

**EFEK *PRESTRAIN* PADA *STAINLEES STEEL 304*  
TERHADAP PERAMBATAN RETAK FATIK**

(Skripsi)

Oleh:

**I KOMANG SUARIANDI**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2018**

## ABSTRAK

### EFEK *PRESTRAIN* PADA *STAINLEES STEEL 304* TERHADAP PERAMBATAN RETAK FATIK

Oleh:

I KOMANG SUARIANDI

Perambatan retak fatik *Stainlees Steel 304* yang diberi *prestrain* sebesar 1%, 3% dan 5% menggunakan mesin MTS Landmark 100 kN pada temperatur ruang. Hasil pengujian tarik menunjukkan efek *prestrain* meningkatkan kekuatan mekaniknya seperti tegangan luluh dan tegangan maksimumnya, namun keuletan baja menurun. Laju perambatan retak fatik ( $da/dN$ ) *Stainlees Steel 304* yang tidak diprestrain  $da/dN=6,17 \times 10^{-9} K^{1,323}$ , *prestrain* 1%  $da/dN = 6,28 \times 10^{-9} K^{1,253}$ , *prestrain* 3%  $da/dN=8,18 \times 10^{-9} K^{1,181}$  dan *prestrain* 5%  $da/dN=22,52 \times 10^{-9} K^{0,825}$ . Berdasarkan nilai laju perambatan retak fatik, *prestrain* menurunkan laju perambatan retak fatik *Stainlees Steel 304*. *Prestrain* yang diberikan pada *Stainlees Steel 304* merubah orientasi dan ukuran butirnya. *Prestrain* menyebabkan ukuran butir mengecil, spesimen tanpa *prestrain* memiliki ukuran diameter butir rata-rata  $d_b=0,0997$  mm, *prestrain* 1%  $d_{1\%}=0,0651$  mm, *prestrain* 3%  $d_{3\%}=0,0539$  mm dan *prestrain* 5%  $d_{5\%}=0,0509$  mm. Ukuran butir mengecil seiring dengan besarnya *prestrain* yang berkontribusi menurunkan laju perambatan retak fatiknya.

Kata Kunci : *stainlees steel 304*, *prestrain*, retak fatik, ukuran butir.

## ABSTRACT

### THE EFFECT OF PRESTRAIN OF STAINLEES STEEL 304 ON FATIGUE CRACK GROWTH

By:

I KOMANG SUARIANDI

Fatigue crack propagation Stainless Steel 304 is given prestrained 1%, 3% and 5% used the Landmark MTS 100 kN at room temperature. The tensile test results show the prestrain effect increases the mechanical strength such as yield strength and ultimate tensile strength, but the steel toughness was decreases. Fatigue crack propagation rate ( $da / dN$ ) Stainlees Steel 304 which is not prestrained  $da/dN=6,17 \times 10^{-9} K^{1,323}$ , prestrain 1%  $da/dN = 6,28 \times 10^{-9} K^{1,253}$ , prestrain 3%  $da/dN=8,18 \times 10^{-9} K^{1,181}$  and prestrain 5%  $da/dN=22,52 \times 10^{-9} K^{0,825}$ . Based on the rate of fatigue crack propagation, prestrain decreases the rate of fatigue crack propagation of Stainlees Steel 304. The prestrain given to Stainless Steel 304 for changed the orientation and size of the grains. Prestrain causes the grain size to decline, specimen without prestrain has average diameter size  $d_{bs}=0,0997$  mm, prestrain 1%  $d_{1\%}=0,0651$  mm, prestrain 3%  $d_{3\%}=0,0539$  mm dan prestrain 5%  $d_{5\%}=0,0509$  mm. The size of the grains has declined with the amount of prestrain given which contributed to the decreasing rate of fatigue crack growth.

Keywords: stainlees steel 304, prestrain, fatigue crack growth, grain size.

**EFEK *PRESTRAIN* PADA *STAINLEES STEEL 304*  
TERHADAP PERAMBATAN RETAK FATIK**

Oleh

**I KOMANG SUARIANDI**

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar  
**SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2018**

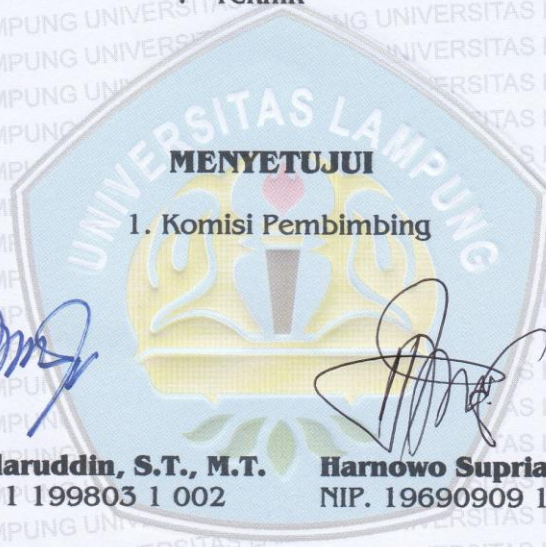
**Judul Skripsi** : **EFEK PRESTRAIN PADA STAINLEES  
STEEL 304 TERHADAP PERAMBATAN  
RETAK FATIK**

**Nama Mahasiswa** : **Q Komang Suariandi**

**Nomor Pokok Mahasiswa** : **1215021039**

**Program Studi** : **Teknik Mesin**

**Fakultas** : **Teknik**



**1. Komisi Pembimbing**

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

**Harnowo Supriadi, S.T., M.T.**  
**NIP. 19690909 199703 1 002**

**2. Ketua Jurusan Teknik Mesin**

**Ahmad Suudi, S.T., M.T.**  
**NIP. 19740816 200012 1 001**



**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

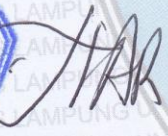
**Ketua : Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T.** 

**Anggota : Harnowo Supriadi, S.T., M.T.** 

**Penguji  
Bukan Pembimbing : Zulhanif, S.T., M.T.** 

**2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung**



  
**Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.**  
NIP. 19620717 198703 1 002

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 29 Maret 2018**

## PERNYATAAN PENULIS

SAYA YANG BERTANDA TANGAN DI BAWAH INI:

NAMA : I KOMANG SUARIANDI

NPM : 1215021039

MENYATAKAN BAHWA SESUNGGUHNYA KARYA TULIS YANG BERJUDUL “EFEK *PRESTRAIN* PADA *STAINLEES STEEL* 304 TERHADAP PERAMBATAN RETAK FATIK” ADALAH BENAR-BENAR HASIL KARYA SENDIRI SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PERATURAN AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSA NO.3187/H26/PP/2010.

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



I KOMANG SUARIANDI  
NPM.1215021039

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Nambah Dadi 13 Juni 1993, sebagai anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak I Wayang Sudarta dan Ibu Suwarni, penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 01 Wirata Agung Kecamatan Seputih Mataram Lampung Tengah pada tahun 2005, pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 01 Seputih Mataram Lampung Tengah pada tahun 2008, pendidikan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK Pangudiluhur Kecamatan Seputih Mataram Lampung Tengah pada Tahun 2011, dan pada tahun 2012 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung melalui Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis juga aktif dalam organisasi internal kampus, yaitu sebagai pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Anggota Divisi Kerohanian pada tahun 2013-2014, menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Anggota Divisi Otomotif pada tahun 2014-2015 dan menjadi pengurus UKMF BKT (Bidang Karya Tulis) Cremona Fakultas Teknik sebagai Anggota Divisi Kesekretarian pada tahun 2014-2015.



Penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PT. Isuzu Astra Motor Indonesia (IAMI), yang berlokasi di kawasan industri Surya Cipta, Karawang, Jawa Barat pada tahun 2015. Pada tahun 2017 penulis melakukan penelitian pada bidang konsentrasi Material dengan judul tugas akhir “*Efek Prestrain pada Material Stainless Steel 304 Terhadap Perambatan Retak Fatik*” dibawah bimbingan Bapak Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T. dan Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T.

