

TESIS

**OPTIMASI SAMBUNGAN LAS STAINLESS STEEL
304 dan 316 TERHADAP LAJU KOROSI DENGAN
METODE TAGUCHI**



MUHAMMAD AGUS WIJAYA

03032682327002

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

TESIS

OPTIMASI SAMBUNGAN LAS STAINLESS STEEL 304 dan 316 TERHADAP LAJU KOROSI DENGAN METODE TAGUCHI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Magister
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



OLEH

MUHAMMAD AGUS WIJAYA

03032682327002

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

HALAMAN PENGESAHAN

**OPTIMASI SAMBUNGAN LAS STAINLESS STEEL 304 dan
316 TERHADAP LAJU KOROSI DENGAN METODE
TAGUCHI**

TESIS

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Magister Teknik Mesin
Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

MUHAMMAD AGUS WIJAYA

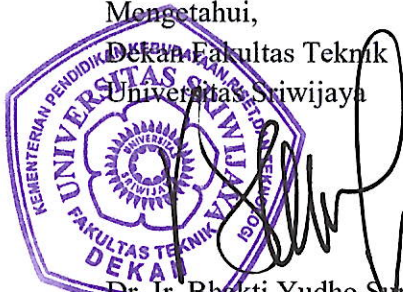
03032682327002

Palembang, 24 Desember 2024
Pembimbing,



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP 197909272003121004

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM.
NIP 197502112003121002

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP 197909272003121004

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tesis ini dengan judul “**OPTIMASI SAMBUNGAN LAS STAINLESS STEEL 304 dan 316 TERHADAP LAJU KOROSI DENGAN METODE TAGUCHI**” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Sidang Tesis Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 21 Desember 2024 dan dinyatakan sah untuk melakukan penelitian lebih lanjut.

Palembang, 24 Desember 2024

Pembimbing

1. Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.

NIP 197909272003121004



(.....)

Tim Penguji Sidang Tesis:

1. Ir. Barlin, S.T., M.Eng., Ph.D.

NIP 198106302006041001



(.....)

2. Ir. Agung Mataram S.T., M.T., Ph. D.

NIP 197901052003121002



(.....)

Mengetahui,

Kordinator Prodi Magister Teknik Mesin



Ir. Agung Mataram S.T., M.T., Ph. D.

NIP 197901052003121002

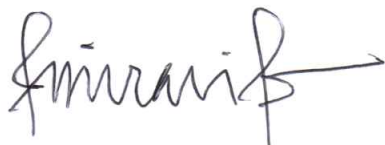
**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :**

TESIS

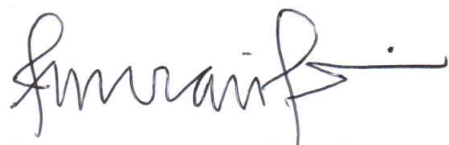
NAMA : MUHAMMAD AGUS WIJAYA
NIM : 03032682327002
JURUSAN : TEKNIK MESIN
BIDANG STUDI : TEKNIK MATERIAL DAN MANUFAKTUR
**JUDUL : OPTIMASI SAMBUNGAN LAS STAINLESS
STEEL 304 dan 316 TERHADAP LAJU
KOROSI DENGAN METODE TAGUCHI**
DIBUAT TANGGAL : 1 JANUARI 2024
SELESAI TANGGAL : 16 DESEMBER 2024

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP 197909272003121004

Palembang, 24 Desember 2024
Pembimbing



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP 197909272003121004

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Muhammad Agus Wijaya

NIM : 03032682327002

Judul : OPTIMASI SAMBUNGAN LAS STAINLESS STEEL 304 dan 316
TERHADAP LAJU KOROSI DENGAN METODE TAGUCHI

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*Corresponding author*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, 24 Desember 2024



Muhammad Agus Wijaya

NIM. 03032682327002

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Agus Wijaya
NIM : 03032682327002
Judul : OPTIMASI SAMBUNGAN LAS STAINLESS STEEL 304 dan
316 TERHADAP LAJU KOROSI DENGAN METODE
TAGUCHI

Menyatakan bahwa Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi Pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, 24 Desember 2024



Muhammad Agus Wijaya
NIM. 03032682327002

RINGKASAN

Penelitian ini membahas sambungan las antara *stainless steel* 304 dan 316 terhadap ketahanan laju korosi menggunakan metode *Taguchi* dengan analisis data ANOVA. Penelitian menggunakan material *stainless steel* 304 dan 316 dengan metode pengelasan SMAW, GTAW, serta kombinasi keduanya. Desain penelitian mengikuti tabel *orthogonal array* L9 dengan variasi level arus (90 A, 100 A, 110 A), kecepatan pengelasan (4 cm/min, 8 cm/min, 12 cm/min), dan jenis filler (E 308, E 316, E 316L). Tujuannya adalah memperoleh sambungan pengelasan dengan ketahanan korosi maksimal, memperoleh parameter pengelasan optimal, serta mengidentifikasi faktor insignifikan dalam setiap level parameter.

