

**SKRIPSI**

**ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN KEKERASAN  
SAMBUNGAN LAS PADA PIPA ASTM A53  
*GRADE A***



**MUHAMMAD BAGUS HERRU PRATAMA**  
**03051282025028**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**  
**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**  
**2024**



**SKRIPSI**

**ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN KEKERASAN  
SAMBUNGAN LAS PADA PIPA ASTM A53  
*GRADE A***

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana  
Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**OLEH:**

**MUHAMMAD BAGUS HERRU PRATAMA**

**03051282025028**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2024**



HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN  
KEKERASAN SAMBUNGAN LAS PADA PIPA  
ASTM A53 GRADE A**

**SKRIPSI**

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

**OLEH:**

**MUHAMMAD BAGUS HERRU PRATAMA**  
**03051282025028**

Palembang, 20 April 2024

Diperiksa dan disetujui oleh

**Pembimbing Skripsi**

Mengetahui,

**Ketua Jurusan Teknik Mesin**



**Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.**

**NIP. 197112251997021001**


**Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.**

**NIP. 196004071990031003**



JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No.  
Diterima Tanggal  
Paraf

: 095/TM/AK/2024  
: 20-06-2024  
: 

## SKRIPSI

NAMA : MUHAMMAD BAGUS HERRU PRATAMA  
NIM : 03051282025028  
JURUSAN : TEKNIK MESIN  
JUDUL SKRIPSI : ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN  
KEKERASAN SAMBUNGAN LAS PADA PIPA  
ASTM A53 GRADE A  
DIBUAT TANGGAL : 9 OKTOBER 2023  
SELESAI TANGGAL : 22 APRIL 2024

Palembang, 03 Juni 2024

Diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing Skripsi

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyad Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.  
NIP. 197112251997021001



Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.  
NIP. 196004071990031003





## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Analisis Kekuatan Tarik dan Kekerasan Sambungan Las Pada Pipa ASTM A53 Grade A” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 22 Mei 2024.

Palembang, 05 Juni 2024

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

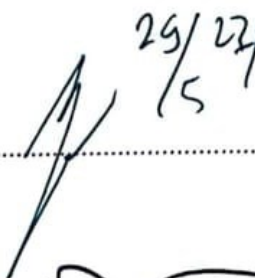
Ketua :

1. Qomarul Hadi S.T., M.T  
NIP. 196902131995031001

()

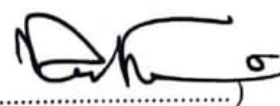
Sekretaris :

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

()

Anggota :

3. Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T  
NIP. 195903211987031001

()

Palembang, 05 Juni 2024

Diperiksa dan disetujui oleh,  
Pembimbing Skripsi

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng, Ph.D.  
NIP. 197112251997021001

()

Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T  
NIP. 196004071990031003



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan yang Maha Esa berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi ini. Proposal skripsi yang berjudul "Analisis Kekuatan tarik dan kekerasan sambungan las pada pipa gas ASTM A-53 Grade A", disusun untuk melengkapi salah satu syarat mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan dalam penyusunan proposal ini kepada:

1. M Rizal dan Susanti Defi, kedua orang tua penulis yang telah memberikan doa dan dukungan.
2. Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T. selaku dosen pembimbing.
3. Ketua jurusan, dosen-dosen, dan jajaran staf dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
4. Barlin S.T M.T. selaku dosen PA penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan proposal skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam hal pembelajaran khususnya bagi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Palembang, 20 April 2024

Penulis



Muhammad Bagus Herru Pratama  
NIM. 03051282025028



## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Bagus Herru Pratama

NIM : 03051282025028

Judul : Analisis Kekuatan Tarik dan Kokerasan Sambungan Las Pada Pipa  
ASTM A53 Grade A

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 saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Indralaya, 22 Mei 2024



Muhammad Bagus Herru Pratama  
NIM. 03051382025091



## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Bagus Herru Pratama

NIM : 03051282025028

Judul : Analisis Kekuatan Tarik dan Kekerasan Sambungan Las Pada Pipa  
ASTM A53 Grade A

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

Demikian pernyataan saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.



