

**Studi Pengaruh *Overlay Welding* Pada Pipa Baja Dalam Arah  
*Longitudinal* dan *Circumferential* Terhadap Tegangan Sisa**

*Studies Effect of Overlay Welding on Steel Pipes in Longitudinal  
and Circumferential Directins on Residual*

**SKRIPSI**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN  
BANDUNG  
2024**

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Andika Pratama Candra

NIM : 203030079

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam Skripsi yang saya kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan/ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi,
2. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan terbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi,
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu, dan
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil *plagiarism*.

Apabila di kemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 30 September 2024

Penulis,



Andika Pratama Candra

## SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Universitas Pasundan, saya:

N a m a : Andika Pratama Candra  
NPM : 203030079  
Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS  
Jenis Karya : Skripsi,

Menyatakan bahwa sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“ *Studi Pengaruh Overlay Welding Pada Pipa Baja Dalam Arah Longitudinal dan Circumferential Terhadap Tegangan Sisa*”

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta, Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 30 September 2024.

Yang menyatakan,



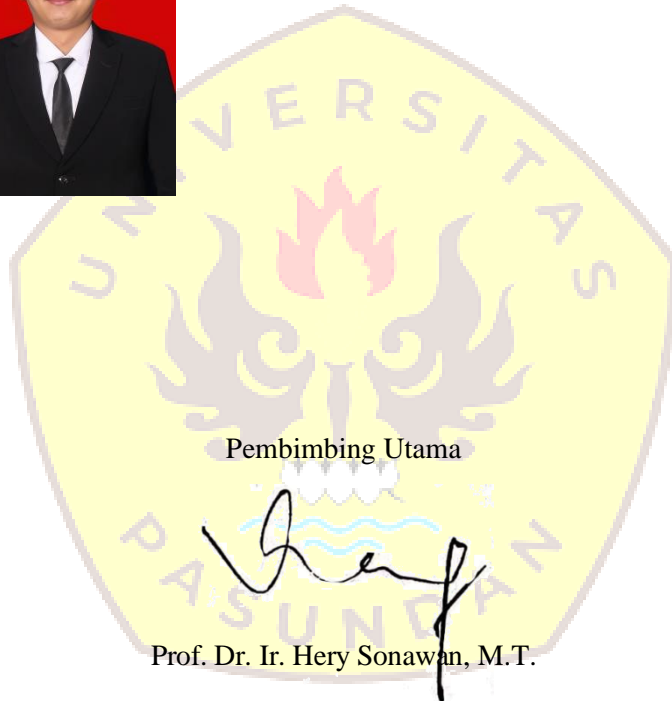
Andika Pratama Candra

**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING**

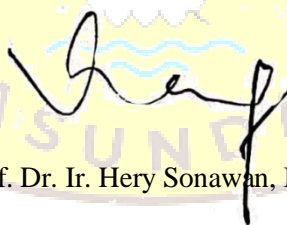
**Studi Pengaruh *Overlay Welding* Pada Pipa Baja Dalam  
Arah *Longitudinal* dan *Circumferential* Terhadap  
Tegangan Sisa**



**Nama : Andika Pratama Candra**  
**NPM : 203030079**



Pembimbing Utama

  
Prof. Dr. Ir. Hery Sonawan, M.T.

Pembimbing Pendamping

  
Mohammad Reza Hermawan, S.T., M.T.

**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI**

**Studi Pengaruh *Overlay Welding* Pada Pipa Baja Dalam  
Arah *Longitudinal* dan *Circumferential* Terhadap  
Tegangan Sisa**



**Nama : Andika Pratama Candra**  
**NPM : 203030079**

Tanggal sidang skripsi: 30 September 2024

Ketua : Prof. Dr. Ir. Hery Sonawan, M.T.

Sekretaris : Mohammad. Reza Hermawan, S.T., M.T.

Anggota : Ir. Bukti Tarigan, M.T.

Anggota : Dr. Ir. Widiyanti Kwintarini, M.T.

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Wr.Wb*

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, segala puji serta syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan karunia dan nikmat-Nya. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan skripsi yang berjudul **Studi Pengaruh Overlay Welding Pada Pipa Baja Dalam Arah Longitudinal dan Circumferential Terhadap Tegangan Sisa**. Skripsi ini merupakan syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pasundan Bandung.