## **MOTTO**

**“Hidup itu seperti sepeda.**

**Agar tetap seimbang maka harus terus bergerak”**

**”Mulailah dari tempatmu berada.**

**Gunakan yang kau punya dan lakukan yang kau bisa”**

## **PERSEMBAHAN**

*Dengan Kerendahan Hati Kupersembahkan karya Kecilku ini untuk orang-orang  
yang aku sayangi*

### ***Ibu dan Bapak***

*Kedua orang tua, Bapak I Wayan Sudarta dan Ibu Suwarni atas segala  
pengorbanan yang tak terbalaskan, doa, kesabaran, keikhlasan, cinta dan kasih  
sayangnya yang tidak ada putusnya.*

### ***Kakak dan Adikku***

*Kepada kakakku Ni Kadek Sriyani, dan adikku Ketut Putri Sari Dewi sebagai  
sumber inspirasi, semangat, keceriaan dan kebanggan dalam hidupku*

### ***Dosen Teknik Mesin***

*Yang selalu membimbing, mengajarkan, memberikan saran baik secara akademis  
maupun non akademis*

### ***Tim Lab. Material Teknik***

*Yang selalu membantu, memberikan semangat, teman belajar menuju  
keberhasilan*

### ***Sahabat Mesin '12***

*Yang selalu memberi semangat dan berdiri tegap disampingku saat suka maupun  
duka, berbagi nasihat dan keceriaan*

## SANWACANA

Puji syukur kehadiran Tuhan yang Maha Esa (Sang Hyang Widhi Wasa) berkat rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir sebagai salah satu syarat dalam meraih gelar sarjana teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung dengan tugas akhir berjudul “*Efek Prestrain pada Material Stainless Steel 304 Terhadap Perambatan Retak Fatik*”.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bimbingan, motivasi dan bantuan baik moral maupun materi oleh banyak pihak. Untuk itu dengan sepuh ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibuku tercinta Suwarni, bapakku I Wayan Sudarta, kakak perempuan saya Ni Kadek Sriyani serta adik saya Ketut Putri Sari Dewi yang tak pernah henti-hentinya memberikan dukungan moril dan materilnya serta doa dan kasih sayang akan harapan kesuksesan penulis dapat menyelesaikan studi S1.
2. Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M. P, selaku Rektor Universitas Lampung.
3. Prof. Suharno MS, M.Sc., PhD. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
4. Bapak Ahmad Suudi, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.



6. Bapak Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T selaku dosen pembimbing utama tugas akhir ini, yang banyak memberikan waktu, ide pemikiran dan semangat serta motivasi bagi penulis.
7. Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T. selaku pembimbing kedua tugas akhir ini, yang telah banyak memberikan waktu dan pemikiran bagi penulis.
8. Bapak Zulhanif, S.T., M.T. selaku dosen pembahas yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang bermanfaat bagi penulis.
9. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung berkat ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama penulis menjalani masa studi di perkuliahan.
10. Staf Akademik serta Asisten Laboratorium yang telah banyak membantu kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Rekan-rekan yang turut menyemangati dan membantu dalam pelaksanaan tugas akhir. Farid Nanda Syanur, selaku rekan satu tim Tugas Akhir yang telah banyak memberikan bantuan kepada penulis. Kiki Eko Suwanto, Muhamad Rifai, Muchdy Kurniawan, Abdul Aziz, Dedi Tiyadi, Nur Wakhid, Muhammad Iqbal, Ahmad Alvian, Zaenal Arifin, Saiful Zuhri dan Hidayattus Solikhin terimakasih atas waktu dan tenaga yang diberikan untuk pelaksanaan tugas akhir.
12. Rekan-rekan tim lab material yang turut membantu dalam proses penelitian. Purnadi Sri Kuncoro, Aldi Rizaldi, Bima Regikusuma dan Cristian.
13. Seluruh rekan-rekan teknik mesin khususnya rekan seperjuangan angkatan 2012 untuk kebersamaan yang telah dijalani. Tiada kata yang dapat penulis

utarakan untuk mengungkapkan perasaan senang dan bangga menjadi bagian dari angkatan 2012. “Salam Solidarity Forever”.

14. Orang yang selalu menyemangati dan mendoakan penulis Made Melsa Helma Hera.
15. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung,      April 2018  
Penulis,

I Komang Suariandi  
NPM. 1215021039

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACK</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>PERNYATAAN PENULIS</b> .....	<b>vi</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>vii</b>
<b>HALAMAN MOTO</b> .....	<b>ix</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>x</b>
<b>SANWACANA</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan .....	4
C. Batasan Masalah .....	4
D. Sistematika Penulisan .....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Baja Tahan Karat ( <i>Stainless Steel</i> ) .....	7

B. <i>Stainless Steel</i> 304 .....	10
C. <i>Prestrain</i> .....	10
D. Sifat Mekanik Baja .....	11
E. Fatik .....	15
F. Perambatan Retak Fatik .....	16
G. Mekanisme Kegagalan Fatik .....	22
H. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kekuatan Lelah .....	23
I. Struktur Mikro .....	24

### III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat Penelitian .....	27
B. Alat dan Bahan.....	27
C. Dimensi Spesimen Uji .....	29
D. Prosedur Penelitian .....	30
E. Diagram Alir Penelitian .....	36

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Tarik .....	37
B. Hasil Pengujian Perambatan Retak Fatik.....	40
C. Pengamatan Mikrostruktur.....	46

### V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan .....	52
B. Saran .....	53

### DAFTAR PUSTAKA

### LAMPIRAN



## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4.1 Data hasil pengujian tarik SS304 .....	38
4.2 Nilai konstanta bahan C dan m tanpa prestrain dan prestrain .....	45
4.3 Data perhitungan OM SS304 dengan menggunakan metode planimetri .....	47

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Diagram uji tarik .....	12
2.2 Siklus fatik .....	16
2.3 Skema kurva perambatan retak .....	17
2.4 Tahapan perambatan retak .....	18
2.5 Spesimen uji fatik .....	20
3.1 Mesin MTS Landmark 100 Kn .....	28
3.2 <i>Mikroskop Digital Portable</i> .....	28
3.3 Dimensi spesimen uji tarik.....	29
3.4 Dimensi spesimen uji fatik.....	30
3.5 Diagram alir penelitian .....	36
4.1 Kurva perbandingan tegangan dan regangan pada spesimen tanpa <i>prestrain</i> , <i>prestrain</i> 1%, 3% dan 5% .....	38
4.2 Kurva hubungan antara jumlah siklus terhadap panjang retak sebelum <i>prestrain</i> dan sesudah <i>prestrain</i> .....	41
4.3 Grafik hubungan antara selisih faktor intensitas tegangan terhadap perambatan retak ( $da/dN$ ) tanpa <i>prestrain</i> dan dengan <i>prestrain</i> .....	43
4.4 Perhitungan diameter butir SS304 pembesaran 100x $\mu m$ <i>Base metal</i> (b) <i>Prestrain</i> 1% (c) <i>Prestrain</i> 3% dan (d) <i>Prestrain</i> 5% .....	47
4.5 Hasil Uji SEM SS304 BS pembesaran 50 $\mu$ . .....	49
4.6 Hasil uji SEM SS304 <i>prestrain</i> 3% pembesaran 5 $\mu m$ .....	50

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Baja merupakan paduan yang sebagian besar terdiri dari unsur besi dan karbon. Baja sendiri memiliki beberapa jenis yang berbeda salah satunya adalah baja tahan karat atau yang sering disebut *stainless steel*. *Stainless steel* sendiri merupakan suatu baja paduan yang mengandung 11.5% krom berdasarkan beratnya. Salah satu keunggulan *stainlees steel* yang paling penting adalah memiliki sifat yang tidak mudah korosi dibandingkan dengan jenis baja lainnya. Seperti halnya baja, *stainlees steel* juga memiliki beberapa tipe yang ditunjukkan oleh sebuah kode, salah satunya adalah tipe *stainless steel* 304 yang akan digunakan pada penelitian ini.

*Stainless steel* 304 ini merupakan tipe *austenitic* yang memiliki komposisi krom yang tinggi sekitar 16–26% dan mengandung paling sedikit 8% nikel, dimana campuran dari kedua unsur tersebut dapat menghasilkan lapisan *austeniti* pada temperatur kamar. *Stainless steel* 304 merupakan jenis baja tahan karat yang serbaguna dan paling banyak digunakan. Komposisi kimia, kemampuan las, kekuatan mekanik dan ketahanan korosinya sangat baik serta dengan harga yang relatif terjangkau. Jenis ini

sangat banyak digunakan dalam dunia industri maupun skala kecil seperti digunakan untuk material kontainer untuk berbagai macam cairan dan padatan, peralatan pertambangan maupun transportasi (Sumarji, 2011).

Seperti halnya material lain, *stainless steel* juga rentan terhadap kerusakan. Kerusakan pada struktur material merupakan perhatian penting bagi beberapa pihak seperti bagian produksi, pemeliharaan, perancangan sampai inspektor untuk menjamin keamanan operasi. Ada beberapa jenis kerusakan yang dapat terjadi pada material *stainless steel*, kegagalan lelah (*fatigue*) hanyalah salah satu dari bentuk kerusakan tersebut. Dimana kegagalan lelah ini merupakan jenis kerusakan atau kegagalan yang disebabkan oleh beban yang berulang-ulang. Kerusakan *fatigue* sangat berpengaruh terhadap kekuatan suatu struktur material, dimana jika kerusakan fatik semakin panjang maka kekuatan struktur akan berkurang sampai struktur tidak dapat lagi digunakan pada beban yang ditentukan (Padmadinata, 1994).

Salah satu kerusakan yang sering terjadi pada material adalah kegagalan yang disebabkan oleh kelelahan pada material (*fatigue*). Kerusakan ini umumnya terjadi setelah pemakaian dalam periode yang cukup lama. *Fatigue* sendiri didefinisikan sebagai proses perubahan suatu struktur permanen *progressive localized* pada kondisi yang menghasilkan fluktuasi regangan dan tegangan dibawah kekuatan tariknya pada satu titik atau banyak titik yang dapat memuncak menjadi retak atau patahan secara keseluruhan setelah fluktuasi tertentu. Ketahanan *fatigue* pada suatu



material tergantung dari perlakuan permukaan, kondisi permukaan maupun temperatur operasi (Teguh, 2013).

