



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

ANALISIS PENGARUH VARIASI ARUS DAN MEDIA PENDINGINAN PADA PENGELASAN SMAW BAJA SS 400 TERHADAP KEKUATAN UJI TARIK DAN UJI TEKUK

Rafa Effendi Soeroyo¹⁾, Untung Budiarto¹⁾, Wilma Amiruddin¹⁾

¹⁾ Laboratorium Teknologi Material dan Produksi Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

e-mail : rafaeffendi@students.undip.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kuat arus pengelasan dan jenis media pendingin terhadap sifat mekanik baja SS 400 hasil pengelasan dengan metode Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Material yang digunakan adalah baja karbon rendah SS 400, dengan elektroda tipe E7018 dan sambungan las kampuh V tunggal. Variasi arus pengelasan yang digunakan adalah 100 A dan 120 A, sedangkan media pendingin yang digunakan setelah proses pengelasan meliputi air, oli bekas, dry ice, dan udara. Total spesimen uji sebanyak 52 buah, terdiri dari pengujian tarik berdasarkan standar ASTM E8 dan pengujian tekuk berdasarkan ASTM E19014. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi media pendingin dan arus listrik pengelasan memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik, regangan, modulus elastisitas, serta kekuatan tekuk spesimen. Nilai kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada spesimen dengan media pendingin dry ice dan arus 120 A sebesar 402,68 MPa. Regangan tarik tertinggi dicapai oleh spesimen dengan media pendingin oli bekas dan arus 120 A sebesar 34,91 %. Sementara itu, nilai modulus elastisitas tertinggi ditemukan pada media oli bekas dengan arus 120 A sebesar 52,41 GPa. Untuk pengujian tekuk, nilai tegangan tekuk tertinggi sebesar 882,79 MPa dicapai oleh spesimen yang menggunakan air sebagai media pendingin dengan arus pengelasan 120 A. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa kombinasi parameter pengelasan yang tepat sangat memengaruhi kualitas mekanik sambungan las baja SS 400. Media pendingin dry ice memberikan kekuatan tarik dan kekakuan tertinggi, sedangkan air dan oli bekas menghasilkan keuletan dan ketangguhan lentur yang lebih baik dibanding udara dan dry ice.

Kata Kunci : Baja SS 400, SMAW, Media Pendingin, Uji Tarik, Uji Tekuk

1. PENDAHULUAN

Di antara banyak bidang industri lainnya, industri perkapalan banyak menggunakan baja sebagai bahan bangunan kapal. Baja merupakan logam yang terdiri dari besi dan karbon sebagai unsur bahan penyusunnya [1].

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Baja SS 400, jenis baja karbon rendah dengan kandungan karbon di bawah 0,25%. Dengan kekuatan tarik mulai dari 400 hingga 560 MPa, baja ini banyak digunakan dalam industri konstruksi, khususnya dalam pembuatan kapal untuk struktur lambung kapal dan aplikasi serupa

lainnya. Di atas dan di luar itu, baja SS 400 murah dan tersedia secara luas.

Menurut standar DIN (Deutsche Industrie Normen), pengelasan didefinisikan sebagai proses penyambungan logam secara metalurgi, di mana dua atau lebih logam disatukan melalui pemanasan hingga mencapai titik leleh, dengan atau tanpa penambahan logam pengisi. Proses ini memungkinkan terbentuknya sambungan las permanen pada tingkat atom antara logam-logam yang disambungkan. Pengelasan dapat dilakukan dengan berbagai metode tergantung pada jenis logam, kebutuhan struktur, serta lingkungan kerja. Dalam konteks industri perkapalan maupun

konstruksi logam, pengelasan merupakan teknik penting yang digunakan untuk membentuk struktur yang kokoh dan tahan terhadap beban kerja. Prinsip ini menjadi dasar dari penggunaan metode pengelasan seperti SMAW, GMAW, dan TIG yang banyak diterapkan pada material baja karbon rendah seperti SS 400.

Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) adalah salah satu metode pengelasan yang paling umum digunakan, terutama dalam industri konstruksi dan manufaktur. Proses ini menggunakan elektroda berlapis flux sebagai sumber logam pengisi sekaligus pelindung busur listrik. Ketika elektroda dialiri arus listrik dan didekatkan ke permukaan logam yang akan disambung, terbentuk busur listrik (arc) yang menghasilkan panas tinggi hingga melelehkan logam dasar dan ujung elektroda. Lapisan flux pada elektroda akan terbakar dan menghasilkan gas pelindung serta *slag* yang menutupi permukaan las untuk mencegah kontaminasi dari udara [2].

Keunggulan utama dari pengelasan SMAW adalah peralatan yang sederhana dan fleksibel, sehingga bisa digunakan di berbagai posisi pengelasan dan di lingkungan luar ruangan tanpa perlu gas pelindung tambahan. Namun, metode ini juga memiliki keterbatasan, seperti laju pengelasan yang lebih lambat dan kebutuhan untuk sering mengganti elektroda. SMAW sangat cocok digunakan untuk pengelasan baja karbon, termasuk baja struktural seperti SS 400, dan sering dipakai dalam proyek-proyek perkapalan, konstruksi bangunan, dan perbaikan alat berat.

Kuat arus listrik merupakan salah satu parameter utama dalam proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Besarnya arus yang digunakan sangat mempengaruhi penetrasi las, laju pencairan elektroda, dan kualitas hasil las secara keseluruhan [3]. Kualitas sambungan las dipengaruhi oleh keakuratan penyalaan busur listrik, yang dipengaruhi secara negatif oleh arus rendah. Di sisi lain, energi panas penyalaan busur listrik yang lebih tinggi berarti penetrasi yang lebih dalam dan kecepatan leleh elektroda yang lebih cepat, sehingga arus yang kuat lebih disukai untuk proses ini.

Salah satu perlakuan pasca pengelasan yang dapat dilakukan adalah penambahan media pendingin. Bahan yang telah mengalami perlakuan panas atau pengujian pengelasan dapat ditentukan laju pendinginannya dengan bantuan media pendingin, sejenis cairan. Percepatan proses pendinginan menghasilkan struktur martensit yang kasar dimana memiliki sifat yang keras dan getas. Untuk media pendingin yang memiliki kerapatan rendah maka laju pendinginan akan berlangsung secara lambat, karena molekul yang berjauhan

cenderung tidak mengalami proses perpindahan panas. Proses yang lambat tersebut akan membentuk struktur keras dan ulet. Pendinginan pada penelitian yang dilakukan secara langsung yaitu dengan menggunakan media air, oli bekas dan *dry ice* atau es kering.

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu [4]. Modulus elastisitas, regangan tarik, dan kekuatan tarik adalah tiga sifat mekanik paling penting yang dapat ditentukan dengan pengujian ini.

Pengujian tekuk (*bending test*) yaitu tahap pengujian yang diterapkan untuk menilai kualitas material melalui pengamatan visual. Dalam pengujian ini, spesimen ditekan menggunakan mandrel atau alat penekan dengan ukuran tertentu, yang mendorong bagian tengah spesimen hingga membentuk lengkungan di antara dua penyangga yang telah diatur jaraknya. Proses ini menyebabkan material mengalami deformasi akibat adanya dua gaya yang bekerja secara berlawanan [5].

