EVALUASI SIFAT FATIK SIKLUS RENDAH BAJA TARIK DINGIN AISI 1018 YANG DILAPISI ALUMINIUM CELUP PANAS

(Skripsi)

Oleh:

RIO DICKY KURNIAWAN

TEKNIKMESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019

EVALUASI SIFAT FATIK SIKLUS RENDAH BAJA TARIK DINGIN AISI 1018 YANG DILAPISI ALUMINIUM CELUP PANAS

Oleh

RIO DICKY KURNIAWAN

ABSTRAK

Baja tarik dingin AISI 1018 merupakan baja karbon rendah dengan kandungan karbon (C) 0.18 wt%, dan memiliki kekuatan dan keuletan yang cukup baik. Pelapisan aluminium celup panas diterapkan pada baja untuk perubahan sifat mekanik dan fatik baja. Sifat mekanik baja setelah proses pelapisan dilakukan dengan pengujian tarik (ASTM E8) dan uji fatik siklus rendah (ASTM E606) dengan amplitudo 0.003-0.005-0,007 mm/mm dan laju regangan konstan 0.005/s. Hasil pengujian tarik baja lapis aluminium menunjukan penurunan kekuatan ultimate turun sebesar 42,5 %, dan tegangan luluh turun sebesar 61,2 %. Hasil pengujian fatik siklus rendah dievaluasi menggunakan pendekatan Coffin-Manson-Basquin, untuk memprediksi umur fatik paduan dalam kondisi pembebana elastis (metode Basquin) dan plastis (metode Coffin-Mason). Perilaku pelunakan dan pengerasan regangan yang dialami pada spesimen dipelajari melalui kurva tegangan-jumlah siklus pada amplitude regangan yang diamati. Fasa intermetalik yang terbentuk dari baja tarik dingin AISI 1018 yang dilapisi Al yaitu senyawa FeAl termasuk Fe_2Al_5 dan $FeAl_3$. Dan pada baja AISI 1018 yang dilapisi Al memiliki butir yang memanjang dan halus terjadi karena proses deformasi pada pengujian fatik.

Kata kunci: Baja tarik dingin AISI 1018, aluminium celup panas, fatik siklus rendah, Coffin-Manson-Baquin, fasa intermetalik

EVALUATION OF LOW CYCLE FATIGUE PROPERTIES OF COLD-DRAWN AISI 1018 STEEL BY HOT DIPPING ALUMINIZING COATING

BY

RIO DICKY KURNIAWAN

ABSTRACT

A cold-drawn AISI 1018 steel with a low carbon content of ~0.18 wt% has high mechanical strength and is relative ductile. The steel was coated by hot-dipping aluminizing coating for the high-temperature application purposes. Regarding to application of the aluminized steel in the engineering structures, the mechanical properties and fatigue life of the materials were investigated experimentally. The mechanical and the fatigue properties of the steel with Al-coating respectively were determined by tensile testing (ASTM E8) and the low cycle fatigue tests (ASTM E606) with strain amplitude of 0.003-0.005-0,007 mm/mm at constant strain rate of 0.005/s. From the tensile test results, the ultimate strength of steel with aluminum coating decreased about 42.5% and the yield strength decreased up to about 61.2%. The properties of low cycle fatigue were determined using the Coffin-Manson-Basquin approach to predict fatigue life of steel in elastic region (Basquin equation) and plastic region (Coffin-Mason equation). The cyclic softening and hardening behavior were analyzed through a stress response with a number of cycles at the observed strain amplitude. The intermetallic phases formed on cold drawn AISI 1018 steel are Fe_2Al_5 and $FeAl_3$, which decrease the low cycle fatigue life of cold-drawn ISI 1018 steel.

Keywords: Cold-drawn steel AISI 1018, hot-dip aluminizing, low cycle fatigue, intermetallic phase.

EVALUASI SIFAT FATIK SIKLUS RENDAH BAJA TARIK DINGIN AISI 1018 YANG DILAPISI ALUMINIUM CELUP PANAS

Oleh

RIO DICKY KURNIAWAN

Skripsi

Sebagai satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019

Judul Skripsi : **EVALUASI SIFAT FATIK SIKLUS RENDAH BAJA TARIK DINGIN AISI 1018 YANG DILAPISI ALUMINIUM CELUP PANAS**

Nama Mahasiswa : Rio Dicky Kurniawan

Nomor Pokok Mahasiswa : 1345021006

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Moh. Badaruddin, S.T., M.T., Ph.D.	**Dr. Sugiyanto, M.T.**
NIP 19721211 199803 1 002	NIP 19570411 198610 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Moh. Badaruddin, S.T., M.T., Ph.D.** .....

Anggota Penguji : **Dr. Sugiyanto, M.T.** .....

Penguji Utama : **Zulhanif, S.T., M.T.** .....

2. Dekan Fakultas Teknik

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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **26 Juli 2019**

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

METERAI TEMPEL
FE49EAFF930426869
6000
ENAM RIBU RUPIAH

Rio Dicky Kurniawan
NPM. 1345021006

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 22 Juni 1995, sebagai anak kedua dari pasangan Bapak Suyanto dan Ibu Nurmilamsyah. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 1 Panjang Selatan pada tahun 2007, pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 30 Bandar Lampung pada tahun 2010, pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Printis 1 Bandar Lampung pada Tahun 2013, dan pada tahun 2013 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung Selama menjadi mahasiswa teknik mesin, penulis aktif dalam keorganisasian kampus, yaitu sebagai anggota Kaderisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) tahun 2014/2015, sebagai anggota Penelitian dan Pengembangan Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) tahun 2015/2016. Penulis melaksanakan kerja praktek di PLTU SEBALANG Lampung Selatan pada tahun 2016. Melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Tematik di desa Kutawaringin Kecamatan Adiwulih Kabupaten Pringsewu Provinsi Lampung selama empat puluh hari pada tahun 2018. Kemudian pada tahun 2018 penulis melakukan penelitian tugas akhir yang dilakukan pada bidang material teknik dengan judul **“EVALUASI SIFAT FATIK SIKLUS RENDAH BAJA TARIK DINGIN AISI 1018 YANG DILAPISI ALUMINIUM CELUP PANAS”** dibawah

bimbingan langsung dari Bapak Moh. Badaruddin, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Dr. Sugiyanto, M.T.

MOTTO

"Jadilah orang baik "

(Penulis)

"Badai pastilah berlalu"

(Penulis)

"Dimana bumi dipijak, disitu langit dijunjung"

(urang minang)

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillahirobbilalamin, puji syukur kehadirat 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 Baja Tarik Dingin AISI 1018 yang Dilapisi Aluminium Panas"* 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. Bapakku tercinta Suyanto dan Ibuku Nurmilamsyah yang tak pernah henti-hentinya memberikan dukungan moril dan materilnya serta do'a dan kasih sayangnya.
2. Abangku Ardi kaswiriyansyah dan embak Endah Padmah yang selalu dukungan serta motivasi bagi penulis.

3. Bapak Ahmad Suudi, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Bapak Moh. Badaruddin, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing utama tugas akhir ini, yang banyak memberikan waktu, ide pemikiran dan semangat serta motivasi bagi penulis.
6. Bapak Dr. Sugianto, M.T. selaku pembimbing kedua tugas akhir ini, yang telah banyak memberikan waktu dan pemikiran bagi penulis.
7. Bapak Zulhanif, S.T.,M.T. selaku dosen pembahas yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang bermanfaat bagi penulis.
8. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung berkat ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama penulis menjalani masa studi di perkuliahan.
9. Staf Akademik serta Asisten Laboratorium yang telah banyak membantu kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Rekan-rekan sahabat Armando, Aufadiyah, Nuril, Prahara, Oki, Kelvin, Wahyu, Mursani, Ridwan dan Bastian yang telah memberikan dukungan semangat dalam pelaksanaan tugas akhir
11. Rekan–rekan Lab. Material Teknik yang turut membantu dalam pelaksanaan tugas akhir. Cristian, Prahara Asmara, Fadel Raka Pratama, Aloi Tarigan, Riyansyah Putra Pratama dan Raden Sadewo, terimakasih atas waktu dan tenaga yang diberikan untuk pelaksanaan tugas akhir.
12. Seluruh rekan-rekan teknik mesin khususnya rekan seperjuangan angkatan 2013, 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 2013.“Salam Solidarity Forever”.

