

**ANALISA EFEK GALVANIK PENGELASAN LOGAM
BERBEDA BAJA KARBON RENDAH ASTM A36 DAN BAJA
TAHAN KARAT ASTM A240 tipe 316L**

***ANALYSIS OF GALVANIC EFFECTS OF DIFFERENT METAL
WELDING ASTM A36 LOW CARBON STEEL AND ASTM
A240 STEEL TYPE 316L***

**ABD.WAHAB
D022201002**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2022**

**ANALISA EFEK GALVANIK PENGELASAN LOGAM
BERBEDA BAJA KARBON RENDAH ASTM A36 DAN BAJA
TAHAN KARAT ASTM A240 tipe 316L**

Tesis

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi Teknik Mesin

Disusun dan diajukan oleh

ABD.WAHAB

D022201002

Kepada

**SEKOLAH PASCASARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA EFEK GALVANIK PENGELASAN LOGAM BERBEDA BAJA KARBON RENDAH ASTM A36 DAN BAJA TAHAN KARAT ASTM A240 tipe 316L

Disusun dan diajukan oleh

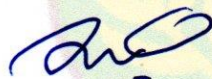
ABD. WAHAB

NIM: D022201002

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam
rangka Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 30 Agustus 2022

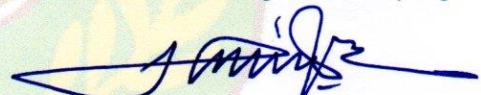
Menyetujui
Komisi Penasehat,

Pembimbing Utama



Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma. ST., MT
Nip. 197404151999031001

Pembimbing Pendamping



Dr. Hairul Arsyad. ST., MT
Nip. 197503222002121001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, ST., MT
Nip. 197309262000121002

Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin



Dr. Hairul Arsyad. ST., MT
Nip. 197503222002121001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis ini berjudul "ANALISA EFEK GALVANIK PENGELASAN LOGAM BERBEDA BAJA KARBON RENDAH ASTM A36 DAN BAJA TAHAN KARAT ASTM A240 tipe 316L" adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing. Dr.Eng. Lukmanul Hakim Arma. ST., MT sebagai Pembimbing Utama dan Dr. Hairul Arsyad. ST., MT. sebagai Pembimbing Pendamping. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian isi tesis ini telah dipublikasikan di Jurnal *AIP Proceeding Conference* sebagai artikel dengan judul *Effect of Electrodes on Microstructures and Mechanical Properties of Dissimilar Metal Joints ASTM A36 and ASTM A240 type 316L*.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 30 Agustus 2022

Yang Menyatakan



Abd. Wahab
D022201002

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat, nikmat, kesempatan dan kesehatan yang diberikan sehingga penulis mampu menyelesaikan tesis ini dengan baik. Tesis dengan judul “ANALISA EFEK GALVANIK PENGELASAN LOGAM BERBEDA BAJA KARBON RENDAH ASTM A36 DAN BAJA TAHAN KARAT ASTM A240 tipe 316L”

Penyusunan tesis ini untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar magister pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin.

Penulis juga menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan dan petunjuk terutama kepada:

1. Prof.Dr. Jamaluddin Jompa, M.Si selaku rektor Universitas Hasanuddin.
2. Dr.Eng. Jalaluddin, S. T., M.T selaku Ketua Departemen Teknik Mesin.
3. Dr. Hairul Arsyad, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi S2 Teknik Mesin.
4. Dr. Eng Lukmanul Hakim Arma, S.T., M.T selaku pembimbing I yang memberikan arahan dan bimbingan dalam penyelesaian tesis ini.
5. Dr. Hairul Arsyad, S.T., M.T selaku pembimbing II yang memberikan arahan dan bimbingan penyelesaian tesis ini.
6. Dosen dan Tenaga Kependidikan yang memberikan arahan dan bimbingan penyelesaian thesis ini.
7. Bapak Edi Iskandar ST sebagai Laboran Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu dalam pengujian spesimen dan pelaksanaan proses penelitian.
8. Harjuma ST,. MT selaku Direktur Akademi Teknik Soroako yang telah memberikan kesempatan untuk studi lanjut S2 di Universitas Hasanuddin, serta memberikan fasilitas yang digunakan untuk pengerjaan bahan pengujian.
9. Bapak-bapak Dosen, Instruktur dan Unit Produksi Akademi Teknik Sorowako yang telah banyak membantu dalam pengerjaan benda uji sehingga dapat diselesaikan dengan baik.
10. Orang tua, istri tercinta Ratna Fajar, serta ketiga anak Aslam Zaki Risqullah, Azka Nur Fasa dan Althafarizqi Fairuz Wahab serta Kakak dan Adik yang telah

