

**Pengaruh Variasi Jumlah Layer Las Smaw
Material Aisi 1045 Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro**
*The Effect of Variation in Number of Smaw Weld Layers of Aisi 1045 Material on Tensile
Strength and Micro Structures*

Fani Andyasmara Mashuda¹⁾, Kosjoko²⁾Nely Ana Mufarida³⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: faniandvas@gmail.com

²⁾Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: kosjoko@unmuhjember.ac.id

³⁾Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: nelyana@unmuhjember.ac.id

*)Corresponding author: nelyana@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Teknologi pengelasan memiliki peran penting dalam industri manufaktur, terutama dalam menciptakan konstruksi berkualitas tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah layer pada proses pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) terhadap sifat mekanik baja AISI 1045, termasuk kekuatan tarik dan struktur mikro. Penelitian dilakukan menggunakan elektroda E6013 dengan diameter 2,6 mm pada arus 70 A, dengan variasi jumlah layer sebanyak 3, 4, dan 5 layer. Metode yang digunakan melibatkan uji tarik dan pengamatan struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengelasan dengan 3 layer menghasilkan kekuatan tarik tertinggi dengan nilai maksimum 480,39 MPa, sedangkan 4 layer dan 5 layer menunjukkan nilai maksimum masing-masing 470,03 MPa dan 475,15 MPa. Struktur mikro menunjukkan butiran kasar pada 3 layer, butiran lebih halus pada 4 layer, dan distribusi butiran yang sangat halus dan seragam pada 5 layer. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa peningkatan jumlah layer pengelasan meningkatkan homogenitas struktur mikro namun tidak selalu meningkatkan kekuatan tarik maksimum. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan lebih lanjut mengenai optimasi proses pengelasan pada baja AISI 1045 untuk aplikasi industri yang memerlukan kekuatan mekanik tinggi dan ketahanan struktural.

Kata Kunci : Pengelasan, Shielded Metal Arc Welding (SMAW), Baja AISI 1045, Kekuatan Tarik, Struktur Mikro, Elektroda E6013, Variasi Jumlah Layer.

Abstract

Welding technology has an important role in the manufacturing industry, especially in creating high-quality construction. This study aims to analyze the effect of variation in the number of layers in the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) process on the mechanical properties of AISI 1045 steel, including tensile strength and microstructure. The research was conducted using E6013 electrodes with a diameter of 2.6 mm at a current of 70 A, with variations in the number of layers of 3, 4, and 5 layers. The results showed that welding with 3 layers produced the highest tensile strength with a maximum value of 480.39 MPa, while 4 layers and 5 layers showed maximum values of 470.03 MPa and 475.15 MPa, respectively. The microstructure shows coarse grains in 3 layers, finer grains in 4 layers, and very fine and uniform grain distribution in 5 layers. The conclusion of this research is that increasing the number of welding layers increases the homogeneity of the microstructure but does not necessarily increase the maximum tensile strength. This research is expected to provide further insight into the optimization of the welding process on AISI 1045 steel for industrial applications that require high mechanical strength and structural resistance.

Keywords : Welding, Shielded Metal Arc Welding (SMAW), AISI 1045 Steel, Tensile Strength, Microstructure, E6013 Electrode, Number of Layer Variation.

1. PENDAHULUAN

Teknologi pengelasan memiliki peran krusial dalam dunia manufaktur. Untuk menciptakan konstruksi yang berkualitas, diperlukan teknik pengelasan yang efektif dalam menggabungkan material logam. Saat ini, pengelasan semakin banyak digunakan dalam proses pembuatan konstruksi karena menawarkan berbagai keuntungan, seperti pengurangan berat bangunan atau mesin dan kesederhanaan dalam proses pembuatannya, sehingga lebih ekonomis secara keseluruhan. Pengelasan adalah proses penyambungan dua atau lebih logam dalam keadaan cair atau lumer yang, setelah membeku, membentuk sambungan melalui ikatan kimia yang dihasilkan oleh energi panas. Proses ini menyebabkan siklus termal pada logam di sekitarnya, yang menghasilkan perubahan metalurgi, deformasi, dan tegangan termal (Wafda, 2018).

Salah satu metode pengelasan yang umum digunakan di industri adalah Shielded Metal Arc Welding (SMAW), juga dikenal sebagai pengelasan busur listrik dengan elektroda terlindung. Pada proses SMAW, elektroda yang dilapisi bahan pelindung digunakan untuk menyambungkan material logam. Busur listrik yang terbentuk antara ujung elektroda dan permukaan kerja menghasilkan panas yang tinggi sehingga menyebabkan elektroda dan permukaan kerja meleleh. Material logam yang meleleh ini kemudian membentuk sambungan saat mendingin dan membeku. (Hristo Anggigi, 2019).

Baja AISI 1045 adalah jenis baja karbon sedang yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Dengan kandungan karbon sekitar 0,45%, baja ini memiliki sifat mekanik yang baik, seperti kekuatan tarik dan kekerasan yang tinggi. Baja AISI 1045 juga unggul dalam kemampuan pengelasan dan pemesinan, menjadikannya pilihan dalam pembuatan peralatan seperti pisau, gergaji, dan alat potong lainnya. Setelah diproses perlakuan panas atau pemesinan, baja ini memiliki kekerasan yang cukup tinggi untuk memberikan keawetan dan ketahanan dalam penggunaan sehari-hari (Hamdani, 2019).

Salah satu tantangan dalam pengelasan multi-layer pada material logam adalah mengetahui pengaruh perbedaan jumlah layer dalam proses tersebut. Beberapa faktor yang perlu diperhatikan meliputi tebal material dan penggunaannya. Dalam pengelasan multi-layer, layer kedua memberikan efek postheat pada layer sebelumnya dan preheat pada layer berikutnya. Pengelasan multi-layer juga dapat memberikan efek tempering pada daerah HAZ (*Heat-Affected Zone*) akibat panas dari layer berikutnya. Efek preheat dan tempering ini dapat mempengaruhi struktur mikro dan kekerasan pada hasil las (Winardi, 2020).