Salah satu hal yang dapat mempengaruhi umur fatik adalah proses *prestrain*. *Prestrain* sendiri merupakan deformasi plastik awal yang terjadi pada logam liat karena proses manufaktur yang dilakukan. Dimana pada penelitian oleh Utami (2016), *prestrain* yang diberikan pada baja AISI 1020 menyebabkan penundaan perambatan retak pada daerah batas butirnya dimana pada daerah dengan densitas dislokasi yang tinggi perambatan retak tertunda untuk waktu tertentu. *Prestrain* yang diberikan dapat merubah sifat mekanik, dimana regangan awal yang diberikan kepada material akan mengakibatkan gerak dislokasi yang saling merintanginya antar dislokasi yang menyebabkan efek pengerasan regangan sehingga sifat mekaniknya meningkat.

Pengerasan regangan sangat mempengaruhi terhadap pengecilan butir, dimana pengecilan ukuran butir menyebabkan meningkatnya kerapatan butir di daerah yang terkena peregangan. Penelitian pengaruh deformasi plastik yang terjadi pada jenis baja karbon rendah dengan ukuran butir yang sangat halus terhadap perambatan retak akibat kegagalan lelah (*fatigue*), menunjukkan bahwa semakin halus ukuran butir material maka semakin menurunkan perambatan retaknya serta menghasilkan butiran patahan permukaan yang halus (Chung, 2002).

Berdasarkan pada latar belakang di atas, maka *prestrain* yang diberikan pada material logam dapat menimbulkan struktur butir yang lebih halus

sehingga menyebabkan peningkatan umur fatik logam. Oleh karena itu penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai “**EFEK PRESTRAIN PADA MATERIAL STAINLESS STEEL 304 TERHADAP PERAMBATAN RETAK FATIK**”. Analisa struktur mikro dan observasi penampang patahan *stainless steel* yang telah dilakukan pengujian fatik akan dievaluasi untuk mengetahui peningkatan umur fatik pada material.

## **B. Tujuan**

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai:

1. Mengetahui peningkatan sifat mekanik yang terjadi pada *stainless steel* 304 yang diberikan *prestrain*.
2. Mengetahui efek dari *prestrain* pada *stainless steel* 304 terhadap laju perambatan retaknya
3. Mengetahui struktur mikro yang terdapat pada material *stainless steel* 304 setelah mengalami regangan.

## **C. Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah *stainless steel* 304 hasil pengerolan dingin.

2. Proses *prestrain* dilakukan pada temperatur ruang.
3. Proses *prestrain* diberikan searah dengan proses pengerolan.
4. Takikan (*notch*) pada spesimen dibuat tegak lurus dengan arah pengerolan.
5. Spesimen saat pengujian dianggap sempurna, sehingga tidak membahas cacat dari hasil pengujian.

#### **D. Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika penulisan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

##### **I. PENDAHULUAN**

Pada bab ini berisikan tentang latar belakang masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan Laporan Penelitian Tugas Akhir ini.

##### **II. TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisikan tentang landasan teori-teori yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian sebagai penunjang untuk mengolah dan menganalisa data-data yang diperoleh secara langsung maupun tidak langsung.

##### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini berisikan atas hal-hal yang berhubungan dengan pelaksanaan penelitian, yaitu tempat penelitian, bahan penelitian,

peralatan yang digunakan dalam penelitian, prosedur pengujian dan diagram alir pelaksanaan penelitian.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan hasil penelitian dan pembahasan dari data-data yang diperoleh pada saat pengujian.

#### V. SIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisikan hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran-saran yang ingin disampaikan dari penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

Memuat referensi yang dipergunakan penulis untuk menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.

#### LAMPIRAN

Memuat pelengkap laporan penelitian.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*)**

Baja *stainless* adalah suatu baja paduan yang mengandung minimal 10,5% Cr. Sedikit baja *stainless* mengandung lebih dari 30% Cr atau kurang dari 50% Fe. Karakteristik khusus baja *stainless* adalah pembentukan lapisan film kromium oksida ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). Lapisan ini berkarakter kuat tidak mudah pecah serta tidak terlihat secara kasat mata. Lapisan kromium oksida dapat membentuk kembali jika lapisannya rusak yang disebabkan hadirnya oksigen.

Penambahan unsur-unsur tertentu ke dalam baja *stainless* dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Penambahan *Molibdenum* (Mo) yang bertujuan untuk memperbaiki ketahanan korosi *pitting* dan korosi celah.
2. Unsur karbon rendah dan penambahan unsur penstabil karbida bertujuan menekan korosi batas butir pada material yang mengalami proses sensitasi.

3. Penambahan Kromium (Cr) bertujuan untuk meningkatkan ketahanan korosi dengan membentuk lapisan oksida ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) dan ketahanan terhadap oksidasi temperatur tinggi.
4. Penambahan nikel (Ni) yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan korosi dalam media pengkorosi netral atau lemah. Nikel juga meningkatkan keuletan bentuk logam dan meningkatkan ketahanan korosi tegangan.
5. Unsur aluminium (Al) bertujuan untuk meningkatkan pembentukan lapisan oksida pada temperatur tinggi.

Ada berbagai klasifikasi *stainless steel* yang sering digunakan dalam dunia industri. Ketika nikel ditambahkan sebagai campuran maka *stainless steel* akan berkurang kegetasannya pada suhu rendah, apabila menginginkan sifat mekanik yang lebih kuat dan keras maka dibutuhkan penambahan karbon. Berikut adalah beberapa klasifikasi *stainless steel* (Amanto, 2003):

1. Baja Tahan Karat *Ferrit*

*Stainless steel* jenis ini relatif mengandung sedikit karbon yang berkisar 0,04% dan sebagian besar dilarutkan kedalam besi sehingga terjadinya kerapuhan dapat disebabkan karena kandungan nilai kekerasannya yang kurang. Selain itu, unsur yang terkandung dalam baja jenis ini adalah kromium sebesar 13% - 20% dimana tambahan kromium tergantung pada tingkat ketahanan karat yang dibutuhkan. Baja ini seringkali disebut besi tahan karat yang cocok untuk proses

tarik, tekan dan puntir. Baja jenis ini yang mengandung 13% kromium umumnya digunakan untuk garbu dan sendok sedangkan baja yang mengandung 20% kromium digunakan untuk tabung sinar katoda.

## 2. Baja Tahan Karat *Martensit*

Baja jenis ini mengandung cukup besar unsur karbon dan dapat dikeraskan dengan menggunakan perlakuan panas dimana dapat mempengaruhi sifat-sifatnya melalui pengerasan dan penyepuhan. Baja jenis ini mengandung 0,1% C, 13% Cr dan 0,5% Mn dimana baja ini dapat didinginkan untuk memperbaiki kekuatannya tetapi tidak menambah kekerasannya. Baja jenis ini sering digunakan untuk peralatan gas turbin dan pekerjaan dekoratif.

## 3. Baja Tahan Karat *Austenit*

Baja jenis ini mengandung nikel dan kromium yang tinggi dimana nikel akan membuat temperatur transformasi materialnya rendah sedangkan kromium membuat kecepatan pendinginan kritis material rendah. Campuran dari kedua unsur tersebut dapat menghasilkan struktur lapisan *austenite* pada temperatur kamar. Baja jenis ini yang mengandung 0,15% C, 18% Cr, 8,5% Ni dan 0,8% Mn umumnya digunakan sebagai alat-alat rumah tangga dan dekoratif. Baja yang mengandung 0,5% C, 18,5% Cr, 10% Ni dan 0,8% Mn baik untuk dikerjakan dengan cara penarikan dalam karena kandungan karbonnya rendah. Dimana jenis *stainless steel* 304 termasuk kedalam jenis baja tahan karat *austenite*.

## B. *Stainless Steel 304*

*Stainless steel 304* termasuk kedalam kategori baja *austenitic stainless steel* yang mengandung 18% krom dan 8% nikel dengan kadar karbon paling tinggi sebesar 0,08%. Elemen nikel yang terkandung dalam baja jenis ini mempunyai struktur *austenitic* sehingga akan membuat baja ini mengalami peningkatan dalam keuletan serta mengurangi laju korosi. Sedangkan keberadaan elemen karbon dapat meningkatkan kekuatan mekanis. *Stainless steel 304* mengandung karbon yang cukup rendah maksimal sebesar 0,08%, hal ini bertujuan untuk mereduksi ketahanan terhadap korosi batas butir. Komposisi kimia dari SS304 berdasarkan ASTM A240 adalah 0,042% C, 1,19% Mn, 0,034% P, 0,006% S, 0,049% Si, 18,24% Cr, 8,15% Ni dan sisanya Fe (Sunardi, 2013).

