

# Analisis Pengaruh Variasi Suhu Tempering Pada Sifat Mekanik Baja ASTM A36 Setelah Pengelasan SMAW Menggunakan Elektroda E 7016

Leo Van Gunawan<sup>1\*</sup>, Puger Satya Andika<sup>2</sup>, Tito Endramawan<sup>3</sup>, Emin Haris<sup>4</sup>, Casiman Sukardi<sup>5</sup>, Unggul Satria Jati<sup>6</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup>Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Indramayu

<sup>5</sup>Program Studi Teknik Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Bandung

<sup>6</sup>Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Cilacap

<sup>1, 2, 3, 4</sup>Jl. Lohbener Lama No. 08 Legok, Kec. Lohbener, Kab. Indramayu, Jawa Barat 45252, Indonesia

<sup>5</sup>Jl. Kanayakan No.21 Dago, Kec. Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40135, Indonesia

<sup>6</sup>Jl. Dr. Soetomo No.1 Karangcengis Sidakaya, Kec. Cilacap Selatan, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah 53212

E-mail: leovangunawan@polindra.ac.id<sup>1</sup>, pugersatia@gmail.com<sup>2</sup>, tito@polindra.ac.id<sup>3</sup>, eminharis@gmail.com<sup>4</sup>, casiman\_sukardi@yahoo.com<sup>5</sup>, unggulsatriajati@pnc.ac.id<sup>6</sup>

## Abstrak

ASTM A36 merupakan jenis logam struktural yang dapat diaplikasikan dalam berbagai keperluan seperti pembuatan roda gigi, struktur jembatan dan bangunan kapal. Setelah dilakukan pengelasan, baja ASTM A36 akan menghasilkan tegangan sisa. Tegangan sisa pada logam hasil pengelasan diakibatkan distribusi suhu yang tidak merata. Metode untuk menghilangkan tegangan sisa adalah melakukan tempering. Tempering digunakan untuk mengurangi tegangan sisa, meningkatkan keuletan dan ketangguhan logam. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi suhu tempering pada sifat mekanik baja ASTM A36 setelah pengelasan SMAW menggunakan Elektroda E7016. Pengujian kekuatan tarik pada spesimen menunjukkan peningkatan paling tinggi akibat pengaruh tempering sebesar 537,880 MPa pada suhu 200°C. Hal ini dibuktikan dari berkurangnya kekerasan material sebesar 165,07 VHN pada suhu tempering 200°C apabila dibandingkan dengan kekerasan raw material. Tumbuhnya butiran Ferrit pada struktur material menunjukkan semakin uletnya material ASTM A36 setelah dilakukan tempering. Hasil penelitian pengaruh variasi suhu tempering pada sifat mekanik ASTM A36 dapat digunakan sebagai alternatif cara untuk meningkatkan keuletan setelah proses pengelasan.

## Abstract

ASTM A36 is a type of structural metal that can be applied for various purposes such as making gears, bridge structures and ship buildings. After welding, ASTM A36 steel will produce residual stress. Residual stress in the welded metal is caused not balanced temperature distribution. The method for eliminating residual stress is tempering. Tempering is used to reduce residual stresses, increase the ductility and toughness of metals. This research aims to analyze the effect of variations in tempering temperature on the mechanical properties of ASTM A36 steel after SMAW welding using E7016 electrodes. The tensile strength test on the specimen showed the highest increase due to the tempering effect of 537,880 MPa at a temperature of 200°C. This is proven by the reduction in material hardness of 165.07 VHN at a tempering temperature of 200°C when compared to the hardness of the raw material. The growth of ferrite grains in the material structure shows that the ASTM A36 material is increasingly ductile after tempering. The results of research on the effect of variations in tempering temperature on the mechanical properties of ASTM A36 can be used as an alternative way to increase ductility after the welding process.

## Info Naskah:

Naskah masuk: 27 November 2023

Direvisi: 17 Januari 2024

Diterima: 23 Januari 2024

## Keywords:

tempering;

ductility;

smaw;

astm a36

\*Penulis korespondensi:

Leo Van Gunawan

E-mail: leovangunawan@polindra.ac.id.

## 1. Pendahuluan

Baja adalah bahan yang umum digunakan untuk membuat komponen untuk berbagai mesin industri dan kendaraan. Dalam proses perancangan, seringkali sulit untuk mendapatkan baja dengan sifat mekanik yang sesuai dengan rancangan. Sifat mekanik yang biasa digunakan baja dalam perancangan adalah kekerasan, keuletan, dan ketangguhan. Oleh karena itu, para *engineer* melakukan rekayasa sifat mekanik untuk membuat baja yang sesuai dengan perhitungan perancangan [1]. ASTM A36 merupakan jenis logam struktural yang dapat diaplikasikan dalam berbagai keperluan seperti pembuatan roda gigi, struktur jembatan dan bangunan kapal. Baja ASTM A36 mempunyai kekurangan kapasitas kedalaman kekerasan materialnya yang rendah [2].

