

**Evaluasi Sifat Fatik Siklus Rendah (*Low Cycle Fatigue*)  
Baja Anil AISI 4140**

(Skripsi)

Oleh:

**PURNADI SRI KUNCORO**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2018**

## ABSTRAK

### EVALUASI SIFAT FATIK SIKLUS RENDAH (*LOW CYCLE FATIGUE*) BAJA ANIL AISI 4140

Oleh

**PURNADI SRI KUNCORO**

Baja AISI 4140 banyak diaplikasikan pada komponen elemen mesin poros dan roda gigi pada kendaraan. Komposisi kimia elemen-elemen padu yang dominan adalah 0.443C, 1.15Cr, 0.805Mn, 0.320Cu, 0.253Ni, 0.308Si, dan 0.198Mo (wt.%). Selama aplikasi, komponen-komponen mesin mengalami pembebanan siklik pada saat kondisi awal dan akhir operasi kendaraan. Untuk itu, sifat plastis yang besar pada baja diperlukan agar deformasi plastis terjadi pada baja dapat meningkatkan umur fatiknya. Perlakuan anil diberikan pada baja AISI 4140 untuk meningkatkan daktilitas baja agar daerah plastis lebih besar dari daerah elastisnya. Kekuatan tarik, sifat *low cycle fatigue* dan pengamatan mikrostruktur baja dilakukan untuk mengevaluasi perubahan sifat baja setelah dianil. Pengujian tarik dilakukan dengan kontrol displasemen 0.2 mm/min (Standar ASTM E8) dan pengujian *low cycle fatigue* (ASTM E606) dengan variasi amplitudo regangan dari 0.003-0.007 mm/mm dengan laju regangan konstan 0.005/s. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa proses anil baja AISI 4140 menurunkan sifat mekaniknya dengan tegangan ultimate turun sebesar 39.0%, dan tegangan luluh turun sebesar 59.2%. Energy regangan plastis meningkat 98.5% dan elongasi total meningkat 29.34%. Nilai eksponensial pengerasan regangan siklik ( $n'$ ) meningkat 83% dibandingkan nilai koefisien pengerasan regangan monotoniknya ( $n$ ). Peningkatan umur fatik baja AISI 4140 secara langsung dipengaruhi oleh ferrit yang lebih dominan jumlahnya setelah proses anil dilakukan pada baja.

**Kata kunci:** baja AISI 4140, *low cycle fatigue*, proses anil, pengerasan regangan

## **ABSTRACT**

### **EVALUATION OF LOW CYCLE FATIGUE PROPERTIES OF AN ANNEALED AISI 4140 STEEL**

**By**

**PURNADI SRI KUNCORO**

An AISI 4140 steel is widely applied for a machine element components on vehicles. A Chemical compositions of alloy elements are 0.443C, 1.15Cr, 0.805Mn, 0.320Cu, 0.253Ni, 0.308Si, dan 0.198Mo (wt.%). During service, the machine components experienced a cyclic loading at starting and shutting down. Therefore, a plastic property of the steel is needed to extent a fatigue life of machine components. The annealing-heat treatment was performed on the steel for increase of the ductility, and thus the plastic region is a larger size than the elastic region. The mechanical strength and the low cycle fatigue properties of the annealed steel were carried out according to ASTM E8 standard with a displacement control of 0.2 mm/min and ASTM E606 standard with the strain amplitude total in ranging of 0.003-0.007 mm/mm under a constant strain rate of 0.005/s, respectively. The tensile tests result show that the annealing treatment of AISI 4140 decreased of the ultimate strength of about 39.0% and the yield strength of about 59.2%. However, the plastic strain energy was increased to 98.5% and the total elongation increased about 29.34%. The value of exponential strain hardening cyclic ( $n'$ ) increased about 83% with respect to the value of exponential strain hardening monotonic ( $n$ ). An amount of a ferrite phase formed on the steel after annealing treatment contributed an increase in low cycle fatigue life of the annealed steel.

**Keywords:** AISI 4140 steel, low cycle fatigue, annealing treatment, strain hardening

**EVALUASI SIFAT FATIK SIKLUS RENDAH (*LOW CYCLE FATIGUE*)  
BAJA ANIL AISI 4140**

**Oleh**

**PURNADI SRI KUNCORO**

**Skripsi**

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

**Pada**

**Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2018**

Judul Skripsi : **EVALUASI SIFAT FATIK SIKLUS  
RENDAH (LOW CYCLE FATIGUE) BAJA  
ANIL AISI 4140**

Nama Mahasiswa : **Purnadi Sri Kuncoro**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1215021065**

Program Studi : **Teknik Mesin**


Fakultas : **Teknik**

### **MENYETUJUI**

#### **1. Komisi Pembimbing**

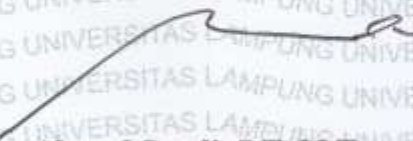


**Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T.**  
NIP. 1972 1211 199803 1 002



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

#### **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 : Ahmad Su'udi, M.T.**

**Penguji  
Bukan Pembimbing : Dr. Sugiyanto, 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 : 22 Februari 2018**

PERNYATAAN PENULIS

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

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



**Purnadi Sri Kuncoro**  
NPM. 1215021065

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 28 Desember 1993, sebagai anak pertama dari pasangan Bapak Ganjar Slamet dan Ibu Agus Wantarsih. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 1 Karang Maritim Kecamatan Panjang Bandar Lampung pada tahun 2006, pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Al-Kautsar pada tahun 2009, pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 5 Bandar Lampung pada Tahun 2012, dan pada tahun 2012 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa teknik mesin, penulis aktif dalam keorganisasian kampus, yaitu sebagai anggota bidang otomotif di organisasi himpunan jurusan teknik mesin (HIMATEM) dan menjadi ketua dalam pembuatan GO-KART. Penulis melaksanakan kerja praktek di PT. Indal Steel Pipe Gresik Jawa Timur pada tahun 2015. Kemudian pada tahun 2017 penulis melakukan penelitian tugas akhir yang dilakukan pada bidang material teknik dengan judul **“EVALUASI SIFAT FATIK SIKLUS RENDAH (*LOW CYCLE FATIGUE*) BAJA ANIL AISI 4140”** dibawah bimbingan langsung dari Bapak Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T. dan Bapak Ahmad Su’udi, S.T.



## **MOTTO**

“alang-alang dudu aling-alang “

(wong jowo)

“Berbuatlah baik kepada orang lain ”

(Penulis)

“Be Yourself ”

(Penulis)

## **PERSEMBAHAN**

*Dengan Kerendahan Hati meraih Ridho Illahi Robbi Kupersembahkan karya  
Kecilku ini untuk orang-orang yang aku sayangi*

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

*Kedua orang tua, Bapak Ganjar Slamet dan Ibu Agus Wantarsih atas segala  
pengorbanan yang tak terbalaskan, doa, kesabaran, keikhlasan, cinta dan kasih  
sayangnya yang tidak ada putusnya.*

### ***Adikku***

*Kepada Kedua adikku Atiqah Ganjar, dan Gentar Permana. sebagai sumber  
inspirasi, semangat, keceriaan dan kebanggaan dalam hidupku*

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

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

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

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

### ***Gita Prastyanti***

*Yang selalu memberikan dukungan semangat tak pernah henti dalam suka dan  
duka.*

*Sahabat Kuy Baxian*

*Yang selalu menjadi penyemangat dalam suka duka dan berbagi keceriaan*

*Sahabat Mesin '12*

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

## SANWACANA

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Alhamdulillahirobbilalamin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah, serta inayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan mempersembahkan judul “*Evaluasi Sifat Fatik Siklus Rendah (Low Cycle Fatigue) Baja Anil AISI 4140*” dengan sebaik-baiknya.

Shalawat beriring salam selalu tercurah kepada junjungan seluruh alam Nabi Muhammad SAW, sahabatnya, serta para pengikutnya yang selalu istiqomah diatas jalan agama islam hingga hari ajal menjemput.