Hasil pengujian korosi menunjukkan adanya penurunan laju korosi sebesar 45,46% nilai awal dari 5,5431 mm/y menjadi 3,0231 mm/y, yang mengindikasikan keberhasilan optimasi parameter pengelasan pada sambungan *stainless steel* 304 dan 316. Penurunan ini menunjukkan bahwa kombinasi parameter pengelasan, seperti variasi arus, kecepatan pengelasan, dan jenis filler, berkontribusi signifikan dalam menghasilkan sambungan yang lebih homogen dan tahan terhadap korosi. Penggunaan metode *Taguchi* dengan desain *orthogonal array* terbukti efektif dalam menentukan parameter pengelasan yang dapat meminimalkan laju korosi. Penurunan nilai ini menegaskan pentingnya optimasi parameter pengelasan untuk meningkatkan ketahanan material terhadap korosi, khususnya untuk aplikasi di lingkungan korosif seperti sistem pemipaan di Demin Plant PT. PUSRI.

Hasil uji kekerasan vickers, nilai kekerasan tertinggi tercatat pada area las sebesar 224,271 VHN, sementara nilai kekerasan di area HAZ (*Heat Affected Zone*) lebih rendah material SS304 yaitu 180,609 VHN dan 191,038 VHN untuk material SS316. Di sisi lain, area logam induk memiliki nilai kekerasan terendah 165,256 VHN untuk material SS304 dan 168,424 VHN untuk material SS316. Perbedaan ini menunjukkan bahwa parameter pengelasan, seperti arus, kecepatan pengelasan, dan jenis filler, memengaruhi distribusi energi panas, sehingga struktur mikro material di area las memiliki kekuatan mekanik yang lebih tinggi dibandingkan area HAZ (*Heat Affected Zone*) dan logam induk.

SUMMARY

This research discusses the welding connection between stainless steel 304 and 316 on corrosion rate resistance using the Taguchi method with ANOVA data analysis. The study used 304 and 316 stainless steel materials with SMAW, GTAW, and a combination of both welding methods. The research design followed the L9 orthogonal array table with variations in current level (90 A, 100 A, 110 A), welding speed (4 cm/min, 8 cm/min, 12 cm/min), and filler type (E 308, E 316, E 316L). The objectives were to obtain welding joints with maximum corrosion resistance, obtain optimal welding parameters, and identify insignificant factors in each parameter level.

The corrosion test results showed a 45.46% decrease in the corrosion rate of the initial value from 5.5431 mm/y to 3.0231 mm/y, indicating the successful optimization of welding parameters in 304 and 316 stainless steel joints. This decrease indicates that the combination of welding parameters, such as variations in current, welding speed, and filler type, contributed significantly to producing a more homogeneous and corrosion-resistant joint. The use of Taguchi method with orthogonal array design proved effective in determining the welding parameters that can minimize the corrosion rate. This decrease in value confirms the importance of welding parameter optimization to improve material resistance to corrosion, especially for applications in corrosive environments such as the piping system at the Demin Plant of PT PUSRI.

The results of the Vickers hardness test, the highest hardness value was recorded in the weld area of 224.271 VHN, while the hardness value in the HAZ (Heat Affected Zone) area was lower for SS304 material which was 180.609 VHN and 191.038 VHN for SS316 material. On the other hand, the parent metal area has the lowest hardness value of 165.256 VHN for SS304 material and 168.424 VHN for SS316 material. This difference indicates that welding parameters, such as current, welding speed, and filler type, affect the distribution of heat energy, so that the microstructure of the material in the weld area has higher mechanical strength than the HAZ (Heat Affected Zone) area and the metal.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga dapat menyelesaikan proposal tesis ini yang disusun untuk memenuhi syarat untuk menyelesaikan pendidikan Magister Jurusan Teknik Mesin pada Universitas Sriwijaya. Dalam proses penyusunan proposal ini, saya memperoleh berbagai bantuan, dukungan serta saran dari berbagai pihak. Oleh karena itu, kami mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Taufiq Marwa, S.E., M.Si. Selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
2. Bapak Dr. Ir. H. Bakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM., Selaku Dekan Fakultas Teknik.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Said, M.Sc. Selaku Direktur Program Pascasarjana.
4. Bapak Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D., Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Pembimbing Tesis I.
5. Bapak Ir. Barlin, S.T., M.Eng., Ph.D. Selaku Dosen Penguji Tesis I.
6. Bapak Ir. Agung Mataram S.T., M.T., Ph. D. Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Pascasarjana dan Dosen Penguji Tesis II.
7. Teman-teman seperjuangan Haryadi, Ilham dan Rizky Jurusan Teknik Mesin Pascasarjana Universitas Sriwijaya.
8. Kedua orang tua saya bapak dan spesial untuk Ibu saya, serta Istri dan anak saya tercinta yang selalu mendoakan kelancaran sepanjang proses perkuliahan.

Saya menyadari bahwa tesis ini masih terdapat banyak kekurangan. Untuk itu, sangat diharapkan adanya kritik dan saran yang membangun dari semua pihak untuk perbaikan laporan ini supaya lebih baik lagi dalam penyusunannya. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat, pengetahuan serta informasi bagi pembaca dan penulis khususnya mahasiswa teknik mesin Universitas Sriwijaya.