## C. *Prestrain*

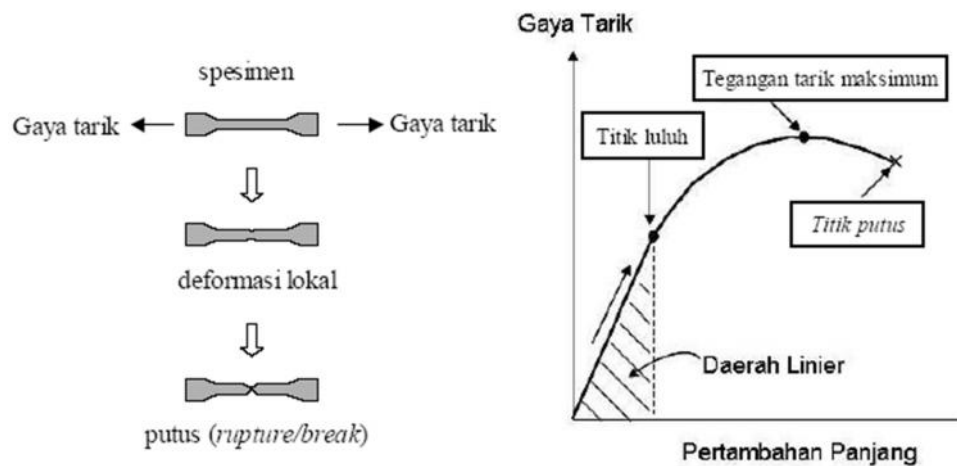
*Prestrain* merupakan suatu proses deformasi dingin yang dapat menimbulkan dislokasi struktur material sehingga mempengaruhi perilaku perpatahan liat material tersebut. Efek dari *prestrain* sendiri dapat meningkatkan tegangan luluh dan tegangan tarik material. Regangan awal yang diberikan terhadap suatu material akan mengakibatkan gerakan dislokasi, dimana gerakan ini dapat mengakibatkan pengerasan regangan pada material tersebut (Smallman, 1991).



Pengerasan regangan sendiri dapat terjadi akibat deformasi plastis yang menyebabkan terjadinya suatu peningkatan kerapatan dislokasi. Dislokasi yang semakin rapat mengakibatkan dislokasi tersebut semakin sulit bergerak sehingga dapat menyebabkan material akan menjadi semakin kuat atau keras (Affiz. 2012)

#### **D. Sifat Mekanik Baja**

Salah satu sifat mekanik baja adalah kekuatan. Kekuatan adalah ketahanan suatu material untuk menerima pembebanan tarik, tekan, lentur, puntir dan geser. Salah satu proses untuk mengetahui kekuatan suatu material adalah dengan melakukan pengujian tarik, dimana pengujian tarik merupakan proses pemberian gaya atau tegangan tarik kepada suatu material untuk mengetahui kekuatan dari suatu material tersebut. Uji tarik sendiri dilakukan dengan cara penarikan material dengan gaya tarik secara terus menerus dan teratur sampai terjadinya putus dengan tujuan untuk mendapatkan nilai tarik dari material tersebut. Hasil dari pengujian tarik tersebut mencatat fenomena hubungan antara tegangan regangan yang terjadi selama proses pengujian tarik dilakukan (Salindeho, 2013).



Gambar 2.1 Diagram uji tarik (Salindeho, 2013)

Banyak hal yang bisa didapat dari pengujian tarik suatu material. Apabila kita terus menarik suatu bahan dimana dalam hal ini adalah logam sampai putus, maka kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap berupa kurva. Dimana pada kurva 2.1 menunjukkan suatu hubungan antara gaya tarik dengan perubahan panjang. Berdasarkan hasil pengujian tarik yaitu berupa data gaya dan perpanjangan, maka dapat dianalisis untuk menentukan tegangan dan regangan secara teknis.

Besar tegangan rata-rata pada suatu bidang dapat didefinisikan sebagai intensitas gaya yang bekerja pada bidang tersebut. Deformasi suatu bahan dapat ditentukan oleh gaya per satuan luas dan bukan oleh gaya total. Dimana jika sebuah batang tegar dipengaruhi oleh gaya tarik  $F$  ke kanan dan gaya yang sama tetapi berlawanan arah kearah kiri, maka gaya-gaya tersebut akan didistribusikan secara *uniform* ke luas penampang batang. Dimana perbandingan gaya  $F$  terhadap luas penampang  $A$  dinamakan tegangan tarik. Karena perpotongan dapat dilakukan di sembarang titik

sepanjang batang maka seluruh batang dalam keadaan mengalami tegangan (*stress*).

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

$\sigma$  = Tegangan tarik, N/m<sup>2</sup>

$F$  = Gaya, N

$A$  = Luas permukaan, m<sup>2</sup>

Perubahan pada ukuran material yang disebabkan oleh gaya dalam kesetimbangan dibandingkan dengan ukuran semula disebut regangan. Kata regangan berhubungan dengan perubahan relatif dalam dimensi atau bentuk suatu benda yang mendapatkan tekanan. Regangan tekan suatu batang yang ditekan didefinisikan dengan cara yang sama sebagai perbandingan antara berkurangnya panjang batang dengan panjang semula yang nilainya lebih kecil dari 0. Jadi perubahan suatu perbandingan pada panjang batang / 0 dinamakan regangan seperti yang dituliskan persamaan berikut (Souisa, 2011).

$$\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

= Regangan atau bilangan murni

= Panjang batang, m

$l_0$  = Panjang semula, m

= Perubahan panjang, m

Salah satu kegunaan diagram tegangan regangan adalah dapat dipergunakan cukup teliti untuk hampir semua bahan. Untuk jarak tertentu dari titik asal, nilai-nilai eksperimental dari tegangan vs regangan pada dasarnya terletak pada satu garis lurus. Hal ini menunjukkan kepada idealisasi dan penyamarataan yang berlaku untuk semua bahan yang dikenal sebagai hukum *Hooke*. Dalam bentuk lambang, hukum ini dinyatakan oleh persamaan 2.3:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

$E$  = Modulus elastis,  $N/m^2$

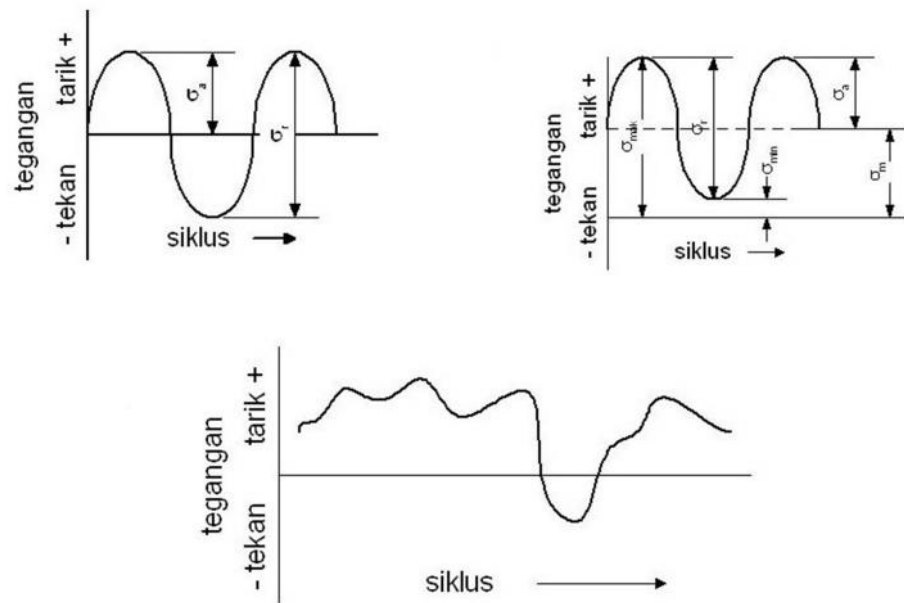
Yang secara mudah bahwa tegangan berbanding lurus dengan regangan, dimana tetapan perbandingan adalah  $E$ . Tetapan ini disebut modulus elastis, modulus elastisitas atau modulus *young* (Astamar, 1983).

## **E. Fatik**

Fatik merupakan patahan yang terjadi akibat pembebanan yang berulang. Penyebab terjadinya fatik sendiri adalah adanya suatu retak yang berawal pada daerah yang terkena konsentrasi tegangan tinggi. Daerah yang dimaksud adalah lekukan, permukaan yang kasar, lubang pada material serta rongga yang terdapat di bagian dalam maupun di luar permukaan material. Jadi terjadinya fatik adalah terjadinya retak yang terus bertambah panjang hingga komponen material tidak lagi memiliki toleransi terhadap tegangan dan regangan yang lebih tinggi sehingga terjadi patah statis secara tiba-tiba.

Dengan menjalarnya retak menjadi suatu permukaan patahan maka luas permukaan yang tidak cacat menjadi berkurang sehingga akhirnya terjadi suatu patahan. Patah fatik tidak terjadi bila suatu tegangan berulang yang menyimpannya tidak melebihi dari nilai tertentu yang dinamakan batas fatik atau batas ketahanan (Wiryosumarto, 2004).

