

Artikel Penelitian (Teknik Mesin)

Pengaruh Variasi Media Quenching terhadap Kekuatan Mekanik dan Struktur Mikro pada Pipa SS 304

Rio Rizal Maulana Wahab^{*}, Viktor Naubnome, Boni Sena

Teknik Informatika, Universitas Singaperbangsa Karawang, Karawang, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 4 April 2026
Revisi Akhir: 19 April 2026
Diterbitkan Online: 28 April 2026

KATA KUNCI

Media Quenching
Stainless Steel 304
Struktur Mikro
TIG Welding
Uji Kekerasan
Uji Tarik

KORESPONDENSI^(*)

E-mail: 2110631150119@student.unsika.ac.id

A B S T R A K

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh variasi media quenching terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pipa Stainless Steel 304 (SS304) hasil las TIG dengan arus 70 A. Media quenching yang digunakan adalah air laut, oli Federal Racing 10W-40, dan udara. Pengujian meliputi uji kekerasan, uji tarik, dan analisis struktur mikro. Hasil menunjukkan bahwa media oli menghasilkan kekerasan tertinggi sebesar (masukkan nilai kekerasan tertinggi dalam HV), sedangkan udara memberikan kekuatan tarik terbaik dengan nilai (masukkan nilai kekuatan tarik tertinggi dalam N/mm²). Struktur mikro menunjukkan pembentukan Austenite dan Delta-Ferrite pada daerah lasan, sesuai dengan karakteristik SS304 yang tidak membentuk perlit atau martensit melalui proses quenching. Penelitian ini memberikan referensi penting dalam optimasi perlakuan panas SS304 untuk aplikasi industri.

PENDAHULUAN

Media quenching berfungsi untuk mengontrol laju pendinginan material setelah proses pengelasan. Dalam penelitian ini, digunakan tiga jenis media quenching, yaitu air laut, oli Federal Racing 10W-40, dan udara. Pemilihan oli Federal Racing 10W-40 sebagai salah satu media pendingin lebih spesifik dibandingkan dengan menyebutkan oli mesin SAE 10W-40 secara umum. Federal Racing 10W-40 dipilih karena merupakan oli dengan formulasi khusus yang sering digunakan dalam aplikasi mesin berperforma tinggi. Oli ini memiliki stabilitas termal yang lebih baik dibandingkan oli mesin biasa, serta kemampuan untuk mencegah penguapan pada suhu tinggi, yang sangat penting dalam mengendalikan laju pendinginan logam [1]. Formula khusus dalam oli ini juga memiliki viskositas yang lebih konsisten, memberikan kontrol yang lebih presisi terhadap laju pendinginan, serta dapat melindungi komponen mesin dari keausan pada temperatur tinggi. Dalam konteks pengelasan, oli ini dapat memberikan pendinginan yang lebih lambat dan lebih merata, dibandingkan dengan penggunaan oli mesin biasa atau air, yang dapat mempercepat proses pendinginan dan menyebabkan ketegangan termal yang lebih besar pada material yang dilas. Oleh karena itu, penggunaan Federal Racing 10W-40 dalam penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan variasi sifat mekanik yang lebih stabil, terutama dalam mengurangi risiko keretakan termal dan meningkatkan ketahanan korosi pada daerah lasan [2].

Proses pengelasan pada material Stainless Steel 304 (SS304) melibatkan pemanasan yang sangat cepat pada daerah yang dilas, yang memicu perubahan struktur mikro dan pembentukan tegangan sisa (residual stress). Daerah yang terpengaruh

oleh panas pengelasan dikenal dengan istilah Heat Affected Zone (HAZ), yaitu area di sekitar sambungan las yang mengalami pemanasan namun tidak sampai mencapai titik lebur. Di dalam HAZ, terjadi perubahan struktur mikro yang mempengaruhi sifat mekanik material. SS304 yang secara alami adalah baja Austenitik akan mengalami pemanasan yang menyebabkan distribusi karbon dan elemen lainnya menjadi tidak merata. Oleh karena itu, kontrol terhadap laju pendinginan menjadi sangat krusial. Jika proses pendinginan terlalu cepat, maka akan terjadi pembentukan fasa yang tidak diinginkan, seperti martensit yang dapat mengurangi ketangguhan dan meningkatkan kekerasan material, sehingga berisiko tinggi terhadap keretakan dan pengurangan kemampuan material untuk menahan tegangan tarik [3].

Di sisi lain, jika laju pendinginan terlalu lambat, maka akan terjadi sensitization atau pembentukan karbida krom pada batas butir, yang berpotensi menurunkan ketahanan korosi SS304. Oleh karena itu, media quenching yang dipilih harus mampu mengontrol laju pendinginan secara optimal agar fasa yang terbentuk dalam struktur mikro, seperti Austenite dan Delta-Ferrite, tetap stabil dan tidak terjadi perubahan yang merugikan. Dalam hal ini, penggunaan oli seperti Federal Racing 10W-40 berfungsi untuk memberikan pendinginan yang lebih terkendali, mencegah terbentuknya martensit yang berlebihan pada daerah lasan, dan meminimalkan pembentukan tegangan sisa yang berisiko menyebabkan keretakan [4].

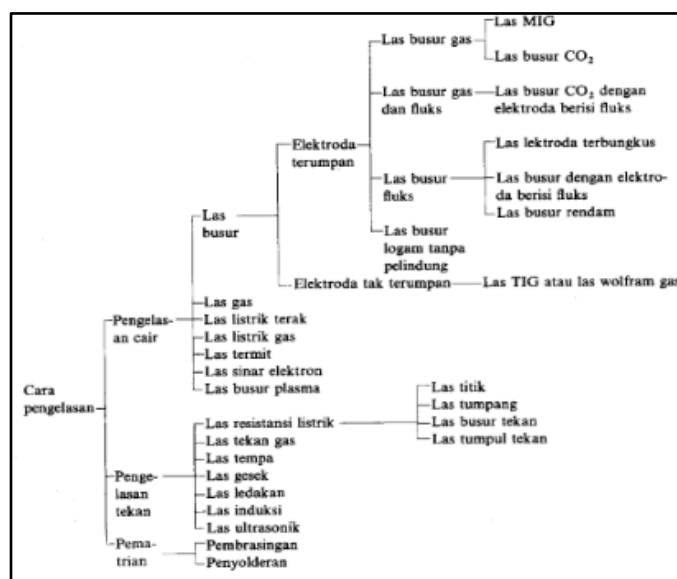
Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi media quenching terhadap perubahan struktur mikro dan sifat mekanik dari SS304 yang dilas menggunakan metode TIG (Tungsten Inert Gas). Dengan pemahaman yang lebih baik tentang fenomena panas akibat pengelasan, diharapkan dapat diperoleh informasi yang lebih mendalam mengenai cara optimal untuk mengelola pengelasan dan perlakuan panas pada material ini dalam aplikasi industry [5].