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Penghargaan dan terimakasih penulis ucapkan kepada:

1. Kedua orang tua, Bapak Utama Candra dan Ibu Tati Hartati, atas segala doa dan dukungan yang telah diberikan,
2. Bapak Dr. Ir. Sugiharto, MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan,
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Hery Sonawan, M.T. selaku pembimbing I yang selalu memberikan ilmu, arahan, kesempatan, semangat dan motivasi, serta fasilitas kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini dengan tepat waktu,
4. Bapak Mohammad Reza Hermawan, S.T., M.T. selaku pembimbing II yang selalu memberikan ilmu, arahan, kesempatan, semangat dan motivasi, serta fasilitas kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini dengan tepat waktu, dan
5. Kepada Siti Resma Setiawati yang selalu memberikan dukungan dari jauh, semangat, motivasi, dan doa yang tulus kepada penulis.
6. Semua rekan satu perjuangan Teknik Mesin angkatan 2020 Universitas Pasundan.
7. Sahabat serta seluruh pihak yang belum disebutkan satu persatu oleh penulis atas keterlibatan dan dukungannya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlimpah atas segala kebaikan yang telah diberikan kepada penulis. Penulis berharap bahwa laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada penulis khususnya dan kepada pembaca umumnya.

*Wassalamu'alaikum Wr.Wb*

Bandung, 30 September 2024

Penulis



Andika Pratama Candra



## DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN.....	i
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
Kata Pengantar .....	v
Daftar Isi .....	vii
Daftar Gambar .....	ix
Daftar Tabel .....	x
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT.....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1. Latar Belakang .....	1
2. Rumusan Masalah .....	2
3. Tujuan .....	2
4. Manfaat .....	2
5. Batasan Masalah.....	3
6. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II STUDI LITERATUR .....	5
1. Pengelasan.....	5
2. <i>Shielded Metal Arc Welding</i> (SMAW).....	5
3. Parameter Pengelasan.....	6
4. <i>Carbon Steel</i> .....	7
5. Tegangan sisa ( <i>Residual Stress</i> ) .....	8
6. Deformasi Dalam Pengelasan.....	8
7. <i>Welding Overlay Cladding</i> .....	9
8. Posisi Pengelasan .....	9
9. Elektroda Pengelasan ( <i>Welding Rods</i> ).....	12
10. Pengujian Tarik ( <i>Tensile Test</i> ).....	13
BAB III METODOLOGI.....	16
1. Tahapan Penelitian .....	16
2. Tempat Penelitian.....	17
3. Variabel Penelitian .....	17



4.	Perancangan Pembuatan Spesimen.....	18
5.	Perancangan Ketebelan Spesimen .....	18
6.	Rancangan Pengelasan .....	20
7.	Prosedur Pengelasan.....	22
8.	Proses Pengelasan .....	24
9.	Data Hasil Pengelasan .....	27
10.	Analisa Hasil Pengelasan .....	36
11.	Peralatan dan bahan yang digunakan.....	38
12.	Proses Pembuatan Spesimen .....	39
13.	Metode Pengolahan Data.....	42
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>43</b>
1.	Pengolahan Data Pengujian Tarik .....	43
2.	Hasil Pengolahan Data Pengujian Tarik .....	44
3.	Pengolahan Data Menggunakan Desain Faktorial .....	45
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>51</b>
1.	Kesimpulan .....	51
2.	Saran .....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>55</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>58</b>
1.	Proses Pengeleasan.....	58
2.	Proses Pembuatan Spesimen .....	62
3.	Proses Pengujian Tarik.....	64
4.	Hasil Pengujian Tarik B4T.....	65
5.	Sertifikat Welder .....	81
6.	Sertifikat Material .....	82