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

1. Ibuku tercinta Agus Wantarsih dan Bapakku Ganjar Slamet yang tak pernah henti-hentinya memberikan dukungan moril dan materilnya serta doa dan kasih sayangnya.
2. Bapak Ahmad Suudi, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

3. Bapak Harnowo Supriadi, S.T.,M.T selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. 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.
5. Bapak Ahmad Suudi, S.T.,M.T. selaku pembimbing kedua tugas akhir ini, yang telah banyak memberikan waktu dan pemikiran bagi penulis.
6. Bapak Dr. Sugiyanto, M.T. selaku dosen pembahas yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang bermanfaat bagi penulis.
7. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung berkat ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama penulis menjalani masa studi di perkuliahan.
8. Staf Akademik serta Asisten Laboratorium yang telah banyak membantu kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Adik-adikku tercinta Atiqah Ganjar dan Gentar Permana yang selalu memberikan dukungan baik berupa doa maupun materil dan sekaligus menjadi penyemangat serta inspirator bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Gita Prastyanti, S.E. yang selalu memberikan semangat tiada henti dan doa sekaligus menjadi inspirator bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhirnya.
11. Rekan-rekan Sahabat Kuy Baxian, Faisal, Kiki, Agus, Yusuf, Aldi , Suef, Fariz, Joel, dan Imam yang telah memberikan dukungan semangat dalam pelaksanaan tugas akhir
12. Rekan-rekan Lab. Material Teknik yang turut membantu dalam pelaksanaan tugas akhir. Aldi Rizaldi, Bima Regi K. G, Cristian, dan Farid dan Komang,

terimakasih atas waktu dan tenaga yang diberikan untuk pelaksanaan tugas akhir.

13. Seluruh rekan-rekan kontrakan Griya 77 Kiki Eko Suwanto, Abdul Aziz, Komang Suariandi, Wahyu Adi S., Saiful Zuhri, Mas Salpa, Kiyai Dwi Novriadi, Muchdy Kurniawan terimakasih atas kebersamaannya. Semoga Silaturahmi kita akan tetap terjaga sampai kapanpun.
14. Seluruh rekan-rekan teknik mesin khususnya rekan seperjuangan angkatan 2012, Dedi, Fariz, Dara, Anggun, Opi, Imam, Cristian, Fakhrizal, Donni, Raziz, Agus, Bima, Faisal, Akbari, Yusuf, Aldi, dll yang tidak dapat saya sebutkan semua, terimakasih 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”.
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.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Bandar Lampung, 21 Februari 2018  
Penulis,

**Purnadi Sri Kuncoro**  
**NPM. 1215021065**

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</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>xii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xx</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan .....	3
C. Batasan Masalah .....	4
D. Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
A. Baja Karbon Paduan .....	6
1. Baja paduan rendah ( <i>low alloys steel</i> ) .....	6
2. Baja paduan tinggi ( <i>high alloys steel</i> ) .....	7
B. Baja AISI 4140 .....	7
C. Pengaruh Elemen-Elemen Pada Baja Karbon .....	8

D.	<i>Fatigue</i> .....	10
1.	Permulaan Retak ( <i>crack initiation</i> ) .....	11
2.	Penyebaran Retak.....	11
3.	Patah ( <i>fracture</i> ) .....	11
E.	Hubungan Siklik Regangan Pada Fatik.....	13
F.	Faktor-Faktor yang Mempengaruhi <i>Fatigue</i> .....	14
1.	Tegangan Konsentrasi.....	14
2.	Ukuran .....	15
3.	Tegangan Sisa .....	15
4.	Faktor Komposisi Kimia .....	15
G.	Uji Tarik .....	15
<b>BAB III. METODE PENELITIAN .....</b>		<b>18</b>
A.	Tempat Penelitian .....	18
B.	Bahan dan Peralatan yang Digunakan.....	18
1.	Bahan Penelitian.....	18
2.	Peralatan Penelitian.....	19
a.	Mesin MTS Landmark 100 kN .....	19
b.	Mikroskop Optik .....	19
c.	Jangka Sorong .....	20
d.	<i>Furnace</i> .....	20
C.	Prosedur Pengujian .....	21
1.	Persiapan Spesimen.....	21
2.	Pembuatan Spesimen .....	21
3.	Uji Tarik Statis .....	22
4.	Proses <i>Heat Treatment</i> .....	23
5.	Uji Fatik .....	24
6.	Observasi Mikrostruktur dan Faktografi .....	27
D.	Variabel Pengujian .....	27
E.	Diagram Alir Penelitian.....	28
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>29</b>
A.	Hasil Pengujian Tarik .....	29
B.	Hasil Pengujian Fatik .....	31
C.	Pengamatan Mikrostruktur .....	42
<b>BAB V. SIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>45</b>
A.	Simpulan .....	45
B.	Saran .....	46

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Grafik S/N: (a) Siklus tegangan sempurna nolak-balik, (b) Siklus tegangan berulang dengan $\sigma_{maks}=\sigma_{min}$ , dan (c) Siklus tegangan acak .....	12
<b>Gambar 2.2</b> Hubungan siklik regangan .....	13
<b>Gambar 2.3</b> Diagram uji tarik.....	16
<b>Gambar 3.1</b> Baja AISI 4140 bentuk silinder .....	18
<b>Gambar 3.2</b> Mesin MTS Landmark 100 kN.....	19
<b>Gambar 3.3</b> Jangka sorong .....	20
<b>Gambar 3.4</b> <i>Furnace</i> .....	20
<b>Gambar 3.5</b> Bentuk dan ukuran spesimen uji tarik standar ASTM E8.....	21
<b>Gambar 3.6</b> Spesimen uji tarik .....	22
<b>Gambar 3.7</b> Bentuk dan ukuran spesimen uji fatik siklus rendah (ASTM E606) .....	22
<b>Gambar 3.8</b> Foto spesimen uji fatik siklus rendah .....	22
<b>Gambar 3.9</b> Diagram proses anil baja AISI 4140 .....	24
<b>Gambar 3.10</b> Foto spesimen hasil uji tarik .....	24
<b>Gambar 3.11</b> Foto pemasangan spesimen dan extensometer .....	26
<b>Gambar 3.12</b> Diagram alir penelitian fatik siklus rendah baja AISI 4140 .....	28
<b>Gambar 4.1</b> Kurva tegangan versus regangan pada baja AISI 4140 yang mengalami perlakuan anil dan tanpa perlakuan anil .....	29
<b>Gambar 4.2</b> Foto pengujian fatik siklus rendah dengan control regangan menggunakan ekstensometer .....	31
<b>Gambar 4.3</b> Hubungan tegangan puncak terhadap jumlah siklus baja AISI 4140 yang di- <i>annealing</i> pada pengujian fatik siklus rendah dengan variasi amplitudo regangan .....	33

<b>Gambar 4.4</b> Evolusi perubahan tegangan-regangan pada setiap siklus yang berbeda dan kondisi amplitudo regangan: (a) 0.003 mm/mm, (b) 0.005 mm/mm, dan (c) 0.007 mm/mm .....	35
<b>Gambar 4.5</b> Kurva tegangan versus regangan untuk siklus pertama dan kondisi monotonik .....	39
<b>Gambar 4.6</b> Kurva tegangan-regangan histerisis maksimum pada tiga variasi amplitudo yang berbeda.....	40
<b>Gambar 4.7</b> Kurva siklik $\Delta\sigma/2$ versus $\Delta\varepsilon/2$ pada amplitudo regangan yang berbeda.....	40
<b>Gambar 4.8</b> Kurva amplitudo regangan vs jumlah kebalikan siklus patah ( $2N_f$ ) .....	42
<b>Gambar 4.9</b> Mikrostruktur baja AISI 4140: (a) Sebelum mendapatkan perlakuan anil, dan (b) Setelah mendapatkan perlakuan anil .....	43
<b>Gambar 4.10</b> Mikrostruktur LCF baja AISI 4140: (a) 0.003 mm/mm, (b) 0.005 mm/mm, dan (c) 0.007 mm/mm.....	44