13. 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, Agustus 2019
Penulis,

Rio Dicky Kurniawan
NPM. 1345021006

DAFTAR ISI

halaman

HALAMAN JUDUL i

HALAMAN PENGESAHAN ii

PERNYATAAN PENULIS..... iv

RIWAYAT HIDUP v

MOTTO vi

SANWACANA vii

DAFTAR ISI ix

DAFTAR TABEL xiii

DAFTAR GAMBAR xvi

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Tujuan Penelitian 3

1.3 Batasan Masalah 3

1.4 Sistematika Penulisan 4

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja Tarik Dingin AISI 1018..... 6

2.2 Aluminium Celup Panas (*Hot Dipping*)..... 7

2.3 *Hot Dipping* Aluminium 8

2.4 Pertumbuhan Fasa Intermetalik Fe – Al 9

2.5 Sifat Mekanik Logam 11

2.6 Pengujian Tarik..... 13

2.7 Fatik (Fatigue)..... 15

2.8 Uji Fatik Siklus Rendah..... 18

2.9 *Optical Microscophy* (OM)..... 20

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian.....22

3.2 Bahan dan Alat 22

3.2.1 Bahan spesimen yang digunakan 22

3.2.2 Alat-alat yang akan digunakan 23

3.3 Dimensi Spesimen Uji 24

3.4 Pelaksanaan Penelian.....25

3.4.1 Persiapan spesimen.....26

3.4.2 Pembuatan Spesimen.....26

3.4.3 Proses Pelapisan aluminium celup panas 27

3.4.4 Prosedur Pengujian.....30

3.5 Diagram Alir Penelitian.....34

IV. HASIL DAN PENELITIAN

4.1 Hasil Pengujian Tarik 37

4.2 Hasil Pengujian Fatik Siklus Rendah (*Low Cycle Fatigue*) 38

4.3 Pelunakan dan Pengerasan Regangan.....41

4.4 Pendekatan Kelelahan Siklus Rendah Berbasis Coffin-Mansion-Basquin 48

4.3 Observasi Mikrostruktur.....51

V. SIMPILAN DAN SARAN

5.1 Simpulan.....56

5.2 Saran 57

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

2.1 SEM (*scanning electron microscope*) analisa dari *coating* aluminium 9

2.2 Mikrografi difusi baja karbon (a), (b) dan (c) masing-masing dicelupkan selama 10, 30, dan 60 detik.....10

2.3 Diagram fasa binary Fe-Al.....10

2.4 Kurva Tegangan-Regangan.....13

2.5 Fatik Siklus Rendah dan Tinggi.....19

2.6 Strukturmikro dari Baja AISI 1018.....21

3.1 Baja Tarik Dingin AISI 1018.....23

3.2 Jangka Sorong.....24

3.3 Mesin MTS *Landmark* 100 kN 25

3.4 Bentuk dan Ukuran Spesimen Uji Fatik ASTM E606 26

3.5 Spesimen Uji Tarik Sesuai Standar ASTM E8 27

3.6 Spesimen uji tarik.....26

3.7 Larutan HCL ~ 10 wt %.....28

3.8 *Aquades* 28

3.9 *Ethanol* 29

3.10 Flux 30

3.11 *Fuenace* Proses Aluminium Celup Panas 31

3.12. Larutan HNO_3+H_3PO_4+*aquades*.....32

3.13 Diagram Alir Penelitian 36

4.1 Kurva Tegangan Versus Regangan pada Baja AISI 1018 (*Raw Material*) dan AISI 1018 (*Hot-Dip Aluminizing*) 37

4.2 Foto Pengujian Fatik Siklus Rendah dengan Kontrol Regangan Menggunakan Extensometer.....39

4.3 Hubungan Tegangan Puncak Terhadap Jumlah Siklus Baja AISI 1018 pada Pengujian Fatik Siklus Rendah dengan Variasi Amplitudo Regangan.....42

4.4 Hubungan Tegangan Puncak Terhadap Jumlah Siklus Baja AISI 1018 *Hot-Dip Aluminizing* pada Pengujian Fatik Siklus Rendah dengan Variasi Amplitudo Regangan 42

4.5 Evolusi Perubahan Tegangan-Regangan pada Setiap Siklus yang Berbeda dan Kondisi Amplitudo Regangan 0,003 mm/mm 44

4.6 Evolusi Perubahan Tegangan-Renggangan pada Setiap Siklus yang Berbeda dan Kondisi Amplitudo Regangan 0,005 mm/mm 46

4.7 Evolusi Perubahan Tegangan-Renggangan pada Setiap Siklus yang Berbeda dan Kondisi Amplitudo Renggangan 0,007 mm/mm 46

4.8 Kurva *Strain Versus Reversal to Failure* pada Baja AISI 1018 50

4.9 Kurva *Strain Versus Reversal to Failure* pada Baja AISI 1018 *Hot-Dip Aluminium* 51

4.10 Foto mikro baja AISI 1018 (a) tanpa pelapisan Al-celup panas dan (b) dengan pelapisan Al-celup panas 52

4.11 Pola perambatan retak fatik siklus rendah baja AISI 1018 amplitudo regangan 0.003 mm/mm 53

4.12. Pola perambatan retak sampel baja AISI 1018 lapis Al celup panas setelah mengalami fatik siklus rendah pada regangan amplitudo 0.007 mm/mm 54

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

1.1 Komposisi Kimia Baja AISI 1018 7

3.3 Data Uji Tarik 32

3.4 Variabel Pengujian Fatik Siklus Rendah 34

4.1 Hasil uji tarik baja AISI 1018 38

4.2 Hasil uji fatik siklus remdah baja AISI 1018.....39

4.3 Hasil uji fatik siklus rendah baja AISI 1018 *hot-dip aluminizing coating*.....39

4.4. Hasil siklus *ratio softening* dan *ratio hardening* pada baja AISI 1018 48

4.5 Hasil siklus *ratio softening* dan *ratio hardening* pada baja AISI 1018 *hot-dip alumunium coating*.....48

4.6 Nilai parameter dihitung dengan model prediksi umur kelelahan Coffin-Mansion-Basquin. 49

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Baja Tarik dingin AISI 1018 merupakan baja karbon rendah dengan kandungan karbon (C) ~0.18 wt%, serta kandungan unsur-unsur lainnya yaitu: 0.03 Cr, 0.87 Mn, 0.34 Si, 0.02 P, 0.06 S (wt %) (Matweb, 2018). Baja ini memiliki kekuatan dan keuletan yang cukup baik. Baja Tarik dingin AISI 1018 diaplikasikan pada pipa boiler dan komponen elemen mesin berupa poros dan pegas. Penggunaan pipa baja telah menjadi pilihan yang luas pada kontruksi bangunan yang mengutamakan komninasi struktur ringan dan estetika arsitektur (Yuan dkk, 2016).

Kegagalan dan kerusakan dari komponen elemen mesin dapat berupa kelelahan atau fatik. Hal ini dapat disebabkan karena beban dinamik yang diberikan pala elemen mesin dalam waktu yang lama dan berulang-ulang. Tidak ada indikasi awal terjadinya patah fatik dan retakan fatik yang terjadi bersifat halus, maka patah fatik sulit untuk dideteksi dari awal. Maka harus ada pengujian fatik untuk mengetahui dan memprediksi terjadinya kelelahan atau fatik. Panjang retak awal muncul sebagai cacat menyebabkan penurunan umur kelelahan. Ada dua jenis pengujian fatik

yaitu kelelahan siklius rendah (*low cycle fatigue testing*) dan kelelahan siklus tinggi (*high cycle fatigue testing*).

Untuk dapat meningkatkan ketahanan baja pada temperatur tinggi, metode digunakan adalah menerapkan lapisan aluminium ke permukaan baja melalui pencelupan baja ke dalam bak Al-cair selama waktu tertentu untuk meghasilkan lapisan aluminium dan intermetalik Fe-Al. Metode ini lebih murah dan lebih efektif daripada metode pelapisan lainnya (Wang dan Badaruddin, 2010), dimana lapisan aluminium pada permukaan baja sudah terbukti mampu meningkatkan ketahanan baja terhadap serangan uap air.

Salimor (2017) melaporkan bahwa kekuatan tarik baja tarik dingin AISI 1018 adalah 554.044 MPa pada suhu ruang (25°C). Sedangkan pada suhu 100°C, 200°C, dan 400°C baja mengalami penurunan kekuatan tarik, kemudian kekuatan baja meningkat pada suhu 500°C sebesar 585.149 MPa. Digunakan sebagai batas maksimum yang diijinkan dalam pemberian tingkat pembebanan, pengujian ini tanpa dilapisi dengan alumunium cair. Menurut Dewa (2009), kekuatan tarik aluminium murni adalah 90 MPa, sedangkan aluminium paduan memiliki kekuatan tarik berkisar hingga 220 MPa. Hasil sifat mekanik dari *stainless steel* 304 adalah memiliki *tensile strength* sebesar 586 MPa tanpa dilapisi aluminium celup panas dan pengujian tarik yang dilapisi aluminium celup panas diperoleh untuk tegangan maksimum sebesar 540,325 MPa dan tegangan luluh 285,360 MPa (Farid, 2018).