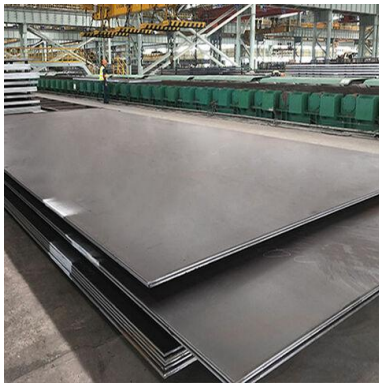
Terdapat penelitian sebelumnya telah dilakukan analisa perbandingan daya tarik baja SS 400 pasca pengelasan MAG dengan zat pendingin air, *coolant*, dan udara didapatkan bahwa hasil pengujian tarik pendingin air dengan arus 90A sebesar 409 MPa, pendinginan coolant dengan arus 90A sebesar 396,18 MPa, pendinginan udara dengan arus 90A sebesar 391,02 MPa. Pengujian pada tiga jenis media pendingin yang berbeda menunjukkan bahwa dibandingkan dengan kekuatan tarik bahan baku, ketiga media ini menghasilkan nilai yang jauh lebih tinggi. Spesimen yang diolah dengan air sebagai media pendingin menunjukkan kekuatan tarik yang lebih tinggi dari 400 MPa [6].

Mengacu pada latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: apa pengaruh perubahan arus listrik las dan jenis media pendingin terhadap kekuatan tarik dan tekukan baja SS 400? Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk memahami seberapa besar perbedaan antara pengaruh media pendingin yang berbeda dan kekuatan arus terhadap kekuatan tarik dan lentur Baja SS 400 setelah pengelasan SMAW. Dengan hasil penelitian ini sebagai panduan terhadap parameter las sehingga dapat mengoptimalkan prosesnya untuk sambungan las baja SS 400 yang lebih baik.

2. METODE

2.1 Pengumpulan Data

Informasi dalam penelitian ini diperoleh melewati studi pustaka yang mencakup buku, jurnal ilmiah, sumber daring, serta melalui observasi langsung di lapangan. Objek utama dalam penelitian ini yaitu material baja SS 400, yang dikategorikan sebagai baja karbon rendah. Baja jenis ini banyak dimanfaatkan dalam industri perkapalan, khususnya dalam pembuatan struktur rangka dan lambung kapal karena sifat mekaniknya yang sesuai untuk aplikasi tersebut.



Gambar 1. Plat Baja SS 400

Sumber :

<https://id.coldrolledsteels.com/info/ss400-plates-88842701.html>

Tabel 1. Komposisi Baja SS 400

| Unsur | Kandungan (%) |
|-----------------------|---------------|
| <i>Ferrum</i> (Fe) | 98,98 |
| <i>Carbon</i> (C) | 0,044 |
| <i>Aluminium</i> (Al) | 0,05 |
| <i>Silikon</i> (Si) | 0,004 |
| <i>Mangan</i> (Mn) | 0,161 |
| <i>Phosphorus</i> (P) | 0,008 |
| <i>Sulfur</i> (S) | 0,006 |
| <i>Chromium</i> (Cr) | 0,016 |

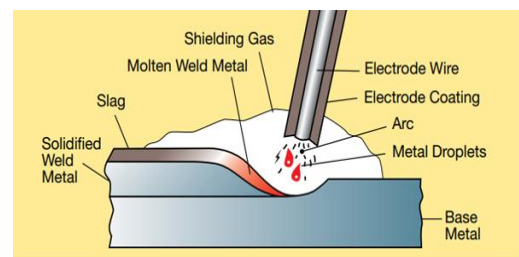
Berdasarkan tabel komposisi kimia, baja SS 400 memiliki kandungan utama berupa unsur besi (Fe) sebesar 98,98%, menjadikannya sebagai bahan dasar utama dari material ini. Selain itu, baja ini tergolong sebagai baja karbon rendah karena kandungan karbonnya hanya sebesar 0,044%. Komposisi unsur paduan lainnya meliputi mangan (Mn) sebesar 0,161% yang berfungsi meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja, serta silikon (Si) sebesar 0,004% yang membantu meningkatkan ketahanan terhadap panas dan korosi. Terdapat juga kandungan aluminium (Al) sebesar 0,05% yang berperan sebagai deoksidator, serta unsur-unsur lainnya seperti fosfor (P), sulfur (S), kromium (Cr), nikel (Ni), dan tembaga (Cu)

dalam jumlah yang sangat kecil. Komposisi tersebut menunjukkan bahwa baja SS 400 dirancang untuk memiliki sifat mekanik yang baik seperti kekuatan tarik sedang, keuletan tinggi, serta kemudahan dalam proses pengelasan dan pembentukan, sehingga sangat cocok digunakan dalam aplikasi struktural seperti rangka dan lambung kapal [7].

2.1.1 Pengelasan

Istilah "pengelasan" mengacu pada prosedur penyambungan logam secara permanen dengan menyatukan permukaannya pada suhu yang cukup tinggi. Proses ini dapat dilakukan dengan atau tanpa penambahan logam pengisi, tergantung pada jenis sambungan dan tahap pengelasan yang dimanfaatkan.

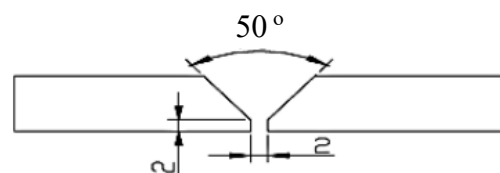
Dalam penelitian ini, jenis penyatuan logam yang diterapkan adalah jenis las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Proses penyatuan logam SMAW ini dilakukan dengan cara melelehkan dan menyambungkan logam melalui nyala busur listrik/elektroda. Elektroda tersebut dilapisi dengan bahan flux yang berfungsi sebagai pelindung, guna mencegah kontaminasi dari sekitar selama proses pengelasan berlangsung [8].



Gambar 2. Skema Pengelasan SMAW

Sumber : <https://www.allpro.co.id/pengelasan/smaw/>

Setiap komponen yang akan dihubungkan melalui proses pengelasan dikenal sebagai sambungan las. Sambungan kampur V tunggal 50° dipilih untuk penelitian ini karena kemampuannya untuk menawarkan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis penghubung lainnya. Bahkan, desain kampur V tunggal menunjukkan performa yang unggul dalam menahan tegangan, sehingga menjadikannya pilihan yang efektif untuk menghasilkan sambungan dengan kekuatan mekanik yang optimal.



Gambar 3. Single V Butt Joint 50°

Salah satu pengaturan pengelasan yang umum adalah operator ditempatkan di atas permukaan yang rata, dengan sumbu pengelasan sejajar dengan tanah. Ini disebut teknik "1G". Posisi ini umumnya digunakan untuk pengelasan pelat datar dan dianggap sebagai posisi yang paling mudah bagi juru las karena mendapat keuntungan dari gaya gravitasi.