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Komposisi Kimia Baja AISI 4140 .....	8
<b>Tabel 3.1</b> Komposisi kimia baja AISI 4140 .....	19
<b>Tabel 3.2</b> Parameter Pengujian Fatik Siklus Rendah .....	27
<b>Tabel 3.3</b> Variabel Pengujian .....	27
<b>Tabel 4.1</b> Hasil pengujian tarik baja AISI 4140 .....	30
<b>Tabel 4.2</b> Hasil uji <i>low cycle fatigue</i> baja AISI4140 dengan perlakuan anil ....	32
<b>Tabel 4.3</b> Hasil uji <i>low cycle fatigue</i> baja AISI 4140 tanpa perlakuan anil .....	32
<b>Tabel 4.4</b> Hasil siklus <i>ratio softening</i> dan <i>ratio hardening</i> .....	38
<b>Tabel 4.5</b> Nilai parameter sifat fatik siklus rendah dan sifat monotonik .....	41

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran

1. Data Pengamatan *Optical Microscope* (OM)

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Baja *American Iron Steel and Institute* (AISI) 4140 merupakan baja karbon sedang (0.443 wt.% C) dengan elemen-elemen padu lainnya: 1.15% Cr, 0.805% Mn, 0.320% Cu, 0.253% Ni, 0.308% Si, dan 0.198% Mo. Baja mempunyai beberapa keunggulan diantaranya kekuatan yang tinggi, keseragaman dan keuletan tinggi yang tinggi. Baja AISI 4140 sering digunakan sebagai komponen elemen utama pada mesin seperti poros, gear, dan piston pada kendaraan, yang berfungsi meneruskan daya baik berupa puntiran ataupun bending. Poros yang mengalami pembebanan yang berulang, akhirnya dapat menimbulkan retak yang terus berlanjut mengalami kegagalan pada saat operasinya. Kegagalan ini terjadi umumnya akibat ketidakmampuan bahan terhadap beban siklik dimana bahan mengalami deformasi plastis berulang, dan akhirnya bahan mengalami kelelahan dan patah.

*Fatigue* 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. Kegagalan lelah terjadi lebih rendah bila dibandingkan dengan kekuatan tarik atau kekuatan

luluhnya pada beban statis. Ada dua jenis fatigue yaitu *low cycle fatigue* (fatik siklus rendah) dan *high cycle fatigue* (fatik siklus tinggi), *low cycle fatigue* kelelahan yang terjadi pada logam dalam siklus yang pendek dengan jumlah siklus dibawah 1000 yang disebabkan oleh regangan plastis. Sedangkan *high cycle fatigue* sendiri merupakan pembebanan yang menyebabkan kegagalan dengan jumlah siklus antara  $10^3$  sampai  $10^7$  yang terjadi pada logam dalam kondisi elastis.

Telah ada beberapa penelitian sebelumnya tentang *low cycle fatigue* baja 10% Cr-2% W-0,7% Mo-3% Co-NbV dengan 0,008 wt.% B dan 0,003 wt.% N oleh Mishnev dkk. (2016), dimana baja diuji dalam amplitudo regangan konstan dari  $\pm 0,2\%$  sampai  $\pm 1,0\%$  pada temperature pengujian  $20^{\circ}\text{C}$  dan  $650^{\circ}\text{C}$ . Dari hasil penelitian tersebut didapatkan efek pelunakan siklus disebabkan oleh perubahan struktur martensit pada baja dengan meningkatnya derajat deformasi plastis. Li dkk (2014) melakukan penelitian perilaku fatik siklus rendah baja paduan rendah Cr–Mo–V untuk aplikasi cakram rem kereta api. Dari hasil penelitian tersebut dilaporkan baja menunjukkan perilaku pelunakan siklus pada level ragangan yang lebih besar dan perilaku tipe *Masing* diamati pada temperatur ruang. Selain itu, Verma dkk. (2016) melakukan penelitian sifat fatik siklus rendah baja 9Cr–1Mo yang modifikasi melalui perlakuan *normalizing* dan *tempering* pada kondisi laju ragangan dari 0.02/s sampai 0.0004/s dengan amplitudo regangan antara 0.25 % dan 0.5% pada temperatur ruang. Pada regangan amplitudo tinggi 0.375% dan 0.50% setelah bahan mengalami siklus 20–

30 dan setelah siklus 200–300 dengan regangan amplitudo terendah 0.25% baja mengalami efek pelunakan. Sedangkan Hu dkk, (2013) melaporkan bahwa baja 9CrWVTa mengalami pengerasan regangan pada siklus pertama (2–100 siklus), kemudian diikuti bahan mengalami pelunakan samapai patah.

Berdasarkan uraian di atas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai “**Evaluasi Sifat Fatik Siklus Rendah (*Low Cycle Fatigue*) Baja Anil AISI 4140**”. Analisa struktur mikro dan observasi penampang patahan sampel akan dilakukan setelah bahan diuji pada kondisi fatik siklus rendah untuk menjelaskan mekanisme kegagalan fatik selama pengujian.

## **B. Tujuan**

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perubahan sifat mekanik baja AISI 4140 melalui proses perlakuan anil.
2. Menentukan sifat fatik siklus rendah baja AISI 4140 melalui pendekatan persamaan Coffin-Manson-Basquin pada kondisi regangan amplitude 0.003 mm/mm, 0.005 mm/mm, dan 0.007 mm/mm.
3. Observasi mikrostruktur (OM) dan setelah uji fatik siklus rendah untuk menjelasakn mekanisme kegagalan baja AISI 4140 setelah mengalami uji fatik siklus rendah.

### **C. Batasan Masalah**

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

1. Pengujian LCF pada amplitudo regangan yang bervariasi 0.003-0.007 mm/mm, laju regangan konstan 0.005/s.
2. Kondisi pengujian fatik siklus rendah pada temperatur ruang.

### **D. Sistematika Penulisan**

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

#### **I. PENDAHULUAN**

Pada bab ini berisikan tentang spesifikasi baja AISI 4140, kegagalan baja akibat beban dinamik, referensi pengujian fatik siklus rendah yang telah dilakukan, ketertarikan penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah penelitian dan sistematika penulisan.

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

Pada bab ini berisikan tentang baja karbon paduan beserta elemen-elemen pada baja, fungsi baja AISI 4140, kegagalan pada baja akibat beban dinamik yang terjadi beserta fase yang menyebabkan kegagalan, karakteristik sifat fatik dan faktor-faktor yang menyebabkan kegagalan, pengujian sifat mekanik baja digunakan untuk menguji sebagai penunjang pengolahan data.



### III. METODE PENELITIAN

Pada bab ini berisikan pembuatan spesimen dan tempat penelitian, bahan dan peralatan penelitian, prosedur serta parameter penelitian.

### IV. DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas hasil pengujian tarik, pengujian fatik siklus rendah serta pengujian mikrostruktur baja AISI 4140 yang diperoleh dari pengujian yang dilakukan.

### V. SIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari hasil uji tarik pada baja AISI 4140 yang dianil, sifat fatik siklus rendah melalui pendekatan persamaan Coffin-Manson-Basquin, dan perubahan struktur mikro pada baja. Selain itu, saran diberikan dalam bab ini, untuk penelitian selanjutnya.

### DAFTAR PUSTAKA

Berisikan mengenai literatur-literatur atau jurnal internasional yang didapat penulis demi mendukung dalam penyusunan penelitian ini.

### LAMPIRAN

Berisikan hal-hal yang mendukung pada penelitian.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Baja Karbon Paduan

Baja adalah paduan besi dan karbon merupakan paduan yang cukup besar dari pada unsur paduan lainnya. Baja paduan mengandung beberapa unsur yaitu mangan (Mn), silikon (Si), nikel (Ni), vanadium (V), unsur molybdenum (Mo) dan unsur lainnya dalam presentasi kecil .

Penambahan unsur-unsur tersebut merupakan dapat meningkatkan dari sifat mekanik dari kekuatan baja tanpa mengurangi sedikit dari keuletan baja tersebut. Dalam pengaplikasiannya baja karbon banyak digunakan untuk bahan baku pembuatan komponen mesin, alat-alat perkakas, dan lainnya. Baja karbon sendiri dapat di kelompokkan berdasarkan jumlah persentase dari komposisi kimia karbon pada baja yaitu:

#### 1. Baja paduan rendah (*low alloys steel*)

Baja karbon rendah merupakan baja mengandung unsur paduan rendah (kurang dari 10) karbon memiliki sifat kekuatan yang sedang dengan keuletan dan ketangguhan yang tinggi sehingga baja karbon rendah biasanya digunakan khusus untuk konstruksi pembuatan badan

mobil, dan biasanya lembaran baja karbon rendah juga digunakan untuk pipa, bangunan, jembatan, dan kapal laut.