Palembang, 24 Desember 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN TANDA PENERIMAAN TESIS	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	vii
RINGKASAN	viii
SUMARY	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Water Treatment Plant</i>	7
2.2 Dimeneralisasi.....	7
2.2.1 Alir Proses Demineralisasi.....	9
2.2.2 Resin Penukar Ion	11
2.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Pertukaran Ion	12
2.3 <i>Stainless Steel</i>	13
2.3.1 Klasifikasi <i>Stainless Steel</i>	13
2.3.2 Pengaruh Unsur Paduan Pada <i>Stainless Steel</i>	16
2.4 Pengelasan (<i>Welding</i>).....	17
2.4.1 Definisi Las	17
2.4.2 Parameter Utama Pengelasan.....	18
2.4.3 Jenis – Jenis Metode Pengelasan (<i>Welding</i>).....	20
2.5 Jenis.Jenis Sambungan Pengelasan (<i>Joint</i>)	25
2.6 Korosi (<i>Corossion</i>).....	27
2.6.1 Defiinisi Korosi.....	27
2.6.2 Mekanisme Korosi	28
2.6.3 Bentuk Korosi	31
2.6.4 Laju Korosi	39

2.7 Pengujian.....	40
2.7.1 Pengujian Korosi.....	40
2.7.2 Pengujian Kekerasan.....	42
2.7.3 Pengujian <i>Metalografi</i>	44
2.8 <i>Metode Taguchi</i>	45
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir	49
3.2 Menentukan Parameter	50
3.3 Desain Dan Menyusun Level Faktor Pada Eksperimen.....	52
3.4 Proses Pengelasan Dan Dimensi Material	54
3.5 Pengujian Korosi.....	58
3.6 Pengujian Kekerasan.....	61
3.7 Pengujian <i>Metalografi</i> Dan Struktur Mikro.....	62
3.8 Pengujian <i>Metalografi</i> Dan Struktur Mikro.....	63
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Perhitungan	65
4.1.1 Hasil Pengujian Korosi Metode <i>Weight Gain Loss</i>	65
4.2 Pengolahan Data	68
4.2.1 Analisa Metode <i>Taguchi</i> dengan ANOVA	69
4.2.2 Perhitungan Nilai <i>Mean</i> dan SNR.....	70
4.2.3 Perhitungan ANOVA <i>mean</i> setiap faktor	72
4.2.4 Perhitungan ANOVA setiap faktor untuk SNR	78
4.2.5 Menentukan Pengaturan Level Optimal.....	82
4.2.6 Penentuan Nilai Interval Kepercayaan Kondisi Optimal ...	83
4.2.7 Uji konfirmasi	84
4.3 Data Hasil Pengujian Kekerasan.....	87
4.4 Data Hasil Pengujian <i>Metalografi</i>	90
4.4.1 Pengujian menggunakan Optical Microscopes (OM).....	90
BAB V KESIMPULAN	
5.1 Kesimpulan	95
5.2 Saran.....	96
DAFTAR PUSTAKA	97
LAMPIRAN	101

