

**Analisis Pengaruh Arah Pengelasan *Longitudinal* dan
Circumferential terhadap Tegangan Sisa pada Pipa Baja Karbon
dengan Proses *Overlay Welding***

***Longitudinal and Circumferential Welding Direction Effect on
Residual Stress in Carbon Steel Pipe by Overlay Welding Process
Analysis***

SKRIPSI

Oleh:

Nama: M. Robby Apriansyah

NPM: 183030072



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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : M. Robby Apriansyah

Nomor Pokok Mahasiswa : 18303072

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 diterbitkan 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.
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil plagiarisme.

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

Bandung, 30 September
2024


M. Robby Apriansyah

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

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

N a m a : M. Robby Apriansyah

NPM : 183030072

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:

“Analisis Pengaruh Arah Pengelesan *Longitudinal* dan *Circumferential* terhadap Tegangan Sisa pada Pipa Baja Karbon dengan Proses *Overlay Welding*”

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,



M. Robby Apriansyah

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Analisis Pengaruh Arah Pengelesan *Longitudinal* dan *Circumferential* terhadap Tegangan Sisa pada Pipa Baja Karbon dengan Proses *Overlay Welding*



Nama : M. Robby Apriansyah
NPM : 183030072

Pembimbing Utama

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

Pembimbing Pendamping

Mohammad Reza Hermawan S.T, M.T.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Analisis Pengaruh Arah Pengelesan *Longitudinal* dan *Circumferential* terhadap Tegangan Sisa pada Pipa Baja Karbon dengan Proses *Overlay Welding*



Nama : M. Robby Apriansyah
NPM : 183030072

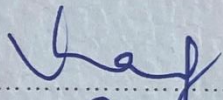
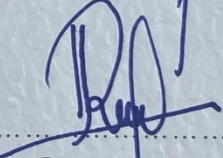
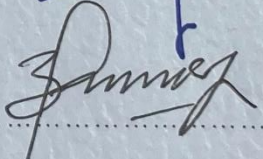
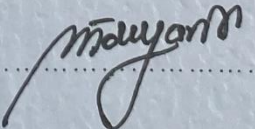
Tanggal sidang skripsi: 30 September 2024

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

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT, atas nikmat, berkah rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Usulan Penelitian Tugas Akhir ini. Sholawat dan salam selalu tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW, yang telah membimbing umatnya dari zaman kegelapan ke zaman yang terang.

Selain itu, peneliti juga mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan jasmani dan rohani sehingga peneliti dapat melaksanakan penelitian ini dengan lancar.
2. Orang tua yang selalu memberikan doa, semangat, dan harapan selama ini sehingga dapat melaksanakan penelitian ini dengan lancar.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Hery Sonawan, M.T. selaku pembimbing utama.
4. Bapak Mohammad Reza Hermawan, S.T., M.T. selaku pembimbing pendamping.

Dalam penyusunan laporan ini, penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan karena pengalaman dan pengetahuan penulis yang masih terbatas. Oleh karena itu, kritik dan saran dari semua pihak sangat diharapkan.

