

## KARAKTERISTIK KEKERASAN SAMBUNGAN LAS FCAW PADA BAJA SS400 DENGAN PENAMBAHAN $TiO_2$ DAN VARIASI ARUS PENGLASAN

**Isro' Umi Masfuatin**

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
Email: [isroumi.22027@mhs.unesa.ac.id](mailto:isroumi.22027@mhs.unesa.ac.id)

**Hanna Zakiyya**

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
Email: [hannazakiyya@unesa.ac.id](mailto:hannazakiyya@unesa.ac.id)

### Abstrak

Pengelasan merupakan metode penyambungan logam yang sering digunakan dalam industri manufaktur dan konstruksi karena mampu menghasilkan sambungan permanen dengan kualitas yang baik. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah Flux Cored Arc Welding (FCAW). Pengembangan proses pengelasan dilakukan melalui penambahan serbuk titanium dioksida ( $TiO_2$ ) sebagai *active flux* yang berpotensi meningkatkan sifat mekanik, khususnya kekerasan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan  $TiO_2$  terhadap nilai kekerasan hasil pengelasan FCAW pada baja SS400 dengan variasi arus 140 A, 150 A, dan 160 A. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan pengujian kekerasan Vickers pada daerah *base metal* (BM), *heat affected zone* (HAZ), dan *weld metal* (WM). Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada arus 140 A diperoleh nilai kekerasan rata-rata sebesar 178,23 HV (BM), 205,87 HV (HAZ), dan 227,77 HV (WM). Pada arus 150 A diperoleh nilai kekerasan tertinggi sebesar 241,73 HV pada WM, sedangkan pada arus 160 A nilai kekerasan WM menurun menjadi 204,40 HV. Secara umum, nilai kekerasan tertinggi berada pada daerah *weld metal*, diikuti HAZ dan *base metal* pada seluruh variasi arus. Simpulan penelitian menunjukkan bahwa penambahan  $TiO_2$  mampu meningkatkan kekerasan hasil las, dengan kondisi optimal pada arus 150 A, sehingga dapat meningkatkan kualitas sambungan las baja SS400.

**Kata Kunci:** Pengelasan FCAW, Titanium Dioksida ( $TiO_2$ ), Baja SS400, Kekerasan Vickers, Arus Pengelasan.

### Abstract

*Welding is a metal joining method commonly used in the manufacturing and construction industries because it produces high-quality, permanent joints. One widely used method is Flux-Cored Arc Welding (FCAW). The welding process was enhanced by adding titanium dioxide ( $TiO_2$ ) powder as an active flux, which has the potential to improve mechanical properties, particularly hardness. This study aims to analyze the effect of  $TiO_2$  addition on the hardness values of FCAW welds on SS400 steel with current variations of 140 A, 150 A, and 160 A. The method used was an experiment involving Vickers hardness testing on the base metal (BM), heat-affected zone (HAZ), and weld metal (WM). The test results show that at a current of 140 A, average hardness values of 178.23 HV (BM), 205.87 HV (HAZ), and 227.77 HV (WM) were obtained. At a current of 150 A, the highest hardness value of 241.73 HV was obtained in the WM. Meanwhile, at a current of 160 A, the hardness value of the weld metal decreased to 204.40 HV. In general, the highest hardness values were found in the weld metal region, followed by the heat-affected zone (HAZ) and the base metal across all current variations. The study concluded that the addition of  $TiO_2$  can increase the hardness of the weld, with optimal conditions at a current of 150 A, thereby improving the quality of SS400 steel weld joints.*

**Keywords:** FCAW Welding, Titanium Dioxide ( $TiO_2$ ), SS400 Steel, Vickers Hardness, Welding Current.

## PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan salah satu metode penyambungan logam yang memiliki peran penting dalam industri manufaktur dan konstruksi karena mampu menghasilkan sambungan permanen melalui proses pencairan dan pembekuan material secara metalurgis (Sp et al., 2025). Proses ini memungkinkan terbentuknya ikatan yang kuat antar material, sehingga banyak digunakan pada struktur yang memerlukan keandalan tinggi. Dalam aplikasinya, kualitas sambungan las harus diperhatikan secara serius karena berkaitan langsung dengan kemampuan komponen dalam menahan beban kerja, tekanan, serta kondisi operasional lainnya. Oleh sebab itu, evaluasi sifat mekanik hasil pengelasan menjadi

aspek penting, salah satunya melalui pengujian kekerasan yang dapat menggambarkan ketahanan material terhadap deformasi plastis (Kozlov & Yanovskii, 2014).