Pada penelitian ini, elektroda yang digunakan yaitu tipe E7018. Elektroda ini termasuk elektroda hidrogen rendah yang umum digunakan dalam berbagai aplikasi pengelasan termasuk pengelasan baja dan juga diterapkan di mesin las AC/DC [9].



Gambar 4. Elektroda E7018

Jenis media pendingin yang digunakan dalam penelitian ini ada 3, yaitu:

1) Air

Karena kelimpahannya, biaya rendah, dan kapasitas pendinginan yang sangat baik, air menjadi media pendingin pilihan. Air memiliki massa jenis 1000 kg/m^3 dimana massa jenis tersebut lebih tinggi dari pendingin udara [10].

2) Oli bekas

Oli merupakan pelumas atau minyak yang dimanfaatkan untuk menurunkan gaya gesekan, pengikisan, dan panas yang terjadi di antara bagian-bagian mesin atau komponen mekanis yang bergerak [11]. Secara umum, oli atau minyak memiliki kecepatan pendinginan yang lebih rendah dibandingkan air. Karena karakteristik ini, oli sering kali lebih disukai sebagai media pendingin selama pendinginan, yang mengurangi kemungkinan retak dan distorsi.

3) Dry Ice

Dry ice yaitu wujud mampat dari karbon dioksida (CO_2) yang dipadatkan pada suhu sangat rendah, yaitu sekitar $-78,5^\circ\text{C}$ ($-109,3^\circ\text{F}$). Tidak seperti es biasa yang terbuat dari air, dry ice tidak mencair menjadi cairan

saat terkena suhu ruangan. Sebaliknya, dry ice langsung menyublim, yaitu berubah dari padat menjadi gas.

2.1.2 Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk memperoleh data tambahan serta sebagai konsep awal perancangan daya pada spesimen uji. Selain itu, hasil uji tarik juga berfungsi sebagai data pendukung dalam mengidentifikasi karakteristik mekanik suatu material. Adapun sifat-sifat material yang diperoleh dari pengujian tarik antara lain:

1) Tegangan Tarik Maksimum (σ)

Saat membahas material, tegangan tarik adalah tegangan tertinggi yang dapat diterapkan padanya sebelum putus. kekuatan tarik maksimum dari suatu bahan dapat dirumuskan :

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

Keterangan :

σ = tegangan maksimum (N/mm^2)

A_0 = luas penampang (mm^2)

P_{max} = beban maksimum (N)

2) Regangan Maksimum (e)

Ketika suatu material menjalani uji tarik, regangan tarik maksimumnya adalah jumlah pertambahan panjang terbesar yang dapat ditahannya. Dibandingkan dengan panjang awalnya, regangan tarik ini menunjukkan bahwa material telah bertambah panjang.

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

keterangan :

ΔL = Perubahan panjang (mm)

e = Regangan (%)

L_0 = Panjang mula-mula (mm)

3) Modulus Elastis (E)

Modulus elastisitas atau Modulus Young merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat kekakuan (stiffness) suatu material. Saat dikenai beban tertentu, material dengan modulus elastisitas tinggi akan menghasilkan regangan elastis yang lebih kecil dibandingkan material dengan modulus elastisitas yang lebih rendah. Kekakuan berbanding lurus dengan modulus, sehingga nilai yang lebih tinggi menunjukkan daya tahan yang lebih besar. Dengan rumus berikut, kita dapat menentukan modulus elastisitas dengan menganalisis kurva tegangan-regangan pada regangan linier dan menemukan kemiringannya:

$$E = \frac{\sigma}{e}$$

keterangan :

E = Modulus Elastisitas (N/m^2)

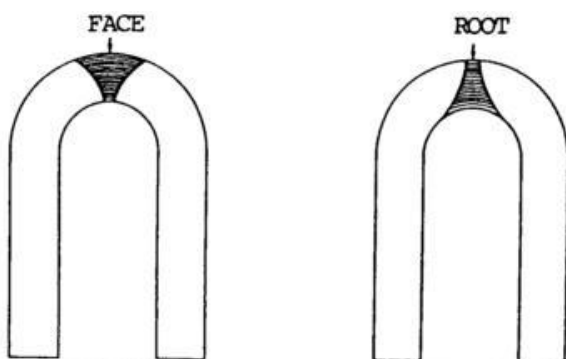
σ = Tegangan Tarik

e = Regangan Tarik

2.1.3 Uji Tekuk

Uji tekuk (*bending test*) yaitu tahapan pengujian material yang dilaksanakan secara visual untuk mengevaluasi kualitas sambungan las. Pada penelitian ini, jenis pengujian tekuk yang digunakan yaitu *transversal bending face band*.

Transversal bending face bend adalah salah satu metode uji tekuk yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas sambungan las dengan menekankan pada permukaan atas (*face*) dari jalur las. Pengujian ini dilakukan secara melintang terhadap arah las, sehingga gaya tekuk bekerja tegak lurus terhadap sambungan las. Dalam prosesnya, spesimen ditekuk dengan bagian permukaan las berada di sisi luar lengkungan, sehingga area *face* mengalami tegangan tarik maksimum. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk mendeteksi cacat-cacat pada permukaan las, seperti retakan, porositas terbuka, incomplete fusion, atau undercut yang mungkin tidak terlihat secara kasat mata. Pengujian ini juga berfungsi untuk menilai kemampuan material hasil las untuk menahan deformasi plastis tanpa mengalami kerusakan pada bagian permukaan. Uji *transversal bending face bend* biasanya digunakan dalam sertifikasi juru las maupun pengujian prosedur pengelasan, dengan standar seperti ASTM E190 atau AWS D1.1 sebagai acuannya. Keberhasilan pengujian ini menunjukkan bahwa sambungan las memiliki kualitas yang baik dan cukup ulet untuk menahan pembebanan tarik pada area permukaan tanpa mengalami kegagalan struktural [12].



Gambar 5. *Transversal Bending Face Band* dan *Root Band*

Sumber : <https://arcraftplasma-blogspot-com.translate.goog/2016/02/physical-testing-for-welded-materials.html>

2.2 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini, hal yang pertama disiapkan yaitu ketersediaan alat serta bahan yang dapat menunjang untuk dilakukan penelitian ini, antara lain:

- 1) Mesin Las SMAW
- 2) Baja SS 400
- 3) Elektroda E7018
- 4) Spidol putih
- 5) Jangka sorong
- 6) Bejana
- 7) Air
- 8) Oli bekas
- 9) *Dry Ice*
- 10) Gelas ukur
- 11) Timbangan
- 12) Gerindra
- 13) Mesin tensile test
- 14) Mesin bending test

Plat Baja SS 400 dibagi menjadi 32 plat, terdiri dari 16 plat berukuran 240 mm × 120 mm × 10 mm, dan 16 plat berukuran 200 mm × 90 mm × 10 mm. Proses berikutnya setelah pemotongan plat yaitu pembuatan kampuh las, kampuh V dengan sudut besar 50° dimanfaatkan dalam penelitian ini.