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Bahan & lingkungan Penyebab Retak Korosi Tegangan.....	36
Tabel 2.2	Perbandingan Lanjut Tingkat Klasifikasi Laju Korosi	39
Tabel 2.3	Konstanta Perhitungan Laju Korosi	41
Tabel 2.4	Orthogonal Array L9.....	46
Tabel 3.1	Komposisi Material <i>Stainless Steel</i> 304.....	50
Tabel 3.2	Komposisi Material <i>Stainless Steel</i> 316.....	50
Tabel 3.3	Parameter Pengelasan	52
Tabel 3.4	Faktor Dan Level Faktor	53
Tabel 3.5	<i>Orthogonal Array</i> L9	53
Tabel 3.6	WPS (<i>Welding Procedure Specification</i>).....	54
Tabel 3.7	Spesifikasi Mesin Las SMAW	56
Tabel 3.8	Spesifikasi Mesin Las GTAW	57
Tabel 4.1	Luas Penampang & Volume Spesimen SS 304 & SS 316.....	66
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan Density Campuran.....	67
Tabel 4.3	Hasil Uji Rendam Korosi Material SS 304 Dan SS 316.....	67
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan Laju Korosi (mm/y).....	68
Tabel 4.5	Perhitungan Nilai Rata-Rata & SNR	71
Tabel 4.6	Tabel Respon Dari Nilai Rata-Rata	72
Tabel 4.7	ANOVA Rata-Rata Sebelum <i>Pooling Up</i>	75
Tabel 4.8	ANOVA Rata-Rata Setelah <i>Pooling-Up</i>	77
Tabel 4.9	Respon dari <i>Signal-To-Noise-Ratio</i> (SNR)	79
Tabel 4.10	ANOVA Nilai SNR Setelah <i>Pooling-Up</i>	81
Tabel 4.11	Level Optimal yang Berpengaruh	82
Tabel 4.12	Hasil Uji Laju Korosi Spesimen Uji Konfirmasi	85
Tabel 4.13	Selisih Interval Kepercayaan Optimal & Konfirmasi.....	86
Tabel 4.14	Perbandingan sebelum dan sesudah Optimasi <i>Taguchi</i>	87
Tabel 4.15	Hasil pengujian kekerasan spesimen uji konfirmasi	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Alir Proses Demineralisasi.....	8
Gambar 2.2	Pengelasan Busur Logam Terlindung	20
Gambar 2.3	Pengelasan Busur Gas-Tungsten	22
Gambar 2.4	Pengelasan Busur Gas-Logam	23
Gambar 2.5	Pengelasan Busur Plasma.....	24
Gambar 2.6	Pengelasan Busur Terendam	25
Gambar 2.7	Lima Tipe Sambungan Dasar	26
Gambar 2.8	Contoh Las Alur Satu Sisi Pada Sambungan Butt	27
Gambar 2.9	Sel Korosi Sederhana	29
Gambar 2.10	Pasangan Galvanik Dan Potensi Solusinya.....	33
Gambar 2.11	Ilustrasi Serangan Pitting	35
Gambar 2.12	Kurva Copson	37
Gambar 2.13	Mekanisme Korosi Yang Diinduksi Secara Mikrobiologis	38
Gambar 2.14	Serangan MIC Pada Logam Las Tipe 308	38
Gambar 2.15	Pengujian Vickers	43
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	49
Gambar 3.2	Mesin Las SMAW.....	56
Gambar 3.3	Mesin Las GTAW	57
Gambar 3.4	Bentuk Dan Sudut Kampuh Las.....	58
Gambar 3.5	Alat Uji Vickers Hardness.....	61
Gambar 3.6	Daerah Uji Sampel	62
Gambar 3.7	Mikroskop Optik Pengujian Metalografi	62
Gambar 4.1	Spesimen yang akan di Uji Korosi	65
Gambar 4.2	<i>Response graph</i> nilai <i>mean</i>	73
Gambar 4.3	Grafik respons nilai SNR	79
Gambar 4.4	Plot interaksi untuk rata-rata	80
Gambar 4.5	Perbandingan hasil nilai interval kepercayaan	86
Gambar 4.6	Grafik profil analisa uji kekerasan vickers.....	89
Gambar 4.7	Logam induk SS 304 perbesaran 450X.....	91
Gambar 4.8	Logam induk SS 316 perbesaran 450X.....	91
Gambar 4.9	HAZ SS 304, <i>Fussion Line</i> , <i>Weld metal</i> perbesaran 450X	92
Gambar 4.10	HAZ SS 316, <i>Fussion Line</i> , <i>Weld metal</i> perbesaran 450X	92
Gambar 4.11	Weld Metal perbesaran 450X.....	92

OPTIMASI SAMBUNGAN LAS STAINLESS STEEL 304 DAN 316 TERHADAP LAJU KOROSI DENGAN METODE TAGUCHI

Muhammad Agus Wijaya¹, Amir Arifin¹, Gunawan¹

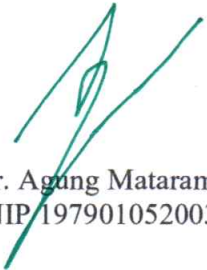
¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia.

ABSTRAK

Water Treatment Plant (WTP) merupakan sistem pemurnian air yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan air bagi pembangkit listrik dan kebutuhan operasional di industri petrokimia. Jaringan pipa di unit Demin Plant saat ini menggunakan material karbon berlapis karet, namun memiliki kelemahan seperti waktu pemulihan yang lama saat terjadi kegagalan sistem. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian dilakukan untuk mengeksplorasi pengelasan material SS 304 dan SS 316 sebagai alternatif dari pipa karbon dengan *cladding rubber* yang sudah ada. Penelitian ini menggunakan metode desain eksperimental Taguchi, dengan menggunakan tabel *orthogonal array* (L9) untuk mengoptimalkan peningkatan kualitas sekaligus meminimalkan biaya. Eksperimen ini mencakup 9 spesimen uji dengan 3 pengulangan, memeriksa 4 parameter pengelasan, masing-masing dengan 3 level. Analisis Varians (ANOVA) dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Minitab dan perhitungan manual di Microsoft Excel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi laju korosi spesimen antara lain metode pengelasan, jenis elektroda, kecepatan pengelasan, dan arus pengelasan. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa metode pengelasan (nilai $F = 5,9176$) dan arus pengelasan (nilai $F = 8,3492$) secara signifikan mempengaruhi laju korosi, sedangkan jenis elektroda (nilai $F = -3,5949$) dan kecepatan pengelasan (nilai $F = -2,8321$) tidak. Percobaan konfirmasi menghasilkan laju korosi optimal sebesar 3,0231 mm/y yang lebih rendah dari percobaan nomor 7.