Indralaya, 22 Mei 2024



Muhammad Bagus Herru Pratama

NIM. 03512820250





## RINGKASAN

### ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN KEKERASAN SAMBUNGAN LAS PADA PIPA ASTM A53 GRADE A

Karya Tulis Ilmiah berupa skripsi, 22 Mei 2024

Muhammad Bagus Herru Pratama, dibimbing oleh Dr. Ir. Hendri Chandra,  
M.T.

xxviii + 52 halaman, 14 tabel, 25 gambar, 9 lampiran

### RINGKASAN

Pengelasan adalah teknik utama dalam manufaktur yang digunakan di berbagai industri. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi hubungan antara variasi kuat arus dalam pengelasan SMAW ASTM A53 menggunakan elektroda E6010 sebagai elemen root dan E7018 sebagai elemen pengisi dan penutup. Ketika terjadi pengelasan, terbentuknya fasa bainit dan perlite di bagian logam las dan HAZ ASTM A53 disebabkan oleh pendinginan yang cepat. Observasi menunjukkan adanya fasa ferrite berwarna putih dan perlite berwarna hitam dalam struktur tersebut, menyoroti kompleksitas transformasi fase yang terjadi dalam proses pengelasan. Dari hasil pengujian, nilai tertinggi dalam uji tarik tercatat pada sambungan las yang menggunakan arus 100 Ampere, mencapai 437,72 N/mm<sup>2</sup>, sementara nilai terendah terjadi pada arus 80 Ampere, dengan kekuatan tarik sebesar 396,66 N/mm<sup>2</sup>. Sementara itu, dalam pengujian kekerasan, terdapat perbedaan yang signifikan antara sambungan las dengan arus 100 Ampere yang memiliki nilai kekerasan tertinggi, yakni 274,67 VHN, dan sambungan las dengan arus 80 Ampere yang memiliki kekerasan terendah, yakni 144,69 VHN. Perubahan ini dipahami sebagai hasil dari interaksi panas yang mempengaruhi laju pendinginan, yang pada gilirannya memengaruhi struktur mikro material. Selain itu, perbandingan antara hasil sambungan las dengan arus yang lebih tinggi dan lebih rendah menunjukkan bahwa penggunaan arus yang lebih tinggi menghasilkan sambungan las yang lebih baik. Analisis struktur

mikro juga menunjukkan bahwa setiap variasi arus menghasilkan perbedaan dalam bentuk dan jumlah butir yang terbentuk, hal ini terkait dengan tingkat energi yang diaplikasikan melalui arus pengelasan.

**Kata Kunci:** SMAW, *perlit*, *bainit*, ASTM A53, E6010, E7

## SUMMARY

### ANALYSIS OF TENSILE STRENGTH AND HARDNESS OF WELDED JOINTS ON ASTM A53 GRADE A PIPES

Scientific Writing in the form of a thesis, May 22, 2024

Muhammad Bagus Herru Pratama, supervised by Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.

xxviii + 52 pages, 14 tables, 25 figures, 9 appendices

### SUMMARY

Welding is a primary manufacturing technique employed across various industries. The objective of this study is to explore the relationship between variations in current intensity in SMAW welding of ASTM A53 using E6010 electrode as the root and E7018 as the filler and cap. During welding, the formation of bainite and perlite phases in the weld metal and HAZ of ASTM A53 is induced by rapid cooling. Observations reveal the presence of white-colored ferrite and black-colored perlite phases within the structure, highlighting the complexity of phase transformations occurring during the welding process. From the test results, the highest value in tensile testing is recorded in the weld joints using 100 Ampere current, reaching 437.72 N/mm<sup>2</sup>, while the lowest value occurs at 80 Ampere current, with a tensile strength of 396.66 N/mm<sup>2</sup>. Meanwhile, in hardness testing, there is a significant difference between weld joints with 100 Ampere current, which has the highest hardness value of 274.67 VHN, and weld joints with 80 Ampere current, which exhibit the lowest hardness of 144.69 VHN. These changes are understood as a result of heat interaction affecting the cooling rate, which in turn influences the microstructure of the material. Additionally, a comparison between weld joint results with higher and lower currents indicates that the use of higher current yields better weld joints. Microstructure analysis also reveals that each current variation

results in differences in the shape and quantity of grains formed, which is related to the energy level applied through the welding current.