Pada material dengan ketebalan tertentu, pencapaian kualitas sambungan yang optimal sering kali dikaitkan dengan kemampuan penetrasi las. Umumnya, untuk mendapatkan penetrasi maksimal, digunakan teknik pengelasan dua sisi atau pembuatan kampuh seperti bevel groove dan U groove (Prasmayobi, 2016). Metode tersebut memungkinkan logam pengisi masuk lebih dalam ke dalam material sehingga menghasilkan ikatan yang lebih kuat. Namun demikian, dalam kondisi tertentu seperti area kerja yang terbatas atau kebutuhan produksi yang menuntut efisiensi waktu, metode ini menjadi kurang efektif dan sulit diterapkan (Zhao & Yang, 2021).

Keterbatasan akses dan kompleksitas proses dapat meningkatkan risiko terjadinya cacat las serta memperpanjang waktu pengerjaan, sehingga berdampak pada peningkatan biaya produksi.

Salah satu material yang banyak digunakan dalam proses pengelasan adalah baja karbon rendah jenis SS400. Baja ini memiliki kandungan karbon kurang dari 0,3% dan dikenal memiliki sifat mekanik yang baik serta kemampuan las yang tinggi (Hristo Anggigi, Untung Budiarto, 2019). Selain itu, baja SS400 banyak diaplikasikan pada struktur konstruksi seperti pelat, rangka bangunan, dan tangki karena memiliki kombinasi kekuatan dan keuletan yang cukup baik. Meskipun demikian, dalam proses pengelasan, baja ini tetap berpotensi mengalami cacat seperti porositas yang disebabkan oleh kontaminasi atau ketidaksesuaian parameter proses (Aljufri & Putra, 2018). Cacat tersebut dapat menurunkan kualitas sambungan dan berdampak pada sifat mekanik material, termasuk kekerasan.

Dalam upaya meningkatkan kualitas hasil pengelasan, metode Flux Cored Arc Welding (FCAW) menjadi salah satu teknik yang banyak digunakan karena memiliki produktivitas tinggi dan mampu menghasilkan sambungan dengan kualitas yang baik (Risriki et al., 2024). Proses FCAW memanfaatkan kawat elektroda berinti fluks yang berfungsi sebagai pelindung terhadap kontaminasi atmosfer selama proses pengelasan berlangsung (Alqarni.M et al., 2022). Selain itu, penggunaan gas pelindung seperti CO<sub>2</sub> juga berperan dalam menjaga stabilitas busur dan kualitas hasil las (A-immah et al., 2019). Dengan karakteristik tersebut, FCAW dinilai efektif untuk pengelasan material dengan ketebalan menengah hingga tebal.

Pengembangan teknologi pengelasan terus dilakukan untuk meningkatkan kualitas sambungan, salah satunya melalui penambahan material tambahan berupa serbuk titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) sebagai active flux. TiO<sub>2</sub> memiliki sifat termal dan kimia yang stabil serta berfungsi sebagai deoksidator yang mampu mengurangi kandungan oksigen dalam kolam las (Khan & Chhibber, 2021). Selain itu, TiO<sub>2</sub> juga berperan dalam pembentukan slag yang membantu melindungi logam cair serta mengontrol distribusi panas selama proses (Kumar et al., 2021). Secara metalurgi, penambahan TiO<sub>2</sub> dapat memengaruhi pembentukan struktur mikro dengan memperhalus ukuran butir serta meningkatkan fraksi fase pearlite, yang berkontribusi terhadap peningkatan kekerasan material (Jazali et al., 2024; Quan et al., 2025).