Bandung, 10 September 2024



M. Robby Apriansyah

DAFTAR ISI

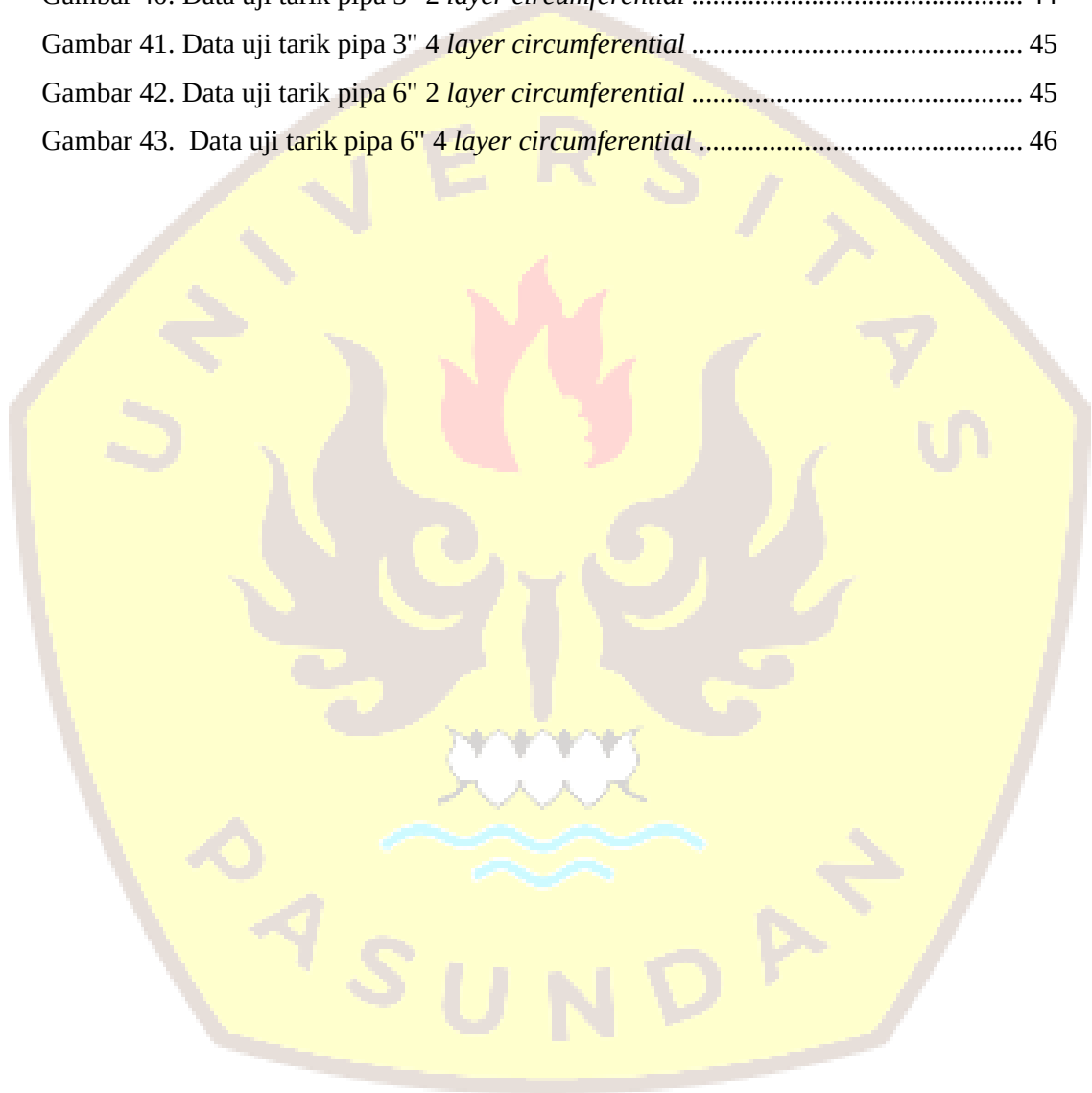
SURAT PERNYATAAN	I
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	II
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	III
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	IV
KATA PENGANTAR.....	V
DAFTAR ISI.....	VI
DAFTAR GAMBAR.....	VIII
DAFTAR TABEL	X
ABSTRAK	1
ABSTRACT	2
BAB I PENDAHULUAN.....	3
1. Latar belakang	3
2. Rumusan masalah.....	3
3. Tujuan.....	3
4. Manfaat.....	4
5. Batasan masalah.....	4
6. Sistematika penulisan	5
BAB II STUDI LITERATUR.....	6
1. Pengelasan	6
2. <i>Shielded Metal Arc Welding (SMAW)</i>	7
3. Parameter Pengelasan	7
4. <i>Carbon Steel</i>	9
5. Tegangan sisa (<i>Ressidual Stress</i>).....	11
6. Deformasi Dalam Pengelasan.....	11
7. <i>Welding Overlay Cladding</i>	12
8. Metode <i>Overlay Welding</i>	13
9. Posisi Pengelasan.....	14
10. Elektroda Pengelasan (<i>Welding Rods</i>).....	15
11. Pengujian Tarik (<i>Tensile Test</i>).....	17

12. Desain Eksperimen	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
1. Tahapan Penelitian.....	20
2. Tempat Penelitian	21
3. Variabel Penelitian.....	21
4. Rancangan Pembuatan Spesimen Uji Tarik.....	22
5. Rancangan Pengelasan.....	24
6. Peralatan dan Bahan Yang Digunakan	25
7. Proses Pengelasan.....	25
8. Pembentukan Spesimen Uji Tarik	27
9. Metode Pengolahan Data Hasil Pengujian.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
1. Data Hasil Pengujian Uji Tarik.....	30
2. Pengolahan Data Hasil Uji Tarik.....	31
3. Analisis Pengaruh Jumlah <i>Layer</i> terhadap Tegangan Sisa	32
4. Analisis Pengaruh Diameter terhadap tegangan Sisa	33
5. Analisis Pengaruh Arah Pengelasan terhadap Tegangan Sisa	34
6. Analisis Data Menggunakan Desain Faktorial	35
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	38
1. Kesimpulan.....	38
2. Saran	38
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN.....	42

