

Analisis Pengaruh Arah Pengelasan *Longitudinal* serta *Circumferential* terhadap Tegangan Sisa pada Pipa Baja Karbon 2 inch (50 mm) dan 4 inch (100 mm) dengan Proses *Overlay Welding*

Analysis of the Effect of Longitudinal and Circumferential Welding Directions on Residual Stress in 2 inch (50 mm) and 4 inch (100 mm) Carbon Steel Pipes with Overlay Welding Process

SKRIPSI

Oleh:

Nama: Rizki Asnil Ashar Nasihin

NPM: 203030081



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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Rizki Asnil Ashar Nasihin
NIM : 203030081
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

Penulis.



Rizki Asnil Ashar Nasihin

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

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

Nama : Rizki Asnil Ashar Nasihin

NPM : 203030081

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Jenis Karya: Skripsi, makalah, laporan magang kerja, karya profesi

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

“Analisis Pengaruh Arah Pengelasan *Longitudinal* serta *Circumferential* terhadap Tegangan Sisa pada Pipa Baja Karbon 2 inch (50 mm) dan 4 inch (100mm) dengan Proses *Overlay Welding*”

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalih media/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,



Rizki Asnil Ashar Nasihin

LEMBARAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Analisis Pengaruh Arah Pengelasan *Longitudinal* serta *Circumferential* terhadap Tegangan Sisa pada Pipa Baja Karbon 2” dan 4” dengan Proses *Overlay Welding*



**Nama: Rizki Asnil Ashar Nasihin
NPM : 203030081**

Pembimbing Utama

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

Pembimbing Pendamping

Mohammad Reza Harmawan, S.T., M.T.

LEMBARAN PENGESAHAN PENGUJI

Analisis Pengaruh Arah Pengelasan *Longitudinal* serta *Circumferential* terhadap Tegangan Sisa pada Pipa Baja Karbon 2" dan 4" dengan Proses *Overlay Welding*



Nama: Rizki Asnil Ashar Nasihin
NPM : 203030081

Tanggal sidang skripsi: 30 September 2024

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

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

Anggota : Ir. Bukti Tarigan, M.T.

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

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Puji Syukur panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia, rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Skripsi dengan judul:

“Analisis Pengaruh Arah Pengelasan *Longitudinal* serta *Circumferential* terhadap Tegangan Sisa pada Pipa Baja Karbon 2 inch (50 mm) dan 4 inch (100 mm) dengan Proses *Overlay Welding*”

Salawat serta salam turunkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, para sahabat, serta para pengikutnya Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan dari pembaca, agar di kemudian hari dapat dijadikan evaluasi dan pembelajaran Dalam penyusunan laporan skripsi ini penulis juga menyampaikan terima kasih karena mendapatkan bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah Yang Maha Esa yang telah memberikan kesehatan secara fisik dan mental sehingga peneliti dapat menjalankan penelitian ini dengan lancar.
2. Orang tua tercinta, Ibu Purwatiningsih, Bapak Nasihin, atas kasih sayang, doa dan kesabaran yang tak terbatas.
3. Bapak Dr. Ir. Sugiharto, M.T. sebagai ketua program studi FT UNPAS,
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Hery Sonawan, M.T. dosen pembimbing utama yang telah membantu dan memberikan banyak saran dan masukan dalam pembuatan laporan skripsi.
5. Bapak Mohammad Reza Hermawan, S.T., M.T. sebagai dosen pendamping yang telah membantu dan memberikan banyak saran dan masukan dalam pembuatan laporan skripsi.
6. Saudara tercinta, Fernanda Ayu Arimbi, Citra Ayu Anjani, dan Hanum Salsabila Ayu Putri atas kasih sayang, dukungan, doa, semangat, dan nasihat yang tiada henti kepada penulis,

7. Kepada Saarah Salsabila, S.Pd yang selalu memberikan dukungan dari jauh, semangat, motivasi, dan doa yang tulus kepada penulis,

Akhir kata dan tidak lupa mengucapkan *alhamdulillah*, berharap semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan umumnya bagi semua pihak yang membaca.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Bandung, 30 September 2024



Rizki Asnil Ashar Nasihin

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN	i
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	ii
LEMBARAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iii
LEMBARAN PENGESAHAN PENGUJI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
ABSTRAK.....	xii
ABSTRACT	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan.....	2
D. Manfaat.....	2
E. Batasan Masalah.....	3
F. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II STUDI LITERATUR.....	5
A. Pengelasan.....	5
B. <i>Shielded Metal Arc Welding</i> (SMAW).....	6
C. Parameter Pengelasan.....	8
D. <i>Carbon Steel</i>	10
E. Tegangan Sisa (<i>Residual Stress</i>).....	11
F. <i>Overlay Welding</i>	11
G. Posisi Pengelasan	12
H. Elektroda Pengelasan	13
I. Pengujian Tarik	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	16

A. Tahapan Penelitian	16
B. Tempat Penelitian.....	16
C. Variabel Penelitian	17
D. Standar Spesimen Uji Tarik	17
E. Rancangan Perbandingan Spesimen Uji Tarik.....	18
F. Gambar Skematis Pada Setiap Arah Pengelasan.....	19
G. Prosedur Pengelasan.....	21
H. Peralatan dan Bahan Yang Digunakan.....	23
I. Proses Pengelasan	23
J. Proses Pembentukan Spesimen	26
K. Metode dan Proses Pengujian Tarik.....	29
L. Metode Pengolahan Data	30
M. Data dan Hasil Pengelasan	31
N. Analisis Hasil Pengelasan	41
BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN.....	44
A. Hasil Pengujian Tarik dan Analisis Tegangan Sisa	44
B. Analisa Data Dengan Desain Faktorial 2 ³	49
C. Analisa Pengaruh Variabel Terhadap Tegangan Sisa	50
D. Pembahasan.....	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	56
A. Kesimpulan.....	56
B. Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN.....	62
Lampiran 1. Proses Pengelasan.....	62
Lampiran 2. Proses Pembuatan Spesimen.....	64
Lampiran 3. Proses Pengujian Tarik	65
Lampiran 4. Sertifikat Welder & Sertifikat Pipa.....	67
Lampiran 5. Data Hasil Pengujian Tarik Dari B4T	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pengelasan SMAW	6
Gambar 2. 2 Pengaruh Parameter Las terhadap Bentuk dan Penetrasi Las	9
Gambar 2. 3 Skematis Overlay Welding	12
Gambar 2. 4. Macam - Macam Posisi Pengelasan	13
Gambar 3. 1 Diagram Tahapan Penelitian	16
Gambar 3. 2 Lokasi Penelitian	16
Gambar 3. 3 Spesimen Uji Tarik Standar ASTM E8	17
Gambar 3. 4 Rancangan Spesimen Longitudinal	18
Gambar 3. 5 Rancangan Spesimen Circumferential	18
Gambar 3. 6 Skematis Arah Pengelasan Longitudinal	19
Gambar 3. 7 Potongan untuk Uji Tarik pada Pengelasan Arah Longitudinal	19
Gambar 3. 8 Gambar Skematis Spesimen Uji Tarik Pada Pengelasan Arah Longitudinal	19
Gambar 3. 9 Skematis Arah Pengelasan Circumferential	20
Gambar 3. 10 Potongan untuk Uji Tarik pada Pengelasan Arah Circumferential	20
Gambar 3. 11 Gambar Skematis Spesimen Uji Tarik pada Pengelasan Arah Circumferential	20
Gambar 3. 12 Pipa Baja Schedule 40 Diameter 2 inch (50 mm) dan 4 inch (100 mm)	21
Gambar 3. 13 Sertifikat Pipa Baja schedule 40	21
Gambar 3. 14 Pipa Baja 2 inch (50 mm)	22
Gambar 3. 15 Pipa Baja 4 inch (100 mm)	22
Gambar 3. 16 Mesin Las Heliarc 252 AC/DC	24
Gambar 3. 17 Proses Pengelasan	25
Gambar 3. 18 Furnace Electrode	25
Gambar 3. 19 Arah Pengelasan Longitudinal dan Circumferential	26
Gambar 3. 20 Pendinginan Setelah Proses Pengelasan	26
Gambar 3. 21 Proses Pembubutan	27
Gambar 3. 22 Hasil Pembubutan Pipa Baja 2 inch (50 mm) dan 4 inch (100 mm)	27
Gambar 3. 23 Mesin Potong (Hacksaw)	28
Gambar 3. 24 Hasil Proses Pemotongan	28
Gambar 3. 25 Proses Milling	28
Gambar 3. 26 Spesimen Uji Tarik	29
Gambar 3. 27 Proses Pengujian Tarik	29

Gambar 3. 28 Foto - Foto Hasil Pengelasan.....	32
Gambar 3. 29 Cacat Porositas	41
Gambar 3. 30 Cacat Overlap	42
Gambar 3. 31 Cacat Spatter.....	42
Gambar 3. 32 Cacat Excessive Reinforcement (Excess)	43
Gambar 4. 1 Grafik Kekuatan Tarik dari Seluruh Spesimen	45
Gambar 4. 2 Grafik Tegangan Sisa dari Seluruh Spesimen	46
Gambar 4. 3 Analisis Pengaruh Jumlah Layer terhadap Tegangan Sisa.....	46
Gambar 4. 4 Analisis Pengaruh Diameter Pipa terhadap Tegangan Sisa.....	48
Gambar 4. 5 Analisis Pengaruh Arah Pengelasan terhadap Tegangan Sisa.....	49

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Alat Dan Bahan Yang Digunakan.....	23
Tabel 3. 2 Rancangan Pengujian Tarik	30
Tabel 3. 3 Data Ketebalan dan Tinggi Hasil Pengelasan	31
Tabel 3. 4 Hasil Data Pengelasan Pipa 2 inch (50 mm) Circumferential 2 Layer	33
Tabel 3. 5 Hasil Data Pengelasan Pipa 4 inch (100 mm) Circumferential 2 Layer	34
Tabel 3. 6 Hasil Data Pengelasan Pipa 2 inch (50 mm) Longitudinal 2 Layer	35
Tabel 3. 7 Hasil Data Pengelasan Pipa 4 inch (100 mm) Longitudinal 2 Layer	36
Tabel 3. 8 Hasil Data Pengelasan Pipa 2 inch (50 mm) Circumferential 4 Layer	37
Tabel 3. 9 Hasil Data Pengelasan Pipa 4 inch (100 mm) Circumferential 4 Layer	38
Tabel 3. 10 Hasil Data Pengelasan 2 inch (50 mm) Longitudinal 4 Layer	39
Tabel 3. 11 Hasil Data Pengelasan Pipa 4 inch (100 mm) Longitudinal 4 Layer	40
Tabel 4. 1 Variabel dan Level	44
Tabel 4. 2 Desain Faktorial 2^3	44
Tabel 4. 3 Tabel Data Hasil Pengujian Tarik dan Pengolahan Data	45
Tabel 4. 4 Analisa Data Dengan Desain Faktorial 2^3	50
Tabel 4. 5 Analisa Pengaruh Diameter Pipa Terhadap Tegangan Sisa	50
Tabel 4. 6 Analisa Pengaruh Arah Pengelasan Terhadap Tegangan Sisa	51
Tabel 4. 7 Analisa Pengaruh Jumlah Layer Terhadap Tegangan Sisa	52

ABSTRAK

Overlay welding merupakan proses penambahan material las pada permukaan material dasar untuk meningkatkan sifat mekanis dan ketahanan terhadap korosi. Dalam aplikasi pada pipa baja karbon, arah pengelasan, baik *longitudinal* maupun *circumferential*, Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tegangan sisa pada pipa baja karbon *schedule 40* yang mengalami proses *overlay welding* dengan variasi diameter, arah pengelasan, dan jumlah layer. Pengujian dilakukan dengan metode desain faktorial 2^3 yang melibatkan tiga faktor, yaitu diameter pipa 2 inch (50 mm) dan 4 inch (100 mm), arah pengelasan *circumferential* dan *longitudinal*, serta jumlah layer 2 dan 4 layer. Hasil pengujian tarik mencakup data lebar, tebal spesimen, luas penampang, dan beban maksimum yang diterima spesimen. Data ini kemudian diolah untuk menghitung kekuatan tarik dan selisih tegangan sisa. Hasil analisis menunjukkan bahwa diameter pipa, arah pengelasan, dan jumlah layer memiliki pengaruh signifikan terhadap tegangan sisa. Diameter pipa 4 inch (100 mm) menurunkan tegangan sisa rata-rata sebesar 60,8 MPa. Arah pengelasan *circumferential* juga menghasilkan penurunan tegangan sisa rata-rata sebesar 126,8 MPa dibandingkan dengan *longitudinal*. Selain itu, peningkatan jumlah layer dari 2 ke 4 layer menurunkan tegangan sisa rata-rata sebesar 59,3 MPa. Secara keseluruhan, pipa berdiameter lebih besar dengan pengelasan *longitudinal* menunjukkan tegangan sisa yang lebih rendah, sedangkan pengelasan *circumferential* menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi karena pengaruh distribusi lasan. Analisis lebih lanjut menggunakan faktor variabel *input* terhadap tegangan sisa dan siklus *thermal* karena terjadi pemuian dan penyusutan pada setiap pipa.

Kata kunci: desain faktorial, *overlay welding*, pengelasan *circumferential*, pengelasan *longitudinal*, pipa baja karbon, tegangan sisa

ABSTRACT

Overlay welding is the process of adding welding material to the surface of the base material to improve mechanical properties and corrosion resistance. In the application of carbon steel pipes, welding directions, both longitudinal and circumferential, This study aims to determine the influence of residual stress on *schedule 40* carbon steel pipes that undergo an overlay welding process with variations in diameter, welding direction, and number of layers. The test was carried out using a 2³ factorial design method involving three factors, namely 2 inch (50 mm) and 4 inch (100 mm) pipe diameters, circumferential and longitudinal welding directions, and the number of 2 and 4 layers. The tensile test results include data on the width, thickness of the specimen, cross-sectional area, and the maximum load the specimen receives. This data is then processed to calculate the tensile strength and residual stress difference. The results of the analysis showed that the diameter of the pipe, the direction of welding, and the number of layers had a significant influence on the residual stress. The 4 inch (100 mm) pipe diameter lowers the average residual stress by 60.8 MPa. The circumferential welding direction also results in an average residual stress drop of 126.8 MPa compared to the longitudinal. In addition, increasing the number of layers from 2 to 4 layers lowered the average residual stress by 59.3 MPa. Overall, larger diameter pipes with longitudinal welding show lower residual stress, while circumferential welding produces higher tensile strength due to the influence of weld distribution. Further analysis using input variable factors on residual stress and thermal cycles is conducted due to expansion and contraction occurring in each pipe.

Keywords: carbon steel pipe, circumferential welding, factorial design, longitudinal welding, overlay welding, residual stress

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dengan berjalannya waktu, setiap komponen mekanis akan mengalami penurunan fungsi. Salah satu penyebab penurunan fungsi ini adalah kerusakan akibat gesekan dengan komponen *mechanical* lainnya atau bongkar pasang selama perawatan. Untuk perawatan, poros yang dipasangkan dengan bearing harus dibongkar pasang. Seringnya bongkar pasang bearing menyebabkan permukaan poros aus, membuat poros tidak dapat digunakan lagi. Proses *overlay welding*, yang terdiri dari penambahan lapisan menggunakan arah pengelasan tambahan pada permukaan poros untuk memberikan lapisan luar, kemudian di *machining* untuk membentuk kembali dimensi poros, adalah salah satu metode paling mudah untuk memperbaiki keausan permukaan yang selama ini sering digunakan [1]. Dalam proses pengelasan dengan arah *longitudinal* dapat menghasilkan pengaruh *thermal stress* dari tegangan sisa. Maka arah pengelasan *longitudinal* tidak lazim dikarenakan adanya kesetimbangan *thermal stress* pada benda yang dilas. Umumnya *overlay welding* dilakukan pada arah *circumferential*. Sehingga, dalam skripsi ini akan dibuktikan bahwa hasil tegangan sisa dengan arah pengelasan *longitudinal* lebih besar dari pada arah pengelasan *circumferential*.

Selama proses *Overlay Welding* berlangsung, material poros mengalami pemanasan yang dapat mengakibatkan perubahan struktur mikro pada material poros, dimana perubahan struktur mikro berpengaruh terhadap kekuatan dan kekerasan material poros itu sendiri [2]. Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi hasil akhir dalam proses *overlay welding*, seperti *welding arc voltage* (tegangan busur las), *welding current* (arus las), *welding speed* (kecepatan pengelasan), besarnya penetrasi, jenis polaritas listrik, kecepatan pendinginan, serta arah pengelasan pada bahan kerja.

Overlay welding adalah proses di mana satu atau lebih logam menyatu atau disambung untuk membentuk lapisan perlindungan paduan ketahanan korosi lengkap pada permukaan bahan substrat. *Overlay welding* ini terikat secara kimiawi pada logam dasar dengan antarmuka elemen paduan komposisi yang konsisten antara bahan paduan ketahanan korosi dan substrat baja karbon [3]. Proses *overlay welding* pada pipa terjadi dalam dua arah pengelasan yang berbeda, yaitu *longitudinal* dan *circumferential* dimana tegangan sisa yang dihasilkan akan berbeda. Untuk menentukan arah *overlay welding*

yang menghasilkan tegangan sisa dilakukan pengujian tarik untuk mengetahui tegangan sisa yang terjadi pada bahan kerja.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan sebelumnya rumusan masalah pada skripsi ini adalah bagaimana pengaruh arah pengelasan *longitudinal* dan *circumferential* terhadap tegangan sisa pada pipa baja karbon yang dilakukan proses *overlay welding* pada pengujian tarik.

C. Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, tujuan yang ingin dicapai pada skripsi ini adalah mendapatkan besaran tegangan sisa pada pipa baja karbon dari selisih pipa yang sudah dilas dan tidak dilas yang dilakukan proses *overlay welding* dalam arah *longitudinal* dan *circumferential*.

D. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Dapat digunakan sebagai sarana referensi untuk penelitian yang serupa, khususnya dalam *Shielding Metal Arc Welding* (SMAW) terhadap sifat material pengujian tarik.
2. Memberikan pengetahuan dan pemahaman kepada dunia pendidikan teknik mesin dan juga masyarakat umum mengenai teknik pengelasan *Shielding Metal Arc Welding* (SMAW) dengan maksud untuk meningkatkan mutu dari hasil pengelasan.
3. Informasi penting bagi peneliti dan pembaca untuk memperdalam pemahaman mengenai pengelasan *Shielding Metal Arc Welding* (SMAW) terkait dengan pengujian tarik.
4. Mengetahui pengaruh arah pengelasan *longitudinal* dan *circumferential* terhadap tegangan sisa pada pipa baja karbon yang dilakukan proses *overlay welding* yang melalui pengujian tarik.

E. Batasan Masalah

Batasan penelitian ini adalah:

1. Pengelasan yang dilakukan : *overlay welding*
2. Jenis pengelasan : *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*
3. Arah pengelasan : *Longitudinal dan Circumferential*
4. Posisi pengelasan : 1G
5. Elektroda : AWS E7018 diameter 4 mm
6. Arus : 130 – 190 Ampere.
7. Material : pipa baja karbon seri 106 *grade B*
8. Diameter pipa : 2 inch (50 mm) dan 4 inch (100 mm) *schedule*
40
9. Jumlah layer : 2 & 4 layer
10. Jumlah pass : 5 pass

F. Sistematika Penulisan

Pembahasan dan penyajian laporan skripsi ini disusun dalam 5 bab dan disertai dengan lampiran – lampiran. Beberapa bab yang dibahas meliputi pendahuluan, studi literatur, metodologi penelitian, analisis hasil dan pembahasan, kesimpulan dan saran, daftar pustaka serta lampiran.

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini dibahas tentang latar belakang yang menjadi permasalahan secara umum dan khusus skripsi ini dilakukan, rumusan masalah penelitian, tujuan, batasan masalah, manfaat, lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II STUDI LITERATUR

Pada bab ini dibahas tentang beberapa penelitian dan teori yang terdahulu yang berhubungan dan mendukung dalam melaksanakan penelitian. Kajian yang dibahas yaitu pengertian pengelasan, *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*, parameter pengelasan,

carbon steel, tegangan sisa, *overley welding*, posisi pengelasan, elektroda pengelasan, dan pengujian tarik.

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, dan analisa hasil pengelasan.

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan hasil pengujian tarik dan analisis tegangan sisa, analisa data dengan desain faktorial 2^3 , analisa pengaruh variabel terhadap tegangan sisa dan pembahasan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

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

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

STUDI LITERATUR

A. Pengelasan

Perkembangan terbaru dalam teknologi pengelasan telah memberikan kontribusi besar dalam proses manufaktur, baik untuk proyek-proyek sederhana maupun yang memiliki tingkat kompleksitas dan persyaratan yang tinggi. Hal ini mencakup berbagai bidang seperti perkapalan, pembangunan jembatan, transportasi, pembuatan bejana tekan, struktur baja, rel kereta, pipa, dan sebagainya [4]. Dalam industri konstruksi pengelasan, terdapat berbagai jenis sambungan yang digunakan untuk menghubungkan dua atau lebih logam. Sambungan ini sangat penting untuk mentransfer beban atau tegangan antara bagian yang disambung, meningkatkan kekuatan pengelasan [5]. Penggunaan teknologi pengelasan tersebar luas sebab konstruksi bangunan dan mesin yang dibuat dengan menggunakan metode ini menjadi lebih ringan dan proses pembuatannya menjadi lebih sederhana. Hal ini dikarenakan keunggulan biaya yang terjangkau, efisiensi tenaga, dan penghematan energi [6].

Dikutip dari [7]. Menurut standar DIN (*Deutsche Industrie Norman*), pengelasan adalah proses metalurgi di mana terjadi penyatuan antara logam atau paduan logam dalam keadaan leleh atau cair. Dalam istilah yang lebih sederhana, pengelasan adalah metode untuk menggabungkan bagian-bagian tertentu dari beberapa batang logam menggunakan energi panas.