Setelah plat baja SS 400 dipotong dan dibentuk menjadi kampuh V, proses pengelasan dilakukan menggunakan metode Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Pengelasan dilaksanakan di INLASTEK Welding Institute, Surakarta, dengan menggunakan mesin las SMAW yang dilengkapi elektroda E7018 berdiameter 3,2 mm. Posisi pengelasan yang digunakan adalah 1G, dengan jenis sambungan Single V Butt Joint bersudut 50°, serta polaritas arus DC+. Penelitian ini menggunakan dua variasi kuat arus, yaitu 100 A dan 120 A, untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kualitas sambungan. Setiap spesimen dilas sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan, kemudian langsung dikenakan perlakuan pendinginan menggunakan salah satu dari empat jenis media pendingin yang diuji, yaitu air, oli bekas, *dry ice*, dan udara.

Setelah dilakukan pengelasan dengan variasi 100 A dan 120 A serta dikenakan perlakuan pendinginan oleh air, oli bekas, *dry ice*, dan udara, spesimen di potong sesuai standar yang berlaku. Untuk standar pengujian tarik yang diterapkan yaitu berdasarkan standar ASTM E8 dengan ukuran 200 mm × 20 mm × 10 mm sebanyak 32 spesimen [13]. Lalu untuk standar pengujian tekuk berdasarkan standar ASTM E190-14 dengan ukuran 152 mm × 38 mm × 10 mm sebanyak 32 spesimen [14]. Pemotongan plat dilakukan di INLASTEK Welding Institute, Surakarta.

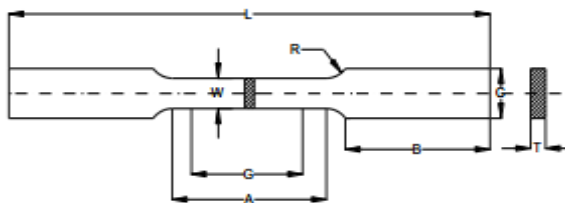
Setelah pemotongan spesimen sesuai standar diatas, pengujian tarik dan tekuk dilaksanakan di Laboratorium Material Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro, yang telah memenuhi standar pengujian material secara mekanik. Pemilihan lokasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap tahapan eksperimen dilakukan secara profesional, akurat, dan sesuai prosedur yang berlaku.

2.3 Parameter Penelitian

Parameter tetap dalam penelitian ini terdiri dari jenis pengelasan yaitu SMAW, jenis baja yang digunakan yaitu baja SS 400 dan elektroda las yang digunakan yaitu elektroda E7018 ,dengan ukurannya sebagai berikut :

Tabel 2. Ukuran Spesimen Uji Tarik ASTM E8

| Keterangan | Ukuran (mm) |
|-------------------------------------|-------------|
| <i>Gage Length (G)</i> | 50 |
| <i>Length of reduce section (A)</i> | 57 |
| <i>Width (W)</i> | 12,5 |
| <i>Thickness (T)</i> | 10 |
| <i>Radius of fillet (R)</i> | 12,5 |
| <i>Overall Length (L)</i> | 200 |
| <i>Width of grip section (C)</i> | 20 |

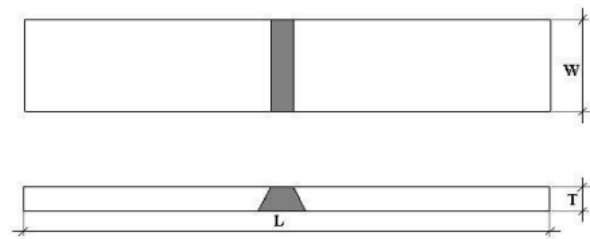


Gambar 6. Dimensi Spesimen Uji Tarik ASTM E8

Tabel 2 menyajikan ukuran dimensi spesimen untuk uji tarik slaras pada ketentuan ASTM E8, di mana panjang ukur (*Gauge Length/G*) adalah 2 inci (50,8 mm), lebar (*Width/W*) sebesar 0,5 inci (12,7 mm), dan lebar pada area cekam sekitar 3/4 inci (19,05 mm) [13]. Bagian tengah dari spesimen, yang berbentuk paralel, merupakan area yang menerima tegangan secara merata dan dikenal sebagai panjang ukur. Bagian inilah yang dianggap mengalami pembebanan selama pengujian, dan panjangnya selalu dicatat selama proses uji berlangsung.

Tabel 3. Ukuran Spesimen Uji Tekuk ASTM E19014

| Keterangan | Ukuran (mm) |
|---------------------------|-------------|
| <i>Overall Length (L)</i> | 152 |
| <i>Width (W)</i> | 12,5 |
| <i>Thickness (T)</i> | 10 |



Gambar 7. Dimensi Spesimen Uji Tekuk ASTM E19014

Sesuai dengan standar ASTM e19014, pengujian lentur memiliki dimensi sebagai berikut: panjang 152 mm, lebar 12,5 mm, dan ketebalan material 10 mm [14].

Adapun variabel tidak tetap pada penelitian ini adalah kuat arus pengelasan, jenis media pendingin, uji tarik, dan uji tekuk.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini melibatkan proses penyatuan pada material baja SS400 dengan memanfaatkan metode SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), disertai penerapan variasi pada arus listrik pengelasan serta jenis media pendingin yang akan digunakan. Kuat arus yang digunakan yaitu 100 A dan 120 A, serta menggunakan variasi media pendingin berupa air, oli bekas, *dry ice*, dan udara. Kemudian dilakukan uji kekuatan tarik dan kekuatan tekuk.

3.1 Proses Pengelasan Material dan pembuatan spesimen

Lembaran pelat baja dipotong sesuai ukuran dan selanjutnya dilas menggunakan pengelasan SMAW pada sudut 50 derajat, sesuai dengan Spesifikasi Prosedur Pengelasan (WPS) yang telah ditetapkan sebelumnya. Di INLASTEK WELDING INSTITUTE Surakarta, kami menggunakan mesin SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Mesin Las : SMAW
- Logam Pengisi : E7018
- Diameter Elektroda : 3.2 mm
- Sudut Kampuh : Single V Butt Joint 50⁰, Polaritas DC+
- Ampere : 100 A & 120 A
- Voltage : 30 V
- Posisi Pengelasan : 1G

Terdapat prosedur pengelasan yang telah dilakukan sebagai berikut :

1. Pengelasan dilakukan dengan arus sebesar 100 A menggunakan tambahan media pendingin berupa air.

- Pengelasan dilakukan dengan arus sebesar 120 A menggunakan tambahan media pendingin berupa air.
- Pengelasan dilakukan dengan arus sebesar 100 A dengan menggunakan oli bekas sebagai media pendingin.
- Pengelasan dilakukan dengan arus sebesar 120 A dengan menggunakan oli bekas sebagai zat pendingin.
- Pengelasan dilakukan dengan arus sebesar 100 A dan tambahan pendingin berupa *dry ice*.
- Pengelasan dilakukan dengan arus sebesar 120 A dan tambahan pendingin berupa *dry ice*.
- Pengelasan dilakukan dengan arus sebesar 100 A dengan media pendingin udara.
- Pengelasan dilakukan dengan arus sebesar 120 A dengan media pendingin udara.