**Keywords:** SMAW, *perlit*, *bainit*, ASTM A53, E6010, E7018

## DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	xiii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	xv
RINGKASAN.....	xvii
SUMMARY.....	xix
DAFTAR ISI.....	xxi
DAFTAR GAMBAR.....	xxiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxv
DAFTAR TABEL.....	xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Metode Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pipa.....	5
2.2 Baja Karbon.....	6
2.3 Pipa ASTM A53.....	6
2.4 SMAW ( <i>Shield Metal Arc Welding</i> ).....	7
2.4.1 Arus Pengelasan.....	9
2.4.2 Elektroda.....	10

2.5	Daerah HAZ ( <i>Heat Affected Zone</i> ) .....	10
2.6	Sifat Mekanik Baja .....	13
2.7	Deformasi Plastis .....	14
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>15</b>
3.1	Diagram Alir Penelitian .....	15
3.2	Studi Literatur .....	16
3.3	Persiapan Spesimen .....	17
3.4	Alat dan Bahan .....	18
3.5	Pengelasan .....	19
3.6	Metode Pengujian .....	21
3.6.1	Pengujian Tarik .....	21
3.6.2	Pengujian Kekerasan Metode Vickers .....	22
3.6.3	Pengamatan Visual .....	24
3.6.4	Pemeriksaan Metalografi.....	24
3.7	Komposisi Kimia dan Sifat Mekanis Baja ASTM A-53 <i>Grade A</i> .....	25
3.8	Komposisi Kimia dan Sifat Mekanis Elektroda .....	26
3.9	<i>Carbon Equivalent</i> Material dan Elektroda .....	26
3.10	Waktu dan Tempat.....	28
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>29</b>
4.1	Hasil Pengujian .....	29
4.1.1	Pengujian Tarik .....	29
4.1.2	Hasil pengujian kekerasan.....	31
4.1.3	Hasil Pengujian Metalografi .....	34
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>39</b>
5.1	Kesimpulan .....	39
5.2	Saran .....	39
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>41</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>43</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Jenis Pipa (a).Pipa <i>seamless</i> (b). Pipa las (c) Pipa spiral.....	5
Gambar 2. 2 Prinsip Kerja SMAW (Wiryosumarto dan Okumura, 2000).....	8
Gambar 2. 3 Tipe Kampuh Las (Bontong, dkk.2019).....	9
Gambar 2. 4 Pengaruh besar kecilnya arus dan kecepatan pada hasil pengelasan (Wiryosumarto dan Okumura, 2000) .....	9
Gambar 2. 5 Elektroda.....	10
Gambar 2. 6 Pembagian daerah las (Soedarmadji, 2020) .....	11
Gambar 2. 7 Diagram fasa Fe-Fe <sub>3</sub> c (Callister dan Rethwisch, 2008).....	11
Gambar 2. 8 Skematik tranformasi fasa <i>autenit</i> ke <i>pearlite</i> pada baja dengan kandungan karbon dibawah 0,5% berat (Callister dan Rethwisch, 2008).....	12
Gambar 2. 9 Diagram TTT( <i>Time Temperature Transformation</i> ) <i>austenite</i> ke <i>pearlite</i> (Callister dan Rethwisch, 2008).....	12
Gambar 2. 10 Kurva tegangan regangan .....	14
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	16
Gambar 3. 2 Desain sambungan las .....	17
Gambar 3. 3 Posisi pengambilan spesimen uji (Batubara, dkk. 2023).....	18
Gambar 3. 4 Spesimen uji tarik berdasarkan standar JIS Z 2201.....	18
Gambar 3. 5 Pipa ASTM A-53 <i>Grade A</i> .....	19
Gambar 3. 6 Satu Set Mesin Las .....	19
Gambar 3. 7 <i>Universal Testing Machine Type RAT-30P</i> .....	21
Gambar 3. 8 Pengujian kekerasan metode Vickers .....	22
Gambar 3. 9 Vickers <i>Hardness Tester</i> .....	23
Gambar 3. 10 Mikroskop Optik .....	25
Gambar 4.1 Grafik Tegangan Tarik Rata-Rata .....	30
Gambar 4 2 Grafik Hasil Pengujian Kekerasan .....	33
Gambar 4.3 Logam induk Perbesaran 1000x .....	35
Gambar 4.4 Daerah HAZ Pembesaran 1000x .....	36
Gambar 4.5 Logam Las Perbesaran 1000X.....	38





## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Mill Test Certificate</i> .....	43
Lampiran 2 Komposisi Elektroda E6010 .....	44
Lampiran 3 Komposisi Elektroda E7018 .....	45
Lampiran 4 Formulir Konsultasi Tugas Akhir .....	46
Lampiran 5 Hasil Cek Turnitin .....	47
Lampiran 6 Keterangan Similaritas.....	48
Lampiran 7 Surat Pernyataan Bebas Plagiarisme.....	49
Lampiran 8 Tabel Respon Perbaikan .....	50
Lampiran 9 Form Pengecekan Format Tugas Akhir .....	52



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Chemical Requirements Pipa ASTM A-53 <i>Grade A</i> (ASTM, 1999).....	7
Tabel 2. 2 Sifat mekanik ASTM A53(ASTM, 1999) .....	7
Tabel 3. 1 Arus Pegelasan.....	20
Tabel 3. 2 Komposisi Kimia Material Baja ASTM A-53 <i>Grade A</i> .....	25
Tabel 3. 3 Sifat Mekanis Baja ASTM A-53 .....	25
Tabel 3. 4 Komposisi Elektroda E 6010 .....	26
Tabel 3. 5 Komposisi Elektroda 7018.....	26
Tabel 3. 6 Waktu Penelitian.....	28
Tabel 4. 1 Sifat mekanis elektroda E6010 .....	26
Tabel 4. 2 Sifat mekanis elektroda E7018 .....	26
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Tarik .....	29
Tabel 4. 4 Hasil Uji Kekerasan Arus 80 A .....	31
Tabel 4. 5 Hasil Uji Kekerasan Arus 90 A .....	32
Tabel 4. 6 Hasil Uji Kekerasan Arus 100 A .....	32



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pipa adalah pengantar fluida berupa cairan maupun gas yang paling populer digunakan pada industri perminyakan dan gas saat ini. Pipa dirancang dengan panjang tertentu untuk mengikuti kebutuhan yang ada. Akan tetapi untuk membawa pipa dengan panjang sesuai kebutuhan tanpa adanya proses penyambungan ke tempatnya merupakan hal yang mustahil di lakukan. Untuk mempermudah transportasi pipa dicetak dengan ukuran yang telah di tentukan yang kemudian di rangkai dengan beberapa metode.

Salah satu cara untuk menyambung pipa, terutama pipa yang terbuat dari logam, adalah dengan menggunakan metode pengelasan. Pengelasan adalah proses menyatukan dua logam atau lebih dengan melelehkan logam induk menggunakan panas terfokus. Salah satu teknik pengelasan busur listrik adalah SMAW (*Shield Metal Arc Welding*), di mana panas yang diperlukan untuk pengelasan dihasilkan dari pembentukan busur listrik antara benda kerja dan elektroda (Ginting, 2023).

Standar yang mengatur tentang pengelasan pipa salah satunya adalah ASME XI. standar tersebut membahas tentang perencanaan pipa bertekanan, dan sambungan-sambungan las. dikarenakan pengelasan akan berbeda beda pada setiap pengerjaan sesuai dengan parameter dan kebutuhan yang ada. Sehingga itu dibuat WPS (*Welding Procedure Spesification*) yang akan memberikan petunjuk bagi Juru las mengenai tata cara dan hal apa saja yang perlu dilakukan ketika proses pengelasan berlangsung.