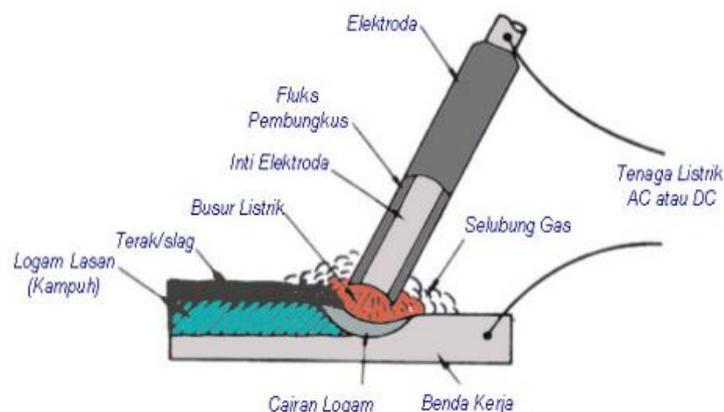
Menurut Alip (1989), yang dikutip dari referensi [5]. Pengelasan adalah proses menggabungkan dua atau lebih bagian dari sebuah objek dengan memanaskan, menekan, atau menggabungkannya sedemikian rupa sehingga menyatu menjadi satu benda yang utuh. Penyambungan ini dapat dilakukan dengan atau tanpa menggunakan unsur tambahan, seperti logam pengisi. Bahan-bahan ini bisa memiliki struktur atau titik leleh yang sama atau berbeda.

Pengelasan (*Welding*) juga dapat diartikan sebagai metode menghubungkan logam dengan melelehkan sebagian dari logam dasar dan logam pengisi, baik dengan atau tanpa tekanan, serta mungkin melibatkan atau tidak melibatkan tambahan logam lainnya, hingga akhirnya mengeras [8]. Pengelasan tidak hanya melibatkan pemanasan dua bagian material hingga larut dan kemudian membeku kembali, tetapi juga melibatkan

pembentukan bidang kekuatan dengan menambahkan bahan tambahan atau katoda selama proses pemanasan sehingga sambungan memiliki kekuatan yang tepat. Faktor-faktor seperti metode pengelasan, jenis bahan, katoda, dan jenis sambungan yang digunakan memengaruhi kekuatan sambungan las [7]. Sambungan las memiliki banyak keunggulan, seperti konstruksi yang ringan, kemampuan untuk menahan kekuatan yang tinggi, dan mudah digunakan. Kelemahan utama sambungan las adalah perubahan struktur mikro bahan yang dilas, yang mengubah sifat fisik dan mekanisnya [9].

B. *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*

Dalam proses SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), material dasar mencair karena suhu tinggi yang dihasilkan oleh busur listrik antara ujung elektroda dan permukaan material kerja. Elektroda yang digunakan dalam proses ini adalah kawat yang dilapisi dengan lapisan *fluks* pelindung. Ketika melakukan pengelasan, elektroda meleleh bersama dengan material dasar dan setelah itu membeku bersama-sama untuk membentuk sambungan las. Banyak yang memilih menggunakan las SMAW karena prosesnya yang sederhana, ekonomis, dan hasil lasnya memiliki sifat mekanik dan fisik yang baik. Selain itu, biaya investasinya juga relatif rendah [10]. Perlengkapan yang digunakan untuk SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) terdiri dari sumber daya listrik, kabel elektroda, kabel kerja, pemegang elektroda, penjepit, dan elektroda itu sendiri. Elektroda dan sistem kerja merupakan bagian integral dari sirkuit listrik yang digunakan. Ini dapat dilihat dalam gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Pengelasan SMAW

Sumber: <https://www.slideshare.net/DwiRatna3/macammacam-sambungan>

Berbagai faktor seperti jenis elektroda, ketebalan material yang akan dilas, diameter elektroda, geometri sambungan, diameter inti elektroda, dan posisi pengelasan berpengaruh pada jumlah arus yang dibutuhkan dalam proses pengelasan. Area las yang memerlukan tingkat panas yang tinggi akan memerlukan arus yang lebih besar. Arus pengelasan adalah faktor penting dalam menentukan penetrasi dan kecepatan peleburan logam dasar. Tingkat arus pengelasan yang lebih tinggi menunjukkan bahwa logam memiliki penetrasi dan kecepatan peleburan yang lebih tinggi [11].

Menurut Bintoro (1999) dikutip dari [12]. Proses pengelasan SMAW melibatkan pengaturan atau penyusunan beberapa komponen peralatan sehingga dapat beroperasi sebagai satu kesatuan. Satu unit pengelasan SMAW terdiri dari:

1. Mesin Las

Terdapat dua jenis mesin pengelasan: yang menggunakan arus bolak-balik (AC) dan yang menggunakan arus searah (DC). Pada mesin pengelasan AC, terdapat transformator (trafo) yang mengatur tegangan, biasanya menggunakan trafo *step-down* untuk menurunkan tegangan. Di sisi lain, pada mesin pengelasan DC, terdapat penyearah arus (*rectifier*) yang mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC).

2. Kabel las

Kabel pengelasan memiliki peran sebagai penghantar arus listrik dari sumbernya menuju elektroda dan objek kerja. Kabel tersebut perlu memiliki kapasitas untuk menangani arus listrik yang besar dengan sedikit hambatan, maka penting untuk memilih kabel yang sesuai dengan arus yang akan mengalir.

3. Elektroda

Elektroda dapat dibagi menjadi dua jenis berdasarkan pelapisannya: elektroda tanpa pelapis dan elektroda dengan pelapis. Elektroda yang dilapisi terdiri dari inti yang berfungsi sebagai logam pengisi dan lapisan pelindung atau *fluks* yang berperan sebagai:

- a. Melindungi cairan las, busur listrik, dan benda kerja las dari udara bebas. Udara luar mengandung oksigen yang bisa menyebabkan oksidasi, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi karakteristik mekanis dari logam yang sedang dilas.

- b. Memberi kesempatan untuk melakukan pengelasan dalam beragam posisi yang berbeda.
- c. Menghasilkan karakteristik spesifik untuk hasil pengelasan dengan menambahkan bahan-bahan tertentu pada lapisan pelindung elektroda dan komponen lainnya.

4. Pemegang Elektroda

Pemegang elektroda berperan dalam menghantarkan arus listrik dari kabel ke elektroda dan bertugas sebagai penahan bagi ujung elektroda yang tidak dilapisi.

5. Tang Penghubung Kabel Massa

Tugas tang penghubung kabel *grounding* adalah untuk menghubungkan kabel *grounding* ke benda kerja yang akan dilas.

6. Alat Pendukung

Penggunaan peralatan tambahan tidak selalu merupakan keharusan. Peralatan ini berfungsi sebagai pendukung untuk mempermudah proses pengelasan. Beberapa contoh peralatan tambahan yang umum digunakan meliputi palu *slag*, tang untuk menangani benda kerja yang masih panas, sikat kawat, topeng las, dan lain-lain.

C. Parameter Pengelasan

Sebelum memulai proses pengelasan, seorang *welder* sebaiknya memiliki pemahaman tentang prinsip dasar untuk menjaga agar busur las tetap stabil. Kestabilan busur las ini berkontribusi pada kualitas hasil pengelasan yang baik atau halus. Oleh karena itu, hal ini harus diberikan perhatian yang serius.:

- Panjang busur
- Voltase (*Voltage*)
- Arus listrik

1. Panjang Busur (*Arc Length*).

Mengamati panjang busur antara benda kerja (logam dasar) dan ujung elektroda merupakan suatu hal yang sangat penting. Panjang busur ini memiliki pengaruh

langsung terhadap transfer panas yang diperlukan baik pada benda kerja maupun elektroda selama proses pengelasan.

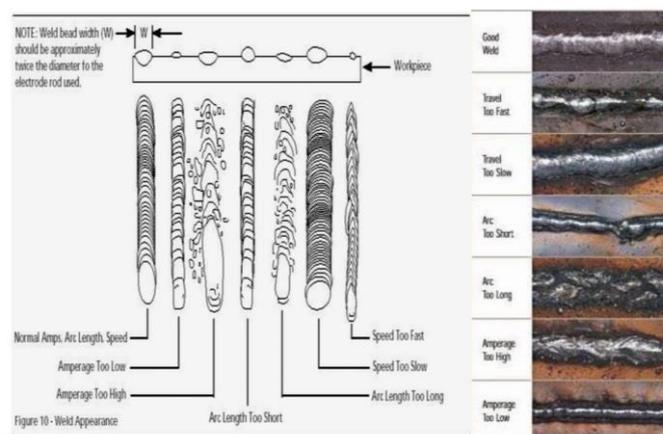
2. Voltase (*Voltage*).

Tegangan dipengaruhi oleh panjang busur yang terbentuk dan diatur oleh mesin las atau trafo, serta panjang kabel las yang digunakan. Tegangan yang rendah akan mengurangi jumlah panas yang masuk ke benda kerja dan elektroda. Selain dari panjang busur, tegangan juga bisa dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti:

- *Fluks* elektroda
- Komposisi inti elektroda
- Diameter elektroda
- Besarnya arus

3. Arus (*Current*).

Informasi tentang besaran arus yang digunakan biasanya tertera pada label elektroda yang diproduksi oleh pabrik. Pengaturan amperemeter pada mesin las menentukan arus yang perlu disesuaikan dengan diameter elektroda yang akan digunakan. Seperti terlihat dalam gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Pengaruh Parameter Las terhadap Bentuk dan Penetrasi Las

Sumber: <https://www.coursehero.com/file/62101341/Modul-Pengelasan-SMAWpdf/>

D. Carbon Steel

Baja adalah sebuah jenis logam yang sering dipergunakan oleh manusia karena ketersediaannya yang melimpah, sifat mekaniknya yang memadai, kemudahan dalam pengolahannya, dan harganya yang terjangkau. Baja tanpa karbon tidak akan memiliki sifat yang diinginkan [13]. Baja karbon adalah jenis paduan besi karbon dimana sifat-sifatnya secara signifikan ditentukan oleh kandungan karbon, sementara komponen paduan lainnya biasanya terbentuk selama proses pembuatannya [14].

Amanto dan Daryanto (1999), sebagaimana disebutkan dalam [15], menjelaskan bahwa baja karbon mengacu pada baja yang memiliki kandungan karbon dalam rentang antara 0,1% hingga 1,7%. Terdapat tiga tingkatan berdasarkan tingkat kandungan karbonnya:

1. Baja karbon rendah merujuk pada jenis baja yang memiliki kandungan karbon di bawah 0,30%. Baja karbon rendah ini dikenal memiliki tingkat ketangguhan dan keuletan yang tinggi, namun memiliki tingkat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah. Dalam perdagangan, baja karbon rendah diproduksi dalam berbagai bentuk seperti pelat, profil, dan batangan, yang digunakan untuk berbagai keperluan seperti tempa, pekerjaan *mechine*, dan sebagainya.
2. Baja karbon sedang memiliki kandungan karbon berkisar antara 0,30% hingga 0,66%. Dibandingkan dengan baja karbon rendah, baja karbon sedang menunjukkan sifat mekanis yang lebih kuat dengan tingkat kekerasan yang lebih tinggi. Kandungan karbon yang signifikan dalam besi memungkinkan baja ini untuk mengalami peningkatan kekerasan melalui perlakuan panas yang sesuai. Secara umum, dalam industri, baja karbon sedang sering digunakan untuk berbagai keperluan seperti perkakas, baut, poros engkol, roda gigi, gigi, dan pegas.
3. Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon berkisar antara 0,6% hingga 1,5%. Baja ini memiliki sifat tahan panas, kekerasan, dan kekuatan tarik yang sangat tinggi, tetapi keuletannya cenderung lebih rendah, menjadikannya lebih rapuh. Proses pemberian perlakuan panas pada baja karbon tinggi untuk meningkatkan kekerasannya seringkali sulit dilakukan karena jumlah martensit yang tinggi dalam strukturnya, sehingga hasil pengerasan permukaan tidak optimal. Secara umum, baja ini digunakan dalam konstruksi yang terpapar suhu

tinggi atau kondisi pemanasan, seperti palu, gergaji, pahat, kikir, bor, bantalan peluru, dan sebagainya.

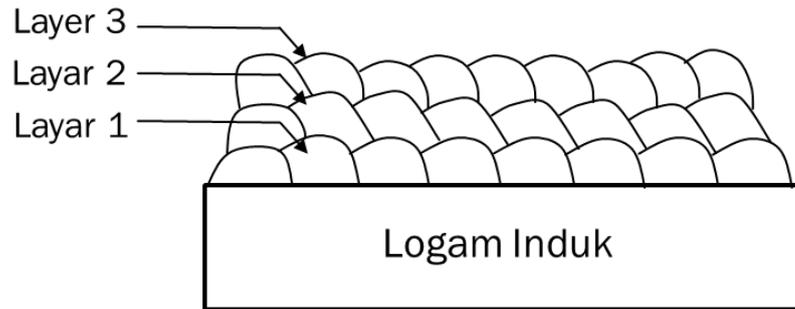
E. Tegangan Sisa (*Residual Stress*)

Tegangan sisa adalah jenis tegangan yang timbul setelah proses pengelasan selesai. Tingginya tegangan sisa dapat menyebabkan kerusakan pada kekuatan material dan berpotensi menciptakan kerusakan awal pada struktur pengelasan. Walaupun sulit untuk diukur secara langsung, tegangan sisa menjadi berbahaya ketika berinteraksi dengan tegangan beban selama penggunaan. Tegangan sisa (*residual stress*) yang tinggi dapat menyebabkan penurunan kekuatan terhadap kelelahan, menurunkan kekuatan tarik, dan mengurangi ketahanan terhadap korosi. Karena itu, memahami tegangan sisa dan dampaknya pada kegagalan struktur menjadi sangat penting [16].

Tegangan sisa muncul ketika sebuah material mengalami perubahan temperatur yang tidak merata, yang disebut sebagai tegangan panas. Faktor-faktor yang memengaruhi pembentukan tegangan sisa meliputi temperatur tertinggi selama pemanasan, laju pendinginan, kontraksi luar, dan suhu awal. Ketika material dipanaskan secara merata, tegangan akan terbentuk [15].

F. *Overlay Welding*

Overlay Welding merupakan suatu proses logam di mana lapisan logam tambahan ditempatkan di atas permukaan logam dasar dengan tujuan meningkatkan kekuatan, ketahanan aus, atau sifat lainnya. Proses *Overlay Welding* sering digunakan dalam industri untuk memperbaiki atau memperkuat bagian – bagian mesin atau struktur yang terkena keausan atau korosi. Dalam penelitian ini, SMAW adalah metode pengelasan yang digunakan, yang merupakan salah satu dari beberapa proses pengelasan manual seperti GMAW dan SAW [17]. Untuk antara logam induk dan lapisan pengelasan, seperti yang terlihat dalam gambar 2.3.



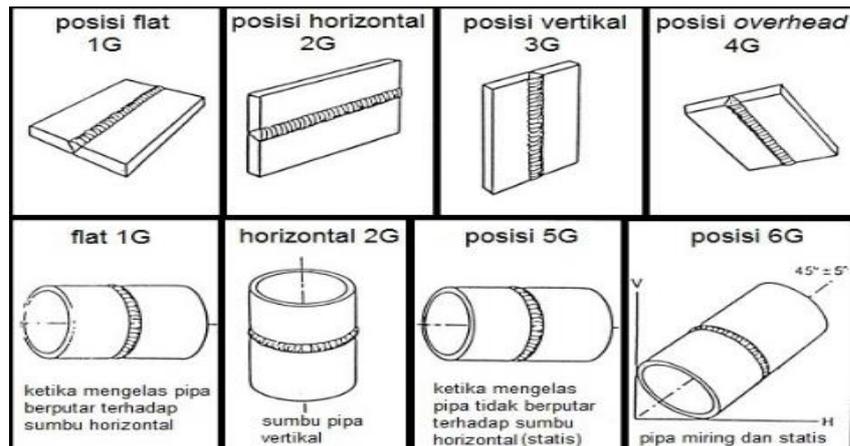
Gambar 2. 3 Skematis *Overlay Welding*

Overlay Welding memiliki potensi untuk menyebabkan pencampuran atau interaksi dengan logam dasar. Permukaan teratas dari pengelasan *overlay* akan mencapai komposisi yang menyerupai logam dasar untuk memastikan tingkat ketahanan korosi yang seragam. Ini berarti minimal harus terdapat 3 lapisan, dan biasanya kontrol dilakukan terhadap 4 lapisan untuk mengurangi penetrasi ke logam dasar. Setiap penambahan lapisan biasanya akan menambah biaya. Oleh karena itu, jumlah lapisan yang digunakan harus diperhatikan dan dikendalikan [18].

G. Posisi Pengelasan

Pengelasan biasanya dilakukan di berbagai tempat dalam kehidupan sehari-hari, seperti di lantai, dinding, dan langit-langit bangunan. Secara umum, posisi pengelasan dapat dibagi menjadi *down hand*, *horizontal*, *vertical*, dan *overhead*. Seringkali, terutama di bidang konstruksi, pengelasan harus dilakukan dengan cepat di berbagai tempat. Posisi pengelasan tertentu dapat memengaruhi sifat mekanis dari hasil pengelasan karena keharusannya. Sebenarnya, pengelasan hanyalah alat untuk meningkatkan efisiensi pembuatan daripada tujuan utama konstruksi. Karena variasi kecepatan pengelasan di setiap posisi, perbedaan posisi selama proses pengelasan akan mempengaruhi jumlah panas *input (Heat Input)* yang terjadi. Panas *input (Heat Input)* ini adalah salah satu penyebab masalah distorsi [19].

Posisi selama pengelasan adalah elemen krusial, dan posisinya ditentukan oleh kombinasi angka dan huruf yang merujuk pada jenis dan posisi pengelasan. Dalam pengelasan, ada empat posisi utama, yaitu 1G, 2G, 3G, dan 4G, yang sesuai dengan *down hand*, *horizontal*, *vertical*, dan *overhead*. Keberadaan posisi pengelasan ini memengaruhi kekuatan yang berbeda dari hasil lasan [20]. Posisi pengelasan yang diterapkan dalam penelitian ini adalah posisi 1G, yang dapat dilihat dalam gambar 2.4.



Gambar 2. 4. Macam - Macam Posisi Pengelasan

Sumber: <https://id.scribd.com/document/414244583/Macam-Macam-Posisi-Pengelasan-Pada-Pelat-Dan-Pipa-Beserta-Gambarnya>

Untuk memastikan kekuatan sambungan las sebanding dengan kekuatan material dasar, pemilihan elektroda untuk pengelasan baja karbon sedang dan tinggi sangat penting [21]. Elektroda diklasifikasikan menggunakan standar ASTM dan AWS (*American Society for Testing Materials*). Sebagai contoh, elektroda tipe E7018 yang dipergunakan dalam penelitian ini memiliki kemampuan untuk digunakan dalam berbagai posisi pengelasan dan dapat dioperasikan baik dengan arus las AC maupun DC. Setiap huruf dan angka dalam kode E7018 menunjukkan karakteristik elektroda tertentu:

E = Elektroda untuk las busur listrik.

70 = Menyatakan nilai tegangan tarik minimum hasil pengelasan dikalikan dengan 1000 Psi (70.000 Ib/in²) atau 49 kg/mm².

1 = Posisi pengelasan dinyatakan dengan angka, di mana angka 1 menandakan kemampuan untuk melakukan pengelasan dalam semua posisi.

8 = Jenis selaput elektroda dan penggunaan arus pengelasan AC atau DC.

H. Elektroda Pengelasan

Dalam proses pengelasan dengan busur listrik, kawat pengelasan yang dikenal sebagai "elektroda" memiliki inti logam yang dilapisi dengan lapisan *fluks*. Elektroda berperan sebagai sumber energi dan juga bahan tambahan selama proses pengelasan [22]. Panas dalam proses pengelasan dihasilkan oleh adanya busur listrik yang terbentuk antara ujung elektroda dan logam yang akan disatukan. Kawat logam ini meliputi elektroda dan

berperan sebagai bahan pengisi serta media untuk menghantarkan arus listrik ke busur. Selain itu, kawat juga dilapisi dengan fluks, yang berfungsi untuk melindungi logam dari oksidasi, membersihkan permukaan, dan menghasilkan gas pelindung [23]. Elektroda memainkan peran yang sangat penting dalam pengelasan SMAW. Elektroda ini memiliki berbagai variasi, termasuk jenis, tipe, dan diameter, yang digunakan dalam proses pengelasan [24].

Elektroda polos terbagi menjadi dua jenis berdasarkan pelindungnya. Elektroda berselaput terdiri dari fluks yang berfungsi sebagai zat pelindung dan inti yang berfungsi sebagai logam pengisi:

1. Elektroda berselaput berfungsi untuk menghindari udara luar dari cairan las, busur listrik, dan benda kerja yang sedang dilas. Jika ada oksigen di udara luar, hal itu dapat menyebabkan oksidasi, yang dapat mengubah sifat mekanis logam yang dilas.
2. Memungkinkannya dilakukan dalam berbagai posisi pengelasan.
3. Menghasilkan karakteristik spesifik pada hasil pengelasan dengan menambahkan bahan-bahan tertentu pada lapisan pelindung elektroda dan lain sebagainya.

I. Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah jenis pengujian yang merusak, di mana material diberi gaya tarik ke arah yang berlawanan hingga mencapai titik putus. Gaya diberikan entah pada ujung material yang dipegang tetap atau pada kedua ujung yang diikat. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi sifat mekanis dari suatu logam dan paduannya, terutama kekuatan tariknya [25]. Karena sangat penting untuk mempelajari kekuatan dan sifat mekanis suatu bahan atau material, pengujian tarik merupakan salah satu jenis pengujian yang paling sering dilakukan [26].

Tujuan pengujian tarik adalah untuk memahami karakteristik mekanik suatu logam serta perubahannya ketika dikenai gaya tarik. Proses pengujian tarik menghasilkan data dalam bentuk kurva tegangan-regangan, yang mencakup parameter-parameter seperti kekuatan dan perpanjangan. Dalam pengujian ini, gaya tarik secara bertahap diberikan pada benda uji, sambil diamati perubahan regangan yang terjadi. Dari pengamatan ini,

kurva tegangan-regangan dapat dibuat untuk menganalisis karakteristik mekanik material [21].

