUN.
11. Mengulangi langkah 1-11 untuk pengujian berikutnya.
12. Mesin akan stop secara otomatis.

Dari uji fatik yang dilakukan didapatkan data-data sebagai berikut :

Tabel 3.2 Data Uji Fatik

No	Siklus	Panjang retak (mm)
1	1000	
2	1200	
3	1400	
	dst	

c. Pengambilan Foto Mikro dengan Mikroskop optik

Pengambilan bentuk retak dengan OM.

d. Pengambilan Permukaan Patahan setelah uji Fatik

Untuk melihat mekanis perambatan retak.

E. Metode Perhitungan Perambatan Retak

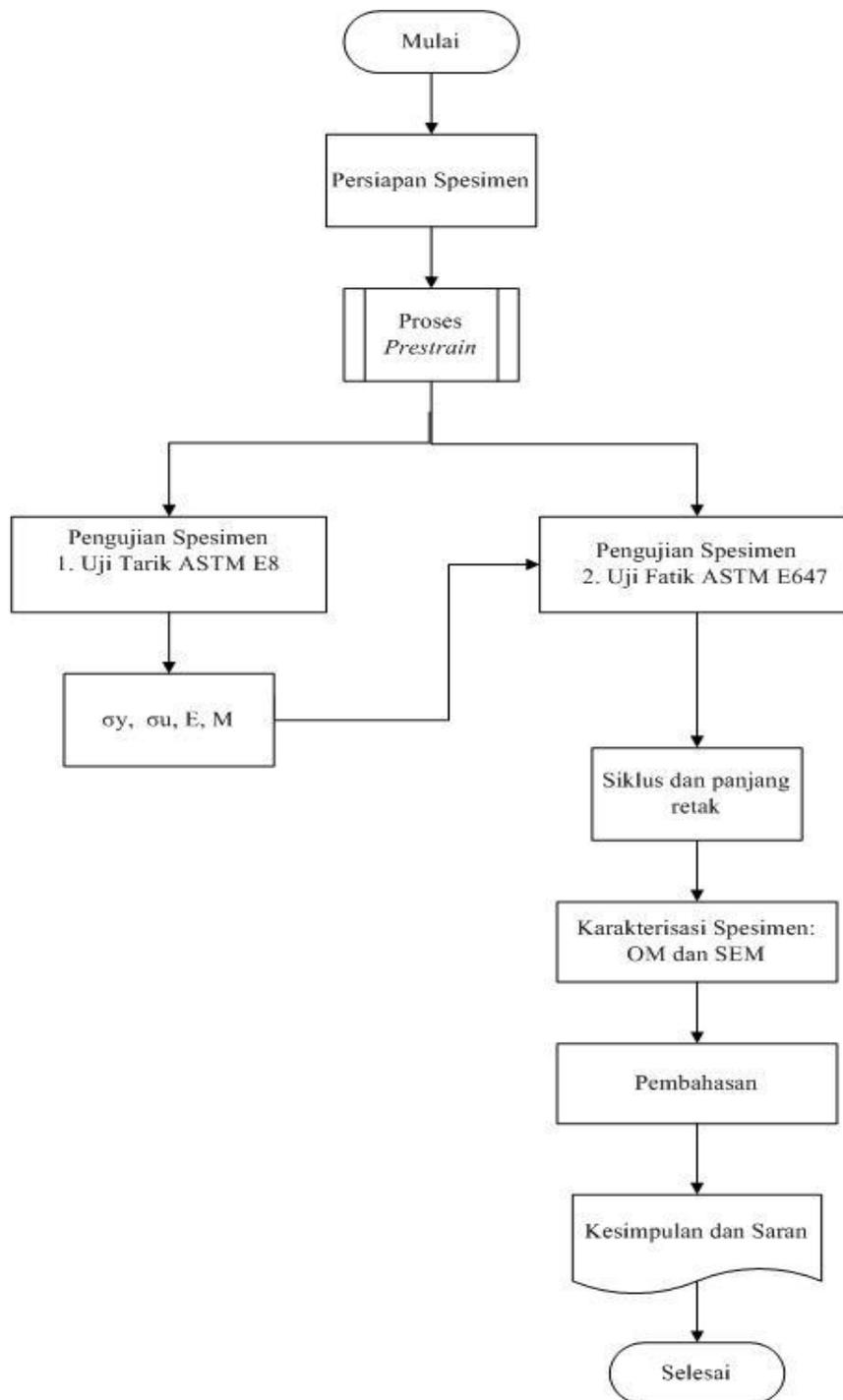
Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Incremental Polynomial Method*. Metode ini digunakan untuk menghitung da/dN dengan pendekatan polinomial. Perhitungan perambatan retak yaitu pada retak sisi tunggal spesimen uji fatik yang berada pada tepi takik. Untuk menghitung intensitas tegangan yang sesuai dengan tingkat pertumbuhan retak sebagai berikut :

Untuk spesimen retak sisi tunggal menghitung ΔK sebagai berikut :

$$\Delta K = \frac{\Delta P}{B\sqrt{W}} \frac{2+\alpha}{(1-\alpha)^{3/2}} (0.866 + 4.64\alpha - 13.32\alpha^2 + 14.72\alpha^3 - 5.6\alpha^4) \dots\dots(15)$$

Dimana $\alpha = ar/W$

G. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.10 Diagram Alir Penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Adapun kesimpulan dari efek *prestrain* pada baja AISI 1020 terhadap perambatan retak fatik adalah sebagai berikut :