TINJAUAN PUSTAKA

Pengelasan (Welding)

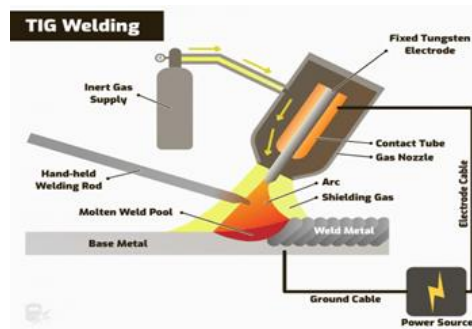
Pengelasan (welding) adalah teknik penyambungan logam dengan mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi, dengan atau tanpa tekanan dan bahan penambah, untuk menghasilkan sambungan yang kuat dan kontinu. Teknik ini banyak digunakan dalam berbagai bidang konstruksi seperti perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, dan pipa. Selain untuk penyambungan, pengelasan juga berfungsi dalam perbaikan seperti mengisi lubang coran atau mempertebal bagian aus. Meski terlihat sederhana, proses pengelasan memerlukan pengetahuan teknis yang mendalam agar sesuai dengan fungsi konstruksi. Oleh karena itu, dalam perancangan bangunan atau mesin, perlu direncanakan juga metode pengelasannya, termasuk jenis dan bahan las yang digunakan. Menurut standar DIN, pengelasan adalah ikatan metalurgi antar logam dalam kondisi cair yang menghasilkan sambungan lokal melalui energi panas.

Berdasarkan cara kerja, proses pengelasan dapat dibagi menjadi tiga jenis utama yaitu: Pengelasan cair, Pengelasan tekan dan Pematrian. Adapun lebih lanjut mengenai klasifikasi proses pengelasan dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 1. Klasifikasi Pengelasan [5]

TIG (Tungsten Inert Gas)



Gambar 2. Tig Welding

Pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) atau GTAW adalah metode pengelasan yang dapat dilakukan secara manual maupun otomatis tanpa memerlukan fluks atau kawat pelindung, menghasilkan kualitas las tinggi pada berbagai logam, terutama logam ringan dan stainless steel. Proses ini menggunakan elektroda tungsten dan gas pelindung inert (seperti argon) untuk mencegah kontaminasi dari atmosfer. TIG dapat menggunakan arus searah (DC) maupun bolak-balik (AC), tergantung jenis logam yang dilas. AC umumnya untuk aluminium dan magnesium, sedangkan DC untuk baja dan paduan tembaga. Keunggulan utama TIG adalah kontrol independen antara logam pengisi dan arus listrik, serta hasil las yang bersih dan presisi, cocok untuk logam tipis maupun tebal serta material berkualitas tinggi.

Prinsip Kerja Las TIG

Proses pengelasan GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) terjadi saat busur listrik terbentuk antara elektroda tungsten dan logam induk, menghasilkan panas yang mencairkan logam dasar serta logam pengisi (jika digunakan). Elektroda tungsten tidak ikut mencair, sementara gas pelindung dari obor melindungi area las dari kontaminasi udara. Setelah proses selesai, logam cair membeku dan membentuk sambungan yang solid. Penggunaan kawat las bersifat opsional sesuai kebutuhan. Terdapat empat komponen utama dalam pengelasan GTAW, yaitu:

1. Obor (*torch*)
2. Elektroda tidak terkonsumsi (*tungsten*)
3. Sumber arus las
4. Gas pelindung

Peralatan Las TIG

Pada prose pengelasan las TIG(*tungsten inert gas*) ada beberapa peralatan umum yang di gunakan dalam pengelasan berikut.

1. Stang Las/Obor (*torchwelding*)

Obor las atau welding torch adalah alat yang digunakan untuk pegangan pada saat proses pengelasan. Pada welding torch terdapat beberapa komponen seperti ceramic yang berfungsi untuk tempat keluarnya pelindung gas, kemudian ada penghantar arus listrik dan tempat tungsten.

Obor dipilih sesuai dengan kemampuan menampung arus las maksimum ke busur nyala tanpa mengalami *over heating*. Sebagian besar obor didesain untuk mengakomodasi segala ukuran elektoda serta berbagai tipe ukuran *nozzle*



Gambar 3. Stang Las/Obor (Torch Welding)

2. Mesin las AC/DC

Mesin las ini mempunyai dua jenis arus yaitu AC dan DC. Namun yang paling sering dan umum digunakan untuk mengelas adalah DC. Seperti pada umumnya arus DC mempunyai polaritas yaitu polaritas negative dan

polaritas positif. Untuk penggunaannya arus negatif digunakan untuk pengelasan yang membutuhkan penetrasi dalam seperti root pada sambungan V joint. [6]



Gambar 4. Mesin Las Ac/Dc

3. Tabung Gas Lindung, Regulator Gas Lindung dan *flowmeter*
Berfungsi sebagai penyimpanan pelindung gas yang digunakan untuk proses pengelasan GTAW. Pada pengelasan TIG ini digunakan gas pelindung argon, Helium atau argon dicampur dengan Helium. Pada saat pengelasan tabung ini harus dibuka regulatornya agar gas dapat bercampur dengan las lasan. Regulator ini biasanya ditunjukkan tekanan kerja dan tekanan gas di dalam tabung. Sedangkan *Flowmeter* dipakai untuk indikator besarnya aliran gas pelindung yang dipakai di dalam pengelasan [4].



gambar 5. Tabung Gas Lindung, Regulator Dan Flowmeter

4. Kabel Elektroda Selang Gas
Kabel elektroda dan selang gas berperan dalam menghantarkan arus Listrik dari mesin las ke stang las, selang gas dan aksesorisnya berfungsi menyalurkan aliran gas dari tabung ke pembakar las. Sementara itu, perangkat pengikat digunakan untuk mengikat selang dari tabung ke mesin las, serta dari mesin las ke pembakar las. [6]
5. *Collet*
Electrode holder, yang terbuat dari paduan tembaga, mampu menggenggam elektroda dengan berbagai ukuran diameter. Alat ini menggenggam elektroda dengan kuat ketika penutup obor diikat erat. [6]
6. Moncong (*Nozzle*)
Untuk mengarahkan gas pelindung agar dapat melindungi cairan logam dengan sempurna Nozzle antar cup merupakan komponen yang dapat diintegrasikan pada kepala obor las. Komponen ini juga dapat dipasangkan pada diffuser atau jet yang telah dipatenkan. Diffuser berperan dalam meluruskan aliran gas. Nozzle ini diproduksi dari material tahan panas dengan beragam ukuran dan konfigurasi untuk memenuhi berbagai keperluan. [7]
7. Elektroda Tungsten
Elektroda yang digunakan dalam pengelasan busur lainnya berinteraksi secara fisik dengan logam dan mungkin melibatkan berbagai zat fluks, yang mengakibatkan percik dan berkurangnya control terhadap busur pengelasan. Logam tungsten meleleh pada suhu yang jauh lebih tinggi (3422°C) dibandingkan logam seperti baja ($1371\text{-}1540^{\circ}\text{C}$) dan aluminium (660°C). Jadi, elektroda tungsten mentolerir panas tinggi karena mengarahkan busur listrik ke kolom las. Elektroda Tungsten terdiri dari dua jenis yaitu : Elektroda tungsten murni dan elektroda tungsten paduan [7].

