

**ANALISIS PERAMBATAN RETAK FATIK PADA
STAINLESS STEEL 304 YANG DILAPISI ALUMINIUM
CELUP PANAS**

(SKRIPSI)

Oleh:

FARID NANDA SYANUR



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2018**

ABSTRACT

ANALISYS FATIGUE CRACK PROPAGATION STAINLESS STEEL 304 BY HOT DIP ALUMINIZING COATING

By:

FARID NANDA SYANUR

Stainless steel is a high alloy steel that has a toughness at low or high temperatures and good corrosion resistance properties. Stainless steel used is stainless steel 304. Stainless steel 304 coated aluminum hot dip to improve mechanical ability. Stainless steel 304 is given diffusion treatment at 750° C with a holding time of 1 to 49 hours. The diffusion treatment can decrease the mechanical strength of stainless steel 304. Stainless steel 304 has decreased yield strength (18.89%) and ultimate tensile strength value (11.73%). The lowest value of yield strength and ultimate tensile strength is 285.360 MPa and 540.325 MPa. Fatigue crack propagation rate stainless steel 304 without treatment has the greatest number of cycles as well as better fatigue resistance compared to stainless steel 304 layers of hot dipped aluminum with diffusion treatment having shorter cycle counts and more fast crack propagation growth. Based on the rate of fatigue crack propagation of stainless steel 304 that not all materials with coating process can increase their mechanical strength. Characterization from SEM (Scanning Electron Microscope) experience of stainless steel 304 Aluminum-coated with diffusion treatment had a more brittle fracture compared to stainless steel 304 without treatment (base metal).

Keywords: *Stainless steel, Hot Dip Aluminizing Coating, Diffusion Treatment, Fatigue Crack Propagation, SEM (Scanning Electron Microscope).*

ABSTRAK

ANALISIS PERAMBATAN RETAK FATIK PADA *STAINLESS STEEL* 304 YANG DILAPISI ALUMINIUM CELUP PANAS

Oleh:

FARID NANDA SYANUR

Stainless steel merupakan baja paduan tinggi yang memiliki ketangguhan pada temperatur rendah maupun tinggi serta sifat ketahanan korosi yang baik. *Stainless steel* yang digunakan yaitu *stainless steel* 304. *Stainless steel* 304 dilapisi aluminium celup panas untuk meningkatkan kemampuan mekaniknya. *Stainless steel* 304 diberi perlakuan difusi pada suhu 750° C dengan waktu tahan 1 sampai 49 jam. Perlakuan difusi dapat menurunkan kekuatan mekanik pada *stainless steel* 304. *Stainless steel* 304 mengalami penurunan nilai tegangan luluh (18,89%) dan nilai tegangan maksimum (11,73%). Nilai tegangan luluh dan nilai tegangan maksimum terendah yaitu 285,360 MPa dan 540,325 MPa. Laju perambatan retak fatik *Stainless steel* 304 tanpa perlakuan memiliki jumlah siklus terbesar serta ketahanan fatik yang lebih baik dibandingkan dengan *stainless steel* 304 lapis aluminium celup panas dengan perlakuan difusi yang memiliki jumlah siklus lebih pendek dan laju perambatan retak yang cepat. Berdasarkan nilai laju perambatan retak fatik *stainless steel* 304 bahwa tidak semua dengan proses pelapisan dapat meningkatkan kekuatan mekanik pada material. Karakterisasi dari uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) *stainless steel* 304 lapis Aluminium dengan *diffusion treatment* mengalami patahan yang lebih getas dibandingkan dengan *stainless steel* 304 tanpa perlakuan (*base metal*).

Kata kunci: *Stainless steel*, Aluminium Celup Panas, Difusi, Perambatan Retak Fatik, SEM (*Scanning Electron Microscope*).

**ANALISIS PERAMBATAN RETAK FATIK PADA
STAINLESS STEEL 304 YANG DILAPISI ALUMINIUM
CELUP PANAS**

Oleh

FARID NANDA SYANUR

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 : **ANALISIS PERAMBATAN RETAK
FATIK PADA *STAINLESS STEEL 304*
YANG DILAPISI ALUMINIUM CELUP
PANAS**

Nama Mahasiswa : **Farid Nanda Syanur**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1215021037

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik



1. Komisi Pembimbing

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

Zulhanif, S.T., M.T.
NIP. 19730402 200003 1 002

2. Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

MENGESAHKAN

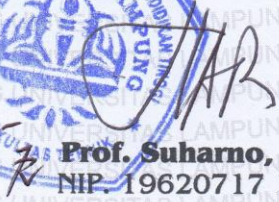
1. Tim Penguji

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

Anggota : Zulhanif, S.T., M.T. 

**Penguji
Bukan Pembimbing : Harnowo Supriadi, S.T., M.T.** 

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung


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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 5 April 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

RIWAYAT HIDUP

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



Farid Nanda Syanur
NPM. 1215021037

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung 08 Januari 1995, sebagai anak sulung dari pasangan Bapak Syahrul dan Ibu Nurhaida.

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 02 Rajabasa Bandar Lampung pada tahun 2006, pendidikan

Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 22 Bandar Lampung pada tahun 2009, pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA 3 Al-Azhar 3 Bandar Lampung pada Tahun 2012, dan pada tahun 2012 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung melalui jalur undangan.

Selama menjadi mahasiswa, penulis juga aktif dalam organisasi internal kampus, yaitu menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Anggota Biro Kesekretariatan pada tahun 2013-2014, menjadi pengurus Birohmah Universitas Lampung sebagai Anggota Bidang Media Center pada tahun 2013-2014, menjadi pengurus Badan Eksekutif Mahasiswa Universitas Lampung (BEM-U KBM Unila) sebagai Staff Ahli di Kementerian Pendidikan dan Kepemudaan pada tahun 2013-2014, menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Kepala Biro Kesekretariatan pada tahun 2014-2015, menjadi pengurus Forum Silaturahmi Islam Fakultas Teknik (Fossi

FT) sebagai Kepala Departemen Kaderisasi pada tahun 2014-2015, menjadi pengurus UKMF BKT (Bidang Karya Tulis) Cremona Fakultas Teknik sebagai Kepala Divisi Editor pada tahun 2014-2015, menjadi pengurus Dewan Perwakilan Mahasiswa Fakultas Teknik (DPM FT) sebagai Ketua Komisi III DPM FT pada tahun 2015-2016 dan menjadi pembina UKMF BKT (Bidang Karya Tulis) Cremona Fakultas Teknik pada tahun 2016-2017.

Pada bidang akademik, penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di Pusat Penelitian Material dan Metalurgi (P2M), Lembaga Ilmu Pendidikan Indonesia (LIPI), yang berlokasi di Jl. Raya Puspiptek, Serpong, Kota Tangerang Selatan, Banten pada tahun 2015. Pada tahun 2017 penulis melakukan penelitian pada bidang konsentrasi Material dengan judul tugas akhir “Analisis Perambatan Retak Fatik *Stainess Steel* 304 dengan lapis Aluminium Celup Panas” dibawah bimbingan Bapak Dr. Moh. Badaruddin dan Bapak Zulhanif, S.T., M.T.