Ada tiga siklus yang dapat menunjukkan suatu tegangan fatik yaitu yang pertama adalah fluktuasi tegangan dimana tegangan ini terjadi mulai dari tegangan rata-rata nol dengan amplitudo yang konstan. Siklus yang kedua adalah fluktuasi tegangan yang dimulai diatas garis rata-rata nol dengan besar amplitudo yang konstan. Sedangkan yang ketiga adalah fluktuasi tegangan yang acak. Ketika siklus tersebut dapat ditunjukkan pada gambar 2.2 ini (Orosa, 2012).



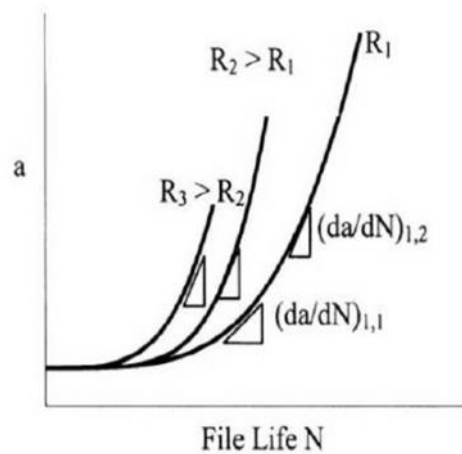
Gambar 2.2 Siklus fatik (Orosa, 2012).

## F. Perambatan Retak Fatik

Proses perpatahan terdiri dari 2 tahapan yaitu timbulnya retakan dan tahap menjalarnya retakan. Tahapan awal mulainya terjadi retak adalah slip pada beberapa bagian butir yang terus menjalar. Tahap ini memerlukan jumlah siklus yang cukup besar dimana perambatan retak pada tahap ini sangat lambat. Pada tahapan penjalaran retak diawali adanya garis-garis halus dari bagian awal yang terjadi slip antar butir.

Patah dapat digolongkan menjadi 2 jenis yakni patah liat dan patah getas. Patah liat ditandai oleh deformasi plastik yang besar selama proses penjalaran retak. Sedangkan patahan getas ditandai oleh adanya kecepatan penjalaran retak yang tinggi tanpa terjadinya deformasi yang kasar dan sangat sedikit terjadinya deformasi mikro (Prasetyo, 2007).

Pertambahan panjang retak dan jumlah siklus dapat dilihat dalam kurva  $a$  dan  $N$  pada gambar 2.3 dimana pada gambar tersebut menunjukkan bahwa secara skematik skema yang dikenai tegangan berbeda pada pengujian fatik  $R_3 > R_2 > R_1$ .

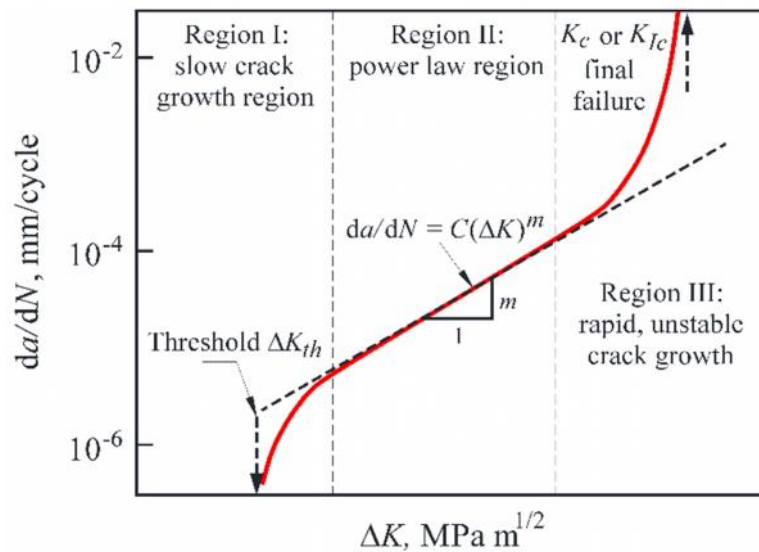


Gambar 2.3 Skema kurva perambatan retak (Adhirohadi, 2010)

Dari gambar 2.3 dapat disimpulkan bahwa suatu material yang dibebani siklik dengan level tegangan yang lebih tinggi akan mengalami kegagalan dengan jumlah siklus yang lebih sedikit dibandingkan dengan material yang diberikan beban dengan tegangan yang lebih kecil (Adhirohadi, 2010).

Perambatan retak terjadi dalam 3 fasa yaitu pertumbuhan retak tanpa pembebanan, pertumbuhan retak stabil dan pertumbuhan retak tidak stabil. Pada awalnya retak dapat terjadi setelah adanya kondisi kritis dimana perambatan retak terjadi dalam waktu yang lama dan dalam kondisi operasi yang normal. Perambatan retak yang disebabkan oleh tegangan

dan regangan di sekitar ujung retak dapat ditunjukkan oleh parameter *stress intensity factor* (K), dimana parameter ini merupakan fungsi dari tegangan, geometri dan dimensi retak. Dimana tahapan retak tersebut dapat ditunjukkan oleh gambar berikut (Hakim, 2012).



Gambar 2.4 Tahapan perambatan retak (Hakim, 2012)

Mekanisme retak elastis lurus mengasumsikan bahwa semua struktur mengandung kelemahan. Retak tumbuh dari ukuran awal  $a_0$ , untuk ukuran kritis  $a_c$  sesuai dengan kegagalan sebagai fungsi dari jumlah siklus beban. Tingkat pertumbuhan retak  $da/dN$  dapat ditentukan dari kemiringan kurva. Awalnya tingkat pertumbuhan retak lambat tetapi akan meningkat seiring dengan meningkatnya panjang retak. Tingkat pertumbuhan retak juga akan lebih tinggi jika tegangan yang diberikan lebih tinggi.



Dalam mekanika retak dimana pertumbuhan retak fatik, tingkat pertumbuhan retak atau ekstensi retak per siklus pembebanan berkorelasi dengan parameter stress intensitas  $K$ . Pendekatan ini memungkinkan untuk memperkirakan umur perambatan retakan. Idealnya  $da/dN$  dapat dibandingkan dengan kurva  $K_{th}$  yang ditunjukkan pada gambar kurva diatas. Pada regional I,  $K_{th}$  adalah ambang batas pertumbuhan retak fatik, yang berada pada ujung bawah untuk kisaran  $K$  dimana tingkat pertumbuhan retak mendekati nol. Dalam regional II, laju pertumbuhan retak stabil dan pada dasarnya linier dapat dimodelkan oleh persamaan hukum Paris (Hertzberg, 1995).

$$\frac{da}{dN} = C (\Delta K)^m \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

- $da/dN$  = Perambatan retak
- $K$  = Selisih faktor intensitas tegangan
- $C$  = Konstanta material
- $m$  = Nilai ekponensial

Apabila beban yang bekerja merupakan suatu beban yang berulang maka pada bagian ujung retak faktor intensitasnya akan bervariasi antara  $K_{max}$  dan  $K_{min}$  yang merupakan bagian batas bawah dan bagian batas atas intensitas tegangan pada ujung retakan. Karena  $K = K_{mak} - K_{min}$  dan  $R = S_{min}/S_{mak}$  maka dapat dikatakan laju perambatan retaknya merupakan fungsi dari  $K$  dan  $R$ . Dimana jarak faktor intensitas tegangan dapat

diperoleh dari ASTM E 647 dengan persamaan sebagai berikut (ASTM E 647, 2001):

$$\Delta K = \frac{\Delta P}{B} \sqrt{\frac{\pi a}{2W} \sec \frac{\pi a}{2}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

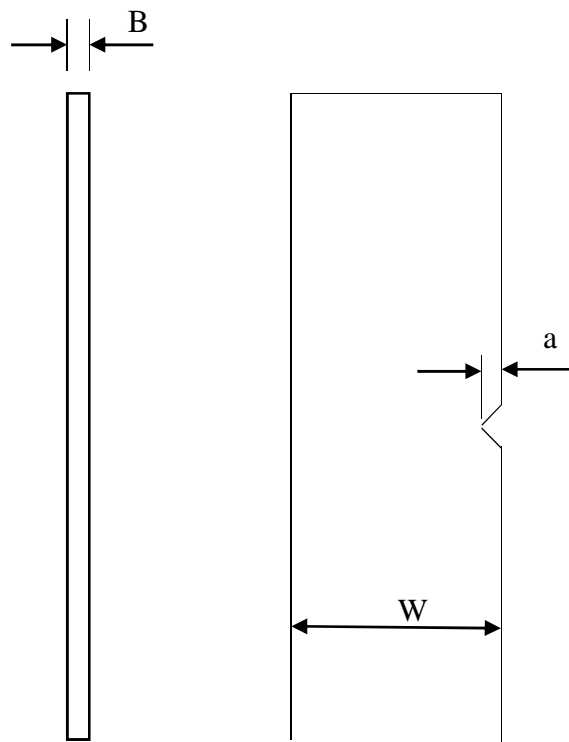
K = Faktor intensitas tegangan

P =  $P_{\text{mak}} - P_{\text{min}}$

B = Tebal material

W = Lebar material

=  $2a/W$



Gambar 2.5 Spesimen uji fatik (ASTM E 647, 2001).