*Shielded Metal Arc Welding (SMAW)* adalah suatu proses pengelasan logam melalui pemanasan hingga mencapai titik leleh material. Energi panas diperoleh dari loncatan ion antara katoda dan anoda di ujung elektroda, yang menyebabkan melelehnya elektroda dan material yang akan disambungkan [3]. Secara prinsip, pengelasan dengan menggunakan elektroda karbon atau logam melibatkan pemanfaatan energi listrik sebagai sumber panas. Dalam proses ini, terciptalah busur listrik diantara ujung elektroda dan logam induk yang menghasilkan temperature yang sangat tinggi. Suhu tinggi ini menyebabkan bahan-bahan tertentu meleleh. Efek pemanasan ini bergantung pada faktor-faktor seperti tegangan listrik (V), kuat arus (I), dan durasi (t). Efek pemanasan ini diukur dalam satuan energi panas seperti joule atau kalori [4].

Tempering adalah proses heat treatment dengan cara memanaskan kembali suatu logam yang telah dikeraskan melalui proses quenching pada suhu dibawah suhu kritisnya selama waktu tertentu. Tujuan dari proses tempering ini adalah untuk mengurangi tegangan sisa, merubah susunan butiran material, mengurangi kekerasan dan meningkatkan keuletan logam [5]. Sifat mekanik adalah sifat yang mempengaruhi kekuatan mekanik logam. Beberapa sifat mekanik yang khas menunjukkan penerapan yang sangat besar di industri luar angkasa dan otomotif. Sifat-sifat ini berhubungan dengan kemampuan material untuk menahan gaya mekanis dan beban diukur berdasarkan perilaku material saat terkena suatu kekuatan [6].

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian tentang Analisis Sifat Mekanis pada Sambungan Las SMAW dari Kerangka Dongkrak Hidrolik Listrik Portabel. Bahan tersebut diberikan arus las 75A dengan variasi pendinginan pada sambungan menggunakan minyak, air, dan suhu ruangan. Nilai tegangan tarik tertinggi yang diperoleh dalam perlakuan pendinginan dengan minyak adalah 844,76 N/mm<sup>2</sup>, nilai regangan tertinggi diperoleh pada bahan mentah sebesar 16%, dan nilai elastisitas tertinggi diperoleh pada perlakuan pendinginan dengan minyak sebesar 703,96 N/mm<sup>2</sup> [7]. Sedangkan pada penelitian Pengaruh Parameter Proses SMAW terhadap Sifat Mekanik logam *Mild Steel S355JR*. Sifat mekanik maksimum dari sampel yang dilas diperoleh dari kondisi pengelasan yang optimal. Kekuatan tarik maksimum, kekerasan zona las, dan kekerasan zona pengaruh panas masing-masing diperoleh sebesar 494,47

MPa, 269,77 MPa, dan 255,06 MPa. Dari penelitian ini, parameter-parameter proses SMAW seperti tegangan, arus, dan kecepatan tercatat memiliki pengaruh signifikan pada sifat-sifat mekanik dari logam dasar [8].

Pada penelitian yang berjudul Dampak Input Panas pada Kombinasi Pengelasan GTAW dan SMAW pada Material SA537 Pada Sifat Mekanik Logam dan Struktur Mikro. Hasil menunjukkan bahwa spesimen dengan panas masukan sebesar 2.8 kJ/mm memberikan hasil optimum dengan kekuatan tarik tertinggi sebesar 480 MPa dibandingkan dengan dua spesimen lainnya, dan tidak terdapat retakan saat diuji lentur. Semakin tinggi panas masukan, semakin besar penurunan persentase *ferrit*. Penggunaan panas masukan sebesar 2.8 kJ/mm dalam penelitian ini menghasilkan sifat mekanik dan struktur mikro pada sambungan pengelasan yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan panas masukan sebesar 2.5 kJ/mm dan 3.2 kJ/mm [9].

Penelitian lainnya tentang efek variasi media pendingin pada material baja karbon rendah terhadap kekuatan pengelasan menunjukkan bahwa nilai kekuatan lentur dengan pendinginan media Oli yaitu 32118,16 N. Kekuatan lentur dari hasil pendinginan Air *Coolant* mengalami Penurunan 13144,9 N dan pendinginan dengan Air mengalami Penurunan 7950,92 N [10].