## 2. Baja paduan tinggi (*high alloys steel*)

Baja paduan tinggi merupakan baja dengan paduan umumnya yaitu Cr, V, W, dan Mo. Pada baja paduan tinggi ini memiliki sifat kekerasan dan kekuatan yang sangat tinggi tetapi baja karbon tinggi tersebut memiliki sifat keuletan yang sangat rendah sehingga menyebabkan getas. Baja ini memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan sering digunakan untuk material tools. Baja paduan ini sering digunakan untuk keperluan industri lain seperti pembuatan kikir, pisau cukur, mata gergaji dan lainnya.

### **B. Baja AISI 4140**

Baja AISI 4140 merupakan baja dalam baja paduan rendah yang mengandung kromium dan molybdenum sebagai bahan penguat. Hal ini dapat diketahui dari kandungan unsur yang ditunjukkan dengan kode penamaanya berdasarkan standar AISI yang merupakan salah satu standarisasi baja *American Iron and Steel Institute* dengan kode 4140 dimana dua angka didepan menunjukkan paduan krom, mangan, dan molybdenum sedangkan dua angka dibelakang menunjukkan kandungan karbon dalam persen (%). Baja AISI 4140 memiliki cakupan aplikasi yang luas diantaranya digunakan untuk mesin kekuatan tinggi seperti: poros engkol, as roda, batang piston, dan kunci roda. Berikut adalah table komposisi kimia dari baja AISI 4140

**Tabel 1.1.** Komposisi Kimia Baja AISI 4140 (Azom, 2012)

Unsur	% . wt
C	0,38-0,40
Mn	0,75-1,00
P	0,035
Mo	0,15-0,25
S	0,040
Si	0,20-0,35
Cr	0,80-1,10

### C. Pengaruh Elemen-Elemen Pada Baja Karbon

Material baja karbon merupakan paduan dari besi dan karbon, dimana karbon merupakan unsur penguat besi yang lebih efektif. Maka dari itu pada dasarnya sebagian besar baja merupakan karbon dengan sedikit paduan unsur lainnya (Smallman, 1991). Unsur paduan lainnya diantaranya seperti Mn, P, Cu, S dan Si. Adapun pengaruh dari unsur-unsur paduan untuk bahan baja karbon sebagai berikut:

#### 1. *Carbon (C)*

Kandungan unsur karbon pada baja sangat berpengaruh karena karbon dapat meningkatkan sifat mekanis dari baja itu sendiri. Kenaikkan kandungan karbon pada baja dapat menaikkan sifat mekanisnya seperti kenaikan kekerasan, kekuatan tarik, dan kekuatan luluh, tetapi jika karbon terlalu berlebihan akan mengurangi sifat ketangguhan dari baja tersebut.

#### 2. *Mangan (Mn)*

Pada baja unsur paduan mangan sangat dibutuhkan dalam pembuatan baja, karena semakin bertambahnya unsur paduan mangan pada baja maka

suhu kritis menurun secara seimbang dan dapat meningkatkan kekuatan tarik tanpa mengurangi regangan, dan mangan juga dapat mencegah terjadinya kegetasan pada suhu tinggi pada saat pengerolan panas.

3. *Sulfur* (S)

Kandungan *sulfur* pada baja sangat merugikan material tersebut, karena semakin banyak kandungan *sulfur* baja dapat menjadikan baja tersebut menjadi getas pada suhu tinggi, maka kandungan *sulfur* pada baja dibuat serendah mungkin lebih rendah dari 0,05% agar baja tersebut tidak menjadi getas.

4. *Phosphor* (P)

Penambahan unsur *phosphor* pada baja ini dapat memperbaiki atau memudahkan baja untuk dapat dibentuk, akan tetapi efek buruknya dari kandungan *phosphor* yang ada didalam baja dapat membuat baja tersebut mengalami getas di suhu rendah.

5. *Silicon* (Si)

Unsur *silicon* dapat menurunkan harga koefisien pengeras regangan jika kadar kandungan *silicon* sampai 3,2%, sebaliknya jika kadar *silicon* pada baja diatas 3,2% akan meningkatkan kekerasan pada baja tersebut.

6. Nikel (Ni)

Penambahan kandungan unsur nikel dalam baja akan dimaksudkan untuk memberikan efek kekuatan dan ketangguhan terhadap benturan.

7. *Chrome* (Cr)

Penambahan unsur *chrome* sangat berperan dalam pembentukan *carbide*, karena senyawa *carbide* itu sendiri sangat keras dan akan dengan

sendirinya kekerasan dari baja tersebut akan naik selain itu chrome juga menyebabkan tahan aus. Kadar unsur *chrome* sendiri diatas 13% dan karbon kurang dari 0,6% maka akan bersifat anti karat atau biasa disebut juga baja stainless steel.

#### 8. *Wolfram* (W)

Merupakan unsur terpenting baja karena paduan *wolfram* memiliki sifat untuk meningkatkan kekuatan, dan kekerasan baja sehingga menurunkan sedikit sifat regangan pada baja.

#### 9. *Vanadium* (Va)

Penambahan *vanadium* akan sangat berpengaruh pada kekuatan tarik, kekuatan, dan kekerasan baja dalam temperatur yang tinggi dan meningkatkan batas mulur.

#### 10. *Molybdenum* (Mo)

Unsur *molybdenum* sendiri baja berguna untuk meningkatkan kekuatan dan batas mulur, terutama pada saat pembebanan yang continue dan juga berfungsi untuk menaikkan temperatur tempering (Amanto, 1999).

### **D. *Fatigue***

*Fatigue* (kelelahan) merupakan kerusakan suatu material karena adanya tegangan dinamis yang besarnya lebih kecil dibandingkan dengan tegangan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) terhadap tegangan luluh (*yield*) yang diberikan dengan beban konstan. Dalam *fatigue* terdapat 3 fase terjadinya kegagalan dalam perpatahan *fatigue*:

1. Permulaan retak (*crack initiation*)

Mekanisme permulaan retak pada dasarnya dimulai dengan *crack* sebagai awal terjadinya fatigue kemudian *crack* pada permukaan (seperti goresan, notch, lubang-pitch dll) merambat karena adanya pembebanan yang berulang.

2. Penyebaran retak

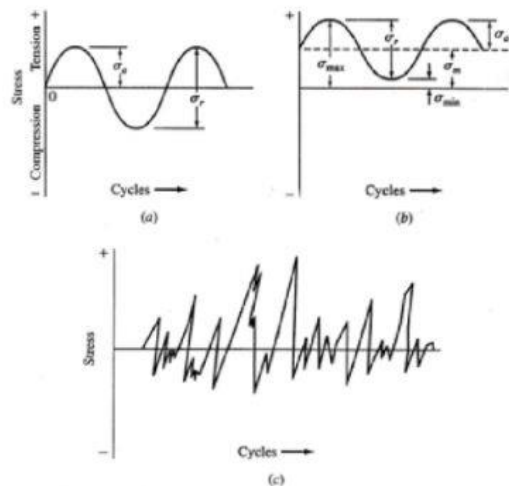
Pada penyebaran retak ini jumlah siklus yang merupakan penyebab keretakan awal dan fase perambatannya. Dimana penyebaran retak ini berkembang menjadi *microcracks*. Perambatan atau perpaduan microcrack tersebut berkembang membentuk *macrocracks* yang akan berujung pada *failure*.

3. Patah (*fracture*)

Patah adalah proses akhir dari kerusakan pada struktur pada saat mengalami pembebanan sehingga struktur tersebut mengalami kegagalan. Pada tahap ini penjalaran retak yang terjadi pada material sangatlah cepat sehingga struktur akan pecah menjadi dua. Perpatahan ini terjadi ketika material telah mengalamisiklus tegangan dan regangan yang pada akhirnya menghasilkan kerusakan permanen (Dieter, 1992).