Retak fatik hampir selalu dimulai dari permukaan yang bebas, biasanya disebabkan dari permukaan luar namun bisa juga terjadi pada permukaan bagian dalam jika logam mengandung cacat seperti rongga udara dan retak partikel. Cacat permukaan luar umumnya termasuk takik geometris dan kekasaran permukaan. Pertumbuhan retak fatik terjadi pada tahapan berikut ini (Campbell, 2008):

1. Pengintian retak (*crack initiation*)

Pengintian retak biasanya dimulai pada takik atau diskontinuitas permukaan lainnya. Bahkan dengan tidak adanya cacat permukaan, pengintian retak dapat terjadi karena terjadinya pembentukan pita slip yang menetap, disebut demikian karena bekas pita bertahan bahkan ketika ketika kerusakan permukaan diperbaiki. Retak awal merambat secara sejajar dengan jejak slip. Tingkat perambatan retak selama tahapan pertama sangat rendah dan menghasilkan ciri permukaan patahan praktis.

2. Perambatan retak (*crack propagation*)

Pertumbuhan retak terjadi pada tahapan pertama dimana perubahan arah retakan dan merambat dalam arah yang normal terhadap tegangan yang diberikan. Laju perambatan retak dihasilkan dari proses yang berkelanjutan untuk mengasah retakan yang kemudian dilanjutkan dengan penumpulan. Perambatan retak selama pertumbuhan retak sering menghasilkan pola leleh *striation* dengan masing-masing goresan mewakili satu siklus kelelahan. Meskipun *striations* adalah

indikasi untuk kelelahan, kegagalan kelelahan dapat terjadi tanpa pembentukan *striations*. *Striations* adalah rincian mikrostruktur yang terbaik dimana harus diperiksa dengan menggunakan *mikroskop elektron scanning* dan tidak terlihat dengan mata telanjang.

### 3. Patahan statik (*fracture*)

Patahan statik merupakan kegagalan akhir ketika terjadi retakan dimana patahan ini terjadi ketika kelelahan cukup lama, sisa penampang yang dimiliki tidak bisa lagi menopang beban yang diberikan.

## **G. Mekanisme Kegagalan Fatik**

Kegagalan fatik dapat dimulai dari terjadinya deformasi plastik secara lokal. Bila deformasi plastik tersebut terjadi maka slip tersebut dapat terlihat pada permukaan logam sebagai salah satu tangga yang disebabkan oleh adanya pergerakan logam sepanjang area bidang slip. Bila terjadi terus menerus maka lama-kelamaan akan menimbulkan terjadinya suatu retakan.

Retak awalan ini sangat kecil sehingga tidak dapat dilihat oleh mata telanjang. Apabila retak muncul maka pengaruh pemusatan tegangan menjadi bertambah besar dan menimbulkan retakan maju lebih cepat. Jika luas yang menerima tegangan berkurang maka tegangan akan bertambah sampai akhirnya luas area yang tersisa akan gagal menahan tegangan tersebut. Oleh karena itu kegagalan fatik ditandai oleh perkembangan retak

yang ada dan perpatahan secara tiba-tiba dengan daerah seperti perpatahan bahan yang telah rapuh (Hasan, 2006).

## **H. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kekuatan Lelah**

Ada sejumlah faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya kelelahan faktor-faktor tersebut dapat bersumber dari lingkungan, kondisi bahan maupun perlakuan yang telah diberikan kepada material. Berikut adalah faktor yang mempengaruhi kekuatan lelah dari suatu material (Bolton, 1998):

### **1. Konsentrasi Tegangan**

Konsentrasi tegangan disebabkan oleh fasilitas perancangan seperti perubahan mendadak dalam penampang, lubang dan sudut yang tajam. Konsentrasi tegangan juga disebabkan oleh goresan permukaan, lekukan dan korosi yang tersisa pada permukaan dalam bentuk yang kasar. Konsentrasi tegangan sendiri mengurangi umur kelelahan pada komponen.

### **2. Tegangan Sisa**

Tegangan sisa dapat disebabkan pada saat proses pembuatan dan *finishing* material. Jika tekanan yang diberikan maka permukaan akan memiliki tegangan sisa sehingga sifat kelelahan meningkat, tetapi jika tarikan yang diberikan maka tegangan sisa yang dihasilkan akan mengurangi sifat keelannya. Banyak sekali proses permesinan yang

dapat menghasilkan tegangan sisa tarik sehingga mengurangi kekuatan lelah.

### 3. Temperatur

Peningkatan suhu dapat menyebabkan penurunan sifat kelelahan akibat oksidasi atau korosi dari peningkatan permukaan logam. Salah satu contohnya adalah paduan kromium nikel nimonic 90 mengalami degradasi permukaan pada suhu sekitar 700 sampai 800°C dan mengakibatkan adanya pengurangan kelelahan pada suhu ini.

### 4. Komposisi Kimia

Struktur mikro pada paduan adalah suatu faktor dalam yang dapat menentukan sifat kelelahan suatu material. Hal ini dikarenakan sumber kegagalan kelelahan sangat terlokalisasi yang melibatkan slip pada bidang Kristal. Oleh karena itu komposisi paduan dan ukuran butir yang terkandung dalam material dapat mempengaruhi sifat kelelahan material tersebut. Contohnya kandungan timah dalam baja yang dapat bertindak sebagai inti kegagalan lelah dan merusak sifat kelelahannya.

## I. Struktur Mikro

Struktur mikro adalah struktur terkecil yang terdapat didalam suatu bahan yang keberadaannya tidak dapat dilihat secara visual melainkan struktur yang hanya dapat diamati melalui mikroskop, baik itu mikroskop optik maupun mikroskop elektron. Hal-hal penting yang dapat diperoleh dari

struktur mikro adalah indentifikasi fasa-fasa yang ada, presentase fasa, distribusi fasa, inklusi maupun ukuran butir (Susita, 1996).

Salah satu cara untuk menganalisa struktur mikro adalah dengan pengamatan metalografi. Pengamatan metalografi adalah pengamatan logam dengan cara melihat struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik. Dalam pelaksanaan analisa metalografi dibedakan menjadi dua yaitu analisa makroskopi dan analisa mikroskopi. Analisa makroskopi dapat dilakukan secara visual atau dengan menggunakan normal mikroskop pada pembesaran maksimum 20:1 sedangkan analisa mikroskopi dilakukan dengan menggunakan normal mikroskop dengan pembesaran lebih dari 20:1.

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 (Surono, 2010).



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **A. Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung, Laboratorium Metalurgi ITB (Institut Teknologi Bandung) dan Pusat Sains & Teknologi Bahan Maju Kawasan PUSPIPTEK *Serpong* Gedung 43, Setu, *Tangerang* Selatan.

#### **B. Alat dan Bahan**

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Stainless Steel* 304

Material yang digunakan adalah *stainless steel* 304 yang berbentuk plat datar dengan ketebalan 3 mm hasil pengerolan dingin.

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

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. Alat ini mampu menerima beban sebesar 100 kN.



Gambar 3.1 Mesin MTS Landmark 100 kN.

## 2. *Mikroskop Digital Portable*

*Mikroskop Digital Portable* ini digunakan untuk mengamati pertumbuhan dan perambatan retak selama pengujian retak fatik.



Gambar 3.2 *Mikroskop Digital Portable*.

### 3. Mikroskop Optik

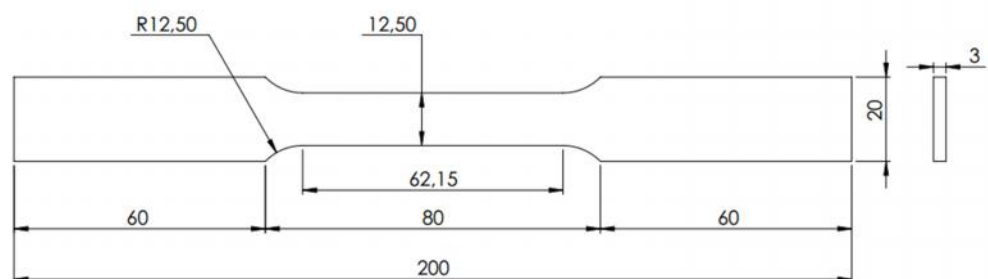
Mikroskop Optik ini digunakan untuk melihat ukuran butir pada material sebelum dan sesudah dilakukannya *prestrain* dan uji fatik.