Gambar 8. Proses Pengelasan di Inlastek

3.2 Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik dilaksanakan berdasarkan pedoman ASTM E8. Hasil pengujian ini memberikan informasi tentang kekuatan tarik spesimen berupa modulus elastisitas, regangan tarik, dan tegangan tarik.

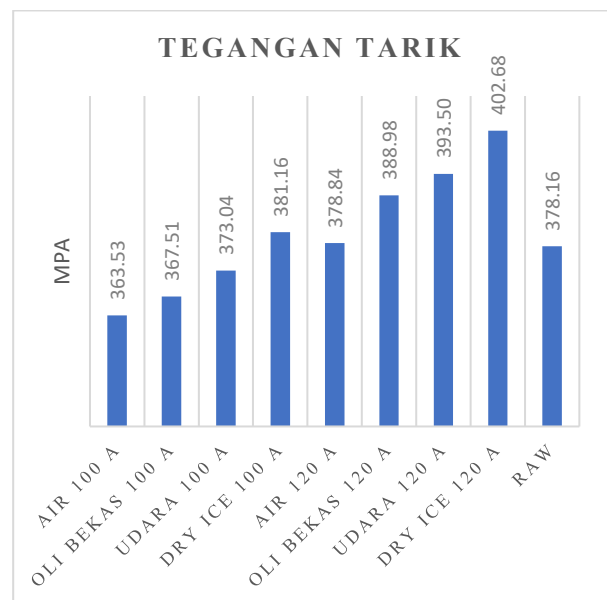
3.2.1 Tegangan Tarik

Pada bagian ini, dilakukan pengujian untuk mengetahui nilai kekuatan tarik maksimum dari spesimen baja SS 400 yang telah mengalami proses pengelasan SMAW dengan variasi kuat arus dan jenis media pendingin. Pengujian dilaksanakan sesuai standar ASTM E8, dengan tujuan untuk mengevaluasi seberapa besar tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh spesimen sebelum mengalami kegagalan. Data kekuatan tarik dari setiap variasi disajikan dalam tabel berikut sebagai dasar analisis terhadap pengaruh kombinasi

parameter pengelasan terhadap sifat mekanik material.

Tabel 4. Nilai Tegangan Tarik

| Spesimen | Area (mm ²) | P Max (KN) | σ Max (MPa) |
|-----------------|-------------------------|------------|--------------------|
| Air 100 A | 117 | 45,53 | 365,53 |
| Air 120 A | 115 | 43,56 | 378,84 |
| Oli Bekas 100 A | 118 | 43,36 | 367,51 |
| Oli Bekas 120 A | 118 | 45,9 | 388,98 |
| Dry Ice 100 A | 115 | 43,83 | 381,16 |
| Dry Ice 120 A | 112 | 45,1 | 402,68 |
| Udara 100 A | 115 | 42,9 | 373,04 |
| Udara 120 A | 118 | 46,43 | 393,50 |
| RAW | 116 | 43,86 | 378,16 |



Gambar 9. Grafik Rata-rata Tegangan Tarik

Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa variasi kuat arus pengelasan dan jenis media pendingin pasca pengelasan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik sambungan las baja SS 400. Parameter tersebut berpengaruh terhadap nilai tegangan tarik maksimum, tegangan tarik rata-rata, serta keseragaman sifat mekanik sambungan las. Secara umum, peningkatan kuat

arus dari 100 A menjadi 120 A menghasilkan kecenderungan peningkatan nilai kekuatan tarik pada seluruh variasi media pendingin, yang mengindikasikan bahwa masukan panas yang lebih besar mampu meningkatkan penetrasi las dan kualitas ikatan metalurgi antara logam induk dan logam las.

Pada variasi media pendingin air, peningkatan arus pengelasan dari 100 A ke 120 A menyebabkan kenaikan nilai rata-rata tegangan tarik. Hal ini berkaitan dengan laju pendinginan yang relatif cepat, sehingga menghasilkan struktur mikro yang lebih halus pada daerah logam las dan Heat Affected Zone (HAZ). Meskipun demikian, pendinginan menggunakan air berpotensi menimbulkan gradien termal yang tinggi, sehingga sifat mekanik yang dihasilkan cenderung kuat namun kurang optimal dari sisi keuletan dibandingkan media pendingin dengan laju pendinginan yang lebih lambat.

Media pendingin oli bekas dan udara menunjukkan karakteristik pendinginan yang lebih lambat hingga sedang. Kondisi ini memungkinkan terjadinya difusi karbon dan pembentukan struktur ferrite-pearlite yang lebih stabil dan homogen pada daerah logam las dan HAZ. Akibatnya, sambungan las yang dihasilkan memiliki kombinasi sifat kekuatan dan keuletan yang lebih seimbang, serta nilai kekuatan tarik yang mendekati atau melampaui RAW material, khususnya pada arus pengelasan 120 A.

Spesimen dengan media pendingin dry ice menghasilkan nilai kekuatan tarik tertinggi dibandingkan variasi media lainnya. Pendinginan ekstrem menyebabkan laju pendinginan yang sangat cepat, sehingga mendorong transformasi fasa austenit menjadi martensit yang dominan dan meningkatkan kekuatan tarik sambungan las. Namun, lokasi patah yang terjadi pada daerah HAZ menunjukkan adanya kecenderungan sifat getas, yang berpotensi menurunkan ketahanan terhadap beban dinamis. Oleh karena itu, pemilihan kombinasi kuat arus pengelasan dan media pendingin perlu disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi, dengan mempertimbangkan keseimbangan antara kekuatan tarik dan keandalan jangka panjang sambungan las.

Berdasarkan hasil pengujian sebelumnya, diketahui bahwa variasi kuat arus pengelasan dan jenis media pendingin berpengaruh pada daya tarik material. Dalam penelitian lain mengenai proses pengelasan MIG dan SMAW dengan variasi media pendingin berupa air, coolant, dan es, serta variasi kuat arus sebesar 85 A dan 90 A, diketahui bahwa nilai kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada spesimen dengan media pendingin es dan kuat arus 90 A, yaitu sebesar 33,77 kgf/mm². Sementara itu,

nilai kekuatan tarik terendah ditemukan pada spesimen dengan pendingin coolant pada arus 85 A, yaitu sebesar 32,64 kgf/mm² [15].

Terdapat penelitian dengan tema pengaruh temperatur pendingin terhadap kekuatan tarik pada baja ST 41 dengan proses pengelasan SMAW, diketahui bahwa pada penelitian tersebut terdapat media pendinginan jenis *coolant* dengan berbagai temperatur suhu (5°C), (26°C) dan (50°C). Penelitian tersebut menghasilkan uji tarik terbaik didapatkan pada pendinginan dengan temperatur 5°C dengan kekuatan tarik rata – rata 472,4 N/mm² [16].

Namun demikian, pada media pendingin *dry ice*, justru nilai kekuatan tarik optimal diperoleh pada arus lebih rendah, yang kemungkinan disebabkan oleh pendinginan cepat yang menyebabkan pembentukan martensit maksimum pada arus 100 A. Sama seperti penelitian dengan tema pengelasan SMAW pada material baja ST 41 dengan penambahan media (collent, air dan es) terhadap kekuatan tarik bahwa pada hasil pengelasan dengan media pendingin es, kekuatan tarik terbesar didapatkan pada kuat arus yang lebih rendah [17].