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skematasi SMAW .....	6
Gambar 2. Posisi Pengelasan. ....	11
Gambar 3. Posisi- Posisi Pengelasan.....	12
Gambar 4. Posisi-Posisi Pengelasan Untuk Pengelasan Pipa. ....	12
Gambar 5. Diagram Tahapan Penelitian.....	16
Gambar 6. Lokasi Pengelasan .....	17
Gambar 7. Spesimen Uji Tarik Standar ASTM E8 .....	18
Gambar 8. Perbandingan 50% <i>Base Metal</i> , dan 50% <i>Overlay Welding</i> .....	20
Gambar 9. Skematis Arah Pengelasan <i>Longitudinal</i> .....	21
Gambar 10. Skematis Arah Pengelasan <i>Circumferential</i> .....	21
Gambar 11. Pipa Baja 2,5 inch (65 mm) .....	22
Gambar 12. Pipa Baja 5 inch (140 mm).....	22
Gambar 13. Sertifikat Pipa Baja.....	23
Gambar 14. Mesin Las Heliarc 252 AC/DC.....	24
Gambar 15. Proses Pengelasan.....	25
Gambar 16. Arah pengelasan <i>circumferential</i> dan <i>longitudinal</i> .....	25
Gambar 17. Pendinginan Setelah Proses Pengelasan .....	26
Gambar 18. Foto-foto hasil pengelasan.....	28
Gambar 19. Cacat Excessive Reinforcement (Excess) .....	36
Gambar 20. Cacat Overlap.....	37
Gambar 21. Proses Pembubutan.....	39
Gambar 22. Hasil Pembubutan.....	39
Gambar 23. Proses Pemotongan.....	40
Gambar 24. Hasil Proses Pemotongan .....	40
Gambar 25. Proses <i>Milling</i> .....	41
Gambar 26. Spesimen Uji Tarik.....	41
Gambar 27. Proses Pengujian Tarik .....	42
Gambar 28. Grafik Tegangan Sisa dan Kekuatan Tarik Hasil Pengolahan Data .....	44
Gambar 29. Pengaruh Jumlah Layer Terhadap Nilai Tegangan Sisa.....	48
Gambar 30. Pengaruh Variabel Diameter Pipa terhadap Nilai Tegangan Sisa .....	49
Gambar 31. Pengaruh Variabel Arah Pengelasan terhadap Nilai Tegangan Sisa .....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Data Ketebalan dan Tinggi Hasil Pengelasan .....	27
Tabel 2. Hasil Data Pengelasan Pipa 2,5 inch (65 mm) <i>Circumferential</i> 2 Layer .....	30
Tabel 3. Hasil Data Pengelasan Pipa 5 inch (140 mm) <i>Circumferential</i> 2 Layer .....	30
Tabel 4. Hasil Data Pengelasan Pipa 2,5 inch (65 mm) <i>Longitudinal</i> 2 Layer .....	31
Tabel 5. Hasil Data Pengelasan Pipa 5 inch (140 mm) <i>Longitudinal</i> 2 Layer .....	31
Tabel 6. Hasil Data Pengelasan Pipa 2,5 inch (65 mm) <i>Circumferential</i> 4 Layer .....	32
Tabel 7. Hasil Data Pengelasan Pipa 5 inch (140 mm) <i>Circumferential</i> 4 Layer .....	33
Tabel 8. Hasil Data Pengelasan 2,5 inch (65 mm) <i>Longitudinal</i> 4 Layer .....	34
Tabel 9. Hasil Data Pengelasan Pipa 5 inch (140 mm) <i>Longitudinal</i> 4 Layer .....	35
Tabel 10. Alat dan Bahan.....	38
Tabel 11. Pengolahan Data Hasil Pengujian Tarik .....	44
Tabel 12. Variabel dan Level .....	45
Tabel 13. Konfigurasi Eksperimen.....	45
Tabel 14. Hasil Eksperimen .....	45
Tabel 15. Analisis Data dengan Desain Faktorial $2^3$ .....	46
Tabel 16. Analisis Pengaruh Diameter Pipa terhadap Nilai Tegangan Sisa.....	46
Tabel 17. Analisis Pengaruh Arah Pengelasan terhadap Nilai Tegangan Sisa.....	47
Tabel 18. Analisis Pengaruh Jumlah Layer terhadap Nilai Tegangan Sisa.....	47

## ABSTRAK

Pengelasan merupakan proses yang penting dalam industri manufaktur, terutama dalam pembuatan dan perbaikan struktur perpipaan. Pipa baja karbon *schedule 40* sering digunakan dalam berbagai aplikasi industri, seperti di sektor minyak dan gas, petrokimia, serta pembangkit listrik. Salah satu teknik yang digunakan untuk meningkatkan ketahanan pipa baja adalah *overlay welding*, yang berfungsi untuk memperbaiki atau memperkuat pipa melalui penambahan lapisan logam tambahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *overlay welding* terhadap tegangan sisa pada pipa baja karbon *schedule 40* dengan arah pengelasan *circumferential* dan *longitudinal* melalui uji tarik. Penelitian dilakukan menggunakan 8 spesimen dengan variasi diameter pipa 2,5 inch (65 mm) dan 5 inch (140 mm), jumlah layer pengelasan (2 dan 4 layer), serta arah pengelasan (*circumferential* dan *longitudinal*). Pengujian tarik dilakukan untuk mengukur kekuatan tarik setiap spesimen dan menentukan tegangan sisa yang terbentuk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pipa dengan pengelasan *circumferential* menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengelasan *longitudinal*. Nilai kekuatan tarik tertinggi dicapai oleh pipa 5 inch (140 mm) dengan 2 layer pengelasan *circumferential*, yaitu sebesar 1033 MPa. Rata-rata kekuatan tarik dari keseluruhan spesimen adalah 658 MPa. Variabel yang paling memengaruhi kekuatan tarik adalah jumlah layer pengelasan, di mana penambahan lebih dari 2 layer cenderung tidak memberikan peningkatan yang signifikan, bahkan dapat menurunkan kekuatan tarik. Kesimpulannya, pengelasan *circumferential* dengan 2 layer pada pipa besar lebih efektif dalam meningkatkan kekuatan mekanik, sementara untuk pipa kecil, pengelasan *circumferential* juga lebih unggul dibandingkan *longitudinal*.