Tabel 1. Komposisi Kimia Elektroda Tungsten

Klasifikasi AWS	Perkiraan komposisi	Kode warna
EWP	Tungsten murni	Hijau
EWCe-2	97,3% tungsten, 2% cerium oksida	Oranye

EWL _a -1	98,3% tungsten, 1% lanthanum oksida	Hitam
EWTh-1	98,3% tungsten, 1% thorium oksida	Kuning
EWTh-2	97,3% tungsten, 2% thorium oksida	Merah
EWZr-1	99,1% tungsten, 0,25% zirconium oksida	Coklat
EWG	94,5% tungsten, sisa tidak disebut	Abu-Abu

Parameter Pengelasan

Untuk mendapatkan kualitas las yang optimal, diperlukan beberapa faktor penunjang yang harus dipenuhi: arus listrik, polaritas, *heat input* penggunaan variasi media pendingin, *heat input* dan inert gas. Berikut merupakan penjabaran parameter-parameter pengelasan yang digunakan :

Arus Listrik

Arus pengelasan adalah besarnya aliran atau arus listrik yang keluar dari mesin las. Besar kecilnya arus pengelasan dapat diatur dengan alat yang ada pada mesin las. Arus las harus disesuaikan dengan jenis bahan dan diameter elektroda yang di gunakan dalam. Selain pengelasan. Besar arus dan tegangan listrik yang digunakan dalam proses pengelasan sangat berpengaruh terhadap hasil akhir. Kedua variabel ini biasanya ditentukan berdasarkan ketebalan bahan dasar, diameter elektroda, dan posisi pengelasanitu, prosedur pengelasan yang telah distandarkan WPS (*welding procedur specification*) juga menjadi acuan penting dalam menentukan parameter pengelasan. [5]

Polaritas

Dalam pengelasan GTAW, polaritas yang umum digunakan adalah DCEN (Direct Current Electrode Negative), di mana elektroda tungsten dihubungkan ke terminal negatif. Ini menghasilkan panas lebih besar pada benda kerja (sekitar 2/3), menghasilkan penetrasi dalam namun sempit. Sebaliknya, pada DCEP (Direct Current Electrode Positive), panas lebih besar berada di elektroda, sehingga diperlukan elektroda berdiameter besar dan pendingin air untuk mencegah kerusakan. DCEP menghasilkan pembersihan permukaan (*surface cleaning action*) akibat bombardir ion positif, cocok untuk logam yang membentuk oksida kuat seperti aluminium dan magnesium, dengan hasil lasan yang lebar namun dangkal.

Heat Input

Heat input pada las sangat mempengaruhi struktur fase, ketangguhan, laju pendinginan serta distorsi. Komposisi kimia pada weld zone (WZ) dan level heat input secara langsung berakibat pada struktur mikro dan ketangguhan las . Heat input akan mempengaruhi laju pendinginan las, yang berakibat pada perubahan struktur mikro pada las . Parameter las heat input dan variabel gas pelindung akan menentukan struktur mikro, morfologi dendrite dan tekstur las yang berakibat pada ketangguhan cryogenic sambungan las tegangan las dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter ini menghasilkan energi pengelasan yang disebut *heat input* [5]. Persamaan dari *heat input* hasil dari penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan sebagai berikut:

$$HI = \frac{60 \cdot E \cdot I}{v}$$

HI = Masukkan panas (joule/cm)

E = Tegangan busur (volt)

I = Arus las (Ampere)

V = Kecepatan las (cm/menit)

Heat input adalah jumlah energi panas yang diberikan per satuan panjang lasan. Parameter ini sangat krusial karena mempengaruhi laju pendinginan logam, yang berdampak langsung pada sifat mekanik dan mikrostruktur sambungan las. Heat input yang terlalu tinggi dapat menyebabkan zona terpengaruh panas (HAZ) yang luas dan meningkatkan risiko cacat seperti undercut. Sebaliknya, heat input yang terlalu rendah dapat menyebabkan inklusi slag. Oleh karena itu, penentuan nilai heat input yang optimal sangat penting untuk menghasilkan lasan berkualitas.

Inert Gas /Gas Pelindung

Gas lindung adalah gas inert yang tidak reaktif terhadap logam maupun gas lain. Fungsi utama gas lindung adalah melindungi busur listrik dan logam cair dari kontaminasi atmosfer selama proses pengelasan. Udara mengandung oksigen

dan nitrogen yang dapat bereaksi dengan logam pada suhu tinggi, membentuk oksida yang dapat menurunkan kualitas lasan. Gas argon, helium, atau campuran keduanya umumnya digunakan sebagai gas pelindung dalam pengelasan TIG. [9]

1. Gas argon (Ar)

Argon adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Ar dan nomor atom 18. Gas mulia ke-3, di periode 8, argon membentuk 1% dari atmosfer bumi. Argon memiliki nilai penting bagi industri logam dan digunakan sebagai pelindung gas inert dalam arc welding dan pemotongan logam. Gas argon yang digunakan sebagai pelindung disimpan dalam bentuk tabung seperti yang terlihat pada Gambar 5. Kegunaan lain argon adalah sebagai selimut non-reaktif dalam pembuatan titanium dan unsur reaktif lainnya, serta sebagai atmosfer pelindung untuk menumbuhkan kristal silikon dan germanium. Unsur ini digunakan dalam scuba diving untuk mengembangkan dry suit karena sifatnya yang tidak reaktif serta kemampuannya mengisolasi panas. Gas argon juga tidak memberikan kerusakan ekologis pada lingkungan sekitarnya karena sifatnya yang tidak reaktif. [4]

2. Gas helium

Helium (He) adalah gas mulia yang memiliki karakteristik unik. Atom helium sangat kecil dan ringan, sehingga memiliki konduktivitas termal, kalor jenis, dan kecepatan suara yang tinggi. Selain itu, helium juga memiliki laju difusi yang sangat cepat dalam zat padat. Meskipun demikian, dalam kondisi tertentu, helium dapat membentuk senyawa eksimer dengan beberapa unsur seperti tungsten dan fluorin. [6]