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Di mana :

σ = Tegangan (N/mm^2)

F = Gaya (N)

A = Luas Awal Penampang (mm^2)

Regangan yang digunakan dalam kurva diperoleh dengan membagi perubahan panjang pengukuran dengan panjang awalnya. Persamaannya adalah:

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100\%$$

Di mana : ε = Regangan (%)

L_o = Panjang Awal (mm)

L_f = Panjang Akhir(mm)

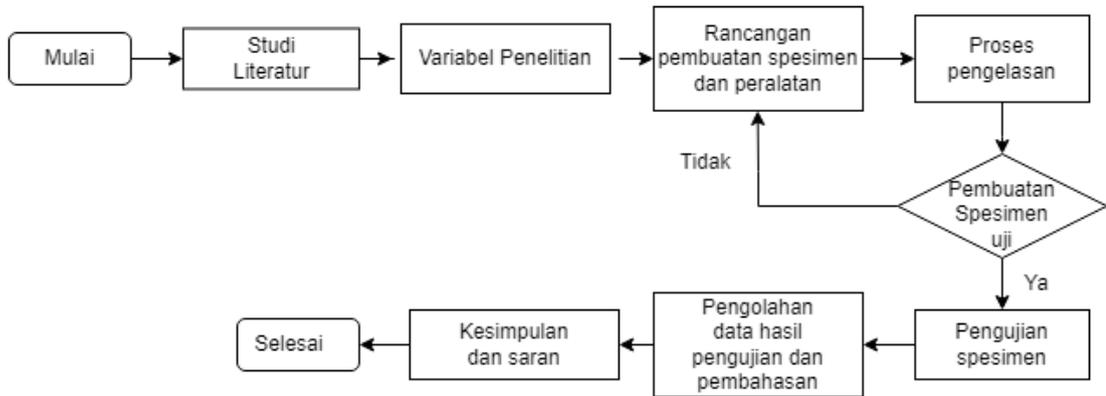
Mesin pengujian tarik memberikan gaya tarik pada benda uji selama pengujian, mencatat setiap kondisi bahan hingga mencapai tegangan maksimum. Mesin tersebut juga memperoleh diagram tarik dari benda uji. Panjang L_f , yang merupakan panjang akhir benda uji setelah patah, diukur untuk menentukan tegangan maksimum, yaitu tegangan tertinggi yang dialami pada luas penampang asalnya [21].

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

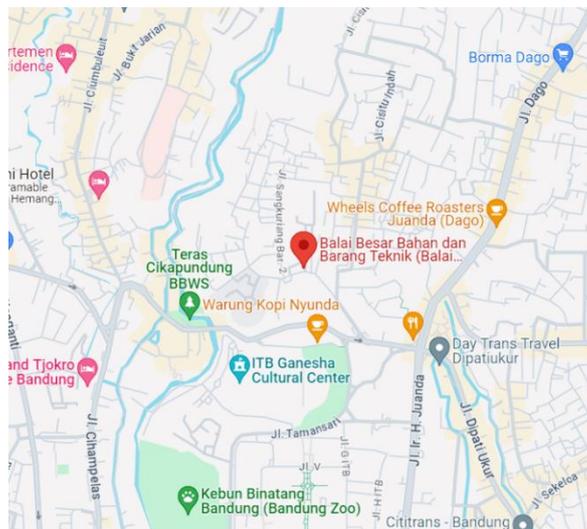
Untuk melakukan pengujian dengan benar, metode yang harus diterapkan sebagaimana yang diperlihatkan di dalam diagram alur berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Tahapan Penelitian

B. Tempat Penelitian

Pengelasan pada penelitian ini akan dilakukan di Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T):



Gambar 3. 2 Lokasi Penelitian

Alamat : Jl. Sangkuriang No.14, Dago, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40135

C. Variabel Penelitian

Pada penelitian ini terdapat 8 material yang akan diuji, empat diantaranya akan dilakukan pengelasan dan dua tidak dilakukan pengelasan. Dibawah ini menunjukkan dua variabel dan tiga level pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian ini.

a. Variabel *Input*

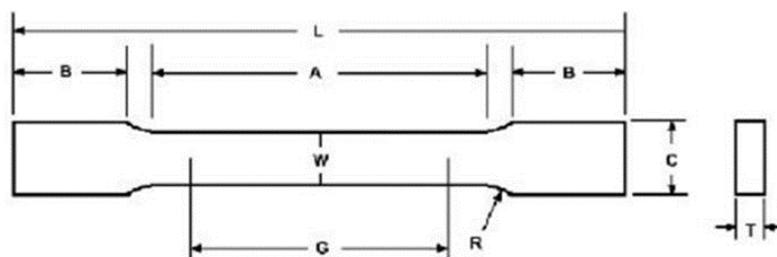
- 1) Diameter Pipa : pipa baja karbon 2 inch (50 mm) dan 4 inch (100 mm) *schedule 40* seri 106 *grade B*
- 2) Arah pengelasan : *longitudinal* dan *circumferential*
- 3) Jumlah layer : 2 dan 4 layer
- 4) Jumlah pass : 5 pass
- 5) Elektroda : AWS E7108
- 6) Jenis pengelasan : SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)
- 7) Perbandingan Spesimen : 50% (base metal) : 50% (lasan)

b. Variabel *Output*

- 1) Kekuatan tarik
- 2) Tegangan sisa

D. Standar Spesimen Uji Tarik

Standar yang digunakan untuk pengujian tarik ini adalah ASTM E-8. Pada gambar 3.3 ditunjukkan dimensi dari spesimen uji tarik.



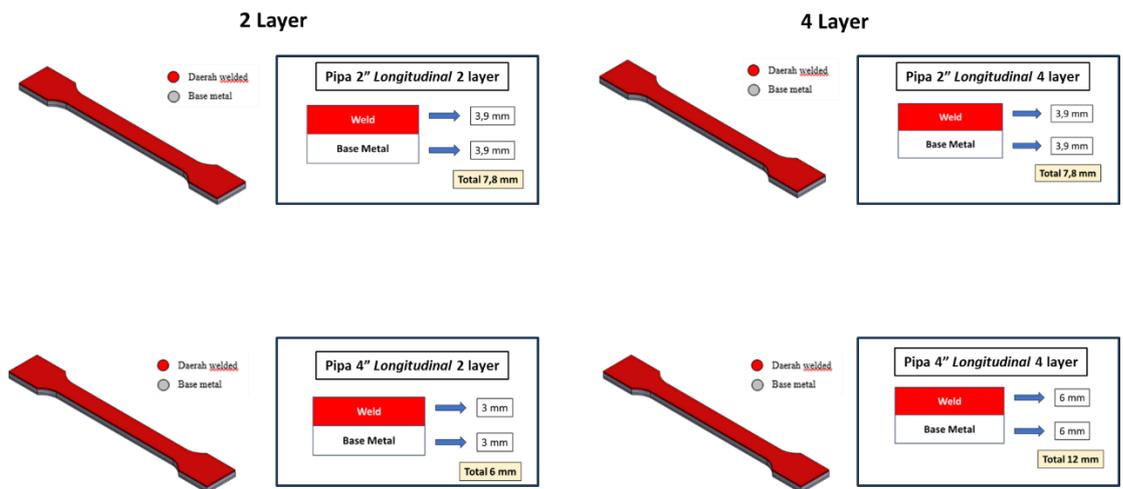
Gambar 3. 3 Spesimen Uji Tarik Standar ASTM E8

L : 200 mm R : 12,5 mm W : 12,5 mm
 T : 50%:50% C : 20 mm B : 50 mm

E. Rancangan Perbandingan Spesimen Uji Tarik

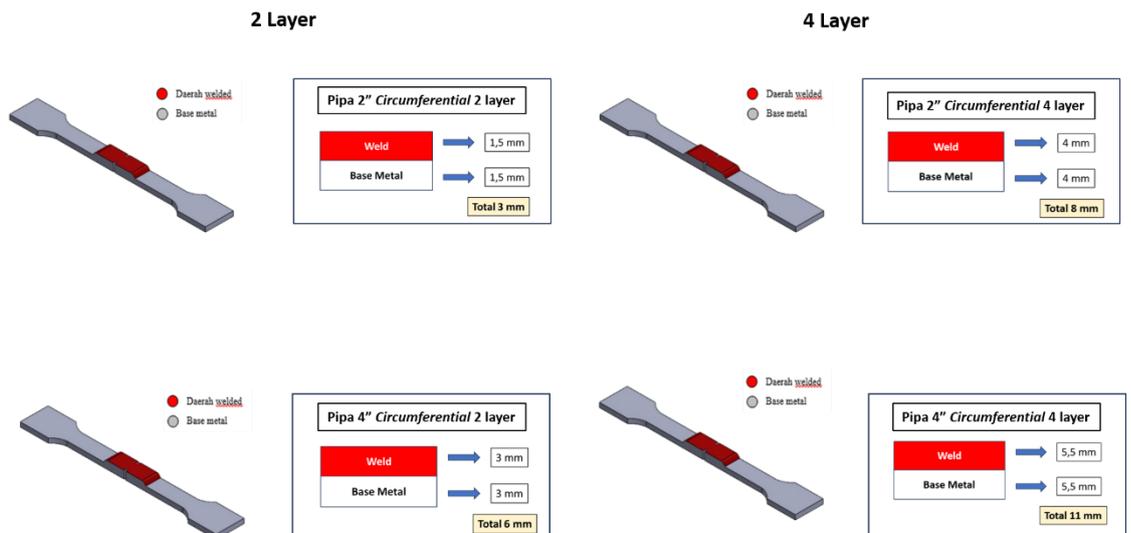
Pemilihan perbandingan disesuaikan agar mencapai 50% *base metal*, dan 50% *overlay welding*. Seperti pada gambar berikut:

a. Rancangan spesimen arah pengelasan *longitudinal*



Gambar 3. 4 Rancangan Spesimen Longitudinal

b. Rancangan spesimen arah pengelasan *circumferential*

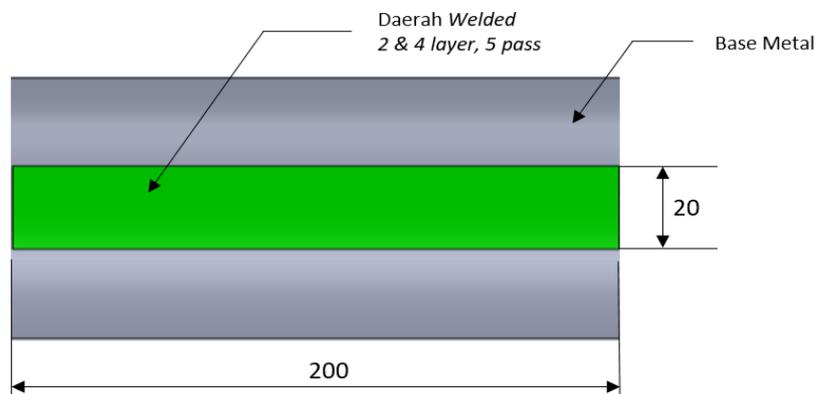


Gambar 3. 5 Rancangan Spesimen Circumferential

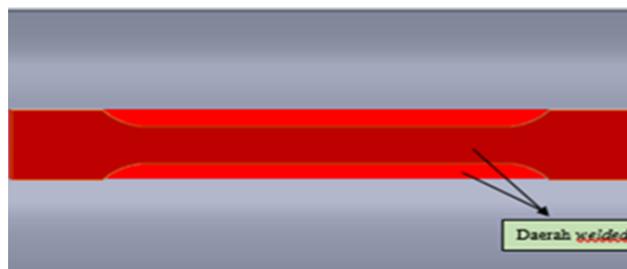
F. Gambar Skematis Pada Setiap Arah Pengelasan

a) Pengelasan *Longitudinal*

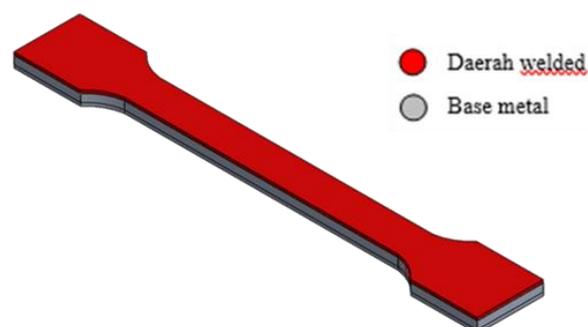
Skema arah pengelasan *longitudinal* yang dijelaskan dapat dilihat di bawah, yang mencakup posisi daerah pengelasan, jumlah layer, jumlah pass, dan panjang spesimen pengujian tarik, seperti yang ditunjukkan dalam gambar 3.6. Pada gambar 3.7 adalah gambar tampak atas potongan untuk uji tarik pada pengelasan arah *longitudinal* dan gambar 3.8 gambar skematis spesimen uji tarik pada pengelasan arah *longitudinal*.



Gambar 3. 6 Skematis Arah Pengelasan *Longitudinal*



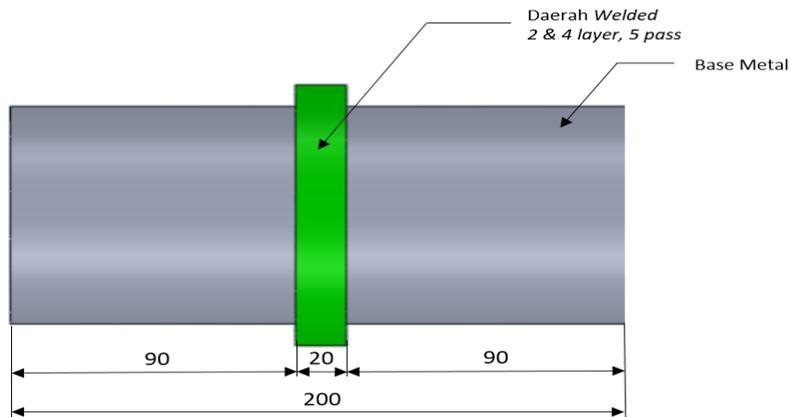
Gambar 3. 7 Potongan untuk Uji Tarik pada Pengelasan Arah *Longitudinal*



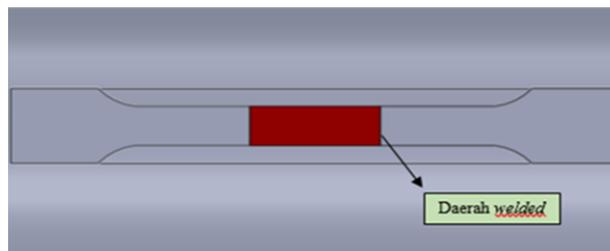
Gambar 3. 8 Gambar Skematis Spesimen Uji Tarik pada Pengelasan Arah *Longitudinal*

b) Pengelasan *Circumferential*

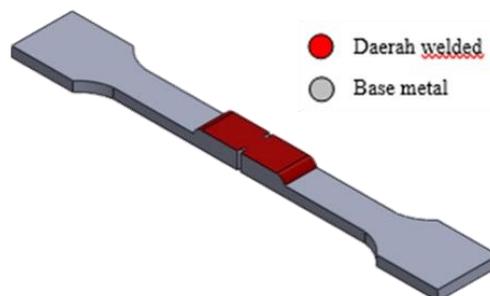
Gambar skematis pandangan atas arah pengelasan *circumferential* dibawah dapat kita lihat untuk posisi daerah *welded*, layer, seperti tampak pada gambar 3.9. Pada gambar 3.10 adalah gambar tampak atas potongan untuk uji tarik pada pengelasan arah *circumferential* dan gambar 3.11 gambar skematis spesimen uji tarik pada pengelasan arah *circumferential*.



Gambar 3. 9 Skematis Arah Pengelasan *Circumferential*



Gambar 3. 10 Potongan untuk Uji Tarik pada Pengelasan Arah *Circumferential*



Gambar 3. 11 Gambar Skematis Spesimen Uji Tarik pada Pengelasan Arah *Circumferential*

G. Prosedur Pengelasan

Sebelum memulai proses pengelasan, penting untuk memastikan bahwa semua persiapan telah dilakukan dengan baik dan sesuai. Berikut langkah – langkah yang digunakan:

- Persiapan bahan, pipa baja karbon *schedule* 40 ukuran 2 inch (50 mm) dan 4 inch (100 mm). Seperti tampak pada gambar 3.6.



Gambar 3. 12 Pipa Baja *Schedule* 40 Diameter 2 inch (50 mm) dan 4 inch (100 mm)

Berikut disertakan sertifikat pipa baja *schedule* 40 yang digunakan pada penelitian ini. Sertifikat ini memastikan bahwa pipa baja memenuhi standar dan spesifikasi yang diperlukan untuk aplikasi yang diinginkan. Seperti tampak pada gambar 3.7.

住友金属
SUMITOMO METAL INDUSTRIES, LTD.
WAKATAMA STEEL WORKS
1800, KENKOTO, WAKATAMA, JAPAN

INSPECTION CERTIFICATE
CERTIFICATE NO.: WYTR6692 PAGE: 1 DATE: 2007-10-16

CUSTOMER : PT. PARADISE PERKASA
ORDER NO. :
SUSPENSE :
COMMODITY :
STANDARD :
SPECIFICATION :

WELL WORK NO. : WYTR6692 O.D. : 109.3mm K.T. : 11.1mm LENGTH : 6000mm QUANTITY : 24pcs. MASS : 17712kg
HEAT NO. : PRODUCTS PCS. :
HEAT TREATMENT : AS ROLLED

CHEMICAL COMPOSITION (%)																		
	C	Si	Mn	P	S	Co	Cr	Ni	Mo	Ti	V	Nb	B	*14	*15	*16	*17	*18
SPEC. MIN.	L	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAX.	L	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MIN.	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAX.	P	0.012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HEAT NO.	L	20	21	103	12	6	2	4	2	0	0	0	0	8	2	8	1	1
J7LA300	P	20	21	103	14	2	4	2	0	0	0	0	8	2	8	1	1	1
	P	20	21	104	13	5	2	4	2	0	0	0	8	2	8	1	1	1

*1 L: LABEL ANALYSIS
*2: E1000
*3: E10000
*4: Cu+Ni+Cr+Mo+V
*5: Ni+Mo+Ti
*6: C+Mn+Si+Cr+Ni+V
*7: S+(Cu+Ni)/15

TENSILE TEST								
	YS	TS	EL.	TYPE OF SPECIMEN				
	*1	*2	*3	%	SEMP 30.1mm WIDTH			
SPEC. MIN.	L	B	4	200	M	415	20	
MAX.	L	B	M	-	-	-	-	
HEAT NO.	L	B	M	359	M	518	44	
J7LA300	L	B	M	359	M	518	44	

*1 DIRECTION: L: LONGITUDINAL
*2 SAMPLING POSITION: B: BASE METAL
*3 UNIT: N: NEW

WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL HEREIN DESCRIBED HAS BEEN MANUFACTURED, SAMPLED, TESTED, AND INSPECTED IN ACCORDANCE WITH ABOVE STANDARDS AND SPECIFICATION AND SATISFIES THE REQUIREMENTS.

J. Kenoto
MANAGER, QUALITY ASSURANCE SECTION

Gambar 3. 13 Sertifikat Pipa Baja *Schedule* 40

- b. Pengukuran dimensi dan memotong pipa untuk ukuran panjang 200 mm pada 2 variasi ketebalan pipa 2 inch (50 mm) dan 4 inch (100 mm). Untuk seperti tampak pada gambar 3.14 pipa 2 inch (50 mm), dan seperti tampak pada gambar 3.15 pipa 4 inch (100 mm).



Gambar 3. 14 Pipa Baja 2 inch (50 mm)



Gambar 3. 15 Pipa Baja 4 inch (100 mm)

- c. Memulai proses pengelasan meliputi parameter yang sudah ditentukan.
- d. Dilakukannya proses pembubutan, dipotong, dan di *milling* sesuai ASTM E8 pada bagian layer *overlay welding* yang tidak digunakan dengan perbandingan *base metal* dan *overlay welding* masing – masing 50%:50%. Seperti pada gambar 3.4 dan 3.5.
- e. Selanjutnya spesimen dilakukan pengujian tarik dan mendapatkan data hasil pengujian dilanjutkan dengan pengambilan data.

H. Peralatan dan Bahan Yang Digunakan

Alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian ini yaitu:

Tabel 3. 1 Alat Dan Bahan Yang Digunakan

No	Alat dan Bahan	Jumlah	Satuan
1	Pipa Baja Karbon 2" SCH 40	1	meter
2	Pipa Baja Karbon 4" SCH 40	1	meter
3	Elektroda AWS E7018 diameter 4 mm	4	pack
4	Mesin Las	1	buah
5	Sikat Baja	1	buah
6	Palu Terak	1	buah
7	Helm Las	1	buah
8	Sarung Tangan Las	1	pasang
9	Gerinda	1	buah
10	Jangka Sorong	1	buah
11	Spidol	1	buah
12	Meja Las	1	buah
13	Thermometer Gun	1	buah
14	Kabel Elektroda	1	buah
15	Kabel Massa	1	buah
16	Tang Ampere	1	buah
17	Mesin Bubut	1	buah
18	Mesin Potong (Hacksaw)	1	buah
19	Mesin Milling	1	buah
20	Mesin Uji Tarik	1	buah

I. Proses Pengelasan

Dalam penelitian ini jenis las yang digunakan adalah pengelasan menggunakan metode pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Mesin las yang digunakan yaitu dengan arus keluaran 5-200 Ampere dengan posisi pengelasan 1G. Pengelasan ini menggunakan *interpass* dibawah 150°C baru dilanjutkan pengelasan pass selanjutnya. Penelitian ini juga menggunakan dua arah pengelasan, yaitu *circumferential* dan *longitudinal*, serta dua diameter pipa, yaitu 2 inch (50 mm) dan 4 inch (100 mm). Berikut adalah tahapan – tahapan yang dilakukan dalam proses pengelasan:

a. Spesifikasi Mesin Las

- 1) Jenis mesin las : *Heliarc 252 AC/DC*
- 2) Seri : TG – 1847023
- 3) *Fabrication* : ESAB
- 4) Tegangan *output* : 75 volt
- 5) Rentang arus *output* : AC/DC 10 - 320 ampere

- 6) Tipe pengelasan : TIG (*Tungsten Inert Gas*)
SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)
- 7) *Input power voltage* : 400V +/- 10% (360V - 440V)
- 8) *Input phase* : 1
- 9) Dimensi dan berat : 826 mm x 463 mm x 635 mm (P x L x T)
190 kg



Gambar 3. 16 Mesin Las *Heliarc 252 AC/DC*

b. Parameter Pengelasan

- 1) Diameter elektroda : 4.0 x 450 mm
- 2) Panjang lasan : 200 mm
- 3) Arus pengelasan : 130 – 190 ampere
- 4) Tegangan : 20 – 30 volt
- 5) *Polarity* : AC/DC+
- 6) Posisi pengelasan : 1G
- 7) *Interpass* : <150°

c. Pelaksanaan Pengelasan

- 1) Pengelasan dilakukan pada posisi datar (1G) dengan setiap ujung pipa di jepit, agar mendapatkan nilai tegangan sisa yang diinginkan. Proses pengelasan seperti tampak pada gambar 3.17.



Gambar 3. 17 Proses Pengelasan

- 2) Sebelum elektroda digunakan, elektroda di panaskan terlebih dahulu menggunakan *furnace electrode* dengan temperatur 150° karena elektroda yang digunakan *low hidrogen*. Seperti tampak pada gambar 3.18.



Gambar 3. 18 *Furnace Electrode*

- 3) Pengelasan dilakukan dengan arah pengelasan longitudinal di sebelah kanan pada gambar dan *circumferential* di sebelah kiri pada gambar, seperti yang terlihat pada gambar 3.19.