Penelitian sebelumnya oleh Audio Duana Putra menunjukkan peningkatan kekuatan tarik dan struktur mikro pada sambungan las SMAW dengan variasi jumlah layer, yaitu 3 layer dan 2 layer, pada material SA 36. Penelitian ini menunjukkan bahwa spesimen dengan 3 layer memiliki tegangan tarik lebih besar yaitu 47.2 kgf/mm² dibandingkan dengan spesimen 2 layer yang sebesar 41.548 kgf/mm². Spesimen 3 layer juga memiliki nilai kekerasan lebih rendah dari spesimen 2 layer, dengan nilai kekerasan masing-masing 84.96 HRB dan 85.11 HRB. Lebar HAZ pada spesimen 3 layer lebih besar dibandingkan 2 layer (PUTRA, 2018).

Berdasarkan latar belakang ini, penelitian ini akan menganalisis material baja AISI 1045 yang umum digunakan dalam pembuatan konstruksi bangunan berbahan logam. Metode yang akan digunakan adalah pengelasan SMAW dengan variasi jumlah layer, yaitu 3 layer, 4 layer, dan 5 layer, menggunakan elektroda E6013 Tujuannya adalah untuk mengetahui perbedaan sifat mekanik, seperti kekerasan dan keuletan, pada material.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengelasan

Pengelasan adalah proses penyambungan dua atau lebih bahan dengan memanaskan permukaan hingga mencair, dengan atau tanpa logam pengisi, serta dengan atau tanpa tekanan. Dalam definisi ini, terdapat tiga kata kunci : mencairkan logam, logam pengisi, dan tekanan. Proses penyambungan logam ini banyak digunakan di industri, terutama untuk

pekerjaan konstruksi, pembuatan mesin, peralatan pabrik, konstruksi perpipaan, serta berbagai pekerjaan lain yang memerlukan sambungan (Razik, 2018).

Selain pengelasan, ada juga proses penyambungan lain yang sudah dikenal lama, yaitu Brazing dan Soldering. Perbedaan utama antara kedua proses ini dengan pengelasan adalah pada Brazing dan Soldering, logam induk tidak dicairkan, hanya logam pengisinya saja yang mencair. Perbedaan antara Brazing dan Soldering terletak pada titik cair logam pengisinya. Brazing biasanya dilakukan pada suhu antara 450°C – 900°C, sedangkan Soldering menggunakan logam pengisi dengan titik cair di bawah 450°C (PUTRA, 2018).

Pengelasan merupakan salah satu metode penyambungan yang banyak digunakan dalam konstruksi bangunan baja dan mesin. Teknologi pengelasan tidak hanya digunakan untuk menyambung dan memotong logam, tetapi juga untuk mengisi lubang pada coran, membuat lapisan keras pada perkakas, mempertebal bagian yang sudah aus, serta berbagai jenis reparasi lainnya (Fata, 2020).

Dalam pengelasan, terdapat dua jenis pengisian logam pengisi, yaitu single layer dan multi layer (Sunaryo, 2008).

1. **Single layer**

adalah pengisian logam pengisi yang dilakukan hanya sekali. Metode ini sering digunakan untuk pelat tipis.

2. **Multi layer**

adalah pengisian logam pengisi yang dilakukan berulang kali pada material yang memiliki ketebalan tertentu sehingga tidak memungkinkan dilakukan pengelasan satu lapis. Pengelasan multi layer sering digunakan untuk konstruksi yang membutuhkan sambungan dengan keuletan tinggi. Pada pengelasan multi layer, lapisan kedua memberikan efek postheat pada lapisan sebelumnya dan preheat pada lapisan berikutnya. Pengelasan multi layer juga memberikan efek tempering pada daerah HAZ (Heat-Affected Zone) karena panas dari lapisan berikutnya. Efek preheat dan tempering ini mempengaruhi struktur mikro dan kekerasan hasil las. Preheat diperlukan

untuk mencegah terbentuknya martensit yang bersifat getas pada daerah HAZ dan memperlambat laju pendinginan pada logam las dan logam dasar sehingga menghasilkan struktur logam yang lebih ulet dan tahan retak. Sedangkan postheat diperlukan untuk memperbaiki struktur HAZ karena martensit dapat terbentuk di HAZ, sehingga diperlukan postheat untuk mencegah pembentukan martensit. Dengan kata lain, pada pengelasan multi layer tidak terbentuk martensit

B. Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), juga dikenal sebagai las busur listrik dengan elektroda terbungkus, adalah salah satu metode pengelasan yang paling umum digunakan dalam industri konstruksi dan manufaktur. Proses pengelasan SMAW melibatkan penggunaan elektroda yang dilapisi untuk menyambungkan material logam. Proses pengelasan SMAW dimulai dengan memasukkan elektroda yang dilapisi ke dalam holder elektroda. Elektroda terdiri dari inti logam yang berfungsi sebagai bahan pengisi dan menghasilkan logam cair saat terkena panas, serta lapisan pelindung yang terbuat dari bahan kimia yang berfungsi melindungi daerah pengelasan dari pengaruh udara dan oksidasi (Izzaty, 2019)

Pengelasan SMAW cocok digunakan untuk menyambung berbagai jenis logam, termasuk baja karbon rendah dan sedang, baja tahan karat, dan bahkan logam paduan. Kelebihan dari pengelasan SMAW adalah keandalannya dan kemampuan untuk digunakan dalam kondisi kerja yang sulit, seperti di luar ruangan atau di lingkungan yang terbatas. Namun, pengelasan SMAW juga memiliki beberapa kelemahan, seperti kecepatan pengelasan yang relatif lambat dan tingkat produktivitas yang lebih rendah dibandingkan dengan beberapa metode pengelasan lainnya. Selain itu, permukaan sambungan las SMAW biasanya memerlukan pengupasan atau pemotongan agar menjadi rata dan siap untuk aplikasi tertentu (Hristo Anggigi, 2019).

Secara keseluruhan, pengelasan SMAW adalah metode pengelasan yang umum digunakan dalam industri konstruksi dan manufaktur. Proses pengelasan ini melibatkan penggunaan elektroda terbungkus untuk menyambungkan material logam dengan menghasilkan panas tinggi melalui busur listrik. Meskipun memiliki kelemahan tertentu, pengelasan SMAW tetap menjadi pilihan yang populer karena keandalannya dan kemampuannya untuk digunakan dalam berbagai kondisi kerja.