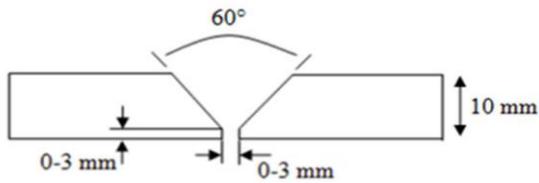
Penelitian tentang Dampak Bahan *consumables* Pengelasan pada Sambungan Baja Pelindung Logam Busur Listrik yang Sangat Keras. Sambungan yang dibuat menggunakan elektroda LHF menunjukkan kekuatan sebesar 962 MPa dan kekerasan sebesar 341 HV. Sambungan yang dibuat menggunakan elektroda ASS menunjukkan ketangguhan sebesar 72 J dan Rasio Kekuatan pada Lubang (NSR) sebesar 1.32 karena kemampuan penyerapan energi yang lebih tinggi dari fase *austenit*. Pada antarmuka las, sambungan yang dibuat menggunakan elektroda ASS dan SDSS menunjukkan zona tak tercampur (UMZ) dan pita martensitik (MB) karena perubahan tiba-tiba dalam struktur kristal *FCC dan BCC*. Juga ditemukan bahwa sifat kekuatan meningkat (dari 651 MPa menjadi 856 MPa) dengan peningkatan rasio Creq/Nieq (1.87 menjadi 3.2) dari logam las dan dengan penurunan keuletan [11].

Dari riwayat penelitian tersebut maka timbulah ide untuk memperbaiki atau meningkatkan sifat mekanik logam plat baja ASTM A-36 setelah dilakukan proses pengelasan SMAW menggunakan elektroda E-7016. Material hasil pengelasan kemudian dilakukan tempering menggunakan variasi suhu 200°C, 250°C, 300°C dan 350°C serta di *holding time* selama 60 menit untuk mengetahui pengaruh suhu tempering yang tepat untuk meningkatkan sifat mekanik logam khususnya sifat keuletan. Hasil penelitian ini dapat diaplikasikan untuk baja konstruksi gedung dan jembatan.

## 2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Material yang digunakan adalah jenis plat baja ASTM A36 dengan dimensi 100x100x10 mm. Posisi pengelasan yang digunakan adalah 1G dengan dimensi kampuh seperti pada

Gambar 1. Pembuatan kampuh dilakukan secara manual seperti pada Gambar 2.



Gambar 1. Dimensi kampuh V-Groove posisi 1G



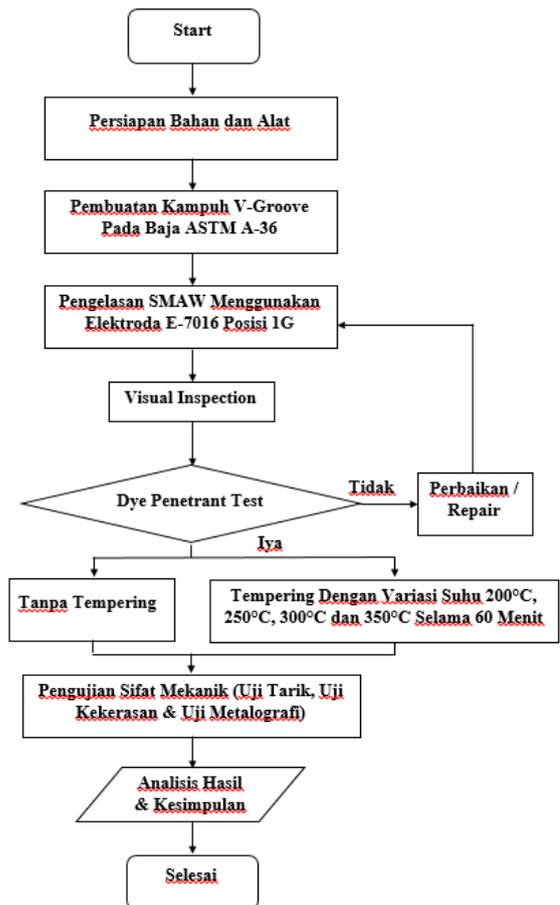
Gambar 2. Proses pembuatan kampuh

Adapun elektroda yang digunakan untuk pengelasan ini adalah E 7016 Ø2.6 LB 52U dengan polaritas mesin DCEN untuk proses pembuatan *Root*. Elektroda E 7016 LB 52 Ø3.2 dengan polaritas DCEP untuk proses pembuatan *Fill* dan *Capping*. Setelah proses pengelasan maka spesimen di dinginkan menggunakan pendingin udara. Kemudian spesimen dilakukan pengujian secara *visual inspection* dan *dye penetrant test*.

Variabel yang digunakan pada penelitian ini ada 3 jenis yaitu :

- 1) Variabel Bebas, merupakan variabel yang bisa di variasikan. Pada penelitian ini variabel bebasnya yaitu variasi suhu pada proses tempering 200°C, 250°C, 300°C dan 350°C di *holding time* selama 60 menit.
- 2) Variabel Kontrol, merupakan variabel yang tidak bisa dirubah atau bersifat tetap. Variabel kontrol pada penelitian ini ialah sifat mekanik logam hasil pengelasan SMAW pada baja ASTM A36 tanpa perlakuan tempering.
- 3) Variabel Terikat, merupakan variabel yang dapat dipengaruhi oleh variabel bebas di dalam suatu penelitian. Variabel terikat pada penelitian ini adalah sifat mekanik baja ASTM A36 hasil pengelasan SMAW menggunakan elektroda E-7016 dengan variasi suhu tempering.