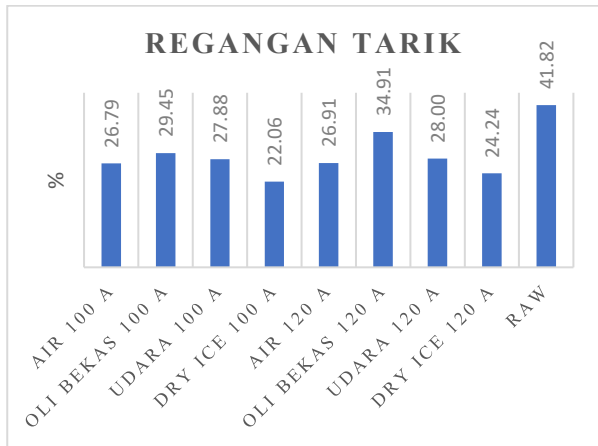
3.2.2 Regangan Tarik

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh nilai regangan tarik maksimum dari material baja SS 400 yang telah mengalami proses pengelasan menggunakan metode las SMAW. Nilai ini diperoleh dari berbagai variasi kombinasi antara kuat arus pengelasan dan jenis media pendingin yang digunakan setelah proses pengelasan. Adapun rincian nilai regangan tarik maksimum untuk masing-masing variasi tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Nilai Regangan Tarik

| Spesimen | ΔL (mm) | L_0 (mm) | e (%) |
|--------------------|--------------------|---------------|------------|
| Air 100 A | 14,73 | 55 | 26,79 |
| Air 120 A | 14,8 | 55 | 26,91 |
| Oli Bekas 100 A | 16,2 | 55 | 29,45 |
| Oli Bekas 120 A | 19,2 | 55 | 34,91 |
| Dry Ice 100 A | 12,13 | 55 | 22,06 |
| Dry Ice 120 A | 13,33 | 55 | 24,24 |

| | | | |
|------------------------|-------|----|-------|
| Udara 100 A | 15,33 | 55 | 27,88 |
| Udara 120 A | 15,4 | 55 | 28,00 |
| RAW | 23 | 55 | 41,82 |



Gambar 10. Grafik Rata-rata Regangan Tarik

Berdasarkan hasil pengujian regangan tarik, variasi kuat arus pengelasan dan jenis media pendingin pasca pengelasan terbukti memberikan pengaruh yang nyata terhadap kemampuan deformasi plastis sambungan las baja SS 400. Regangan tarik merupakan parameter penting yang mencerminkan tingkat keuletan material sebelum terjadinya patah, sehingga perubahan nilai regangan berkaitan langsung dengan perubahan struktur mikro akibat proses pengelasan dan perlakuan pendinginan.

Pada spesimen dengan media pendingin air, diperoleh nilai regangan rata-rata sebesar 26,79% pada arus 100 A dan 26,91% pada arus 120 A. Nilai tersebut menunjukkan bahwa peningkatan arus pengelasan pada pendinginan air tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap regangan tarik. Hal ini mengindikasikan bahwa laju pendinginan yang relatif cepat pada media air menghasilkan struktur mikro yang serupa pada kedua variasi arus, sehingga kemampuan deformasi plastis material tidak mengalami perubahan yang berarti.

Media pendingin oli bekas dan udara menunjukkan nilai regangan yang lebih tinggi dibandingkan pendingin air. Pada media oli bekas, nilai regangan rata-rata meningkat dari 29,45% pada arus 100 A menjadi 34,91% pada arus 120 A. Peningkatan ini menunjukkan bahwa laju pendinginan yang lebih lambat memungkinkan terbentuknya struktur mikro ferrite-pearlite yang lebih dominan dan homogen, sehingga meningkatkan keuletan material. Sementara itu, pendinginan udara menghasilkan nilai regangan

menengah, yaitu 27,88% pada arus 100 A dan 28,00% pada arus 120 A, yang mencerminkan keseimbangan antara kekuatan dan keuletan akibat laju pendinginan yang sedang.

Sebaliknya, spesimen dengan media pendingin dry ice menunjukkan nilai regangan terendah, masing-masing sebesar 22,06% pada arus 100 A dan 24,24% pada arus 120 A. Rendahnya regangan ini disebabkan oleh laju pendinginan yang sangat cepat, sehingga mendorong pembentukan struktur martensit yang bersifat keras dan getas. Dibandingkan dengan RAW material yang memiliki regangan rata-rata sebesar 41,82%, seluruh spesimen hasil pengelasan mengalami penurunan keuletan akibat perubahan struktur mikro dan konsentrasi tegangan di daerah las dan HAZ. Secara keseluruhan, media pendingin oli bekas pada arus 120 A menghasilkan regangan tarik terbaik di antara spesimen las, sedangkan media pendingin dry ice menghasilkan keuletan terendah, sehingga pemilihan parameter pengelasan perlu disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi antara kekuatan dan keuletan sambungan las.

Pada penelitian lain dengan judul pengaruh kuat arus dan jenis elektroda dengan kandungan nikel terhadap sifat mekanis baja kapal grade A pada pengelasan FCAW menunjukan bahwa rata rata pengelasan yang kuat arusnya lebih tinggi memiliki nilai regangan tariknya juga lebih tinggi [18].

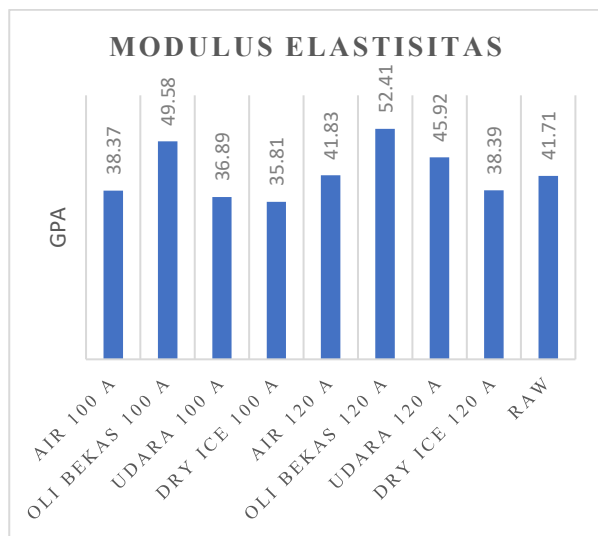
3.2.3 Modulus Elastisitas

Hasil pengujian menunjukkan rata-rata nilai modulus elastisitas sebagai berikut :