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan TiO<sub>2</sub> sebagai active flux mampu meningkatkan kualitas hasil pengelasan, baik dari segi penetrasi maupun sifat mekanik (Nugroho, 2023). Peningkatan tersebut berkaitan dengan perubahan aliran logam cair dan distribusi panas pada kolam las yang berdampak pada pembentukan struktur mikro yang lebih halus. Struktur mikro yang lebih halus umumnya memiliki sifat mekanik yang lebih baik, terutama dalam hal kekerasan dan kekuatan material. Namun demikian, kajian yang secara spesifik membahas penggunaan serbuk TiO<sub>2</sub> yang dilarutkan dalam aseton pada proses FCAW,

khususnya pada baja SS400, masih terbatas dan belum banyak dilaporkan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh penambahan serbuk TiO<sub>2</sub> terhadap nilai kekerasan hasil pengelasan FCAW pada baja SS400 dengan variasi arus pengelasan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kondisi parameter yang optimal dalam menghasilkan sambungan las dengan sifat mekanik yang lebih baik, khususnya dari aspek kekerasan, sehingga dapat mendukung peningkatan kualitas dan efisiensi proses pengelasan di bidang industri.

## METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yaitu suatu metode penelitian yang bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh suatu perlakuan terhadap variabel lain dalam kondisi yang terkontrol sehingga hubungan sebab-akibat dapat diamati dengan lebih jelas (Sugiyono, 2013). Penerapan metode ini dilakukan dengan memberikan perlakuan berupa penambahan serbuk titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) dalam proses pengelasan serta variasi arus pengelasan pada metode FCAW. Melalui pendekatan ini, penelitian difokuskan untuk mengkaji karakteristik hasil pengelasan pada baja karbon SS400 yang meliputi sifat mekanik berupa nilai kekerasan pada daerah las. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel terhadap kualitas sambungan las, sehingga dapat diperoleh gambaran mengenai parameter pengelasan yang paling optimal dalam menghasilkan sambungan dengan kualitas yang baik, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan aplikasi di bidang industri.

## Tempat dan Waktu Penelitian

### a) Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di beberapa lokasi yang berbeda sesuai dengan tahapan pengujian yang dilakukan. Proses pengelasan dan pengujian penetrant dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Selanjutnya, pengujian struktur makro, mikro, serta uji kekerasan metode Vickers (HVN) dilakukan di Politeknik Negeri Malang.

### b) Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam rentang waktu Desember 2025 hingga Januari 2026

## Variabel Penelitian

### a) Variabel Bebas (*Independent*)

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah campuran serbuk titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) dalam larutan aseton dengan perbandingan 1 gr : 4 ml serta variasi arus pengelasan sebesar 140 A, 150 A, dan 160 A pada proses FCAW.

### b) Variabel Terikat (*Dependent*)

Variabel terikat yang diamati, yaitu nilai kekerasan (*hardness*) pada daerah las.

### c) Variabel Kontrol

Variabel terkontrol dalam penelitian ini meliputi penggunaan material baja SS400 dengan ketebalan 8 mm, metode pengelasan FCAW, elektroda E71T berdiameter 1,2 mm, gas pelindung  $CO_2$  dengan laju aliran 25 L/menit, tegangan pengelasan 20–30 V, kecepatan pengelasan 270–300 mm/menit, serta proses pengelasan dilakukan oleh welder bersertifikasi..



Gambar 3. Elektroda E71T

3. Gas Pelindung  $CO_2$



Gambar 4. Gas Pelindung

4. Alat Uji Kekerasan *Vickers*



Gambar 5. Alat Uji Kekerasan (HV)