DAFTAR GAMBAR

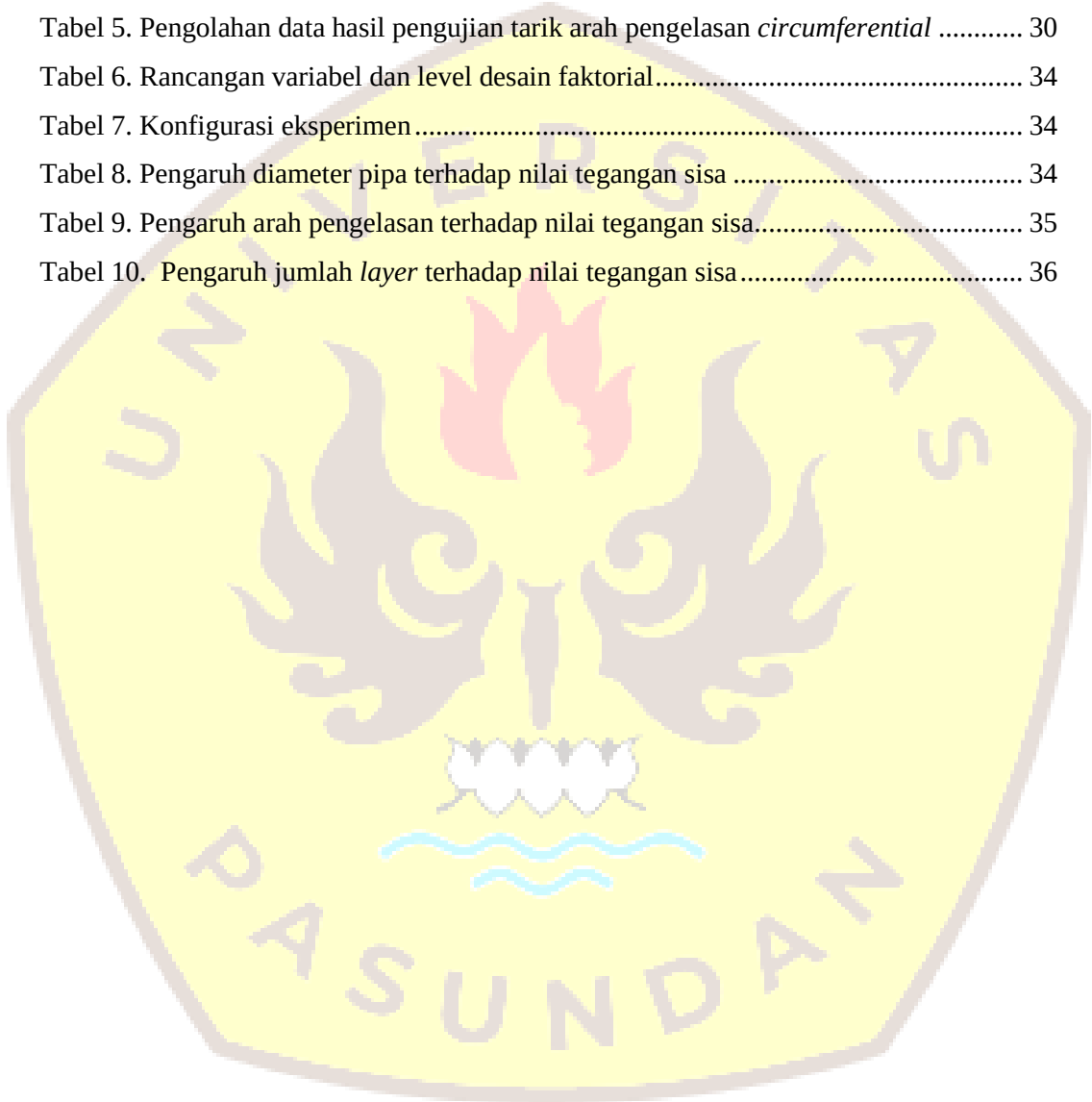
Gambar 1. Pengelasan.....	6
Gambar 2. Pengelasan SMAW [10].....	7
Gambar 3. Diagram fasa baja karbon [12].....	9
Gambar 4. Deformasi pada pengelasan [16].....	12
Gambar 5. <i>Welding overlay cladding</i> [19].....	12
Gambar 6. Posisi pengelasan [22].....	14
Gambar 7. <i>Welding rod</i> [24].....	15
Gambar 8. <i>Tensile test</i> [27].....	17
Gambar 9. Standar ASTM E8 [29]	18
Gambar 10. Diagram alir tahapan penelitian	19
Gambar 11. Lokasi pengelasan	20
Gambar 12. Standar ASTM E8	21
Gambar 13. Rancangan ketebalan spesimen uji tarik 3" <i>longitudinal 2 layer</i>	21
Gambar 14. Rancangan ketebalan spesimen uji tarik 3" <i>longitudinal 4 layer</i>	21
Gambar 15. Rancangan ketebalan spesimen uji tarik 6" <i>longitudinal 2 layer</i>	22
Gambar 16. Rancangan ketebalan spesimen uji tarik 6" <i>longitudinal 4 layer</i>	22
Gambar 17. Rancangan ketebalan spesimen uji tarik 3" <i>circumferential 2 layer</i>	22
Gambar 18. Rancangan ketebalan spesimen uji tarik 3" <i>circumferential 4 layer</i>	22
Gambar 19. Rancangan ketebalan spesimen uji tarik 6" <i>circumferential 2 layer</i>	23
Gambar 20. Rancangan ketebalan spesimen uji tarik 6" <i>circumferential 4 layer</i>	23
Gambar 21. Rancangan pengelasan arah <i>longitudinal</i>	23
Gambar 22. Rancangan pengelasan arah <i>circumferential</i>	24
Gambar 23. Mesin las heliarc 252 AC/DC	25
Gambar 24. Proses pembubutan menggunakan mesin bubut.....	26
Gambar 25. Proses pemotongan menggunakan mesin <i>hackshaw</i>	26
Gambar 26. Proses pemotongan menggunakan mesin <i>milling</i>	27
Gambar 27. Spesimen uji tarik arah pengelasan <i>circumferential</i>	27
Gambar 28. Spesimen uji tarik arah pengelasan <i>longitudinal</i>	27
Gambar 29. Grafik kekuatan tarik.....	29
Gambar 30. Grafik tegangan sisa.....	30
Gambar 31. Analisis pengaruh jumlah <i>layer</i> terhadap tegangan sisa	31
Gambar 32. Analisis pengaruh diameter terhadap tegangan sisa.....	32
Gambar 33. Analisis pengaruh arah pengelasan terhadap tegangan sisa	33