Tabel 6. Nilai Modulus Elastisitas

| Spesimen | σ (MPa) | ΔL (mm) | e (%) | E (GPa) |
|----------------------------|----------------|-----------------|-------|---------|
| Air 100 A | 284,3 | 4,23 | 7,7 | 38,36 |
| Air 120 A | 296,81 | 3,9 | 7,15 | 41,83 |
| Oli Bekas 100 A | 300,76 | 3,46 | 6,3 | 49,57 |
| Oli Bekas 120 A | 292,11 | 3,46 | 6,3 | 52,41 |
| Dry Ice 100 A | 308,92 | 4,7 | 8,6 | 35,80 |
| Dry Ice 120 A | 303,51 | 4,6 | 8,3 | 38,39 |
| Udara 100 A | 293,15 | 4,4 | 8 | 36,89 |

| | | | | |
|------------------------|--------|-----|-----|-------|
| Udara 120 A | 305,48 | 3,6 | 6,6 | 45,91 |
| RAW | 281,14 | 4 | 7,2 | 41,71 |



Gambar 11. Grafik Rata-rata Modulus Elastisitas

Berdasarkan hasil perhitungan modulus elastisitas (E), variasi kuat arus pengelasan dan jenis media pendingin pasca pengelasan terbukti memengaruhi tingkat kekakuan sambungan las baja SS 400. Modulus elastisitas merepresentasikan kemampuan material menahan deformasi elastis, sehingga perubahan nilai E berkaitan erat dengan perubahan struktur mikro dan kualitas ikatan metalurgi yang terbentuk selama proses pengelasan dan pendinginan.

Pada media pendingin air, nilai modulus elastisitas rata-rata meningkat dari 38,37 GPa pada arus 100 A menjadi 41,83 GPa pada arus 120 A. Peningkatan serupa juga terjadi pada media pendingin udara, dari 36,89 GPa menjadi 45,92 GPa. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan arus pengelasan menghasilkan masukan panas yang lebih besar sehingga memperbaiki kontinuitas struktur mikro dan meningkatkan kekakuan material. Media pendingin oli bekas menghasilkan nilai modulus elastisitas tertinggi, yaitu 49,58 GPa pada arus 100 A dan meningkat menjadi 52,41 GPa pada arus 120 A. Pendinginan yang lebih lambat pada media ini memungkinkan terbentuknya struktur mikro ferrite–pearlite yang lebih stabil dan homogen, sehingga respons elastis material menjadi lebih optimal dan konsisten.

Sebaliknya, media pendingin dry ice menunjukkan nilai modulus elastisitas terendah, yaitu 35,81 GPa pada arus 100 A dan 38,39 GPa pada arus 120 A. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun pendinginan ekstrem meningkatkan kekuatan tarik, pembentukan struktur martensit yang dominan cenderung meningkatkan kerapuhan

dan menurunkan respons elastis material. Dibandingkan dengan RAW material yang memiliki modulus elastisitas rata-rata sebesar 41,71 GPa, kombinasi media pendingin oli bekas dengan arus 120 A mampu menghasilkan kekakuan yang setara bahkan lebih tinggi. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa pengendalian heat input dan laju pendinginan merupakan faktor kunci dalam menentukan sifat elastis sambungan las.

Penelitian terdahulu yang bertema Pengaruh Quenching dengan Media Berbeda terhadap pada Baja ST 36 dengan Pengelasan SMAW menunjukkan bahwa jenis media pendingin memberikan pengaruh terhadap nilai modulus elastisitas. Dalam penelitian tersebut digunakan tiga jenis media pendingin, yaitu air, air garam, dan oli, dengan hasil bahwa media pendingin air menghasilkan nilai modulus elastisitas tertinggi dibandingkan dua media lainnya [19].



Gambar 12. Spesimen Setelah Dilakukan Uji Tarik

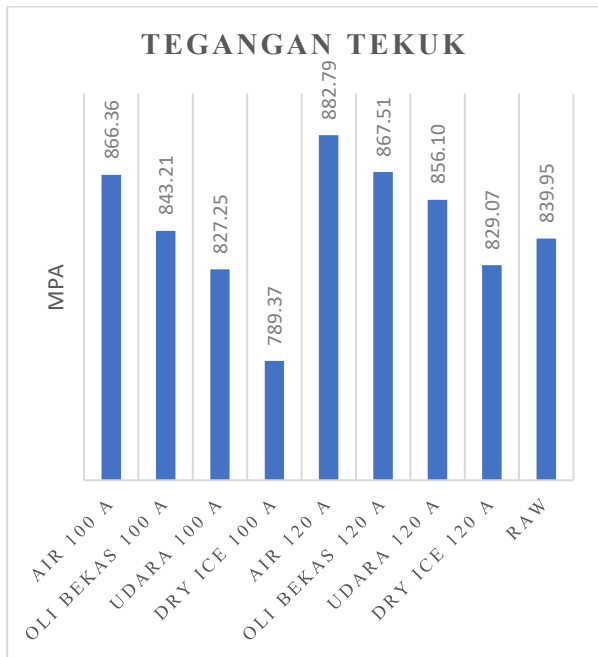
3.3 Hasil Uji Tekuk

Pengujian tekuk dilaksanakan berdasarkan standar ASTM 19014, dilakukan dengan variasi kuat arus dan jenis media pendingin dengan total jumlah spesimen sebanyak 32 buah. Pada penelitian ini, jenis uji tekuk yang digunakan yaitu *transversal bending face band*.

Tabel 7. Nilai Tegangan Tekuk

| Spesimen | Area (mm ²) | P Max (KN) | σ Max (MPa) |
|------------------------|-------------------------|------------|-------------|
| Air 100 A | 420 | 26,95 | 866,35 |
| Air 120 A | 400 | 26,15 | 882,78 |
| Oli Bekas 100 A | 420 | 26,23 | 843,21 |
| Oli Bekas 120 A | 410 | 26,34 | 867,51 |

| | | | |
|--------------------------|-----|-------|--------|
| Dry Ice 100 A | 410 | 23,97 | 789,36 |
| Dry Ice 120 A | 420 | 25,79 | 829,07 |
| Udara 100 A | 420 | 25,73 | 827,25 |
| Udara 120 A | 410 | 26 | 856,09 |
| RAW | 320 | 19,9 | 839,95 |



Gambar 13. Grafik Rata-rata Tegangan Tekuk

Berdasarkan data pengujian, variasi kuat arus pengelasan dan media pendingin pasca pengelasan berpengaruh nyata terhadap nilai tegangan maksimum (σ max) sambungan las baja SS 400. Secara umum, peningkatan arus pengelasan dari 100 A menjadi 120 A pada seluruh media pendingin menghasilkan kenaikan nilai σ max. Hal ini menunjukkan bahwa masukan panas yang lebih besar mampu meningkatkan penetrasi las serta memperbaiki ikatan metalurgi, sehingga sambungan las memiliki kemampuan menahan beban maksimum yang lebih baik sebelum mengalami kegagalan.

Ditinjau dari pengaruh media pendingin, pendinginan menggunakan air menghasilkan nilai σ max tertinggi, yaitu meningkat dari 866,357 MPa pada arus 100 A menjadi 882,788 MPa pada arus 120 A. Pendinginan air memberikan laju pendinginan sedang yang memungkinkan terbentuknya struktur mikro yang relatif seimbang antara kekuatan dan keuletan. Media pendingin oli bekas dan udara menunjukkan nilai σ max yang lebih rendah dibandingkan air, namun tetap

mengalami peningkatan seiring kenaikan arus pengelasan. Pendinginan yang lebih lambat pada kedua media ini mendorong pembentukan struktur mikro ferrite-pearlite yang lebih dominan dan stabil, sehingga menghasilkan sifat mekanik yang lebih ulet meskipun kekuatan maksimumnya sedikit lebih rendah.