b) **Bahan yang digunakan**

1. Baja SS400



Gambar 6. Baja SS4000

2. Serbuk Titanium Dioksida ( $TiO_2$ )



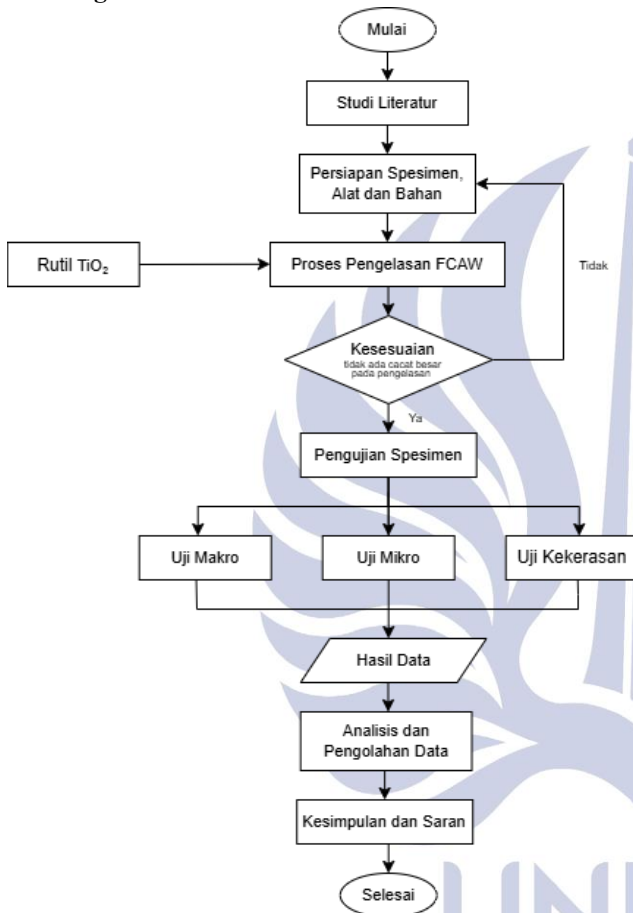
Gambar 7. Titanium Dioksida

3. Pelarut Aseton



Gambar 8. Aseton

### Rancangan Penelitian



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

### Prosedur Penelitian

#### A. Persiapan Alat dan Bahan

##### a) Alat yang digunakan

1. Mesin las FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*)



Gambar 2. Mesin Las FCAW

2. Elektroda E71T Diameter 1,2 mm

#### B. Proses Pengelasan FCAW

- Pelat baja SS400 dipotong menggunakan mesin potong hingga berukuran 100 x 80 x 8 mm, kemudian permukaan sambungan diratakan dengan proses penggerindaan agar presisi,
- Serbuk  $TiO_2$  sebanyak 1 gram dicampur dengan 4 ml aseton hingga homogen, lalu dioleskan secara merata pada permukaan spesimen sebagai perlakuan awal,
- Spesimen disusun dan dilakukan *tack weld* untuk menjaga posisi material agar tidak bergeser selama proses pengelasan,
- Proses pengelasan dilakukan dengan menggunakan metode FCAW oleh welder bersertifikasi sesuai parameter yang telah dilakukan,
- Setelah pengelasan spesimen k

### C. Proses Pengujian Kekerasan

- Siapkan permukaan spesimen hasil lasan yang telah dipersiapkan secara halus dan rata,
- Lakukan pengujian kekerasan menggunakan alat uji *vickers hardness tester*,
- Gunakan indentor dan beban uji sesuai standar untuk material baja karbon (SS400),
- Catat nilai kekerasan hasil pengukuran di berbagai titik spesimen untuk mendapatkan distribusi kekerasan,
- Evaluasi nilai kekerasan untuk melihat pengaruh penambahan  $TiO_2$  dan parameter las terhadap sifat mekanik lasan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Parameter Pengelasan

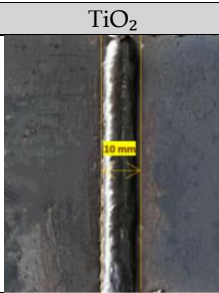


Pada penelitian ini, variasi yang diterapkan terdiri atas penambahan serbuk  $TiO_2$  dan variasi arus pengelasan sebesar 140 A, 150 A, dan 160 A. parameter yang digunakan selama proses pengelasan sebagai berikut :

Tabel 1. Parameter Pengelasan

|                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| Welding Process | FCAW                  |
| Welder          | M. Akbar Ramadhan     |
| Base Metal      | SS400                 |
| Filler Metal    | E71T, Diameter 1,2 mm |
| Position        | 1G                    |
| Gas             | CO <sub>2</sub>       |

### B. Hasil Pengelasan

Setelah proses pengelasan FCAW pada material baja SS400 dengan penambahan serbuk  $TiO_2$  dan variasi arus pengelasan sebesar 140 A, 150 A, dan 160 A, diperoleh hasil pengelasan sebagai berikut :

| Variasi Arus | $TiO_2$   |
|--------------|---|
| 140 A        |  |
| 150 A        |  |
| 160 A        |  |