Gambar 34. Sertifikat welder	41
Gambar 35. Sertifikat standar pipa yang digunakan	42
Gambar 36. Data uji tarik pipa 3" 2 layer longitudinal	42
Gambar 37. Data uji tarik pipa 3" 4 layer longitudinal	43
Gambar 38. Data uji tarik pipa 6" 2 layer longitudinal	43
Gambar 39. Data uji tarik pipa 6" 4 layer longitudinal	44
Gambar 40. Data uji tarik pipa 3" 2 layer circumferential	44
Gambar 41. Data uji tarik pipa 3" 4 layer circumferential	45
Gambar 42. Data uji tarik pipa 6" 2 layer circumferential	45
Gambar 43. Data uji tarik pipa 6" 4 layer circumferential	46



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Alat dan bahan	24
Tabel 2. Data hasil pengujian tarik arah pengelasan <i>longitudinal</i>	29
Tabel 3. Data hasil pengujian tarik arah pengelasan <i>circumferential</i>	29
Tabel 4. Pengolahan data hasil pengujian tarik arah pengelasan <i>longitudinal</i>	30
Tabel 5. Pengolahan data hasil pengujian tarik arah pengelasan <i>circumferential</i>	30
Tabel 6. Rancangan variabel dan level desain faktorial.....	34
Tabel 7. Konfigurasi eksperimen.....	34
Tabel 8. Pengaruh diameter pipa terhadap nilai tegangan sisa	34
Tabel 9. Pengaruh arah pengelasan terhadap nilai tegangan sisa.....	35
Tabel 10. Pengaruh jumlah <i>layer</i> terhadap nilai tegangan sisa	36