Gambar 3. 19 Arah Pengelasan *Longitudinal* dan *Circumferential*

- 4) Pendinginan dilakukan secara alami di temperatur ruangan untuk setiap *interpassnya*. Seperti tampak pada gambar 3.20.



Gambar 3. 20 Pendinginan Setelah Proses Pengelasan

J. Proses Pembentukan Spesimen

1. Proses Pembubutan dan Hasil Pembubutan

Mesin bubut digunakan untuk pembubutan atau merapikan permukaan hasil lasan yang tidak rata. Untuk proses pembubutan seperti tampak pada gambar 3.21.



Gambar 3. 21 Proses Pembubutan

Untuk mendapatkan hasil pembubutan yang sesuai dengan rencana, dilakukan penyesuaian perbandingan pembubutan dengan perbandingan 50%:50% antara *base metal* dan lasan. Seperti tampak pada Gambar 3.22, pipa 2 inch (50 mm) berada di sebelah kiri gambar, sedangkan pipa 4 inch (100 mm) berada di sebelah kanan gambar.



Gambar 3. 22 Hasil Pembubutan Pipa Baja 2 inch (50 mm) dan 4 inch (100 mm)

2. Proses Pemotongan (*Hacksaw*)

Dalam proses ini, pemotongan dilakukan menggunakan mesin potong (*hacksaw*) pada area yang akan dibuat spesimen uji tarik, sebagaimana terlihat pada gambar 3.23.



Gambar 3. 23 Mesin Potong (*Hacksaw*)

Hasil proses pemotongan menggunakan mesin potong (*hacksaw*) menghasilkan potongan dengan panjang 200 mm untuk menyesuaikan standar. Seperti tampak pada Gambar 3.24, pipa 2 inch (50 mm) berada di sebelah kiri gambar, sedangkan pipa 4 inch (100 mm) berada di sebelah kanan gambar.



Gambar 3. 24 Hasil Proses Pemotongan

5. Proses *Milling*

Pada proses *milling* ini, membuat area untuk *gauge length* yang sesuai dengan ASTM E8 menggunakan mesin *milling*. Seperti tampak pada gambar 3.25.



Gambar 3. 25 Proses *Milling*

6. Foto Spesimen Uji Tarik

Foto-foto berikut menunjukkan spesimen yang telah melalui proses pembentukan, termasuk pembubutan, pemotongan (*hacksaw*), dan *milling*, sebelum akhirnya dilakukan proses pengujian tarik. Seperti tampak pada gambar 3.26.



Gambar 3. 26 Spesimen Uji Tarik

K. Metode dan Proses Pengujian Tarik

Pengujian tarik yang dilakukan pada spesimen uji menggunakan standar ASTM E-8. Pengujian ini dengan menggunakan *manual testing machine*. Seperti tampak pada gambar 3.27 adalah proses pengujian tarik.



Gambar 3. 27 Proses Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan menyiapkan spesimen uji yang sudah dilas dan dibentuk sesuai dengan standar ASTM E-8, kemudian spesimen uji dipasang pada alat penyekam *gauge* pada *upper cross head* dan mencekam agar spesimen tersebut

tidak lepas. Langkah selanjutnya adalah dengan melakukan pengujian. Pada saat pengujian berlangsung perhatikan perubahan besar beban sampai terdengar suara yang menunjukkan bahwa spesimen uji putus. Setelah mendapatkan hasil pengujian, spesimen dilepas dan dilanjutkan dengan spesimen berikutnya hingga selesai. Untuk rancangan pengujian tarik seperti tampak pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Rancangan Pengujian Tarik

No	Diameter Pipa	Arah Pengelasan	Jumlah Layer Pengelasan	Jumlah Pass	Pengujian
1	Pipa Baja Karbon 2 Inch SCH 40	<i>Circumferential</i>	2 layer	5 Pass	Pengujian Tarik
2	Pipa Baja Karbon 4 Inch SCH 40	<i>Circumferential</i>	2 layer	5 Pass	Pengujian Tarik
3	Pipa Baja Karbon 2 Inch SCH 40	<i>Longitudinal</i>	2 layer	5 Pass	Pengujian Tarik
4	Pipa Baja Karbon 4 Inch SCH 40	<i>Longitudinal</i>	2 layer	5 Pass	Pengujian Tarik
5	Pipa Baja Karbon 2 Inch SCH 40	<i>Circumferential</i>	4 layer	5 Pass	Pengujian Tarik
6	Pipa Baja Karbon 4 Inch SCH 40	<i>Circumferential</i>	4 layer	5 Pass	Pengujian Tarik
7	Pipa Baja Karbon 2 Inch SCH 40	<i>Longitudinal</i>	4 layer	5 Pass	Pengujian Tarik
8	Pipa Baja Karbon 4 Inch SCH 40	<i>Longitudinal</i>	4 layer	5 Pass	Pengujian Tarik

L. Metode Pengolahan Data

Setelah memperoleh data dari hasil pengujian, langkah-langkah berikut akan dilakukan untuk mengolah dan menganalisis data:

1. Pengumpulan data dari pengujian tarik yang diperoleh dari B4T.
2. Menghitung tegangan dan regangan.
3. Pembuatan grafik tegangan – regangan.
4. Menghitung kekuatan tarik maksimum dan dikurangi oleh kuat tarik properties.
5. Data yang didapat, dimasukkan ke dalam tabel desain faktorial untuk di analisis dengan desain faktorial 2^3 , menganalisis pengaruh variabel tunggal, dan menganalisis pengaruh gabungan variabel tunggal atau variabel interaksi.
6. Dilanjutkan interpretasi data.

M. Data dan Hasil Pengelasan

Data yang dihasilkan mengenai ketebalan dan tinggi dari setiap pengelasan pada pipa 2 inch (50 mm) dan 4 inch (100 mm) dan dengan arah pengelasan *longitudinal* dan *circumferential* seperti tampak pada tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Data Ketebalan dan Tinggi Hasil Pengelasan

1	Pipa 2" Circumferential 2 Layer					
	Lebar 1 pass	Tinggi 1 pass	Lebar Total Pengelasan	Tinggi Total Pengelasan	Base Metal	Tinggi total Base Metal + Weld
	9	1,25	40	2,5	3,90	6,40
2	Pipa 4" Circumferential 2 Layer					
	Lebar 1 pass	Tinggi 1 pass	Lebar Total Pengelasan	Tinggi Total Pengelasan	Base Metal	Tinggi total Base Metal + Weld
	9	2	39	4	6,00	10,00
3	Pipa 2" Longitudinal 2 Layer					
	Lebar 1 pass	Tinggi 1 pass	Lebar Total Pengelasan	Tinggi Total Pengelasan	Base Metal	Tinggi total Base Metal + Weld
	10	3,25	39	6,5	3,90	10,40
4	Pipa 4" Longitudinal 2 Layer					
	Lebar 1 pass	Tinggi 1 pass	Lebar Total Pengelasan	Tinggi Total Pengelasan	Base Metal	Tinggi total Base Metal + Weld
	10	2	40	4	6,00	10,00
5	Pipa 2" Circumferential 4 Layer					
	Lebar 1 pass	Tinggi 1 pass	Lebar Total Pengelasan	Tinggi Total Pengelasan	Base Metal	Tinggi total Base Metal + Weld
	9,5	3	38	12	3,90	15,90
6	Pipa 4" Circumferential 4 Layer					
	Lebar 1 pass	Tinggi 1 pass	Lebar Total Pengelasan	Tinggi Total Pengelasan	Base Metal	Tinggi total Base Metal + Weld
	7	2,5	41	10	6,00	16,00
7	Pipa 2" Longitudinal 4 Layer					
	Lebar 1 pass	Tinggi 1 pass	Lebar Total Pengelasan	Tinggi Total Pengelasan	Base Metal	Tinggi total Base Metal + Weld
	8	2,25	42	9	3,90	12,90
8	Pipa 4" Longitudinal 4 Layer					
	Lebar 1 pass	Tinggi 1 pass	Lebar Total Pengelasan	Tinggi Total Pengelasan	Base Metal	Tinggi total Base Metal + Weld
	10	2,25	41	9	6,00	15,00

Hasil pengelasan pada pipa 2 inch (50 mm) dan 4 inch (100 mm) menunjukkan pengelasan dengan arah *longitudinal* dan *circumferential* sesuai dengan parameter pengelasan yang telah ditetapkan. Seperti tampak pada gambar 3.28.



Gambar 3. 28 Foto - Foto Hasil Pengelasan

Hasil dari proses pengelasan yang telah dilakukan mencakup beberapa parameter dan hasil pengujian. Rumus untuk menghitung *travel speed* dan rumus untuk menghitung *heat input* adalah sebagai berikut:

Travel Speed (TS):

$$TS = \frac{L}{t}$$

- TS = Kecepatan pengelasan (mm/s)
- L = Panjang lasan (mm)
- t = Waktu yang diperlukan untuk mengelas jarak tersebut (s)

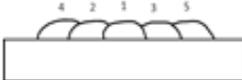
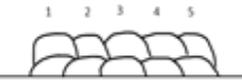
Heat Input (HI):

- HI = Masukan panas (kJ/mm)
- V = Tegangan pengelasan (volt)
- I = Arus pengelasan (ampere)
- TS = Kecepatan pengelasan (mm/s)

Tabel 3.4 hingga Tabel 3.11 menunjukkan hasil pengelasan yang meliputi arus, tegangan, kecepatan pengelasan (*travel speed*), *heat input*, serta *interpass*. Data tersebut disajikan untuk memberikan gambaran mengenai parameter-parameter yang digunakan selama proses pengelasan.

a. Pipa 2 inch (50 mm) *Circumferential* 2 Layer

Tabel 3. 4 Hasil Data Pengelasan Pipa 2 inch (50 mm) *Circumferential* 2 Layer

2" Circumferential 2 Layer												
1	Layer 1	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/menit)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu	Gambar
	Pass 1	E7018	126 - 133	129,5	17 - 24	20,5	45	266,67	0,60	25	00.00	
	Pass 2	E7018	121 - 132	126,5	22 - 26	24	61	196,72	0,93	109	05.13	
	Pass 3	E7018	129 - 140	134,5	20 - 26	23	70	171,43	1,08	122	06.30	
	Pass 4	E7018	127 - 134	130,5	19 - 24	21,5	76	157,89	1,07	117	06.46	
	Pass 5	E7018	126 - 136	131	17 - 25	21	66	181,82	0,91	125	06.24	
	Layer 2	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/menit)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu	Gambar
	Pass 1	E7018	125 - 136	130,5	22 - 30	26	62	193,55	1,05	111	07.00	
	Pass 2	E7018	131 - 137	134	23 - 27	25	56	214,29	0,94	125	06.08	
	Pass 3	E7018	120 - 133	126,5	18 - 26	22	62	193,55	0,86	127	05.57	
Pass 4	E7018	124 - 135	129,5	18 - 24	21	55	218,18	0,75	130	06.01		
Pass 5	E7018	126 - 137	131,5	20 - 26	23	65	184,62	0,98	124	06.53		

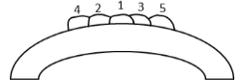
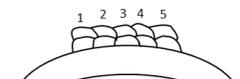
b. Pipa 4 inch (100 mm) *Circumferential* 2 Layer

Tabel 3. 5 Hasil Data Pengelasan Pipa 4 inch (100 mm) *Circumferential* 2 Layer

4' Circumferential 2 Layer												
2	Layer 1	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/menit)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu	Gambar
	Pass 1	E7018	120 - 136	128	18 - 24	21	130	92,31	1,75	25	00.00	
	Pass 2	E7018	121 - 134	127,5	19 - 26	22,5	172	69,77	2,47	84	04.19	
	Pass 3	E7018	125 - 136	130,5	19 - 24	21,5	166	72,29	2,33	95	04.17	
	Pass 4	E7018	126 - 136	131	20 - 27	23,5	159	75,47	2,45	114	07.42	
	Pass 5	E7018	120 - 134	127	18 - 25	21,5	142	84,51	1,94	111	07.20	
	Layer 2	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/menit)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu	Gambar
	Pass 1	E7018	120 - 131	125,5	19 - 24	21,5	155	77,42	2,09	98	06.01	
	Pass 2	E7018	124 - 16	130	20 - 25	22	179	67,04	2,56	102	05.13	
	Pass 3	E7018	121 - 14	127,5	22 - 26	24	185	64,86	2,83	104	07.42	
Pass 4	E7018	125 - 130	127,5	23 - 26	24,5	146	82,19	2,28	116	05.04		
Pass 5	E7018	128 - 134	131	20 - 23	21,5	154	77,92	2,17	122	06.24		

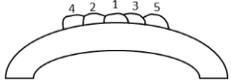
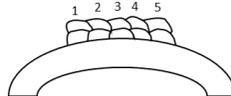
c. Pipa 2 inch (50 mm) *Longitudinal* 2 Layer

Tabel 3. 6 Hasil Data Pengelasan Pipa 2 inch (50 mm) *Longitudinal* 2 Layer

2" Longitudinal 2 Layer												
3	Layer 1	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/menit)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu	Gambar
	Pass 1	E7018	132 - 140	136	23 - 29	26	62	193,55	1,10	25°	00.00	
	Pass 2	E7018	133 - 142	137,5	26 - 32	28,5	59	203,39	1,16	93°	06.21	
	Pass 3	E7018	130 - 137	133,5	24 - 31	27,5	57	210,53	1,05	90°	06.48	
	Pass 4	E7018	130 - 139	134,5	23 - 28	25,5	55	218,18	0,94	95°	06.50	
	Pass 5	E7018	130 - 141	135,5	25 - 30	27,5	51	235,29	0,95	98°	07.30	
	Layer 2	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/menit)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu (menit)	Gambar
	Pass 1	E7018	131 - 135	133	25 - 30	27,5	55	218,18	1,01	100°	07.11	
	Pass 2	E7018	130 - 136	133	26 - 29	27,5	63	190,48	1,15	120°	07.28	
	Pass 3	E7018	129 - 134	131,5	22 - 26	24	61	196,72	0,96	125°	06.48	
Pass 4	E7018	127 - 134	130,5	25 - 28	26,5	63	190,48	1,09	128°	06.13		
Pass 5	E7018	129 - 136	132,5	21 - 24	22,5	54	222,22	0,80	132°	06.37		

d. Pipa 4 inch (100 mm) *Longitudinal 2 Layer*

Tabel 3. 7 Hasil Data Pengelasan Pipa 4 inch (100 mm) *Longitudinal 2 Layer*

4'' Longitudinal 2 Layer												
4	Layer 1	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/detik)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu (menit)	Gambar
	Pass 1	E7018	129 - 135	132	21 - 25	23	73	164,38	1,11	25	00.00	
	Pass 2	E7018	131 - 134	132,5	21 - 25	23	70	171,43	1,07	103	02.34	
	Pass 3	E7018	129 - 135	132	20 - 24	22	52	230,77	0,76	110	03.28	
	Pass 4	E7018	130 - 135	132,5	21 - 26	23,5	69	173,91	1,07	90	06.24	
	Pass 5	E7018	131 - 136	133,5	22 - 26	24	58	206,90	0,93	99	06.20	
Layer 2	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/detik)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu (menit)	Gambar	
Pass 1	E7018	133 - 136	134,5	22 - 27	24,5	52	230,77	0,86	115	04.22		
Pass 2	E7018	129 - 137	133	18 - 26	22	54	222,22	0,79	136	03.15		
Pass 3	E7018	127 - 136	131,5	20 - 27	23,5	59	203,39	0,91	147	04.12		
Pass 4	E7018	128 - 137	132,5	19 - 26	22,5	46	260,87	0,69	128	05.05		
Pass 5	E7018	126 - 134	130	19 - 25	22	36	333,33	0,51	146	03.34		

e. Pipa 2 inch (50 mm) *Circumferential* 4 Layer

Tabel 3. 8 Hasil Data Pengelasan Pipa 2 inch (50 mm) *Circumferential* 4 Layer

2" Circumferential 4 Layer											
Layer 1	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/detik)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu	Gambar
Pass 1	E7018	126 - 136	131	22 - 30	26	56	214,29	0,95	25	00.00	
Pass 2	E7018	128 - 134	131	20 - 26	23	66	181,82	0,99	99	04.32	
Pass 3	E7018	119 - 130	124,5	24 - 28	26	58	206,90	0,94	121	06.10	
Pass 4	E7018	125 - 134	129,5	23 - 26	24,5	72	166,67	1,14	116	06.48	
Pass 5	E7018	128 - 140	134	24 - 28	26	57	210,53	0,99	114	05.10	
Layer 2	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/detik)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu	Gambar
Pass 1	E7018	120 - 132	126	20 - 26	23	80	150,00	1,16	119	06.11	
Pass 2	E7018	126 - 134	130	22 - 27	24,5	74	162,16	1,18	118	05.31	
Pass 3	E7018	121 - 140	130,5	20 - 24	22	58	206,90	0,83	112	06.01	
Pass 4	E7018	125 - 138	131,5	22 - 26	24	82	146,34	1,29	120	06.43	
Pass 5	E7018	123 - 136	129,5	24 - 28	26	90	133,33	1,52	126	06.32	
Layer 3	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/detik)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu	Gambar
Pass 1	E7018	125 - 134	129,5	22 - 27	24,5	77	155,84	1,22	110	06.16	
Pass 2	E7018	123 - 136	129,5	24 - 31	27,5	85	141,18	1,51	118	06.21	
Pass 3	E7018	117 - 137	128	23 - 32	27,5	80	150,00	1,41	108	06.54	
Pass 4	E7018	125 - 136	130,5	21 - 26	23,5	71	169,01	1,09	115	07.23	
Pass 5	E7018	129 - 140	134,5	20 - 27	23,5	95	126,32	1,50	125	05.38	
Layer 4	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	30,5	Waktu*60 (mm/detik)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu	Gambar
Pass 1	E7018	129 - 136	132,5	29 - 37	30,5	82	146,34	1,66	113	06.31	
Pass 2	E7018	128 - 137	132,5	26 - 33	29,5	75	160,00	1,47	127	06.09	
Pass 3	E7018	129 - 140	134,5	27 - 33	30	78	153,85	1,57	126	07.29	
Pass 4	E7018	118 - 1-32	125	22 - 30	26	85	141,18	1,38	130	06.51	
Pass 5	E7018	122 - 135	128,5	19 - 26	22,5	69	173,91	1,00	139	07.03	

5

f. Pipa 4 inch (100 mm) *Circumferential* 4 Layer

Tabel 3. 9 Hasil Data Pengelasan Pipa 4 inch (100 mm) *Circumferential* 4 Layer

4" Circumferential 4 Layer											
Layer 1	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/menit)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu	Gambar
Pass 1	E7018	127 - 135	131	22 - 24	23	130	92,31	1,96	25	00.00	
Pass 2	E7018	120 - 130	125	20 - 26	23	117	102,56	1,68	95	03.51	
Pass 3	E7018	130 - 136	133	24 - 30	27	105	114,29	1,89	112	03.27	
Pass 4	E7018	128 - 134	131	20 - 24	22	121	99,17	1,74	124	04.21	
Pass 5	E7018	119 - 132	125,5	24 - 28	26	109	110,09	1,78	120	05.15	
Layer 2	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/menit)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu	Gambar
Pass 1	E7018	129 - 138	133,5	24 - 30	27	97	123,71	1,75	111	03.05	
Pass 2	E7018	126 - 131	128,5	22 - 28	25	98	122,45	1,57	114	04.28	
Pass 3	E7018	129 - 133	131	22 - 26	24	101	118,81	1,59	119	04.19	
Pass 4	E7018	130 - 140	135	24 - 28	26	100	120,00	1,76	127	04.29	
Pass 5	E7018	132 - 138	135	22 - 26	26	93	129,03	1,63	110	05.47	
Layer 3	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/menit)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu	Gambar
Pass 1	E7018	126 - 134	130	24 - 28	26	108	111,11	1,83	112	03.51	
Pass 2	E7018	120 - 131	125,5	22 - 26	24	112	107,14	1,69	138	03.12	
Pass 3	E7018	118 - 130	124	22 - 26	24	118	101,69	1,76	125	04.02	
Pass 4	E7018	124 - 132	128	24 - 28	26	102	117,65	1,70	127	04.43	
Pass 5	E7018	128 - 140	134	22 - 30	26	108	111,11	1,88	114	05.01	
Layer 4	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/menit)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu	Gambar
Pass 1	E7018	130 - 141	135,5	24 - 30	27	95	126,32	1,74	122	05.57	
Pass 2	E7018	120 - 136	128	21 - 26	23,5	94	127,66	1,41	121	05.13	
Pass 3	E7018	122 - 134	128	20 - 28	25	104	115,38	1,66	125	04.58	
Pass 4	E7018	128 - 134	131	22 - 26	24	110	109,09	1,73	115	06.47	
Pass 5	E7018	121 - 132	126,5	22 - 25	23,5	124	96,77	1,84	125	06.18	

g. Pipa 2 inch (50 mm) *Longitudinal* 4 Layer

Tabel 3. 10 Hasil Data Pengelasan 2 inch (50 mm) *Longitudinal* 4 Layer

2'' Longitudinal 4 Layer											
Layer 1	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/detik)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu (menit)	Gambar
Pass 1	E7018	131 - 137	134	23 - 27	25	71	169,01	1,19	25	00.00	
Pass 2	E7018	132 - 134	133	22 - 26	24	59	203,39	0,94	115	07.21	
Pass 3	E7018	130 - 134	132	22 - 25	23,5	63	190,48	0,98	114	07.06	
Pass 4	E7018	131 - 136	133,5	23 - 27	25	72	166,67	1,20	120	06.44	
Pass 5	E7018	130 - 135	132,5	24 - 28	26	56	214,29	0,96	125	06.59	
Layer 2	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/detik)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu (menit)	Gambar
Pass 1	E7018	129 - 134	131,5	20 - 26	23	56	214,29	0,85	135	06.54	
Pass 2	E7018	130 - 135	132,5	22 - 26	24	52	230,77	0,83	140	06.31	
Pass 3	E7018	128 - 134	131	19 - 24	21,5	58	206,90	0,82	123	06.53	
Pass 4	E7018	130 - 135	132,5	20 - 26	23	62	193,55	0,94	131	06.25	
Pass 5	E7018	128 - 134	131	21 - 24	22,5	49	244,90	0,72	139	06.20	
Layer 3	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/detik)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu (menit)	Gambar
Pass 1	E7018	132 - 136	134	23 - 27	25	51	235,29	0,85	107	08.02	
Pass 2	E7018	127 - 134	130,5	20 - 26	23	56	214,29	0,84	125	07.21	
Pass 3	E7018	128 - 134	131	21 - 25	23	45	266,67	0,68	132	06.42	
Pass 4	E7018	127 - 136	132,5	22 - 26	24	55	218,18	0,87	147	05.32	
Pass 5	E7018	130 - 134	132	19 - 24	21,5	63	190,48	0,89	135	05.12	
Layer 4	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/detik)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu (menit)	Gambar
Pass 1	E7018	127 - 136	131,5	20 - 26	23	41	292,68	0,62	133	05.20	
Pass 2	E7018	129 - 134	131,5	22 - 27	24,5	58	206,90	0,93	120	05.47	
Pass 3	E7018	130 - 136	133	19 - 24	21,5	57	210,53	0,81	130	05.49	
Pass 4	E7018	133 - 137	135	23 - 27	25	61	196,72	1,03	141	05.54	
Pass 5	E7018	129 - 135	132	21 - 26	23,5	69	173,91	1,07	142	05.42	