Kata Kunci: *Stainless Steel 304, Stainless Steel 316, Taguchi Methods, Corrosion Rate*

Mengetahui,
Koordinator Program Studi
Magister Teknik Mesin



Ir. Agung Mataram S.T., M.T., Ph. D.
NIP 197901052003121002

Palembang, Desember 2024
Pembimbing



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP 197909272003121004

OPTIMIZATION OF STAINLESS STEEL 304 AND 316 WELDED JOINTS ON CORROSION RATE BY THE TAGUCHI METHOD

Muhammad Agus Wijaya¹, Amir Arifin¹, Gunawan¹

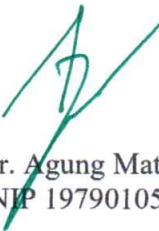
¹Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Sriwijaya University,
South Sumatera, Indonesian

ABSTRACT

The Water Treatment Plant (WTP) is a water purification system designed to meet the water demands for power generation and operational requirements in the petrochemical industry. The current pipeline network in the Demin Plant unit employs carbon materials with rubber cladding, which presents drawbacks, such as extended recovery times in the event of system failures. To address this issue, research was conducted to explore the welding of SS 304 and SS 316 materials as an alternative to the existing carbon pipes with rubber cladding. The study utilized the Taguchi experimental design method, employing an orthogonal array (L9) table to optimize quality improvement while minimizing costs. The experiment included 9 test specimens with 3 repetitions, examining 4 welding parameters, each with 3 levels. Analysis of Variance (ANOVA) was performed using the Minitab software and manual calculations in Microsoft Excel. The results indicated that the factors influencing the corrosion rate of the specimens include the welding method, electrode type, welding speed, and welding current. ANOVA results showed that the welding method (F-value = 5.9176) and welding current (F-value = 8.3492) significantly affected the corrosion rate, whereas the electrode type (F-value = -3.5949) and welding speed (F-value = -2.8321) did not. A confirmation experiment yielded an optimal corrosion rate of 3.0231 mm/y is lower than experiment number 7.

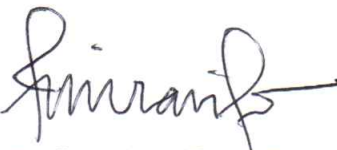
Keywords: Stainless Steel 304, Stainless Steel 316, Taguchi Methods, Corrosion Rate.

Mengetahui,
Koordinator Program Studi
Magister Teknik Mesin



Ir. Agung Mataram S.T., M.T., Ph. D.
NIP 197901052003121002

Palembang, Desember 2024
Pembimbing



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP 197909272003121004

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Water Treatment Plant (WTP) merupakan suatu proses yang sangat penting dalam pengolahan air murni yang dihasilkan sehingga memenuhi syarat sesuai kriteria yang digunakan untuk menyediakan kebutuhan air untuk pembangkitan tenaga dan pengolahan kebutuhan pabrik. PT. Pupuk Sriwijaya. Dalam hal ini sebagai salah satu industri petrokimia tentu memerlukan air bebas mineral (*Demineral Water*) sebagai bahan baku pokok yang akan digunakan sebagai umpan ke *boiler* dalam menghasilkan steam untuk menggerakkan *turbine pump*. Air adalah salah satu senyawa yang bersifat korosif terhadap unsur logam karena banyak terkandung unsur mineral di dalamnya, sehingga dalam hal ini dibutuhkannya material pipa yang tahan akan terhadap *service fluida* yang bersifat korosif.

Pipa kondisi eksisting pada sistem pemipaan *Demin Plant* PT. PUSRI menggunakan material pipa karbon yang di lakukan proses *Cladding* berbahan *rubber*. Proses *cladding* pada pipa ini memiliki kekurangan jika suatu saat unit tersebut mengalami permasalahan maka akan membutuhkan waktu *recovery* yang cukup lama. Pada pipa yang mengalami masalah tersebut tidak dapat dilakukan perbaikan secara langsung, hal ini disebabkan karena pada material pipa yang *cladding* harus dilakukan terlebih dahulu proses pemesanan ulang (*repeat order*) terhadap produsen. Proses ini cukup panjang melalui beberapa tahapan yaitu perencanaan, pemesanan material melalui kontrak vendor, proses manufaktur (pabrikasi) dan waktu pengiriman material. Sehingga dalam hal ini akan terjadinya jeda (*delay*) waktu dalam pengerjaan perbaikan pipa tersebut. Oleh karenanya berbeda dengan material pipa *Stainless Steel* 304 dan 316 yang mempunyai stok material melimpah di *workshop* sehingga dapat dilakukan perbaikan secara langsung. Namun jika pada sistem pemipaan *Demin Plant*

menggunakan material *Stainless Steel* 316 secara menyeluruh tentu akan terjadi spesifikasi yang berlebihan sehingga tidak efisien dalam menekan biaya operasional perusahaan dalam ongkos perbaikan tersebut. Hal inilah kemudian yang mendorong perlu adanya proses pengelasan terhadap dua material pada material *stainless steel* 304 dan *stainless steel* 316 sebagai material pengganti dari pada kondisi eksisting yaitu pipa karbon yang di *cladding* berbahan *rubber*. Metode Pengelasan yang dilakukan ada 3 metode yaitu, Metode pengelasan Full SMAW, Full GTAW, dan metode pengelasan kombinasi antara SMAW dan GTAW. Elektroda yang digunakan dalam hal ini ada 3 jenis kawat las yang berbeda juga E308, E316 dan E316L.