3. Gas karbon dioksida (CO₂)

Karbon dioksida (CO₂) merupakan senyawa kimia yang terdiri dari satu atom karbon dan dua atom oksigen yang terikat secara kovalen. Gas ini tidak berwarna, tidak berbau, dan dalam kondisi standar (suhu dan tekanan ruangan), ia berada dalam fase gas. Karbon dioksida memiliki sifat unik, yaitu pada tekanan rendah, ia tidak mengalami fase cair saat didinginkan, melainkan langsung menjadi padat (es kering). Konsentrasi karbon dioksida di atmosfer bumi relatif rendah, sekitar 387 ppm. [6]

4. Gas campuran hidrogen-nitrogen

Gas campuran hidrogen-nitrogen (H₂N₂) dengan komposisi 20% hidrogen dan 80% nitrogen sering digunakan sebagai gas pelindung dalam pengelasan. Hidrogen dalam campuran ini berperan sebagai agen pereduksi yang efektif, mampu mengikat oksigen bebas dan mengurangi tegangan permukaan pada logam cair di zona las. Sementara itu, nitrogen berfungsi sebagai gas inert yang membantu menjaga stabilitas busur listrik dan melindungi logam dari kontaminasi.

Dasar pemilihan gas pelindung tergantung pada dimensi benda kerja dan tipe arus yang digunakan. Pemilihan gas pelindung ini sangat mempengaruhi terhadap kualitas hasil lasan [4]. Gas Argon lebih sering dipakai di dalam las gas tungsten berdasar atas beberapa pertimbangan yang antara lain :

1. Busur lebih stabil dan halus.
2. Membutuhkan tegangan busur yang lebih rendah bila dibandingkan dengan gas pelindung yang lain untuk panjang busur dan arus yang digunakan.
3. Busur mudah sekali dinyalakan.
4. Dengan arus AC, pengelasan aluminium dan magnesium mudah sekali dilakukan karena aksi pembersihan permukaan logam yang lebih besar.
5. Karena berat atom yang besar, konsumsi gas pelindung dibutuhkan lebih sedikit bila dibandingkan dengan gas pelindung yang lain.

filler

Logam pengisi dalam pengelasan TIG berfungsi mengisi lapisan las dan dipilih berdasarkan kesesuaian dengan logam dasar. Umumnya, logam pengisi memiliki komposisi lebih baik untuk mengimbangi perubahan sifat mekanik akibat proses pengelasan. Pada baja tahan karat, pemilihan logam pengisi didasarkan pada kesamaan komposisi kimia dengan logam dasar untuk menjaga ketahanan terhadap korosi dan retak. Tiga jenis utama baja tahan karat yang perlu dipertimbangkan adalah austenitik, feritik, dan martensitik.

Pengelasan Baja Tahan Karat Austenitik

Baja tahan karat austenitik unggul dalam pengelasan karena tidak mengalami perubahan fasa akibat suhu tinggi, menghasilkan sambungan yang liat. Namun, tipe 303 dan 303SE rentan terhadap retak panas karena kandungan sulfur dan selenium. Sebaliknya, tipe 302, 304, dan 304L lebih stabil dan mudah dilas. Untuk mencegah korosi antarbutir akibat

pembentukan karbida krom, disarankan menggunakan kawat las tipe “L” seperti 304L, 316L, atau 317L. Pemilihan kawat las harus disesuaikan dengan jenis baja yang dilas.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode Gas Tungsten Arc Welding (GTAW/TIG) untuk menyambungkan pipa Stainless Steel 304 (SS304) dengan arus pengelasan sebesar 70 A. Proses pengelasan dilakukan dengan parameter pengelasan sebagai berikut: tegangan pengelasan 15-18 V, kecepatan las sebesar 5 mm/detik, dan menggunakan gas argon 100% sebagai gas pelindung. Setelah proses pengelasan, spesimen langsung didinginkan menggunakan tiga media quenching yang berbeda, yaitu air laut, oli Federal Racing 10W-40, dan udara. Proses quenching dilakukan segera setelah pengelasan tanpa melalui proses pemanasan ulang atau Post Weld Heat Treatment (PWHT).

Untuk mengamati struktur mikro hasil pengelasan, spesimen di-etsa menggunakan Aqua Regia dan Vilella's Reagent. Penggunaan cairan Nital dihindari karena cairan ini hanya cocok untuk baja karbon dan tidak efektif untuk menganalisis fasa Austenite dan Delta-Ferrite pada SS304. Setiap media quenching diuji dengan tiga titik uji pada Weld Metal (WM), Heat Affected Zone (HAZ), dan Base Metal (BM) untuk mendapatkan hasil yang representatif mengenai pengaruh media pendingin terhadap sifat mekanik dan struktur mikro.

Pengelasan dilakukan menggunakan metode Gas Tungsten Arc Welding (GTAW/TIG) pada pipa SS304 dengan arus 70 A. Proses pengelasan ini dipilih karena menghasilkan sambungan las dengan kualitas tinggi dan deformasi minimal, sangat cocok untuk pengelasan baja tahan karat Austenitik seperti SS304. Parameter pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup beberapa variabel penting, yang di antaranya adalah:

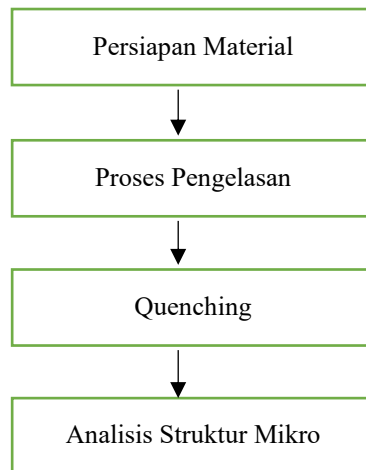
1. Arus Pengelasan (I): 70 A
2. Tegangan Pengelasan (V): 15-18 V
3. Kecepatan Las (Travel Speed): 5 mm/detik
4. Jenis Gas Pelindung: Gas argon 100% digunakan sebagai gas pelindung untuk menjaga area las dari kontaminasi atmosfer dan mencegah pembentukan oksida pada logam.

Setelah pengelasan, spesimen dikenakan proses quenching dengan menggunakan tiga media pendingin yang berbeda, yaitu air laut, oli Federal Racing 10W-40, dan udara. Proses quenching dilakukan dengan cara mendinginkan spesimen segera setelah pengelasan, tanpa melakukan pemanasan ulang terlebih dahulu. Spesimen tidak dipanaskan ulang atau menjalani Post Weld Heat Treatment (PWHT), karena tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh media quenching langsung terhadap sifat mekanik dan struktur mikro tanpa modifikasi lebih lanjut melalui perlakuan panas.

Untuk mengamati struktur mikro hasil pengelasan, dilakukan etsa pada spesimen dengan menggunakan Aqua Regia sebagai cairan kimia utama untuk memunculkan struktur mikro SS304. Aqua Regia adalah campuran asam nitrik dan asam klorida yang digunakan untuk melarutkan logam-logam seperti emas, platinum, dan baja tahan karat. Vilella's Reagent juga digunakan sebagai cairan etsa untuk memperjelas batas butir dan struktur fasa lainnya pada material SS304.