memberikan dorongan moril, materil serta doa sehingga tesis ini dapat terselesaikan.

11. Rekan-rekan mahasiswa Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Mesin, baik senior dan junior yang telah mensupport dan memberikan semangat dalam penyelesaian tugas akhir.
12. Rekan-rekan mahasiswa S1 Teknik Mesin angkatan 2017 dan 2018, Asisten Laboratorium Metalurgi Fisik dan khususnya Rahmat Ramadan dan Andi Almudai Chumara Tungga yang selalu membantu dalam persiapan dan pengujian spesimen

Penulis menyadari bahwa naskah tesis ini belum sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi meningkatkan ilmu pengetahuan pada masa mendatang untuk tesis ini lebih bermanfaat bagi pembaca.

Gowa, 30 Agustus 2022

Abd. Wahab

ABSTRAK

Abd.Wahab. Analisa Efek Galvanik Pengelasan Logam Berbeda Baja Karbon Rendah ASTM A36 dan Baja Tahan Karat ASTM A240 tipe 316L (dibimbing oleh **Lukmanul Hakim Arma** dan **Hairul Arsyad**).

Riset ini menyajikan penelitian eksperimental menganalisa efek galvanik pengelasan logam berbeda baja karbon rendah ASTM A36 dengan baja tahan karat ASTM A240 tipe 316L. Efeknya berpengaruh terhadap sifat mekanik dan ketahanan logam las terhadap korosi. Tujuan penelitian ini mengetahui pengaruh jenis elektroda E308L-16 dan E309Mo-17 terhadap sifat mekanik dan ketahanan terhadap pitting korosi tanpa PWHT dan perlakuan PWHT temperatur 400 °C, 600 °C dan 900 °C dengan media quenching dromus. Hasil pengujian sifat mekanik kekerasan dengan specimen tanpa perlakuan PWHT dengan harga rata - rata kekerasan tertinggi pada specimen tanpa PWHT bagian logam las sebesar 131,16 HV dihasilkan elektroda E309Mo-17 sedangkan logam las elektroda E308L-16 dengan kekerasan 124,96 HV. Specimen yang diberikan perlakuan PWHT terjadi degradasi harga kekerasan. Pengujian dampak dengan posisi v-notch pada area logam las. Nilai tertinggi pada specimen dengan perlakuan panas 400 °C dihasilkan oleh elektroda E308L-16 dan E309Mo-17 harga dampak sebesar 1,31 joule/mm² dan 0,99 joule/mm² dengan bentuk patahannya ulet. Pengelasan DMW A36–SS316L terjadi korosi galvanik, perbedaan harga potensial logam induk A36 -0,8 sebagai anoda dan logam las sebagai katoda dengan harga potensialnya -0,5. Efeknya terjadi korosi seragam pada anoda. Ketahanan korosi khususnya pitting korosi pada area logam las, elektroda E309Mo-17 ketahanannya lebih baik dari logam las E308L-16 tanpa perlakuan dan dengan perlakuan pada temperatur 400 °C. Rasio komposisi Cr dan Ni yang dimiliki kedua elektroda mempengaruhi ketahanan terhadap pitting korosi. Hasil EDS menunjukkan adanya kenaikan harga presentase massa krom, nikel dan molibdenium yang mendukung peningkatan ketahanan terhadap pitting korosi.