ABSTRAK

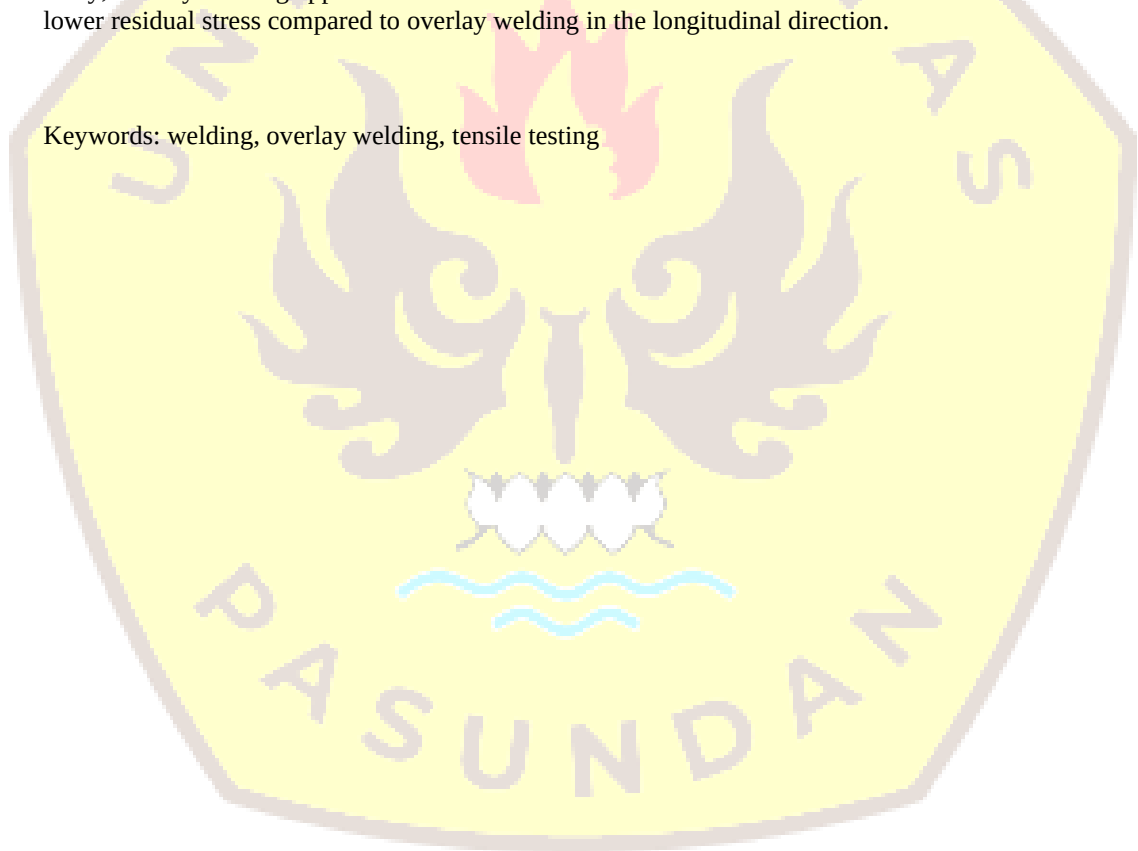
Pengelasan merupakan salah satu metode penyambungan logam dalam keadaan cair antara sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa logam tambahan, kemudian membentuk logam kontinyu. Pengelasan *longitudinal* adalah proses pengelasan di mana sambungan las dibuat sejajar dengan sumbu panjang pipa atau benda silindris. Pada pipa, garis lasannya memanjang dari satu ujung pipa ke ujung lainnya sepanjang garis lurus yang sejajar dengan sumbu pipa. Pengelasan *circumferential*, juga dikenal sebagai pengelasan melingkar, adalah proses pengelasan di mana sambungan las dibuat mengelilingi sumbu pipa atau benda silindris. Dalam pengelasan *circumferential*, garis lasnya membentuk lingkaran di sekitar pipa, biasanya pada titik sambungan antara dua bagian pipa atau komponen silindris lainnya. Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah memperoleh nilai tegangan sisa pada pipa baja karbon dari selisih pipa yang tidak dilas dan yang dilakukan proses *overlay welding* dalam arah *longitudinal* dan *circumferential* melalui pengujian tarik. Metode pada penelitian ini adalah mulai studi literatur, identifikasi masalah, (rencana pengujian: variabel *input* & *output*, persiapan alat & bahan, pengelasan, pembentukan spesimen, pengujian tarik), pengumpulan & analisis data, pengolahan data. Berdasarkan data hasil pengujian tarik pada spesimen hasil pengelasan *overlay welding* dengan posisi 1g dalam arah *circumferential* dan *longitudinal*, diperoleh kesimpulan bahwa nilai tegangan sisa pada pengelasan dalam arah *circumferential* lebih besar daripada tegangan sisa pada pengelasan dalam arah *longitudinal*. Menurut hasil dari penelitian ini, *overlay welding* jika diaplikasikan pada poros lebih baik dilakukan dalam arah *longitudinal* agar nilai tegangan sisa yang dihasilkan dari pengelasan lebih kecil daripada *overlay welding* dengan arah *circumferential*.

Kata Kunci: pengelasan, pengelasan *overlay*, uji tarik

ABSTRACT

Welding is one of the metal joining methods where part of the base metal and filler metal are melted, with or without additional metal, to form a continuous metal joint. Longitudinal welding is a welding process where the weld joint is made parallel to the longitudinal axis of a pipe or cylindrical object. On a pipe, the weld seam extends from one end of the pipe to the other along a straight line parallel to the pipe's axis. Circumferential welding, also known as circular welding, is a process where the weld joint is made around the axis of a pipe or cylindrical object. In circumferential welding, the weld line forms a circle around the pipe, typically at the junction between two sections of pipe or other cylindrical components. The goal of this study is to determine the residual stress values in carbon steel pipes by comparing pipes that are not welded with those subjected to overlay welding in both longitudinal and circumferential directions through tensile testing. The methodology of this study includes literature review, problem identification, (testing plan: input & output variables, equipment & materials preparation, welding, specimen formation, tensile testing), data collection & analysis, and data processing. Based on tensile test results of specimens from overlay welding with 1g position in both circumferential and longitudinal directions, the conclusion is that the residual stress value in longitudinal welding is higher than that in circumferential welding. According to this study, overlay welding applied to shafts should be done in the circumferential direction to achieve lower residual stress compared to overlay welding in the longitudinal direction.