Sebagai catatan, penggunaan Nital tidak dilakukan dalam penelitian ini karena Nital adalah cairan etsa yang digunakan khusus untuk baja karbon, bukan untuk baja tahan karat Austenitik seperti SS304. Penggunaan Nital dapat memberikan hasil yang tidak akurat dalam analisis struktur mikro SS304, karena cairan ini tidak efektif dalam mengidentifikasi fasa Austenite dan Delta-Ferrite pada material ini.

Diagram Alir Penelitian:



Gambar 6. Diagram Alir Proses Penelitian

Penelitian ini mengikuti alur sebagai berikut:

1. Persiapan Material: Pemotongan pipa SS304 dengan ukuran standar.
2. Proses Pengelasan: Pengelasan dilakukan menggunakan metode TIG pada material SS304 dengan arus 70 A.
3. Quenching: Spesimen diproses dengan tiga media pendingin (air laut, oli, udara) setelah pengelasan.
4. Analisis Struktur Mikro: Spesimen yang telah didinginkan di-etsa menggunakan Aqua Regia dan Vilella's Reagent untuk memperjelas struktur mikro, yang kemudian diamati menggunakan mikroskop.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengelasan Specimen

Penelitian ini membahas hasil pengelasan metode TIG pada spesimen Stainless Steel 304 melalui pengujian mekanik meliputi uji kekerasan, uji tarik, dan analisis struktur mikro. Pembahasan difokuskan pada evaluasi kekuatan dan ketangguhan material hasil las untuk menilai pengaruh variasi media pendingin terhadap sifat mekaniknya. Adapun hasil pengujian masing-masing spesimen disajikan sebagai berikut.



Gambar 7. Hasil Pengelasan TIG Pipa SS 304

Berdasarkan pengamatan visualisasi pada gambar 4.1 hasil pengelasan TIG dengan material pipa SS 304 menggunakan 3 Variasi media quenching, tidak ditemukan nya cacat las atau over lap.

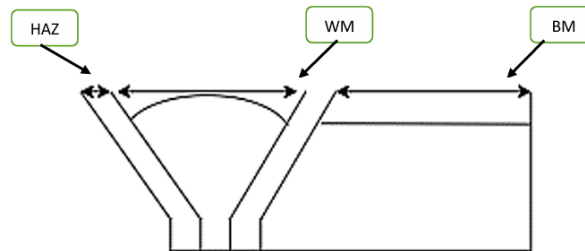
Untuk menghindari cacat pada pengelasan TIG, perlu memperhatikan beberapa faktor yang dapat menyebabkan kecacatan, seperti pemilihan elektroda dan gas yang tepat, pengendalian suhu, dan pengaturan parameter las yang akurat. Jika salah satu dari faktor-faktor ini diabaikan, kemungkinan besar akan timbul cacat dalam hasil pengelasan.

Hasil Pengujian Spesimen

Hasil pengujian pengelasan TIG pada tiga variasi media pendingin oli, air laut, dan suhu ruang meliputi uji kekerasan untuk menilai kekuatan dan ketangguhan material, uji tarik untuk mengetahui kekuatan tarik, serta uji struktur mikro untuk mengamati fasa yang terbentuk dan batas butir.

Hasil Pengujian Hardnes Vickers

Pengujian kekerasan Vickers dilakukan pada spesimen las sesuai standar ASTM E8 dengan tiga titik penekanan untuk mengetahui variasi nilai kekerasan antar spesimen. Lokasi penekanan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 8. Titik Uji Kekerasan Hasil Pengelasan

Setiap variasi quenching diuji menggunakan satu spesimen dengan tiga titik pembebanan, yaitu pada HAZ, WM, dan BM. Titik-titik ini digunakan untuk menganalisis pengaruh panas dan mewakili kekuatan material dalam menahan beban serta perubahan permanen akibat proses pengelasan.

Spesimen Variasi Suhu Ruangan



Gambar 9. Spesimen uji vickers variasi Suhu ruangan

Pengujian kekerasan Micro Vickers dilakukan tanpa benturan, dengan penekanan indenter secara perlahan selama 10 detik menggunakan beban 5 kgf (49,033 N).

Hasil Vickers Variasi Suhu Ruanga

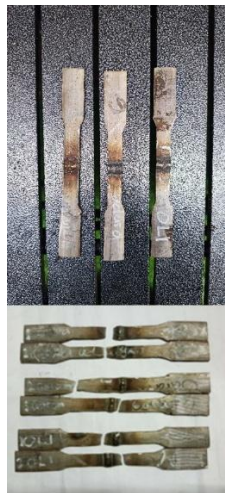
Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan Vickers Variasi Suhu Ruangan.

NO	NILAI KEKERASAN (HV)	MEAN	KETERANGAN
1	153		
2	171	170,6	WM
3	188		
4	178		HAZ
5	172	174,6	
6	174		
7	171		
8	161	166	BM
9	166		

Berdasarkan data spesimen suhu ruang (Tabel 2.), nilai kekerasan tertinggi terdapat pada weld metal sebesar 174,6 HV, diikuti HAZ 170,6 HV, dan base metal 166 HV.

Hasil Pengujian Uji Tarik

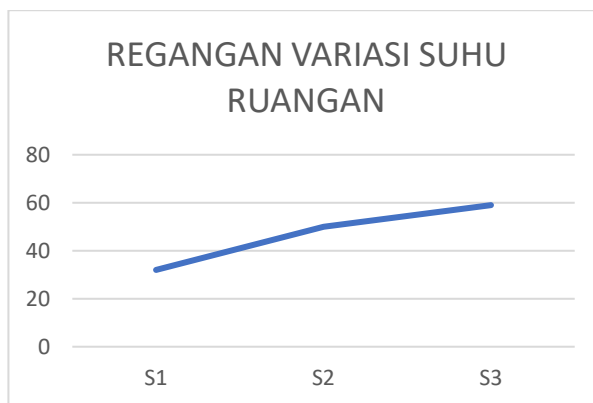
Hasil uji tarik pada spesimen las sesuai standar ASME SEC IX menunjukkan nilai kekuatan tarik maksimal (ultimate tensile strength). Gambar kondisi spesimen sebelum dan sesudah pengujian ditampilkan sebagai dokumentasi hasil.



Gambar 10. Sampel Sebelum Di Tarik (atas), Sampel Setelah Uji Tarik (bawah)

Hasil Pengujian Tarik Variasi Suhu Ruangan

Pengujian tarik pada spesimen suhu ruangan dilakukan pada tiga sampel (S1, S2, dan S3). Disajikan perbandingan kondisi spesimen sebelum dan sesudah uji tarik, serta grafik hasil pengujian untuk masing-masing sampel.