Kata kunci: jumlah layer, kekuatan tarik, *overlay welding*, pengelasan, pengelasan *circumferential*, pengelasan *longitudinal*, pipa baja karbon *schedule 40*, tegangan sisa

## ABSTRACT

*Welding is an important process in the manufacturing industry, especially in the manufacture and repair of piping structures. Schedule 40 carbon steel pipe is often used in various industrial applications, such as in the oil and gas, petrochemical and power generation sectors. One technique used to increase the durability of steel pipes is overlay welding, which functions to repair or strengthen the pipe by adding additional layers of metal. This research aims to determine the effect of overlay welding on residual stresses in schedule 40 carbon steel pipes with circumferential and longitudinal welding directions through tensile tests. The research was carried out using 8 specimens with variations in pipe diameter 2.5 inches (65 mm) and 5 inches (140 mm), number of welding layers (2 and 4 layers), and welding direction (circumferential and longitudinal). Tensile testing is carried out to measure the tensile strength of each specimen and determine the residual stress that forms. Test results show that pipes with circumferential welding produce higher tensile strength compared to longitudinal welding. The highest tensile strength value was achieved by a 5 inch (140 mm) pipe with 2 layers of circumferential welding, namely 1033 MPa. The average tensile strength of the entire specimen is 658 MPa. The variable that most influences tensile strength is the number of welding layers, where adding more than 2 layers tends not to provide a significant increase, and can even reduce tensile strength. In conclusion, circumferential welding with 2 layers on large pipes is more effective in increasing mechanical strength, while for small pipes, circumferential welding is also superior to longitudinal.*

*Keywords: number of layers, tensile strength, overlay welding, welding, circumferential welding, longitudinal welding, schedule 40 carbon steel pipe, residual stress*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1. Latar Belakang

Pengelasan merupakan salah satu proses yang penting dalam industri manufaktur, khususnya dalam pembuatan dan perbaikan struktur perpipaan. Pipa baja karbon *schedule 40* adalah salah satu komponen yang umum digunakan dalam sistem perpipaan untuk berbagai aplikasi industri, seperti di sektor minyak dan gas, petrokimia, dan pembangkit listrik. Namun, pengelasan pada pipa-pipa ini sering kali memerlukan perlakuan khusus untuk meningkatkan ketahanan dan integritas strukturalnya.

Salah satu teknik yang digunakan untuk meningkatkan kualitas dan kinerja pengelasan pada pipa baja karbon *schedule 40* adalah *overlay welding*. *Overlay welding* melibatkan penambahan lapisan logam tambahan pada permukaan pipa untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu, seperti ketahanan terhadap korosi, erosi, atau keausan. Teknik ini juga dapat digunakan untuk memperbaiki atau memperkuat struktur pipa yang rusak atau aus.

Dalam konteks ini, perlu dipelajari penggunaan *overlay welding* pada pipa baja karbon *schedule 40* dengan arah pengelasan *circumferential* (sepanjang lingkaran pipa) dan *longitudinal* (sepanjang sumbu pipa). Pendekatan ini memberikan fleksibilitas yang besar dalam memperbaiki atau memodifikasi pipa, tergantung pada kondisi dan kebutuhan spesifik dari proyek atau aplikasi industri.

Salah satu aspek penting dari *overlay welding* adalah pengaruhnya terhadap tegangan sisa yang terbentuk di sekitar zona pengelasan. Tegangan sisa dapat memengaruhi kinerja struktural material, terutama dalam hal kekuatan dan ketahanan terhadap kelelahan. Oleh karena itu, penting untuk memahami bagaimana teknik pengelasan tertentu, seperti *overlay welding*, mempengaruhi pembentukan tegangan sisa dalam pipa baja karbon *schedule 40*.

Dalam konteks ini, pengujian tarik dan pengujian kekerasan menjadi metode yang relevan untuk mengevaluasi efek *overlay welding* terhadap sifat mekanik dan kekerasan material yang dihasilkan. Pengujian tarik akan memberikan pemahaman yang mendalam tentang kekuatan tarik material serta distribusi tegangan sisa di sekitar zona pengelasan, sementara pengujian kekerasan akan memberikan informasi tentang kekerasan material dan perubahan yang mungkin terjadi akibat proses pengelasan.

Oleh karena itu, makalah ini bertujuan untuk menyelidiki efek *overlay welding* pada pipa baja karbon *schedule 40* dengan arah pengelasan *circumferential* dan *longitudinal* terhadap pembentukan tegangan sisa, serta untuk memahami perubahan dalam sifat mekanik dan kekerasan material yang dihasilkan. Diharapkan bahwa penelitian ini akan memberikan wawasan yang berharga bagi industri dalam meningkatkan kualitas dan keandalan sistem perpipaan serta struktur terkait lainnya.

## 2. Rumusan Masalah

Dilihat dari latar belakang diatas, maka didapatkan perumusan masalah yaitu:

- Bagaimana pengaruh arah pengelasan *longitudinal* dan *circumferential* terhadap tegangan sisa pada pipa baja karbon yang dilakukan proses *weld overlay cladding* pada pengujian tarik.