Berdasarkan hasil pengamatan visual pada baja SS400 setelah proses pengelasan dengan penambahan serbuk  $TiO_2$  terlihat permukaan bead rapi dan tidak terlalu menimbulkan spatter. Hal ini menunjukkan bahwa Pengurangan spatter berkaitan dengan meningkatnya kestabilan busur dan kontrol transfer logam cair selama proses pengelasan. Selain itu, peran  $TiO_2$  sebagai deoksidator yang membantu mengikat oksigen bebas di dalam kolam las sehingga mengurangi reaksi oksidasi berlebihan yang dapat memicu ketidakstabilan busur dan percikan logam cair. Dengan demikian, pada seluruh variasi arus yang digunakan dalam penelitian ini, penambahan  $TiO_2$  berkontribusi terhadap peningkatan kualitas visual sambungan las melalui pembentukan bead yang lebih terkontrol serta penurunan jumlah spatter.

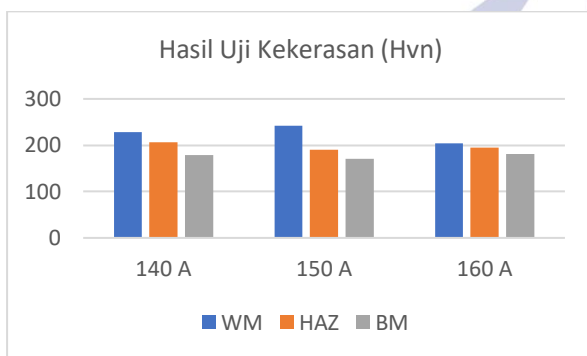
### C. Pengujian Kekerasan

#### a) Data Hasil Pengujian Kekerasan

Pada tahap ini dilakukan pengujian kekerasan Vickers untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan pada daerah *Base Metal* (BM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Weld Metal* (WM) pada setiap variasi arus pengelasan, baik tanpa maupun dengan penambahan  $TiO_2$ . Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi arus dan penggunaan  $TiO_2$  terhadap perubahan sifat mekanik sambungan las. Hasil pengujian kekerasan disajikan pada tabel sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan (hvn)

| Variasi Arus | Titik Uji | Base Metal | HAZ    | Weld Metal |
|--------------|-----------|------------|--------|------------|
| 140 A        | 1         | 177,9      | 205,9  | 227,8      |
|              | 2         | 178,5      | 205,4  | 222,2      |
|              | 3         | 178,3      | 206,3  | 228,3      |
|              | mean      | 178,23     | 205,87 | 227,77     |
| 150 A        | 1         | 170,1      | 190,3  | 241,7      |
|              | 2         | 170,5      | 190,8  | 241,6      |
|              | 3         | 170,7      | 190,4  | 241,9      |
|              | mean      | 170,50     | 190,50 | 241,73     |
| 160 A        | 1         | 180,5      | 194,9  | 204,5      |
|              | 2         | 179,5      | 195,7  | 202,5      |
|              | 3         | 181,5      | 195,3  | 206,5      |
|              | mean      | 180,63     | 195,30 | 204,40     |



Gambar 10. Grafik Hasil Uji Kekerasan (hvn)

### b) Analisa dan Pembahasan

Berdasarkan data hasil uji kekerasan Vickers pada Tabel dan grafik pengujian, dapat diketahui bahwa pada variasi arus 140 A, nilai kekerasan tertinggi berada pada daerah *weld metal* dengan nilai rata-rata sebesar 227,77 HV, sedangkan pada daerah *heat affected zone* (HAZ) diperoleh nilai rata-rata sebesar 205,87 HV, dan *base metal* sebesar 178,23 HV. Data ini menunjukkan bahwa distribusi kekerasan pada arus 140 A cenderung meningkat dari *base metal* menuju *weld metal*, meskipun selisih nilai antar titik uji masih relatif kecil dan stabil.

Pada variasi arus 150 A, nilai kekerasan mengalami peningkatan yang signifikan, khususnya pada daerah *weld metal* dengan nilai rata-rata tertinggi sebesar 241,73 HV. Sementara itu, nilai kekerasan pada daerah HAZ dan base metal masing-masing sebesar 190,50 HV dan 170,50 HV. Hasil ini menunjukkan bahwa pada arus 150 A terjadi peningkatan kekerasan yang cukup optimal, terutama pada daerah logam las, yang mengindikasikan terbentuknya struktur mikro yang lebih halus dan rapat dibandingkan variasi arus lainnya.