Pada *fatigue* terdapat tiga siklus umum yang dapat menunjukkan suatu siklus tegangan fatigue yaitu yang pertama adalah tegangan dinamis terjadi mulai dari tegangan rata-rata nol dengan amplitude yang konstan (tetap). Yang kedua yaitu tegangan dinamis dimulai diatas garis rata-rata nol dengan

amplitude konstan. Dan yang ketiga tegangan dinamis yang acak atau random.



Gambar 2.1 Grafik S/N: (a) Siklus tegangan sempurna bolak-balik, (b) Siklus tegangan berulang dengan  $\sigma_{maks} = \sigma_{min}$ , dan (c) Siklus tegangan acak (Hadi, 2016).

Terdapat dua jenis siklus fatigue antara lain:

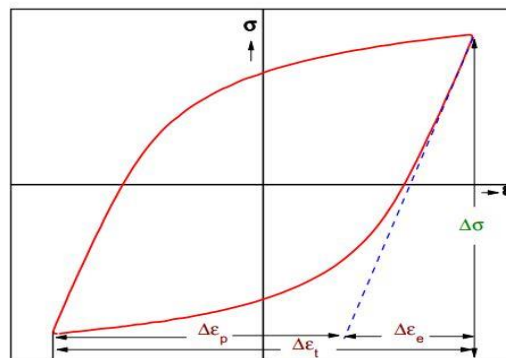
1. *Low Cycle Fatigue* (fatik siklus rendah) pada *low cycle fatigue* merupakan pembebanan yang menyebabkan kegagalan dengan jumlah siklus dibawah  $\leq 10^5 = 100000$  siklus dalam kondisi plastis. *Low cycle fatigue* biasanya dirancang dengan mengabaikan keseluruhan efek *fatigue* atau dengan mengurangi level tegangan yang diijinkan. Contoh komponen *low cycle fatigue* ini adalah grendel pada laci kecil dekat stir mobil, stud pada roda pada truk.
2. *High Cycle Fatigue* (fatik siklus tinggi) pada *high cycle fatigue* merupakan pembebanan yang menyebabkan kegagalan dengan jumlah siklus antara  $10^3$  sampai  $10^7$  dan di luar kondisi elastis. *High cycle fatigue*.



Contoh komponen *high cycle fatigue* ini adalah engsel pintu mobil, panel badan pesawat, dan pemukul softball aluminium.

### E. Hubungan siklik regangan pada fatik

Sarkar, (2015) hubungan antara  $\Delta\varepsilon_p/2$  dan  $2N_f$  sangat penting untuk mengevaluasi dan mengkararakteristik sifat fatik agar meningkatkan kinerja fatik suatu bahan



Gambar 2.2 Hubungan siklik regangan (Sarkar, 2015).

dapat dijelaskan dengan persamaan *coffin manson*:

$$\frac{\Delta\varepsilon_p}{2} = \varepsilon'_f (2N_f)^c \dots\dots\dots (1)$$

Dimana;

$\varepsilon'_f$ : koefisien daktilitas fatik

c: eksponen daktilitas fatik

Amplitudo regangan total adalah jumlah amplitudo regangan elastis dan amplitudo regangan plastic (pendekatan teori Coffin-Manson-Basquin).

(Persaman 2). Karena itu, hubungannya antara amplitudo regangan total dan jumlah pembalikan regangan terhadap kegagalan dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{\Delta \varepsilon_t}{2} = \frac{\Delta \varepsilon_e}{2} + \frac{\Delta \varepsilon_p}{2} = \frac{\sigma_f'}{E} (2N_f)^b + \varepsilon_f' (2N_f)^c \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

- E: modulus Young (GPa)
- $N_f$ : jumlah siklus kegagalan (siklus)
- $\frac{\Delta \varepsilon_f}{2}$ : total amplitudo regangan (mm/mm)
- $\sigma_f'$ : koefisien kekuatan fatik (MPa)
- $b_0$ : kekuatan exponent fatik
- $\varepsilon_f'$ : koefisien daktilitas fatik
- $c_0$ : exponent daktilitas fatik

#### **F. Faktor-faktor yang mempengaruhi *Fatigue***

Beberapa faktor yang sangat dapat mempengaruhi atau dapat mengubah kondisi *Fatigue* yaitu:

##### 1. Tegangan Konsentrasi

Terjadi pada daerah-daerah benda yang dimensinya berubah drastis dan pemicu lain terjadinya konsentrasi tegangan seperti fillet, notch, alur pasak, positas, inklusi dan lain-lain akan menyebabkan menurunnya

umur *fatigue* atau *fatigue life*. Besar konsentrasi tegangan dapat diketahui dengan menghitung konsentrasi suatu tegangan.

## 2. Ukuran

Bila ukuran suatu spesimen bertambah maka ketahanan *fatigue* menurun. Hal ini dikarenakan, kegagalan akibat *fatigue* biasanya dimulai dari permukaan. Maka penambahan ukuran dilakukan akan memberikan kemungkinan menimbulkan keberadaan cacat. Akibatnya retak berawal pada cacat tersebut.

## 3. Tegangan sisa

Tegangan sisa tekan akan memberikan peningkatan pada ketahanan *fatigue*. Tegangan sisa ini dapat dikembangkan dengan cara melakukan deformasi plastis yang tidak seragam pada suatu penampang material.

## 4. Faktor komposisi kimia

Pengaruh komposisi kimia terhadap kekuatan lelah bahan diharapkan agar sama dengan seluruh spesimen uji pada saat pemilihan bahan material yang akan di produksi dalam satu kali proses pembuatan (Tawaf, 2014).

## **G. Uji Tarik**

Uji tarik merupakan salah satu proses untuk mengetahui kekuatan suatu material, dimana dalam pengujian 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.



Gambar 2.3 Diagram uji tarik (Salindeho, 2013).

Kurva tegangan regangan diperoleh dari pengukuran perpanjangan material uji dimana tegangan yang digunakan adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian tarik yang diperoleh dari membagi beban dengan luas awal penampang melintang benda.

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

- $\sigma$ : Tegangan tarik, N/m<sup>2</sup> (Pa)
- $F$ : Gaya, N
- $A$ : Luas permukaan, m<sup>2</sup>

Regangan tekan suatu batang yang ditekan dapat 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  $\Delta\ell/\ell_0$  dinamakan regangan seperti yang dituliskan persamaan berikut (Souisa, 2011).

$$\varepsilon = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} = \frac{\Delta \ell}{\ell_0} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

$\varepsilon$ : Regangan atau bilangan murni

$\ell$ : Panjang batang, m

$\Delta \ell$ : Panjang semula, m

$\ell$ : Perubahan panjang, m

Kurva tegangan regangan dapat dipergunakan untuk hampir semua bahan. Untuk jarak tertentu dari titik asal, nilai-nilai eksperimental dari tegangan-regangan pada dasarnya terletak pada satu garis lurus. Dalam Hal ini berlaku untuk semua bahan yang dikenal sebagai hukum *Hooke*. Yang secara mudah menyatakan bahwa tegangan berbanding lurus dengan regangan, dimana pada daerah tersebut adalah daerah linear atau *linear zone*. Dimana pada daerah ini, kurva tegangan-regangan mengikuti hokum *Hooke* yang dirumuskan:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots \dots \dots (5)$$

Dimana:

$E$ : Modulus elastis, GPa

$\sigma$ : tegangan (MPa)

$\varepsilon$ : regangan (mm/mm)

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Tempat Penelitian

Pembuatan spesimen tarik dan fatik dilakukan di Pusat pendidikan dan pelatihan keteknikan (VEDC)-Malang Jawa Timur. Pengujian tariks statis dan fatik siklus rendah dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Pengambilan mikro struktur dilakukan di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Unit Pelaksanaan Teknis – UPT Balai Pengolahan Mineral Lampung.

#### B. Bahan dan Peralatan Penelitian yang Digunakan

##### 1. Bahan Penelitian

Berdasarkan gambar 3.1 bahan yang digunakan dalam penelitian ini baja paduan AISI 4140 berbentuk *cylinder* yang telah di uji komposisi kimia menggunakan spectrometer, seperti pada tabel 3.1.