## 3. Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Mengetahui nilai tegangan sisa pada pipa baja karbon dari selisih pipa yang sudah dilas dan tidak dilas yang dilakukan proses *welding overlay cladding* dalam arah *longitudinal* dan *circumferential* melalui pengujian tarik.

## 4. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah

- Mengetahui pengaruh arah pengelasan *longitudinal* dan *circumferential* terhadap tegangan sisa pada pipa baja karbon yang dilakukan proses *overlay welding* yang melalui pengujian tarik.
- Dapat dijadikan referensi untuk penelitian serupa antara lain *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) pada sifat material hingga pengujian tarik.
- Memberikan pengetahuan dan keahlian kepada industri pelatihan teknik mesin serta masyarakat umum di bidang pengelasan busur logam berpelindung (SMAW) untuk meningkatkan hasil pengelasan.
- Merupakan informasi penting bagi peneliti dan pembaca untuk menambah pengetahuannya di bidang pengelasan busur logam berpelindung (SMAW) terkait pengujian tarik.

- Mengetahui arah cakupan las yang paling efektif antara panjang memanjang dan melingkar pada pipa baja karbon ditinjau dari tegangan sisa dan deformasi.

## 5. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

- Pengelasan yang dilakukan adalah pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*).
- Arah pengelasan yaitu *Longitudinal* dan *Circumferential*.
- Posisi pengelasan adalah 1G.
- Elektroda yang digunakan adalah AWS E7018 diameter 4 mm.
- Arus 130 – 190 ampere.
- Material pipa yang digunakan adalah pipa baja karbon 106 *Grade B*.
- Diameter pipa 2,5 inch (65 mm) *schedule 40* Seri 106 *Grade B*.
- Diameter pipa 5 inch (140 mm) *schedule 40* Seri 106 *Grade B*.
- Jumlah layer 2 & 4 layer.
- Jumlah pass 5.

## 6. Sistematika Penulisan

### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi perihal latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

### BAB II STUDI LITERATUR

Bab ini berisi tentang kumpulan penelitian dari penelitian-penelitian yang ada di jurnal-jurnal terkonfirmasi dan berisi tentang informasi-informasi yang berkaitan tentang *welding overlay cladding*.



### **BAB III METODOLOGI**

Pada bab ini berisi tentang tahapan penelitian, tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, setup, rancangan pengujian, metode pengolahan data, dan proses pembentukan specimen.

### **BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini berisi tentang data hasil pengujian yang telah dilakukan. Pada bab ini juga ditambahkan tabel dan gambar hasil pengujian pada variabel eksperimen yang telah ditetapkan.

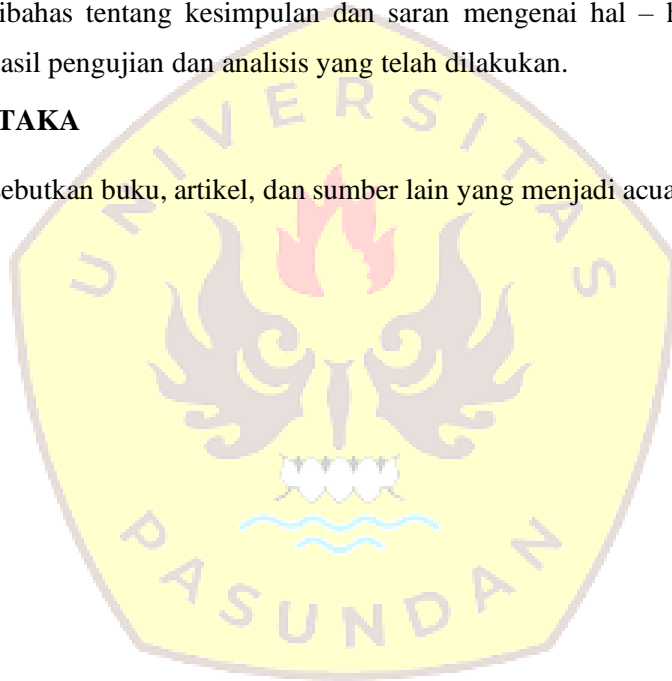
### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini dibahas tentang kesimpulan dan saran mengenai hal – hal penting yang diperoleh dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan.

### **DAFTAR PUSTAKA**

Pada bab ini disebutkan buku, artikel, dan sumber lain yang menjadi acuan skripsi ini.