1. *Prestrain* meningkatkan sifat mekanik terutama nilai tegangan luluh baja AISI 1020. Namun, kekuatan tarik maksimum, modulus elastisitas dan elongasinya menurun.
2. Umur fatik baja AISI 1020 laju perambatan retak (da/dN) yang tidak di *prestrain* $da/dN = 8,107E \times 10^{-14} \Delta K^{4,69}$. Sedangkan umur fatik baja AISI 1020 laju perambatan retak (da/dN) yang di *prestrain* $da/dN = 4,338E \times 10^{-9} \Delta K^{1,49}$. Semakin besar nilai m maka laju perambatan retak akan meningkat. Berdasarkan nilai laju perambatan retak fatik *prestrain* menurunkan nilai laju perambatan retak faik baja AISI 1020.
3. Struktur mikro dilakukan pada posisi arah permukaan sebelum dan setelah *prestrain* baja mengalami pengerjaan dingin (*cold working*). Baja yang mengalami pengerjaan dingin ini akan mengalami perubahan yaitu *yeild strength* naik dan butir perlit dan ferit menjadi padat. Sedangkan pada posisi

arah ketebalan sebelum dan setelah *prestrain* terdapat garis warna putih memanjang akibat proses pengerolan saat proses *manufacturing* pelat baja.

4. SEM fraktografi patahan permukaan baja setelah di uji fatik pada awal retak menghasilkan bentuk patahan berupa cekungan-cekungan kecil (*dimple*) pada siklus 25.000 dan panjang retak 1,6 mm. Pada permukaan perambatan retak sekitar 12 mm dan siklus 42.000 permukaan patahan adalah intergranular. Pola patahan perambatan retak yang cepat terjadi pada siklus 43.500 dengan panjang retak 18,1 mm, setelah itu spesimen mengalami patah statis pada siklus 43.549.

B. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Agar dilakukan penelitian selanjutnya dengan kondisi *prestrain* yang lebih besar untuk mengetahui sampai dimana konsentrasi bahan mengalami deformasi plastis.
2. Untuk partikel inklusi yang terbentuk perlu dilakukan EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*).

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. 2004. "*Metal Test Methods and Analytical Procedures, Annual Book of STM Standard*", Sec. 3, Vol. 03.01, E647-00, pp.615-657, Bar Harbor Drive, West Conshohocken.
- ASTM E8-9A. 2001. "*Standard Test Method for Tension Testing of Metallic Materials*". USA.
- Broek, D. 1986. "*Elementary Engineering Fracture Mechanics*". Kluwer Academic.
- Callister, Jr, William D. 2007. "*Materials Science and Engineering An Introduction Seven Edition*". John Wiley and Sons, Inc, United States of America.
- Chin, S. C, Ho, K. M, Myung, C. Dong, H. S. 2002. "*Fatigue Crack Growth Behavior in Ultrafine Grained Low Carbon Steel*". International Journal, Vol. 16 No, 10, pp. 1246-1252
- Dieter, G, E. 1986. "*Metalurgi Mekanik*" edisi ke-3, alih bahasa Sriati Djaprie, Erlangga. Jakarta.
- Hiraoka, K. Hai, Q. Manabu, E. Teruo, K. 2005. "*Effect of prestrain on fracture toughness of ductile structural steels under static and dynamic loading*". Engineering Fracture Mechanics 72, (2005), 1624–1633.

- Juriah, M. Ismanto, Eko, P, K. 2013. “*Pengaruh Normalising pasca coldworking pada baja karbon*”. Jurnal Teknik Vol. 3, No. 2.
- Muslim, M. Yosferi, S. 2014. “*Peningkatan kualitas permukaan pada stainless steel 316 dengan metode cold working*”. Jurnal Teknologi. Volume 7 Nomor 2, Desember 2014, 141 -145.
- Michael, V. 2015. “*Effect of cyclic plastic strain on fatigue crack growth*”. International Journal of Fatigue.
- Perez, N. 2004. “*Fracture Mechanics*”. Departement of Mechanical Engineering University of Puerto Rico. New York. Kluwer academic Publisher.
- Reza, M, N. Mahmoud, S. Khalil, F. 2015. “*Effect of wear on rolling contact fatigue crack growth in rails*”. Tribology International 94, 118–125.
- Sakata, K. 2003. “*High Formable Sheet Steels for Automobile through Advanced Microstructure Control Technology*”, Kawasaki Steel Technical Report No. 48.
- Smallman, R, E. 1991. “*Metalurgi Fisik Modern*”. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Suratman, R. 1994. “*Paduan Proses Perlakuan Panas*”. Lembaga Penelitian Institut Teknologi Bandung.
- Suherman, W, Ir. 2000. “*Ilmu Logam I*”. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.

Surdia, T, Ir. 1999. “*Pengetahuan Bahan Teknik*”. PT. Pradnya Paramita.

Sonawan, H. Rachim, S. 2003. “*Pengelasan Logam. Bandung*” [ALFABETA].

<http://andysembiring.blogspot.com/2011/05/faktor-faktor-yang-mempengaruhi-fatigue.html>. diakses pada 14 September 2015.

<http://ftkceria.wordpress.com/2012/04/21/fatigue-kelelahan/>. Diakses pada 14 September 2015.

<https://materialcerdas.com/teori-scanning-electron-microskop/>. Diakses pada 2 Januari 2016.

<https://www.kurva-tegangan-regangan/>. Diakses pada 23 November 2015.

<https://www.struktur-mikro-cementit/>. Diakses pada 2 Januari 2016.

<https://www.struktur-mikro-ferrit/>. Diakses pada 2 Januari 2016.