Gambar 1. Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding)
Sumber : dok.2023

C. Plat Baja AISI 1045

Baja AISI 1045 adalah jenis baja karbon sedang yang memiliki komposisi kimia yang ditentukan oleh standar AISI (American Iron and Steel Institute). Baja AISI 1045 memiliki kandungan karbon sekitar 0,45% dengan rentang antara 0,4% hingga 0,45%. Selain karbon, komposisi kimia baja ini juga mencakup kandungan silikon (Si) sekitar 0,1-0,3%, mangan (Mn) sekitar 0,6-0,9%, dan unsur lain seperti molibdenum (Mo) sekitar 0,025% (Winardi, 2020).

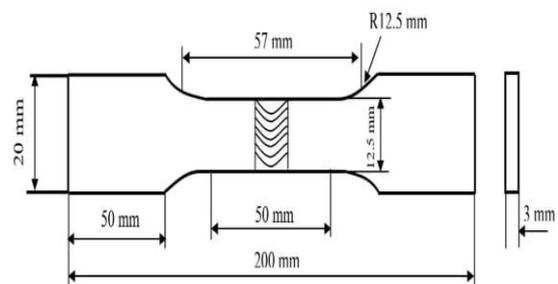
Kandungan fosfor (P) dalam baja AISI 1045 terbatas maksimum sebesar 0,04%, sementara kandungan belerang (S) terbatas maksimum sebesar 0,05%. Batasan ini ditetapkan untuk menjaga kualitas dan kekuatan baja dalam penggunaannya. Baja AISI 1045 umumnya digunakan dalam

aplikasi yang membutuhkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi, seperti poros, gigi, baut, dan komponen mesin lainnya. Baja ini memiliki sifat mekanik yang baik setelah mengalami perlakuan panas dan pengerasan, yang dapat memberikan kekuatan yang diperlukan untuk aplikasi tersebut. Selain itu, baja AISI 1045 juga dapat diolah dengan baik, baik dalam pengelasan maupun pembentukan. Namun, perlu diingat bahwa dalam pengelasan baja AISI 1045 dengan logam lain, perbedaan titik lebur, koefisien muai, sifat fisis, dan mekanis dari kedua logam lain.

3. METODE

A. Metode Penelitian

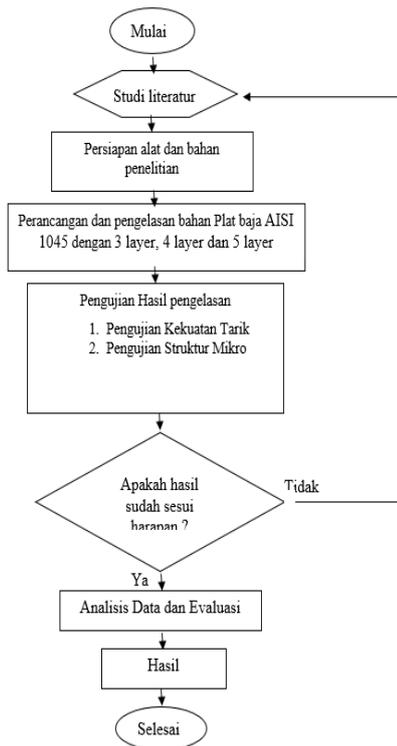
Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk menginvestigasi teknik pengelasan dan dampaknya pada material seperti baja AISI 1045 dengan elektroda E6013. Metode eksperimental ini memungkinkan untuk melakukan pengamatan langsung terhadap hasil pengelasan dan menganalisis sifat-sifat material setelah proses pengelasan dilakukan.



Gambar 2. Skema pengujian tarik standar ASTM E8
Sumber : ASTM. 2015.

B. Tahap Perancangan Penelitian

Tahap perancangan penelitian merupakan langkah awal yang penting dalam menjalankan penelitian. Pada tahap ini, perencanaan dan pengorganisasian penelitian dilakukan dengan seksama untuk memastikan keberhasilan dan kevalidan hasil penelitian. Berikut adalah poin-poin yang perlu diperhatikan dalam tahap perancangan penelitian:



Gambar 3. Diagram Alir
 Sumber : Arsip Penelitian

Setelah tahap perancangan selesai, Anda dapat melanjutkan dengan tahap pembuatan spesimen dan pengujian sesuai dengan rencana yang telah dirancang. Pastikan untuk melakukan pencatatan yang akurat selama proses eksperimen dan analisis hasil secara teliti untuk mendapatkan kesimpulan yang valid.

C. Alat dan Bahan

Dalam penelitian tentang variasi jumlah layer pada sambungan las SMAW dengan spesifikasi yang telah disebutkan sebelumnya, berikut adalah contoh alat dan bahan yang dapat digunakan:

1. Alat:

- A. Mesin Las SMAW: Digunakan untuk melakukan proses pengelasan dengan elektroda.
- B. Elektroda Holder: Berfungsi untuk menggenggam dan mengatur posisi elektroda selama pengelasan.
- C. Sikat baja: Digunakan untuk membersihkan permukaan material sebelum pengelasan.

- D. Alat Pemotong atau Alat Gerinda: Digunakan untuk membentuk groove pada permukaan material.
- E. Mikrometer atau Penggaris: Digunakan untuk mengukur dimensi dan ketebalan material yang akan dilas.
- F. Helm Pengaman: Melindungi mata dan wajah operator dari percikan api dan radiasi UV selama pengelasan.
- G. Sarung Tangan Pengaman: Melindungi tangan dari panas dan percikan api.
- H. Kacamata Pelindung: Melindungi mata dari sinar UV dan percikan api.

2. Bahan:

1. Baja AISI 1045 dengan ketebalan 10 mm: Digunakan sebagai material yang akan dilas untuk membuat spesimen pengujian.
2. Elektroda Tipe dengan diameter 2,6 mm : Digunakan sebagai logam pengisi dalam pengelasan SMAW.
3. Elektroda E6013 ber diameter 2,6 mm
4. Slag Remover: Digunakan untuk membersihkan sisa-sisa slag setelah pengelasan.
5. Peralatan Pembersih: Misalnya, bahan pembersih kimia, lap, atau spons untuk membersihkan dan menghaluskan permukaan spesimen.