### **LAMPIRAN**



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 1. Kesimpulan

*Overlay welding* pada pipa baja dalam arah *longitudinal* dan *circumferential* telah berhasil dilakukan. Pengujian tersebut meliputi pembentukan rancangan pengujian, pengelasan, dan pengujian tarik. *Overlay welding* yang telah dilakukan berjalan sesuai dengan rumusan dan tujuan penelitian. Hasil *overlay welding* pada pipa baja dalam arah *longitudinal* dan *circumferential* adalah:

- Nilai kekuatan tarik yang besar dihasilkan dari pengujian tarik adalah *circumferential* sebesar 1033 MPa dan tegangan sisa 618 MPa.
- Dari ke- 8 hasil interpretasi didapatkan nilai tegangan sisa rata-rata adalah 245 MPa.
- Variabel *input* diameter pipa 2,5 inch (65 mm) dan 5 inch (140 mm) terhadap tegangan sisa sebesar: 254 MPa.
- Variabel *input* arah pengelasan *circumferential* dan *longitudinal* terhadap nilai tegangan sisa sebesar: -162 MPa.
- Variabel *input* jumlah layer 2 dan 4 layer terhadap nilai tegangan sisa sebesar: -146 MPa.
- Variabel *input* yang paling berpengaruh terhadap variabel *output* nilai tegangan sisa adalah “diameter pipa” sebesar: 254 MPa.
- Pengaruh Diameter Pipa: Pipa dengan diameter dan ketebalan lebih besar 5 inch (140 mm) menghasilkan tegangan sisa yang lebih tinggi karena membutuhkan lebih banyak panas untuk mencapai titik las, yang menyebabkan distribusi panas lebih luas dan pendinginan lebih lambat. Hal ini meningkatkan akumulasi tegangan tarik dan tekan di area las. Sebaliknya, pipa dengan diameter lebih kecil 2,5 inch (65 mm) mengalami tegangan sisa dan kekuatan tarik yang lebih rendah karena material yang lebih tipis memuai dan menyusut lebih cepat akibat distribusi panas yang lebih terbatas dan pendinginan yang lebih cepat.
- Pengaruh Jumlah Layer Pengelasan: Pipa dengan diameter dan ketebalan lebih besar 5 inch (140 mm) mengalami peningkatan tegangan sisa karena membutuhkan lebih banyak panas selama proses pengelasan, yang menghasilkan distribusi panas lebih luas serta pemuaian dan penyusutan lebih terkendali. Proses pendinginan lebih lambat, sehingga tegangan tarik dan tekan yang terbentuk lebih tinggi. Sebaliknya, pipa dengan diameter lebih kecil 2,5

inch (65 mm) memiliki tegangan sisa dan kekuatan tarik lebih rendah, karena pemuaihan dan penyusutan terjadi lebih cepat akibat pengaruh suhu yang lebih besar dan distribusi panas yang terbatas.

- Pengaruh Arah Pengelasan: Tegangan sisa pada pengelasan longitudinal dan circumferential memiliki karakteristik berbeda. Pada pengelasan longitudinal, tegangan tarik terkonsentrasi sepanjang jalur las akibat pemuaihan dan penyusutan material di jalur tersebut, dengan tegangan tekan terbentuk di sekitar area las karena penguncian panas. Distribusi panas pada pengelasan longitudinal lebih terfokus, sehingga pemuaihan dan penyusutan lebih kecil. Sebaliknya, pada pengelasan circumferential, tegangan sisa tersebar merata di sepanjang keliling las, dengan pemuaihan dan penyusutan yang lebih besar karena distribusi panas yang lebih luas, menghasilkan variasi tegangan tarik dan tekan yang lebih kompleks.

Pengujian ini menunjukkan bahwa pipa baja karbon dengan pengelasan *circumferential* menghasilkan tegangan sisa yang lebih tinggi dibandingkan pengelasan *longitudinal*. Pipa 5 inch (140 mm) dengan 2 layer pengelasan *circumferential* mencapai hasil terbaik dengan tegangan sisa 618 MPa. Penambahan layer lebih dari 2 tidak memberikan manfaat yang signifikan dan bisa menyebabkan penurunan tegangan sisa. Oleh karena itu, pengelasan 2 layer *circumferential* pada pipa besar direkomendasikan untuk aplikasi yang membutuhkan peningkatan kekuatan mekanik, sementara untuk pipa kecil, 2 layer *circumferential* juga memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan *longitudinal*.

## 2. Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan hasil yang baik mengenai pengaruh *overlay welding* terhadap tegangan sisa, namun terdapat beberapa saran yang kiranya perlu untuk dilakukan. Saran tersebut adalah:

- Pengoptimalan Desain Pengelasan: Berdasarkan hasil penelitian, pengelasan *circumferential* dengan 2 layer pada pipa besar 5 inch (140 mm) memberikan hasil kekuatan tarik dan tegangan sisa terbaik. Oleh karena itu, untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan mekanik tinggi, disarankan untuk menggunakan metode ini. Pengelasan lebih dari 2 layer tidak menunjukkan peningkatan yang signifikan, sehingga dapat dihindari untuk mengurangi biaya dan waktu produksi.