7

h. Pipa 4 inch (100 mm) *Longitudinal* 4 Layer

Tabel 3. 11 Hasil Data Pengelasan Pipa 4 inch (100 mm) *Longitudinal* 4 Layer

4'' Longitudinal 4 Layer												
8	Layer 1	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/detik)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu (menit)	Gambar
	Pass 1	E7018	128 - 136	132	19 - 24	21,5	75	160,00	1,06	25	00.00	
	Pass 2	E7018	128 - 133	130,5	22 - 28	25	48	250,00	0,78	127	02.32	
	Pass 3	E7018	127 - 135	131	21 - 26	23,5	66	181,82	1,02	130	03.06	
	Pass 4	E7018	130 - 136	133	24 - 30	27	62	193,55	1,11	117	05.30	
	Pass 5	E7018	131 - 136	133,5	22 - 29	25,5	54	222,22	0,92	137	05.45	
	Layer 2	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/detik)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu (menit)	Gambar
	Pass 1	E7018	123 - 133	128	23 - 27	25	65	184,62	1,04	125	05.11	
	Pass 2	E7018	127 - 136	131,5	22 - 28	25	63	190,48	1,04	115	05.54	
	Pass 3	E7018	125 - 135	130	23 - 28	25,5	58	206,90	0,96	110	05.07	
	Pass 4	E7018	125 - 134	129,5	28 - 31	29,5	61	196,72	1,17	112	05.55	
	Pass 5	E7018	122 - 135	128,5	29 - 33	31	50	240,00	1,00	128	04.37	
	Layer 3	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/detik)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu (menit)	Gambar
	Pass 1	E7018	129 - 138	133,5	24 - 27	25,5	53	226,42	0,90	119	03.44	
	Pass 2	E7018	127 - 137	132	24 - 29	26,5	48	250,00	0,84	133	02.15	
	Pass 3	E7018	129 - 133	131	29 - 34	31,5	49	244,90	1,01	138	03.25	
	Pass 4	E7018	127 - 136	131,5	24 - 29	26,5	53	226,42	0,92	134	04.21	
	Pass 5	E7018	126 - 134	130	22 - 26	24	52	230,77	0,81	138	03.30	
	Layer 4	AWS	Ampere (A)	$\bar{x}A$	Tegangan (V)	$\bar{x}V$	Waktu*60 (mm/detik)	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (kJ/mm)	Interpass (T°)	Waktu (menit)	Gambar
	Pass 1	E7018	125 - 136	130,5	21 - 25	23	54	222,22	0,81	124	04.09	
Pass 2	E7018	127 - 135	131	22 - 27	24,5	42	285,71	0,67	140	03.51		
Pass 3	E7018	129 - 136	132,5	23 - 26	24,5	57	210,53	0,93	143	03.28		
Pass 4	E7018	127 - 134	130,5	21 - 26	23,5	48	250,00	0,74	114	04.31		
Pass 5	E7018	128 - 136	132	22 - 27	24,5	51	235,29	0,82	134	04.59		

N. Analisis Hasil Pengelasan

Setelah proses pengelasan, kualitas lasan dianalisis secara pemeriksaan secara visual yang terdapat:

a. Cacat Porositas

Terdapat beberapa lubang kecil pada daerah lasan yang menunjukkan adanya porositas. Porositas ini terjadi karena adanya gas yang terjebak dalam logam cair saat proses pengelasan. Seperti tampak pada gambar 3.29.



Gambar 3. 29 Cacat Porositas

Penyebab :

- Arus yang digunakan terlalu rendah
- Busur las terlalu panjang
- *Flux* elektroda yang rusak
- Hilangnya gas pelindung

b. Cacat *Overlap*

Cacat las *overlap* adalah kondisi ketika di dalam pengelasan logam pengisi (*filler* atau elektroda) tidak melebur sempurna pada logam dasar. Proses terjadinya dimana busur listrik tidak mampu melelehkan logam dasar (*base material*) sehingga menyebabkan cairan menggenang diatas logam dasar tanpa ikatan (tidak fusi). Seperti tampak pada gambar 3.30.



Gambar 3. 30 Cacat *Overlap*

Penyebab :

- Arus yang digunakan terlalu rendah
- Kecepatan pengelasan yang lambat

c. *Spatter*

Spatter adalah percikan las, sebenarnya jika *spatter* dapat dibersihkan maka tidak termasuk cacat. Namun jika jumlahnya berlebih dan tidak dapat dibersihkan maka dikategorikan dalam cacat visual. Seperti tampak pada gambar 3.31.



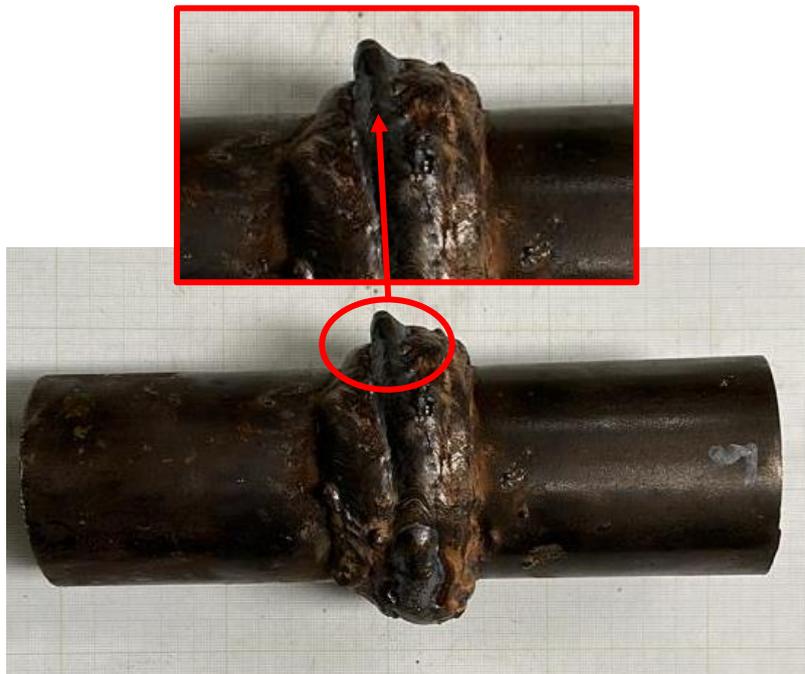
Gambar 3. 31 Cacat *Spatter*

Penyebab :

- Ampere terlalu tinggi
- Jarak elektroda dengan *base metal* terlalu jauh

d. Cacat *Excessive Reinforcement (Excess)*

Cacat las jenis *excessive reinforcement (excess)* adalah kondisi di mana terdapat pengelasan berlebih pada permukaan las, sehingga menimbulkan tonjolan atau penumpukan logam pengisi di atas permukaan las yang direncanakan. Cacat ini bisa mengurangi kualitas dan estetika hasil las. Seperti tampak pada gambar 3.28.



Gambar 3. 32 Cacat *Excessive Reinforcement (Excess)*

Penyebab :

- Ampere terlalu tinggi
- Kecepatan pengelasan yang terlalu lambat
- Teknik pengelasan yang tidak tepat

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Tarik dan Analisis Tegangan Sisa

a. Hasil Pengujian Tarik

Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh tegangan sisa pada pipa baja karbon *schedule 40* yang di las *overlay welding* dengan variasi diameter, arah pengelasan, dan jumlah layer. Penelitian ini menggunakan metode desain faktorial 2^3 , dengan tiga faktor dan dua level setiap faktornya:

- Diameter Pipa : 2 inch (50 mm) dan 4 inch (100 mm)
- Arah Pengelasan : *Circumferential* dan *Longitudinal*
- Jumlah Layer Pengelasan : 2 layer dan 4 layer

Tabel 4. 1 Variabel dan Level

Diameter Pipa		Arah Pengelasan		Jumlah Layer	
-	+	-	+	-	+
2 inch (50 mm)	4 inch (100 mm)	<i>Circumferential</i>	<i>Longitudinal</i>	2	4

Desain Faktorial merupakan sebuah metode eksperimen untuk menentukan pengaruh dari banyak variabel *input* terhadap sebuah variabel *output*. Seperti tampak pada tabel menunjukkan desain faktorial 2^3 yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 4. 2 Desain Faktorial 2^3

No	Diameter Pipa	Arah Pengelasan	Jumlah Layer
1	2"	<i>Circumferential</i>	2
2	4"	<i>Circumferential</i>	2
3	2"	<i>Longitudinal</i>	2
4	4"	<i>Longitudinal</i>	2
5	2"	<i>Circumferential</i>	4
6	4"	<i>Circumferential</i>	4
7	2"	<i>Longitudinal</i>	4
8	4"	<i>Longitudinal</i>	4

Tabel 4.3 menunjukkan data hasil pengujian tarik yang mencakup lebar dan tebal spesimen, luas penampang, dan beban maksimum yang diterima spesimen. Setelah pengujian tarik selesai, data yang diperoleh diolah untuk menentukan nilai kekuatan tarik dari spesimen uji serta menghitung selisih tegangan sisa yang ada.

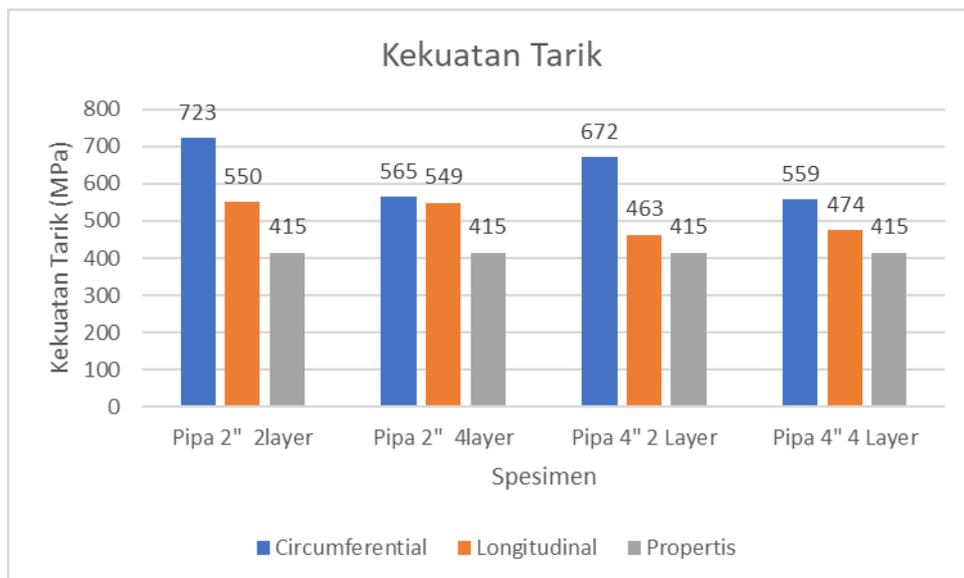
Tabel 4. 3 Tabel Data Hasil Pengujian Tarik dan Pengolahan Data

No	Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas Penampang (mm ²)	P Max (kgf)	P Max (N)	Kekuatan Tarik Maksimum (MPa)	Kekuatan Tarik Material Properties (MPa)	Tegangan Sisa (MPa)
1	2" Circumferential 2 Layer	4,73	4,3	20,34	1500	14715	723	415	308
2	4" Circumferential 2 Layer	4,68	6,02	28,17	1930	18933	672	415	257
3	2" Longitudinal 2 Layer	12,44	6,45	80,24	4500	44145	550	415	135
4	4" Longitudinal 2 Layer	12,65	5,95	75,27	3550	34826	463	415	48
5	2" Circumferential 4 Layer	12,5	4	50,00	3000	29430	589	415	174
6	4" Circumferential 4 Layer	4,2	11,29	47,42	2700	26487	559	415	144
7	2" Longitudinal 4 Layer	12,57	8,11	101,94	5700	55917	549	415	134
8	4" Longitudinal 4 Layer	12,71	12,22	155,32	7500	73575	474	415	59

b. Analisis Kekuatan Tarik dan Tegangan Sisa

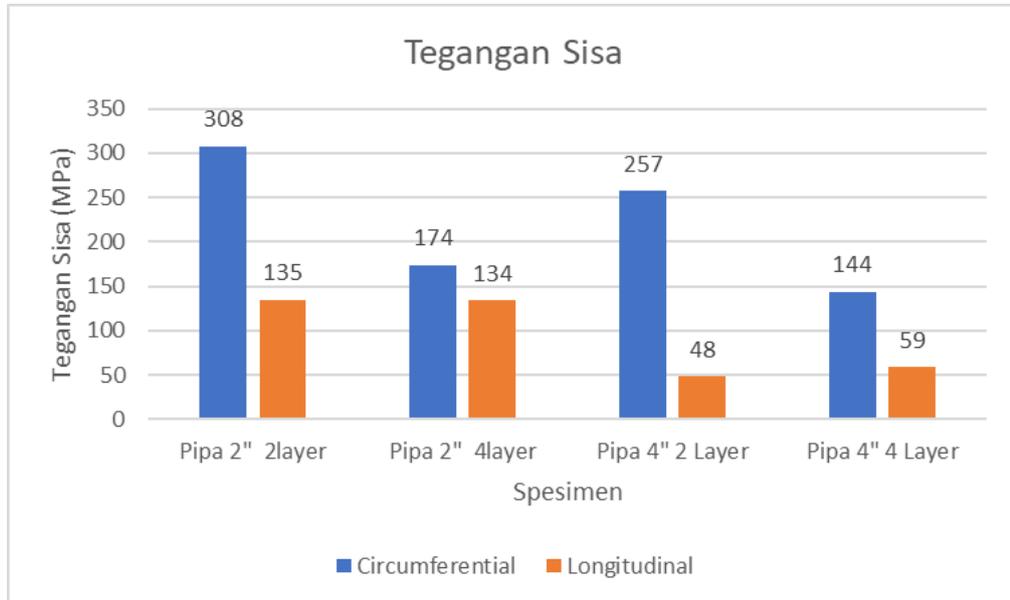
Grafik pada gambar 4.1 kekuatan tarik dari hasil pengujian tarik pada seluruh spesimen dan kekuatan tarik *properties* material pipa baja karbon seri 106 grade

B.



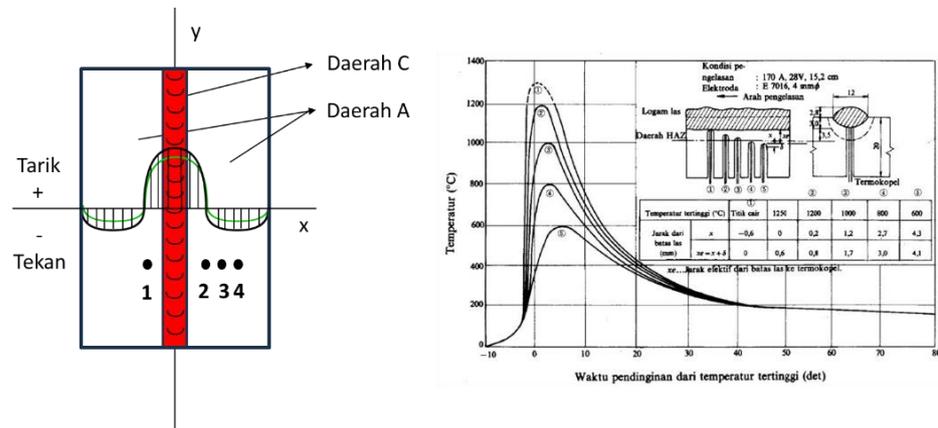
Gambar 4. 1 Grafik Kekuatan Tarik dari Seluruh Spesimen

Grafik pada gambar 4.2 menunjukkan perbandingan dari selisih antara kekuatan tarik spesimen dikurangi dengan kekuatan tarik *properties*, sehingga didapat tegangan sisa pada berbagai spesimen pipa dengan variasi diameter dan jumlah layer. Tegangan sisa diukur pada arah *circumferential* dan *longitudinal*, untuk melihat perbedaan distribusi tegangan pada masing-masing kondisi pipa.



Gambar 4. 2 Grafik Tegangan Sisa Dari Seluruh Spesimen

(1). Analisis pengaruh jumlah layer terhadap tegangan sisa



Gambar 4. 3 Analisis Pengaruh Jumlah Layer Terhadap Tegangan Sisa

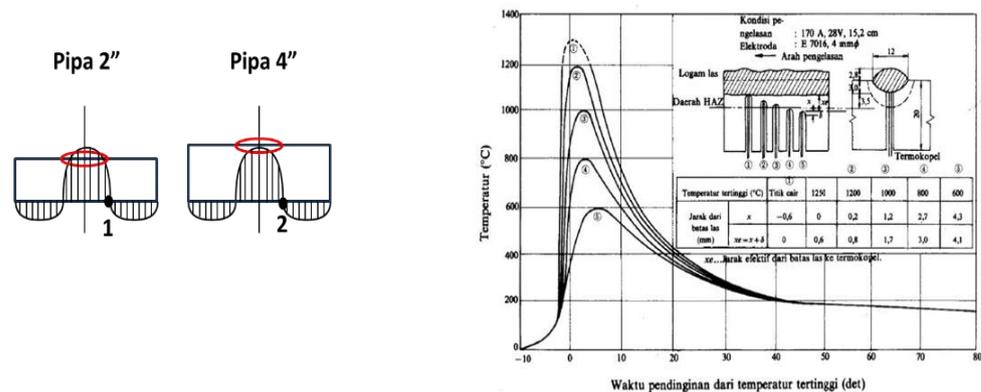
Proses terjadinya tegangan sisa pada proses pengelasan diilustrasikan sesuai dengan gambar 4.2 poin satu, dua, tiga empat adalah lokasi di mana termokopel ditempatkan untuk mengukur suhu selama proses pengelasan. Ketika pengelasan dimulai, daerah C akan memuai akibat pemanasan. Pemuaihan daerah C ini tertahan oleh daerah A. Akibatnya, di daerah C

terjadi tegangan tekan, sementara di daerah A terjadi tegangan tarik. Pada saat proses pendinginan yang menyebabkan daerah C akan mengalami penyusutan karena adanya tegangan tekan. Penyusutan pada daerah C akan ditahan oleh daerah A, sehingga pada daerah C akan terjadi tegangan tarik. Sedangkan daerah A akan mengalami tegangan tekan. Gambar 4.2 sebelah kanan tersebut menunjukkan siklus *thermal* pada berbagai titik pengukuran temperatur selama proses pengelasan. Berikut penjelasan dari setiap poin:

1. **Poin 1** terletak paling dekat dengan area pengelasan, sehingga mencapai temperatur tertinggi 1300°C. Daerah ini termasuk zona paling dekat dengan area pengelasan. Karena dekat dengan sumber panas, daerah ini mengalami pemanasan sangat cepat dan pendinginan yang cepat.
2. **Poin 2** berada sedikit lebih jauh dari poin 1 dan mencapai temperatur sekitar 1200°C. Ini masih termasuk dalam zona HAZ (*Heat Affected Zone*) yang dekat dengan area las.
3. **Poin 3** berada lebih jauh lagi, dengan temperatur puncak sekitar 1000°C. Daerah ini juga masih dalam zona HAZ, tetapi dampak panas lebih kecil dibandingkan poin sebelumnya. Pemanasan dan pendinginan terjadi lebih lambat dibandingkan titik yang lebih dekat.
4. **Poin 4** terletak lebih jauh dari titik pengelasan dan mencapai temperatur sekitar 800°C. Meskipun masih berada di zona HAZ, pengaruh panas lebih rendah dibandingkan poin-poin sebelumnya, dengan temperatur pada siklus *thermal* yang lebih rendah dan laju pendinginan lebih lambat.

Semakin jauh dari area pengelasan, temperatur puncak yang dicapai semakin rendah dan proses pendinginan terjadi lebih lambat. Jika ditinjau dari grafik 4.1 penambahan layer sangat menguntungkan, tegangan tetap ada akan tetapi tegangannya tidak lebih besar dari sebelumnya.

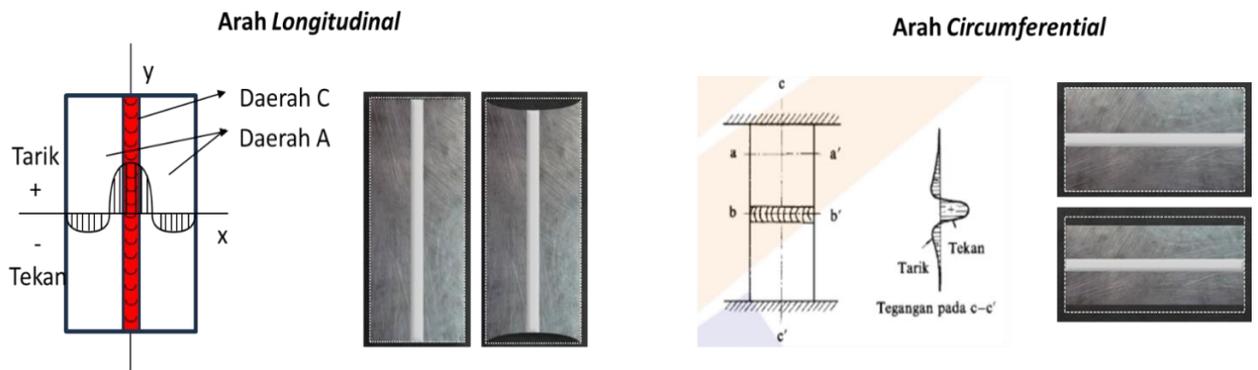
(2). Analisis pengaruh diameter pipa terhadap tegangan sisa



Gambar 4. 4 Analisis Pengaruh Diameter Pipa Terhadap Tegangan Sisa

Pada gambar 4.3, terlihat bahwa semakin tebal pipa, semakin kecil tegangan sisa yang terjadi setelah proses pengelasan. Hal ini disebabkan oleh pemuaian dan penyusutan yang lebih rendah pada pipa yang lebih tebal. Pada pipa dengan diameter pipa 2 inch (50 mm), tegangan sisa lebih besar dibandingkan dengan pipa 4 inch (100 mm). Ketika pengelasan berlangsung, pipa yang lebih kecil seperti pipa 2 inch (50 mm) mengalami pemuaian termal yang lebih besar karena panas lebih cepat terserap di seluruh area pipa, sehingga menghasilkan tegangan sisa yang lebih tinggi. Sebaliknya, pada pipa yang lebih besar dan lebih tebal seperti pipa 4 inch (100 mm), material yang lebih tebal menyerap panas dengan lebih lambat, menyebabkan pemuaian dan penyusutan yang lebih terkontrol dan lebih rendah. Akibatnya, tegangan sisa yang terbentuk juga lebih kecil. Ketebalan pipa berperan penting dalam distribusi panas, yang memengaruhi pola tegangan sisa, di mana pipa yang lebih tipis atau lebih kecil cenderung memiliki tegangan sisa yang lebih tinggi dibandingkan dengan pipa yang lebih tebal atau lebih besar.