Selanjutnya, pada variasi arus 160 A, nilai kekerasan pada daerah *weld metal* mengalami penurunan dengan nilai rata-rata sebesar 204,40 HV, sedangkan pada daerah HAZ sebesar 195,30 HV dan *base metal* sebesar 180,63 HV. Meskipun

distribusi kekerasan pada variasi ini terlihat lebih merata, namun nilai kekerasan maksimum yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan variasi arus 150 A.

Dari ketiga variasi arus tersebut, hasil uji kekerasan menunjukkan kecenderungan yang tidak linier terhadap peningkatan arus pengelasan. Nilai kekerasan tertinggi justru diperoleh pada arus 150 A, sedangkan pada arus yang lebih tinggi 160 A terjadi penurunan nilai kekerasan. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan arus tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan kekerasan material hasil las.

Secara umum, fenomena ini dipengaruhi oleh besarnya *heat input* selama proses pengelasan. Pada arus 140 A, panas yang dihasilkan relatif lebih rendah sehingga proses peleburan belum optimal. Pada arus 150 A, kondisi *heat input* menjadi lebih seimbang, sehingga menghasilkan laju pendinginan yang tepat dan membentuk hasil permukaan lebih halus, yang berkontribusi terhadap peningkatan kekerasan. Sementara itu, pada arus 160 A, *heat input* yang terlalu tinggi menyebabkan laju pendinginan menjadi lebih lambat dan memicu pertumbuhan butir yang lebih kasar, sehingga menurunkan nilai kekerasan.

Selain itu, penambahan serbuk  $TiO_2$  juga berperan dalam meningkatkan kekerasan hasil las dengan membantu menstabilkan kolom las dan memperhalus struktur mikro, khususnya pada daerah *weld metal*. Hal ini menyebabkan distribusi kekerasan menjadi lebih terkontrol dan memberikan peningkatan sifat mekanik pada sambungan las.

### Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers, dapat disimpulkan bahwa distribusi nilai kekerasan pada sambungan las baja SS400 menunjukkan pola yang berbeda pada setiap daerah pengelasan. Nilai kekerasan tertinggi umumnya ditemukan pada daerah *weld metal*, kemudian diikuti oleh daerah *Heat Affected Zone* (HAZ), dan yang terendah berada pada *base metal*. Perbedaan ini menunjukkan adanya pengaruh signifikan dari siklus termal selama proses pengelasan terhadap perubahan struktur mikro material.

Variasi arus pengelasan dan penambahan serbuk titanium dioksida ( $TiO_2$ ) terbukti memberikan pengaruh terhadap nilai dan distribusi kekerasan pada sambungan las. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada penggunaan arus 150 A dengan penambahan  $TiO_2$ , yang mengindikasikan bahwa kombinasi parameter tersebut mampu menghasilkan struktur mikro yang lebih halus dan meningkatkan ketahanan terhadap deformasi plastis. Sementara itu, distribusi kekerasan yang lebih merata diperoleh pada arus 160 A, yang menunjukkan kestabilan input panas selama proses pengelasan.

Secara keseluruhan, penambahan TiO<sub>2</sub> dalam proses FCAW berkontribusi terhadap peningkatan karakteristik kekerasan hasil las dengan memperbaiki struktur mikro, khususnya pada daerah *weld metal*. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan TiO<sub>2</sub> tidak hanya berpengaruh terhadap nilai kekerasan, tetapi juga mampu menghasilkan distribusi sifat mekanik yang lebih seragam, sehingga berpotensi meningkatkan kualitas dan keandalan sambungan las pada baja SS400.

#### Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan penggunaan variasi celah (*gap*) dan sudut kempuh (*bevel*) sebagai upaya untuk meningkatkan mutu sambungan las yang dihasilkan.
2. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi arus yang lebih luas untuk mengetahui apakah peningkatan arus akan menghasilkan tren yang sama, mengingat kenaikan arus tidak selalu berbanding lurus dengan kualitas sifat mekanik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- A-immah, N. K., Syahroni, N., & Hadiwidodo, Y. S. (2019). Analisis Pengaruh Variasi Flow Rate Gas Pelindung Pada Pengelasan FCAW-G Terhadap Struktur Mikro Dan Kekuatan Mekanik Sambungan Material Grade A. *Jurnal Teknik ITS*, 7(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v7i2.33035>
- Aljufri, & Putra, R. (2018). Pengaruh Porositas Las Terhadap Kekuatan Tarik Pada Material Aisi 1050 Yang Menggunakan Kempuh Las V 90°. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 1–7.
- Alqarni, M. W., Budiarto, U., & Santosa, Ari Wibawa Budi. (2022). Pengaruh Variasi Suhu PWHT Normalizing Pada Instalasi I Bracket Pasca Pengelasan FCAW. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 10(3), 58. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- 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. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- Jazali, M., Bahri, M. H., & Abidin, A. (2024). Variasi Kempuh Pengelasan Smaw Pada Plat Baja Ss400 Terhadap Kekuatan Tarik Dan Mikrostruktur. *Nasional* ..., 3(1), 319–326. <http://proceeding.unmuhjember.ac.id/index.php/nms/article/view/554>
- Khan, W. N., & Chhibber, R. (2021). Investigations on effect of CaO-CaF<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> based electrode coating constituents and their interactions on weld chemistry. *Ceramics International*, 47(9), 12483–12493. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.01.106>
- Kozlov, G. V., & Yanovskii, Y. G. (2014). - Microhardness. *Fractal Mechanics of Polymers*, 5, 256–265. <https://doi.org/10.1201/b17730-17>
- Kumar, K. V., Ramanaiah, N., & Rao, N. B. R. M. (2021). Effect of TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Duplex of TiO<sub>2</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Fluxes on Microstructural, Mechanical Properties And, Weld Morphology of A-TIG AH-36 Marine-Grade Steel Weldments. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 69(12), 218–228. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V69I12P226>
- Nugroho, W. Y. (2023). Studi Pengaruh Tio<sub>2</sub>-Sio<sub>2</sub> Sebagai Active Flux Terhadap Penetrasi Pengelasan A-Tig Pada Material Aluminium Seri 5083-H116. *Jurnal Inovasi Teknologi Manufaktur, Energi Dan Otomotif*, 1(2), 84–94.
- Prasmayobi, U. (2016). Studi Kekuatan Bending Dan Kekerasan Pada Pengelasan Aluminium Dengan Menggunakan Las Smaw (Shielded Metal Arc Weling). *Skripsi*, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas H.
- Quan, M., Teshome, F. B., Yang, X., Bai, Z., Tan, Z., Liu, A., Liang, Z., Zeng, Z., Wang, D., & Wang, L. (2025). Effects of in situ TiO<sub>2</sub> synthesis of oxide inclusions on weld microstructure and impact toughness of X80 pipeline steel. *Materials and Design*, 257(July), 114451. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2025.114451>
- Risriki, W., Purwanto, & Siswandi. (2024). Analisis Pengaruh Variasi Ampere Pengelasan Fcaw\_a. *Teknik Transportasi Laut, Universitas Maritim AMNI*, 10(2), 65–73. [https://www.researchgate.net/publication/385948840\\_Analisis\\_Pengaruh\\_Variasi\\_Ampere\\_Pengelasan\\_Fcaw\\_Antara\\_Baja\\_Grade\\_Eh36\\_Dengan\\_Grade\\_A\\_Terdapat\\_Sifat\\_Mekanik](https://www.researchgate.net/publication/385948840_Analisis_Pengaruh_Variasi_Ampere_Pengelasan_Fcaw_Antara_Baja_Grade_Eh36_Dengan_Grade_A_Terdapat_Sifat_Mekanik)
- Sp, C., Ambarita, H., Hp, Y., Sabri, M., Pradjadhiana, K. P., Nordin, N., Graf, M., Haelsig, A., & Simanullang, W. (2025). Case Studies in Thermal Engineering Simulation and experimental study of 3 pass butt joint welding process with heat source model and user subroutine to predict temperature distribution and hardness. *Case Studies in Thermal Engineering*, 74(August), 106948. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2025.106948>
- Sugiyono. (2013). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif Dan R&D. Alfabeta CV.
- Zhao, K., & Yang, Y. (2021). Study on automatic welding technology of single-side welding and double-side forming of large diameter steel. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 787(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/787/1/012180>