D. Prosedur Pengelasan

Dalam penyusunan WPS dengan variasi jumlah layer 3, 4 dan 5 Layer untuk sambungan las SMAW pada baja AISI 1045 dengan spesifikasi yang telah disebutkan, berikut adalah penjelasan mengenai variabel-variabel yang digunakan:

1. Bahan: Baja yang digunakan adalah baja AISI 1045 dengan ketebalan 10 mm. Ini menentukan karakteristik material yang akan dilas, termasuk komposisi kimianya dan kekuatan yang diharapkan dari sambungan las.
2. Elektroda: Dalam kasus ini, elektroda yang digunakan adalah tipe E6013 dengan diameter 2,6 mm. Pemilihan elektroda didasarkan pada sifat mekanis yang diinginkan, kompatibilitas dengan bahan yang dilas, dan karakteristik pengelasan yang diharapkan.
3. Arus yang digunakan adalah 70A. Arus yang tepat harus ditentukan untuk

mencapai penetrasi yang memadai, distribusi panas yang baik, dan sifat mekanis yang diinginkan pada sambungan las.

4. Jumlah Layer: Dalam WPS ini, variasi jumlah layer yang digunakan adalah layer 3, 4 dan 5 Layer . Jumlah layer ini akan mempengaruhi penetrasi, kekuatan, dan distorsi yang terjadi pada sambungan las. Penentuan jumlah layer yang tepat harus mempertimbangkan ketebalan material dan persyaratan kualitas sambungan las.
5. Sudut Pengelasan: Sudut pengelasan yang digunakan adalah 60° sesuai dengan standar ASME. Sudut ini menentukan bentuk groove pada sambungan las, yang mempengaruhi penetrasi dan bentuk akhir dari sambungan las.
6. Model Groove: Model groove yang digunakan adalah V groove dengan sudut 60° sesuai standar ASME. Bentuk groove ini akan mempengaruhi penetrasi dan distribusi panas pada sambungan las.

Dalam penyusunan WPS, semua variabel ini harus dijelaskan dengan jelas dan terstruktur. WPS juga harus mencakup informasi tentang prosedur persiapan permukaan, urutan pengelasan, teknik pemantulan panas, dan metode pengujian kualitas sambungan las. Selain itu, perlu diingat bahwa penyusunan WPS ini harus dilakukan berdasarkan pedoman dan standar yang berlaku, seperti standar ASME atau AWS (American Welding Society). Juga, perlu dilakukan pengujian dan evaluasi terhadap sambungan las dengan variasi jumlah layer 3, 4 dan 5 Layer untuk membandingkan kualitas dan kekuatan sambungan las yang dihasilkan.

E. Tahap Pengujian

1. Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro adalah proses untuk mempelajari tata letak dan karakteristik butir-butir, fase-fase, dan fitur-fitur struktural lainnya pada tingkat mikroskopis dalam material. Pengujian struktur mikro memberikan informasi penting tentang struktur material, termasuk ukuran butir, bentuk butir, orientasi butir, distribusi fase, keberadaan retakan, dan banyak lagi.

Tujuan dari pengujian struktur mikro adalah untuk memahami hubungan antara struktur mikro dengan sifat-sifat mekanis, termal, dan fisis material. Informasi ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan proses manufaktur, mengidentifikasi cacat atau kelemahan dalam material, memprediksi perilaku material di bawah beban, dan mendapatkan wawasan yang lebih baik tentang struktur dan sifat material secara keseluruhan. Berikut adalah beberapa metode umum yang digunakan dalam pengujian struktur mikro:

1. Mikroskopi Optik: Metode ini melibatkan penggunaan mikroskop optik untuk memeriksa dan menganalisis struktur mikro material. Dalam pengujian ini, spesimen yang diinginkan diamati dengan menggunakan mikroskop optik, dan struktur mikro yang terlihat dapat diperbesar untuk analisis lebih lanjut. Metode ini memungkinkan pengamatan langsung butir-butir, fase-fase, dan fitur-fitur struktural lainnya.
2. Mikroskopi Elektron: Metode ini menggunakan mikroskop elektron untuk memeriksa struktur mikro pada skala yang lebih kecil dan dengan resolusi yang lebih tinggi. Ada dua jenis utama mikroskopi elektron: mikroskopi elektron transmisi (TEM) dan mikroskopi elektron pemindai (SEM). Dalam TEM, elektron melalui spesimen yang sangat tipis untuk menghasilkan gambar struktur mikro yang sangat terperinci. Dalam SEM, elektron dipindai ke permukaan spesimen untuk menghasilkan gambar yang sangat tajam dan terperinci.
3. Difraksi Sinar-X: Metode ini menggunakan sinar-X untuk menganalisis struktur kristal dan fase pada tingkat atomik. Dalam pengujian ini, sinar-X ditembakkan ke spesimen, dan pola difraksi yang dihasilkan digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal, orientasi butir, dan keberadaan fase-fase tertentu dalam material.
4. Pengujian Mikrohardness: Metode ini digunakan untuk mengukur kekerasan mikro pada tingkat butir material. Dalam

pengujian ini, tekanan diberikan pada permukaan spesimen menggunakan indenter kecil, dan kekerasan mikro diukur berdasarkan lebar cetakan yang dihasilkan. Metode ini memberikan informasi tentang kekerasan dan keuletan pada tingkat butir mikro.

- Analisis Mikrostruktur: Metode ini melibatkan analisis komposisi kimia dan struktur mikro material menggunakan teknik seperti spektroskopi energi dispersif (EDS), analisis termal, analisis spektrometri massa, dan lain-lain. Metode ini digunakan untuk mempelajari komposisi kimia material, distribusi fase, dan transformasi fase pada tingkat mikroskopis.

F. Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian tarik didasarkan pada prinsip-prinsip mekanika material dan dilakukan untuk mengukur respons material terhadap beban tarik. Beban tarik diterapkan pada spesimen dalam bentuk gaya yang berlawanan dan sejajar dengan sumbu panjang spesimen. Saat beban tarik diterapkan, spesimen akan mengalami deformasi yang menghasilkan perubahan panjang dan tegangan dalam material. Berikut adalah konsep dasar yang terlibat dalam pengujian tarik secara teoritis:

- Tegangan (Stress)
- Regangan (Strain)
- Kurva Tegangan-Regangan (Stress-Strain Curve)
- Kekuatan Tarik Maksimum
- Batas Elastis (Yield Strength)
- Kekuatan Luluh (Proof Strength)
- Perpanjangan (Elongation)
- Ketangguhan (Toughness)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengelasan

Dibawah ini pada gambar 4.2 adalah pengelasan plat baja AISI 1045 di las *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) yang memiliki tebal 10 mm dengan sudut 60 derajat variasi 3 layer, 4 layer, 5 layer. Arus yang digunakan pada pengelasan ini menggunakan arus 70 A dengan elektroda pengisi berdiameter 2,6mm.



Gambar 4. Hasil Pengelasan

Sumber : dok. 2024

B. Hasil Kekuatan Tarik (*Stress*)

Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Jember. Parameter tegangan tarik dapat digunakan untuk memahami ketahanan tarik dari sambungan material uji. Hasil pengujian tarik yang dijalankan oleh penulis memberikan landasan untuk hal ini, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

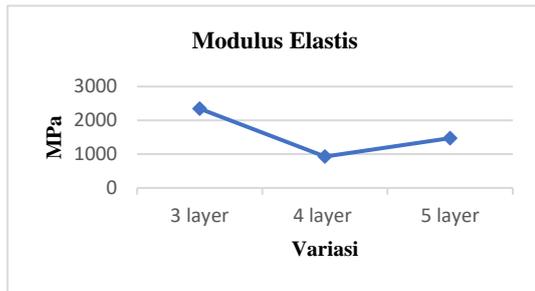
Tabel 1. Nilai Uji Kekuatan Tarik

Parameter	3 Layer	4 Layer	5 Layer
Area Penampang (mm ²)	86.650	122.98	103.49
Modulus Elastis (MPa)	2959.0	1319.2	1239.2
Offset Proof Stress (N)	20910	-1329.1	8898.6
Titik Hasil Atas (MPa)	480.39	470.03	457.49
Elongasi Titik Hasil (%GL)	0.0709	0.1412	1.4834
Tegangan Maksimum (MPa)	480.39	470.03	457.49
Elongasi Titik Patah (%GL)	9.0831	21.413	16.472

Sumber : Arsip peneliti

C. Modulus Elastis Pengelasan Besi Baja AISI 1045 dengan Variasi Layer

Modulus elastis adalah ukuran kekakuan material dan menunjukkan seberapa tahan material terhadap deformasi elastis ketika dikenai beban. Berikut adalah data modulus elastis untuk masing-masing jumlah layer dalam pengelasan besi baja AISI 1045:



Gambar 5. Diagram Modulus Elastis
Sumber : Arsip peneliti

Dari data tersebut, dapat dilihat bahwa kekakuan material berkurang seiring dengan penambahan jumlah layer, meskipun variasi 5 layer menunjukkan peningkatan kekakuan dibandingkan dengan 4 layer. Berikut adalah pembahasan yang membandingkan hasil pengelasan 3, 4, dan 5 layer pada besi baja AISI 1045.

Pengelasan dengan 3 layer menunjukkan modulus elastis tertinggi, yaitu rata-rata sebesar 2343.5 MPa. Kekakuan tinggi ini menunjukkan bahwa material lebih tahan terhadap deformasi elastis di bawah beban. Hal ini menjadikan 3 layer sebagai pilihan yang baik untuk aplikasi yang membutuhkan stabilitas bentuk yang tinggi dan resistansi terhadap deformasi elastis. Dengan kekakuan yang tinggi, material cenderung mempertahankan bentuk aslinya lebih baik ketika dikenai beban, yang penting untuk struktur yang memerlukan presisi dan stabilitas.

Pada pengelasan dengan 4 layer, modulus elastis menurun drastis menjadi rata-rata sebesar 927.96 MPa. Penurunan kekakuan ini menunjukkan bahwa material menjadi lebih mudah mengalami deformasi elastis di bawah beban. Hal ini mungkin disebabkan oleh

faktor-faktor seperti distribusi tegangan yang tidak merata atau adanya cacat mikro dalam sambungan las. Dengan kekakuan yang lebih rendah, sambungan 4 layer mungkin kurang cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kekakuan tinggi dan resistansi terhadap deformasi elastis.

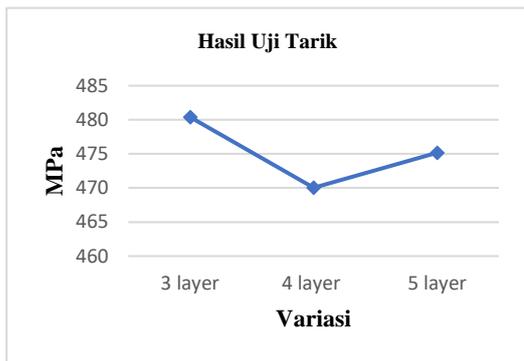
Pengelasan dengan 5 layer menunjukkan peningkatan modulus elastis menjadi rata-rata sebesar 1471.3 MPa, yang lebih tinggi dibandingkan dengan 4 layer tetapi masih lebih rendah dibandingkan dengan 3 layer. Peningkatan ini menunjukkan bahwa dengan penambahan layer hingga 5, kekakuan material dapat ditingkatkan kembali meskipun tidak mencapai kekakuan yang ditunjukkan oleh 3 layer. Kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan 4 layer membuat variasi 5 layer lebih cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kekakuan sedang dan resistansi terhadap deformasi elastis yang lebih baik daripada 4 layer.

Pengelasan dengan 3 layer memberikan kekakuan tertinggi pada besi baja AISI 1045, menjadikannya pilihan yang optimal untuk aplikasi yang membutuhkan stabilitas bentuk dan resistansi terhadap deformasi elastis. Sementara itu, pengelasan dengan 4 layer menunjukkan penurunan signifikan dalam kekakuan, yang dapat membatasi penggunaannya pada aplikasi yang membutuhkan kekakuan tinggi.