Gambar 3 menjelaskan diagram alir penelitian mulai dari awal sampai akhir penelitian yang dilakukan.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

#### 1) Visual Inspection

*Visual inspection* dilakukan dengan cara memeriksa apakah ada cacat pengelasan pada permukaan hasil pengelasan di bagian *face weld* dan *root weld* maupun terjadinya distorsi pada logam induk. Alat yang digunakan untuk melakukan *visual inspection* adalah menggunakan kaca pembesar, senter dan *welding gauge* [12]. Spesimen yang lolos *visual inspection* akan dilakukan inspeksi menggunakan *Dye Penetrant*.

#### 2) Dye Penetrant Test

*Dye Penetrant test* digunakan sebagai metode menginspeksi cacat pada rongga permukaan pengelasan di bagian *face weld* dan *root weld* yang tidak bisa dilihat secara *visual inspection*. Spesimen yang lulus inspeksi *dye penetrant test* ditandai dengan tidak munculnya cairan warna merah pada permukaan las. Spesimen yang lulus inspeksi *dye penetrant* seperti pada Gambar 4 dan Gambar 5 sebagian akan digunakan sebagai variabel kontrol dan sebagian lagi diberikan proses tempering menggunakan variasi suhu 200°C, 250°C, 300°C dan 350°C dengan *holding time* 60 menit.



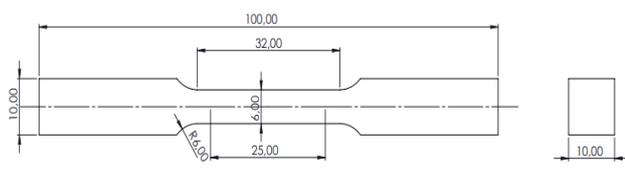
Gambar 4. Hasil uji dye penetrant pada capping



Gambar 5. Hasil uji dye penetrant pada root

### 3) Pengujian Tarik

Material yang menerima tegangan diluar batas kemampuannya akan mengalami deformasi [13]. Pengujian tarik adalah satu jenis pengujian untuk mengetahui kapasitas tegangan tarik dan regangan dari suatu material. Adapun mesin pengujian tarik yang digunakan adalah mesin TENSILON RTF-2350 dan menggunakan dimensi standar ASTM E8 seperti di tunjukan oleh Gambar 6.



Gambar 6. Dimensi spesimen material uji tarik

Untuk mencari besarnya tegangan tarik maksimum ( $\sigma$ ) pada material dapat menggunakan persamaan (1).

$$(\sigma) = \frac{P}{A_0} \quad (1)$$

Keterangan :

- $\sigma$  = Tegangan tarik maksimum (MPa, N/mm<sup>2</sup>),
- P = Beban Maksimum (N)
- A<sub>0</sub> = Luas penampang awal (mm<sup>2</sup>).

Untuk mencari regangan maksimum ( $e$ ) pada material dapat menggunakan persamaan (2).

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

$$e = \frac{L_i - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Keterangan:

- e = Regangan (%)
- L<sub>i</sub> = Panjang patahan (mm)
- L<sub>0</sub> = Panjang awal (mm)

### 4) Pengujian Kekerasan

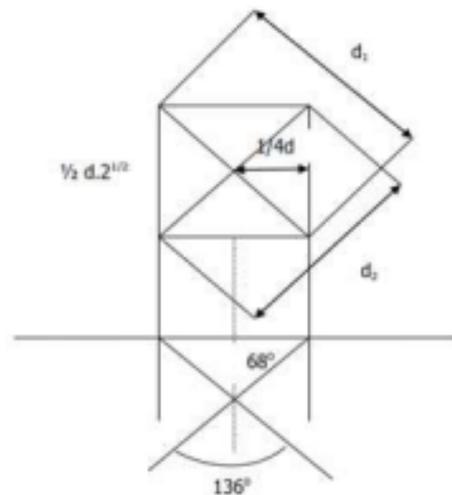
Pengujian kekerasan menggunakan metode vickers merupakan ukuran dari ketahanan suatu material terhadap deformasi plastik lokal, yang di induksi oleh indenter melalui tumbukan (dinamis) atau gaya yang diterapkan (statis). Ketangguhan sebenarnya bukanlah properti mekanis yang tepat dari material, melainkan cara tidak langsung untuk memperoleh beberapa properti tersebut, tergantung pada berbagai parameter dan kondisi uji tertentu. Tingkat kedalaman penetrasi atau dimensi jejak tapak (*Brinell*, *Vickers*, dan *Knopp*) kemudian dapat dievaluasi untuk memperoleh kekerasan material (H) tergantung pada jenis indenter (berlian dan logam) dengan bentuk geometrisnya (sferis dan piramidal) [14] seperti pada Gambar 7. Untuk mencari nilai kekerasan material (VHN) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3).