Keywords: welding, overlay welding, tensile testing



BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Overlay welding atau sering disebut juga dengan *cladding* merupakan suatu proses logam pengisi yang ditambahkan di atas logam induk melalui proses pengelasan agar mendapatkan permukaan material dengan sifat-sifat tertentu [1]. *Cladding* biasanya digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik terhadap material seperti memberikan ketahanan terhadap korosi, ketahanan terhadap aus, dan menambah nilai kekerasan pada logam induk. Proses *cladding* dapat meningkatkan masa pakai komponen-komponen material di industri dan juga mengurangi biaya produksi [2].

Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi hasil akhir dalam proses pengelasan, seperti tegangan busur las, besarnya arus las, kecepatan pengelasan, besarnya penetrasi, jenis polaritas listrik, kecepatan pendinginan, serta arah pengelasan pada bahan kerja [3]. Poros adalah elemen kritis dalam berbagai aplikasi, termasuk mesin industri, kendaraan, dan peralatan berputar lainnya. Sifat mekanis dan ketahanan terhadap korosi poros dapat menjadi faktor penentu dalam kinerja dan umur pakai suatu sistem. Pemahaman mendalam terhadap interaksi antara proses pengelasan, pemilihan material, dan kondisi operasional akan memberikan wawasan yang berharga untuk pengembangan komponen poros yang lebih handal dan tahan lama [4].

Proses *overlay welding* pada poros terjadi dalam dua arah pengelasan yang berbeda, yaitu *longitudinal* dan *circumferential* di mana tegangan sisa dan nilai kekerasan yang dihasilkan pun akan berbeda. Untuk menentukan arah *overlay welding* yang menghasilkan tegangan sisa dilakukan pengujian tarik untuk mengetahui tegangan sisa dan distorsi yang terjadi pada bahan kerja. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang untuk menyelidiki dampak *overlay welding* pada poros dalam kedua arah ini [5].

2. Rumusan masalah

Bagaimana pengaruh arah pengelasan *longitudinal* dan *circumferential* terhadap tegangan sisa pada pipa baja karbon yang dilakukan proses *overlay welding*.

3. Tujuan

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

4. Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

- Dapat dijadikan acuan bagi penelitian yang sejenis, khususnya dalam *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) terhadap sifat material pengujian tarik.
- Memberikan pengetahuan dan wawasan kepada pendidikan teknik mesin, serta masyarakat dalam bidang *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) agar dapat meningkatkan hasil pengelasan.
- Sebagai informasi penting bagi peneliti dan pembaca guna meningkatkan pengetahuan dalam bidang pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) terhadap pengujian tarik.
- Mengetahui pengaruh arah pengelasan *longitudinal* dan *circumferential* terhadap tegangan sisa pada pipa baja karbon yang dilakukan proses *overlay welding* melalui pengujian tarik.

5. Batasan masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

- Material pipa yang digunakan adalah pipa *carbon steel* ASTM 106 grade B.
- 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 empat mm.
- Diameter pipa tiga inchi dan enam inchi SCH 40.
- Jumlah *welding pass* adalah lima *pass*.
- Jumlah *welding layer* adalah dua dan empat *layer*.
- Pengujian yang dilakukan adalah uji tarik dengan standar ASTM E8.

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 terverifikasi dan berisi tentang informasi-informasi yang berkaitan dengan penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini dibahas tentang tahapan penelitian, tempat penelitian, variabel penelitian, standar spesimen uji tarik, rancangan perbandingan spesimen uji tarik, metode pengolahan data, prosedur pengelasan, peralatan dan bahan yang digunakan, proses pengelasan, proses pembuatan spesimen, metode dan proses pengujian tarik, data dan hasil pengelasan, serta analisis hasil pengelasan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas tentang kesimpulan dan saran yang berkaitan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi kesimpulan setelah melakukan penelitian dan menganalisis data.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengujian yang telah dilakukan selama penelitian pengaruh arah pengelasan *longitudinal* dan *circumferential* terhadap tegangan sisa pada pipa baja karbon dengan proses *overlay welding* diperoleh kesimpulan, nilai tegangan sisa terbesar yang diperoleh pada pengelasan *overlay* dalam arah *circumferential* dua *layer* pada pipa baja karbon enam inchi, yaitu 266 MPa. Dari delapan pengujian yang telah dilakukan, didapatkan hasil rata-rata tegangan sisa sebesar 136,1 MPa. Pada arah pengelasan dan jumlah *layer* yang sama, sedangkan diameter pipa berubah dari tiga inchi, menjadi empat inchi akan menambahkan tegangan sisa sebesar 60,75 MPa. Pada diameter dan jumlah *layer* yang sama, sedangkan arah pengelasan berubah dari *longitudinal* menjadi *circumferential*, akan menurunkan tegangan sisa sebesar 112,25 MPa. Pada diameter dan arah pengelasan yang sama, sedangkan jumlah *layer* berubah dari dua *layer* menjadi empat *layer*, akan menurunkan tegangan sisa sebesar 47,75 MPa. Variabel *input* yang paling berpengaruh terhadap variabel *output* nilai tegangan sisa adalah “arah pengelasan” sebesar -112,25 MPa.