Kata kunci: Pengelasan logam berbeda, PWHT, Kekerasan, Dampak, Pitting Korosi

ABSTRACT

Abd. Wahab. Galvanic Effect Analysis of Welding Different Metals ASTM A36 Low Carbon Steel and ASTM A240 Stainless Steel Type 316L (supervised by **Lukmanul Hakim Arma** and **Hairul Arsyad**).

This research presents an experimental study analyzing the galvanic effect of welding dissimilar metals to ASTM A36 low carbon steel and ASTM A240 stainless steel type 316L. The effect affects the mechanical properties and resistance of the weld metal to corrosion. The purpose of this study was to determine the effect of electrode types E308L-16 and E309Mo-17 on mechanical properties and resistance to pitting corrosion without PWHT and PWHT treatment at temperatures of 400°C, 600°C and 900 C with dromus quenching media. The results of testing the mechanical properties of hardness with specimens without PWHT treatment with the highest average hardness value on specimens without PWHT for welding metal parts of 131.16 HV produced an E309Mo-17 electrode while the welding metal electrode E308L-16 with a hardness of 124.96 HV. Specimens that were given PWHT treatment experienced a degradation in the value of hardness. Impact testing with a v-notch position on the weld metal area. The highest value in the specimen with heat treatment of 400°C was produced by the electrodes E308L-16 and E309Mo-17, the impact values were 1.31 joules/mm² and 0.99 joules/mm² with ductile fractures. Welding DMW A36–SS316L galvanic corrosion occurs, the difference in the potential value of the base metal A36 is -0.8 as anode and the weld metal as cathode with a potential value of -0.5. The effect is uniform corrosion at the anode. Corrosion resistance, especially pitting corrosion in the weld metal area, the E309Mo-17 electrode has better resistance than the E308L-16 weld metal without treatment and with treatment at a temperature of 400°C. The ratio of Cr and Ni composition of the two electrodes affects the resistance to pitting corrosion. The EDS results showed an increase in the mass percentage of chromium, nickel and molybdenum which supported the increased resistance to pitting corrosion.

Keywords: Welding of dissimilar metals, PWHT, Hardness, Impact, Pitting Corrosion

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Baja Karbon.....	6
2.1.1 Baja Karbon Rendah ASTM A36	6
2.1.2 Diagram Fasa.....	7
2.1.3 Diagram Fasa Kesetimbangan Fe-Fe ₃ C	7
2.2 Baja Tahan Karat	9
2.2.1 Baja Tahan Karat Austenit	9
2.2.2 Diagram Fasa Kesetimbangan Fe-Cr.....	11
2.3 Pengelasan.....	12
2.3.1 Pengelasan Logam Berbeda	13
2.3.2 Dilusi.....	14
2.3.3 Pengelasan SMAW	15
2.3.4 Elektroda	17
2.4 Metalurgi Pengelasan	18
2.4.1 Heat Input Pengelasan	18
2.4.2 Heat Affected Zone (HAZ)	19
2.5 Non Destructif Test (NDT).....	20
2.6 Diagram Schaeffler.....	21
2.7 Post Weld Heat Treatment.....	22
2.8 Korosi.....	23
2.8.1 Korosi Galvanik	24
2.8.2 Korosi Sumuran (Pitting Corrosion).....	28
2.8.3 Pitting Resistance Equivalent Number	29
2.9 Aplikasi Pengelasan Logam Berbeda.....	29
2.10 Standar Uji Ketahanan Korosi Lubang	30
2.11 Karakterisasi Sifat Mekanik.....	31
2.11.1 Kekerasan	31
2.11.2 Impak.....	33
2.12 Karakterisasi Morfologi Material	34
2.13 Laser Scanning Microscope 3D (LSM)	35
2.14 Scanning Electron Microscope (SEM).....	36