(3). Analisis pengaruh arah pengelasan terhadap tegangan sisa



Gambar 4. 5 Analisis Pengaruh Arah Pengelasan Terhadap Tegangan Sisa

Tegangan sisa yang terbentuk pada proses pengelasan berbeda antara arah pengelasan longitudinal dan *circumferential*. Pada pengelasan *longitudinal*, tegangan tarik dominan berada sepanjang jalur lasan. Hal ini terjadi karena material yang berada di sepanjang jalur las tersebut mengalami pemuaian dan penyusutan akibat pemanasan dan pendinginan selama proses pengelasan. Meskipun demikian, tegangan tekan muncul di sekitar area lasan sebagai hasil dari penguncian termal pada material di sekitar jalur las. Pemuaian dan penyusutan dalam arah *longitudinal* cenderung lebih kecil karena distribusi panas yang lebih terkonsentrasi di sepanjang satu garis lurus, sehingga distribusi tegangan lebih terfokus. Sebaliknya, pada pengelasan *circumferential*, distribusi tegangan sisa lebih menyebar secara melingkar di sekitar keliling lasan. Tegangan tarik dan tegangan tekan di area las tidak hanya muncul di sepanjang satu garis, melainkan tersebar di sekitar seluruh keliling lasan. Pemuaian dan penyusutan dalam arah *circumferential* lebih besar dibandingkan dengan pengelasan *longitudinal* karena adanya distribusi panas yang lebih merata di sepanjang keliling material. Ini mengakibatkan area yang lebih luas terpengaruh oleh proses termal, sehingga distribusi tegangan sisa lebih kompleks dan melibatkan variasi yang lebih besar antara tegangan tarik dan tekan di sepanjang keliling material.

B. Analisa Data Dengan Desain Faktorial 2³

Desain faktorial 2³ menghasilkan 8 kombinasi percobaan yang berbeda, yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 4 Analisa Data Dengan Desain Faktorial 2³

Konfigurasi	Variabel Input			Variabel Output
	Diameter Pipa	Arah Pengelasan	Jumlah Layer	Tegangan Sisa (MPa)
1	2"	<i>Circumferential</i>	2	308
2	4"	<i>Circumferential</i>	2	257
3	2"	<i>Longitudinal</i>	2	135
4	4"	<i>Longitudinal</i>	2	48
5	2"	<i>Circumferential</i>	4	174
6	4"	<i>Circumferential</i>	4	144
7	2"	<i>Longitudinal</i>	4	134
8	4"	<i>Longitudinal</i>	4	59

Jumlah 1258 MPa, sehingga di rata – ratakan menghasilkan 152,2 MPa. Tabel menunjukkan konfigurasi pengelasan pipa dengan tiga variabel yaitu diameter, arah pengelasan, dan jumlah layer dan dua level masing – masing variabel. Level ini meliputi pipa dengan diameter 2 inch (50 mm) dan 4 inch (100 mm), baik dengan arah pengelasan *circumferential* maupun *longitudinal*, dan jumlah layer. Data yang tercantum mencakup nilai *yield* dari nilai selisih kekuatan tarik maksimum pada setiap pipa dan kekuatan tarik maksimum *properties* pipa baja *schedule 40*, dari nilai tersebut dianggap nilai tegangan sisa dikarenakan proses *overlay welding* setelah pengujian tarik.

C. Analisa Pengaruh Variabel Terhadap Tegangan Sisa

Dari hasil pengujian, terlihat bahwa variabel seperti diameter pipa, arah pengelasan, dan jumlah layer memiliki pengaruh terhadap tegangan sisa pada pipa baja karbon.

a. Pengaruh Diameter Pipa

Tabel 4. 5 Analisa Pengaruh Diameter Pipa Terhadap Tegangan Sisa

Konfigurasi	Variabel Input			Variabel Output
	Diameter Pipa	Arah Pengelasan	Jumlah Layer	Tegangan Sisa (MPa)
1	2"	<i>Circumferential</i>	2	308
2	4"	<i>Circumferential</i>	2	257
3	2"	<i>Longitudinal</i>	2	135
4	4"	<i>Longitudinal</i>	2	48
5	2"	<i>Circumferential</i>	4	174
6	4"	<i>Circumferential</i>	4	144
7	2"	<i>Longitudinal</i>	4	134
8	4"	<i>Longitudinal</i>	4	59

Dari tabel 4.6 menunjukkan bahwa diameter pipa mempengaruhi pada tegangan sisa yang dihasilkan. Pada arah pengelasan dan jumlah layer yang sama, sedangkan diameter pipa berubah dari 2 inch (50 mm) menjadi 4 inch (100 mm) akan menunjukkan perbedaan tegangan sisa sebagai berikut:

Konfigurasi 1 dan 2 menunjukkan perubahan tegangan sisa sebesar -51 MPa.

Konfigurasi 3 dan 4 menghasilkan perbedaan tegangan sisa sebesar -87 MPa.

Konfigurasi 5 dan 6 menghasilkan perbedaan tegangan sisa sebesar -30 MPa.

Konfigurasi 7 dan 8 menunjukkan perubahan tegangan sisa sebesar -75 MPa.

Rata-rata tegangan sisa yang diperoleh dari seluruh konfigurasi adalah -60,8 MPa. Hal ini menunjukkan jika diameter pipa diubah dari 2 inch (50 mm) menjadi 4 inch (100 mm) akan menurunkan tegangan sisa.

b. Pengaruh Arah Pengelasan

Tabel 4. 6 Analisa Pengaruh Arah Pengelasan Terhadap Tegangan Sisa

Konfigurasi	Variabel Input			Variabel Output
	Diameter Pipa	Arah Pengelasan	Jumlah Layer	Tegangan Sisa (MPa)
1	2"	<i>Circumferential</i>	2	308
2	4"	<i>Circumferential</i>	2	257
3	2"	<i>Longitudinal</i>	2	135
4	4"	<i>Longitudinal</i>	2	48
5	2"	<i>Circumferential</i>	4	174
6	4"	<i>Circumferential</i>	4	144
7	2"	<i>Longitudinal</i>	4	134
8	4"	<i>Longitudinal</i>	4	59

Dari tabel 4.7 menunjukkan bahwa arah pengelasan mempengaruhi pada tegangan sisa yang dihasilkan. Pada diameter dan jumlah layer yang sama, sedangkan arah pengelasan berubah dari *longitudinal* menjadi *circumferential* akan menunjukkan perbedaan tegangan sisa sebagai berikut:

Konfigurasi 1 dan 2 menunjukkan perubahan tegangan sisa sebesar -173 MPa.

Konfigurasi 3 dan 4 menghasilkan perbedaan tegangan sisa sebesar -209 MPa.

Konfigurasi 5 dan 6 menghasilkan perbedaan tegangan sisa sebesar -40 MPa.

Konfigurasi 7 dan 8 menunjukkan perubahan tegangan sisa sebesar -85 MPa.

Rata-rata tegangan sisa yang diperoleh dari seluruh konfigurasi adalah -126,8 MPa. Hal ini menunjukkan jika arah pengelasan diubah dari *longitudinal* menjadi *circumferential* akan menurunkan tegangan sisa.

c. Pengaruh Jumlah Layer

Tabel 4. 7 Analisa Pengaruh Jumlah Layer Terhadap Tegangan Sisa

Konfigurasi	Variabel Input			Variabel Output
	Diameter Pipa	Arah Pengelasan	Jumlah Layer	Tegangan Sisa (MPa)
1	2"	<i>Circumferential</i>	2	308
2	4"	<i>Circumferential</i>	2	257
3	2"	<i>Longitudinal</i>	2	135
4	4"	<i>Longitudinal</i>	2	48
5	2"	<i>Circumferential</i>	4	174
6	4"	<i>Circumferential</i>	4	144
7	2"	<i>Longitudinal</i>	4	134
8	4"	<i>Longitudinal</i>	4	59

Dari tabel 4.8 menunjukkan bahwa jumlah layer mempengaruhi pada nilai tegangan sisa yang dihasilkan. Pada diameter dan arah pengelasan yang sama, sedangkan jumlah layer berubah dari 2 layer menjadi 4 layer akan menunjukkan perbedaan tegangan sisa sebagai berikut:

Konfigurasi 1 dan 2 menunjukkan perubahan tegangan sisa sebesar -134 MPa.

Konfigurasi 3 dan 4 menghasilkan perbedaan tegangan sisa sebesar -113 MPa.

Konfigurasi 5 dan 6 menghasilkan perbedaan tegangan sisa sebesar -1 MPa.

Konfigurasi 7 dan 8 menunjukkan perubahan tegangan sisa sebesar 11 MPa.

Rata-rata tegangan sisa yang diperoleh dari seluruh konfigurasi adalah -59,3 MPa. Hal ini menunjukkan jika jumlah layer diubah dari 2 layer menjadi 4 layer akan menurunkan tegangan sisa.

D. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengolahan data, diperoleh beberapa interpretasi mengenai pengaruh variabel tunggal terhadap tegangan sisa. Berikut adalah hasil pengolahan data yang diperoleh dari hasil penelitian:

- (1). Pengaruh Variabel DP (Diameter Pipa) = -60,8 MPa

Artinya, jika diameter pipa diubah dari 2 inch (50 mm) menjadi 4 inch (100 mm) maka menurunkan tegangan sisa sebesar 60,8 MPa. Hal ini berarti bahwa peningkatan ukuran diameter pipa berdampak pada penurunan tegangan sisa.

(2). Pengaruh Variabel AP (Arah Pengelasan) = -126,8 MPa

Ketika arah pengelasan diubah dari *circumferential* menjadi *longitudinal*, terdapat penurunan tegangan sisa sebesar 126,8 MPa. Ini menunjukkan bahwa pemilihan arah pengelasan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tegangan sisa.

(3). Pengaruh Variabel JL (Jumlah Layer) = -59,3 MPa

Jika jumlah layer pengelasan diubah dari 2 layer menjadi 4 layer dapat menurunkan tegangan sisa sebesar 59,3 MPa. Ini menunjukkan bahwa penambahan jumlah layer dalam proses pengelasan dapat membantu mengurangi tegangan sisa.

Berdasarkan hasil penelitian, pada pipa berukuran 4 inch (100 mm) dengan arah pengelasan *longitudinal* menunjukkan bahwa tegangan sisa yang dihasilkan relatif kecil. Sebaliknya, pipa berukuran 2 inch (50 mm) dengan pengelasan *circumferential* menghasilkan tegangan sisa yang lebih besar. Bisa kita lihat di analisis pengaruh diameter pipa terhadap tegangan sisa. Hal ini disebabkan oleh pemuaian dan penyusutan yang lebih rendah pada pipa yang lebih tebal. Pada pipa dengan diameter pipa 2 inch (50 mm), tegangan sisa lebih besar dibandingkan dengan pipa 4 inch (100 mm). Ketika pengelasan berlangsung, pipa yang lebih kecil seperti pipa 2 inch mengalami pemuaian termal yang lebih besar karena panas lebih cepat terserap di seluruh area pipa, sehingga menghasilkan tegangan sisa yang lebih tinggi. Sebaliknya, pada pipa yang lebih besar dan lebih tebal seperti pipa 4 inch (100 mm), material yang lebih tebal menyerap panas dengan lebih lambat, menyebabkan pemuaian dan penyusutan yang lebih terkontrol dan lebih rendah. Akibatnya, tegangan sisa yang terbentuk juga lebih kecil.

Namun, spesimen dengan pengelasan *circumferential* cenderung memiliki tegangan sisa yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen yang dilas secara *longitudinal*. Ini disebabkan selama proses pengelasan, tegangan sisa yang dihasilkan berbeda antara arah pengelasan *longitudinal* dan *circumferential*. Tegangan tarik dominan dalam pengelasan *longitudinal* berada di sepanjang jalur lasan. Hal ini terjadi karena material di sepanjang

jalur las mengalami pemanasan dan pendinginan selama proses pengelasan. Tetapi tegangan tekan muncul di sekitar area las karena material di sekitar jalur las terkunci oleh panas. Karena distribusi panas yang lebih terkonsentrasi di sepanjang satu garis lurus, yang menyebabkan distribusi tegangan lebih terfokus, pemuaian dan penyusutan dalam arah *longitudinal* cenderung lebih kecil. Di sisi lain, ketika lasan *circumferential*, distribusi tegangan sisa lebih tersebar secara melingkar di sekitar lasan. Tegangan tarik dan tekan di area las tersebar di seluruh area, bukan hanya di sepanjang satu garis..

Meskipun hasil ini mungkin tampak bertolak belakang dengan teori yang menyatakan bahwa pengelasan *longitudinal* biasanya menghasilkan tegangan sisa yang lebih besar dari pada pengelasan *circumferential*, analisis lebih lanjut menunjukkan pengaruh dari jumlah layer. Proses terjadinya tegangan sisa pada proses pengelasan diilustrasikan sesuai dengan gambar 4.2 poin satu, dua, tiga empat adalah lokasi di mana termokopel ditempatkan untuk mengukur suhu selama proses pengelasan. Ketika pengelasan dimulai, daerah C akan memuai akibat pemanasan. Pemuaian daerah C ini tertahan oleh daerah A. Akibatnya, di daerah C terjadi tegangan tekan, sementara di daerah A terjadi tegangan tarik. Pada saat proses pendinginan yang menyebabkan daerah C akan mengalami penyusutan karena adanya tegangan tekan. Penyusutan pada daerah C akan ditahan oleh daerah A, sehingga pada daerah C akan terjadi tegangan tarik. Sedangkan daerah A akan mengalami tegangan tekan. Gambar 4.2 sebelah kanan tersebut menunjukkan siklus *thermal* pada berbagai titik pengukuran temperatur selama proses pengelasan. Berikut penjelasan dari setiap poin:

1. **Poin 1** terletak paling dekat dengan area pengelasan, sehingga mencapai temperatur tertinggi 1300°C. Daerah ini termasuk zona paling dekat dengan area pengelasan. Karena dekat dengan sumber panas, daerah ini mengalami pemanasan sangat cepat dan pendinginan yang cepat.
2. **Poin 2** berada sedikit lebih jauh dari poin 1 dan mencapai temperatur sekitar 1200°C. Ini masih termasuk dalam zona HAZ (*Heat Affected Zone*) yang dekat dengan area las.
3. **Poin 3** berada lebih jauh lagi, dengan temperatur puncak sekitar 1000°C. Daerah ini juga masih dalam zona HAZ, tetapi dampak panas lebih kecil

dibandingkan poin sebelumnya. Pemanasan dan pendinginan terjadi lebih lambat dibandingkan titik yang lebih dekat.

4. **Poin 4** terletak lebih jauh dari titik pengelasan dan mencapai temperatur sekitar 800°C. Meskipun masih berada di zona HAZ, pengaruh panas lebih rendah dibandingkan poin-poin sebelumnya, dengan temperatur pada *siklus thermal* yang lebih rendah dan laju pendinginan lebih lambat.

Semakin jauh dari area pengelasan, temperatur puncak yang dicapai semakin rendah dan proses pendinginan terjadi lebih lambat. Jika ditinjau dari grafik 4.1 penambahan layer sangat menguntungkan, tegangan tetap ada akan tetapi besarnya tidak lebih besar dari sebelumnya

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil dari pengujian yang telah dilakukan selama penelitian *overlay welding* pada pipa baja karbon dalam arah *longitudinal* dan *circumferential*, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. Nilai tegangan sisa terbesar yang diperoleh dari pengelasan *overlay* dalam arah *circumferential* dua layer pada pipa baja karbon 2 inch (50 mm),
- b. Dari delapan pengujian yang telah dilakukan, didapatkan hasil rata – rata tegangan sisa sebesar 152,2 MPa,
- c. Pada arah pengelasan dan jumlah layer yang sama, sedangkan diameter pipa berubah dari 2 inch (50 mm) menjadi 4 inch (100 mm) menurunkan tegangan sisa: -60,8 MPa,
- d. Pada diameter dan jumlah layer yang sama, sedangkan arah pengelasan berubah dari *longitudinal* menjadi *circumferential* menurunkan tegangan sisa: -126,8 MPa,
- e. Pada diameter dan arah pengelasan yang sama, sedangkan jumlah layer berubah dari 2 layer menjadi 4 layer menurunkan tegangan sisa: -59,3 MPa,
- f. Variabel *input* yang paling berpengaruh terhadap variabel *output* nilai tegangan sisa adalah “arah pengelasan” sebesar : -126,8,

Pengujian ini menunjukkan bahwa pipa baja karbon dengan pengelasan *circumferential* menghasilkan tegangan sisa yang lebih tinggi dibandingkan pengelasan *longitudinal*. Pipa 2 inch (50 mm) dengan 2 layer pengelasan *circumferential* mencapai hasil terbesar dengan tegangan sisa 308 MPa. Penambahan layer lebih dari dua memberikan manfaat yang signifikan dan bisa menyebabkan penurunan tegangan sisa.

B. Saran

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian ini, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

- a. Dikarenakan keterbatasan biaya dalam penelitian ini, disarankan ketika penelitian selanjutnya bisa menambahkan jumlah pass pada arah pengelasan agar perbandingan antara spesimen dengan arah pengelasan *circumferential* dan *longitudinal* lebih adil dan seimbang.
- b. Dikarenakan keterbatasan alat di B4T sehingga penelitian ini menggunakan alat manual. Sehingga penelitian selanjutnya disarankan menggunakan mesin uji tarik yang lebih modern.
- c. Kekurangan dalam penelitian ini menggunakan takikan pada arah pengelasan *circumferential* agar putus di tengah – tengah spesimen uji, sehingga dibuatkan takikan. Akan tetapi takiknya *beradius*. Maka disarankan untuk penelitian selanjutnya penggunaan takikan sesuai dengan standar berlaku. Sebaiknya ada keseimbangan penggunaan takikan antara spesimen uji tarik arah pengelasan *longitudinal* dan *circumferential*, tidak digunakan pada salah satu arah pengelasan saja. Tetapi jika menggunakan takikan, bisa diaplikasikan pada semua spesimen pengujian tarik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. J. Brookes, *Cladding Of Buildings*, 3rd ed. London: E & FN Spon, 1998. doi: 10.4324/9780203014769.
- [2] J. Yu and B. Song, “Effects Of Heating Time On The Microstructure And Properties Of An Induction Cladding Coating,” *Results Phys.*, vol. 11, no. September, pp. 212–218, 2018, doi: 10.1016/j.rinp.2018.09.010.
- [3] 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, 2019. [Online]. Available: <http://psasir.upm.edu.my/id/eprint/84367/>
- [4] H. Sunaryo, *Teknik Pengelasan Kapal*, 1st ed. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008. [Online]. Available: BSE.Mahoni.com
- [5] F. R. Indrayono, F. Rhozman, and M. M. Ilham, “Pengaruh Variasi Arus dan Bentuk Kampuh Pada Pengelasan SMAW Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Baja Paduan Rendah,” *Semin. Nas. Inov. Teknol.*, no. 1, pp. 219–224, 2018, [Online]. Available: <https://proceeding.unpkediri.ac.id/index.php/inotek/article/download/486/399>
- [6] D. Wandri, Waskito, and Purwantono, “Pengaruh Arus AC dan DC terhadap Hasil Pengelasan Pada Las Busur Listrik,” *J. Pendidik. Tek. Mesin Jur. Tek. Mesin, Fak. Tek. Univ. Negeri Padang*, 2016, [Online]. Available: <http://repository.unp.ac.id/id/eprint/15937>
- [7] J. Santoso, “Pengaruh Arus Pengelasan terhadap Kekuatan Tarik dan Ketangguhan Las SMAW Dengan Elektroda E7018,” p. 125, 2006, [Online]. Available: <https://lib.unnes.ac.id>
- [8] B. Suhermanto 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, doi: <https://doi.org/10.52234/tb.v9i2.124>.
- [9] Y. Arnas, B. Kartika, I. Endrawijaya, Z. Kurniawati, and R. Saputro, “Teknik Pengelasan Listrik Diklat Pemberdayaan Masyarakat,” *J. Pengabd. Kpd. Masy.*