Berdasarkan uraian dan penjelasan dari beberapa literatur, pengaruh pelapisan aluminium celup panas pada baja tarik dingin AISI 1018 terhadap perubahan sifat mekanik dan fatik siklus rendah menjadi perhatian penulis untuk melakukan riset dalam tugas akhir ini. Maka dari itu, penulis ingin meneliti mengenai **"Evaluasi Sifat Fatik Siklus Rendah Baja Tarik Dingin AISI 1018 yang Dilapisi Aluminium Celup Panas".**

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan sifat fatik siklus rendah baja tarik dingin AISI 1018 yang dilapis aluminium celup panas melalui pendekatan model *empiric* dari Coffin-Manson-Basquin
2. Mengetahui pengaruh fasa intermetalik Fe-Al yang terbentuk pada permukaan baja terhadap perilaku fatik baja.
3. Mempelajari mekanisme kegagalan fatik siklus rendah terhadap karakteristik patahan yang dihasilkan selama uji fatik.

1.3 Batasan Masalah

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

A. Kondisi pengujian fatik siklus rendah pada temperatur ruang.

B. Laju reganngan konstan 0,005/s

1.4 Sistematika Penulisan

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

I. PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan tentang latar belakang yang menjelaskan kandungan baja tarik AISI 1018 dan aplikasinya, faktor-faktor penyebab kegagalan fatik, pelapisan celup panas aluminium, penjelasan hasil uji tarik dari beberapa literatur, serta penjelasan tentang tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan Laporan Tugas Akhir ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka besisi tentang peninjauan kembali literature yang menjelaskan tentang baja AISI 1018, bentuk ukuran spesimen uji, pelapisan dengan metode pencelupan aluminium panas, pertumbuhan fasa intermetalik Fe-Al, kekuatan tarik, fatik, fatik siklius rendah, dan *optical microscophy*

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian terdiri dari hal-hal yang menjelaskan pelaksanaan penelitian yaitu tempat penelitian, bahan penelitian, alat uji penelitian, prosedur penelitian, dan diagram alir pelaksanaan penelitian ini.

IV. DATA DAN PEMBAHASAN

Didalam bab ini membahas hasil dari pengujian tarik, hasil dari pengujian fatik siklus rendah serta hasil observasi mikrosturktur baja AISI 1018 yang dilapisi aluminium celup panas.

V. PENUTUP

Setelah melaksanakan pengujian dan didapatkan hasilnya, bab ini menyimpulkan dari hasil akhir dan pembahasan sekaligus mamberi saran yang dapat menyempurnakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan mengenai literature dan jurnal internasional yang diperoleh penulis untuk mendukung dalam penyusunan tugas akhir ini.

LAMPIRAN

Berisikan data dan perhitungan yang mendukung penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Baja Tarik Dingin AISI 1018

Baja ringan atau baja karbon rendah AISI 1018 memiliki ketangguhan, kekuatan dan keuletan yang baik. Baja ini termasuk dalam golongan baja karbon rendah karena dalam komposisinya mengandung karbon (C) sebesar 0,14%-0,20% (<0,30% C) (Matweb,2018). AISI 1018 adalah standard *American Iron and Steel Institute*, dua digit pertama menggambarkan tipe material. Angka 1 pada digit pertama menunjukan baja karbon (*carbon steel*), angka 0 menyatakan *plain* (tidak ditambahkan sulfur dan fosfor) dan 18 menunjukkan kadar karbon (C) sekitar 0,18%.

Baja ini banyak digunakan pada berbagai jenis kontruksi pembangkit listrik, konstruksi bangunan, kontruksi jembatan, bangunan gedung, rangka atap gedung bertingkat dan lain-lain. Berikut adalah table komposisi kimia dari baja tarik dingin AISI 1018;

Tabel 1.1. Komposisi Kimia Baja AISI 1018 (Matweb, 2018)

Unsur	%
C	0.14-0.20
Si	0.15-0.35
Mn	0.60-0.90
Fe	98.81-99.26%
S	<= 0.050
P	<= 0.040

2.2 Aluminium Celup Panas (*Hot Dipping*)

Pelapisan dengan metode *hot dipping* adalah suatu proses melapisi logam dengan cara mencelupkan pada sebuah material yang terlebih dahulu dilebur dari berbentuk padat menjadi cair pada sebuat bak atau wandah yang telah besiri material cair. Dalam beberapa saat logam yang dicelupkan akan terlapisi oleh lapisan berupa lapisan paduan antara logam pelapis dengan logam dasar dalam bentuk ikatan metalurgi yang kuat dan tersusun secara berlapis-lapis. Titik lebur yang digunakan untuk material pelapis ini tidak melebihi dari titik lebur logam yang akan dilapisi antara 420°C sampai 900 °C. Sebelum melakukan pelapisan logam, permukaan bendan kerja harus bebas dari oli, lemak, oksida dan kotoran lainnya.

Ada beberapa syarat sebelum melakukan peroses pencelupam panas yang harus di penuhi. Hal pertama yang harus dipenuhi adalah permukaan logam yang akan dilapisi bersih dan bebas dari kotoran. Logam juga harus mempunyai titik lebur yang lebih tinggi dari material prlapis (seng, timah

atau aluminium). Dan yang terakhir jumlah deposit material pelapis yang akan melapisi permukaan logam hendaknya proposional (Prasongko, 2012).

2.3 *Hot Dipping* Aluminium

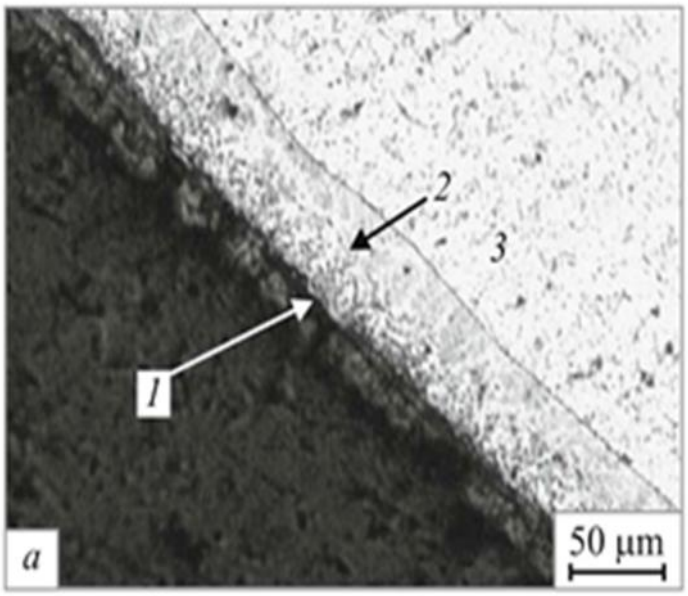
Ada material logam yang dijadikan pelapis celup panas salah satunya adalah aluminum. Dalam pemanfaatan aluminum sebagai pelapisan logam, ada dua jenis pelapisan pencelupan panas aluminum yaitu;

A. Pelapis aluminium tipe 1 (Pelapisan Al-Si)

   Lapisan ini adalah lapisan yang tipis yaitu dengan ketebalan menurut kelasnya. Untuk kelas 40 tebal lapisannya adalah 20-25 μm dan untuk kelas 25 biasanya untuk kepentingan tertentu yaitu pelapisan 12 μm. Silikon yang dicampurkan pada tipe 1 ini rata-rata adalah 5-11% untuk perintah mencegah pembentukan lapisan tebal antara logam besi- aluminium, dimana akan merusak pelekatan lapisan dan kemampuan untuk membentuk.

B. Pelapisan aluminium tipe 2 (Al Murni)

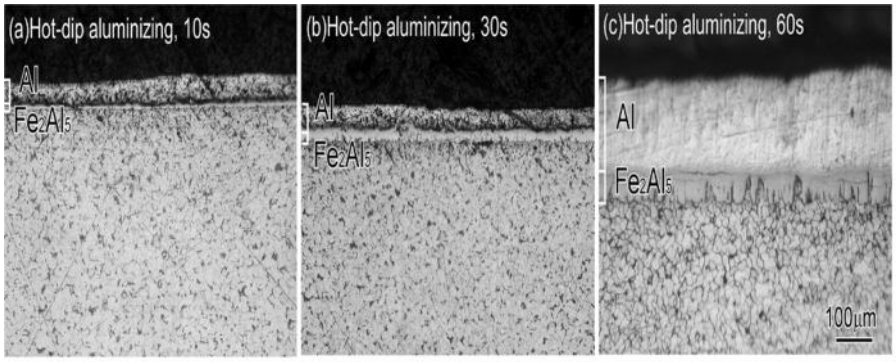
   Lapisan ini adalah lapisan yang ketebalnya 30-50 μm. Aluminium yang digunakan adalah aluminium murni. Produk yang dihasilkan bisanya digunakan pada kontruksi luar ruangan yaitu atap rumah, pipa air bawah tanah, menara yang memerlukan suhu tinggi. Pada lingkungan perairan laut, pelapisan ini sangat baik ketahannya terhadap korosi celah (Hong, 2010).