2.15 X-ray Diffraction (XRD)	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	38
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	38
3.2 Bahan dan Alat	38
3.2.1 Bahan	38
3.2.2 Alat	38
3.3 Prosedur Penelitian	39
3.3.1 Persiapan Material Pengelasan	39
3.3.2 Proses Pengelasan	40
3.3.3 Pengujian NDT	44
3.3.4 Post Weld Heat Treatment	45
3.4 Pengujian Sifat Mekanik	46
3.4.1 Pengujian Kekerasan	46
3.4.2 Pengujian Impak	46
3.4.3 Pengujian Korosi (Pitting Korosi)	48
3.5 Pengamatan Struktur Mikro	49
3.5.1 Pengamatan Foto Makro	49
3.5.2 Pengukuran Luasan Area lasan (Dilution)	49
3.5.3 Pengamatan Foto Mikro	50
3.6 Pengamatan XRD	51
3.7 Pengamatan SEM-EDS	51
3.8 Jadwal Penelitian	52
3.9 Diagram Alir	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	54
4.1 Pengujian Kekerasan	54
4.2 Pengujian Impak	58
4.3 Pengujian Korosi	60
4.3.1 Pengamatan Korosi Spesimen Normal	61
4.3.2 Pengamatan Korosi Spesimen FeCl ₃	64
4.4 Pengamatan Struktur Mikro	68
4.4.1 Hasil Pengamatan Makro	68
4.4.2 Hasil Pengamatan Mikro	70
4.5 Pengamatan XRD	77
4.6 Pengamatan SEM-EDS	79
4.6.1 Hasil SEM – EDS WM E308L-16 dan E309Mo-17	80
4.6.2 Hasil SEM – EDS HAZ logam induk 316L E308L-16 dan E309Mo-17	84
BAB V Penutup	94
5.1 Kesimpulan	94
5.2 Saran	96
Daftar Pustaka	97
Lampiran	101