2. Saran

Pengujian kekerasan diperlukan untuk mengetahui siklus *thermal* pada bahan kerja dan berkorelasi dengan hasil dari pengujian tarik. Pada penelitian ini, tidak dilakukan pengujian kekerasan karena keterbatasan biaya. Oleh karena itu, diharapkan pada penelitian selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan untuk mendapatkan hasil analisis penelitian lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Fikrie, W. D. Pratiwi, and A. A. Fakhri, "Overlay Welding Analysis on GTAW and SMAW Processes in Terms of Mechanical Properties and Corrosion Rate," *J. Eng. Appl. Technol.*, vol. 3, no. 2, 2022, doi: 10.21831/jeatech.v3i2.53148.
- [2] Y. Irwan, "Pengaruh Sifat Mekanik Hasil Weld Overlay Cladding Baja Karbon 0.35% C dengan Elektroda E 309-16 dan E 316-16".
- [3] Haikal and Triyono, "Studi Literatur Pengaruh Parameter Pengelasan Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik pada Las Titik (*Resistance Spot Welding*)," *ROTASI J. Tek. Mesin*, vol. 15, no. 2, pp. 44–54, 2013, doi: 10.14710/rotasi.15.2.44-54.
- [4] I. Kurniawan, U. Budiarto, and I. P. Mulyatno, "Analisa Kekuatan Puntir, Kekuatan Tarik, Kekerasan dan Uji Metalografi Baja S45C Sebagai Bahan Poros Baling-Baling Kapal Setelah Proses Tempering," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 4, 2019.
- [5] M. R. Hermawan and H. Sonawan, "Failure Analysis of Induced Draft Fan After Serious Inspection by Overlay Welding," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 118, p. 104855, 2020, doi: 10.1016/j.engfailanal.2020.104855.
- [6] P. Elango and S. Balaguru, "Welding Parameters for Inconel 625 Overlay on Carbon Steel Using GMAW," *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 8, no. 31, pp. 1–5, 2015.
- [7] A. W. S. S. W. Committee, A. W. Society, and A. N. S. Institute, *Structural Welding Code. in American National Standard. American Welding Society*, 2010, doi: 10.17485/ijst/2015/v8i1/84309.
- [8] W. Soedarmadji, "Pengaruh Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) pada *Mild Steel* S45C di Daerah HAZ dengan Pengujian Metalografi," *J. Mech. Manuf. Technol.*, vol. 1, no. 1, 2020.
- [9] S. Wiyono, S. Sunardi, and W. Widodo, "Shielded Metal Arc Welding Cladding pada Shaft Wringer Roll," *Tek. J. Sains dan Teknol.*, vol. 12, no. 2, pp. 363–374, 2016, doi: 10.36055/tjst.v12i2.6601.
- [10] F. J. Tulung, "Modul Praktek Pengelasan SMAW," *Manad. Politek. Negeri Manad.*, 2019.
- [11] F. P. D. de Araujo, F. B. Mainier, and B. B. de Almeida, "Evaluation Of Ni-Cr-Mo Alloy Applied by Weld Overlay Cladding on Carbon Steel for Use in NaCl 3.5% Mass Solution," *Proc. Eng. Sci.*, vol. 3, no. 3, pp. 355–364, Aug. 2021, doi:

10.24874/PES03.03.011.