Gambar 2.1 SEM (*scanning electron microscope*) analisa dari *coating* Aluminium (Hong, 2010).

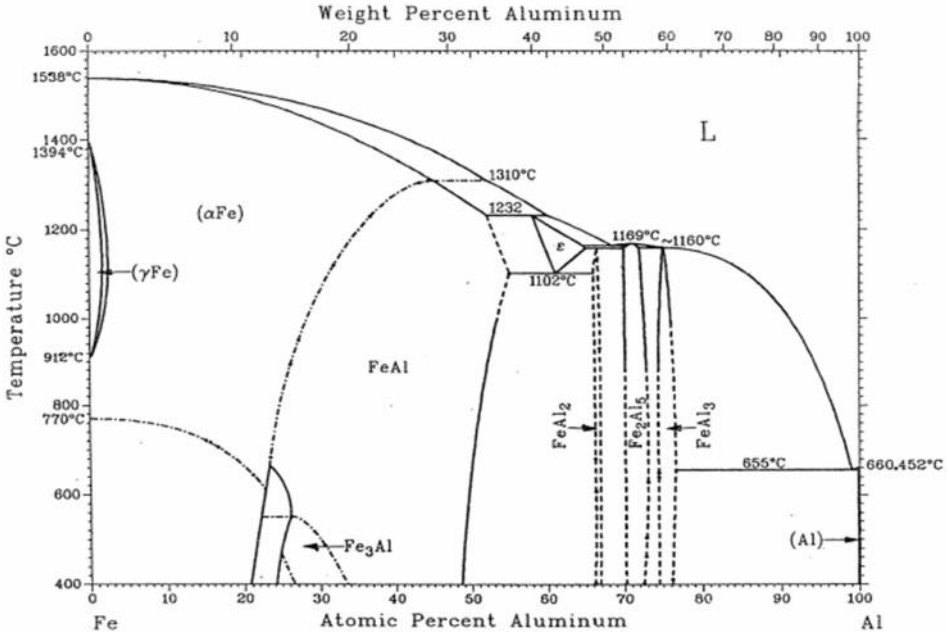
2.4 Pertumbuhan Fasa Intermetalik Fe – Al

Menurut Sasaki dan Yakou (2006), dimana Al berdifusi ke baja dengan perlakuan difusi setelah penekanan panas pada aluminium di suhu yang lebih rendah dari titik leleh aluminium. Lapisan paduan terbentuk oleh difusi pada suhu dari 700°C sampai 1000°C. Dalam pelapisan aluminium celup panas, lapisan Fe_2Al_5 terbentuk antara lapisan alumunium dengan permukaan baja sebelum diberi perlakuan difusi.



Gambar 2.2 Mikrografi difusi baja karbon (a), (b) dan (c) masing-masing dicelupkan selama 10, 30, dan 60 detik

Dilihat dari Gambar 2.3 yang menunjukkan tentang diagram fasa binary Fe-Al proses terjadinya alumunisasi paduan besi antara temperatur 655-1160 °C,



sehingga fasa intermetalik Fe-Al yang terbentuk yaitu $FeAl_3$ dan Fe_2Al_5.

Gambar 2.3 Diagram fasa binary Fe-Al (Kattner, 1990)

2.5 Sifat Mekanik Logam

Sifat mekanik logam merupakan sifat yang menyatakan kamampuan suatu logam dalam menerima suatu beban atau gaya tanpa mengalami kerusakan pada logam tersebut. Hal ini dilakukan untuk pengerjaan atau perlakukan lebih lanjut. Adapun sifat-sifat mekanik yang terpenting antara lain:

a. Kekuatan (*strenght*)

Yaitu kemampuan material logam dalam menerima gaya berupa tegangan mengalami patah. Kekuatan ini ada beberapa macam, dan ini tergantung pada beban yang bekerja antara kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan puntir, dan kekuatan bengkok.

b. Kekerasan (*hardness*)

Yaitu kemampuan material logam untuk tahan terhadap goresan, pengikisan (abrasi), penetrasi. Sifat ini berhubungan erat dengan sifat keausan (*wear resistance*).

c. Kekenyalan (*elasticity*)

Menyatakan kemampuan material logam untuk menerima tegangan dan kembali kebentuk asal setelah gaya dihilangkan. Hal ini terjadi sebelum masuk wilayah plastis dengan kata lain kemampuan material untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah mengalami deformasi (perubahan bentuk).

d. Kekakuan (*stiffness*)

Kemampuan material untuk mempertahankan bentuk tanpa mengalami

terjadinya deformasi atau difleksi setelah menerima tegangan atau beban.

e. Plastisitas (*plasticity*)

Menyatakan kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi (perubahan bentuk secara permanen) permanen sebelum terjadi patah, hal ini setelah masuk wilayah plastis dan mengalami sejumlah deformasi plastis. Bahan yang mampu mengalami deformasi plastis yang cukup tinggi dimana bahan tersebut dikatakan ulet (*ductile*). Sedanga bahan yang tidak menunjukkan terjadinya deformasi plastis dikatakan sebagai bahan yang mempunyai keuletan yang rendah dikatakan getas atau rapuh (*brittle*).

f. Keretakan (*crack*)

Merupakan kecenderungan suatu logam untuk mengalami deformasi plastik

bila pembebananyang besarnya relatif tetap dalam waktu yang lama pada suhu yang tinggi.

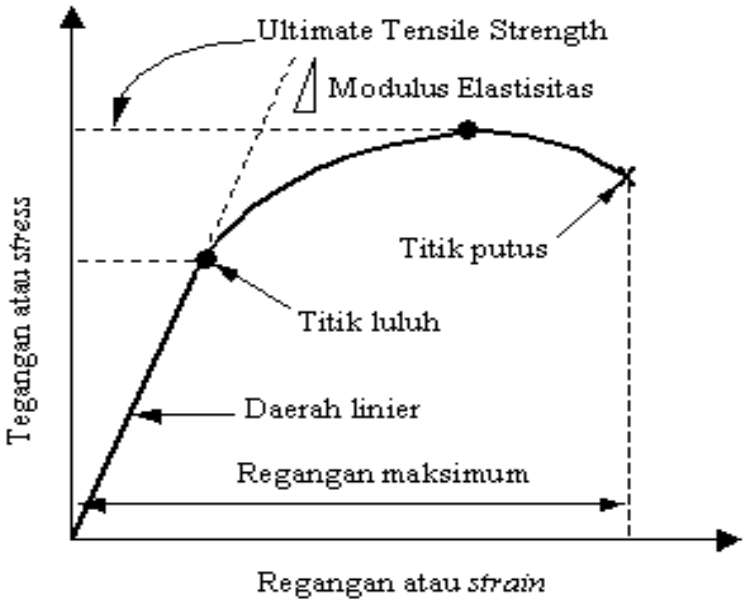
g. Kelelahan (*fatique*)

Merupakan kecenderungan dari logam untuk patah bila menerima tegangan berulang-ulang (*cyclis stress*) yang besarnya dibawah batas kekuatan luluh (*yield strength*). Sebagian besar dari kerusakan yang terjadi pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan. Karenya kelelahan merupakan sifat yang sangat penting tetapi sifat ini juga sulit diukur karena sangat banyak faktor yang mempengaruhinya.

Untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan, tentu kita harus mengadakan pengujian terhadap bahan tersebut. Ada empat jenis uji coba yang biasa dilakukan, yaitu uji tarik *(tensile test*), uji tekan (*compression test*), uji torsi (*torsion test*), dan uji geser (*shear test*).