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tabel Komposisi Kimia Baja Karbon ASTM A36	6
Tabel 2.2	Kekuatan Tarik Baja Karbon ASTM A36	7
Tabel 2.3	Sifat Mekanik Baja Karbon ASTM A36	7
Tabel 2.4	Klasifikasi Baja Tahan Karat.....	9
Tabel 2.5	Standar Komposisi Baja Tahan Karat Austenit.....	10
Tabel 2.6	Komposisi Kimia Baja Tahan Karat ASTM A240 tipe 316L	10
Tabel 2.7	Sifat Mekanik Baja Tahan Karat ASTM A240 tipe 316L.....	11
Tabel 2.8	Sifat Mekanik Elektroda.....	18
Tabel 2.9	Komposisi Kimia Elektroda.....	18
Tabel 2.10	Metode NDT.....	21
Tabel 2.11	Nilai PREN Stainless steel tipe Austenit	29
Tabel 2.12	Teknik Pengujian Kekerasan.....	32
Tabel 3.1	Komposisi Logam Induk dan Elektroda.....	41
Tabel 3.2	Nilai Creq dan Nieq Logam Induk dan Elektroda.....	42
Tabel 3.3	Parameter Pengelasan	42
Tabel 3.4	Parameter Pengujian Difraksi Sinar X.....	51
Tabel 3.5	Rencana Jadwal Penelitian	52
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Impak.....	58
Tabel 4.2	Jumlah Pitting Korosi Tanpa Perlakuan Korosi.....	61
Tabel 4.3	Jumlah Pitting Korosi Dengan Perlakuan Korosi	67
Tabel 4.4	Dilusi Pengelasan DMW E308L-16 dan E309Mo-17.....	69
Tabel 4.5	Hasil EDS logam las tanpa PWHT E308L-16 dan E309Mo-17	82
Tabel 4.6	Hasil EDS logam las PWHT E308L-16 dan E309Mo-17	83
Tabel 4.7	Rasio unsur Cr dan Ni logam las E308L-16 dan E309Mo-17	84
Tabel 4.8	Hasil EDS logam induk 316L tanpa PWHT E308L-16 dan E309Mo-17	86
Tabel 4.9	Hasil EDS logam induk 316L PWHT E308L-16 dan E309Mo-17	87
Tabel 4.10	Hasil PREN logam induk 316L tanpa PWHT dan PWHT E308L-16 dan E309Mo-17	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C.....	8
Gambar 2.2 Diagram Fasa Kesetimbangan Fe-Cr	11
Gambar 2.3 Dilusi Pengelasan Logam Berbeda.....	14
Gambar 2.4 Skema Pengelasan SMAW	15
Gambar 2.5 Efisiensi Sumber Panas Proses Pengelasan.....	19
Gambar 2.6 Area Lasan.....	20
Gambar 2.7 Diagram Schaeffler	22
Gambar 2.8 Ilustrasi Proses Korosi Galvanik pada Logam	25
Gambar 2.9 Seri Korosi Galvanik	26
Gambar 2.10 Bentuk Penampang Lubang Korosi Seri Korosi Galvanik	28
Gambar 2.11 Heat Exchanger	30
Gambar 2.12 Uji Kekerasan Vickers	32
Gambar 2.13 Specimen Uji Impak.....	34
Gambar 2.14 3D Laser Scanning Microscope	36
Gambar 2.15 Skema Interaksi Antar Elektron Dengan Sampel	37
Gambar 2.16 3D X-Ray Diffraction	37
Gambar 3.1 Mesin Shearing Hidrolik.....	40
Gambar 3.2 Mesin Frais	40
Gambar 3.3 Mesin Las Miller	41
Gambar 3.4 Prediksi Struktur Mikro Logam Las	42
Gambar 3.5 Benda Kerja Pengelasan.....	43
Gambar 3.6 Thermometer Infrared.....	43
Gambar 3.7 Bahan Pengujian Liquid Penetrant.....	44
Gambar 3.8 Pengujian Liquid Penetrant	45
Gambar 3.9 Tungku	45
Gambar 3.10 Vickers Micro Hardness.....	46
Gambar 3.11 Lokasi CVN Pada Spesimen	47
Gambar 3.12 Dimensi Specimen Uji Impak	47
Gambar 3.13 Jangka Sorong.....	48
Gambar 3.14 Mesin Uji Impak	48
Gambar 3.15 Specimen Setelah Di Etsa.....	50
Gambar 3.16 Holder Spesimen uji SEM-EDS.....	52
Gambar 3.17 Diagram Alir	53
Gambar 4.1 Titik Pengujian Kekerasan.....	54
Gambar 4.2 Distribusi Kekerasan DMW E308L-16.....	55
Gambar 4.3 Distribusi Kekerasan DMW E309Mo-17.....	56
Gambar 4.4 Kekerasan Logam Las DMW E308L-16 dan E309M0-17	57
Gambar 4.5 Grafik Pengujian Impak Tanpa PWHT dan PWHT Logam Las	59
Gambar 4.6 Pengamatan pitting korosi Spesimen Normal (a) WM E308L- 16 Tanpa PWHT, (b) WM E309Mo-17 Tanpa PWHT, (c) WM E308L-16 PWHT, (d) WM E309Mo-17 PWHT.....	63
Gambar 4.7 Pengamatan pitting korosi Spesimen FeCl ₃ , (a) WM E308L- 16 Tanpa PWHT, (b) WM E309Mo-17 Tanpa PWHT, (c) WM E308L-16 PWHT, (d) WM E309Mo-17 PWHT.....	67
Gambar 4.8 Foto makro DMW E308L-16.....	69
Gambar 4.9 Foto makro DMW E309Mo-17.....	69
Gambar 4.10 Dilusi Pengelasan Elektroda E308L-16 dan	