Gambar 11. Grafik Regangan Uji Spesimen Variasi Suhu Ruangan

Berikut ini merupakan tabel yang didapat dari keseluruhan hasil pengujian tarik variasi Suhu ruangan sampel 1,2 dan 3.

Tabel 3. Hasil Uji Tarik Spesimen Variasi Suhu Ruangan

Dimensi (mm)		Ao (mm ²)	Fm (kN)	su		Regangan (%)	Kode	Keterangan
Lebar	Tebal			(N/mm ²)	(kgf/cm ²)			
15,15	2,68	40,60	23,25	573	5837	32	Sambungan las netral	Putus material dasar
15,55	2,67	41,52	25,25	608	6199	50	Sambungan las netral	Putus material dasar
15,53	2,67	41,46	24,25	614	6245	59	Sambungan las netral	Putus material dasar
Mean		41,19	24,25	598	6094	47		

Pada spesimen SS304 dengan variasi suhu ruangan, diperoleh rata-rata beban maksimal 24.250 N, kekuatan tarik 598 N/mm², dan regangan sebesar 47%.

Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro pada spesimen las TIG pipa SS304 dilakukan dengan mikroskop 200x pada tiga area: Weld Metal (WM), Heat Affected Zone (HAZ), dan Base Metal (BM).



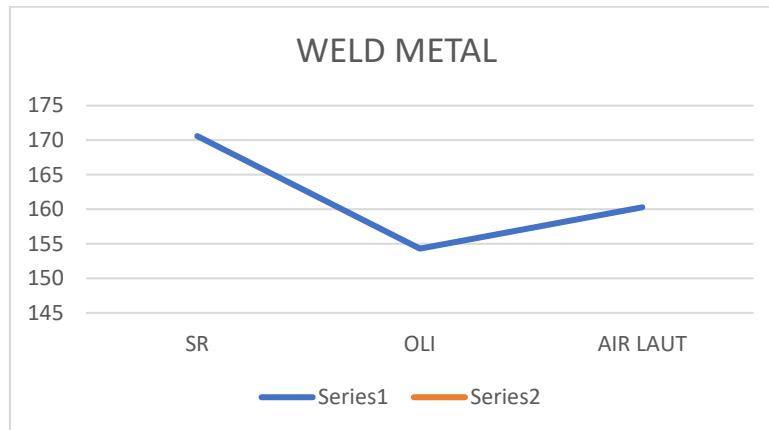
Gambar 12. Spesimen Uji Struktur Mikro

1. Weld Metal (WM) adalah hasil pencampuran logam induk dan logam pengisi yang mencair lalu membeku, membentuk jalur las. Proses solidifikasi ini mengubah struktur mikro yang memengaruhi sifat mekanik logam.
2. Heat Affected Zone (HAZ) adalah area di sekitar jalur las yang terkena panas tinggi saat pengelasan, menyebabkan struktur butir menjadi lebih kasar dibandingkan base metal.
3. Base Metal (BM) adalah bagian logam yang tidak langsung terkena elektroda, namun tetap terpengaruh panas dari proses pengelasan.

Uji Kekerasan

Hasil uji kekerasan Vickers menunjukkan bahwa variasi media quenching (suhu ruangan, oli, dan air laut) menghasilkan tingkat kekerasan yang berbeda pada setiap daerah pengelasan, yaitu base metal, weld metal, dan heat affected zone (HAZ). Perbedaan media pendingin memengaruhi distribusi panas dan struktur mikro, sehingga menghasilkan variasi nilai kekerasan pada masing-masing area.

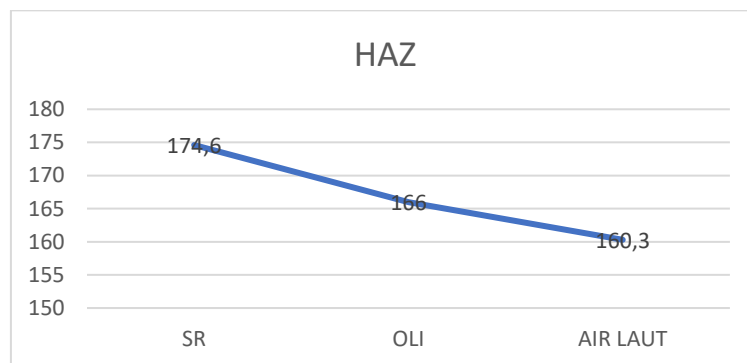
Hasil uji kekerasan pada daerah weld metal menunjukkan bahwa setiap variasi media quenching (suhu ruangan, oli, dan air laut) menghasilkan nilai kekerasan yang berbeda, mencerminkan pengaruh media pendingin terhadap struktur mikro dan sifat mekanik hasil las TIG.



Gambar 13. Grafik nilai kekerasan weld metal.

Berdasarkan grafik, spesimen dengan kekerasan tertinggi pada daerah weld metal diperoleh dari variasi suhu ruangan (170,6 HV), sedangkan terendah dari variasi oli (154,3 HV). Hal ini menunjukkan bahwa quenching suhu ruangan pada pengelasan TIG pipa SS304 dapat meningkatkan kekerasan weld metal secara signifikan.

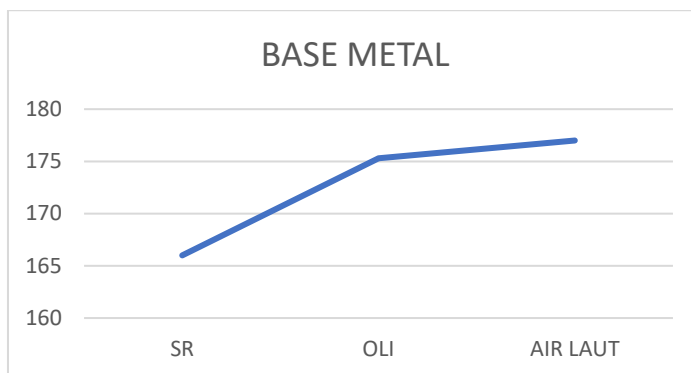
Hasil pengujian pada daerah Heat Affected Zone (HAZ) menunjukkan variasi nilai kekerasan berdasarkan media quenching yang digunakan. Setiap spesimen dengan quenching suhu ruangan, oli, dan air laut menghasilkan nilai kekerasan yang berbeda pada area HAZ setelah pengelasan TIG.



Gambar 14. Grafik Nilai Kekerasan HAZ

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi quenching suhu ruangan menghasilkan kekerasan tertinggi pada daerah HAZ sebesar 174,6 HV, sedangkan air laut menghasilkan nilai terendah sebesar 160,3 HV. Hal ini menunjukkan bahwa quenching suhu ruangan meningkatkan kekerasan HAZ secara signifikan pada pengelasan TIG pipa SS304.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi media quenching memengaruhi kekerasan di daerah base metal. Nilai kekerasan tertinggi dicapai oleh variasi air laut, diikuti oleh oli, dan terendah oleh suhu ruangan pada pengelasan TIG pipa SS304.