2.6 Pengujian Tarik

Salah satu cara untuk mengetahui kekuatan tarik maksimum dan kekuatan luluh pada suatu material adalah dengan cara pengujian tarik. Prinsip dari penguji tarik dengan menggunakan mesin yang dapat memberikan gaya tarik yang tinggi pada material dan memberikan cengkraman yang besar, sehingga material uji tidak terlepas ketika diberikan gaya tarik. Uji tarik memiliki prinsip dasar dari hukum hooke (*hooke's law*) dimana regangan (*strain*) dan rasio tegangan (*stress*) adalah konstan. Hasil dari pengujian tarik adalah grafik tegangan-regangan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Kurva Tegangan-Regangan (Dieter, 1992)

Sifat mekanik yang diketahui berdasarkan kurva tegangan- rengganga dari pengujian tarik adalah kekuatan tarik maksimum (σ_u). Kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strenght*) adalah beban maksimum dibagi dengan luas penampang awal. Kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strenght*) ini diperoleh dari persamaan 2.1:

$$\sigma_u = \frac{P_{maks}}{A_0} \quad \text{.....(2.1)}$$

Dimana:

σ_u : Kekuatan tarik maksimum (Mpa)

P_{maks} : Beban maksimum (kN)

A_O : Luas penampang awal (mm^2)

Sifat mekanik lain yang diketahui dari pengujian tarik adalah kekuatan luluh (σ_y). Kekuatan luluh (*yield strength*) adalah tegangan yang menentukan beban maksimal yang diberikan padamaterial sebelum mengalami deformasi plastis. Harga dari kekuatan atau tegangan luluh (*yield strength*) dengan cara beban luluh dibagi dengan luas penampang awal, seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.2

$$\sigma_y = \frac{P_y}{A_0} \quad \text{.....(2.2)}$$

Dimana:

σ_y : Kekuatan luluh (Mpa)

P_y : Beban luluh (kN)

A_O : Luas penampang awal (mm^2)

Untuk mencari nilai dari modulus elastis dengan cara tegangan (σ) dibagi dengan regangan (ε), seperti yang dituliskan pada persamaan 2.4 (Dieter, 1992).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{.....(2.3)}$$

Dimana:

E: Modulus elastis (N/m^2)

σ: tegangan (MPa)

ε: regangan (mm/mm)

2.7 Fatik (*Fatigue*)

Fatik (*fatigue)* atau kelelahan merupakan suatu fenomena timbulnya retak pada material akibat beban berulang yang terjadi karena pengulangan tegangan atau regangan yang berfluktuasi dibawah *yield strength* dalam waktu tertentu (Yoder, 1975). Fenomena tersebut diawali dengan terbentunya retak pada permukaan ataupun di dalam struktur material.

Menurut Schijve, terdapat 5 fase selama proses *fatigue*, yaitu; *cylic slip, crack nucleation, growth of microcrack, growth of macrocrack* dan *final failure (ASM Handbook Committee Volume* 19, 2002). Dari 5 fase proses *fatigue* tersebut dibagi menjadi 2 tahap, yaitu:

a) Tahap Retak Awal (*Crack Initiation*)

Awal retak biasanya dimulai dari permukaan. Hal ini terjadi karena permukaan menerima beban terbesar dan paling memungkinkan terjadinya konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh adanya perubahan dimensi pada permukaan atau proses pengerjaan tertentu pada material. Adanya cacat di dalam material akan menyebabkan juga konsentrasi tegangan. Pada beban tarik pertama, slip terjadi dengan membentuk permukaan dengan sumbu tegangan. Hal ini akibat tegangan geser maksimal yang terjadi pada sudut tersebut. Pembebanan selanjutnya menyebabkan slip pada arah yang berlawanan. Slip ini terjadi pada bidang yang berdekatan dengan yang pertama. Dan selanjutnya merupakan proses pengulangan dalam pembebanan siklus yang sama. Tahap retak awal ini meliputi fase *cylic*

slip, fase pembentukan inti retak (*crack nucleation*) dan pertumbuhan retak mikro (*growth of microcrack*).

b) Tahap Perambatan Retak (*Crack Propagation*)

Perambatan retak pada suatu komponen terjadi jika tegangan maksimum pada ujung retakan berada di atas kekuatan material. Hal ini mengakibatkan peningkatan konsentrasi tegangan pada ujung retak. Awal retakan mula-mula akan menjalar pada bidang slip di dalam beberapa butir dengan kecepatan yang sangat lambat. Pengamatan secara makro tidak akan menampakkan perambatan ini. Peristiwa ini disebut perambatan retak tahap 1. Selanjutnya pertumbuhan retak pada tahap 2 ditandai dengan adanya striasi. Pada tahap ini pertumbuhan retak tegak lurus dengan tegangan tarik maksimum. Retakan mulai kelihatan dengan mata telanjang, oleh karena itu disebut dengan retak makro. Pengamatan retak pada penelitian biasanya difokuskan pada tahap ini.

Ketahanan *fatigue* suatu material tergantung dari perlakuan atau kondisi permukaan dan temperatur waktu penggunaannya. Perlakuan permukaan akan merubah kondisi permukaan dan tegangan sisi di permukaan material. Ketidakteraturan dan kekasaran pada permukaan secara umum dapat mengakibatkan sifat *fatigue* lebih rendah daripada permukaan yang halus. Pada beberapa pelapisan (*chromizing*) menyebabkan kekuatan *fatigue* menjadi lebih rendah dibanding dengan tanpa pelapisan (Collins, 1993).

Terdapat dua jenis siklus umum fatik, antara lain:

a) *High Cycle Fatigue* (HCF)

High cycle fatigue (fatik siklus tinggi) dipengaruhi dengan adanya *strain* elastis, frekuensi yang tinggi, frekuensi yang dapat mencapai ribuan siklus per detik dan amplitudo rendah. Pada HCF pembebanan yang menyebabkan kegagalan dengan jumlah siklus sampai 10^6 dan di luar kondisi elastis. Hal ini khusus dalam mesin turbin pesawat gas dan telah menyebabkan kegagalan sebelum waktunya dari komponen mesin utama (kipas, kompresor, turbin).

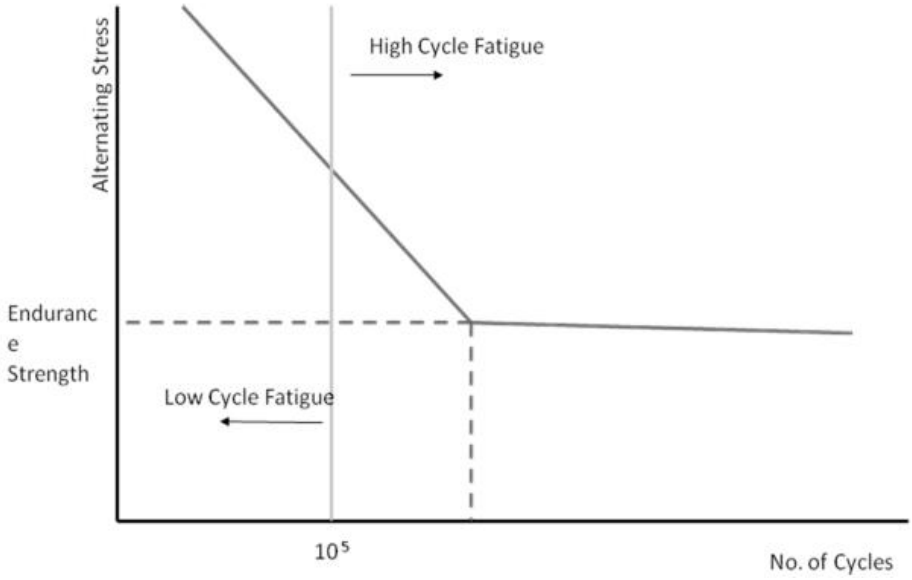
b) *Low Cycle Fatigue* (LCF)

Low Cycle Fatigue (fatik siklus rendah) kebalikan dari HCF, dipengaruhi dengan adanya *strain* plastis, frekuensi yang rendah, dan amplitudo tinggi. Pada fatik siklus rendah retak yang terjadi sangat lama. Penelitian LCF sangat penting untuk memahami kegagalan material untuk keperluan perencanaan dan rekayasa. Contoh komponen *low cycle fatigue* ini adalah mesin jet, bejana tekan, pipa, dan lain-lain.

2.8 Uji Fatik Siklus Rendah

Fatik siklus rendah (*low cycle fatigue*) adalah salah satu mode kegagalan yang banyak dialami material dalam struktur suhu tinggi. Ketika material

mengalami stres yang relatif tinggi dan kegagal pada jumlah siklus rendah material tersebut dikenakan dalam fatik siklus rendah. Penelitian secara luas telah dilakukan untuk mempelajari perilaku berbagai logam dalam kondisi LCF dalam 50 tahun terakhir. Tujuan di balik penelitian ini adalah untuk mengembangkan teori memprediksi kelelahan suatu material di bawah kondisi pembebanan dan lingkungan yang berbeda (Agrawal, 2014).



Gambar 2.5 Fatik siklus rendah dan tinggi

Uji kelelahan logam dalam fatik siklus rendah, termasuk di suhu tinggi, dilakukan sesuai dengan standar: ISO 6892-1, ISO, ASTM E 606, GB/T 15248-2008, GB/T4338-2006, (JIS) Z2201. Standar ini berisi pedoman untuk bentuk spesimen uji, laju regang dan frekuensi, pengukuran tekanan, tekanan dan suhu, dan lainnya. Gambar 2.5 menunjukkan sebuah histeresis tegangan-regangan ideal yang dihasilkan dari uji kelelahan siklus rendah dimana siklik renggangan disimpan konstan.