Bandar Lampung, 2018

Penulis

Farid Nanda Syanur

MOTTO

“Wahai orang-orang yang beriman mintalah pertolongan melalui sabar dan shalat, sesungguhnya Allah bersama orang-orang yang sabar. Dan benar-benar akan Kami uji kamu dengan sedikit ketakutan, kelaparan dan kekurangan buah-buahan dan berilah kabar gembira bagi orang-orang yang sabar, (yaitu) yang mengatakan sesungguhnya kami adalah milik Allah dan kepada-Nya kami kembali”

(Q.S. Al-Baqarah: 155-156)

“Kalau bukan karena kesulitan, maka semua orang akan menjadi pahlawan”

(Al-mutanabbi, penyair)

“Stay hungry, stay foolish. Never be satisfied and always push yourself”

(Penulis)

PERSEMBAHAN

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

Ayah dan Ibu

*Kedua orang tua ku, Bapak Syahrul dan Ibu Nurhaida atas segala pengorbanan,
doa, serta cinta dan kasih sayang yang mereka beri padaku*

Adikku

*Kepada adikku Fitri Andani Syanur sebagai sumber semangat, keceriaan dan
kebanggaan dalam hidupku*

Dosen Teknik Mesin

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

Tim Lab. Material

Yang selalu membantu, memberikan motivasi dan nasihat kepadaku

Sahabat Mesin '12

Yang selalu memberi motivasi dan semangat serta berbagi ilmu dan keceriaan

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillahirabbilalamin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah, serta inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir sebagai salah satu syarat dalam meraih gelar sarjana teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung dengan tugas akhir berjudul “*Analisis Perambatan Retak Fatik Stainless Steel 304 Lapis ALuminium Celup Panas*”. Shalawat beriring salam selalu tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW.

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 Nurhaida dan bapakku Syahrul yang tak pernah henti-hentinya memberikan dukungan moril dan materilnya serta doa dan kasih sayang akan harapan kesuksesan penulis dapat menyelesaikan studi S1.
2. Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M. P, selaku Rektor Universitas Lampung.

3. Prof. Suharno MS, M.Sc., PhD. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
4. Bapak Ahmad Suudi, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Bapak Harnowo Supriadi, S.T.,M.T selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung serta sebagai dosen pembahas pada penelitian ini yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang bermanfaat bagi penulis.
6. Bapak Dr. Moh. Badaruddin, M.T. selaku dosen pembimbing utama tugas akhir ini, yang banyak memberikan waktu, ide pemikiran dan semangat serta motivasi bagi penulis.
7. Bapak Zulhanif, S.T.,M.T. selaku pembimbing kedua tugas akhir ini, yang telah banyak memberikan waktu dan pemikiran 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. Adikku Fitri Andani syanur serta Nursyahidah Aini yang selalu menjadi sumber semangat bagi penulis.
11. Rekan–rekan yang turut membantu dalam pelaksanaan tugas akhir. I Komang Suariandi selaku rekan satu tim Tugas Akhir yang telah banyak memberikan bantuan kepada penulis, terimakasih atas waktu dan tenaga yang diberikan untuk pelaksanaan tugas akhir.

12. Seluruh teman-teman di Material Club, Purnadi Sri K., S.T., Aldi Rizaldi, S.T., Bima G., S.T., Cristian, Mas Ruwanto, Bang Dian Purnama, S.T. Prahara, dll yang telah memberikan motivasi maupun semangat pada penulis.
13. Seluruh rekan-rekan teknik mesin Nur Wakhid, Iqbal, Opi, Raziz, Ajito, Zaenal, Alfian. Rifai, Muchdy, Aziz, Doni dan semua rekan seperjuangan angkatan 2012 lainnya untuk kebersamaan yang telah dijalani. Tiada kata yang dapat penulis utarakan untuk mengungkapkan perasaan senang dan bangga menjadi bagian dari angkatan 2012. “Salam Solidarity Forever”.
14. Teman-teman di DPM-FT, FOSSI FT, HIMATEM Unila dan CREMONA FT yang selalu memberi semangat kepada penulis.
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, April 2018
Penulis,

Farid Nanda Syanur
NPM. 1215021037

DAFTAR ISI

ABTSTRAK	i
ABTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN PENULIS	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
HALAMAN MOTTO.....	ix
HALAMAN PERSEMBAHAN	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan	3
C. Batasan Masalah	3
D. Sistematika Penulisan	4

II.	TINJAUAN PUSTAKA	
A.	Baja Tahan Karat (<i>Stainless Steel</i>)	6
B.	Klasifikasi Baja Tahan Karat	8
C.	<i>Hot Dipping</i>	12
D.	Uji Tarik	15
E.	Kelelahan (<i>Fatigue</i>).....	16
III.	METODE PENELITIAN	
A.	Tempat Penelitian	22
B.	Alat dan Bahan yang Digunakan	22
C.	Prosedur Penelitian	25
D.	Metode yang Digunakan	30
E.	Diagram Alir Penelitian	31
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	
A.	Hasil Uji Tarik	32
B.	Hasil Uji Perambatan Retak Fatik.....	37
V.	SIMPULAN DAN SARAN	
A.	Simpulan.....	48
B.	Saran	49

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Gambar	Halaman
1. Hasil Uji Ttarik <i>Stainless Steel</i> 304	33
2. Nilai konstanta C dan m (nilai eksponensial) pada <i>stainless steel</i> 304..	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram Fasa Fe-Al	14
2. Kurva Tegangan-Regangan.....	15
3. Kurva S-N	18
4. Mesin MTS <i>Landmark</i> 100 kN	23
5. Mikroskop <i>digital portable</i>	24
6. Spesimen Uji Tarik Standar ASTM 8	25
7. Bentuk dan Ukuran Spesimen Uji Fatik	26
8. Diagram Alir Penelitian	31
9. Kurva tegangan-ragangan <i>stainless steel</i> 304	34
10. Struktur Mikro <i>Stainless Steel</i> 304 tanpa perlakuan (<i>Base Metal</i>)	35
11. Struktur Mikro <i>Stainless steel</i> 304 dilapisi Aluminium dan dilakukan <i>diffusion treatment</i> 1 jam	36
12. <i>Stainless Steel</i> 304 setelah mengalami uji retak fatik	38
13. Kurva Panjang Retak (mm) Terhadap Siklus (n) <i>Stainless Steel</i> 304..	38
14. Kurva da/dN terhadap ΔK pada <i>Stainless Steel</i> 304	40
15. Hubungan antara nilai eksponensial m dengan nilai pengerasan regangan (n)	43
16. Hasil Uji SEM <i>Stainless Steel</i> 304 tanpa perlakuan (<i>base metal</i>).....	45
17. Hasil Uji SEM <i>Stainless Steel</i> 304 lapis Aluminium.....	45
18. Hasil Uji SEM <i>Stainless Steel</i> 304 lapis Aluminium dengan <i>diffusion</i> <i>treatment</i> 9 jam	46
19. Hasil Uji SEM <i>Stainless Steel</i> 304 lapis Aluminium dengan <i>diffuson</i> <i>treatment</i> 49 jam	47

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Salah satu penyebab terjadinya kegagalan (patah) pada komponen mesin yaitu kelelahan (*fatigue*) pada material. Kelelahan (*fatigue*) ini terjadi akibat beban dinamis (pembebanan yang berulang-ulang atau berubah-ubah tiap waktu). Kegagalan ini biasanya terjadi saat level tegangan dibawah *yield strength material* (Abrianto, 2007). Menurut Timing (1998), semakin besar amplitudo pembebanan dinamis semakin cepat retak merambat. Dalam proses terjadinya kelelahan (*fatigue*) terdapat 3 fase dalam perpatahan fatik yaitu permulaan retak, penyebaran retak dan patah. Dalam dunia teknik banyak terjadi kerusakan akibat kelelahan (*fatigue*) pada material. Biasanya kerusakan ini terjadi disebabkan oleh adanya cacat atau retakan dan juga adanya pembebanan pada saat beroperasi. Dengan demikian sangat dibutuhkan material yang memiliki ketangguhan yang baik untuk meminimalisir kegagalan (patah) pada komponen mesin akibat kelelahan material (*fatigue*).