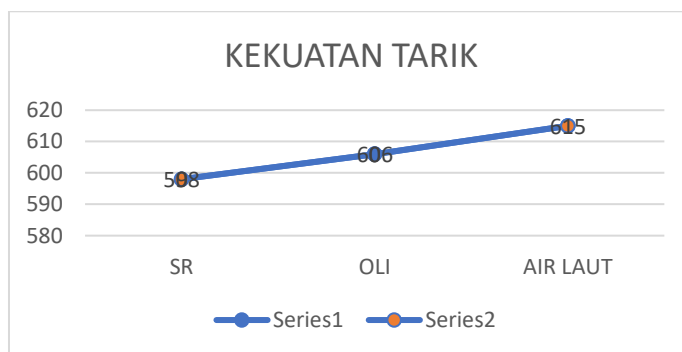


Gambar 15. Grafik nilai kekerasan BM.

Hasil menunjukkan bahwa kekerasan tertinggi pada daerah base metal dicapai oleh variasi quenching oli sebesar 175,3 HV, sedangkan terendah oleh suhu ruangan sebesar 166 HV. Ini menunjukkan bahwa quenching dengan oli meningkatkan kekerasan base metal secara signifikan.

Uji Tarik

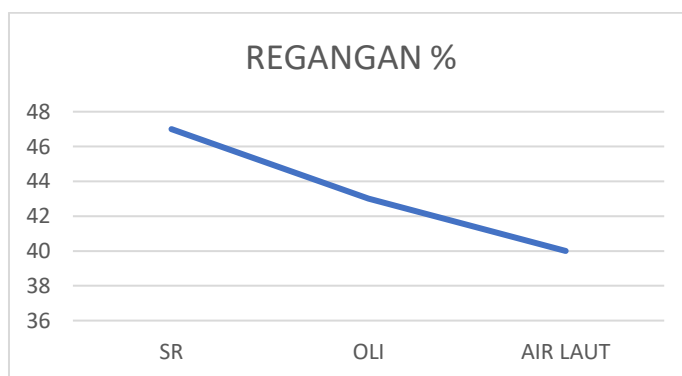
Kekuatan Tarik (Tensile Strengce)



Gambar 16. Grafik kekuatan Tarik.

Grafik menunjukkan bahwa spesimen dengan variasi quenching garam memiliki kekuatan tarik tertinggi sebesar 615 N/mm², sedangkan terendah diperoleh dari quenching suhu ruangan sebesar 598 N/mm².

Regangan (Elongation)

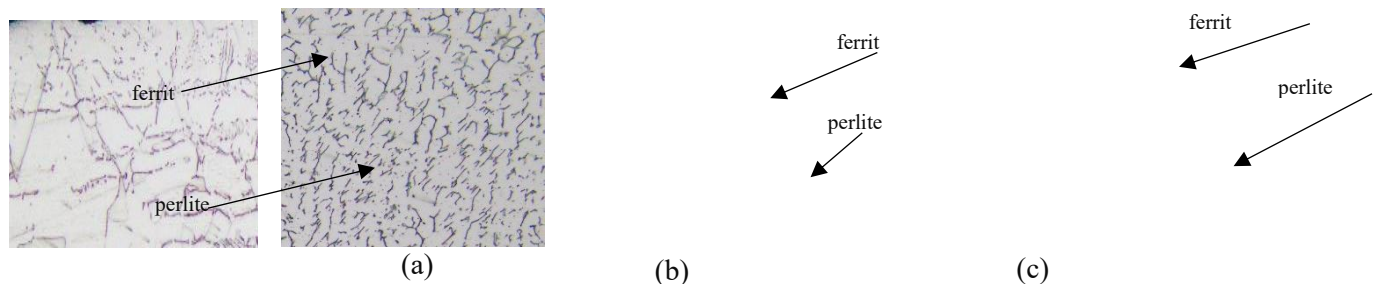


Gambar 17. Grafik kekuatan Regangan.

Grafik menunjukkan bahwa variasi quenching suhu ruangan menghasilkan regangan tertinggi sebesar 47%, sedangkan regangan terendah sebesar 40% diperoleh dari quenching air laut.

Uji Struktur Mikro

Variasi quenching Suhu ruangan



Gambar 18. Hasil pengamatan struktur mikro pengelasan pipa SS304 variasi Suhu ruangan pada area l (a) pembesaran 200x Weld Metal (b).pembesaran 200x HAZ. (C) Pembesaran 200x BM

Berdasarkan hasil pengamatan struktur mikro pada spesimen SS304 hasil pengelasan TIG, struktur yang tampak pada daerah Weld Metal (WM), Heat Affected Zone (HAZ), dan Base Metal (BM) tidak dapat diidentifikasi sebagai perlit maupun martensit. Hal ini disebabkan SS304 termasuk baja tahan karat austenitik, sehingga tidak mengalami transformasi fasa menjadi perlit atau martensit melalui proses pendinginan termal biasa. Struktur mikro yang dominan pada SS304 adalah austenite, sedangkan bagian gelap yang tampak pada daerah lasan kemungkinan merupakan delta-ferrite yang terbentuk dalam matriks austenite akibat proses solidifikasi logam las.

Pada daerah Weld Metal, struktur mikro cenderung menunjukkan matriks austenite dengan kemungkinan adanya delta-ferrite yang tersebar pada area tertentu. Fasa delta-ferrite pada logam las SS304 dapat muncul karena proses pembekuan logam cair selama pengelasan TIG. Pada daerah HAZ, perubahan struktur mikro lebih dipengaruhi oleh siklus panas pengelasan, yaitu pemanasan tinggi di sekitar logam las yang tidak sampai mencair. Jika pada batas butir tampak area yang lebih gelap, bagian tersebut dapat diduga sebagai batas butir yang mengalami perubahan akibat panas, atau kemungkinan adanya presipitasi karbida krom apabila pendinginan berlangsung kurang cepat. Namun, identifikasi tersebut tetap memerlukan pengujian lanjutan agar dapat dipastikan secara lebih akurat.