$$VHN = \frac{2 \cdot p \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} \quad (3)$$

$$= \frac{1.854 \cdot p}{d^2} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

Keterangan:

- P = beban yang digunakan (kg)
- $\theta$  = Sudut puncak permukaan intan (136°)
- d = panjang diagonal rata-rata jejak (mm)



Gambar 7. Ilustrasi indenter

### 5) Pengujian Metalografi

Tujuan pengujian metalografi adalah untuk membandingkan jenis dan struktur mikro suatu material setelah mengalami proses perlakuan panas [15]. Sebelum melakukan pengujian metalografi, permukaan material perlu dihaluskan dengan gerinda dan dibersihkan sehingga permukaan material rata dan sejajar. Setelah itu material

dihaluskan menggunakan amplas dengan tingkat kekasaran yang berbeda mulai dari 240, 400, 600, 800, 1000, 1200. Cairan etsa menggunakan campuran alkohol dan *Ferro Klorida* ( $FeCl_3$ ) dan ditahan selama 15 detik, Alat uji metalografi menggunakan *Olympus BX3M* seperti pada Gambar 8



Gambar 8. Alat uji metalografi

### 3. Hasil dan Pembahasan

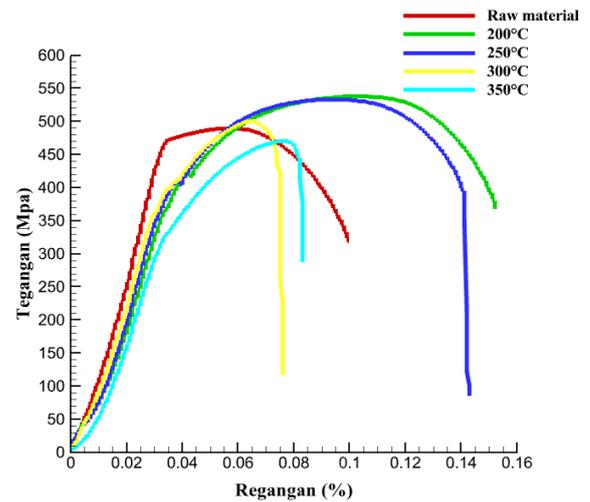
#### 3.1 Hasil Pengujian Tarik Baja ASTM A36

Gambar 9 menyajikan foto spesimen hasil uji tarik menggunakan mesin TENSILON RTF-2350 Dengan kecepatan 1 mm/menit dan maksimal rata-rata pembebanan 33 KN.



Gambar 9. Spesimen hasil pengujian tarik

Pada Gambar 10 menjelaskan hasil uji kekuatan tarik material pengelasan pada baja ASTM A36 tanpa perlakuan tempering (*raw material*) dan dengan variasi suhu tempering 200°C, 250°C, 300°C, 350°C.

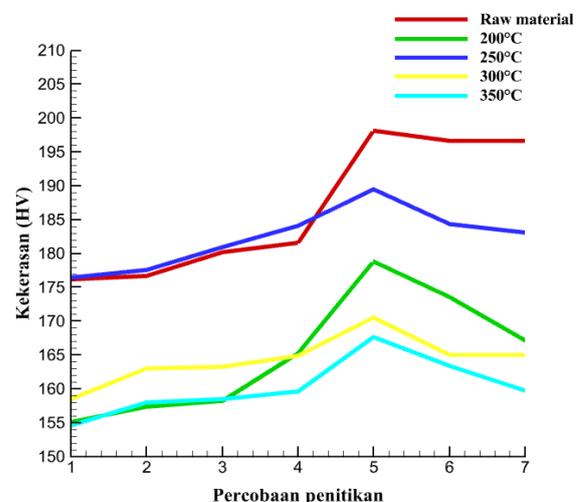


Gambar 10. Grafik hasil uji kekuatan tarik

Kekuatan tarik maksimum tanpa perlakuan temper sebesar 489,65 MPa. Sedangkan kekuatan tarik dengan perlakuan variasi suhu tempering memiliki kekuatan tarik tertinggi pada spesimen dengan perlakuan tempering suhu 200°C yaitu sebesar 537,880 MPa. Kekuatan tarik pada spesimen 200°C, 250°C dan 300°C mengalami peningkatan [16] [17]. Hal ini menunjukkan adanya keuletan pada material akibat pengaruh suhu tempering. Pada suhu 350°C kekuatan tarik material mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena semakin besar suhu tempering maka akan menurunkan tegangan tarik maksimalnya [17].