WPS sendiri terbuat dari beberapa penyesuaian dari standar baku yang ada untuk meningkatkan nilai ekonomis dan ketangguhan material itu sendiri sesuai kebutuhan dan spesifikasi sambungan tersebut. Untuk membuat suatu WPS

beberapa data pengelasan dikumpulkan menjadi PQR (*Procedure Qualification Record*).

Sambungan las adalah masalah krusial yang ada pada sistem perpipaan dikarenakan adanya perubahan suhu drastis saat proses pengelasan. Oleh karena itu, perubahan sifat mekanik pada sambungan las pada pipa penting untuk dianalisis. Sifat mekanik logam yang dapat terpengaruh oleh pengelasan diantaranya adalah kekuatan tarik dan kekerasan material.

Kekuatan tarik merupakan nilai tegangan tarik tertinggi yang mampu diterima oleh suatu material, sedangkan kekerasan material adalah kemampuan material menahan beban penetrasi. Analisis kedua parameter tersebut sangat penting diteliti untuk acuan pemilihan material pada sistem perpipaan yang akan disambung dengan metode pengelasan

Dari uraian sebelumnya, dibutuhkan pengujian tarik dengan menggunakan sampel yang telah ditentukan dan pengujian kekerasan dengan metode Vickers untuk menilai tingkat kekerasan suatu material. Dengan demikian, penulis dapat mengevaluasi perubahan dalam kekuatan tarik dan kekerasan yang disebabkan oleh proses pengelasan. Oleh karena itu, judul penelitian ini adalah "Analisis Kekuatan Tarik dan Kekerasan pada Sambungan Las ASTM A53 Grade A".

## **1.2 Rumusan Masalah**

Pipa bertekanan tinggi dirancang untuk menahan deformasi yang tidak diharapkan. Akan tetapi, pada saat pengelasan terjadi perubahan nilai kekuatan tarik dan kekerasan yang dapat mengakibatkan kegagalan suatu material. Karenanya, dibutuhkan pengujian untuk mengetahui seberapa besar dampak perubahan tersebut.

Penelitian kali ini digunakan dua jenis elektroda yang berbeda yaitu E6010 dan E7018 dengan diameter yang sama. Elektroda E6010 diketahui memiliki penetrasi yang baik dan pembersihan otomatis pada logam dasar yang sangat cocok untuk pengelasan *root*. Sedangkan, elektroda E7018 sendiri memiliki

kualitas sambungan yang tinggi dan stabilitas busur yang baik. Perpaduan kedua elektroda tersebut diharapkan dapat menghasilkan sambungan las yang baik.

### **1.3 Batasan Masalah**

Dalam penelitian ini, batasan masalahnya melibatkan beberapa poin utama antara lain :

1. Material yang digunakan adalah Pipa ASTM A-53 *Grade A*.
2. Jenis pengelasan yang digunakan adalah SMAW, dengan kampuh V tunggal
3. Pengelasan dilakukan dengan menggunakan elektroda E 6010 dan 7018 dengan 3 Layer ( 1 *root*, 1 *filler*, 1 *capping*) pada posisi pengelasan 1G .
4. Pengujian kekuatan tarik menggunakan standar JIS Z 2201 dan spesimen yang digunakan berstandar JIS B 7721.
5. Pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

1. Menganalisis pengaruh arus pengelasan terhadap nilai kekuatan tarik pada pipa ASTM A53.
2. Menganalisis pengaruh arus pengelasan terhadap nilai kekerasan ASTM A53.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Beberapa keuntungan yang diperoleh dari penelitian ini mencakup:

1. Sebagai pengetahuan pengaruh pengelasan pada pipa ASTM A53.

2. Menambah pengetahuan tentang pengelasan dengan menggunakan 2 elektroda yang berbeda. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk penelitin berikutnya.