- Pengaruh Diameter Pipa: Diameter pipa terbukti menjadi faktor yang paling berpengaruh terhadap distribusi tegangan sisa. Pipa dengan diameter lebih kecil 2,5 inch (65 mm) menunjukkan tegangan sisa yang lebih tinggi akibat perubahan termal yang lebih besar. Oleh karena itu, disarankan untuk memperhatikan kontrol suhu dan siklus pendinginan yang lebih ketat pada pipa berdiameter kecil agar tegangan sisa yang terbentuk dapat diminimalkan.
- Penggunaan Teknik PWHT (*Post Weld Heat Treatment*): Penambahan lapisan pengelasan (multi-layer) memiliki efek serupa dengan teknik PWHT dalam mengurangi tegangan sisa. Maka, dalam situasi di mana PWHT sulit dilakukan, peningkatan lapisan pengelasan bisa menjadi alternatif untuk mengurangi tegangan sisa pada struktur las. Namun, perlu diingat bahwa penambahan lapisan secara berlebihan bisa mengurangi kekuatan tarik, sehingga harus diterapkan dengan hati-hati.
- Analisis Mikrostruktur: Meskipun penelitian ini belum mencakup analisis mikrostruktur, pada penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan uji metalografi dan kekerasan. Hal ini penting untuk memahami perubahan mikrostruktur material selama proses pengelasan yang dapat mempengaruhi sifat mekanik dan distribusi tegangan sisa.
- Pengembangan Teknik Pengelasan pada Pipa Tipis: Pipa yang lebih tipis menunjukkan tegangan sisa dan kekuatan tarik yang lebih tinggi karena siklus termal yang lebih signifikan. Untuk memperbaiki hasil pada pipa berdiameter kecil, disarankan untuk mengeksplorasi metode pengelasan dengan kecepatan pengelasan yang lebih rendah atau pendinginan aktif untuk mengurangi efek pemuatan dan penyusutan yang besar.
- Penerapan Arah Pengelasan Berdasarkan Aplikasi: Pengelasan *circumferential* terbukti menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan pengelasan *longitudinal*. Untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan tarik maksimum, seperti pada pipa dengan tekanan tinggi, pengelasan *circumferential* direkomendasikan. Sementara itu, pengelasan *longitudinal* bisa diterapkan pada aplikasi yang lebih memprioritaskan stabilitas tegangan sisa yang lebih rendah.
- Studi Lanjutan tentang Jumlah Pass: Dalam penelitian ini, penambahan lapisan pengelasan telah diidentifikasi mempengaruhi distribusi tegangan sisa, namun belum ada eksplorasi terkait efek jumlah pass yang lebih banyak. Disarankan untuk studi lanjutan mengenai pengaruh jumlah pass terhadap distribusi tegangan sisa, terutama pada pipa dengan ketebalan lebih besar, untuk memahami batas optimal

dari jumlah lapisan pengelasan yang memberikan hasil terbaik tanpa menurunkan kekuatan tarik



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. R. Indrayono, "Pengaruh Variasi Arus dan Bentuk Kampuh Pada Pengelasan Smaw Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Baja Paduan Rendah," no. 1, pp. 219-224, 2018.
- [2] H.-C. Yoo, "Recent Study Of Overlay Welding On Welding Methods," *Journal of the Korean Welding and Joining Society*, vol. 31, no. 1, pp. 11–20, Feb. 2013, doi: 10.5781/kwjs.2013.31.1.11.
- [3] M. Jeong *et al.*, "Inconel O dari perangkat asli Pengelasan Overlay Material Inconel untuk Komponen Tenaga Nuklir." "Fabrikasi Logam." (2008): 1-171, doi: <https://doi.org/10.31004/basicedu.v4i4.492>.
- [4] S. Hastuti *et al.*, "Seminar Nasional Edusainstek Peningkatan *Softskill* Pengelasan Melalui Pelatihan Las Smaw", *Edusaintek 3* (2019), doi: <https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i3.2869>.
- [5] S. Wiyono, "Shielded Metal Arc Welding Cladding Pada Shaft Wringer Roll." *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, 2016, 12.2: 363-374, doi: <https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i3.2869>.
- [6] B. Maxmillan Sim. "Pitting Corrosion Resistance With Shielded Metal Arc Welding And Post Weld Heat Treatment On Duplex Stainless Steel Weld Overlay." Universiti Putra Malaysia, 2018.
- [7] P. Elango *et al.*, "Parameter Pengelasan untuk Inconel 625 Overlay pada Baja Karbon menggunakan GMAW", doi: 10.17485/ijst/2015/v8i31/84309, November.
- [8] B. Utomo, "Perbaikan Deformasi Plat Baja Pada Konstruksi Block Ss1a Kapal Cepat Rudal 60m Akibat Proses Assembly," 2019. *Jurnal Proyek Teknik Sipil 2.1* (2019): 31-36.
- [9] B. Subermanto and A. Yusa, "Analisa Teknomik Proses Pengelasan SMAW Menggunakan Elektroda Jenis E6013 Berbeda Merek Pada Material baja Grade A Marine, vol. 8, no. 2, pp. 1-8, 2021.
- [10] Mu'izzaddin *et al.*, "Analisis Pengaruh Arus dan Tegangan Pngelasan Smaw Terhadap Struktur dan Sifat Baja Carbon Grade A dan Grade B ", *SAINTEK* , vol. 2, no. 2, pp. 36–44, Nov. 2023.