#### 3.2 Hasil Pengujian Kekerasan Baja ASTM A36

Gambar 11 menjelaskan hasil uji kekerasan material pengelasan pada baja ASTM A36 tanpa perlakuan tempering (*raw material*) dan dengan variasi suhu tempering 200°C, 250°C, 300°C, 350°C.



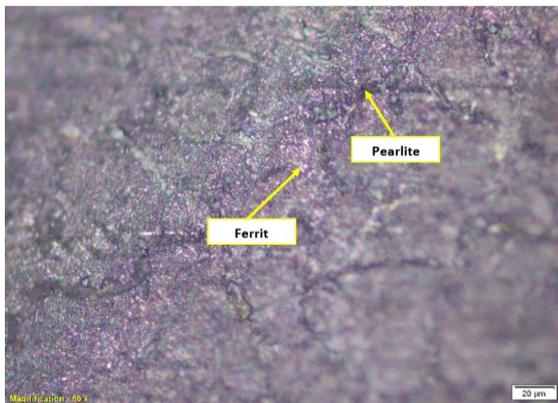
Gambar 11. Grafik hasil uji kekerasan

Perbedaan nilai kekerasan pada logam hasil pengelasan, logam induk dan daerah sekitar pengelasan yang terdampak panas (*HAZ*) disebabkan oleh distribusi panas yang tidak merata saat proses pengelasan [18]. Setelah melakukan pengujian kekerasan *vickers* didapatkan

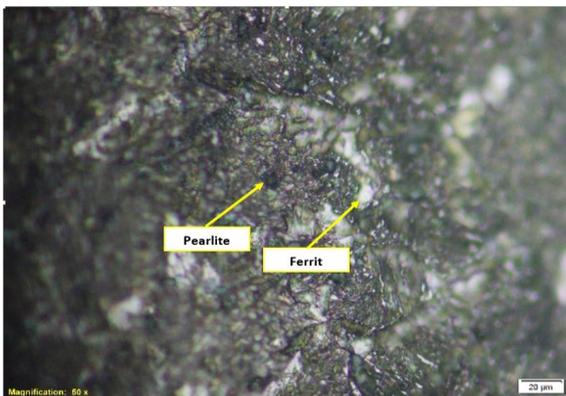
data nilai kekerasan *vickers* seperti gambar 10. Terlihat nilai kekerasan pada daerah hasil pengelasan terjadi penurunan. Penurunan tertinggi nilai kekerasan dialami oleh spesimen dengan suhu tempering 350°C sebesar rata-rata 160,22 VHN setelah 7 kali percobaan. Hal tersebut terjadi akibat pengaruh suhu tempering yang diberikan setelah proses pengelasan. Semakin tinggi suhu tempering akan berpengaruh terhadap besarnya penurunan nilai kekerasan logam las. Hal ini sesuai dengan tujuan dari proses dilakukannya tempering yaitu untuk menambah keuletan dan mengurangi nilai kekerasan dari suatu material [19].

### 3.3 Hasil uji metalografi

Butiran *ferrit* belum mulai tumbuh pada material yang diperlakukan tanpa tempering seperti pada Gambar 12. Perlakuan tempering dengan variasi suhu 200°C mempengaruhi pertumbuhan butiran *ferrit* seperti pada Gambar 13.