Perhitungan umur kelelahan material pada suhu tinggi dapat dilakukan menggunakan kriteria untuk akumulasi kerusakan. Hubungan antara $\Delta\varepsilon_p/2$ dan $2N_f$ sangat penting untuk mengevaluasi dan mengkarakteristik sifat fatik agar meningkatkan kinerja fatik suatu bahan. Diagram hubungan siklis renggangan dapat dijelaskan dengan persamaan *coffin-manson* (Szusta, 2018);

$$\frac{\Delta\varepsilon_t}{2} = \frac{\Delta\varepsilon_e}{2} + \frac{\Delta\varepsilon_p}{2} = \frac{\sigma_f'}{E}(2N_f)^b + \varepsilon_f'(2N_f)^c \quad \text{... .....(2.4)}$$

Dimana;

$\frac{\Delta\varepsilon p}{2}$: total amplitudo regangan

σ'_f: koefisien kekuatan fatik

E: modulus young

N_f: jumlah siklus kegagalan

ε_f': koefisien daktilitas fatik

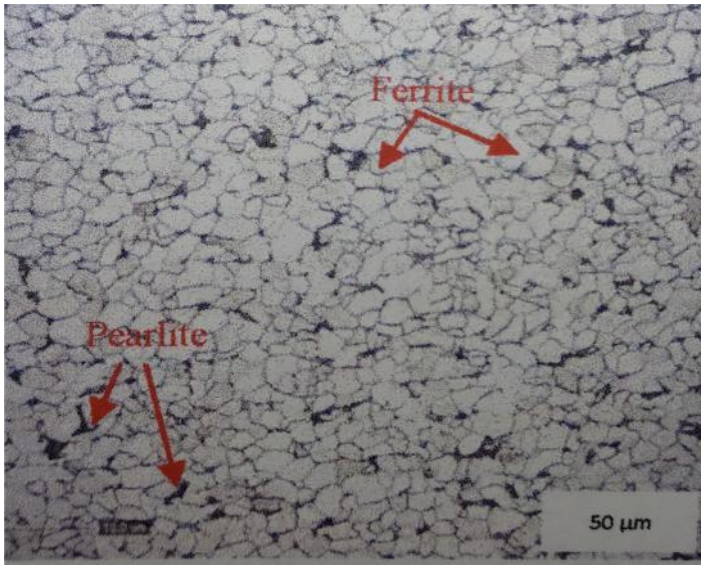
b : kekuatan exponent fatik

c : exponent daktilitas fatik

2.9 *Optical Microscophy* (OM)

Optical Microscophy merupakan mikroskop yang menggunakan cahaya lampu sebagai pengganti cahaya matahari sebagaimana yang digunakan pada mikroskop konvensional. Pemeriksaan bahan dengan menggunakan cahaya untuk memberikan gambar yang diperbesar dari struktur mikro dan makro. Karena struktur makro dan mikro pada logam dapat menentukan perilaku material, karakterisasi pengaruh komposisi, pengolahan, kondisi

pelayanan, dan variabel lain seperti pada makro dan mikro sering diperlukan. Karena hubungan antara struktur dan sifat, karakterisasi metalografi digunakan dalam bahan spesifikasi, kontrol kualitas, jaminan kualitas, pengendalian proses, dan analisis kegagalan. metalografi optik berlaku untuk studi mulai dari penelitian mendasar ke evaluasi produksi (ASM Handbook volume 9, 1985, pp. 1438-1453).



Gambar 2.6 Struktur mikro dari baja AISI 1018 (Salimor, 2017)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat Penelitian

a. Pengujuan Tarik dan Fatik

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

b. *Optical Microscophy*

Penelitian mikrostruktur baja diuji dilabotarium Metalurgi Teknik Material Institut Teknologi Bandung

3.2. Bahan dan Alat

3.2.1. Bahan spesimen yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah:

a. Baja Tarik dingin AISI 1018

Material yang digunakan yaitu baja AISI 1018 berbentuk *cylinder*.

Gambar 3.1**.** Baja tarik dingin AISI 1018

3.2.2. Alat-alat yang akan digunakan pada penelitian tugas akhir ini, antara lain:

a. Jangka sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukukur diameter material uji fatik dengan satuan milimeter dengan ketelitian ± µm seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2.

Gambar 3.2**.** Jangka sorong

b. Mesin MTS *Landmark* 100 kN

Mesin MTS *Landmark* 100 kN merupakan alat yang digunakan untuk pengujian tarik statis dan fatik, yang tersedia di Laboratorium Material Teknik Jurusan Mesin Universitas Lampung, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3.

Gambar 3.3**.** Mesin MTS *Landmark* 100 kN

c. Mikroskop Optik

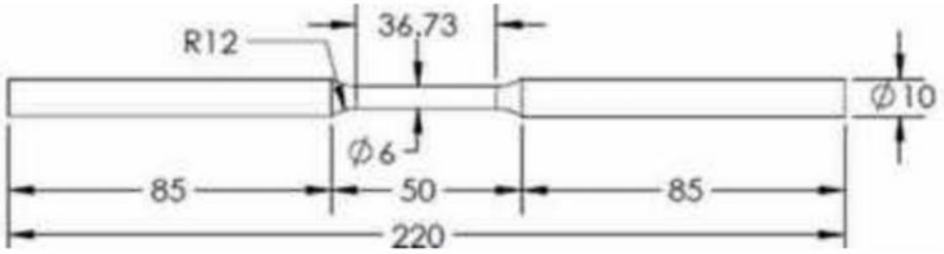
Mikroskop optik digunakan dilakukan untuk mempelajari perubahan fasa-fasa. Semua data kuantitatif dan kualitatif dari hasil OM, digunakan untuk mempelajari perilaku fatik siklus rendah melalui perubahan mikrostruktur dan perubahan fasa dalam baja tarik dingin AISI 1018 selama pengujian fatik siklus rendah,

3.3. Dimensi Spesimen Uji

3.3.2 Dimensi spesimen uji fatik siklus rendah

Baja tarik dingin AISI 1018 berbentuk *cylinder* berdiameter 10 mm dan dipotong sepanjang 220 mm, didapat di pasaran dan diuji

komposisi dengan *spectrometer*: 0.030Cr, 0.872Mn, 0.344Si, 0.022P, 0.006S (wt%). Spesimen uji fatik siklus rendah sesuai standar ASTM E606 (Gambar 3.5) dibuat menggunakan mesin CNC.



Gambar 3.5. Bentuk dan ukuran spesimen uji fatik ASTM E606

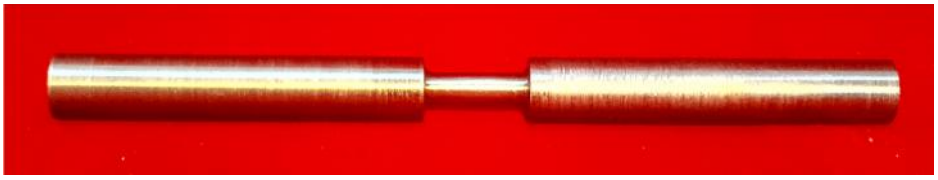
3.4. Pelaksanaan Penelitian

3.4.1. Persiapan spesimen

Material yang digunakan yaitu baja karbon rendah tarik dingin AISI 1018 berbentuk poros berdiamter 10 mm. Setelah diukur kemudian dipotong menggunakan mesin potong, lalu diamplas untuk menghilangkan karat pada permukaan baja tersebut.

3.4.2. Pembuatan Spesimen

Baja tarik dingin AISI 1018 dipotong sepanjang 220 mm untuk membuat spesimen uji tarik dan spesimen uji fatik. Proses pemesinan pembuatan spesimen menggunakan mesin bubut CNC. Hasil pembentukan seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Spesimen uji tarik sesuai standar ASTM E8

3.4.3. Proses pelapisan Alumunium celup panas

Pada proses pelapisan celup panas, ada beberapa tahapan yang harus dilakukan. Berikut ini merupakan tahapan-tahapan yang harus dilakukan, yaitu:

Tahap pertama proses pencucian sebelum pelapisan celup panas, yaitu:

a. *Pickling*

Proses *pickling* adalah proses pembersihan spesimen dengan pembersih *ultrasonic* menggunakan larutan kimia untuk menghilangkan oli dan kotoran yang berada di permukaan spesimen. Proses pembersihan selama 2 menit, larutan kimia yang digunakan adalah HCl dengan konsentrasi 10%. HCL ditunjukkan pada gambar 3.7.

Gambar 3.7. Larutan HCl ~ 10 wt %

b. Netraslisasi

Spesimen yang telah dibersihkan kemudian dimasukan lagi dengan pembersih *ultrasonic* dengan menggunakan *aquades* selama 2 menit untuk menetralisir dari cairan HCL. *Aquades* ditunjukkan pada gambar 3.8.