Gambar 3.1 Baja AISI 4140 bentuk silinder

Tabel 3.1 Hasil Komposisi Kimia Baja AISI 4140

Unsur	% .wt
C	0.443
Cr	1.15
Mn	0.805
Cu	0.320
Ni	0.253
Si	0.308
Mo	0.198

## 2. Peralatan Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

### a. Mesin MTS *Landmark* 100 kN

Mesin MTS *landmark* digunakan untuk pengujian tarik statis dan fatik.

Mesin yang digunakan ini dapat menerima beban sebesar 100 kN.



Gambar 3.2. Mesin MTS *Landmark* 100 kN

### b. Mikroskop Optik

Mikroskop optik digunakan untuk mengamati dan memfoto morfologi bentuk perambatan retak spesimen uji.

c. Jangka sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur diameter material uji fatik.



Gambar 3.3. Jangka sorong

d. *Furnace*

Digunakan untuk melakukan proses anil pada spesimen.



Gambar 3.4. *Furnace*



### C. Prosedur Pengujian

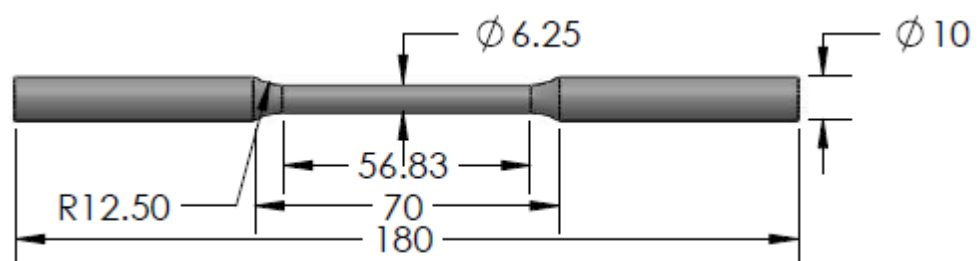
Adapun prosedur penelitian tugas akhir ini dibagi menjadi beberapa tahapan proses, yaitu:

#### 1. Persiapan Spesimen

Material yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini yaitu baja paduan AISI 4140 dalam bentuk *cylinder*.

#### 2. Pembuatan Spesimen

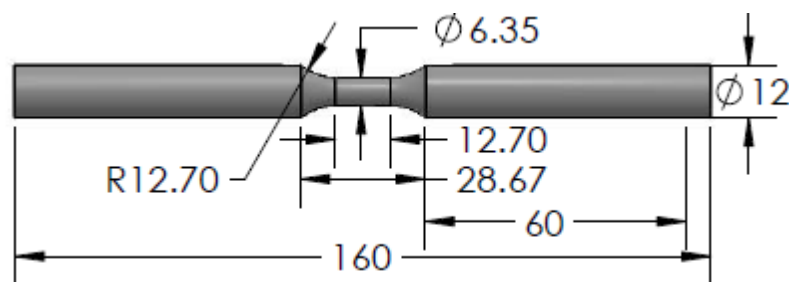
Baja paduan AISI 4140 berbentuk *cylinder* diameter 16 mm dan dipotong sepanjang 150 mm, dibeli di pasaran dan diuji komposisi dengan spectrometer: 1,15Cr–0,80Mn–0,253Ni–0,320Cu (wt.%). Spesimen uji tarik dibentuk sesuai standar ASTM E8 (Gambar 3.5) dan foto spesimen uji tarik yang sudah dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.6. Dimensi dan ukuran spesimen uji fatik siklus rendah dibuat sesuai standar ASTM E606 (Gambar 3.7) dan foto spesimen ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar. 3.5. Bentuk dan ukuran spesimen uji tarik standar ASTM E8.



Gambar 3.6. Spesimen uji tarik



Gambar 3.7. Bentuk dan ukuran spesimen uji fatik silus rendah (ASTM E606).



Gambar 3.8. Foto spesimen uji fatik siklus rendah

### 3. Uji Tarik Statis

Berdasarkan gambar 3.10 Pengujian tarik statis harus dilakukan terlebih dahulu untuk mendapatkan data nilai tegangan luluh ( $\sigma_y$ ) dan modulus elastisitas ( $E$ ). Adapun prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut :

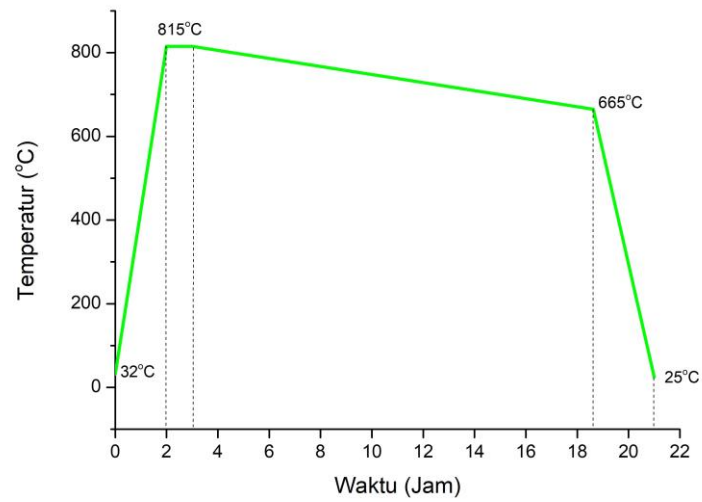
- a. Menyiapkan spesimen sesuai dengan standar ASTM E8.

- b. Membuka program Controller 793B setelah itu klik *manual command*, pilih *displacement mode*, lalu naikan *actuator* keposisi nol (*zero*).
- c. Pasang spesimen pada *cross head grip* atas kemudian spesimen dicekam.
- d. Lalu *cross head* diturunkan sampai ujung bawah spesimen masuk kedalam grip bawah dengan kedalaman 3 cm.
- e. Klik *manual command* dan klik *control mood* ke *force*.
- f. Kemudian klik *auto offset* untuk *force*. Setelah itu grip bagian bawah dicekam sehingga ujung spesimen bagian bawah tidak berubah.
- g. Pasang *extensometer* ke spesimen dengan posisi zero pin, dan klik *manual offset* untuk *extensometer*. Lalu lepaskan *zero* pin dari *extensometer*.
- h. Membuka Software MTS Test Suite (MPE), pilih template untuk uji tarik statis.
- i. Memasukkan data spesimen.
- j. Memasukan *initial speed* dan *secondary speed* (mm/s).
- k. Setelah menginput semua data lalu klik RUN.

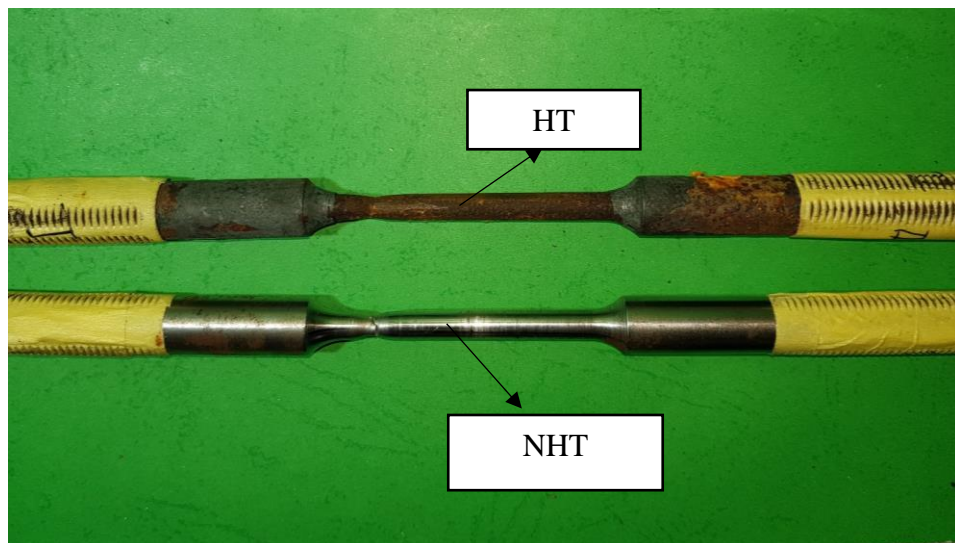
#### 4. Proses *Heat Treatment*

Gambar 3.9 menunjukkan diagram proses anil (*annealing*) (Matweb, 2017) yang diberikan pada baja AISI 4140. Baja dimasukan ke dalam furnace, kemudian temperatur dalam furnace dinaikan sampai 815°C dan dijaga konstan selama 1 jam. Setelah itu temperature dalam furnace diturunkan ke 665°C dengan laju penurunan 11 °C/jam atau total lama waktu sekitar 13

jam 38 menit. Kemudian baja dikeluarkan dari furnace dan didinginkan ke suhu ruangan ( $\sim 25^{\circ}\text{C}$ ).