Pemakaian berbagai bahan seperti pada pipa *stainless steel* 304 dan 316 dengan karakteristik dan sifat yang sedikit berbeda membutuhkan adanya suatu penanganan yang tepat dalam proses pengelasan untuk kedua material ini. Sehingga implementasi dari penggunaan material pipa tersebut dapat sesuai dengan kebutuhan yang ada, khususnya pada pipa *stainless steel* 304 dan 316. Metode las yang diterapkan pastinya mempunyai karakteristik nilai kelebihan dan kekurangan berbeda satu sama lain. Aditia et al (2019) menyatakan bahwa ini diakibatkan saat proses pengelasan material terhadap metode dipilih harus mempertimbangkan kondisi yang terjadi saat itu. Sifat mekanik suatu material adalah hal penting dalam suatu proses pengelasan. Ini disebabkan adanya hubungan dengan saat kondisi penerimaan terhadap beban diharapkan tidak timbul kegagalan dari struktur material. Energi panas dihasilkan saat proses pengelasan dapat mempengaruhi struktur suatu material dan hal ini dapat mempengaruhi sifat mekanik dan fisik dari material tersebut. Menurut standar yang telah ditetapkan proses pengelasan material mempunyai syarat kualitas yaitu kekuatan, ketangguhan, kekerasan, dan ketahanan korosi (Riyadi dkk. 2011).

Penggunaan material pipa *stainless steel* banyak digunakan lebih disebabkan karena material pipa jenis ini memiliki kemampuan yang sangat baik terhadap larutan yang bersifat korosif. Terutama dalam sistem pemipaan *Demin Plant* PT. PUSRI yang dimana terdapat aliran *service fluida* yang bersifat sangat korosif yaitu asam sulfat (H_2SO_4).

Berdasarkan pembahasan masalah di atas maka penulis melakukan pengujian analisa laju korosi terhadap *specimen* pipa *stainless steel* 304 yang akan dilakukan pengelasan terhadap *stainless steel* 316. Kemudian dilakukan proses analisa dengan menggunakan eksperimen metode *Taguchi* dengan desain penelitian menggunakan *orthogonal array L9*, sedangkan untuk analisis data penelitian menggunakan Analysis of Variance (ANOVA) dengan perhitungan manual dari Excel. Dalam hal ini penulis melakukan 9 sampel pengujian dengan 3 repetisi, 4 parameter pengelasan dan masing-masing memiliki 3 level faktor. Hal ini bertujuan guna mengetahui kualitas terbaik yang akan dicapai dengan meminimumkan nilai terhadap laju korosi dari target pada titik mana yang akan di peroleh nilai optimum.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka diambil permasalahan yang ada tentang Analisa Laju Korosi sambungan las *Stainless Steel* 304 & 316 pada Sistem Pemipaan *Demin Plant* di Industri Petrokimia menggunakan metode *taguchi*. Kemudian akan dilakukan pengujian laju korosi terhadap sambungan las SS 304 dan 316 dengan metode *taguchi*. Dalam hal ini digunakan tabel *ortogonal array L9* untuk mendesain percobaan yang efisien dan digunakan untuk menganalisis data dalam melakukan eksperimen. Hal ini digunakan dalam menentukan jumlah eksperimen minimal sehingga dapat memberi informasi yang banyak terhadap semua kontrol dan level faktor yang berpengaruh terhadap parameter dalam proses pengelasan. Bagian terpenting dari tabel *orthogonal array* yaitu pemilihan kombinasi kontrol dan level faktor sebagai variabel input dalam melaksanakan percobaan. Sehingga dalam hal ini penulis membatasi untuk melakukan eksperimen dengan 3 level faktor dalam 4 parameter utama proses pengelasan SS 304 dan 316. Untuk menghindari kerugian yang diakibatkan kesalahan dalam pemilihan parameter dalam pengelesan, proses harus ditentukan agar memperoleh hasil maksimal dan minimal terhadap fungsi

sehingga dapat bekerja optimal. Suatu rangkaian proses ini yang kemudian disebut optimasi.

Eksperimen ini memiliki tujuan guna menemukan hasil optimal terhadap metode pengelasan, filler las, kecepatan las dan variasi arus terhadap laju korosi menggunakan pendekatan *Taguchi*. Ekperimen dari desain ini menerapkan tabel *orthogonal array*, untuk analisa data dari eksperimen digunakan ANOVA perhitungan manual dari software minitab dan ms.excel.

1.3 Batasan Masalah

Eksperimen tentang pengelasan steel 304 dan 316 terhadap laju korosi menggunakan proses taguchi diperlukan adanya batasan terhadap masalah yaitu sebagai berikut ini:

1. Menggunakan material *Stainless Steel* 304 dan *Stainless Steel* 316.
2. Metode pegelasan yang digunakan yaitu metode las SMAW, GTAW dan Metode Kombinasi keduanya.
3. Menggunakan tabel *orthogonal array* L9, level faktor variasi arus (90 A, 100 A, dan 110 A), level faktor kecepatan pengelasan (4 cm/min, 8cm/min, dan 12 cm/min), *Filler* (E308, 316, dan 316L)
4. Melakukan analisa perhitungan terhadap laju korosi menggunakan metode Taguchi dengan analisa data penelitian *Analysis of Variance* (ANOVA).

1.4 Tujuan Penelitian

Dalam kegiatan penelitian ini tentu mempunyai beberapa tujuan yang diharapkan dalam mencapai hasil yang maksimal dan bermanfaat.

1. Mendapatkan hasil maksimal penyambungan pengelasan stainless steel 304 dan 316 yang memiliki ketahanan terhadap korosi.