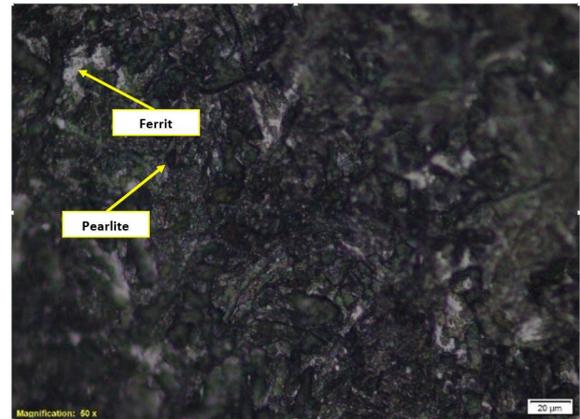


Gambar 12. Struktur mikro tanpa perlakuan tempering

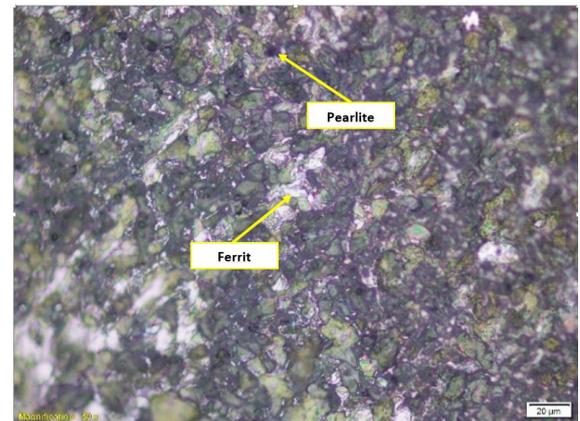


Gambar 13. Struktur mikro variasi suhu tempering 200°C

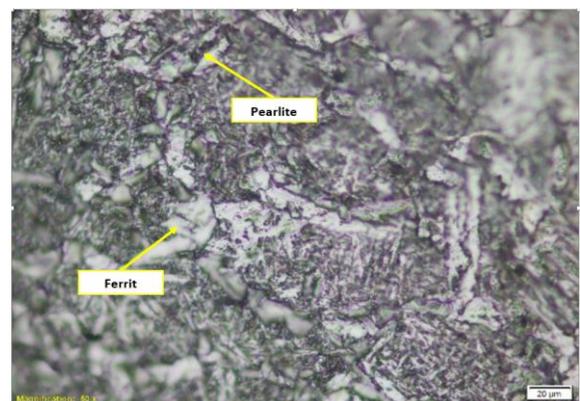
Butiran *ferrit* semakin membesar seiring bertambahnya suhu tempering 250°C seperti pada Gambar 14. Butiran *ferrit* semakin membesar dan mendominasi seiring bertambahnya suhu tempering 300°C hal ini ditandai dengan butiran warna putih yang semakin banyak pada struktur mikro material seperti pada Gambar 15. Butiran *ferrit* semakin membesar dan menyambung satu sama lain seiring bertambahnya suhu tempering 350°C seperti pada Gambar 16.



Gambar 14. Struktur mikro variasi suhu tempering 250°C



Gambar 15. Struktur mikro variasi suhu tempering 300°C



Gambar 16. Struktur mikro variasi suhu tempering 350°C

Hasil pengelasan SMAW pada baja ASTM A36 dengan perlakuan tempering menghasilkan 2 jenis struktur mikro pada material yaitu *pearlite* (bagian berwarna hitam) dan *ferrit* (bagian berwarna putih terang). *Pearlite* memiliki sifat yang keras dan getas pada material, sedangkan *ferrit* bersifat lebih lunak, ulet, dan memiliki konduktivitas tinggi pada suatu material [20]. Struktur mikro pada spesimen *raw material* memperlihatkan bahwa *grain growth* (pertumbuhan butir) *ferrit* belum terjadi. Pada spesimen tempering 200°C, 250°C, 300°C dan 350°C *grain growth ferrit* semakin tumbuh membesar. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu tempering pada material maka

akan semakin mengurangi nilai kekerasan material tersebut. Hal itu ditandai dengan semakin bertumbuhnya butiran *ferrit* pada struktur material.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan analisa data yang dilakukan maka dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa variasi suhu tempering mempengaruhi sifat mekanik Baja ASTM A36. Dimana kekuatan tarik maksimal pada spesimen hasil pengelasan Baja ASTM A36 mengalami peningkatan sebesar 537,880 MPa pada suhu 200°C apabila dibandingkan dengan hasil pengujian material tanpa tempering. Hal ini dapat dilihat dari penurunan nilai kekerasan pada spesimen uji sebesar 165,07 VHN pada suhu tempering 200°C dan ditandai dengan semakin bertumbuhnya butiran *ferrit* pada struktur material.

#### Ucapan Terimakasih

Terimakasih kami sampaikan kepada P3M Politeknik Negeri Indramayu yang telah memberikan dana untuk penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