Pengelasan dengan 5 layer menawarkan peningkatan kekakuan dibandingkan dengan 4 layer, tetapi masih di bawah kekakuan yang ditunjukkan oleh 3 layer, membuatnya cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kekakuan sedang. Pengujian lebih lanjut diperlukan untuk mengkonfirmasi pengaruh spesifik dari setiap variasi layer terhadap sifat mekanik lainnya, seperti kekuatan tarik dan kapasitas menahan beban.

D. Titik Hasil Pengelasan Besi Baja AISI 1045 dengan Variasi Layer

Titik hasil atas adalah parameter penting yang menunjukkan kekuatan tarik maksimum material sebelum deformasi permanen terjadi. Berikut adalah data hasil pengujian titik hasil atas untuk pengelasan besi baja AISI 1045:



Gambar 6. Diagram Nilai Tarik
Sumber : Arsip peneliti

Dari data tersebut, terlihat bahwa pengelasan dengan 3 layer memiliki rentang titik hasil atas yang lebih luas dan nilai maksimum yang lebih tinggi, menunjukkan kekuatan tarik yang lebih baik dibandingkan dengan 4 dan 5 layer. Berikut adalah pembahasan lebih detail mengenai hasil pengelasan 3, 4, dan 5 layer pada besi baja AISI 1045.

Pengelasan dengan 3 layer menunjukkan titik hasil atas yang bervariasi dari 318.05 MPa hingga 480.39 MPa. Variasi ini mungkin disebabkan oleh faktor-faktor seperti teknik pengelasan, kondisi material, dan distribusi tegangan selama pengelasan. Namun, nilai maksimum 480.39 MPa menunjukkan bahwa material memiliki kekuatan tarik yang sangat baik, yang berarti material mampu menahan beban tarik yang tinggi sebelum mengalami deformasi permanen. Hal ini menjadikan 3 layer sebagai pilihan yang baik untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan tarik tinggi.

Pada pengelasan dengan 4 layer, titik hasil atas berada dalam rentang yang lebih sempit, yaitu dari 440.21 MPa hingga 470.03 MPa. Meskipun rentang ini lebih sempit dibandingkan dengan 3 layer, nilai-nilai ini masih menunjukkan kekuatan tarik yang baik. Namun, karena tidak mencapai nilai maksimum yang ditemukan pada 3 layer, 4 layer mungkin kurang optimal dalam aplikasi yang membutuhkan kekuatan tarik maksimum, tetapi tetap menawarkan kekuatan tarik yang cukup andal dan konsisten.

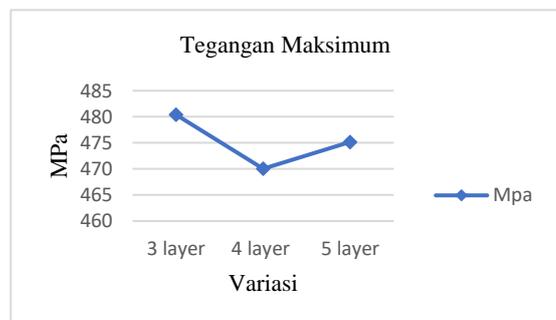
Pengelasan dengan 5 layer menunjukkan titik hasil atas dalam rentang 434.33 MPa

hingga 475.15 MPa. Nilai-nilai ini sedikit lebih rendah dibandingkan dengan 4 layer tetapi masih menunjukkan kekuatan tarik yang baik. Pengelasan dengan 5 layer memberikan hasil yang cukup konsisten, dengan nilai yang mendekati 4 layer, meskipun tidak mencapai kekuatan maksimum yang ditemukan pada 3 layer. Ini menunjukkan bahwa 5 layer dapat menjadi pilihan yang baik untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan tarik yang andal, dengan sedikit variasi dalam kualitas pengelasan.

Pengelasan dengan 3 layer menunjukkan titik hasil atas tertinggi dengan rentang yang luas, menunjukkan bahwa material memiliki kekuatan tarik yang sangat baik dan mampu menahan beban tarik yang tinggi sebelum mengalami deformasi permanen. Pengelasan dengan 4 dan 5 layer menunjukkan kekuatan tarik yang cukup andal dan konsisten, meskipun tidak mencapai nilai maksimum yang ditemukan pada 3 layer. Untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan tarik maksimum, pengelasan dengan 3 layer mungkin menjadi pilihan terbaik. Namun, 4 dan 5 layer masih menawarkan kekuatan tarik yang baik dan dapat digunakan dalam aplikasi yang memerlukan kekuatan tarik yang andal dengan sedikit variasi dalam kualitas pengelasan.

E. Tegangan Maksimum Pengelasan Besi Baja AISI 1045 Variasi Layer

Tegangan maksimum adalah parameter yang menunjukkan kekuatan maksimum yang dapat ditahan oleh material sebelum mengalami kegagalan atau patah. Berikut adalah data hasil pengujian tegangan maksimum untuk pengelasan besi baja AISI 1045:



Gambar 7. Diagram Tegangan maksimum
Sumber : Arsip peneliti

Dari data tersebut, dapat dilihat bahwa pengelasan dengan 3 layer memiliki rentang tegangan maksimum yang lebih luas dan nilai maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan 4 dan 5 layer. Berikut adalah pembahasan lebih detail mengenai hasil pengelasan 3, 4, dan 5 layer pada besi baja AISI 1045.

Pengelasan dengan 3 layer menunjukkan tegangan maksimum yang bervariasi dari 318.05 MPa hingga 480.39 MPa. Variasi ini mungkin disebabkan oleh faktor-faktor seperti teknik pengelasan, kondisi material, dan distribusi tegangan selama pengelasan. Nilai maksimum 480.39 MPa menunjukkan bahwa material mampu menahan tegangan yang sangat tinggi sebelum mengalami kegagalan, yang merupakan indikasi positif dari kekuatan dan integritas sambungan las. Hal ini menjadikan 3 layer sebagai pilihan yang baik untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan maksimum yang tinggi.