E309Mo-17	70
Gambar 4.11 Struktur Mikro Logam Induk 316L	71
Gambar 4.12 Struktur Mikro Logam Induk 316L Logam Las E308L-16, (a) Tanpa PWHT dan (b) PWHT 400°C	71
Gambar 4.13 Struktur Mikro Logam Induk 316L Logam Las E309Mo-17, (a) Tanpa PWHT dan (b) PWHT 400°C	72
Gambar 4.14 Struktur Mikro Logam Las E308L-16, (a) Tanpa PWHT dan (b) PWHT 400°C	73
Gambar 4.15 Struktur Mikro Logam Las E309Mo-17, (a) Tanpa PWHT dan (b) PWHT 400°C	73
Gambar 4.16 Struktur Mikro HAZ 316L dan E308L-16, (a) Tanpa PWHT dan (b) PWHT 400°C	75
Gambar 4.17 Struktur Mikro HAZ 316L dan E309Mo-17,(a) Tanpa PWHT dan (b) PWHT 400°C	76
Gambar 4.18 Pola XRD Logam Las E308L-16, a) Tanpa PWHT dan (b) PWHT 400°C	78
Gambar 4.19 Pola XRD Logam Las E309Mo-17, (a) Tanpa PWHT dan (b) PWHT 400°C	79
Gambar 4.20 Tampak SEM logam las E308L-16 dan E309Mo-17 (a), (b) Tanpa PWHT dan, (c), (d) PWHT 400°C	80
Gambar 4.21 Tampak EDS logam las E308L-16 dan E309Mo-17 (a), (b) Tanpa PWHT dan, (c), (d) PWHT 400°C	83
Gambar 4.22 Tampak SEM HAZ BM316L E308L-16 dan E309Mo-17 (a), (b) Tanpa PWHT dan, (c), (d) PWHT 400°C	84
Gambar 4.23 Tampak EDS HAZ BM316L E308L-16 dan E309Mo-17 (a), (b) Tanpa PWHT dan, (c), (d) PWHT 400°C	86
Gambar 4.24 EDS Spektrum dan Persentase Elemen di Interface HAZ 316L Elektroda E308L-16 (a) Tanpa PWHT dan (b) PWHT 400°C	88
Gambar 4.25 Pemetaan Unsur dengan Mapping Element pada Interface WM E308L-16 dengan BM 316L, (a) Tanpa PWHT dan (b) PWHT 400°C	89
Gambar 4.26 EDS Spektrum dan Persentase Elemen di Interface HAZ 316L Elektroda E309Mo-17, (a) Tanpa PWHT dan (b) PWHT 400°C	90
Gambar 4.27 Pemetaan Unsur dengan Mapping Element pada Interface WM E309Mo-17 dengan BM 316L, (a) Tanpa PWHT dan (b) PWHT 400°C	92

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyambungan logam dapat dilakukan dengan teknik pengelasan (*welding*), dengan mencairkan sebagian logam dasar dan logam las dengan menggunakan bahan tambah atau tanpa bahan tambah sehingga menghasilkan sambungan. Pengelasan logam berbeda (*dissimilar metal welding*) merupakan suatu proses pengelasan yang dilakukan pada dua jenis material yang berbeda, digunakan untuk menyambung baja tahan karat dengan baja paduan rendah lainnya. Penyambungan logam berbeda dapat menurunkan biaya perbaikan konstruksi, karena penyambungan baja karbon dengan baja tahan karat lebih murah jika seluruh konstruksinya menggunakan material baja tahan karat. Dalam dunia industri, aplikasinya sudah banyak digunakan dalam industri seperti pada komponen heat exchanger. Endapan aliran fluida pada bagian komponen heat exchanger dapat menyebabkan terjadinya *korosi*. Salah satu bagian dari komponen heat exchanger menggunakan penyambungan dengan pengelasan logam berbeda antar baja karbon dengan baja tahan karat, bagian sambungan ini dapat terjadi *galvanik corrosion* karena kedua logam tersebut mempunyai komposisi kimia material yang berbeda (William D. Callister, 2007). Komposisi kimia logam las yang terdiri dari unsur *Crom* dan *Nickle* berpengaruh terbentuknya *pitting corrosion* pada *weld metal* atau *base metal* (Kaçar and Baylan, 2004).