- Langit Biru Politek. Penerbangan Indones. Curug*, vol. 01, pp. 41–47, 2020, [Online]. Available: <http://journal.ppicurug.ac.id/index.php/JPKM>
- [10] S. A. Jalil, A. Husna, J. Teknik, M. Politeknik, and N. Lhokseumawe, “Pengaruh variasi arus pengelasan terhadap sifat mekanik pada proses pengelasan smaw,” vol. 15, pp. 36–41, 2017.
- [11] D. Prayitno, H. D. Hutagalung, and D. P. B. Aji, “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>
- [12] Ukiman, D. Amat Pawiro, I. Nurhadi, Suwanto, and S. Yusetiyowat, “Penerapan Ipteks Las Litrik dengan Penyambungan Logam untuk Kebutuhan Rumah Tangga Bagi Remaja Putus Sekolah dan Pekerja Bangunan,” *Bangun Rekaprima*, vol. 06, no. 1, pp. 69–75, 2020, [Online]. Available: https://jurnal.polines.ac.id/index.php/bangun_rekaprima/article/download/1931/106855
- [13] F. Y. Hutaeruk, “Analisa Laju Korosi Pada Pipa Baja Karbon Dan Pipa Galvanis Dengan Metode Elektrokimia,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017. [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/id/eprint/44852>
- [14] J. Arifin, H. Purwanto, and I. Syafa’at, “Pengaruh Jenis Elektroda Terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan SMAW Baja ASTM A36,” *Momentum*, vol. 13, no. 1, pp. 27–31, 2017, doi: 10.36499/jim.v13i1.1756.
- [15] Y. Gunawan, N. Endriatno, and B. Hari Anggara, “Analisa Pengaruh Pengelasan Listrik Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah dan Baja Karbon Tinggi,” *J. Ilm. Mhs. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 1, pp. 1–12, 2017, doi: 10.55679/enthalpy.v2i2.2924.
- [16] 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]. Available: <https://journal.uny.ac.id/index.php/dynamika/issue/view/1939>
- [17] 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. 236, pp. 1852–1859, 2006, doi:
10.1016/j.nucengdes.2006.02.011.
- [18] J. Wiyoko, “Studi Korosi Batas Butir Inconel 625 Weld Overlay Clading Pada Pipa Api 5L X52 Dengan Media Larutan Ferrit (III) Sulfat 75% + Asam Sulfat 98%,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2014. [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/id/eprint/41935>
- [19] I. Hamdi, Taufiqullah, and H. Oktadinata, “Pengaruh Variasi Posisi Pengelasan Terhadap Distorsi Dan Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Baja SS400 Menggunakan Metode GMAW,” *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 1, pp. 1–10, 2020, [Online]. Available: <http://ejournal.unismabekasi.ac.id>
- [20] K. Setya Wardhana and Yunus, “Pengaruh Variasi Bentuk Kampuh dan Posisi Pengelasan Terhadap Kekuatan Bending dan Struktur Mikro pada Material Baja SS-540 dengan Proses Las MIG,” *J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 129–134, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/search/authors/view?firstName=Kresno&middleName=Setya&lastName=Wardhana&affiliation=Universitas Negeri Surabaya&country=ID>
- [21] H. Saputra, A. Syarief, and Y. Maulana, “Analisis Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik Baja ST37 Pasca Pengelasan Menggunakan Las Listrik,” *J. Ilm. Tek. Mesin Unlam*, vol. 03, no. 2, pp. 91–98, 2014, [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/38260>
- [22] G. Anggaretno, I. Rochani, and H. Supomo, “Analisa Pengaruh Jenis Elektroda terhadap Laju Korosi pada Pengelasan Pipa API 5L Grade X65 dengan Media Korosi FeCl₃,” *J. Tek. ITS*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2012, doi:
10.12962/j23373539.v1i1.1619.
- [23] R. Rinaldi, R. Usman, and A. Fathier, “Studi Eksperimental Kekuatan Tarik dan Kekerasan Pada Sambungan Pipa ASTM A 106 Grade B Dengan Pengelasan SMAW,” *J. Weld. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 36–42, 2019, doi:
<http://dx.doi.org/10.30811/jowt.v1i2.1644>.
- [24] R. Fatkur and I. M. Muslimin, “Pengaruh Jenis Elektroda Dan Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Pada Pengelasan Baja ST 41 Menggunakan Las SMAW,” *Artik. Skripsi Univ. Nisant. PGRI Kediri*, 2017, [Online]. Available: simki.unpkediri.ac.id

- [25] I. Sihombing, Ian Niko, U. Budiarno, F. Zakki, Ahmad, and L. Pengelasan, “Pengaruh Posisi Pengelasan dan Bentuk Kampuh Terhadap Kekuatan Tarik dan Mikrografi Sambungan Las Metal Inert Gas (MIG) Pada Aluminium 6061 Sebagai Bahan Material Kapal,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 4, pp. 303–312, 2019, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval> ISSN
- [26] F. B. Susetyo, Syaripuddin, and S. Hutomo, “Studi Karakteristik Hasil Pengelasan MIG Pada Material Aluminium 5083,” *J. Mech.*, vol. 4, no. 2, pp. 11–19, 2013, [Online]. Available: <http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/mech/article/download/154/148>

LAMPIRAN

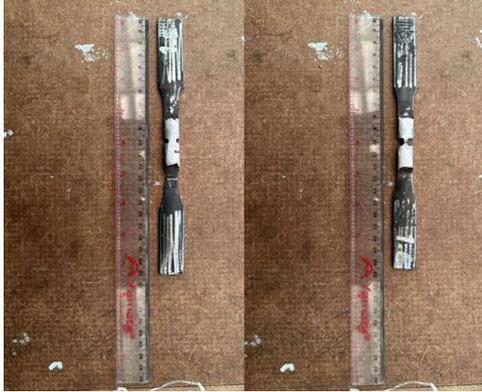
Lampiran 1. Proses Pengelasan

No	Gambar	Keterangan
1		Persiapan pipa – pipa baja <i>schedule</i> 40 untuk proses pengelasan
2		Proses pengelasan.
3		Pengecekan keluaran tegangan dan arus pada proses pengelasan menggunakan tang ampere.

4		<p>Pengecekan suhu setelah pengelasan menggunakan <i>thermometer gun</i>.</p>
5		<p>Pengecekan ukuran hasil lasan menggunakan jangka sorong.</p>
6	 <p>2" circumferential 2 layer 4" circumferential 2 layer 2" longitudinal 2 layer 4" longitudinal 2 layer</p> <p>2" circumferential 4 layer 4" circumferential 4 layer 2" longitudinal 4 layer 4" longitudinal 4 layer</p>	<p>Hasil pengelasan pada pipa baja karbon <i>schedule 40</i> dengan menggunakan arah pengelasan circumferential dan longitudinal pada pipa 2 inch (50 mm) dan 4 (100 mm).</p>

Lampiran 2. Proses Pembuatan Spesimen

No	Gambar	Keterangan
1		<p>Pada gambar disamping menampakkan sedang dilakukannya proses pembubutan.</p>
2		<p>Hasil proses pembubutan pada semua pipa yang telah di las.</p>
3		<p>Selanjutnya proses pemotongan pada setiap pipa.</p>

4		<p>Setelah itu, spesimen yang sudah di potong akan masuk pada proses <i>milling</i> untuk pembuatan <i>gauge length</i>.</p>
5		<p>Foto spesimen uji tarik.</p>

Lampiran 3. Proses Pengujian Tarik

No	Gambar	Keterangan
1		<p>Proses pemasangan spesimen ke penyekam <i>gauge</i> pada mesin pengujian tarik.</p>

Lampiran 4. Sertifikat Welder & Sertifikat Pipa

No	Gambar	Keterangan																																																																														
1	 <p>INDONESIAN WELDING SOCIETY - AUTHORISED NOMINATED BODY IWS ANB (IWS - ANB)</p> <p>Welder's Qualification Test Certificate</p> <p>Welder's / Welding operator's Name : Riki Pediana Komrudin Certificate reference No. : 8517.J.243-TW-C438 Date and place of birth : Bandung / 31 May 1991 Employer : PT. FORTUNA DUA PUTRI Method of identification : Identity Card</p> <p>Test Description WPS reference No. : 001/WPS-AWS D1.1/FDP2021 <input checked="" type="checkbox"/> Test Coupon <input type="checkbox"/> Production work</p> <p>Test Standard : AWS D1.1, 2020 Edition</p> <p>Base Metal</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Product Item</th> <th>Specification</th> <th>P No.</th> <th>Gr. No.</th> <th>Sub</th> <th>Thk. (mm)</th> <th>Thk. (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pipe</td> <td>ASTM A 106 GR B</td> <td>-</td> <td>1</td> <td>-</td> <td>219.1</td> <td>12.7</td> </tr> <tr> <td>Welded to</td> <td>Pipe</td> <td>ASTM A 106 GR B</td> <td>-</td> <td>1</td> <td>219.1</td> <td>21.81</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Variables</th> <th>Actual Values</th> <th>Range of Qualification</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Welding process(es)</td> <td>SMAW</td> <td>SMAW</td> </tr> <tr> <td>Type (i.e., manual, semi-automatic) and backing (with/with out)</td> <td>Manual</td> <td>Manual</td> </tr> <tr> <td>Product type</td> <td>With out</td> <td>With or With out</td> </tr> <tr> <td>Product type</td> <td>Pipe - Single Bevel</td> <td>Plate/Pipe Groove & Fillet Weld</td> </tr> <tr> <td>Base Metal Group No.</td> <td>Group 1</td> <td>ALL Group No. 1</td> </tr> <tr> <td>AWS Filler metal or electrode classification(s)</td> <td>E 7016 & E 7018</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Electrode Classification Groups</td> <td>F4</td> <td>F1 - F4</td> </tr> <tr> <td>Filler metal diameter (mm)</td> <td>1.2</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Thickness (mm)</td> <td>12.7</td> <td>5 to Unlimited</td> </tr> <tr> <td></td> <td>12.7</td> <td>5 to Unlimited</td> </tr> <tr> <td>Diameter (mm)</td> <td>219.1</td> <td>100 to Unlimited</td> </tr> <tr> <td>Position(s)</td> <td>6G</td> <td>ALL except T, E, Y < 30° groove angle</td> </tr> <tr> <td>Vertical progression (uphill or downhill)</td> <td>Uphill</td> <td>Uphill</td> </tr> <tr> <td>Shielding Gas Used</td> <td>NA</td> <td>NA</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Type of qualification test</th> <th>Acceptance Criteria</th> <th>Result</th> <th>Comments</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Visual testing</td> <td>6.18.1</td> <td>Accepted</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Radiographic testing</td> <td>6.23.2</td> <td>Accepted</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Welding supervised by : Hary Setiawan Radiography test conducted by : PT. Laksana Prima Radiograph test No : 001/RTLP/DP/21/21</p> <p>We, the undersigned, certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of Clause 6 of AWS D1.1/D1.1M:2020 Structural Welding Code—Steel.</p> <p>Name of examiner or examining body : Bandung, 8 December 2021 Date of welding : 29 November 2021 Qualification valid until : 29 November 2024</p> <p>IWS ANB Indonesian Welding Society - Authorised Nominated Body IWS = Not applicable</p>	Product Item	Specification	P No.	Gr. No.	Sub	Thk. (mm)	Thk. (mm)	Pipe	ASTM A 106 GR B	-	1	-	219.1	12.7	Welded to	Pipe	ASTM A 106 GR B	-	1	219.1	21.81	Variables	Actual Values	Range of Qualification	Welding process(es)	SMAW	SMAW	Type (i.e., manual, semi-automatic) and backing (with/with out)	Manual	Manual	Product type	With out	With or With out	Product type	Pipe - Single Bevel	Plate/Pipe Groove & Fillet Weld	Base Metal Group No.	Group 1	ALL Group No. 1	AWS Filler metal or electrode classification(s)	E 7016 & E 7018	-	Electrode Classification Groups	F4	F1 - F4	Filler metal diameter (mm)	1.2	-	Thickness (mm)	12.7	5 to Unlimited		12.7	5 to Unlimited	Diameter (mm)	219.1	100 to Unlimited	Position(s)	6G	ALL except T, E, Y < 30° groove angle	Vertical progression (uphill or downhill)	Uphill	Uphill	Shielding Gas Used	NA	NA	Type of qualification test	Acceptance Criteria	Result	Comments	Visual testing	6.18.1	Accepted		Radiographic testing	6.23.2	Accepted		<p>Sertifikat welder pada penelitian ini.</p>
Product Item	Specification	P No.	Gr. No.	Sub	Thk. (mm)	Thk. (mm)																																																																										
Pipe	ASTM A 106 GR B	-	1	-	219.1	12.7																																																																										
Welded to	Pipe	ASTM A 106 GR B	-	1	219.1	21.81																																																																										
Variables	Actual Values	Range of Qualification																																																																														
Welding process(es)	SMAW	SMAW																																																																														
Type (i.e., manual, semi-automatic) and backing (with/with out)	Manual	Manual																																																																														
Product type	With out	With or With out																																																																														
Product type	Pipe - Single Bevel	Plate/Pipe Groove & Fillet Weld																																																																														
Base Metal Group No.	Group 1	ALL Group No. 1																																																																														
AWS Filler metal or electrode classification(s)	E 7016 & E 7018	-																																																																														
Electrode Classification Groups	F4	F1 - F4																																																																														
Filler metal diameter (mm)	1.2	-																																																																														
Thickness (mm)	12.7	5 to Unlimited																																																																														
	12.7	5 to Unlimited																																																																														
Diameter (mm)	219.1	100 to Unlimited																																																																														
Position(s)	6G	ALL except T, E, Y < 30° groove angle																																																																														
Vertical progression (uphill or downhill)	Uphill	Uphill																																																																														
Shielding Gas Used	NA	NA																																																																														
Type of qualification test	Acceptance Criteria	Result	Comments																																																																													
Visual testing	6.18.1	Accepted																																																																														
Radiographic testing	6.23.2	Accepted																																																																														



SUMITOMO METAL INDUSTRIES, LTD.
WAKAYAMA STEEL WORKS
1850, KENATSU, WAKAYAMA, JAPAN

INSPECTION CERTIFICATE

CERTIFICATE NO.: WYK6692 PAGE: 1 DATE: 2007-10-16

CUSTOMER : PT. PARADISE PERKASA
ORDER NO. :
SHIPPER : SUMIKIN EDSSAN CORPORATION 056 118 HCJ7488 7P170492717
COMMODITY : SEAMLESS HOT FINISHED CARBON STEEL PIPE WITH BEVELED ENDS
STANDARD : API 5L GR. X42 PSL 1 / API 5L GR. B PSL 1 ASTM A106-06 / ASME 2004(A06) SA-106 GR. B
ASTM A53M-06 / ASME 2004(A06) SA-53M GR. B

MILL WORK NO. : WYK6692 O. D. : 168.3mm W. T. : 7.11mm LENGTH : 6000mm QUANTITY : 24pcs. MASS : 17712kg

HEAT NO. PRODUCTS PCS.
J7LA300 24

HEAT TREATMENT : AS ROLLED

CHEMICAL COMPOSITION(S)

	#1	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	Ti	V	Nb	B	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11 L-LABLE ANALYSIS			
																								#1	#2	P: PRODUCT ANALYSIS	
SPEC. MIN.	L	-	10	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	#2: X1000	#3: X10000	OTHER: X100
MAX.	L	23	-	106	30	30	40	40	40	15	4	8	-	-	100	3	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MIN.	P	-	10	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MAX.	P	23	-	106	30	30	40	40	40	15	4	8	-	-	100	3	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
HEAT NO.																											
J7LA300	L	20	21	103	12	6	2	4	2	0	0	0	0	8	2	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	#4: Cu+Ni+Cr+Mo+V	
	P	20	21	105	14	5	2	4	2	0	0	0	0	8	-	8	1	1	1	1	1	1	1	1	#5: Nb+V+Ti		
	P	20	21	104	13	5	2	4	2	0	0	0	0	8	-	8	1	1	1	1	1	1	1	1	#6: C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Cu+Ni)/15		
SPEC. MIN.	L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MAX.	L	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MIN.	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MAX.	P	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
HEAT NO.																											
J7LA300	L	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	P	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	P	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

TENSILE TEST

	#1	#2	#3	YS	TS	EL	%	TYPE OF SPECIMEN
SPEC. MIN.	L	B	M	290	M	415	29	STRIP 36.1mm WIDTH
MAX.	L	B	M	-	M	-	-	GAUGE LENGTH
MIN.	L	B	M	-	M	-	-	50.8mm
MAX.	L	B	M	-	M	-	-	KIND OF YS
HEAT NO.								0.5% EXTENSION
J7LA300	L	B	M	339	M	518	44	UNDER LOAD
								#1 DIRECTION
								L: LONGITUDINAL
								#2 SAMPLING POSITION
								B: BASE METAL
								#3 UNIT
								M: MPa

WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL HEREIN DESCRIBED HAS BEEN MANUFACTURED, SAMPLED, TESTED, AND INSPECTED IN ACCORDANCE WITH ABOVE STANDARD AND SPECIFICATION AND SATISFIES THE REQUIREMENTS.

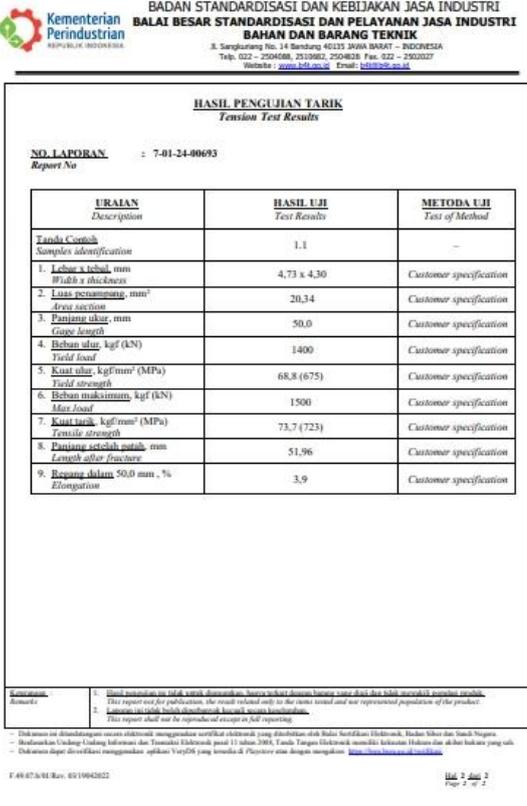
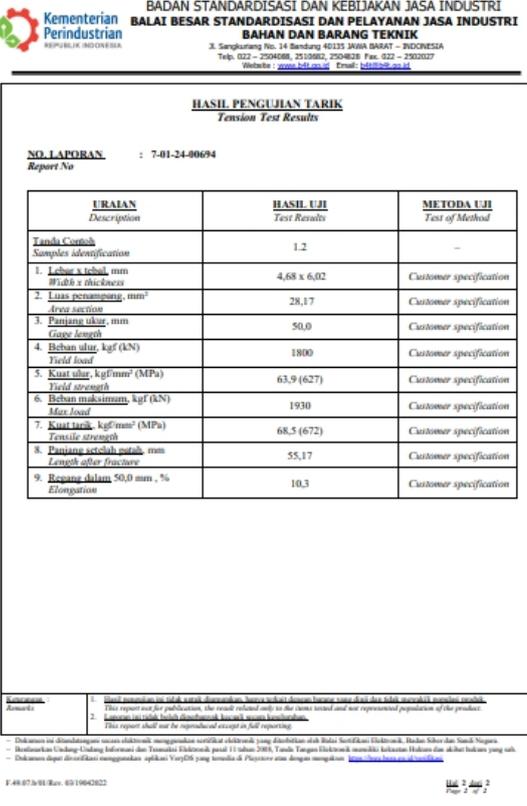
Y. Komoto

MANAGER, QUALITY ASSURANCE SECTION

2

Sertifikat pipa yang digunakan dalam penelitian.