Pada pengelasan dengan 4 layer, tegangan maksimum berada dalam rentang yang lebih sempit, yaitu dari 440.21 MPa hingga 470.03 MPa. Rentang ini lebih sempit dibandingkan dengan 3 layer, tetapi nilai-nilai tersebut masih menunjukkan kekuatan maksimum yang baik. Namun, karena tidak mencapai nilai maksimum yang ditemukan pada 3 layer, 4 layer mungkin kurang optimal dalam aplikasi yang membutuhkan kekuatan maksimum yang sangat tinggi. Namun, nilai-nilai ini masih menunjukkan bahwa 4 layer memberikan kekuatan yang cukup andal dan konsisten.

Pengelasan dengan 5 layer menunjukkan tegangan maksimum dalam rentang 434.33 MPa hingga 475.15 MPa. Nilai-nilai ini sedikit lebih rendah dibandingkan dengan 4 layer tetapi masih menunjukkan kekuatan maksimum yang baik. Pengelasan dengan 5 layer memberikan hasil yang cukup konsisten, dengan nilai yang mendekati 4 layer, meskipun tidak mencapai kekuatan maksimum yang ditemukan pada 3 layer. Ini menunjukkan bahwa 5 layer dapat menjadi pilihan yang baik untuk aplikasi yang

memerlukan kekuatan maksimum yang andal, dengan sedikit variasi dalam kualitas pengelasan.

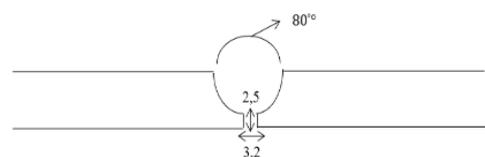
Pengelasan dengan 3 layer menunjukkan tegangan maksimum tertinggi dengan rentang yang luas, menunjukkan bahwa material memiliki kekuatan maksimum yang sangat baik dan mampu menahan tegangan yang sangat tinggi sebelum mengalami kegagalan.

Pengelasan dengan 4 dan 5 layer menunjukkan kekuatan maksimum yang cukup andal dan konsisten, meskipun tidak mencapai nilai maksimum yang ditemukan pada 3 layer. Untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan maksimum yang sangat tinggi, pengelasan dengan 3 layer mungkin menjadi pilihan terbaik. Namun, 4 dan 5 layer masih menawarkan kekuatan maksimum yang baik dan dapat digunakan dalam aplikasi yang memerlukan kekuatan yang andal dengan sedikit variasi dalam kualitas pengelasan.

F. Hasil Uji Struktur Mikro

Struktur mikro merupakan representasi visual dari beragam fasa pada suatu logam, yang dapat diobservasi melalui teknik metalografi menggunakan mikroskop. Dalam konteks baja karbon rendah, struktur mikro umumnya didominasi oleh ferit dengan sedikit perlit. Untuk meningkatkan kekuatan baja tanpa mengurangi keuletannya, unsur paduan seringkali ditambahkan pada proses pengelasan baja karbon rendah.

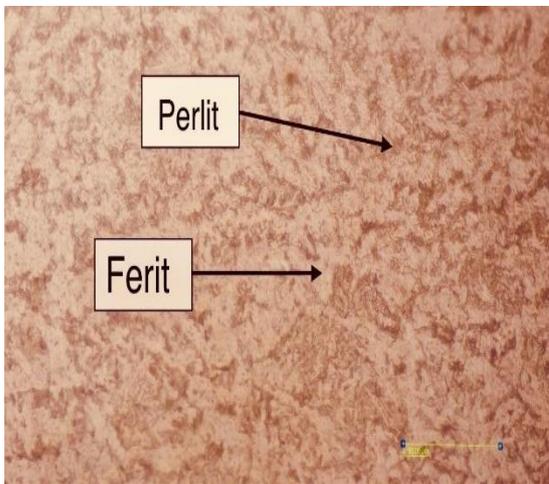
Pengujian struktur mikro dilakukan dengan menggunakan *Micro Hardness Tester*, di mana perbesaran foto diperoleh melalui perkalian lensa obyektif dan okuler. Lensa obyektif yang digunakan memiliki perbesaran yang dapat mencapai perbesaran 500x dapat mencapai 500 μm .



Gambar 8. Spesimen uji

Sumber : Hasil penelitian

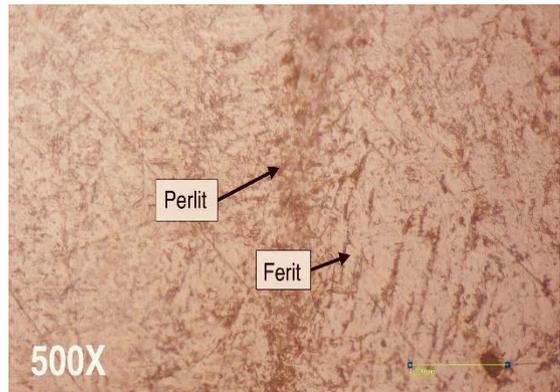
Pada hasil uji struktur mikro, ditemukan variasi dalam bentuk butiran yang terbentuk pada setiap kampuh. Faktor yang berkontribusi terhadap perbedaan ini adalah penggunaan elektroda pengisi kampuh sudut yang berbeda. Seiring dengan peningkatan jumlah elektroda yang mengisi sudut kampuh, intensitas panas pada bagian weld dan heat affected zone (HAZ) juga meningkat. Oleh karena itu, variasi panas yang dihasilkan mengakibatkan perbedaan ukuran butiran ferit, perlit, dan sementit.



Gambar 9. Mikrostruktur Baja AISI 1045 dengan 3 Lapisan Pengelasan

Sumber : Hasil penelitian

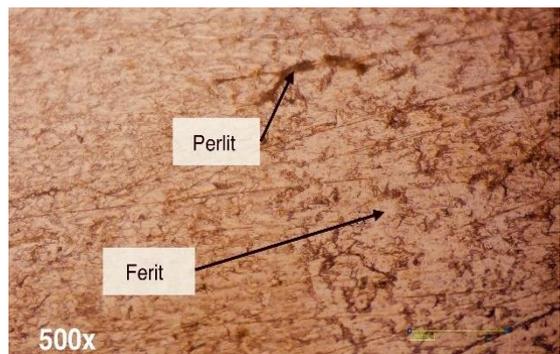
Pada mikrostruktur dengan 3 lapisan pengelasan, terlihat adanya butiran yang relatif kasar dengan daerah-daerah dendritik yang jelas. Proses pengelasan dengan 3 lapisan menyebabkan transformasi mikrostruktur yang signifikan karena suhu tinggi selama pengelasan. Struktur mikro ini menunjukkan daerah dendritik yang jelas dan butiran kasar, mengindikasikan proses pendinginan yang tidak seragam. Daerah HAZ (Heat Affected Zone) menjadi cukup besar, yang menyebabkan butiran kasar dan distribusi yang kurang homogen. Pendinginan yang cepat mengarah pada pertumbuhan butiran yang tidak seragam, sehingga sifat mekanik material dapat terpengaruh negatif.