- [12] H. Colpaert, “*Equilibrium Phases and Constituents in the Fe–C System*,” 2017, Springer, doi: 10.1007/s13632-017-0383-4.
- [13] A. A. Pangesti, “Analisa Tegangan Sisa Dan Distorsi pada Sambungan Tubular Tipe T dengan Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *Jur. Tek. Kelaut. Fak. Teknol. Kelaut. Inst. Teknol. Sepuluh Nopember, Surabaya*, 2016, url: <http://repository.its.ac.id/id/eprint/72469>
- [14] N. Syahroni, B. I. Fatkurokhim, and H. Handayanu, “*Analysis of the Effect of Welding Sequence Variations on Residual Stresses and Distortions for Welding Pressure Vessels Structures at PT. Petrokimia Gresik using the Finite Element Method*,” *Int. J. Offshore Coast. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 64–69, 2017, doi: 10.12962/j2580-0914.v1i2.7053.
- [15] M. A. Fitrah, M. Balfas, and M. Mardin, “Analisis Cacat Las Hasil Pengelasan Kombinasi GTAW dan SMAW Posisi 6G pada Pipa SA 106 Grade B,” *J-Move*, vol. 3, no. 1, pp. 1–5, 2021.
- [16] M. Mahfud and S. Soeweify, “Analisa Pengaruh Variasi Tanggem pada Pengelasan Pipa *Carbon Steel* dengan Metode Pengelasan SMAW Dan FCAW terhadap Deformasi dan Tegangan Sisa Menggunakan Analisa Pemodelan Elemen Hingga,” *J. Tek. ITS*, vol. 1, no. 1, pp. G340–G345, 2012.
- [17] R. G. Tayactac and E. B. O. Ang, “*A Review of Corrosion Resistance Alloy Weld Overlay Cladding Material for Geothermal Applications*,” in *Materials Science Forum*, Trans Tech Publ, 2021, pp. 120–127, doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1047.120/>
- [18] Y. Irwan, “Analisis Korosi Proses *Cladding* dengan Elektroda *Stainless Steel* pada Baja Karbon”.
- [19] P. C. Riccardella, D. R. Pitcairn, A. J. Giannuzzi, and T. L. Gerber, “*Weld Overlay Repairs from Conception to Long-Term Qualification*,” *Int. J. Press. Vessel. Pip.*, vol. 34, no. 1–5, pp. 59–82, 1988, doi: [https://doi.org/10.1016/0308-0161\(88\)90042-7](https://doi.org/10.1016/0308-0161(88)90042-7).
- [20] A. Duniawan, “Pengaruh Gerak Elektroda dan Posisi Pengelasan Terhadap Uji Kekerasan Dari Hasil Las Baja SSC 41,” *J. Teknol.*, vol. 8, no. 2, pp. 128–134, 2015.

- [21] C. W. Utomo and Y. Yunus, "Pengaruh Posisi Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik dan Tekuk pada Sambungan Las Baja ST 41," *J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 02, pp. 17–20, 2021, url: <https://rama.unimal.ac.id/id/eprint/2548>
- [22] L. F. Jeffus, H. V. Johnson, and A. Lesnewich, *Welding: Principles and Applications*. Delmar Publishers New York, 1999.
- [23] I. A. Pahlawan, A. A. Arifin, E. Marliana, and H. Irawan, "Effect Of Welding Electrode Variation on Dissimilar Metal Weld of 316L Stainless Steel and Steel ST41," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 2021, p. 12001, doi: 10.1088/1757-899X/1010/1/012001.
- [24] Y. R. Pratiwi and S. S. Wibowo, "Pengaruh Jenis Elektroda dan Jumlah Pass Terhadap Uji Kekerasan Hasil Pengelasan dan Struktur Mikro pada Proses Pengelasan *Shielded Metal Arch Welding*," *Ris. dan Konseptual*, vol. 4, no. 2, pp. 159–166, 2019, doi: 10.28926/briliant.v4i2.287.
- [25] Z. Chen and Y. Zhou, "Surface Modification of Resistance Welding Electrode by Electro-Spark Deposited Composite Coatings," *Surf. coatings Technol.*, vol. 201, no. 3–4, pp. 1503–1510, 2006, 10.1016/j.surfcoat.2006.02.015.
- [26] W. Wenxian, H. Lixing, D. W. Yufeng ZHANG, and J. Hongyang, "New Developed Welding Electrode for Improving The Fatigue Strength of Welded Joints," *J. Mater. Sci. Technol.*, vol. 18, no. 06, p. 527, 2002.
- [27] J. R. Davis, *Tensile Testing*. ASM international, 2004.
- [28] E. W. Hart, "Theory of Tensile Test," *Acta Metall.*, vol. 15, no. 2, pp. 351–355, 1967, doi: 10.1016/j.ijplas.2003.05.004.
- [29] "Standard Test Methods For Tension Testing Of Metallic Materials 1," 2010, *ASTM E8*. doi: 10.1520/E0008.
- [30] N. M. Ratminingsih, "Penelitian Eksperimental dalam Pembelajaran Bahasa Kedua," *Prasi*, vol. 6, no. 11, pp. 31–40, 2010, doi: <https://doi.org/10.23887/prasi.v6i11.6816>.