## **1.6 Metode Penelitian**

1. Studi Literatur.
2. Ekperimental.



## DAFTAR PUSTAKA

- Anggaretno, G., Rochani, I., & Supomo, H. (2012). Analisa Pengaruh Jenis Elektroda terhadap Laju Korosi pada Pengelasan Pipa API 5L Grade X65 dengan Media Korosi FeCl<sub>3</sub>. *Jurnal Teknik ITS*, 1(2301–9271), 124–128.
- Awali, J., Rudiyanto, F., Thesalonicha, S., Lubis, M. P. D., Tanjung, R. A., dan Triana, Y. (2021). Analisis variasi arus pengelasan kombinasi SMAWFCAW dengan kampuh double V-Groove terhadap kekerasan dan struktur mikro dissimilar material JIS G3101-SS400 dan ASTM A36. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 12(2), 421-432
- ASTM. (1999). Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless. *ASTM International*, 1, 1–20.
- Batubara, N. H., Butar Butar, H., Arysawan, A., & Rizki, T. R. (2023). Uji Mekanik Material Pipa SA-312 TP304L untuk Kualifikasi PQR Sesuai ASME BPVC Sec. IX-2019. Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Batam, 7(2), 8063–8070.
- Bontong, Y., & Lasarus, R. (2019). Analisa Kekerasan Dan Ketangguhan Pada Daerah Haz Hasil Las Metode SMAW. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Toraja, 1–5.
- Callister, W. dan Rethwisch, D. (2008) *Materials Science and Engineering An Introduction*, Journal of Materials Science. John Wiley & Sons, Inc
- Ginting, B. B. (2023). Analisa Kekuatan Tarik Pengelasan SMAW pada Material Baja Hardox Steel 450. Prodi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, 7(2), 7584–7590.
- Hasil, J., Ilmiah, K., Jordi, M., Yudo, H., & Jokosisworo, S. (2017). Analisa Pengaruh Proses Quenching Dengan Media Berbeda Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja St 36 Dengan Pengelasan SMAW. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(1), 272. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/naval>
- IGA Kade Suriadi, & IK Suarsana. (2007). *Pemodelan Pengujian Tarik Untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material*. Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali, 1(1), 1–8.
- Kartiko Aji, B. (2015). Kajian Kekerasan Dan Struktur Mikro Sambungan Las GMAW Baja Karbon Tinggi Dengan Variasi Masukan Arus Listrik. *Jurnal Simetris*, 6(2252–4983), 243–248.
- Kurniawan Afandi, Y., Syarif Arief, I., & Amiadji. (2015). Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon dengan Variasi Ketebalan Coating. Jurusan Teknik

Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (*ITS*), 4(2337–3539).

- Mizhar, S., & Pandiangan, I. H. (2014). Pengaruh Masukan Panas Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Ketangguhan Pada Pengelasan Shield Metal Arc Welding (SMAW) Dari Pipa Baja Diameter 2,5 Inchi. *Jurnal Dinamis*, II(14).
- Nofri, M., & Fardiansyah, A. (2018). Analisis Sifat Mekanik Pipa Carbon Steel Grade A A106 Dan Grade B A53 Untuk Proses Produksi Pada Kilang Lng. Progam Studi Teknik Mesin S1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sains dan Teknologi Nasional, *Jakarta*, 14, 119–129.
- Nugroho, A., & Setiwan, E. (2018). Pengaruh Variasi Kuat Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Sambungan Las Plate Carbon Steel ASTM A36. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 2(2447–2089), 134–142.
- Nugroho, F. (2017). Studi Komparasi Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Impak, Kekerasan, Dan Struktur Mikro Sambungan Las Pegas Daun Baja SUP 9 Pada Proses Las Smaw. *Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi, Angkasa*, 9(II), 57–66.
- Sapta Sulendra, D. (2019). Konfigurasi Seri Paralel Flange Pipa Menggunakan Reliability Blok Diagram Pada PT. Pertamina (Persero) Tbbm Pontianak. *Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura*, 65–69.
- Soedarmadji, W. (2020). Pengaruh Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Pada Mild Steel S45C Di Daerah HAZ Dengan Pengujian Metalografi. *Journal Mechanical and Manufacture Technology*, 1(1), 12.
- Soetardjo. (1997). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Rineka Cipta  
Wiryosumarto, H., dan Okumura, T. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*, Jakarta : Pratnya Paramita