Baja tahan karat (*Stainless steel*) adalah salah satu logam *ferro* yang sering digunakan dalam dunia teknik. Baja tahan karat (*Stainless steel*) termasuk

dalam baja paduan tinggi yang mempunyai sifat mampu bentuk yang baik, ketangguhan yang baik pada temperatur rendah maupun temperatur tinggi, memiliki sifat ketahanan korosi yang baik serta memiliki ketahanan mulur yang cukup besar pada temperatur tinggi. Menurut Covert dan Tuthill (2000), baja tahan karat dapat bertahan dari pengaruh oksidasi karena mengandung unsur chromium lebih dari 11%. Unsur chromium ini merupakan pelindung utama baja dalam *stainless steel* terhadap gejala-gejala yang disebabkan oleh kondisi lingkungan. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *stainless steel* 304 dengan sifat mekanik awal adalah memiliki *tensile strength* sebesar 586 MPa dan *yield strength* sebesar 241 MPa. (AK, Steel, 2007)

Pada penelitian ini digunakan metode *hot dipping aluminizing coating*. *Hot dipping aluminizing coating* yaitu proses pelapisan dengan logam aluminium dengan baja sebagai substrat baja, yaitu dengan mencelupkan baja ke dalam aluminium cair. Aluminium murni adalah logam yang lunak, tahan lama, ringan dan dapat ditempa. Menurut I Dewa M.K. (2009), kekuatan tarik aluminium murni adalah 90 MPa, sedangkan aluminium paduan memiliki kekuatan tarik berkisar hingga 220 MPa. Dengan dilapisi aluminium maka *stainless steel* 304 memiliki ketahanan oksidasi dan sulfidasi yang baik akan tetapi belum tentu dapat memengaruhi perambatan retak fatik pada *stainless steel*. Maka dari itu, penulis ingin meneliti mengenai “**Analisis Perambatan Retak Fatik pada *Stainless Steel* 304 yang Dilapisi Aluminium Celup Panas**”.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perubahan sifat mekanik pada SS304 tanpa perlakuan (base metal), SS304 lapis Aluminium dan SS304 dengan perlakuan difusi pada suhu 750° C dengan rentan waktu 1 jam, 9 jam dan 49 jam.
2. Menganalisa perambatan retak fatik pada SS304 tanpa perlakuan (base metal), SS 304 lapis Aluminium dan SS304 dengan perlakuan difusi pada suhu 750° C dengan rentan waktu 1 jam, 9 jam dan 49 jam.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari peneltian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah *Stainless Steel* 304.
2. Analisa yang dilakukan hanya perhitungan nilai perambatan retak fatik *Stainless Steel* 304 berdasarkan perambatan retak dengan metode Paris;

$$\frac{da}{dN} = C (\Delta k)^m.$$

3. Rasio pembebanan ($R = 0,3$) dan beban maksimum $P_{\max} = 0,7 P_{yield}$.
4. Spesimen saat pengujian dan proses *hot dipping aluminizing coating* dianggap sempurna, sehingga tidak membahas cacat pada material dari hasil pengujian.

D. Sistematika Penulisan

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

I. PENDAHULUAN

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

II. TINJAUAN PUSTAKA

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

III. METODE PENELITIAN

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

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

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

V. PENUTUP

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

DAFTAR PUSTAKA

Memuat referensi yang dipergunakan penulis untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir.

LAMPIRAN

Berisikan pelengkap laporan penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*)

Menurut Covert dan Tuthill (2000), baja tahan karat merupakan baja paduan yang mengandung unsur Cr (Chromium) lebih dari 11%. Baja tahan karat termasuk dalam baja paduan tinggi yang mempunyai sifat mampu bentuk yang baik, ketangguhan yang baik pada temperatur rendah maupun tinggi, mempunyai sifat ketahanan korosi yang baik, juga mempunyai ketahanan mulur yang cukup besar pada temperatur tinggi. Baja tahan karat mempunyai sifat yang berbeda baik dengan baja karbon maupun dengan baja paduan rendah, hal ini sangat memengaruhi sifat mampu lasnya. Jika dilihat dari sifat fisiknya, koefisien muai baja tahan karat kira-kira 1,5 kali dari baja lunak, dengan demikian dalam pengelasan baja tahan karat akan mengalami perubahan bentuk yang lebih besar. Karena sifatnya, maka baja ini banyak digunakan dalam reaktor atom, turbin, mesin jet, pesawat terbang, alat rumah tangga dan lain-lainnya.

Penambahan unsur-unsur tertentu kedalam baja tahan karat (*stainless steel*) dilakukan dengan tujuan sebagai berikut :

1. Penambahan Molibdenum (Mo) bertujuan untuk memperbaiki ketahanan korosi pitting dan korosi celah.
2. Unsur karbon rendah dan penambahan unsur penstabil karbida (titanium atau niobium) bertujuan menekan korosi batas butir pada material yang mengalami proses sensitasi.
3. Penambahan kromium (Cr) bertujuan meningkatkan ketahanan korosi dengan membentuk lapisan oksida (Cr_2O_3) dan ketahanan terhadap oksidasi temperatur tinggi.
4. Penambahan nikel (Ni) bertujuan untuk meningkatkan ketahanan korosi dalam media pengkorosi netral atau lemah. Nikel juga meningkatkan keuletan dan mampu bentuk logam. Penambahan nikel meningkatkan ketahanan korosi tegangan.
5. Mangan (Mn) dapat meningkatkan ketahanan korosi dan meningkatkan struktur mikro pada baja tahan karat austenitik.
6. Unsur aluminium (Al) meningkatkan pembentukan lapisan oksida pada temperatur tinggi.
7. Karbon (C) adalah pembentuk utama dari baja tahan karat austenitik yang dapat meningkatkan kekuatan mekanik.

B. Klasifikasi Baja Tahan Karat

Umumnya berdasarkan paduan unsur kimia dan presentasi unsur paduan didalamnya, baja tahan karat (*stainless steel*) dibagi menjadi empat kategori yaitu:

1. Baja tahan karat martensitik

Baja ini merupakan paduan kromium dan karbon yang memiliki struktur martensit terdistorsi saat kondisi bahan dikeraskan. Baja ini merupakan ferromagnetic, bersifat dapat dikeraskan dan umumnya tahan korosi di lingkungan kurang korosif. Menurut Covert dan Tuthill (2000), kandungan kromium umumnya berkisar antara 11.5-13.5% Cr dan karbon maksimal 0,15%. Kandungan kromium dan karbon dijaga agar mendapatkan struktur martensit saat proses pengerasan. Karbida berlebih meningkatkan ketahanan aus. Unsur niobium, silikon, tungsten dan vanadium ditambah untuk memperbaiki proses *tempering* setelah proses pengerasan. Sedikit kandungan nikel meningkatkan ketahanan korosi dan ketangguhan.