Sebaliknya, media pendingin dry ice menghasilkan nilai σ max terendah dibandingkan media lainnya, meskipun terjadi peningkatan dari 789,366 MPa pada arus 100 A menjadi 829,071 MPa pada arus 120 A. Pendinginan ekstrem mendorong pembentukan struktur martensit yang keras dan getas, sehingga menurunkan kemampuan material menahan beban maksimum sebelum kegagalan. Dibandingkan dengan material tanpa pengelasan (RAW) yang memiliki nilai σ max rata-rata 839,953 MPa, spesimen las dengan pendingin air dan udara pada arus 120 A mampu menghasilkan kekuatan yang setara bahkan lebih tinggi. Hal ini menegaskan bahwa pemilihan kombinasi arus pengelasan dan media pendingin yang tepat sangat menentukan performa mekanik maksimum sambungan las.



Gambar 14. Spesimen Setelah Dilakukan Uji Tekuk

4. KESIMPULAN

Dari pengujian yang sudah dilakukan pada sambungan las baja SS 400 menggunakan jenis las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan kuat arus 100 A dan 120 A serta variasi media pendingin berupa air, oli bekas, *dry ice*, dan udara didapatkan nilai pengujian tarik dan tekuk sebagai berikut:

Variasi pendingin *dry ice* dengan arus kuat 100 A dan 120 A menunjukkan kekuatan tarik dengan nilai tegangan tarik masing-masing sebesar 402 MPa dan 400 MPa. Kemudian disusul oleh spesimen media pendinginan udara, air, dan yang terkecil yaitu oli bekas dengan nilai 381 MPa dan 387 MPa.

Regangan Tarik tertinggi ada pada variasi pendingin oli bekas kuat arus 120 A sebesar 24,09

%, Kemudian disusul oleh spesimen media pendinginan udara, *dry ice*, dan yang terkecil yaitu air dengan nilai regangan tarik 17,27 %.

Untuk nilai modulus elastisitas terbesar ada pada variasi pendingin *dry ice* dengan kuat arus 120 A dan 100 A sebesar 184,32 Gpa dan 177,15 Gpa. Modulus elastisitas terkecil terdapat pada jenis media pendingin oli bekas dengan kuat arus 120 A sebesar 125,74 GPa.

Diketahui bahwa nilai tegangan tekuk tertinggi diperoleh pada spesimen yang menggunakan media pendingin oli bekas dengan arus 120 A, yaitu sebesar 585,48 MPa. Sebaliknya, nilai tegangan tekuk terendah diperoleh pada pendinginan menggunakan *dry ice* dengan arus 100 A, yaitu sebesar 532,11 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. M. Safarov *et al.*, “Strength and impact toughness of low-carbon steel with fibrous ultrafine-grained structure,” *Physics of Metals and Metallography*, vol. 115, no. 3, 2014, doi: 10.1134/S0031918X14030107.
- [2] M. Mulyadi, *Buku Ajar Teknologi Pengelasan*. 2020. doi: 10.21070/2020/978-623-6833-69-8.
- [3] L. Jeffus, *Welding Principle and Applications*, vol. 58, no. 3. 2012.
- [4] E. Gdoutos and M. Konsta-Gdoutos, “Tensile Testing,” in *Solid Mechanics and its Applications*, vol. 275, 2024, pp. 1–34. doi: 10.1007/978-3-031-45990-0_1.
- [5] G. Ellwood. Dieter, *Mechanical metallurgy*. 2011. doi: 10.5962/bhl.title.35895.
- [6] J. Hasil, K. Ilmiah, N. Julian, U. Budiarto, and B. Arswendo, “JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik pada Sambungan Las Baja SS400 Pengelasan MAG Dengan Variasi Arus Pengelasan dan Media Pendingin Sebagai Material Lambung Kapal,” *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 7, no. 4, 2019, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [7] T. Saeheaw, “Analytical optimization of open hole effects on the tensile properties of SS400 sheet specimens using an integrated FFD-CRITIC-DFA method,” *Heliyon*, vol. 10, no. 1, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e23920.
- [8] R. Pagare, D. Awati, S. Mane, V. Teli, and A. Bhandare, “Investigating the Effects of Welding Parameters on Mild Steel by SMAW Technique,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020. doi: 10.1088/1757-899X/998/1/012052.
- [9] AWS, *AWS A5.1: Specification for carbon steel electrodes for shielded metal arc welding*. 2003.
- [10] E. H. Higham and W. Boyes, “Measurement of Density,” in *Instrumentation Reference Book*, 2010, pp. 135–143. doi: 10.1016/B978-0-7506-8308-1.00013-9.
- [11] S. C. Tung, M. L. McMillan, E. P. Becker, and S. E. Schwartz, “Automotive engine oil,” in *Handbook of Lubrication and Tribology: Volume I Application and Maintenance, Second Edition*, 2006. doi: 10.1201/9781420003840.sec1.
- [12] American National Standard Structural Welding, *Aws D1 .1/D1 .1 M:2020*. 2020.
- [13] ASTM E8, “ASTM E8/E8M standard test methods for tension testing of metallic materials 1,” *Annual Book of ASTM Standards 4*, no. C, 2010, doi: 10.1520/E0008.
- [14] ASTM E190-14, “Standard Test Method for Guided Bend Test for Ductility of Welds,” *ASTM International*, vol. 03, no. Reapproved, 2015.
- [15] H. Saputra, A. Syarief, Y. Maulana, J. L. Akhmad, and Y. Km, “Analisis Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik Baja ST 37 Pasca Pengelasan Menggunakan Las Listrik,” *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam*, vol. 03, no. 2, 2014.
- [16] M. F. Amri, “Pengaruh Variasi Media Dan Temperatur Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik Pada Baja ST 41 Dengan Proses Pengelasan SMAW,” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 09, 2019.
- [17] A. Januar and D. Suwito, “KAJIAN HASIL PROSES PENGELASAN MIG DAN SMAW PADA MATERIAL ST41 DENGAN VARIASI MEDIA

PENDINGIN (Air, Collent, dan Es)
TERHADAP KEKUATAN TARIK.”

- [18] J. Hasil, K. Ilmiah, R. Muchammad, S. Jokosisworo, A. Wibawa, and B. Santosa, “Pengaruh Kuat Arus dan Jenis Elektroda dengan Kandungan Nikel Terhadap Sifat Mekanis Baja Kapal Grade A pada Pengelasan FCAW”.
- [19] J. Hasil, K. Ilmiah, M. Jordi, H. Yudo, and S. Jokosisworo, “JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Analisa Pengaruh Proses Quenching Dengan Media Berbeda Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja St 36 Dengan Pengelasan SMAW,” *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 5, no. 1, p. 272, 2017, [Online]. Available: <http://ejournal-sl.undip.ac.id/index.php/naval>