- [1] S. Mahardika, P. T. Mesin, F. Teknik, U. Qomaruddin, and R. S. Mekanik, "2306-5071-1-Sm," vol. 6, no. 1, pp. 1–6, 2020.
- [2] A. W. Y. Putra Parmita, B. C. Priyandoko, H. A. Dewanto, R. A. Tanjung, S. A. Bramantyo, and R. Febriyanto, "Analisis Pengaruh Variasi Temperatur Proses Pack Carburizing Terhadap Laju Korosi Material Baja Karbon ASTM A36," *SPECTA J. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 186–195, 2021, doi: 10.35718/specta.v5i2.279.
- [3] Sultoni, N. Finahari, and M. Agus Sahbana, "Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Air Dan Oli Pada Sambungan Lap Joint Terhadap Sifat Mekanik Menggunakan Las Smaw (Dc)," *Proton*, vol. 11, no. 1, pp. 35–42, 2019.
- [4] B. A. Hanggara and M. R. Harahap, "Pengaruh Posisi Pengelasan SMAW Dengan Variasi Posisi Elektroda E3086 Terhadap Kekuatan Impak Pada Stainless Steel AISI 304," *Piston*, vol. 4, no. 1, pp. 22–28, 2019.
- [5] Budiarto, A. H. Dikki, Adiman, and O. D. Fajar, "The heat treatment of austenitisation analysis of medium carbon steel to the hardness, microstructure, and tensile strength," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 725, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/725/1/012036.
- [6] S. S. Murugan, "Mechanical Properties of Materials: Definition, Testing and Application," *Int. J. Mod. Stud. Mech. Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 28–38, 2020, [Online]. Available: <http://doi.org/10.20431/2454-9711.0602003>
- [7] A. Wisnujati and J. Andryansyah, "Analysis Of Mechanical Properties SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Welding Joints Of Portable Electric Hydraulic Jack Frame," *INTEK J. Penelit.*, vol. 7, no. 2, p. 155, 2021, doi: 10.31963/intek.v7i2.2134.
- [8] K. P. Kolhe, F. Teshome, and A. Mulu, "Effects of Shielded Metal Arc Welding Process Parameters on Mechanical Properties of S355JR Mild Steel," in *Advances of Science and Technology*, N. G. Habtu, D. W. Ayele, S. W. Fanta, B. T. Admasu, and M. A. Bitew, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 525–536.
- [9] M. Properties, "P 2301-9069," vol. 19, no. 2, pp. 56–63, 2022.
- [10] L. Triawan, M. Thohirin, and A. Apriyanto, "Pengaruh Variasi Media Pendingin Pada Material Baja Karbon Rendah Terhadap Kekuatan Pengelasan Posisi 1G," *Pros. Semin. Nas. Penelit. dan Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 2, no. 1, pp. 51–56, 2022, doi: 10.24967/psn.v2i1.1473.
- [11] S. N. Kumar, V. Balasubramanian, S. Malarvizhi, A. H. Rahman, and V. Balaguru, "Effect of welding consumables on shielded metal arc welded ultra high hard armour steel joints," *J. Mech. Behav. Mater.*, vol. 31, no. 1, pp. 8–21, 2022, doi: 10.1515/jmbm-2022-0002.
- [12] A. Wari, H. Nurdin, and K. Z. Ya, "Porosity Defect Analysis in ST 37 Steel Welding Joints Using the Dye Penetrant Method," *Teknomekanik*, vol. 3, no. 1, pp. 1–8, 2020, doi: 10.24036/tm.v3i1.5272.
- [13] Gunawan, L.V., Ghazali, M., Rohmat, Y.N., Sunaryo., Sukarno, N.A., "Analisis Connecting Rod Sepeda Motor 150 cc Menggunakan Material Baja AISI 1045," vol. 13, no. 01, pp. 70–74, 2023, [Online]. Available: <https://ojs.unsiq.ac.id/index.php/device/article/view/4404>
- [14] S. Caprili *et al.*, "Evaluation of mechanical characteristics of steel bars by nondestructive Vickers micro-hardness tests," *Procedia Struct. Integr.*, vol. 44, no. 2022, pp. 886–893, 2022, doi: 10.1016/j.prostr.2023.01.115.
- [15] A. AHMADIN, "Pengujian Kekerasan Dan Struktur Mikro Plat Baja Karbon Rendah Setelah Proses Pemanasan Dengan Suhu 8000c Di Quenching Bio Solar," *Maj. Tek. Simes*, vol. 15, no. 2, p. 8, 2021, doi: 10.32663/simes.v15i2.2063.
- [16] M. R. Harahap, "Pengaruh Tempering Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Ns-1045 Yang Dikarbonisasi," *Semin. Nas. Tek. UISU*, pp. 11–15, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/semnastek/article/view/5624>
- [17] Resky Aditama, "Studi Ekseperimen Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Baja Karbon Pegas Daun AISI 1095 Pada Mobil Kijang Kapsul 7K-EFI Tahun 2000 Dengan Perlakuan Panas Tempering," *J. Tek. Mesin Unesa*, vol. 7, no. 1, pp. 1–10, 2019.
- [18] N. Lestari, B. W. Sidharta, and A. Purnomo, "Pengaruh Arus Pengelasan Ss 304 Menggunakan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Terhadap Kekuatan Mekanisnya," *Otopro*, vol. 16, no. 1, p. 23, 2020, doi: 10.26740/otopro.v16n1.p23-28.
- [19] M. N. Mujaddedy, J. Jufriadi, and A. Ibrahim, "Analisa Pengaruh Quenching Dan Tempering Terhadap Sifat Mekanik Pada Baja Aisi 1050," *J. Mesin Sains Terap.*, vol. 4, no. 2, p. 125, 2020, doi: 10.30811/jmst.v4i2.2020.
- [20] L. Farida, M. Hidayat, and M. Fawaid, "Pengaruh Variasi Sudut Pengelasan Gmaw Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Baja Astm a36," *J. Pendidik. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 15–27, 2022, doi: 10.36706/jptm.v9i1.15940.