2. Baja tahan karat ferritik

Baja tahan karat ferritik mempunyai unsur kromium ditambahkan ke paduan sebagai penstabil ferrit. Menurut Seitovirta (2013), kandungan kromium umumnya yang terdapat pada baja tahan karat jenis ferritik yaitu berkisar antara 11,2 -19%. Beberapa tipe baja mengandung unsur molybdenum, silikon, aluminium, titanium dan niobium. Unsur sulfur ditambahkan untuk memperbaiki sifat mesin. Paduan ini merupakan

ferromagnetic dan mempunyai sifat ulet dan mampu bentuk baik namun kekuatan di lingkungan suhu tinggi lebih rendah dibandingkan baja stainless austenitic. Kandungan karbon rendah pada baja ferritik tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas. Tingkat kekerasan beberapa tipe baja stainless ferritik dapat ditingkatkan dengan cara celup cepat. Metode celup cepat merupakan proses pencelupan benda kerja secara cepat dari keadaan temperature tinggi ke temperatur ruang. Sifat mampu las, keuletan, ketahanan korosi dapat ditingkatkan dengan mengatur kandungan tertentu unsur karbon dan nitrogen.

3. Baja tahan karat dupleks

Baja tahan karat dupleks merupakan paduan campuran struktur ferrite dan austenit. Menurut Seitovirta (2013), paduan utama material adalah (20,1-25,4%) kromium dan (1,4-7%) nikel, tapi nitrogen, molybdenum, tembaga, silikon dan tungsten ditambah untuk menstabilkan struktur dan memperbaiki sifat tahan korosi. Ketahanan korosi baja stainless dupleks hampir sama dengan baja stainless austenitik. Kelebihan baja stainless dupleks yaitu nilai tegangan tarik dan luluh tinggi dan ketahanan korosi retak tegang lebih baik dari pada baja stainless austenitik. Ketangguhan baja stainless dupleks antara baja austenitik dan ferritik.

4. Baja tahan karat austenitik

Baja tahan karat austenitik merupakan paduan logam besi-krom-nikel yang mengandung 17-25% kromium, 14-25% nikel, dan nitrogen.

Logam paduan ini merupakan paduan berbasis ferrous dan struktur kristal *Face Centered Cubic* (FCC). Struktur kristal akan tetap berfasa austenitik bila unsur nikel dalam paduan diganti mangan (Mn) karena kedua unsur merupakan penstabil fasa austenit. Fasa austenitik tidak akan berubah saat perlakuan panas anil kemudian didinginkan pada temperatur ruang. Baja tahan karat austenitik tidak dapat dikeraskan melalui perlakuan celup cepat (*quenching*). Umumnya jenis baja ini dapat tetap menjaga sifat austenitik pada temperatur ruang, lebih bersifat ulet dan memiliki ketahanan korosi lebih baik dibandingkan baja tahan karat ferritik dan martensit.

Baja tahan karat austenitik hanya bisa dikeraskan melalui pengerjaan dingin. Material ini mempunyai kekuatan tinggi di lingkungan suhu tinggi dan bersifat cryogenic. Tipe 2xx mengandung nitrogen, mangan 4-15,5%, dan kandungan 7% nikel. Tipe 3xx mengandung unsur nikel tinggi dan maksimal kandungan mangan 2%wt. Unsur molybdenum, tembaga, silikon, aluminium, titanium dan niobium ditambah dengan karakter material tertentu seperti ketahanan korosi sumuran atau oksidasi. Sulfur ditambah pada tipe tertentu untuk memperbaiki sifat mampu mesin. Salah satu jenis baja stainless austenitic adalah AISI 304. Baja tersebut mempunyai struktur kubus satuan bidang (*face center cubic*) dan merupakan baja dengan ketahanan korosi tinggi. Komposisi unsur-unsur pepadu yang terkandung dalam AISI 304 akan menentukan sifat mekanik dan ketahanan korosi.

a. *Stainless Steel* SUS 304

Kelas 304 merupakan jenis stainless steel yang paling fleksibel, murah, mudah didapat dipasaran dan banyak digunakan di industri-industri yang diaplikasikan sebagai bahan baku pembuatan *food pan, grease trap, steamer, gas oven burner* dan lain-lain. Kelas 304 sering digunakan pada lingkungan tercemar dan air tawar, namun tidak dapat digunakan pada lingkungan yang berhubungan langsung dengan air laut.

Untuk komposisi kimia material 304 yaitu terdiri dari 0,08% karbon, 2% mangan, 0,045% fosfor, 0,030% sulfur, 0,75% 11anic11a, 18-20% chromium, 8-12% nikel, 0,1% nitrogen dan 65-72% besi (Fe). (AK, Steel, 2007). Selain itu, pada material 304 memiliki *tensile strength* sebesar 586 Mpa, *yield strength* sebesar 241 Mpa, *elongation* sebesar 40%, modulus elastisitas 193 Gpa dan nilai kekerasan sebesar 201 HB.

Pengkodean SUS pada *Stainless steel* SUS 304 didasarkan pada JIS (Japanese Industrial Standarts) dimana standarisasi dari Jepang yang setara dengan AISI (American Iron Steel Institute). Untuk penggolongan stainless steel biasanya menggunakan grade dari ASTM (American Society for Testing Materials) dengan menggunakan kode huruf SUS diikuti dengan kode angka sesuai AISI tersebut.

C. *Hot Dipping*

Pelapisan *hot dipping* adalah pelapisan logam dengan cara mencelupkan pada sebuah material yang terlebih dahulu dilebur dari bentuk padat menjadi cair pada sebuah pot atau tangki, menggunakan energi dari gas pembakaran atau menggunakan energi alternatif seperti panas listrik. Titik lebur yang digunakan pada pelapisan material ini adalah biasanya beberapa ratus derajat celcius (tidak melebihi 1000 °C).

Dalam metode *hot dipping*, struktur material yang akan dilapisi dicelupkan ke dalam bak berisi lelehan logam pelapis. Antara logam pelapis dan logam yang dilindungi terbentuk ikatan metalurgi yang baik karena terjadinya perpaduan proses antarmuka (*interface alloying*). Pengaturan tebal lapisan dalam proses ini sulit, lapisan cenderung tidak merata, yaitu tebal pada permukaan sebelah bawah tetapi tipis pada permukaan sebelah atas. Meskipun demikian, seluruh permukaan yang terkena lelehan logam itu akan terlapisi. Proses *hot dipping* terbatas untuk logam-logam yang memiliki titik lebur rendah, misalnya; timah, seng dan aluminium. (Chamberlain, 1991)

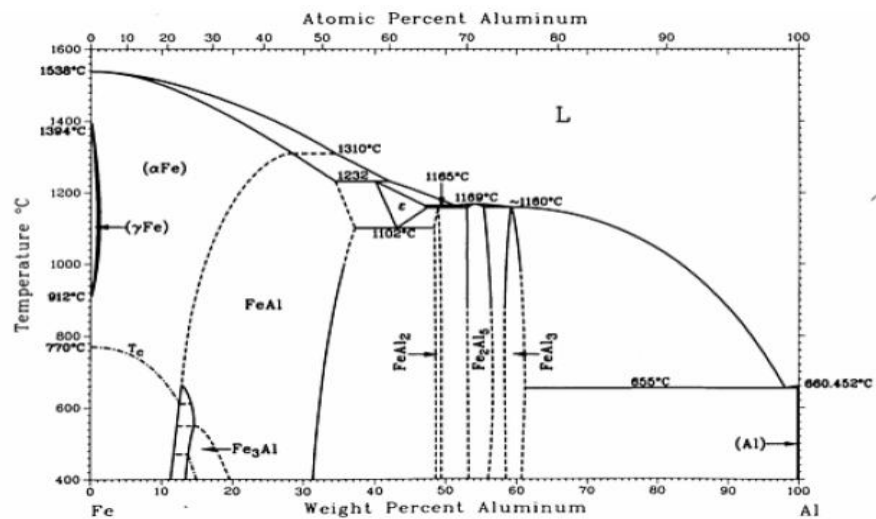
Pada proses *hot dipping* benda harus dibersihkan atau disemprot, disikat dengan larutan berupa HCl dengan konsentrasi tertentu untuk membersihkan. Hal ini dilakukan agar bebas dari minyak dan kotoran lainnya dan diakhiri dengan mencelupkan benda kerja ke dalam *fluxes* atau menyemprotkan *fluxes* ke benda yang akan dilapisi. *Fluxes* adalah cairan yang digunakan untuk lebih merekatkan. (Gambreel, 2009)