## C. Dimensi Spesimen Uji

Adapun dimensi spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

### 1. Dimensi Spesimen Uji Tarik

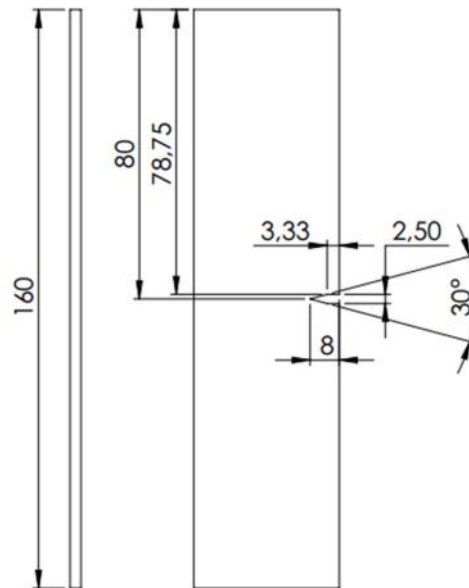
Spesimen untuk uji tarik berdasarkan standar ASTM E 8. Ukuran dan bentuk seperti pada gambar 3.3:



Gambar 3.3 Dimensi spesimen uji tarik.

## 2. Dimensi Spesimen Uji Fatik

Spesimen yang digunakan untuk uji fatik yaitu dengan menggunakan standar ASTM E 647. Ukuran panjang spesimen 160 mm, lebar 40 mm, panjang retak awal ( $a_0 = 8$  mm), tebal adalah 3 mm.



Gambar 3.4 Dimensi spesimen uji fatik.

## D. Prosedur Penelitian

Prosedur pengujian pada penelitian ini dibagi menjadi beberapa proses yaitu sebagai berikut:

### 1. Persiapan Spesimen

Material yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah *stainless steel* 304 dalam bentuk plat datar.

## 2. Pembuatan Spesimen

Material yang digunakan adalah *stainless steel* 304 yang berbentuk plat datar dengan ketebalan 3 mm. Pembuatan material dibagi menjadi 2 bentuk sesuai dengan uji tarik dan uji fatik.

### a. Spesimen uji Tarik

Pada spesimen untuk pengujian tarik, spesimen dengan dimensi awal akan dipotong dengan dimensi panjang dan lebar 240 mm x 22 mm yang kemudian dilakukan pengujian *prestrain*.

### b. Spesimen uji fatik

Pada spesimen untuk pengujian fatik, spesimen dengan dimensi awal akan menjadi panjang dan lebar sebesar 240 mm x 42 mm dan kemudian dilakukan pengujian *prestrain*.

## 3. Proses *prestrain*

Proses *prestrain* didapat dari uji Tarik dimana diberikan regangan awal untuk mengetahui tegangan luluh (*yield strength*). Material ini diberi regangan awal sebesar 1%, 3% dan 5%. Adapun prosedur pengujian proses *prestrain* adalah sebagai berikut:

- a. Menyiapkan spesimen uji *stainless steel* 304 yang telah yang telah dibuat.
- b. Membuka *program Controller 793B*, setelah itu mengklik *manual command* dan memilih *displacement mode*, lalu menaikkan aktuator ke posisi nol (zero).

- c. Memasang spesimen uji pada *crosshead grip* atas kemudian mencekam spesimen uji.
- d. Menurunkan *crosshead* sampai bagian ujung bawah spesimen uji masuk ke dalam grip bawah dengan kedalaman 3 mm.
- e. Memilih *manual command* dan kemudian mengklik *control mood* ke *force*.
- f. Memilih *auto offset* untuk *force*.
- g. Mencekam grip bagian bawah sehingga ujung spesimen uji bagian bawah tidak berubah.
- h. Memasang ekstensometer ke spesimen uji dengan posisi *zero* pin, kemudian mengklik manual offset untuk ekstensometer.
- i. Melepas *zero* pin dari ekstensometer.
- j. Membuka software *MTS Test Suite* (MPE), kemudian memilih template untuk *prestrain*.
- k. Memasukkan data panjang plat, lebar plat dan tebal plat spesimen uji.
- l. Memasukkan *initial speed* dan *secondary speed* (mm/s).
- m. Memasukkan nilai regangan. Kemudian memasukkan nilai regangan yang sudah dihitung dari uji tarik.
- n. Memasukkan semua data kemudian klik RUN.
- o. Mengamati tegangan regangan pada layar. Jika sudah sesuai regangan awal yang diinginkan yaitu 1%, 3% dan 5% maka mesin akan otomatis berhenti.

#### 4. Proses Pengujian

Pada proses pengujian ini terdapat dua jenis pengujian yaitu pengujian tarik statis dan pengujian fatik.

##### a. Pengujian tarik statik

Adapun prosedur pengujian tarik statik yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan spesimen uji *stainless steel* 304 yang telah yang telah dibuat.
2. Membuka *program Controller 793B*, setelah itu mengklik *manual command* dan memilih *displacement mode*, lalu menaikkan aktuator ke posisi nol (*zero*).
3. Memasang spesimen uji pada *crosshead grip* atas kemudian mencekam spesimen uji.
4. Menurunkan *crosshead* sampai bagian ujung bawah spesimen uji masuk ke dalam grip bawah dengan kedalaman 3 mm.
5. Memilih *manual command* dan kemudian mengklik *control mood* ke *force*.
6. Memilih *auto offset* untuk *force*.
7. Mencekam grip bagian bawah sehingga ujung spesimen uji bagian bawah tidak berubah.
8. Memasang ekstensometer ke spesimen uji dengan posisi *zero pin*, kemudian mengklik *manual offset* untuk ekstensometer.
9. Melepas *zero pin* dari ekstensometer.

10. Membuka software *MTS Test Suite* (MPE), kemudian memilih *template* untuk *prestrain*.
11. Memasukkan data panjang plat, lebar plat dan tebal plat spesimen uji.
12. Memasukkan *initial speed* dan *secondary speed* (mm/s).
13. Memasukkan semua data kemudian klik RUN.
14. Mengulangi langkah 1 sampai 13 untuk setiap pengujian spesimen uji.
15. Apabila pengujian tarik selesai maka mesin akan berhenti secara otomatis.

b. Pengujian fatik

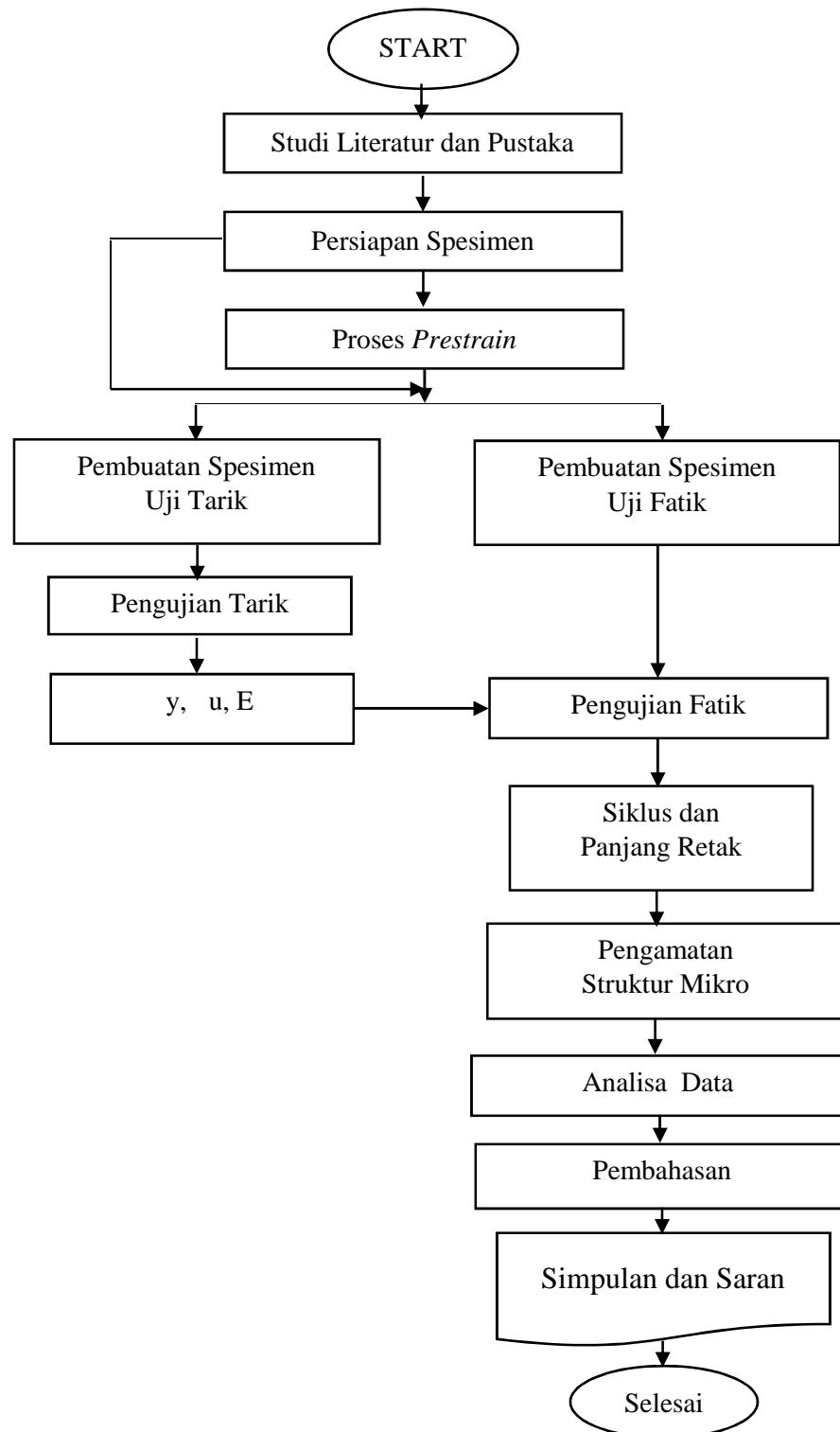
Adapun prosedur pengujian fatik yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan spesimen uji *stainless steel* 304 yang telah dibuat.
2. Membuka *program Controller 793B*, setelah itu mengklik *manual command* dan memilih *displacement mode*, lalu menaikkan aktuator ke posisi nol (zero).
3. Memasang spesimen uji pada *crosshead grip* atas kemudian mencekam spesimen uji.
4. Menurunkan *crosshead* sampai bagian ujung bawah spesimen uji masuk ke dalam grip bawah dengan kedalaman 3 mm.
5. Memilih *manual command* dan kemudian mengklik *control mood* ke *force*.