- [11] Y. Gunawan *et al.*, "Analisa Pengaruh Pengelasan Listrik Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah dan Baja Karbon Tinggi," 2017. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin. Universitas Halu Oleo. Kendari*, 2(1).
- [12] D. Prayitno and H. D. Hutagalung, "Pengaruh Kuat Arus Listrik Pengelasan Terhadap Kekerasan Lapisan Lasan Pada Baja ASTM A316," *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 1-6, 2018, [Online]. Available: <https://journal.uny.ac.id/index.php/dynamika/issue/view/1521>.
- [13] M. Sulaeman *et al.*, "Kimia Pada Cangkul Di Balai Besar Logam dan Mesin (Bblm) Bandung." *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*. 2019. p. 539-543.
- [14] H. Wibowo, "Analisis Perbandingan Metode Pengelasan Untuk Mengendalikan Distorsi Dan Tegangan Sisa Review," *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2006, pp. 95-102, 2020, [Online]. <https://journal.uny.ac.id/index.php/dynamika/issue/view/1939> Available.
- [15] Wiyoko. J, "Analysis Of The Influence Of Holding Time On Pwht Process Againsts Mechanical Properties, Microstructure And Residual Stress On Welding Of Steel Aar M201 GR.B +," *Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya*, 2015.
- [16] A. Kamanurandi, "*Journal of Mechanical Science and Technology* Analisa Tegangan Sisa Pada Material Las Smaw Menggunakan Elektroda Terekspos dan Tidak Terekspos," vol. 6, no. 1, pp. 4-7, 2022.
- [17] Z. Hilmy *et al.*, "Sudut Kemiringan V Bevel Pada Proses Pengelasan Stainless Steel Butt Joint Menggunakan Metode Elemen Hingga," *Jurnal Maritim*, vol. 4, no. 1, 2022.
- [18] N. Yusa *et al.*, "Detection of Embedded Fatigue Cracks in Inconel Weld Overlay and The Evaluation of The Minimum Thickness of The Weld Overlay Using Eddy Current Testing." vol. 10.1016/j.nucengdes, 2006.02.011.
- [19] Wiyoko. J, "Studi Korosi Batas Butir Inconel 625 *Weld Overlay Clading* Pada Pipa Api 5L X52 Dengan Media Larutan Ferrit (III) Sulfat 75% + Asam Sulfat 98%."
- [20] G. Anggaretno and L. Rochani, "Analisa Pengaruh Jenis Elektroda Terhadap Laju Korosi Pada Pengelasan Pipa API 5L Grade X65 Dengan Media Korosi FeC13," *J. Tek. ITS*, vol. 1, no. 1, pp. 1-5, 2012.

- [21] N. Ariyanto *et al.*, "Pengujian Mekanis dan Korosi pada Weld Overlay Pipa API 5L X65 Hasil Pengelasan GTAW", *Jatra*, vol. 5, no. 1, pp. 21-26, Jun. 2023, doi: <https://doi.org/10.30871/jatra.v5i1.5520>.
- [22] I. G. N. N. Santhiarsa *et al.*, "Pengaruh Posisi Pengelasan dan Gerakan Elektroda Terhadap Kekerasan Hasil Las Baja JIS SSC 41," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM*, vol. 2, no. 2, pp. 107-111, 2008.
- [23] A. Duniawan, "Pengaruh Gerak Elektroda dan Posisi Pengelasan Terhadap Uji Kekerasan Dari Hasil Las Baja Ssc 41." *Jurnal Teknologi*, 2015, 8.2: 128-134.
- [24] H. Saputra, A. Syarif, "Analisis Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik Baja ST37 Pasca Pengelasan Menggunakan Las Listrik." *J. Ilm. Tek. Mesin Unkun*, vol. 03, no. 2, pp. 91-98, 2014.
- [25] S. Ash *et al.*, "Analisis Perbandingan Variasi Diameter Elektroda dan Diameter Baja Pengelasan Double Flare Bevel Material Bjtp 280 Terhadap Sifat Mekanik dan Metallography." *In CWEA-Conference on Welding Engineering and Its Application*. 2023.
- [26] R. D. Salindeho *et al.*, "Pemodelan Pengujian Tarik Untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material", *JPTMU*, vol. 2, no. 2, Nov. 2013.
- [27] H. Budiman, "Analisis Pengujian Tarik (Tensile Test) Pada Baja St37 Dengan Alat Bantu Ukur Load Cell," *J-Ensitemc* 3.01 (2016), doi: <https://doi.org/10.46306/lb.v1i2.17>.