1. Pelapisan Aluminium

Aluminium adalah logam ringan mempunyai massa jenis 2.7 g cm^{-3} . dan biasanya aluminium berwarna perak. Aluminium memiliki titik lebur 660°C - 760°C . Menurut I Dewa M.K.U (2009), kekuatan tarik aluminium murni adalah 90 Mpa, sedangkan aluminium paduan memiliki kekuatan tarik hingga 220 Mpa. Aluminium memiliki berat sekitar satu pertiga baja, mudah ditekuk, diperlakukan dengan mesin, dicor, ditarik (drawing), dan diekstrusi. Resistansi terhadap korosi terjadi akibat fenomena pasivasi, yaitu terbentuknya lapisan aluminium oksida ketika aluminium terpapar dengan udara bebas. Lapisan aluminium oksida ini mencegah terjadinya oksidasi lebih jauh. Sifat-sifat yang dimiliki aluminium antara lain:

- a. Ringan, tahan korosi dan tidak beracun maka banyak digunakan untuk alat rumah tangga seperti wajan, panci dan lain-lain.
- b. Reflektif dalam bentuk aluminium foil digunakan sebagai pembungkus makanan, obat-obatan, dan rokok.
- c. Daya hantar listrik dua kali lebih besar dari Cu maka Al digunakan sebagai kabel tiang listrik.
- d. Paduan Al dengan logam lainnya menghasilkan logam yang kuat seperti, Duralium (campuran Al, Cu, Mg) untuk pembuatan badan pesawat.
- e. Fluiditas yang baik, penting untuk mengisi bagian benda yang tipis.
- f. Al sebagai zat reduktor untuk oksida MnO_2 dan Cr_2O_3 .

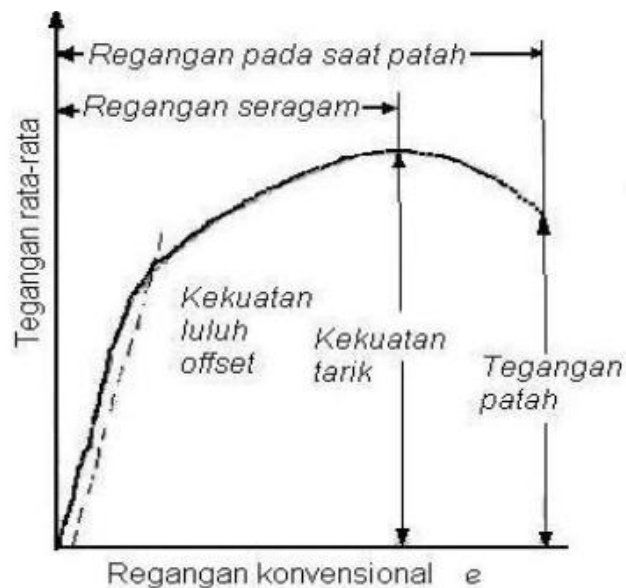
Paduan dari paduan Fe-Al digunakan cukup luas dikarenakan kombinasi yang baik dari sifat-sifat mekanik dan magnetik. Disamping itu, paduan Fe-Al memiliki ketahanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan besi, ketahanan korosi yang tinggi dan tidak mahal. Besi alumunide dengan fase Fe_3Al dan fase Fe-Al cukup menarik dikembangkan menjadi kandidat sebagai material temperatur tinggi, ketahanannya meningkat dengan meningkatnya temperatur selama masih dibawah temperatur 600°C , disamping ketahanan oksidasi dan sulfidasi yang baik. Namun, karena sifat duktilitasnya kurang baik menyebabkan paduan ini kurang dapat digunakan sebagai material struktur. Masalah ini dapat diselesaikan dengan menambahkan chromium (Cr), proses termomekanik atau perlakuan permukaan.



Gambar 1. Diagram Fasa Fe-Al (Kobayashi and Yakou, 2002)

D. Uji Tarik

Pengujian tarik memiliki tujuan untuk mengetahui kekuatan tarik bahan uji. Bahan uji yaitu bahan yang nantinya akan digunakan sebagai konstruksi, agar siap menerima pembebanan dalam bentuk tarikan. Pengujian tarik dilakukan dengan memberikan pembebanan tarik pada material. Hasil yang diperoleh dari pengujian tarik adalah grafik tegangan-regangan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Kurva Tegangan-Regangan (Dieter, 1992)

Sifat mekanik yang dapat diketahui berdasarkan kurva pengujian tarik yang dihasilkan adalah kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strenght*). Kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strenght*) adalah beban maksimum dibagi luas penampang awal. Besarnya kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strenght*) ditentukan oleh tegangan maksimum yang diperoleh dari kurva tegangan regangan. Kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strenght*) ini diperoleh dari :

$$\sigma_u = \frac{P_{maks}}{A_0} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

σ_u : Kekuatan tarik (MPa)

P_{maks} : Beban maksimum (kN)

A_0 : Luas penampang awal (mm²)

Sifat mekanik yang lain adalah kekuatan luluh yang diberi simbol σ_{yield} . Kekuatan luluh (*Yield Strength*) adalah tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah kecil deformasi plastis yang ditetapkan. Definisi yang sering digunakan untuk sifat ini adalah kekuatan luluh *offset* di tentukan oleh tegangan yang berkaitan dengan perpotongan kurva tegangan regangan dengan garis yang sejajar dengan elastis *offset* kurva regangan tertentu. Di Amerika Serikat *offset* biasanya ditentukan sebagai regangan 0,2 atau 0,1 persen (Dieter, 1986).

E. Kelelahan (*Fatigue*)

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. Fatik menduduki 90% penyebab utama kegagalan pemakaian. Pada dasarnya kegagalan *fatigue* dimulai dengan terjadinya retakan pada permukaan benda uji. Hal ini membuktikan bahwa sifat-sifat *fatigue* sangat peka terhadap kondisi permukaan, yang dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kekasaran

permukaan, perubahan sifat-sifat permukaan dan tegangan sisa permukaan (Dieter,1992). Ada tiga tahap terjadinya kegagalan lelah, yaitu *crack initiation*, *crack propagation* dan *fracture* secara tiba-tiba akibat pertumbuhan crack yang tidak stabil. Adapun tiga tahapan tersebut adalah sebagai berikut: (Timing, 1998)

1. *Crack Initiation* (Awal Retak)

Mekanisme fatik umumnya dimulai dari *crack initiation* yang terjadi di permukaan material yang lemah atau daerah dimana terjadi konsentrasi tegangan di permukaan (seperti goresan, notch, lubang-pits dll) akibat adanya pembebanan berulang.