6. Memilih *auto offset* untuk *force*.
  7. Mencekam grip bagian bawah sehingga ujung spesimen uji bagian bawah tidak berubah.
  8. Membuka software *MTS Test Suite* (MPE), kemudian memilih *template* untuk *prestrain*.
  9. Memasukkan data  $P_{\max}$  dan  $P_{\min}$ , siklus total, *incremental cycles* guna mengatur mesin dapat berhenti secara otomatis pada setiap jumlah siklus tertentu agar perambatan retak dapat diamati dengan menggunakan *mikroskop digital portable*.
  10. Memasukkan *initial speed* dan *secondary speed* (mm/s).
  11. Memasukkan semua data kemudian klik RUN.
  12. Mengulangi langkah 1 sampai 11 untuk setiap pengujian spesimen uji.
  13. Apabila pengujian fatik selesai maka mesin akan berhenti secara otomatis.
- c. Pengambilan foto mikro dengan mikroskop optik dan pengambilan bentuk permukaan dengan menggunakan OM.

### E. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.6 Diagram alir penelitian.

## BAB V

### SIMPULAN DAN SARAN

#### A. Simpulan

Efek *prestrain* pada *stainlees steel* 304 terhadap perambatan retak fatik dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

1. *Prestrain* pada SS304 meningkatkan tegangan maksimum dan kekuatan luluhnya. Semakin besar *prestrain*, semakin besar tegangan maksimum dan kekuatan luluhnya. Nilai *prestrain* sebesar 5% menghasilkan nilai  $\sigma_{max} = 692,014$  MPa dan  $\sigma_y = 516,593$  MPa lebih besar dibandingkan dengan *prestrain* 1-3%.
2. Laju perambatan retak fatik ( $da/dN$ ) SS304 yang tidak diprestrain  $6,17 \times 10^{-9} K^{1,323}$ , SS304 *prestrain* 1%  $6,28 \times 10^{-9} K^{1,253}$ , SS304 *prestrain* 3%  $8,18 \times 10^{-9} K^{1,181}$  dan SS304 *prestrain* 5%  $22,52 \times 10^{-9} K^{0,825}$ . Berdasarkan nilai laju perambatan retak fatik, *prestrain* menurunkan laju perambatan retak fatik SS304.
3. *Prestrain* yang diberikan pada SS304 merubah struktur mikronya. Ukuran butir pada spesimen yang diberikan *prestrain* mengecil, pada spesimen tanpa *prestrain* memiliki ukuran butir  $d=0,0997$  mm, SS304

PS1%  $d=0,0651$  mm, SS303 PS3%  $d=0,0539$  mm dan SS304 PS5%  $d=0,0509$ mm. Dimana semakin kecil ukuran butir maka semakin menurun laju perambatan retak fatiknya.

## **B. Saran**

Adapun saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah penelitian selanjutnya dilakukan nilai *prestrain* yang lebih besar untuk mengetahui batas *prestrain* maksimal dapat diberikan pada SS304.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhirohadi, Rochim. Rochman & Hariyati. 2010. "*Karakterisasi Perilaku Perambatan Retak Fatik dan Korosi Retak Tegang dalam Larutan CaCl<sub>2</sub> 40% dengan Inhibitor Sodium Silikat dan Zeolit pada Sambungan Las GTAW Baja Tahan Karat 304*". Jurusan Teknik Material & Metalurgi Fakultas Teknologi Industri ITS. Surabaya.
- Affiz, Fuad. 2012. "*Pengaruh Pengerolan Pra Pemanasan Dibawah Temperatur Rekristalisasi dan Tingkat Deformasi Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik Serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang Untuk Mata Pisau Pemanen Sawit*". Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatra Utara. Medan.
- Amanto, Hari. 2003. "*Ilmu Bahan*". PT Bumi Aksara. Jakarta.
- Anshari, Hafi. 2010. "*Karakteristik Laju Perambatan Retak Fatik Bahan Komposit Berpenguat Serat Kenaf Dengan Matrik Polyester*". Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Astamar, Zainul. 1983. "*Mekanika Teknik (Mechanics of Materials)*". PT. Glora Aksara Pratama. Jakarta.
- ASTM E-112. 2013. "*Standard Test Methods for Determining Average Grain Size*". USA.

- ASTM E-647. 2001. “*Standard Test Methods for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates*”. USA.
- ASTM E8-A9. 2001. “*Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*”. USA.
- Bolton, W. 1998. “*Engineering Materials Technology*”. Third Edition. Butterworth-Heinemann. London.
- Campbell, Flake C. 2008. “*Elements of Metallurgy and Engineering Alloys*”. ASM International. Ohio.
- Chung, Chin-Sung. Myung-II Choi. 2002. “*Fatigue Crack Growth Behavior in Ultrafine Grained Low Carbon Steel*”. International Jurnal, Vol. 16 No, 10, pp. 1246-1251
- Hakim, Abi., Eko Djatmiko & Murdjito. 2012. “*Analisa Umur Kelelahan Sambungan Kaki Jack-Up dengan Mudmat pada MOPU dengan Pendekatan Fracture Mechanics*”. Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Surabaya.
- Hasan, Indra. 2006. “*Kekuatan Lelah Baja HQ 705 dan Baja Thyrodur 1730 di Lingkungan Kelembaban Tinggi*”. Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatra Utara. Medan.
- Hertzberg, Richard W. 1995. “*Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials*”. Fourth Edition. John Wiley & Sons Inc. USA.
- Orosa, Noel Rolando. 2012. “*Analisa Kegagalan Rear Axle Shaft Truck Kapasitas 7,5 Ton*”. Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin. Depok.

- Padmadinata, Utama H. 1994. "*Kelelahan dan Mekanika Retakan*". Laboratorium Uji Konstruksi Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi PUSPITEK. Banten.
- Prastyo, Hari. 2007. "*Karakteristik Laju Perambatan Retak Fatik dan Retak Korosi Tegangan Sambungan Las Baja Tahan Karat Aisi 304 dan Baja Karbon Rendah SS 400 Yang Di-Flame Heating Dengan Pendinginan Air*". Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Salindeho, Robet Denti. Jan Soukota & Rudy Poeng. 2013. "*Pemodelan Pengujian Tarik Untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material*". Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulang.
- Smallman, R E. 1991. "*Metalurgi Fisik Modern*". PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Souisa, Matheus. 2011. "*Analisis Modulus Elastisitas dan Angka Poisson Bahan dengan Uji Tarik*". Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Pattimura. Ambon.
- Sumarji. 2011. "*Studi Perbandingan Ketahanan Korosi Stainless Steel Tipe Ss 304 dan Ss 201 Menggunakan Metode U-Bend Test Secara Siklik dengan Variasi Suhu dan Ph*". Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Sunardi. 2013. "*Pengaruh Shot Peening dan Elektroplating Ni-Cr Terhadap Kekasaran Permukaan, Kekerasan dan Laju Korosi dalam Media Cairan*".

- PBS pada Stainless Steel 304*". Program Studi S2 Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Surono, Bagus. 2010. "*Perubahan Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Al-Mg-Si Akibat Variasi Temperatur Pemanasan*". Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Sains dan Teknologi Nasional. Jakarta.
- Susita, Lely. 1996. "*Karakterisasi Struktur Mikro Stainless Steel Hasil Implantasi Ion Nitrogen*". PPNY-Batan, Yogyakarta.
- Teguh, Sugiarto. Zulhanif & Sugiyanto. 2013. "*Analisis Uji Ketahanan Lelah Baja Karbon Sedang Aisi 1045 Dengan Heat Treatment (Quenching) Dengan Menggunakan Alat Rotary Bending*". Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- Widyanto, Susilo Adi. "*Pengaruh Peregangan Terhadap Penurunan Laju Perambatan Retak Material Al- 2024 T3*". Semarang: Volume 3, Nomor 1, Januari 2001.
- Wiryo Sumarto, Harsono. Toshi Okumura. 2004. "*Teknologi Pengelasan Logam*". Pradnya Paramita. Jakarta.