Dengan demikian, analisis struktur mikro pada penelitian ini diarahkan pada keberadaan austenite, delta-ferrite, serta kemungkinan perubahan pada batas butir akibat pengaruh panas pengelasan. Istilah perlit dan martensit tidak digunakan dalam pembahasan karena tidak sesuai dengan karakteristik metalurgi SS304 sebagai baja tahan karat austenitik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi media quenching terhadap kekuatan mekanik dan struktur mikro pipa Stainless Steel 304 (SS304) hasil pengelasan TIG, dapat disimpulkan bahwa variasi media pendingin memberikan pengaruh terhadap nilai kekerasan, kekuatan tarik, regangan, dan struktur mikro material. Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa nilai tertinggi pada daerah Weld Metal (WM) diperoleh pada media suhu ruangan sebesar 170,6 HV, sedangkan nilai terendah terdapat pada media oli sebesar 154,3 HV. Pada daerah HAZ, nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada media suhu ruangan sebesar 174,6 HV, sedangkan nilai terendah terdapat pada media air laut sebesar 160,3 HV. Sementara itu, pada daerah Base Metal (BM), nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada media air laut sebesar 177 HV, sedangkan nilai terendah terdapat pada media suhu ruangan sebesar 166 HV.

Hasil uji tarik menunjukkan bahwa media pendingin air laut menghasilkan kekuatan tarik tertinggi sebesar 615 N/mm², diikuti oleh media oli sebesar 606 N/mm², dan media suhu ruangan sebesar 598 N/mm². Namun, nilai regangan tertinggi justru diperoleh pada media suhu ruangan sebesar 47%, sedangkan regangan terendah terdapat pada media air laut sebesar 40%. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kekuatan tarik tidak selalu diikuti oleh peningkatan keuletan material. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh laju pendinginan masing-masing media yang menyebabkan perbedaan distribusi panas, tegangan sisa, serta kemampuan material dalam mengalami deformasi plastis.

Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa struktur yang terbentuk pada SS304 hasil pengelasan TIG didominasi oleh austenite dengan kemungkinan adanya delta-ferrite pada daerah lasan. Struktur gelap yang tampak pada hasil metalografi tidak diidentifikasi sebagai perlit atau martensit, karena SS304 merupakan baja tahan karat austenitik yang tidak mengalami transformasi fasa menjadi perlit atau martensit melalui proses quenching termal biasa. Dengan demikian, media quenching berpengaruh terhadap sifat mekanik dan tampilan struktur mikro SS304, tetapi tidak mengubah karakter dasar SS304 sebagai baja tahan karat austenitik.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian struktur mikro dengan metode yang lebih lengkap, seperti SEM-EDS, XRD, atau pengujian kandungan delta-ferrite, agar identifikasi fasa pada SS304 dapat dilakukan dengan lebih akurat. Selain itu, proses etsa metalografi sebaiknya menggunakan cairan etsa yang sesuai untuk baja tahan karat austenitik, seperti Aqua Regia, Vilella's reagent, atau etsa elektrolitik, sehingga batas butir dan fasa yang terbentuk dapat terlihat lebih jelas.

Selain itu, penelitian berikutnya perlu mencantumkan parameter pengelasan secara lebih rinci, seperti tegangan pengelasan, kecepatan las, jenis gas pelindung, debit gas, dan jarak elektroda. Parameter tersebut penting karena dapat memengaruhi heat input, pembentukan HAZ, tegangan sisa, serta kualitas sambungan las. Jumlah spesimen juga sebaiknya ditambah agar hasil pengujian lebih representatif dan dapat dianalisis secara lebih kuat.

Untuk pengembangan lebih lanjut, variasi media pendingin dapat diperluas dengan membandingkan air tawar, air garam dengan konsentrasi tertentu, oli SAE berbeda, dan pendinginan udara terkontrol. Dengan demikian, pengaruh laju pendinginan terhadap kekerasan, kekuatan tarik, regangan, dan struktur mikro SS304 dapat dianalisis secara lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Widyianto, A. S. Baskoro, and G. Kiswanto, "Investigation on Weld Characteristic, Welding Position, Microstructure, and Mechanical Properties in Orbital Pulse Current Gas Tungsten Arc Welding of AISI 304L Stainless Steel Pipe," *Int. J. Technol.*, vol. 13, no. 3, pp. 473–483, 2022, doi: 10.14716/ijtech.v13i3.3134.
- [2] G. R. Mohammed, M. Ishak, S. N. Aqida, and H. A. Abdulhadi, "Effects of Heat Input on Microstructure, Corrosion and Mechanical Characteristics of Welded Austenitic and Duplex Stainless Steels: A Review," *Metals (Basel)*, vol. 7, no. 2, p. 39, 2017, doi: 10.3390/met7020039.
- [3] H. Djeloud, M. Moussaoui, R. Kouider, A. Al-Kassir, and J. P. Carrasco-Amador, "Study of the Heat Exchange and Relaxation Conditions of Residual Stresses Due to Welding of Austenitic Stainless Steel," *Energies*, vol. 16, no. 7, p. 3176, 2023, doi: 10.3390/en16073176.
- [4] Sungkono and S. Ismarwanti, "Perilaku Tarik dan Struktur Mikro Baja Tahan Karat AISI 304 Pasca Perlakuan Panas pada Daerah Sensitisasi 600-700 °C," *Urania J. Ilm. Daur Bahan Bakar Nukl.*, vol. 27, no. 3, pp. 123–132, 2021, doi: 10.17146/urania.2021.27.3.6570.
- [5] A. International, "ASTM E407-23: Standard Practice for Microetching Metals and Alloys," 2023, *ASTM International, West Conshohocken, PA*. doi: 10.1520/E0407-23.
- [6] Sriwidharto, *Petunjuk Kerja Las*. Jakarta, Indonesia, 2006.
- [7] E. B., E. N., and A. M., "Pengaruh diameter filler dan arus pada pengelasan TIG terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro pada baja karbon rendah," *Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Metro*, vol. XI, no. 1, pp. 54–61, 2017.
- [8] H. Cary, *Welding Technology*. New Jersey, NJ, USA: Prentice Hall, 1993.
- [9] M. K. A. Nawawi, *Pengaruh Variasi Laju Aliran Gas pada Pengelasan GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) pada Baja ST 42 terhadap Cacat Las, Lebar HAZ, dan Kekerasan*. Surabaya, Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [10] L. Agustriyana, S., and S., "Pengaruh pengelasan GTAW pada logam bimetal plat baja karbon rendah dan stainless steel terhadap sifat mekanik sambungan las," *Info Teknik*, vol. XX, no. 2, pp. 167–180, 2019.
- [11] H. Budiman, "Analisis pengujian tarik (tensile test) pada baja ST37," *Jurnal J-Ensitem*, vol. 03, pp. 9–13, 2016.
- [12] J. Permana, W. Amiruddin, and H. Yudo, "Analisa perbandingan kekuatan sambung las material aluminium 5083 terhadap pengelasan friction stir welding 1000 RPM dengan Metal Inert Gas," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. IV, no. 3, pp. 705–712, 2016.
- [13] N. Julian, U. B., and B. A., "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. VII, no. 4, pp. 277–285, 2019.

- [14] R. Setiaji, Pengujian Tarik. Jakarta, Indonesia: Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2009.
- [15] Outokumpu, Handbook of Stainless. Sweden: Outokumpu, 2013.