Gambar 3.8. *Aquades*

c. *Cleaning*

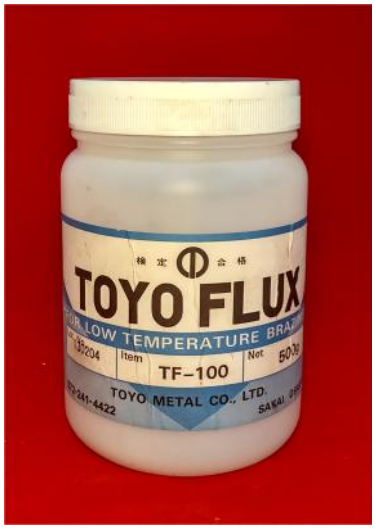
Setelah spesimen di netralisir selanjutnya dilakukan proses *cleaning*, yaitu pembersihan permukaan logam dengan pembersih *ultrasonic* dengan menggunakan *ethanol* selama 2 menit, bertujuan menghilangkan kotoran dan bentuk struktur permukaan spesimen yang baik, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.9.

Gambar 3.9. *Ethanol*

Tahap kedua proses *fluxing* dan pengeringan sebelum pelapisan celup panas:

a. *Fluxing*

Melapisi dengan fluks dengan proes pencelupan logam substrat ke dalam larutan fluks selama beberapa menit supaya permukaan logam substrat terlapis sempurna dengan larutan fluks. Fluks ditunjukkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.10. Flux

b. Pengeringan

Proses pengeringan dilakukan dengan menggunakan *furnace* dengan temperatur 200 ^{o}C agar logam substrat yang telah dilapisi fluks lebih cepat mengering. Proses pengeringan ini dilakukan selama kurang lebih 3 menit.

c. Pencelupan

Proses pencelupan merupakan tahap akhir dari proses pelapisan alumunium celup panas. Proses ini dilakukan setelah aluminium ~99 wt% mencair dengan sempurna pada temperatur 700^{0}C kemudian mencelupkan spesimen baja AISI 1018 ke dalam *crucible* yang berisi aluminium cair dengan cara menggantungkannya pada *crane* dengan lama waktu pencelupan selama 2 menit.

Gambar 3.11. *Furnace* proses aluminium celup panas

Tahap ketiga proses pencucian setelah pelapisan celup panas, pada proses pencucian setelah pelapisan ini tahapan yang dilakukan sama dengan proses pencucian sebelum pelapisan, hanya saja yang membedakannya pada proses *pickling*. Pada proses *pickling* larutan kimia yang digunakan adalah HNO_3+H_3PO_4+*aquades* dengan perbandingan volume 1:1:1 dilakukan selama 10 detik, dengan tujuan menghilangkan kotoran yang terbentuk pada spesimen setelah proses pelapisan celup aluminium panas, seperti ditunjukkan gambar 3.12.

Gambar 3.2. Larutan HNO_3+H_3PO_4+*aquades*

3.4.4. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian pada spesimen baja AISI 1018 meliputi:

a. Pengujian tarik statis

Pengujian tarik statis harus dilakukan terlebih dahulu untuk mendapatkan data nilai tegangan luluh (σ_y) baja. Pengujian tarik ini dilakukan menggunakan mesin MTS *Landmark* 100 kN.

Adapun prosedur pengujian tarik yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan spesimen uji tarik sesuai standar ASTM E-8
2. Membuka program *Controller* 793B setelah itu klik *manual command*, pilih *displacement mode*, lalu naikkan *actuator* ke posisi nol *(zero).*
3. Memasang spesimen pada *crosshead grip* atas kemudian spesimen dicekam.
4. Menurunkan *crosshead* sampai ujung bawah spesimen masuk kedalam grip bawah dengan kedalaman 3 cm.
5. Memilih *manual command* dan klik *control mood* ke *force.*
6. Memilih *auto offset* untuk *force*. Setelah itu *grip* bagian bawah dicekam sehingga ujung spesimen bagian bawah tidak berubah.
7. Memasang *extensometer* ke spesimen dengan posisi *zero pin*, dan klik *manual offset* untuk *extensometer*. Lalu lepaskan *zero pin* dari *extensometer.*
8. Membuka *Software MTS Test Suite* (*MPE*), pilih *template* untuk uji tarik statis.
9. Memasukkan data panjang spesimen.
10. Memasukan *initial speed dan secondary speed* (mm/s).
11. Menginput semua data lalu klik *RUN*.

12. Mengulangi langkah 1-11 untuk pengujian berikutnya.
13. Mesin akan *stop* secara otomatis.

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

Tabel 3.3. Data Uji Tarik

Nama	Satuan
Tensile Strength	MPa
Yield Strength	MPa
Elasticity Modulus	GPa

b. Pengujian Fatik Siklus Rendah

Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Lampung. Tujuan dilakukan pengujian ini adalah mengetahui perambatan retak dari baja AISI 1018.

Adapun prosedur pengujian yang dilakukan yaitu :

1. Menyiapkan spesimen sesuai dengan standar ASTM E 606
2. Membuka program Controller 793B setelah itu klik *manual command*, pilih *displacement mode*, lalu naikan *actuator* ke posisi nol *(zero).*
3. Pasang spesimen pada *cross head grip* atas kemudian spesimen dicekam.
4. Lalu *cross head* diturunkan sampai ujung bawah spesimen masuk kedalam grip bawah dengan kedalaman 3 cm.

5. Klik *manual command* dan klik *control mood* ke *force.*
6. Kemudian klik *auto offset* untuk *force*. Setelah itu grip bagian bawah dicekam sehingga ujung spesimen bagian bawah tidak berubah.
7. Membuka Software MTS Test Suite (MPE), pilih template untuk pengujian fatik siklus rendah.
8. *Extensometer model* 632.13F-20 dengan *gage length* 10 mm dan mempunyai kemampuan mengontrol regangan ±15% (tarik-tekan) dipasangkan pada daerah *gage length* spesimen. Pengujian fatik siklus rendah dilakukan menggunakan MTS Landmark 100 kN dengan kondisi rasio regangan R= −1, laju regangan 0.005 detik^{-1} dan variasi amplitudo regangan 0.003–0.009 mm/mm. Kurva *hysteresis loops* (σ vs ε) 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 AISI 1018 yang dilapisi aluminium celup panas. Model matematika akan diformulasikan dengan membandingkan hasil uji LCF pada level regangan amplutido bervariasi dengan menggunakan pendekatan persamaan Coffin-Manson, untuk menentukan kekuatan dan umur LCF bahan secara *empiric* dengan memasukan variable regangan elastis, regangan plastis terhadap jumlah siklus patah. Plot kurva *hysteresis* σ vs ε setiap jumlah siklus tertentu (siklus pertama, setengah jumlah siklus, siklus

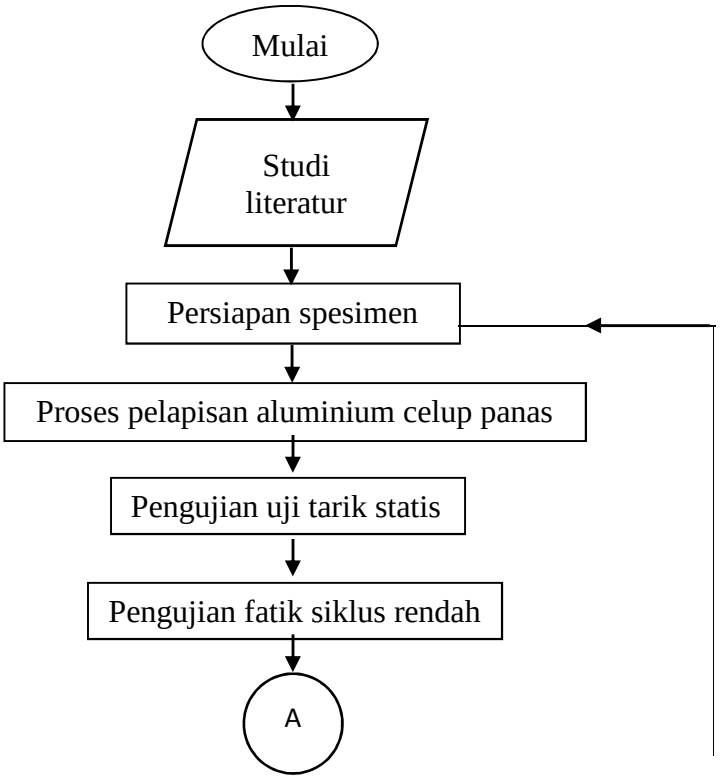
terakhir) dilakukan untuk mempelajari perilaku LCF. Semua data yang diperoleh dari hasil uji LCF dianalisis menggunakan *softwere* MTS *Fatigue Analyzer*.