Tantangan yang mendasar seperti perbedaan komposisi material, sifat mekanik dan sifat metalurgi yang dapat menyebabkan kegagalan sambungan pengelasan pada baja tahan karat austenit dan baja karbon rendah. Perbedaan koefisien panas dapat menghasilkan perbedaan tegangan sisa di berbagai daerah lasan, ketahanan korosi juga dapat bervariasi secara lokal di kedua logam las dan transisi, karena perbedaan komposisi dan struktur mikro (C.Lippold and Kotecki, 2005). Masalah yang ditemukan dalam pengelasan logam berbeda adalah pemilihan elektroda dan metode pengelasan yang digunakan karena dapat mengurangi kekuatan sambungan las. Dilaporkan bahwa kegagalan sambungan pengelasan logam berbeda termasuk retak dan

pori – pori pitting korosi yang terbentuk pada logam las pengelasan baja karbon rendah dengan baja tahan karat AISI 304 dengan metode GMAW (Abioye et al., 2019). Chuaiphan dkk dalam penelitiannya pengelasan logam berbeda baja carbon steel AISI 1020 dengan AISI 304 dengan menggunakan elektroda E316L dilaporkan bahwa pada area logam las pitting korosi yang dihasilkan dengan metode pengelasan GTAW lebih baik dari metode SMAW (Chuaiphan et al. 2013). Pemilihan logam las pada sambungan pengelasan logam berbeda baja karbon rendah dan baja tahan karat dapat menentukan terjadinya pitting korosi pada area logam las (*weld metal*) (Anggaretno, 2012).

Prabakaran dkk (2019) dalam risetnya, pengelasan logam berbeda stainless steel AISI 316 dengan baja karbon rendah AISI 1018 dengan metode pengelasan laser, sampel pengelasan dilakukan proses PWHT dengan suhu 960°C, hasilnya berpengaruh terhadap sifat mekanik sambungan las dan ketahanan terhadap korosi yang baik. Temperatur dan laju pendinginan merupakan dua parameter penting yang mempengaruhi ketahanan baja tahan karat austenit terhadap pitting korosi (Lee et al., 2009). Menurut Srinivasan dkk (2006) pengelasan logam berbeda baja tahan karat dupleks (DSS) dengan baja karbon (CS) metode pengelasan SMAW, elektroda E2209 dan E309 dengan parameter 110-120 A, voltage 22-24 V, dan welding speed 120-15- mm/min. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai kekerasan dari logam las yang dihasilkan dengan elektroda E2209, lebih baik daripada yang diperoleh dengan E309, meskipun elektroda E309 banyak digunakan untuk sambungan las yang berbeda dan ketahanan korosi yang dihasilkan lebih baik. Nair dkk (2016) melaporkan elektroda E308L, E316L menunjukkan kemampuan las yang baik untuk logam las beda jenis SS 316L dan SDSS 2507. Kekuatan tarik dengan parameter yang sama, elektroda E308L lebih besar dibanding dengan elektroda E316L, dan kekerasan pada logam induk SDSS 2507 lebih keras dari weld metal dan kekerasan logam induk SS316 lebih rendah dari weld metal dan struktur mikro logam dasar SS 316L menunjukkan butiran kasar austenit. komposisi kimia dan struktur mikro logam las memiliki pengaruh pada laju korosi material (Silva et al., 2013)

Pada penelitian ini, penulis akan menginvestigasi masalah dalam pengelasan logam berbeda (ASTM A36 dengan ASTM A240 tipe 316L) yang menggunakan metode SMAW seperti parameter pengelasan, parameter perlakuan pasca pengelasan (*post weld heat treatment*), perubahan sifat mekanik

hingga ketahanan korosi. Parameter temperatur dan media quenching pada proses PWHT akan terjadi transformasi fasa selama pendinginan. Kajian terhadap komposisi kimia elektroda dan struktur mikro ataupun perubahan fasa dalam logam yang dapat menimbulkan penggetasan, retak panas atau dingin, serta kehilangan ketangguhan akan menjadi fokus dalam pembahasan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka penulis merumuskan masalah ini sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh elektroda terhadap sifat kekerasan dan ketangguhan serta struktur mikro hasil pengelasan dissimilar ASTM A36 dengan ASTM A240 tipe 316L.
2. Bagaimana pengaruh PWHT terhadap perubahan sifat kekerasan dan ketangguhan hasil pengelasan serta struktur mikro logam las.
3. Bagaimana hubungan pengelasan DMW dan PWHT terhadap terbentuknya korosi sumuran (*pitting corrosion*) dan perubahan komposisi kimia logam las.