2. *Crack propagation* (Perambatan Retak)

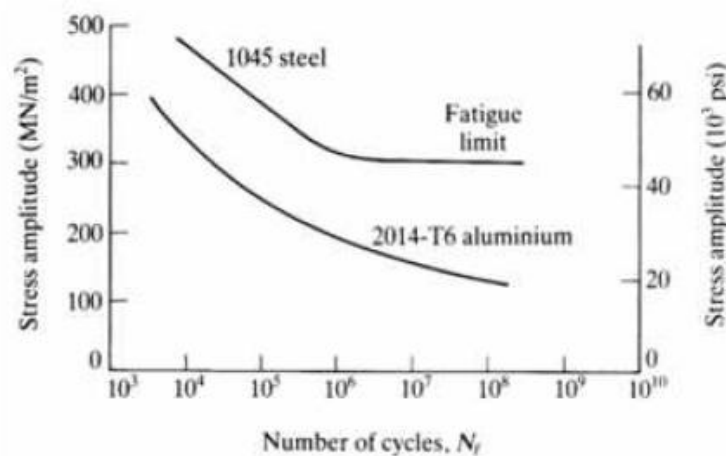
Jumlah total siklus yang menyebabkan kegagalan fracture merupakan penjumlahan jumlah siklus yang menyebabkan retakan awal dan fase perambatannya. *Initiation Crack* ini berkembang menjadi microcracks. Perambatan atau perpaduan microcracks ini kemudian membentuk *macrocracks* yang akan berujung pada *failure*.

3. *Fracture* (Patah)

Fracture adalah proses akhir kerusakan pada struktur saat mengalami pembebanan, sehingga struktur tersebut mengalami kegagalan. Ketika terjadi penjalaran retak, penampang pada bagian tersebut akan berkurang. Sampai pada kondisi dimana penampang pada bagian tersebut tidak mampu menahan beban. Pada tahap ini penjalaran retak yang terjadi sangat cepat sehingga struktur akan pecah menjadi dua.

Penjalaran yang cepat tersebut sering disebut *fast fracture*. Perpatahan terjadi ketika material telah mengalami siklus tegangan dan regangan yang menghasilkan kerusakan yang permanen.

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). Penyajian data fatik rekayasa adalah menggunakan kurva S-N yaitu pemetaan tegangan (S) terhadap jumlah siklus sampai terjadi kegagalan (N). Kurva S-N ini lebih diutamakan menggunakan skala semi log seperti ditunjukkan pada gambar 3. Untuk beberapa bahan teknis yang penting.



Gambar 3. Kurva S-N

Kurva tersebut didapat dari pemetaan tegangan terhadap jumlah siklus sampai terjadi kegagalan pada benda uji. Pada kurva ini siklus menggunakan skala logaritma. Batas ketahanan *fatigue* (*endurance limit*) baja ditentukan pada jumlah siklus $N > 10^7$. (Dieter, 1992).

1. Perambatan Retak Fatik

Rambat retak fatik dapat didekati dengan persamaan Paris sebagai berikut:

$$da/dN = C (\Delta K)^m \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

ΔK = Selisih faktor intensitas tegangan

C = Konstanta Bahan

m = Nilai Eksponensial

Laju perambatan retak yaitu fungsi dari faktor intensitas tegangan. Retak berawal dari daerah yang paling lemah seperti adanya endapan, lalu berkembang seiring dengan berjalannya siklus pembebanan. Didalam suatu percobaan biasanya perambatan retak dapat diukur secara visual dengan menggunakan alat teleskop atau dapat juga dilakukan dengan alat ultrasonik atau dengan alat pengubah resistivitas listrik. Pertumbuhan retak merupakan perubahan panjang retak terhadap siklus. Jika panjang retak (a) diplot dengan siklus N , maka da/dN dievaluasi pada suatu panjang retak, kemudian ΔK untuk panjang retak tersebut. Dengan mengansumsi bahwa panjang retak (a) pada suatu panjang konstan dan hanya tegangan yang bervariasi. Hai tersebut ditunjukkan untuk suatu kalibrasi K sederhana:

$$K = Y \sigma \sqrt{\pi a} \dots\dots\dots (3)$$

$$\Delta K = Y \Delta \sigma \sqrt{\pi a} \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

$\Delta \sigma$ = Selisih antara tegangan maksimum dan minimum (MPa)

A = Luas penampang (mm²)

a = Panjang retak (mm)

Y = Faktor geometri spesimen.

2. Faktor yang Memengaruhi Kekuatan *Fatigue* (Kelelahan)

Adapun yang dapat memengaruhi kekuatan *fatigue* (lelah) pada material adalah sebagai berikut:

a. Faktor kelembaman lingkungan

Semakin tinggi kelembapan maka dapat membentuk pit korosi dan retak pada permukaan spesimen sehingga kegagalan cepat terjadi.

b. Kualitas Permukaan

Kekasaran permukaan dapat menyebabkan konsentrasi *stress microscopic* yang menurunkan ketahanan *fatigue*.

c. Besar Butir

Pada umumnya semakin kecil ukuran butir maka akan memperpanjang *fatigue life*.

d. Faktor suhu

Suhu yang tinggi menyebabkan molekul air yang terbentuk mengecil di permukaan baja sehingga mempercepat terjadinya reaksi oksidasi dan membuat jumlah pit korosi jauh lebih banyak, akibatnya pit korosi cepat bergabung membentuk retakan yang memanjang.

e. Faktor tegangan sisa

Proses manufaktur seperti pengelasan, pemotongan, casting dan proses lainnya yang melibatkan panas atau deformasi dapat membentuk tegangan sisa yang dapat menurunkan ketahanan *fatigue* material.

f. Tipe Material

Fatigue life setiap material berbeda beda.

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat Penelitian

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

B. Alat dan Bahan Penelitian yang Digunakan

1. Alat 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 4. Mesin MTS Landmark 100 kN

b. Tungku Pemanas (*furnace*)

Tungku pemanas digunakan untuk melakukan perlakuan difusi dan juga untuk proses pencelupan spesimen yang dilapisi. Tungku pemanas yang digunakan merk Nabertherm tipe L 64/14 dengan daya 13.0 kW dan temperatur maksimal 1400 °C.

c. Mikroskop *Digital Portable*

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



Gambar 5. Mikroskop *digital portable*

d. SEM (*Scanning Elektron Microscop*)

Scanning Elektron Microscop (SEM) digunakan untuk mengobservasi patahan permukaan baja setelah pengujian retak fatik melalui penampang patahan spesimen uji.

e. Mikroskop Optik

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

2. Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam penellitian ini adalah sebagai berikut:

a. *Stainless Steel 304*

Stainless steel 304 berbentuk plat yang pembuatannya melalui proses pengerolan dingin. *Stainless steel 304* memiliki kadar chromium 18-20%.

C. Prosedur Penelitian

Prosedur pada penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan proses, yaitu:

1. Persiapan Spesimen

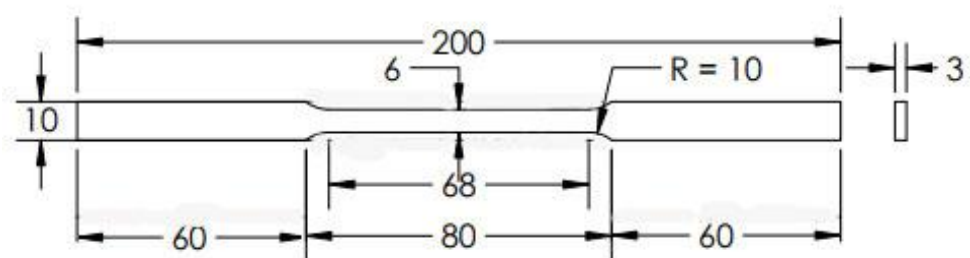
Material yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini yaitu *stainless steel 304* dalam bentuk plat datar.