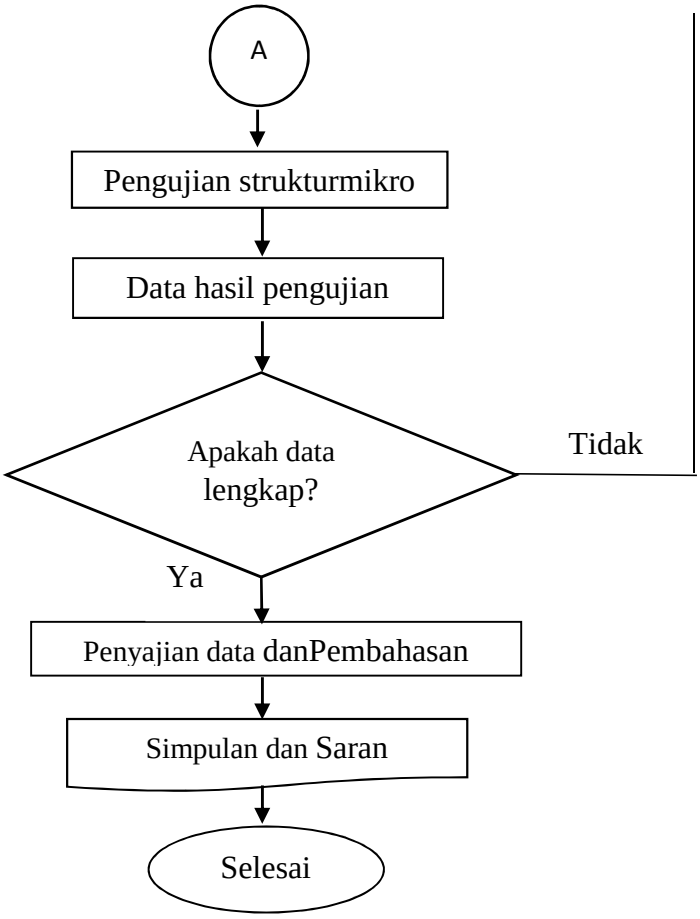
Tabel 3.4 Variabel Pengujian fatik siklus rendah

No	Amplitudo (mm/mm)	Laju regangan (detik^{-1})	Frekuensi (Hz)
1	0,003	0.005	0,4167
2	0,005	0.005	0,2500
3	0,007	0.005	0,1786

3.5. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian fatik siklus rendah baja karbon rendah tarik dingin AISI 1018 yang dilapisi aluminium celup panas, sebagai berikut:





Gambar 3.13**.** Diagram alir penelitian fatik siklus rendah baja tarik dingin AISI 1018 yang dilapisi aluminium celup panas

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 SIMPULAN

Pengujian fatik siklus rendah baja tarik dingin AISI 1018 yang dilapisi aluminium cair dengan variasi amplitudo regangan 0.003 mm/mm, 0.005 mm/mm, 0.007 mm/mm dapat disimpulkan, sebagai berikut:

1. Proses *hot-dip aluminizing* pada baja tarik dingin AISI 1018 menurunkan sifat mekaniknya yaitu: tegangan ultimate turun sebesar 42,5 %, dan tegangan luluh turun sebesar 61,2 %.
2. Pelapisan aluminium celup panas pada baja AISI 1018 dapat menurunkan umur fatiknya, yang disebakan oleh besarnya daerah energi regangan plastis yang dihasilkan. Persamaan empiris untuk memprediksi fatik siklus rendah baja AISI 1018 dilapisi aluminium celup panas dapat dilakukan melalui pendekatan pemodelan matematika yang digunakan metode Coffin-Manson-Basquin dengan regangan amplitudo regangan plastis-elastis terhadap jumlah kebalikan siklus (*reversal to failure*, $2N_f$) yaitu: $\Delta\varepsilon_t/2 = 2692{,}2(2N_f)^{-0.2788} + 0{,}7272(2N_f)^{-0{,}6901}$.
3. Fasa intermetalik yang terbentuk dari baja tarik dingin AISI 1018 yang dilapisi Al yaitu senyawa FeAl termasuk Fe_2Al_5 dan $FeAl_3$. Dan pada baja AISI 1018 yang dilapisi Al memiliki butir yang memanjang dan halus

terjadi karena proses deformasi pada pengujian fatik. Peningkatan dislokasi yang terjadi mampu menghambat/menunda terbentuknya retak inisiasi pada baja selama pengujian fatik siklus rendah.

5.2 SARAN

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

1. Perlu dilakukan penelitian *low cycle fatigue* pada baja AISI 1018 yang dilapisi aluminium celup panas dengan laju regangan yang berbeda
2. Pada penelitian selanjutnya diharapkan menyertakan pengujian SEM (Scan Electron Microstruktur) pada patahan permukaan sampel uji supaya dapat mengetahui rambtan retak dan arah patahan.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM E8, 2004, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*, West, Conshohocken, United States

ASM Handbook, 1985. *Optical Microscophy, Metal Handbook,* Vol. 9, pp. 1438-1453.

ASM Handbook Vol.19, 2002, *Fatigue and Fracture,* Material Park. Ohio. USA. ASM International.

Agrawal. R., 2014. *Low Cycle Fatigue Life Prediction*, International Journal of Emerging Engineering Research and Technology. Vol 2, pp. 5-15.

Collins, J.A. 1993. Failure of Material in Mechanical Design, Analysis Predection and Prevention, John Willey & Son, Inc US. New York. United States of America.

Dewa, I. M. K., 2009. *Kekuatan Sambungan Las Aluminium Seri 1100 dengan Variasi Kuat ArusListrik Pada Proses Las Metal Inert Gas (MIG*). Vol. 3. Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Badung

Dieter, George, E. 1992. *Metalurgi Mekanik, Jilid 1, edisi 3, alih bahasa Sriati Djaprie*. Jakarta: Erlangga.

Farid, N. S., Badaruddin, M., 2018. *Analisys Ffatigue Crack Propagation Stainless Steel 304 by Hot Dip Aluminizing Coating*, AIP Conference Proceedings 1983. Lampung: Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

Hong, L., Ying, Y. L., Yue, L. X., and Guang, Z. X., 2010. *Corrosion Resistance of Stainless Steel TP347H with Aluminized Layer*, Metal Science and Heat Treatment. Vol 52, pp. 44 – 47.

Islam. M. A., Alam. T., Farhat. Z. N., Mohamed. A., Alfantazi. A., 2014. *Effect of microstructure on the erosion behavior of carbon steel*. Wear.

Kobayashi, S., and Yakou, T., 2002. *Control of intermetallic compound layers at interface between steel and aluminum by diffusion-treatment,* Materials Science and Engineering A. 338, pp. 44-53.

Matweb, *Material Property Data*, di http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=3f2ce033f2fc4bc0b0165cc0bd044b4d&ckck=1, diakses tanggal 13 Juli 2018.

Kuncoro, Purnadi. 2016. *Evaluasi Sifat Fatik Siklus Rendah (Low Cycle Fatigue) Baja Anil AISI 4140*. Lampung: Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

Prasongko, D. Y., 2012. *Optimasi Parameter Pelapis Celup Panas Baja AISI 1020 dengan Aluminiu*, Lampung: Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

Salimor, M., Badaruddin, M., 2017. *Thermomechanical Properties and Toughness Steel AISI 1018 at High Temperature*, AIP Conference Proceedings 1983. Lampung: Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

Sakar A., Kumawat B. K., Chakravartty J. K., 2015. *Low cycle fatigue behavior of a ferritic reactor pressure vessel steel*. Journal of Nuclear Materials 462, Page 273-279 India: Bhabha Atomic Research Centre.

Sasaki, T., Yakou, T., 2006. *Features of Intermetallic Compounds in Aluminized Steels Formed Using Aluminum Foil*, Surface and Coatings Technology, Vol. 201, pp. 2131–2139.

Song M.S., Kong Y.Y., Ran M.W., She Y.C., 2011, *Cyclic stress–strain behavior and low cycle fatigue life of cast A356 alloys*, International Journal of Fatigue, Volume 33, Pages 1600-1607

Suhartono. A., 2004, Pengaruh Ukuran Butir Terhadap Kuat Fatik Baja: Simulasi dan Eksperimen. Prosiding Semiloka dan Komputasi serta Aplikasi, UPT LUK Puspiptek Serpong Indonesia.

Szusta, J., 2018, *Fatigue life of metallic materials under uniaxial low-cycle loading at elevated temperature,* International Journal of Fatigue 114, Pages 272-281

Townsend, 1992. “Surface Engineering ASM Handbook volume 5”, ASM International.

U.R. Kattner, T.B. Massalski, in: H. Baker (Ed.), *Binary Alloy Phase Diagrams, ASM International*, Material Park, OH, 1990, p. 147

Wang, C. J., dan Badaruddin, M., 2010. *The dependence of high temperature resistance of aluminized steel exposed to water-vapour oxidation,* Surface and Coatings Technology, Vol. 205(5), pp. 1200-1205.

Yuan, Q. Shu, Z. Huang, Q dan Li., 2016. *An experimental investigation of properties of Q345 steel pipe at elevated temperature.* J. Constr. Steel Res. 188, 41.