Lampiran 5. Data Hasil Pengujian Tarik Dari B4T

No	Gambar	Keterangan																																	
1	 <p>BADAN STANDARDISASI DAN KEBIJAKAN JASA INDUSTRI BALAI BESAR STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI BAHAN DAN BARANG TEKNIK Jl. Sempurung No. 14 Bandung 40132 JAWA BARAT – INDONESIA Telp. 022 – 2504588, 2513882, 2508028 Fax. 022 – 2502027 Website : www.bki.go.id Email : kbki@bki.go.id</p> <p>HASIL PENGUJIAN TARIK <i>Tension Test Results</i></p> <p>NO. LAPORAN : 7-01-24-00693 <i>Report No</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>URAIAN <i>Description</i></th> <th>HASIL UJI <i>Test Results</i></th> <th>METODA UJI <i>Test of Method</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tanda Contoh <i>Sample identification</i></td> <td>1.1</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>1. Lebar x tebal, mm <i>Width x thickness</i></td> <td>4,73 x 4,30</td> <td><i>Customer specification</i></td> </tr> <tr> <td>2. Luas penampang, mm² <i>Area section</i></td> <td>20,34</td> <td><i>Customer specification</i></td> </tr> <tr> <td>3. Panjang ukur, mm <i>Gage length</i></td> <td>50,0</td> <td><i>Customer specification</i></td> </tr> <tr> <td>4. Beban ulur, kgf (kN) <i>Yield load</i></td> <td>1400</td> <td><i>Customer specification</i></td> </tr> <tr> <td>5. Kuat ulur, kgf/mm² (MPa) <i>Yield strength</i></td> <td>68,8 (675)</td> <td><i>Customer specification</i></td> </tr> <tr> <td>6. Beban maksimum, kgf (kN) <i>Max load</i></td> <td>1500</td> <td><i>Customer specification</i></td> </tr> <tr> <td>7. Kuat tarik, kgf/mm² (MPa) <i>Tensile strength</i></td> <td>73,7 (723)</td> <td><i>Customer specification</i></td> </tr> <tr> <td>8. Panjang setelah putus, mm <i>Length after fracture</i></td> <td>51,96</td> <td><i>Customer specification</i></td> </tr> <tr> <td>9. Regang dalam 50,0 mm, % <i>Elongation</i></td> <td>3,9</td> <td><i>Customer specification</i></td> </tr> </tbody> </table> <p>Keterangan: <i>Remarks:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> Hasil pengujian ini tidak dapat digunakan sebagai acuan hukum karena yang harus dilakukan adalah pengujian sendiri. Laporan ini tidak boleh dipublikasikan kembali tanpa persetujuan. <p><small>Diketahui dan disetujui dengan secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan oleh Badan Sertifikasi Elektronik, Badan Siber dan Sandi Negara. – Berdasarkan Undang-Undang Informasi dan Transaksi Elektronik pasal 11 tahun 2008, Tanda Tangan Elektronik memiliki kekuatan Hukum dan akurasi hukum yang sah. – Dokumen digital diterbitkan menggunakan aplikasi VeriSign yang tersedia di Playstore atau dengan mengunjungi www.bkpr.go.id/verisign.</small></p> <p>F.48.873/81 Rev. 03/1964/2022 Hal. 2 dari 2 Page 2 of 2</p>	URAIAN <i>Description</i>	HASIL UJI <i>Test Results</i>	METODA UJI <i>Test of Method</i>	Tanda Contoh <i>Sample identification</i>	1.1	–	1. Lebar x tebal, mm <i>Width x thickness</i>	4,73 x 4,30	<i>Customer specification</i>	2. Luas penampang, mm ² <i>Area section</i>	20,34	<i>Customer specification</i>	3. Panjang ukur, mm <i>Gage length</i>	50,0	<i>Customer specification</i>	4. Beban ulur, kgf (kN) <i>Yield load</i>	1400	<i>Customer specification</i>	5. Kuat ulur, kgf/mm ² (MPa) <i>Yield strength</i>	68,8 (675)	<i>Customer specification</i>	6. Beban maksimum, kgf (kN) <i>Max load</i>	1500	<i>Customer specification</i>	7. Kuat tarik, kgf/mm ² (MPa) <i>Tensile strength</i>	73,7 (723)	<i>Customer specification</i>	8. Panjang setelah putus, mm <i>Length after fracture</i>	51,96	<i>Customer specification</i>	9. Regang dalam 50,0 mm, % <i>Elongation</i>	3,9	<i>Customer specification</i>	<p>Hasil pengujian tarik berdasarkan laporan nomor 7.041.34-00693 yang diterbitkan oleh Badan Standardisasi dan Kebijakan Jasa Industri. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanda identifikasi contoh uji adalah 1.1 atau spesimen kesatu.</p>
URAIAN <i>Description</i>	HASIL UJI <i>Test Results</i>	METODA UJI <i>Test of Method</i>																																	
Tanda Contoh <i>Sample identification</i>	1.1	–																																	
1. Lebar x tebal, mm <i>Width x thickness</i>	4,73 x 4,30	<i>Customer specification</i>																																	
2. Luas penampang, mm ² <i>Area section</i>	20,34	<i>Customer specification</i>																																	
3. Panjang ukur, mm <i>Gage length</i>	50,0	<i>Customer specification</i>																																	
4. Beban ulur, kgf (kN) <i>Yield load</i>	1400	<i>Customer specification</i>																																	
5. Kuat ulur, kgf/mm ² (MPa) <i>Yield strength</i>	68,8 (675)	<i>Customer specification</i>																																	
6. Beban maksimum, kgf (kN) <i>Max load</i>	1500	<i>Customer specification</i>																																	
7. Kuat tarik, kgf/mm ² (MPa) <i>Tensile strength</i>	73,7 (723)	<i>Customer specification</i>																																	
8. Panjang setelah putus, mm <i>Length after fracture</i>	51,96	<i>Customer specification</i>																																	
9. Regang dalam 50,0 mm, % <i>Elongation</i>	3,9	<i>Customer specification</i>																																	
2	 <p>BADAN STANDARDISASI DAN KEBIJAKAN JASA INDUSTRI BALAI BESAR STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI BAHAN DAN BARANG TEKNIK Jl. Sempurung No. 14 Bandung 40132 JAWA BARAT – INDONESIA Telp. 022 – 2504588, 2513882, 2508028 Fax. 022 – 2502027 Website : www.bki.go.id Email : kbki@bki.go.id</p> <p>HASIL PENGUJIAN TARIK <i>Tension Test Results</i></p> <p>NO. LAPORAN : 7-01-24-00694 <i>Report No</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>URAIAN <i>Description</i></th> <th>HASIL UJI <i>Test Results</i></th> <th>METODA UJI <i>Test of Method</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tanda Contoh <i>Sample identification</i></td> <td>1.2</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>1. Lebar x tebal, mm <i>Width x thickness</i></td> <td>4,68 x 6,02</td> <td><i>Customer specification</i></td> </tr> <tr> <td>2. Luas penampang, mm² <i>Area section</i></td> <td>28,17</td> <td><i>Customer specification</i></td> </tr> <tr> <td>3. Panjang ukur, mm <i>Gage length</i></td> <td>50,0</td> <td><i>Customer specification</i></td> </tr> <tr> <td>4. Beban ulur, kgf (kN) <i>Yield load</i></td> <td>1800</td> <td><i>Customer specification</i></td> </tr> <tr> <td>5. Kuat ulur, kgf/mm² (MPa) <i>Yield strength</i></td> <td>63,9 (627)</td> <td><i>Customer specification</i></td> </tr> <tr> <td>6. Beban maksimum, kgf (kN) <i>Max load</i></td> <td>1930</td> <td><i>Customer specification</i></td> </tr> <tr> <td>7. Kuat tarik, kgf/mm² (MPa) <i>Tensile strength</i></td> <td>68,5 (672)</td> <td><i>Customer specification</i></td> </tr> <tr> <td>8. Panjang setelah putus, mm <i>Length after fracture</i></td> <td>55,17</td> <td><i>Customer specification</i></td> </tr> <tr> <td>9. Regang dalam 50,0 mm, % <i>Elongation</i></td> <td>10,3</td> <td><i>Customer specification</i></td> </tr> </tbody> </table> <p>Keterangan: <i>Remarks:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> Hasil pengujian ini tidak dapat digunakan sebagai acuan hukum karena yang harus dilakukan adalah pengujian sendiri. Laporan ini tidak boleh dipublikasikan kembali tanpa persetujuan. <p><small>Diketahui dan disetujui dengan secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan oleh Badan Sertifikasi Elektronik, Badan Siber dan Sandi Negara. – Berdasarkan Undang-Undang Informasi dan Transaksi Elektronik pasal 11 tahun 2008, Tanda Tangan Elektronik memiliki kekuatan Hukum dan akurasi hukum yang sah. – Dokumen digital diterbitkan menggunakan aplikasi VeriSign yang tersedia di Playstore atau dengan mengunjungi www.bkpr.go.id/verisign.</small></p> <p>F.48.873/81 Rev. 03/1964/2022 Hal. 2 dari 2 Page 2 of 2</p>	URAIAN <i>Description</i>	HASIL UJI <i>Test Results</i>	METODA UJI <i>Test of Method</i>	Tanda Contoh <i>Sample identification</i>	1.2	–	1. Lebar x tebal, mm <i>Width x thickness</i>	4,68 x 6,02	<i>Customer specification</i>	2. Luas penampang, mm ² <i>Area section</i>	28,17	<i>Customer specification</i>	3. Panjang ukur, mm <i>Gage length</i>	50,0	<i>Customer specification</i>	4. Beban ulur, kgf (kN) <i>Yield load</i>	1800	<i>Customer specification</i>	5. Kuat ulur, kgf/mm ² (MPa) <i>Yield strength</i>	63,9 (627)	<i>Customer specification</i>	6. Beban maksimum, kgf (kN) <i>Max load</i>	1930	<i>Customer specification</i>	7. Kuat tarik, kgf/mm ² (MPa) <i>Tensile strength</i>	68,5 (672)	<i>Customer specification</i>	8. Panjang setelah putus, mm <i>Length after fracture</i>	55,17	<i>Customer specification</i>	9. Regang dalam 50,0 mm, % <i>Elongation</i>	10,3	<i>Customer specification</i>	<p>Hasil pengujian tarik berdasarkan laporan nomor 7.041.34-00694 yang diterbitkan oleh Badan Standardisasi dan Kebijakan Jasa Industri. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanda identifikasi contoh uji adalah 1.2 atau spesimen kedua.</p>
URAIAN <i>Description</i>	HASIL UJI <i>Test Results</i>	METODA UJI <i>Test of Method</i>																																	
Tanda Contoh <i>Sample identification</i>	1.2	–																																	
1. Lebar x tebal, mm <i>Width x thickness</i>	4,68 x 6,02	<i>Customer specification</i>																																	
2. Luas penampang, mm ² <i>Area section</i>	28,17	<i>Customer specification</i>																																	
3. Panjang ukur, mm <i>Gage length</i>	50,0	<i>Customer specification</i>																																	
4. Beban ulur, kgf (kN) <i>Yield load</i>	1800	<i>Customer specification</i>																																	
5. Kuat ulur, kgf/mm ² (MPa) <i>Yield strength</i>	63,9 (627)	<i>Customer specification</i>																																	
6. Beban maksimum, kgf (kN) <i>Max load</i>	1930	<i>Customer specification</i>																																	
7. Kuat tarik, kgf/mm ² (MPa) <i>Tensile strength</i>	68,5 (672)	<i>Customer specification</i>																																	
8. Panjang setelah putus, mm <i>Length after fracture</i>	55,17	<i>Customer specification</i>																																	
9. Regang dalam 50,0 mm, % <i>Elongation</i>	10,3	<i>Customer specification</i>																																	

3

BADAN STANDARDISASI DAN KEBIJAKAN JASA INDUSTRI
BALAI BESAR STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI
BAHAN DAN BARANG TEKNIK
 J. Sangkulirang No. 14 Bandung 40133 JAWA BARAT – INDONESIA
 Telp. 022 – 2504088, 2510682, 2504828 Fax. 022 – 2502027
 Website : www.bki.go.id Email : bki@bki.go.id

HASIL PENGUJIAN TARIK
Tension Test Results

NO. LAPORAN : 7-01-24-00695
Report No

URAIAN Description	HASIL UJI Test Results	METODA UJI Test of Method
Tanda Contoh Samples identification	1.3	–
1. Lebar x tebal, mm Width x thickness	12,44 x 6,45	ASTM E8/E8M:2021
2. Luas penampang, mm ² Area section	80,24	ASTM E8/E8M:2021
3. Panjang ukur, mm Gage length	50,0	ASTM E8/E8M:2021
4. Beban alir, kgf (kN) Yield load	3500	ASTM E8/E8M:2021
5. Kuat alir, kgf/mm ² (MPa) Yield strength	43,6 (427)	ASTM E8/E8M:2021
6. Beban maksimum, kgf (kN) Max Load	4500	ASTM E8/E8M:2021
7. Kuat tarik, kgf/mm ² (MPa) Tensile strength	56,1 (550)	ASTM E8/E8M:2021
8. Panjang setelah patah, mm Length after fracture	64,31	ASTM E8/E8M:2021
9. Regang dalam 50,0 mm, % Elongation	28,62	ASTM E8/E8M:2021

Remarks:
 1. Hasil pengujian ini tidak akan dipublikasikan, hanya untuk digunakan sebagai data yang tidak mewakili populasi statistik.
 This report not for publication, the result related only to the items tested and not represented population of the product.
 2. Laporan ini tidak boleh dipublikasikan kepada siapa pun.
 This report shall not be reproduced except in full reporting.

Dokumen ini disediakan secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan oleh Badan Sertifikasi Elektronik, Badan Siber dan Sandi Negara.
 Dokumen ini tidak memiliki kekuatan hukum dan administratif.
 Dokumen dapat diverifikasi menggunakan aplikasi VeriSign yang tersedia di Playstore atau dengan mengunjungi www.bki.go.id/verifikasi.

F.48.073/01/Rev. 03/19042022 Hal. 2 dari 2
Page 2 of 2

Hasil pengujian tarik berdasarkan laporan nomor 7.041.34-00695 yang diterbitkan oleh Badan Standardisasi dan Kebijakan Jasa Industri. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanda identifikasi contoh uji adalah 1.3 atau spesimen ketiga.

4

BADAN STANDARDISASI DAN KEBIJAKAN JASA INDUSTRI
BALAI BESAR STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI
BAHAN DAN BARANG TEKNIK
 J. Sangkulirang No. 14 Bandung 40133 JAWA BARAT – INDONESIA
 Telp. 022 – 2504088, 2510682, 2504828 Fax. 022 – 2502027
 Website : www.bki.go.id Email : bki@bki.go.id

HASIL PENGUJIAN TARIK
Tension Test Results

NO. LAPORAN : 7-01-24-00696
Report No

URAIAN Description	HASIL UJI Test Results	METODA UJI Test of Method
Tanda Contoh Samples identification	1.4	–
1. Lebar x tebal, mm Width x thickness	12,65 x 5,95	ASTM E8/E8M:2021
2. Luas penampang, mm ² Area section	75,27	ASTM E8/E8M:2021
3. Panjang ukur, mm Gage length	50,0	ASTM E8/E8M:2021
4. Beban alir, kgf (kN) Yield load	2850	ASTM E8/E8M:2021
5. Kuat alir, kgf/mm ² (MPa) Yield strength	37,9 (371)	ASTM E8/E8M:2021
6. Beban maksimum, kgf (kN) Max Load	3550	ASTM E8/E8M:2021
7. Kuat tarik, kgf/mm ² (MPa) Tensile strength	47,2 (462)	ASTM E8/E8M:2021
8. Panjang setelah patah, mm Length after fracture	64,03	ASTM E8/E8M:2021
9. Regang dalam 50,0 mm, % Elongation	28,06	ASTM E8/E8M:2021

Remarks:
 1. Hasil pengujian ini tidak akan dipublikasikan, hanya untuk digunakan sebagai data yang tidak mewakili populasi statistik.
 This report not for publication, the result related only to the items tested and not represented population of the product.
 2. Laporan ini tidak boleh dipublikasikan kepada siapa pun.
 This report shall not be reproduced except in full reporting.

Dokumen ini disediakan secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan oleh Badan Sertifikasi Elektronik, Badan Siber dan Sandi Negara.
 Dokumen ini tidak memiliki kekuatan hukum dan administratif.
 Dokumen dapat diverifikasi menggunakan aplikasi VeriSign yang tersedia di Playstore atau dengan mengunjungi www.bki.go.id/verifikasi.

F.48.073/01/Rev. 03/19042022 Hal. 2 dari 2
Page 2 of 2

Hasil pengujian tarik berdasarkan laporan nomor 7.041.34-00696 yang diterbitkan oleh Badan Standardisasi dan Kebijakan Jasa Industri. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanda identifikasi contoh uji adalah 1.2 atau spesimen keempat.

5

BADAN STANDARDISASI DAN KEBIJAKAN JASA INDUSTRI
BALAI BESAR STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI
BAHAN DAN BARANG TEKNIK
Jl. Satepalang No. 14 Bandung 40132 JAWA BARAT – INDONESIA
 Telp. 022 – 2504088, 2503982, 2504828 Fax. 022 – 2502027
 Website : www.bsn.go.id Email: bsn@bsn.go.id

HASIL PENGUJIAN TARIK
Tension Test Results

NO. LAPORAN : 7-01-24-00697
Report No

URAIAN <i>Description</i>	HASIL UJI <i>Test Results</i>	METODA UJI <i>Test of Method</i>
Tanda Contoh <i>Samples identification</i>	1.5	–
1. Lebar x tebal, mm <i>Width x thickness</i>	6,39 x 8,14	<i>Customer specification</i>
2. Luas penampang, mm ² <i>Area section</i>	52,01	<i>Customer specification</i>
3. Panjang ukur, mm <i>Gage length</i>	50,0	<i>Customer specification</i>
4. Beban ulah, kgf (kN) <i>Yield load</i>	2150	<i>Customer specification</i>
5. Kuat ulah, kgf/mm ² (MPa) <i>Yield strength</i>	41,3 (405)	<i>Customer specification</i>
6. Beban maksimum, kgf (kN) <i>Max load</i>	3000	<i>Customer specification</i>
7. Kuat tarik, kgf/mm ² (MPa) <i>Tensile strength</i>	57,7 (566)	<i>Customer specification</i>
8. Panjang setelah putus, mm <i>Length after fracture</i>	55,74	<i>Customer specification</i>
9. Regang dalam 50,0 mm, % <i>Elongation</i>	11,5	<i>Customer specification</i>

Keputusan:
 Remark: 1. Hasil pengujian ini tidak bersifat definitif, karena hanya didasarkan hanya pada data yang disajikan, sehingga tidak dapat digunakan untuk tujuan lain.
 This report not for publication, the result related only to the items tested and not represented population of the product.
 2. Laporan ini tidak boleh diperjualbelikan kembali kepada pihak lain.
 This report shall not be reproduced except in full reporting.

- Dokumen ini disediakan secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan oleh Badan Sertifikasi Elektronik, Badan Siber dan Sandi Negara
 - Berdasarkan Undang-Undang Informasi dan Transaksi Elektronik pasal 11 tahun 2008, Tanda Tangan Elektronik memiliki kekuatan hukum dan akibat hukum yang sah.
 - Dokumen dapat diverifikasi menggunakan aplikasi VeriSign yang tersedia di Playstore atau dengan mengunjungi <http://www.bsn.go.id/verifikasi>

F.49.073/01 Rev. 02/19042022 Hal. 2 dari 2
Page 2 of 2

Hasil pengujian tarik berdasarkan laporan nomor 7.041.34-00697 yang diterbitkan oleh Badan Standardisasi dan Kebijakan Jasa Industri. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanda identifikasi contoh uji adalah 1.5 atau spesimen kelima.

6

BADAN STANDARDISASI DAN KEBIJAKAN JASA INDUSTRI
BALAI BESAR STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI
BAHAN DAN BARANG TEKNIK
Jl. Satepalang No. 14 Bandung 40132 JAWA BARAT – INDONESIA
 Telp. 022 – 2504088, 2503982, 2504828 Fax. 022 – 2502027
 Website : www.bsn.go.id Email: bsn@bsn.go.id

HASIL PENGUJIAN TARIK
Tension Test Results

NO. LAPORAN : 7-01-24-00698
Report No

URAIAN <i>Description</i>	HASIL UJI <i>Test Results</i>	METODA UJI <i>Test of Method</i>
Tanda Contoh <i>Samples identification</i>	1.6	–
1. Lebar x tebal, mm <i>Width x thickness</i>	4,20 x 11,29	<i>Customer specification</i>
2. Luas penampang, mm ² <i>Area section</i>	47,42	<i>Customer specification</i>
3. Panjang ukur, mm <i>Gage length</i>	50,0	<i>Customer specification</i>
4. Beban ulah, kgf (kN) <i>Yield load</i>	2700	<i>Customer specification</i>
5. Kuat ulah, kgf/mm ² (MPa) <i>Yield strength</i>	56,9 (559)	<i>Customer specification</i>
6. Beban maksimum, kgf (kN) <i>Max load</i>	2700	<i>Customer specification</i>
7. Kuat tarik, kgf/mm ² (MPa) <i>Tensile strength</i>	56,9 (559)	<i>Customer specification</i>
8. Panjang setelah putus, mm <i>Length after fracture</i>	54,64	<i>Customer specification</i>
9. Regang dalam 50,0 mm, % <i>Elongation</i>	9,3	<i>Customer specification</i>

Keputusan:
 Remark: 1. Hasil pengujian ini tidak bersifat definitif, karena hanya didasarkan hanya pada data yang disajikan, sehingga tidak dapat digunakan untuk tujuan lain.
 This report not for publication, the result related only to the items tested and not represented population of the product.
 2. Laporan ini tidak boleh diperjualbelikan kembali kepada pihak lain.
 This report shall not be reproduced except in full reporting.

- Dokumen ini disediakan secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan oleh Badan Sertifikasi Elektronik, Badan Siber dan Sandi Negara
 - Berdasarkan Undang-Undang Informasi dan Transaksi Elektronik pasal 11 tahun 2008, Tanda Tangan Elektronik memiliki kekuatan hukum dan akibat hukum yang sah.
 - Dokumen dapat diverifikasi menggunakan aplikasi VeriSign yang tersedia di Playstore atau dengan mengunjungi <http://www.bsn.go.id/verifikasi>

F.49.073/01 Rev. 02/19042022 Hal. 2 dari 2
Page 2 of 2

Hasil pengujian tarik berdasarkan laporan nomor 7.041.34-00698 yang diterbitkan oleh Badan Standardisasi dan Kebijakan Jasa Industri. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanda identifikasi contoh uji adalah 1.6 atau spesimen keenam.

7



HASIL PENGUJIAN TARIK
Tension Test Results

NO. LAPORAN : 7-01-24-00699
Report No

URAIAN Description	HASIL UJI Test Results	METODA UJI Test of Method
Tanda Contoh Samples identification	1.7	-
1. Lebar x tebal, mm Width x thickness	12,57 x 8,11	ASTM E8/E8M:2021
2. Luas penampang, mm ² Area section	101,94	ASTM E8/E8M:2021
3. Panjang ukur, mm Gage length	50,0	ASTM E8/E8M:2021
4. Beban ulur, kgf (kN) Tensile load	4500	ASTM E8/E8M:2021
5. Kuat ulur, kgf/mm ² (MPa) Tensile strength	44,1 (433)	ASTM E8/E8M:2021
6. Beban maksimum, kgf (kN) Max load	5700	ASTM E8/E8M:2021
7. Kuat tarik, kgf/mm ² (MPa) Tensile strength	55,9 (548)	ASTM E8/E8M:2021
8. Panjang setelah putus, mm Length after fracture	64,34	ASTM E8/E8M:2021
9. Regang dalam 50,0 mm, % Elongation	28,7	ASTM E8/E8M:2021

Peringatan: 1. Hasil pengujian ini tidak dapat dipertanggungjawabkan secara hukum karena menggunakan alat, standar, prosedur dan metode yang tidak diakui secara nasional.
Remarks: 2. Laporan ini tidak boleh dipublikasikan kecuali dengan persetujuan.

- Dokumen ini dikembangkan secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan oleh Badan Sertifikasi Elektronik, Badan Siber dan Sandi Negara
 - Dokumen Undang-Undang Informasi dan Transaksi Elektronik pasal 11 tahun 2008, Tanda Tangan Elektronik memiliki kekuatan hukum dan akibat hukum yang sah.
 - Dokumen dapat diverifikasi menggunakan aplikasi VeriSign yang tersedia di Playstore atau dengan mengunjungi <http://www.verisign.com/indonesia>

Hasil pengujian tarik berdasarkan laporan nomor 7.041.34-00699 yang diterbitkan oleh Badan Standardisasi dan Kebijakan Jasa Industri. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanda identifikasi contoh uji adalah 1.7 atau spesimen ketujuh.

8



HASIL PENGUJIAN TARIK
Tension Test Results

NO. LAPORAN : 7-01-24-00700
Report No

URAIAN Description	HASIL UJI Test Results	METODA UJI Test of Method
Tanda Contoh Samples identification	1.8	-
1. Lebar x tebal, mm Width x thickness	12,71 x 12,22	ASTM E8/E8M:2021
2. Luas penampang, mm ² Area section	155,32	ASTM E8/E8M:2021
3. Panjang ukur, mm Gage length	50,0	ASTM E8/E8M:2021
4. Beban ulur, kgf (kN) Tensile load	6100	ASTM E8/E8M:2021
5. Kuat ulur, kgf/mm ² (MPa) Tensile strength	39,3 (385)	ASTM E8/E8M:2021
6. Beban maksimum, kgf (kN) Max load	7500	ASTM E8/E8M:2021
7. Kuat tarik, kgf/mm ² (MPa) Tensile strength	48,3 (474)	ASTM E8/E8M:2021
8. Panjang setelah putus, mm Length after fracture	67,27	ASTM E8/E8M:2021
9. Regang dalam 50,0 mm, % Elongation	34,5	ASTM E8/E8M:2021

Peringatan: 1. Hasil pengujian ini tidak dapat dipertanggungjawabkan secara hukum karena menggunakan alat, standar, prosedur dan metode yang tidak diakui secara nasional.
Remarks: 2. Laporan ini tidak boleh dipublikasikan kecuali dengan persetujuan.

- Dokumen ini dikembangkan secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan oleh Badan Sertifikasi Elektronik, Badan Siber dan Sandi Negara
 - Dokumen Undang-Undang Informasi dan Transaksi Elektronik pasal 11 tahun 2008, Tanda Tangan Elektronik memiliki kekuatan hukum dan akibat hukum yang sah.
 - Dokumen dapat diverifikasi menggunakan aplikasi VeriSign yang tersedia di Playstore atau dengan mengunjungi <http://www.verisign.com/indonesia>

Hasil pengujian tarik berdasarkan laporan nomor 7.041.34-00700 yang diterbitkan oleh Badan Standardisasi dan Kebijakan Jasa Industri. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanda identifikasi contoh uji adalah 1.8 atau spesimen kedelapan.