2. Mendapatkan parameter *optimum* pengelasan material *stainless steel* 304 dan 316 dan faktor insignifikan dalam setiap level faktor.

1.5 Manfaat Penelitian

Pada Pada penelitian mengenai sambungan las steel 304 dan 316 terhadap laju korosi dengan metode taguchi mempunyai beberapa manfaat yaitu sebagai berikut:

1. Memberikan materi pemahaman tentang metode-metode pengelasan SMAW, GTAW dan Kombinasi dalam hal ini bisa diterapkan di bagian manufaktur, produksi, dan berbagai penerapan di industri lainnya.
2. Diharapkan dapat menemukan hasil sambungan terbaik terhadap kontrol faktor, level faktor yang diterapkan dalam kegiatan eksperimen penulis sehingga bisa menjadi acuan yang lebih baik dalam proses pengelasan khususnya material stainless steel 304 dan 316.
3. Berbagi pengetahuan manfaat secara litalatur kepada mahasiswa teknik mesin sebagai pertimbangan untuk melakukan kegiatan penelitian pengelasan stainless steel 304 dan 316 dan analisa laju korosi, kekerasan dan struktur mikro.
4. Dapat menjadi referensi tambahan dalam pemahaman mengenai sifat mikrostruktur serta sifat mekanik yang terjadi akibat proses pengelasan dengan material stainless steel.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditia, Nurdin dan Saputra Ismy, A. (2019) “Analisa Kekuatan Sambungan Material AISI 1050 dengan ASTM A36 dengan Variasi Arus pada Proses Pengelasan SMAW,” *Change Of Physical-Metallurgical Properties Of Low-Alloy Steel 16Mo3 In The Heat Affected Zone In Welding Processes MMA And MAG Belma*, 1(1), hal. 1–4.
- Riyadi, F. dan Setyawan, D. (2011) “Analisa Mechanical dan Metallurgical Pengelasan Baja Karbon A36,” *Analisa Mechanical dan Metallurgical Pengelasan Baja Karbon A36*, hal. 1–12.
- Suwandi, I. A. P., Sumaryo, S., & Yuwono, S. (2021). Pengendalian Kadar Ph Air Berbasis Kontrol Pid Pada Prototipe Water Treatment Plant. *e-Proceedings of Engineering*, 8(2).
- Du Plooy, C., & Pillay, N. S. (2015, July). Demineralised Water Production Planning. *In 33rd International System Dynamics Conference. System Dynamics Society. Boston.*
- Kosim, M. E., Prambudi, D., & Siskayanti, R. (2021). Analisis Efisiensi Penukar Ion Sistem Demineralisasi Pada Pengolahan Air di Proses Produksi Electroplating. *Prosiding Semnastek*.
- Gultom, R. M. (2021). Menghitung Banyaknya Jumlah H₂SO₄ Untuk Satu Kali Proses Regenerasi Kation Exchange di Water Treatment Plant. *e-Proceeding FTI*.
- Pujiastuti, C. (2008). Kajian Penurunan Ca Dan Mg Dalam Air Laut Menggunakan Resin (Dowex). *Jurnal Teknik Kimia*, 3(1), 199.
- Yakub, Y. (2013). Variasi Arus Listrik terhadap Sifat Mekanik Mikro sambungan Las Baja Tahan Karat AISI 304. *Widya Eksakta*, 1(1), 249172.
- Kou, S. (2003). *Welding metallurgy*. A John Wiley & Sons Inc.
- Cahya, M. R., & Abdulah, A. Analisis Terjadinya Korosi Batas Butir Akibat Proses Pengelasan Gtaw Pada Material Austenitic Stainless Steel Aisi A304.
- Surya, I. (2019). Pengaruh Panas Las Gtaw (Gas Tungsten Arc Welding) Pada Material Stainless Steelgrade 316L Terhadap Uji Tarik Dan Komposisi Kimia Material. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 4.
- Maghfiroh, M. R., Soebiyakto, G., & Farid, A (2019). Analisa Pengaruh Penggunaan Media Pendingin Udara Dan Air Garam Pada Sambungan