Gambar 3.9. Diagram proses anil baja AISI 4140



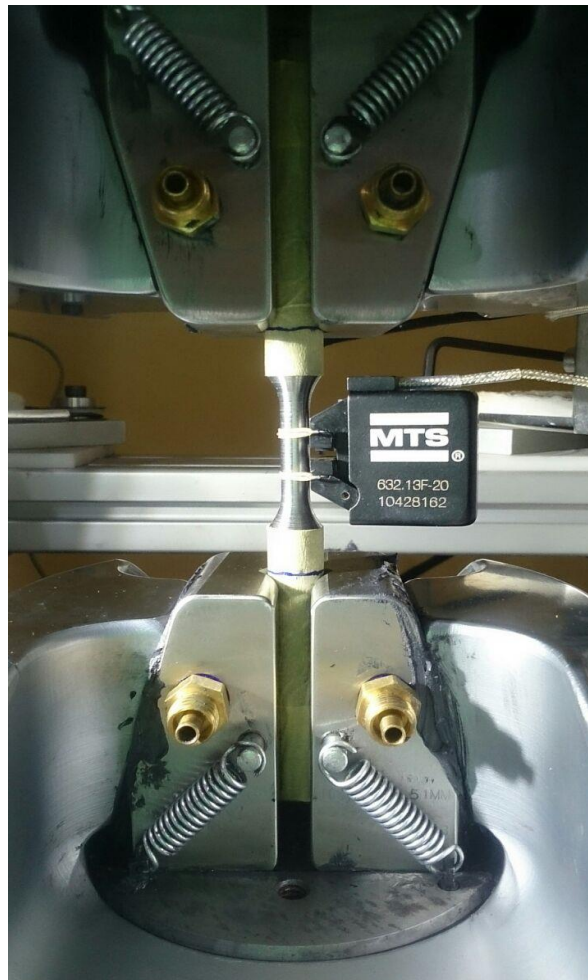
Gambar 3.10. Foto spesimen hasil uji tarik

## 5. Uji Fatik

Prosedur pengujian perambatan retak fatik yang akan dilakukan menggunakan langkah-langkah berikut:

- a. Menyiapkan spesimen sesuai dengan standar ASTM E 606
- b. Membuka program Controller 793B setelah itu klik *manual command*, pilih *displacement mode*, lalu naikan *actuator* ke posisi nol (*zero*).
- c. Pasang spesimen pada *cross head grip* atas kemudian spesimen dicekam.
- d. Lalu *cross head* diturunkan sampai ujung bawah spesimen masuk kedalam grip bawah dengan kedalaman 3 cm.
- e. Klik *manual command* dan klik *control mood* ke *force*.
- f. Kemudian klik *auto offset* untuk *force*. Setelah itu grip bagian bawah dicekam sehingga ujung spesimen bagian bawah tidak berubah.
- g. Membuka Software MTS Test Suite (MPE), pilih template untuk *low cycle fatigue testing*.
- h. *Extensometer model* 632.13F-20 dengan gage length 10 mm dan mempunyai kemampuan mengontrol regangan  $\pm 15\%$  (tarik-tekan) dipasang pada daerah gage length spesimen (Gambar 3.11). Pengujian *low cycle fatigue* dilakukan menggunakan MTS Landmark 100 kN dengan kondisi rasio regangan  $R = -1$ , laju regangan 0.005/s dan variasi amplitudo regangan 0.003–0.007 mm/mm. Kurva *hysteresis loops* ( $\sigma$  vs  $\epsilon$ ) dan kurva *Force vs* jumlah siklus secara otomatis direkam selama pengujian menggunakan program MTS Test suite sebagai data-data kuantitatif untuk menentukan sifat fatik paduan baja Cr–Mn–Cu–Ni. Model matematika akan diformulasikan dengan membandingkan hasil uji LCF pada level regangan amplitudo bervariasi dengan menggunakan pendekatan persamaan *Coffin-Manson* (**Persamaan 1**

dan 2), untuk menentukan kekuatan dan umur LCF bahan secara *empiric* dengan memasukan variable regangan elastis, regangan plastis terhadap jumlah siklus patah. Plot kurva *hysteresis*  $\sigma$  vs  $\epsilon$  setiap jumlah siklus tertentu (siklus pertama,  $\frac{1}{2}$  jumlah siklus, siklus terakhir) dilakukan untuk mempelajari perilaku LCF. Semua data yang diperoleh dari hasil uji LCF dianalisis menggunakan *software MTS Fatigue Analyzer* dan parameter pada pengujian fatik siklus rendah pada tabel 3.2.



Gambar 3.11. Foto pemasangan specimen dan extensometer

Tabel 3.2. Parameter Pengujian Fatik Siklus Rendah

Nama	Nilai	Satuan
Siklus stabil	100	Count
Siklus stabil	5.00	%
Perubahan retak inisiasi	10.00	%
Penghentian pengujian	50.000	%
Perubahan level beban puncak	5.00	%
Siklus terakhir	20	Count
Perubahan beban disimpan	1.000	kN
PV Nth siklus penyimpanan	1	Count
Awal siklus	20	Count
Waktu siklus per log decade	10	Count
Deviasi perubahan regangan	0.050	%

#### 6. Observasi Mikrostruktur dan Fraktografi

Mikrostruktur dan fraktografi dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro menggunakan *Optical Microscopy* (OM) dilakukan untuk mempelajari perubahan fasa-fasa. Semua data kuantitatif dan kualitatif dari hasil OM, digunakan untuk mempelajari perilaku LCF melalui perubahan mikrostruktur dan perubahan fasa dalam baja selama pengujian LCF.