Gambar 10. Mikrostruktur Baja AISI 1045 dengan 4 Lapisan Pengelasan

Sumber : Hasil penelitian

Pada mikrostruktur dengan 4 lapisan pengelasan, terlihat butiran yang lebih halus dibandingkan dengan mikrostruktur pada 3 lapisan, dengan distribusi yang lebih seragam. Dengan penambahan satu lapisan pengelasan, pemanasan berulang dan proses pendinginan yang lebih terkendali menghasilkan struktur mikro yang lebih halus. Pemanasan ulang memungkinkan rekristalisasi yang lebih baik, mengurangi ukuran butiran dan memperbaiki homogenitas struktur. Distribusi butiran yang lebih seragam ini menunjukkan peningkatan dalam sifat mekanik material, seperti kekuatan dan ketangguhan, dibandingkan dengan 3 lapisan pengelasan.



Gambar 11. Mikrostruktur Baja AISI 1045 dengan 5 Lapisan Pengelasan

Sumber : Hasil penelitian

Pada mikrostruktur dengan 5 lapisan pengelasan, terlihat butiran yang sangat halus dan homogenitas yang sangat baik. Pada 5 lapisan pengelasan, pemanasan ulang memberikan kondisi pendinginan yang lebih seragam dan terkontrol, menghasilkan butiran yang lebih kecil dan struktur mikro yang lebih homogen. Proses rekristalisasi berlangsung lebih lanjut, mengakibatkan distribusi butiran yang sangat seragam. Struktur mikro yang sangat halus ini menunjukkan peningkatan signifikan dalam sifat mekanik material, seperti kekuatan, ketangguhan, dan keuletan, karena butiran yang lebih kecil dan distribusi yang lebih seragam.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis pengelasan baja AISI 1045 dengan metode Shielded Metal Arc Welding (SMAW) menggunakan variasi jumlah layer 3, 4, dan 5 layer dengan elektroda e7016, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

A. Kekuatan Tarik:

Pengelasan dengan 3 layer menunjukkan kekuatan tarik tertinggi dengan nilai maksimum mencapai 480.39 MPa, menunjukkan kemampuan material untuk menahan beban tarik yang tinggi sebelum mengalami deformasi permanen. Pengelasan dengan 4 layer memiliki rentang kekuatan tarik yang lebih sempit namun masih cukup tinggi, dengan nilai maksimum 470.03 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa 4 layer masih dapat memberikan kekuatan tarik yang andal. Pengelasan dengan 5 layer menunjukkan peningkatan kekuatan tarik dibandingkan dengan 4 layer, dengan nilai maksimum mencapai 475.15 MPa. Meskipun demikian, kekuatan tarik ini masih lebih rendah dibandingkan dengan 3 layer.

B. Struktur Mikro:

Mikrostruktur dengan 3 layer menunjukkan butiran kasar dan daerah dendritik yang jelas, mengindikasikan pendinginan yang tidak seragam dan butiran kasar di daerah HAZ. Mikrostruktur dengan 4 layer menunjukkan butiran yang lebih halus dan distribusi yang lebih seragam dibandingkan dengan 3 layer, menunjukkan pemanasan dan pendinginan yang lebih

terkendali. Mikrostruktur dengan 5 layer menunjukkan butiran yang sangat halus dan distribusi yang sangat seragam, menunjukkan peningkatan signifikan dalam sifat mekanik material seperti kekuatan, ketangguhan, dan keuletan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. 2015. *D790-03-Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulation Materials*. ASTM Standards, 1–11, *Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*, <http://scholar.google.com/scholar>
- Fata, H., & Razi, M. 2020. Pengaruh variasi sudut kampuh bevel groove terhadap kekuatan tarik, [https://media.neliti.com/media/publications/316666-](https://media.neliti.com/media/publications/316666-ns/316666-)
- Hamdani. 2019. Pengaruh Masukan Panas Proses Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Baja Aisi 1045 : Suatu Kajian Eksperimental. *Polimesin*, 1(2), 1–8.
- Hristo Anggigi, Untung Budiarto, A. F. Z. 2019. Analisa Pengaruh Temperatur Normalizing Pada Sambungan Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Terhadap Kekuatan Tarik, Tekuk dan Mikrografi Baja Karbon Rendah. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(2), 504–513.
- Izzaty, R. E., Astuti, B., & Cholimah, N. 2019. Analisa Kekuatan Sambungan Las SMAW Vertikal Horizontal Down Hard Pada Plate Baja Jis 3131 SPHC Dan Staunless Steel 201 Dengan Aplikasi Penyangga Piles Transfer Di Mesin Thermoforming (Stacking Unit). *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 5–24.
- PUTRA, A. D. 2018. Pengaruh Variasi Jumlah Layer Pada Sambungan Las Smaw Dengan Elektroda E7016, Material Sa 36 Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan Dan Makro Etsa. 1–86.
- Razik, A. L. (n.d.). *Dasar-Dasar Pengelasan*.

Sunaryo, H. 2008. Teknik Pengelasan Kapal Jilid 1. In Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Wafda, H. 2018. Pengaruh Variasi Jumlah Layer Cat Epoksi Terhadap Daya Lekat Dan Tingkat Blistering Pada Material Api 5L Di Lingkungan Avtur. Skripsi, 1-145.

Winardi, Y., Fadelan, F., Munaji, M., & Krisdiantoro, W. N. 2020. Pengaruh Elektroda Pengelasan Pada Baja AISI 1045 Dan SS 202 Terhadap Struktur Mikro Dan Kekuatan Tarik. Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha, 8(2), 86. <https://doi.org/10.23887/jptm.v8i2.2777>
2