2. Pembuatan Spesimen

Stainless steel 304 berbentuk plat datar dengan ketebalan 3 mm dan ukuran plat sebesar 185 mm serta lebar 25 mm. Spesimen dibuat menjadi 2 bentuk yaitu spesimen uji tarik dan uji fatik.

a. Spesimen Uji Tarik

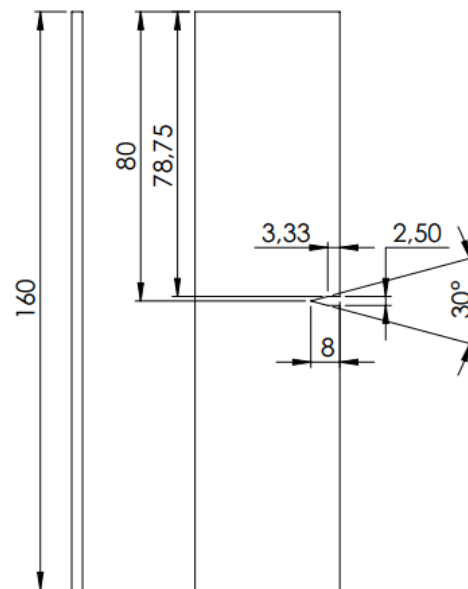
Spesimen untuk uji tarik berdasarkan standar ASTM E 8 (*Subsize Specimen*). Ukuran dan bentuk seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Spesimen Uji Tarik Standar ASTM 8

b. Spesimen Uji Fatik

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



Gambar 7. Bentuk dan Ukuran Spesimen Uji Fatik (ASTM E647, 2004)

3. Celup Panas (*Hot Dipping*)

Proses celup panas (*hot dipping*) memiliki beberapa tahapan yang harus dilakukan. Berikut ini adalah tahapan-tahapan proses celup panas:

a. *Cleaning*

Cleaning yaitu pembersihan permukaan logam dengan pembersih ultrasonic dengan menggunakan acetone dan ethanol selama 4 menit, bertujuan menghilangkan kotoran dan bentuk struktur permukaan spesimen yang baik.

b. *Pickling*

Proses *pickling* adalah proses pembersihan spesimen menggunakan larutan kimia NaOH dan H₃PO₄ selama beberapa detik.

c. Netraslisasi

Spesimen yang telah dibersihkan dengan larutan kimia kemudian dinetralisasi dengan mencelupkan ke dalam aquades selama beberapa menit sambil spesimen diputar-putar.

d. Fluksasi

Fluksasi merupakan proses pencelupan logam substrat ke dalam larutan fluks aluminium selama beberapa menit.

e. Pengeringan

Proses pengeringan dilakukan dengan menggunakan *hair dryer* agar logam substrat yang telah dilapisi fluks lebih cepat mengering.

f. Pencelupan

Proses pencelupan merupakan tahap akhir dari proses pelapisan Al-7%Si celup panas. Proses ini dilakukan dengan mencelupkan *satinless steel* ke dalam aluminium cair. Proses pencelupan dilakukan pada temperatur 700 °C dengan waktu tahan selama 2 menit.

g. *Cooling*

Cooling adalah proses pendinginan spesimen uji yang telah dilakukan setelah proses celup panas dilakukan. Spesimen dibiarkan hingga dingin dengan temperatur kamar.

4. Perlakuan difusi

Perlakuan difusi ini dilakukan dengan memanaskan spesimen ke dalam *furnace* pada temperatur 750°C selama 1 jam, 9 Jam dan 49 Jam.

5. Uji Tarik Statis

Pengujian tarik statis harus dilakukan terlebih dahulu untuk mendapatkan data nilai tegangan luluh (σ_y) baja tahan karat (*stainless steel*). 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* 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 ke dalam 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 panjang plat, lebar pelat dan tebal plat.

- j. Memasukan *initial speed* dan *secondary speed* (mm/s).
- k. Setelah menginput semua data lalu klik RUN.

6. Uji Fatik

Prosedur pengujian perambatan retak fatik yang akan dilakukan yaitu:

- a. Menyiapkan spesimen sesuai dengan standar ASTM E 647.
- 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 ke dalam 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 *high cycle fatigue testing*.
- h. Memasukkan data *Pmaks* dan *Pmin*, siklus total, *incremental cycles* untuk mengatur stop mesin secara otomatis pada setiap jumlah siklus tertentu dengan tujuan agar retak dapat diamati/diukur dengan menggunakan mikroskop digital portabel (lihat gambar 3.4)
- i. Memasukan *initial speed* dan *secondary speed* (mm/s).
- j. Setelah menginput semua data lalu klik RUN.

D. Metode yang Digunakan

Metode yang digunakan untuk menghitung perambatan retak fatik pada penelitian ini adalah metode *polynomial incremental* (ASTM E647, 2004). Metode ini digunakan untuk menghitung da/dN meliputi pas polinomial urutan kedua (parabola) ke rangkaian $(2n+1)$ titik data yang berurutan, di mana n biasanya 1,2,3 atau 4. Bentuk persamaan adalah sebagai berikut: (ASTM E647, 2004).

$$a_i = b_0 + b_1 \left(\frac{N_i - C_1}{C_2} \right) + b_2 \left(\frac{N_i - C_1}{C_2} \right)^2 \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

$$-1 \leq \left(\frac{N_i - C_1}{C_2} \right) \leq +1 \dots\dots\dots(6)$$

Laju pertumbuhan retak pada N_i diperoleh dari turunan dari parabola di atas, sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut:

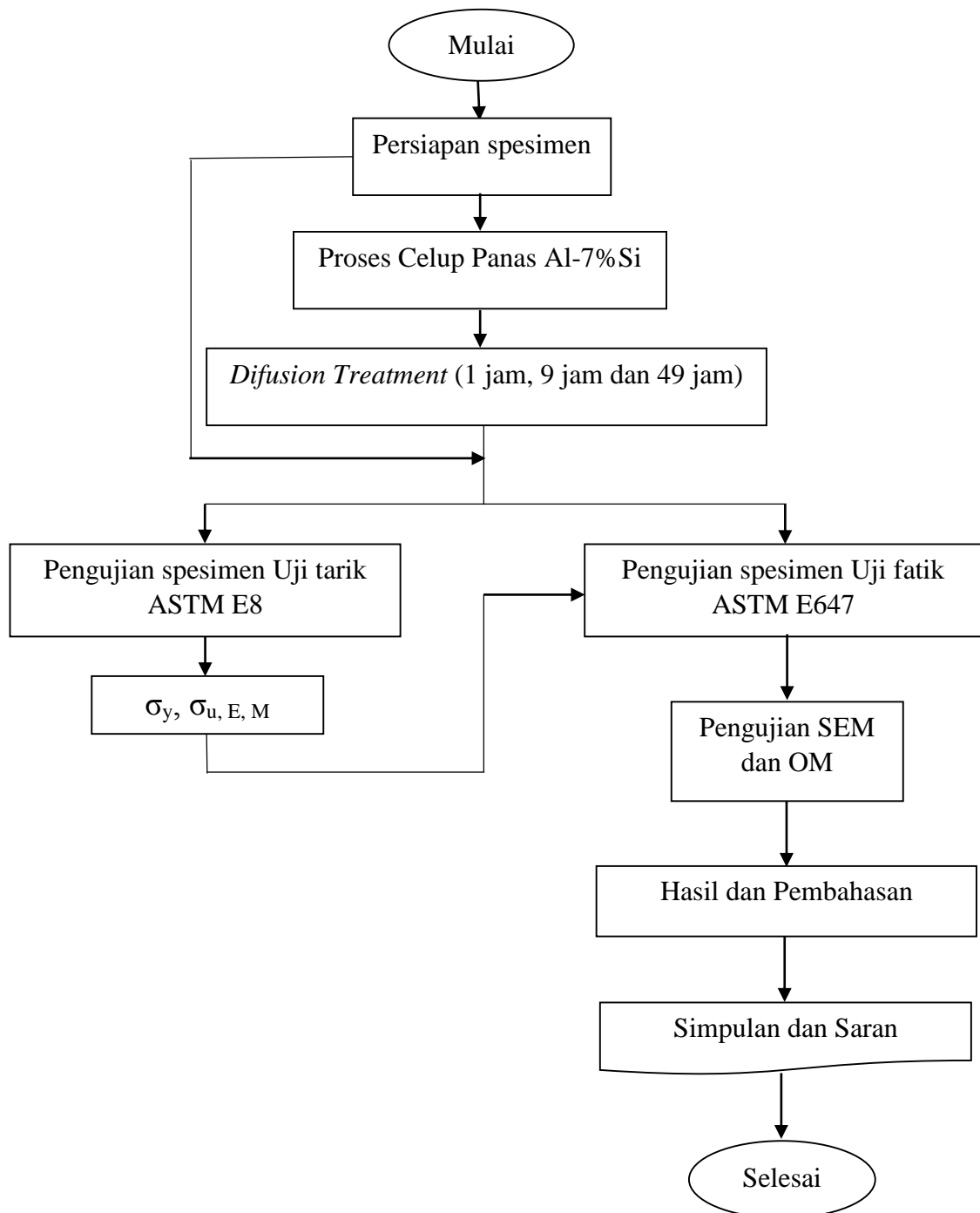
$$\left(\frac{da}{dN} \right) d_i = \frac{*b_1}{C_2} + 2 b_2 \left(\frac{N_i - C_1}{C_2} \right)^2 \dots\dots\dots(7)$$