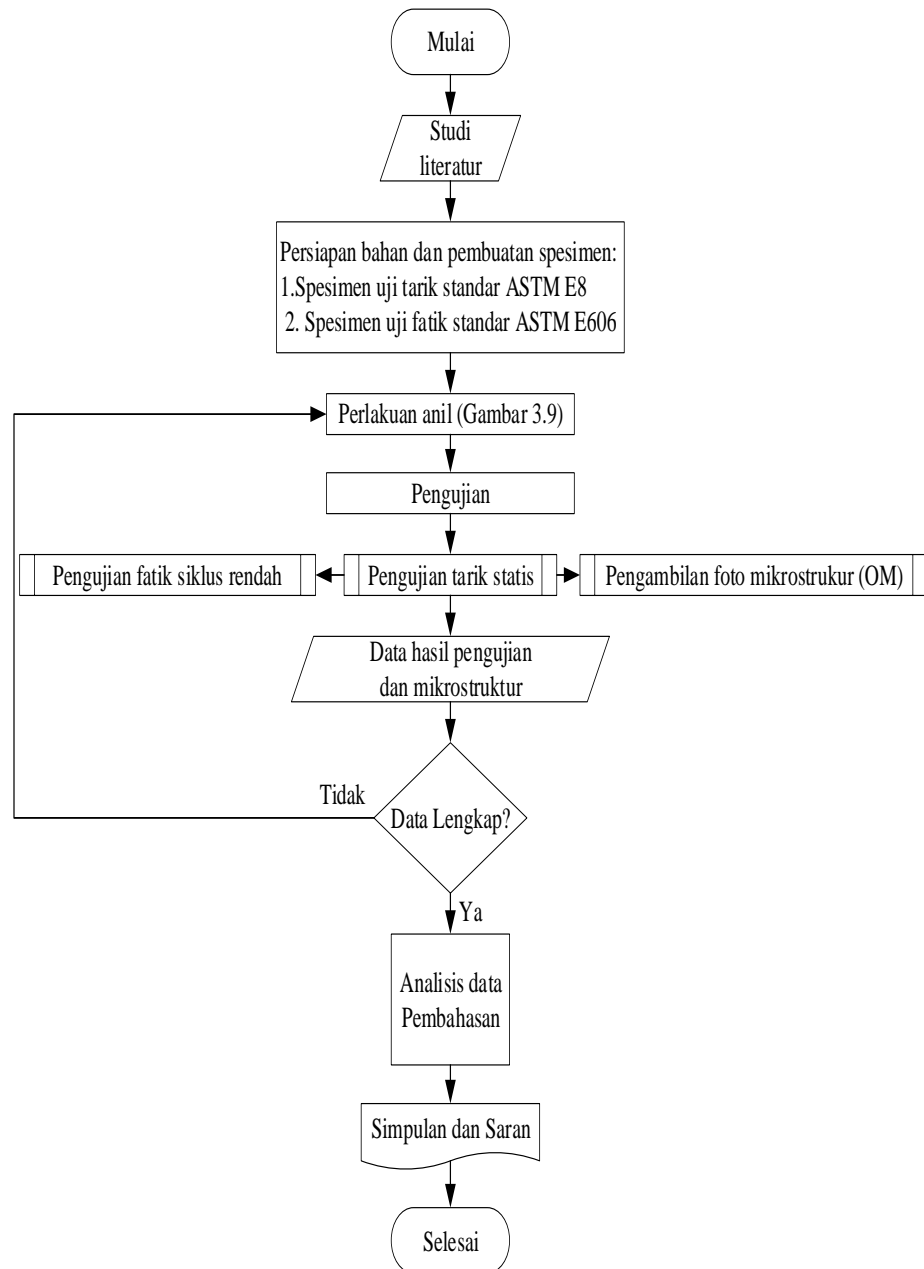
#### D. Variabel Pengujian

Matriks variabel pengujian fatik siklus rendah ditampilkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.3. Variabel Pengujian

No	Amplitudo (mm/mm)	Laju regangan (1/s)	Frekuensi (Hz)
1	0.003		0.4167
2	0.005	0.005	0.2500
3	0.007		0.1786

### E. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.12. Diagram alir penelitian fatik siklus rendah baja AISI 4140



## V. SIMPULAN DAN SARAN

### A. SIMPULAN

Pengujian fatik siklus rendah baja AISI 4140 yang diberi perlakuan anil dengan variasi amplitudo regangan 0.003 mm/mm, 0.005 mm/mm, 0.007 mm/mm dan laju regangan konstan ( $0.005 \text{ s}^{-1}$ ) dapat disimpulkan, sebagai berikut:

1. Proses anil pada baja AISI 4140 menurunkan sifat mekaniknya yaitu: tegangan ultimate turun sebesar 39.0%, dan tegangan luluh turun sebesar 59.2%. Sebaliknya energy regangan plastis meningkat 98.5% dan elongasi total meningkat 29.34%.
2. Perlakuan panas anil pada baja AISI 4140 dapat meningkatkan umur fatiknya, yang disebabkan oleh besarnya daerah energy regangan plastis yang dihasilkan. Selain itu juga berkontribusi terhadap peningkatan koefisien kekuatan siklik ( $K'$ ) (67.2%) dan exponensial pengerasan regangan ( $n'$ ) (83.0%). Peningkatan daerah regangan plastis (energy plastis) secara langsung mempengaruhi umur fatik baja. Persamaan empiris untuk memprediksi fatik siklus rendah baja AISI 4140 kondisi anil dapat dilakukan melalui pendekatan regangan amplitudo regangan plastis-elastis terhadap jumlah kebalikan siklus (*reversal to failure*,  $2N_f$ ) (Persamaan Basquin-Coffin-Manson), yaitu:

$$\Delta\varepsilon/2 = 877.711(2N_f)^{-0.0987} + 0.1421(2N_f)^{-0.4553}.$$

3. Jumlah fasa ferrit yang dihasilkan melalui proses anil baja AISI 4140 berkontribusi terhadap peningkatan pengerasan regangan dengan meningkatnya kerapatan dislokasi pada antara butir-butir ferit dan perlit. Peningkatan dislokasi yang terjadi mampu menghambat/menunda terbentuknya retak inisiasi pada baja selama pengujian fatik siklus rendah. Oleh karena itu umur fatik baja AISI 4140 dapat diperlama.

## B. SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat disampaikan adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian *low cycle fatigue* pada baja AISI 4140 dengan laju regangan dan perlakuan panas *quenching* dan *tempering*.
2. Pada pengambilan foto mikro dengan mikroskop optik (OM) untuk daerah pengaruh beban siklik (arah longitudinal) dapat dilakukan pengambilan gambar melalui SEM, agar daerah ferit dan perlit secara jelas dapat dihitung jumlah per unit luasan daerah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adam, Kaharuddin. *Factor Perpatahan dan dan kelelahan pada kekuatan bahan material*. Makassar: ILTEK, Volume 6, Nomor 12, Oktober 2011.
- Amanto, H. 1999. *Ilmu Bahan*. Jakarta : Bumi Raksa.
- ASTM E8, 2004, Standar Tes Methods for Tension Testing of Metallic Material, West Conshohocken, United States. ASTM E606, 2004, Standard Practice for Strain.
- Azom, [www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6769](http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6769). (diakses 22 September 2017)
- Chandra, Hendri. 2009. *Fatigue life prediction*. Palembang: Universitas Sriwijaya.
- Dieter, George E. 1992. *Metalurgi Mekanik, jilid 1, edisi 3, ahli bahasa oleh Sriati Djafrie*, Jakarta: Erlangga.
- Hadi, Syamsul. 2016. *Teknologi Bahan*. Yogyakarta. Andi.
- Hu, X. Huang, L. Yan, W. Wang, W. Sha, W. Shan, Y. Yang, K. *Low cycle fatigue properties of CLAM steel at 823 K*. Materials Science & Engineering A 613 (2014) 404–413.
- Hu, X. Huang, L. Yang, Z. Wang, W. Sha, W. Shan, Y. Yang, W. *Low cycle fatigue properties of CLAM steel at room temperature*. Fusion Engineering and Design 88 (2013) 3050–3059.
- Li, Z. Han, J. Li, W. Pan, L. *Low cycle fatigue behavior of Cr-Mo-V low alloy steel used for railway brake disc*. Materials and Design 56 (2014) 146–157.
- Matweb, <http://www.matweb.com/search/QuickText.aspx?SearchText=AISI%204140>. (diakses tanggal 2 november 2017)

- Mishnev, R. Dudova, N. Kaibyshev, R. *Low cycle fatigue behavior of a 10Cr–2W–Mo–3Co–NbV steel*. International Journal of Fatigue 83 (2016) 344–355.
- Polak, J. Petras, R. Heczko, M. Kubena, I. Kruml, T. Chai, G. *Low cycle fatigue behavior of Sanicro25 steel at room and at elevated temperature*. Materials Science & Engineering A 615 (2014) 175–182
- Sarkar, A. Kumawat, B.K. Chakravartty, J.K. *Low cycle fatigue behavior of a ferritic reactor pressure vessel steel*. Journal of Nuclear Materials 462 (2015) 273–279.
- Salindeho. 2013. *Pemodelan Pengujian Tarik Untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material*. Sulawesi Utara: Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi.
- Smallman, R. E. 1991. *Metallurgi Fisik Modern*. Edisi 4. Jakarta : Gramedia.
- Souisa, Matheus. 2011. *Analisis Modulus Elastisitas dan Angka Poisson Bahan dengan Uji Tarik*. Ambon: Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Pattimura.
- Tian, D.D. Liu, X.S. He, G.Q. Shen, Y. Ly, S.Q. Wang, Q.G. *Low cycle fatigue behavior of casting A319 alloy under two different aging conditions*. Materials Science & Engineering A 654 (2016) 60–68.
- Verma, P. Srinivas, N.C.S. Singh, S.R. Singh, V. *Low cycle fatigue behavior of modified 9Cr-1Mo steel at room temperature*, Material Science & Engineering A 652 (2016) 30-41