- Lap Joint Terhadap Sifat Mekanik Menggunakan Las Smaw. Proton: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Mesin, 11(1), 29-34.
- American Welding Society (2015), Structural Welding Code AWS D1.1. United States of America: American Welding Society (AWS).
- Arifin, A. (2024) Pengantar Teknologi Pengelasan. 1st edition. Palembang. Universitas Sriwijaya.
- Vijayaraghavan, G. . dan Sundaravalli, S. (2016) Welding Technology. 1 ed. Diedit oleh D. S. Vijayaraghavan, Dr. G.k. dan Sundaravalli. India: shucitra publication.
- Singh, A., & Singh, R. P. (2020). A review of effect of welding parameters on the mechanical properties of weld in submerged arc welding process. *Materials Today: Proceedings*, 26, 1714-1717.
- Haider, S. F., Quazi, M. M., Bhatti, J., Bashir, M. N., & Ali, I. (2019). Effect of Shielded Metal Arc Welding (SMAW) parameters on mechanical properties of low-carbon, mild and stainless-steel welded joints: A review. *Journal of Advances in Technology and Engineering Research*, 5(5), 191-198.
- Kutelu, B. J., Seidu, S. O., Eghabor, G. I., & Ibitoye, A. I. (2018). Review of GTAW welding parameters. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 6(05), 541.
- Subodh, K. and Shahi, A.S. (2011) Effect of Heat Input on the Microstructure and Mechanical Properties of Gas Tungsten Arc Welded AISI 304 Stainless Steel Joints, *Materials and Design*, 32, 3617-3623.
- Zhang, Y. M., & Zhang, S. B. (1999). Observation of the keyhole during plasma arc welding. *WELDING JOURNAL-NEW YORK-*, 78, 53-s.
- Gowthaman, P. S., Muthukumaran, P., Gowthaman, J., & Arun, C. (2017). Review on mechanical characteristics of 304 stainless steel using SMAW welding. *MASK International Journal of Science and Technology*, 2(2), 32-37.
- Srivastava, A., Sekhar, S., Raj, P., Pandey, A., Ajha, R., & Ayub, A. (2016). Analysis of welding joints and processes. *International Journal of Computer Applications*, 975, 8887.
- Jones, D. A. (1992). *Principle and Prevention of Corrosion*. MacMillan.
- Santoso, K. A. (2019). Analisa Pengaruh Laju Korosi Plat Baja St 40 Dan Stainless Steel 304 Terhadap Larutan Asam Sulfat. *Majamecha*, 1(1), 24-35.
- Taha, N. A., & Morsy, M. (2016). Study of the behavior of corroded steel bar and convenient method of repairing. *HBRC journal*, 12(2), 107-113.
- Lippold, J. C. (2014). *Welding metallurgy and weldability*. John Wiley & Sons.

- Pedefferri, P., & Ormellese, M. (2018). Corrosion science and engineering (Vol. 720). Cham: Springer.
- Sinaga, A. J., & Manurung, C. (2020). Analisa Laju Korosi dan Kekerasan Pada Stainless Steel 316 L Dalam Larutan 10% NaCl Dengan Variasi Waktu Perendaman. *Sprocket Journal of Mechanical Engineering*, 1(2).
- Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals. Designation: G31-72. (Reapproved 2004).
- Standard Practice for Preparing Cleaning and Evaluation Corrosion Test Specimen (Appendix XI). Designation: G1-90(Reapproved 1999).
- Nukman, Irsyadi, Yani, Arifin A, Firdaus. (2020) Bahan, P. B. S., Peleburan, B. U., Cara, D. D., Mekanik, S., & Serta, S. L. Buku Ajar. Universitas Sriwijaya.
- Fazadima, A., Pratikno, H., & Ikhwani, H. (2022). Analisis Pengaruh Variasi Heat Input terhadap Uji Impact, Uji Metalografi, dan Laju Korosi pada Pengelasan SMAW Sambungan Pelat Baja A36 dengan Baja Structural Steel 400 (SS400). *Jurnal Teknik ITS*, 11(3), G38-G43.
- Nugroho, R., Handi, Y., & Sugiyanto, D. (2022). Perancangan Produk Mesin Uji Metalografi Menggunakan Metode Quality Function Deployment (QFD). *Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik*.
- Wuryandari, T., Widiharih, T., & Anggraini, S. D. (2009). Metode Taguchi untuk optimalisasi produk pada rancangan faktorial. *Media Statistika*, 2(2), 81-92.
- Ghosh, N., Pal, P. K., & Nandi, G. (2016). Parametric optimization of MIG welding on 316L austenitic stainless steel by Taguchi method. *Archives of Materials Science and Engineering*, 79(1), 27-36.
- Widodo, E., Al Amin, K., Anggara, D., Luluk, I., Pramesti, L., & Firmansyah, F. (2020). Pengelasan GTAW pada Stainless Steel Grade yang Berbeda untuk Aplikasi pada Power Plant. *Jurnal Teknologi Maritim*, 3(1), 493753.
- Afriany, R., Djunaidi, R., Asmadi, A., & Prasetya, C. (2020). ANALISA HASIL PENGELASAN GTAW STAINLESS STEEL 304. *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, 6(2), 146-154.
- Shiedieque, A. D., Abdulah, A., Rajab, D. A., & Jafarudin, J. (2021). Analisis Kekuatan Mekanis A304 menggunakan Logam Pengisi E308 pada Pengelasan GTAW dengan Variasi Parameter. *Metal Indonesia*, 43(1), 17 - 26.
- Salim, V., Rosehan, R., & Lubis, S. Y. (2023). Analisis Dampak Perubahan Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Sambungan Las Pada Material Stainless Steel 316. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi (JUTIN)*, 6(1), 231-241.
- Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals. Designation: G31-72. (Reapproved 2004).

Standard Practice for Preparing Cleaning and Evaluation Corrosion Test Specimen (Appendix XI). Designation: G1-90(Reapproved 1999).

ASM Committee. (2015). ASTM E 407-07: standard practice for microetching metals and alloys. ASTM standards, 1-21.

Fitriyanto, M. N. (2014). Penyambungan Stainless Steel Austenitik Seri 316 Dengan Metoda Friction Welding Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan, dan Struktur Mikro. Tugas Akhir, 1-55.