Nilai ΔK terkait dengan nilai da/dN ini dihitung dengan menggunakan ukuran retak \hat{a}_i , sesuai dengan N_i . Persamaan nilai ΔK untuk spesimen retak sisi tunggal yaitu :

$$\Delta K = \frac{\Delta P}{B\sqrt{W}} \frac{(2 + \alpha)}{(1 - \alpha)^{3/2}} (0.886 + 4.6 \alpha - 13.32\alpha^2 + 14.72\alpha^3 - 5.6\alpha^4) \dots (8)$$

Dimana :

$$\alpha = \frac{a}{W} \dots\dots\dots(9)$$

E. Diagram Alir Penelitian

Gambar 8. Diagram Alir Penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan adalah:

1. Perlakuan difusi pada SS304 lapis Aluminium menurunkan kekuatan mekaniknya. SS304 mengalami penurunan nilai tegangan luluh (18,89%) dan nilai tegangan maksimum (11,73%). Nilai tegangan luluh dan nilai tegangan maksimum terendah yaitu 285,360 MPa dan 540,325 MPa pada SS304 dengan perlakuan difusi selama 49 jam.
2. Laju perambatan retak fatik (da/dN) SS304 tanpa perlakuan (*base metal*) $da/dN=6.17 \times 10^{-9} \Delta K^{1.2725}$, SS304 lapis Aluminium $da/dN=7.788 \times 10^{-9} \Delta K^{1.3638}$, SS304 *diffussion treatment* 1 jam $da/dn=1.954 \times 10^{-9} \Delta K^{1.9063}$, SS304 *diffussion treatment* 9 jam $da/dN=8.378 \times 10^{-9} \Delta K^{1.3741}$ dan SS304 *diffussion treatment* 49 jam $da/dN=8.529 \times 10^{-9} \Delta K^{1.2977}$. Berdasarkan nilai laju perambatan retak fatik diatas bahwa tidak semua dengan proses pelapisan dapat meningkatkan kekuatan mekanik pada material.
3. Hasil Uji SEM SS304 lapis Aluminium dengan *diffussion treatment* mengalami patahan yang lebih getas dibandingkan dengan SS304 tanpa perlakuan.

B. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya penelitian lanjutan SS304 mengenai uji tarik serta uji perambatan fatik melalui pengerjaan dingin.
2. Menggunakan metode lain dalam pelapisan SS304 agar didapatkan peningkatan kekuatan mekanik.

DAFTAR PUSTAKA

- Akuan, Abrianto. 2007. Diktat Kuliah: Kelelahan Logam. Fakultas Teknik, Universitas Jendral Achmad Yani. Bandung.
- AK Steel. 2007. 304/304 L Stainless Steel.
- Anshari, Hafis syafrudin. 2010. Karakteristik Laju Perambatan Retak Fatik Bahan Komposit Berpenguat Serat Kenaf Dengan Matrik Polyester. Surakarta.
- ASTM E647. 2004. Metal Test Methods and Analytical Procedures, Annual Book of ASTM Standard, Sec.3, Vol.03.01, pp.615-657, Bar Harbor Drive, West Conshohocken.
- ASTM E8. 2001. Standard Test Method for Tension Testing of Metallic Materials. USA.
- Broek, D., 1984. *Elementary Engineering Fracture Mechanics*, Kluwer Academic Publishers, London: UK.
- Chamberlain J., Trethewey KR. 1991. KOROSI, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

- Collins, J.A. 1993. *Failure of Material in Mechanical Design, Analysis Prediction and Prevention*, John Willey & Son, Inc US. New York. United States of America.
- Covert, Roger A and Tuthill, Arthur H. 2000. *Stainless Steels: An Introduction to Their Metallurgy and Corrosion Resistance, Dairy, Food and Environmental Sanitation*, Vol. 20, No. 7, Pages 506-517.
- Dieter, George E. 1992. *Metalurgi Mekanik*, Edisi ketiga, alih bahasa oleh Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta.
- Dewa, I Made Krishna Muku. 2009. *Kekuatan Sambungan Las Aluminium Seri 1100 dengan Variasi Kuat Arus Listrik Pada Proses Las Metal Inert Gas (MIG)*. Vol 3.
- Erinosh, T.O. Li, P., Truman, C. E., Smith, D.J. 2016. *Pressure, Temperature and Dwell Time Effects on Fatigue Life in 304 Stainless Steel using a R5-based Mechanistic Fatigue Model*. *Procedia Engineering* 160 (2016) 191 – 198.
- Gambrell, J.W. 1992. *Surface Engineering ASM Handbook volume 5*. ASM International.
- Kobayashi, S and Yakou, T. 2002. *Control of Intermetallic Compound Layers at Interface Between Steel and Aluminum by Diffusion Treatment*, *Materials Science and Engineering*. Vol. 338, pp. 44-53.
- Lemmens, B., Springer, H., Peeters, M., De Graeve, I., De Strycker, J., Raabe, D., Verbeken, K. 2017. *Deformation induced degradation of hot-dip aluminized steel*. *Materials Science & Engineering A*.

Seitovirta, Mika. 2013. Handbook of Stainless Steel. Finland:Outkumpu

Sunardi, Iswanto, Tri Priyo, Mudjijana. 2013. Pengaruh Waktu Shot Peening Terhadap Kekerasan dan Kekerasan Permukaan Stainless Steel AISI 304. Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi. Seminar Nasional Ke 8 Tahun 2013.

Timings, Roger Leslie. 1998. Engineering Materials, Jilid 1, edisi 2, penerbit Longman Scientific & Technical. New York.