1.3 Tujuan Penelitian

Secara umum tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan kualitas sambungan las dua logam berbeda dengan metode pengelasan SMAW. Adapun Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh elektroda terhadap sifat kekerasan dan ketangguhan serta struktur mikro hasil pengelasan dissimilar ASTM A36 dengan ASTM A240 tipe 316L.
2. Menganalisa pengaruh PWHT terhadap perubahan sifat kekerasan dan ketangguhan hasil pengelasan serta struktur mikro logam las.
3. Menganalisa hubungan pengelasan dissimilar ASTM A36 dengan ASTM A240 tipe 316L dan PWHT terhadap terbentuknya korosi sumuran (*pitting corrosion*) dan perubahan komposisi kimia logam las.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengelasan dengan menggunakan metode SMAW (*shielded metal arc welding*).
2. Base metal yang digunakan adalah ASTM A36 dan ASTM A240 tipe 316L dengan ketebalan 6 mm.
3. Filler metal yang digunakan E309M0-17 dan E308L
4. Sambungan las yang digunakan adalah butt join single V-groove dengan sudut bevel 60°.
5. Arus las yang digunakan 70 A.
6. Parameter PWHT (*post weld heat treatment*) suhu 400 °C, 600°C dan 900°C, holding time 1 jam dengan media quenching dromus.
7. Posisi pengelasan yang digunakan adalah flat atau 1G.
8. Pengujian ketahanan korosi sumuran (*pitting corrosion*) area lasan ASTM G48 metode A.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah

1. Bagi peneliti, dapat menambah pengetahuan dan sebagai bahan perbandingan untuk penelitian pengelasan logam berbeda khususnya pengelasan metode SMAW.
2. Bagi pembaca, dapat menambah wawasan dan pengetahuan tentang pengelasan logam berbeda dengan metode SMAW.
3. Bagi Universitas, sebagai bahan referensi untuk bahan penelitian pengelasan logam berbeda dengan metode pengelasan yang lain.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan ini, adalah sebagai berikut

BAB I : PENDAHULUAN

Bagian ini untuk mengarahkan penulis. Berisi latar belakang terkait dengan pengelasan DMW ASTM A36 dengan ASTM A240 tipe 316L. Menentukan rumusan masalah dari lingkup latar belakang yaitu pengaruh, nilai, struktur mikro dan komposisi kimia spesimen penelitian. Kemudian, dari rumusan masalah tersebut kita peroleh pembahasan mengenai tujuan, batasan dan manfaat serta dapat menyusun sistematika penulisan.

BAB II : TEORI DASAR

Pada bab ini berisikan tentang dasar-dasar teori yang didasarkan dari hasil studi literatur dan jurnal. Pada bab ini akan dijelaskan secara singkat beberapa hal yang terkait dalam penelitian ini. Diantaranya dijelaskan tentang spesifikasi material, pengelasan logam berbeda, metalurgi pengelasan, PWHT, korosi, uji mekanik, metalografi, XRD dan *scanning electron microscope* (SEM).

BAB III : METODE PENELITIAN

Pada bab ini berisikan tentang waktu dan tempat penelitian, prosedur penelitian, langkah proses pengelasan, pengujian spesimen, langkah proses analisa data dan flow proses penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan tentang data-data yang diperoleh selama penelitian dan pembahasan mengenai hasil penelitian pengelasan logam berbeda, kekerasan, impact, struktur mikro, korosi, XRD, serta komposisi kimia logam las.

BAB V : PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan yang merupakan jawaban dari tujuan dalam penelitian pengelasan logam berbeda, pengaruh elektroda, PWHT terhadap sifat kekerasan dan ketangguhan, dan pengaruh pengelasan DMW dan PWHT terhadap terbentuknya pitting korosi serta saran yang mungkin dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya.