

## The effect of welding electrode variations on the mechanical properties of AISI 1018 material using the SMAW process

M. Adriansyah Putra, Saifuddin\*, Zaini

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe

Kota Lhokseumawe, Aceh 24301, Indonesia

\*Corresponding author: [saifuddin@pnl.ac.id](mailto:saifuddin@pnl.ac.id)

### Article Processing Dates:

Received 2024-11-013

Accepted 2024-12-26

Available online 2024-12-31

### Keywords:

SMAW process

AISI 1018

Electrode

Hardness

Tensile strength

### Abstract

Welding quality is largely determined by welding parameters such as welding current, welding electrode and the type of welding process used. The type of electrode with a certain chemical composition has an impact on the fusion that occurs between the parent material and the welding electrode. so that a study is needed on the effect of electrodes on the quality of the joint. The purpose of this study was to determine the effect of welding electrode variations on the mechanical properties of AISI 1018 material using the SMAW process. The material used in this study was AISI 1018 low carbon steel welded using SMAW welding with hardness and tensile strength testing. The results showed that the highest average hardness value was found in the Weldmetal area found in specimen 1 of the E 7016 electrode, which was 15.33 HRC and E 7018 was 20.20 HRC. The weldmetal area of specimen 2 from electrode E 7016 is 18 HRC and E 7018 is 21.50, The weldmetal area of specimen 3 from electrode E 7016 is 12 HRC and E 7018 is 19.50 HRC and from tensile testing it is known that the average value of raw material is 465.09 Mpa. For welding E 7016 is 492.67 Mpa and E 7018 is 522.79 Mpa.

## Pengaruh variasi elektroda las terhadap sifat mekanik material AISI 1018 menggunakan proses SMAW

**Abstrak** Kualitas pengelasan sangat ditentukan oleh parameter pengeelasan seperti arus las, elektroda las dan jenis proses las yang digunakan. Jenis elektroda dengan komposisi kimia tertentu memberi dampak terhadap fusi yang terjadi antara material induk dengan elektroda las. sehingga diperlukan kajian tentang pengaruh elektroda terhadap kualitas sambungan. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh variasi elektroda las terhadap sifat mekanik material AISI 1018 menggunakan proses SMAW. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon rendah AISI 1018 yang di las menggunakan las SMAW dengan pengujian kekerasan dan kekuatan tarik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan rata-rata yang paling tinggi terdapat pada daerah Weldmetal yang terdapat pada spesimen 1 dari elektroda E 7016 adalah sebesar 15,33 HRC dan E 7018 sebesar 20,20 HRC. Daerah weldmetal specimen 2 dari elektroda E 7016 adalah sebesar 18 HRC dan E 7018 sebesar 21,50, Daerah weldmetal specimen 3 dari elektroda E 7016 adalah sebesar 12 HRC dan E 7018 sebesar 19,50 HRC dan dari pengujian tarik diketahui bahwa nilai rata-rata raw material sebesar 465,09 Mpa. Untuk pengelasan E 7016 sebesar 492,67 Mpa dan E 7018 sebesar 522, 79 Mpa.

Kata kunci: Proses SMAW, AISI 1018, elektroda, kekerasan, kekuatan tarik.

### 1. Pendahuluan

Pengelasan adalah proses yang sangat berguna dalam menyambung media dua komponen berbahan logam. Dengan teknik yang berkembang saat ini, pengelasan diharapkan dapat mempunyai kekuatan dengan logam yang disambungannya. Pengelasan SMAW [1] yang digunakan dalam penelitian ini, dikarenakan ada beberapa keuntungan yang dapat diperoleh dari pengelasan tersebut.

Penggunaan jenis elektroda yang berbeda dan jenis standard pengujian tarik yang berbeda menghasilkan kekuatan tarik yang berbeda [2][3]. Perbedaan arus pengelasan dengan elektroda yang sama memengaruhi kekuatan tarik karena arus menentukan jumlah panas yang dihasilkan selama proses pengelasan. Arus yang terlalu rendah menghasilkan penetrasi las yang dangkal, sehingga ikatan antara logam dasar dan logam las menjadi lemah, yang mengurangi kekuatan tarik.

Sebaliknya, arus yang terlalu tinggi dapat menyebabkan overheating, menghasilkan porositas, pembakaran elemen paduan, atau pertumbuhan butir berlebihan pada mikrostruktur, yang juga menurunkan kekuatan tarik. Pada arus yang optimal, panas yang dihasilkan cukup untuk mencairkan elektroda dan logam dasar secara seimbang, menghasilkan fusi yang baik dengan mikrostruktur yang seragam, sehingga meningkatkan kekuatan tarik sambungan. Arus yang tepat harus disesuaikan dengan jenis elektroda, material dasar, dan ketebalan sambungan untuk mencapai kualitas lasan terbaik [4].

Baja karbon adalah paduan besi karbon di mana unsur karbon sangat menentukan sifat-sifatnya, sedang unsur-unsur paduan lainnya yang biasa terkandung di dalamnya terjadi karena proses pembuatannya. Sifat baja karbon biasa ditentukan oleh persentase karbon dan mikro struktur[5].

Las SMAW termasuk suatu proses penyambungan logam dengan menggunakan tenaga listrik sebagai sumber panas. Elektroda mencairkan logam dasar dan membentuk terak las, pada waktu yang bersamaan ujung elektroda mencair dan bercampur dengan bahan yang di las. Saat busur las terbentuk, temperatur pada tempat terjadinya busur las tersebut akan naik pada ujung elektroda dan pada titik pengelasan. Pada saat belum terjadinya busur las disebut “sirkuit terbuka” (*open circuit voltage /OCV*) mesin las akan menghasilkan tegangan sebesar 45 – 80 Volt, sedangkan pada saat terjadinya busur las, disebut “sirkuit tertutup” (*close circuit voltage /CCV*) tegangan akan turun menjadi 20 – 35 Volt [6].

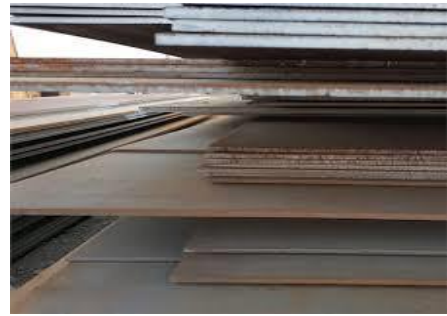
Sebelumnya para peneliti telah melakukan penelitian tentang Pengaruh variasi elektroda las SMAW untuk mendapatkan parameter yang sesuai [2], [7], [8], [9], [10], [11], [12], namun data tersebut belum cukup untuk menjawab tantangan yang dihadapi.

Berdasarkan pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Trinova Budi Santoso, dkk. tentang sifat mekanik dan struktur mikro serta hubungan keduanya hasil pengelasan SMAW dengan variasi kuat arus pengelasan menggunakan elektroda E7016. Hasil perbandingan uji kekuatan tarik dan kelompok kemudian di analisis. Setiap variasi kuat arus diambil 1 spesimen struktur mikro pada HAZ, logam las dan logam induk. Objek penelitian pengelasan yang dipakai adalah baja karbon rendah. Spesimen uji kekuatan tarik mengacu pada standar ASTM E8/E8M-09. Hasil penelitian diperoleh Kekuatan tarik sambungan las raw material 36,711 kgf/mm<sup>2</sup>. nilai kekuatan tarik dengan kuat arus pengelasan 100 Amper mengalami penurunan yaitu 31,863 kgf/mm<sup>2</sup>. Sedangkan dengan kuat arus pengelasan 125 Amper mengalami kenaikan 40,827 kgf/mm<sup>2</sup>. Pada kuat arus pengelasan 150 Amper mengalami kenaikan 48,503 kgf/mm<sup>2</sup> Struktur mikro logam induk terdiri dari perlit dan ferrit, struktur mikro daerah HAZ. Struktur mikro daerah HAZ dan logam las dengan kuat arus pengelasan 150 Ampere terdiri dari bainit dan widmanstatten ferrite. Struktur mikro daerah HAZ dan logam las dengan kuat arus pengelasan 100 dan 125 Ampere terdiri dari asutenit sisa dan widmanstatten ferrite [13].

Berdasarkan dari permasalahan tersebut maka perlu dilakukan penelitian pada baja AISI 1018 dengan variasi elektroda E 7016 dan E 7018 untuk mengetahui sifat mekanik berupa uji Tarik pada material AISI 1018. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa pengaruh variasi elektroda las terhadap perubahan sifat mekanik hasil pengelasan SMAW material AISI 1018.

## 2. Metode Penelitian

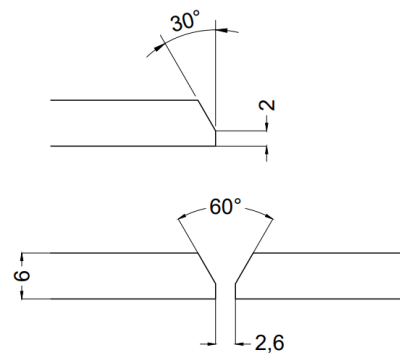
Material yang digunakan adalah AISI 1018 dengan ketebalan pelat 6 mm yang merupakan besi rendah karbon yang menawarkan keseimbangan antara kekuatan, kekerasan dan keuletan, seperti pada Gambar 1. Dengan permukaan yang licin, penggunaannya bisa beragam mulai proses fabrikasi seperti sparepart mesin, pengelasan, penempaan, as bearing dan masih banyak lagi.



Gambar 1. Material AISI 1018

Langkah penelitian yang dilakukan adalah melakukan persiapan bahan dan proses pengelasan dengan menggunakan elektroda E 7016 dan E 7018 dengan diameter 2,6 mm. Proses pengelasan dilakukan oleh welder bersertifikat yang sudah mempunyai keahlian khusus di bidang pengelasan. Arus pengelasan yang digunakan adalah 90A. Kampuh yang digunakan jenis kampuh V terbuka, jarak celah pelat 2 mm, tinggi akar 2 mm dan sudut kampuh 60°.

Spesimen pengelasan dipotong dengan 150 x 150 x 6 mm sebanyak 4 keping masing-masing di las dengan menggunakan elektroda yang berbeda. Spesimen pertama di las dengan menggunakan elektroda E 7016, spesimen kedua menggunakan elektroda E 7018. Spesimen Raw material dipotong dengan 250 x 50 x 6 mm sebanyak 1 keping. Setelah pemotongan di bagi menjadi beberapa bagian seperti pada table 4.4 dan dilakukan pembentukan sudut kampuh V terbuka dengan sudut 60° menggunakan gerinda. pembentukan sudut kampuh V terbuka dengan sudut 60° menggunakan gerinda di ukur menggunakan busur derajat. Seperti gambar 2.



Gambar 2. Kampuh spesimen

Parameter pengelasan ditunjukkan seperti Tabel 1, 2 dan 3.

Tabel 1. Material dan elektroda

Nama	Keterangan
Material specification	AISI 1018
Tebal material	6 mm
Elektroda klasifikasi	E 7016 dan E 7018
Diameter	Ø 2.6 mm
Posisi pengelasan	1G

Tabel 2. Parameter pengelasan menggunakan elektroda E 7016

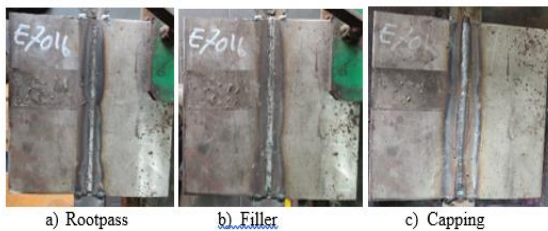
Layer	Ampere (I)	Voltage (E)	Travel speed (mm/s)
Root	66 A	18 - 23	2.16
Filler	90 A	21 - 30	1.19
Capping	90 A	21 - 30	2.4

Tabel 3. Parameter pengelasan menggunakan elektroda E 7018

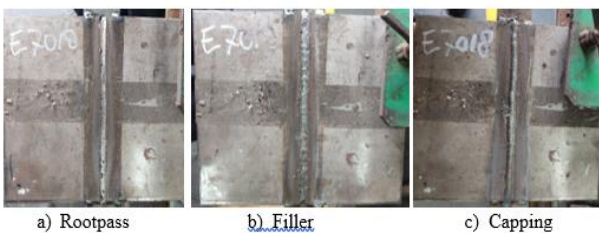
Layer	Ampere (I)	Voltage (E)	Travel speed (mm/s)
Root	66 A	18 - 23	1.51
Filler	90 A	21 - 30	1.38
Capping	90 A	21 - 30	2.4

Selanjutnya dilakukan tahap pengelasan yaitu mempersiapkan mesin las SMAW sesuai dengan pemasangan polaritas terbalik DCEP. Posisi pengelasan dengan menggunakan posisi pengelasan mendatar atau bawah tangan. Kampuh yang digunakan jenis kampuh V terbuka, dengan sudut 60° dengan lebar celah 2 mm. Mempersiapkan elektroda sesuai dengan arus dan ketebalan pelat, dalam ini dipilih elektroda jenis E 7016 dan E 7018, diameter elektroda penelitian 2,6 mm.

Menyetel ampere meter yang digunakan untuk mengukur arus pada posisi jarum nol, kemudian salah satu penjepitnya dijepitkan pada kabel yang digunakan untuk menjepit elektroda. Mesin las dihidupkan dan elektroda digoreskan sampai menyala. Ampere meter diatur pada angka 90A untuk ke dua elektroda. Hasil las dengan variasi elektroda seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil pengelasan E 7016



Gambar 4. Hasil pengelasan E 7018

Setelah pengelasan dilakukan uji penetrant dengan tahapan menyemprot Cairan pembersih Cleaner. Cairan pembersih yang dimaksud untuk mempersiapkan agar permukaan benda uji bersih dari kotoran yang mungkin menyumbat celah/cacat atau mengganggu proses penetrasi serta menghilangkan kontaminan yang mungkin ada pada permukaan benda uji.

Menyemprot Cairan Penetrant. Setelah benda uji menjadi bersih dan kering, cairan penetran dapat dilapiskan ke permukaan benda uji dengan cara menyemprotkan, memulaskan, mengalirkannya pada benda uji atau benda uji dicelupkan ke dalam cairan penetran. Penyemprotan dengan

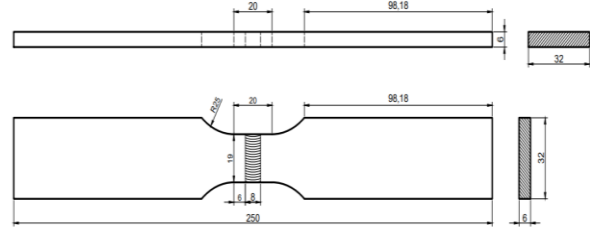
tekanan tinggi diperbolehkan hanya jika system pembuang udara berjalan dengan baik. Hal ini karena dapat mengganggu Kesehatan.

Menyemprot Cairan Developer. Developer berfungsi menyedot cairan penetran yang terdapat dalam celah sehingga akan menimbulkan indikasi pada lapisan developer. Indikasi ini akan menunjukkan adanya cacat apabila ada. Proses penetran seperti Gambar 5.



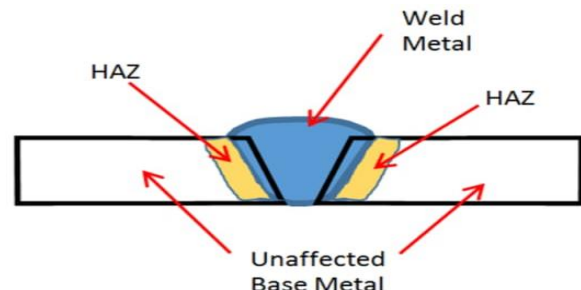
Gambar 5. Hasil uji penetran

Langkah selanjutnya adalah pembuatan specimen uji tarik seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Spesimen uji tarik

Selanjutnya pengujian kekerasan dengan titik lokasi seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Tiktik pengujian kekerasan

### 3. Hasil Dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengelasan dengan variasi elektroda menghasilkan penyambungan yang baik seperti pada Gambar 3 dan 4 dengan uji penetrant pada Gambar 5. Elektroda E7016 dan E7018 termasuk dalam kategori elektroda low hydrogen, yang dirancang untuk meminimalkan kadar hidrogen di zona las. Hal ini mengurangi risiko pembentukan retak akibat hydrogen-induced cracking (HIC), terutama pada baja karbon rendah seperti AISI 1018. Hidrogen yang rendah membantu menjaga integritas sambungan las dengan meminimalkan tegangan internal yang disebabkan oleh pelepasan gas selama pendinginan.

Dari perspektif mikrostruktur, kandungan elemen paduan dalam elektroda seperti mangan dan silikon memengaruhi transformasi mikrostruktur di *weld metal* dan heat-affected zone (HAZ). Pada baja karbon rendah seperti AISI 1018, penggunaan elektroda ini mendorong pembentukan struktur mikro dominan berupa ferit-perlit, yang memberikan

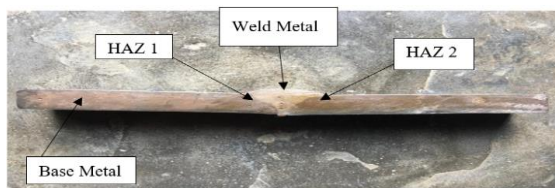
kombinasi antara kekuatan dan kelenturan. Selain itu, pengendalian panas yang baik dari kedua elektroda ini menghasilkan ukuran butir yang lebih kecil di *weld metal*, meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap deformasi plastis.

Kemampuan elektroda E7016 dan E7018 untuk menghasilkan fusi yang baik dengan logam dasar AISI 1018 juga disebabkan oleh sifat metalurgi material dasar yang mendukung pengelasan. Baja AISI 1018 memiliki kandungan karbon yang rendah, sekitar 0,18%, sehingga memiliki keuletan tinggi dan resistensi terhadap retak. Dengan kombinasi ini, zona fusi dan HAZ yang terbentuk menunjukkan sifat mekanik yang stabil tanpa degradasi signifikan dari kekuatan tarik atau ketangguhan.

Keseluruhan hasil penyambungan yang baik ini dapat dikaitkan dengan kontrol parameter pengelasan yang tepat, kompatibilitas kimia antara elektroda dan logam dasar, serta stabilitas busur yang dihasilkan oleh kedua elektroda tersebut, yang memastikan penetrasi optimal dan pembentukan sambungan yang homogen. Analisis ini menunjukkan peran penting elektroda dalam menentukan sifat mekanik akhir sambungan melalui pengaruhnya pada struktur mikro dan distribusi elemen paduan di zona las.

### 3.1 Uji kekerasan

Hasil pengelasan dilakukan uji kekerasan pada 12 titik yaitu daerah *base metal*, *weld metal*, dan HAZ seperti pada Gambar 8. dengan alat Rockwell hardness.

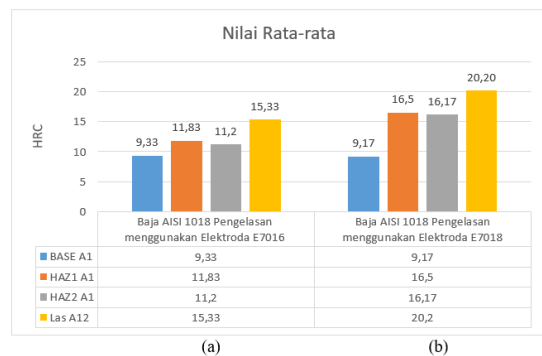


Gambar 8. Area uji kekerasan

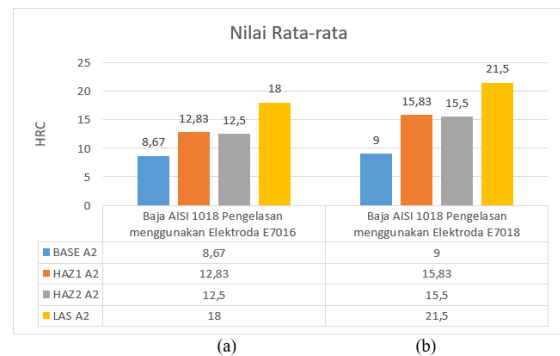
Hasil uji kekerasan pada tiga specimen untuk masing-masing elektroda seperti pada Gambar 9, 10 dan 11.

Berdasarkan Gambar 9, 10, dan 11 menunjukkan bahwa nilai kekerasan rata-rata yang paling tinggi akibat pengaruh pengelasan yang dilakukan pada material AISI 1018 hasil pengelasan SMAW terdapat pada daerah *Weld metal*. *Weld metal* memiliki nilai kekerasan tertinggi dibandingkan dengan HAZ dan *base metal* karena proses pengelasan menciptakan kondisi unik yang memengaruhi struktur mikro logam las secara signifikan. Saat pengelasan, logam filler dari elektroda mencair dan bercampur dengan sebagian logam dasar untuk membentuk *weld metal*. Selama pendinginan cepat setelah pengelasan, struktur mikro di *weld metal* mengalami transformasi yang berbeda dari HAZ dan *base metal*, menghasilkan sifat mekanik yang lebih keras.

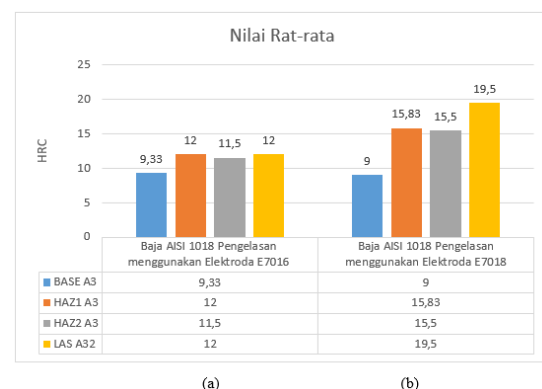
Salah satu faktor utama adalah pendinginan cepat yang terjadi di *weld metal*. Laju pendinginan ini menyebabkan pembentukan struktur mikro yang lebih halus, seperti martensit atau bainit, tergantung pada komposisi kimia elektroda dan logam dasar. Struktur mikro yang halus memiliki batas butir lebih banyak, yang meningkatkan resistensi terhadap pergerakan dislokasi, sehingga menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi. Selain itu, jika elektroda mengandung elemen paduan seperti karbon, mangan, atau molibdenum, ini akan memperkuat matriks logam melalui pembentukan larutan padat atau karbida yang lebih keras.



Gambar 9. Grafik specimen satu dari dua elektroda



Gambar 10. Grafik specimen dua dari dua elektroda



Gambar 11. Grafik specimen tiga dari dua elektroda

Di sisi lain, HAZ mengalami siklus termal yang kompleks, di mana beberapa bagian dipanaskan hingga zona austenit penuh dan lainnya hanya mengalami pemanasan parsial. Zona ini sering menunjukkan variasi mikrostruktur, seperti perlit yang lebih kasar atau zona pelunakan akibat pemanasan yang menyebabkan rekristalisasi butir. Akibatnya, kekerasan di HAZ biasanya lebih rendah dibandingkan *weld metal*.

*Base metal* memiliki nilai kekerasan terendah karena strukturnya belum mengalami perubahan signifikan akibat proses pengelasan. Mikrostruktur *base metal* biasanya berupa ferit-perlit yang lebih kasar, dengan distribusi elemen paduan yang lebih homogen namun tanpa penguatan tambahan seperti yang terjadi di *weld metal*.

Secara keseluruhan, nilai kekerasan tertinggi di *weld metal* adalah hasil kombinasi antara pendinginan cepat, pembentukan mikrostruktur yang lebih keras, dan penambahan elemen paduan dari elektroda. Interaksi ini memberikan *weld metal* sifat mekanik yang unik dibandingkan dengan HAZ dan *base metal*.

### 3.2 Pengujian Tarik

Hasil uji tarik seperti pada gambar 12 dan 13 dimana area putus pada area HAZ.



Gambar 12. Hasil uji tarik pengelasan menggunakan elektroda E 7016



Gambar 13. Hasil uji tarik pengelasan menggunakan elektroda E 7018

Berdasarkan gambar 13 dan 14 bahwa area putus di area HAZ bukan *weld metal*, ini menunjukkan bahwa *weld metal* memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan HAZ. Hal ini merupakan indikasi bahwa parameter pengelasan yang digunakan sudah tepat, sehingga menghasilkan sambungan las dengan kekuatan mekanik optimal pada *weld metal*.

Kekuatan *weld metal* lebih tinggi karena proses pengelasan menciptakan mikrostruktur yang lebih halus dan keras di zona tersebut. Pendinginan cepat setelah pencairan logam menghasilkan transformasi fasa yang dominan, seperti martensit atau bainit, yang memiliki sifat mekanik tinggi dibandingkan zona lainnya. Selain itu, elemen paduan dari elektroda, seperti karbon, mangan, atau molibdenum, memperkuat *weld metal* melalui mekanisme larutan padat dan pembentukan karbida.

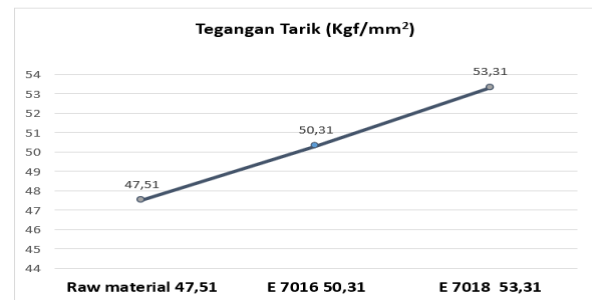
Di sisi lain, HAZ, meskipun mengalami perubahan mikrostruktur akibat siklus termal, tidak mencapai kondisi mekanik yang setara dengan *weld metal*. Pada bagian HAZ yang mengalami pemanasan hingga zona austenit penuh, pertumbuhan butir dapat terjadi, yang mengurangi kekuatan dibandingkan dengan *weld metal*. Pada bagian lain dari HAZ yang hanya mengalami pemanasan parsial, zona pelunakan (*softening*) dapat terbentuk akibat rekristalisasi atau tempering dari struktur mikro sebelumnya, yang juga mengurangi kekuatan lokal.

Putusnya spesimen di HAZ menegaskan bahwa *weld metal* cukup kuat untuk menahan beban tarik, menunjukkan bahwa parameter pengelasan seperti arus, tegangan, kecepatan pengelasan, dan input panas telah dioptimalkan. Kombinasi parameter ini memastikan penetrasi yang baik, pencampuran

sempurna antara logam dasar dan logam pengisi, serta transformasi mikrostruktur yang menghasilkan zona las dengan sifat mekanik unggul.

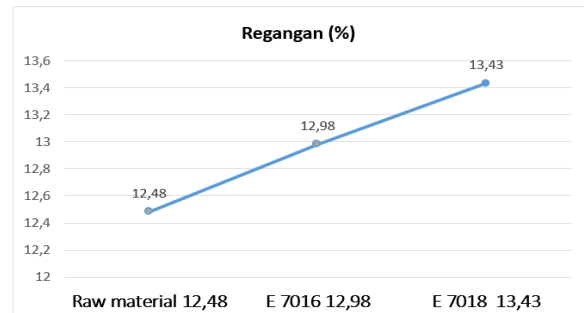
Dengan demikian, putus di HAZ, dan bukan di *weld metal*, menunjukkan bahwa sambungan las telah mencapai standar kualitas tinggi, dengan *weld metal* yang memenuhi atau bahkan melebihi kekuatan yang diharapkan. Analisis lebih lanjut terhadap HAZ, seperti uji kekerasan atau pengamatan mikrostruktur, dapat memberikan wawasan tambahan tentang kondisi yang menyebabkan kegagalan di zona tersebut.

Nilai hasil uji tarik ditunjukkan seperti pada Gambar 14 dan 15.



Gambar 14. Grafik nilai tegangan specimen variasi elektroda

Berdasarkan Gambar 14 dapat dijelaskan bahwa nilai kekuatan pengujian tarik untuk specimen uji variasi elektroda adalah sebesar 47,51 Kgf/mm<sup>2</sup> untuk raw material, 50, 31 untuk elektroda E 7016 dan 53,31 untuk elektroda E 7018.



Gambar 15. Grafik nilai tegangan specimen variasi elektroda.

Sedangkan Gambar 15. menjelaskan tentang nilai regangan dimana perpanjangan untuk spesimen variasi elektroda adalah 12,48 % untuk raw material, 12,98 % untuk elektroda E 7016 dan 13,43 untuk elektroda E 7018

## 4 Kesimpulan

Spesimen uji tarik setelah pengujian semua yang di uji patahnya di luar *weld metal*. Hasil pengujian Kekerasan diketahui nilai Kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen ke dua elektroda E 7016 sebesar 18 HRC dan pada specimen ke dua elektroda E 7018 sebesar 21,50 HRC tepatnya di daerah *weld metal*, Nilai kekerasan RAW material AISI 1018 sendiri dengan rata-rata 12 HRC. Dari hasil pengujian semua spesimen dapat disimpulkan sangat disarankan menggunakan elektroda E 7016 dan E 7018 untuk pengelasan material AISI 1018. Hasil pengujian tarik yang dimiliki oleh spesimen raw material yaitu 465,09 Mpa dan untuk pengelasan menggunakan elektroda E 7016 dengan nilai rata-rata 492,67 Mpa dan untuk pengelasan menggunakan elektroda E 7018 dengan nilai rata-rata 522,79 Mpa.

## Referensi

- [1] F. Rozi, "The effect of welding current on the mechanical properties of ST60 steel in the SMAW welding process," *J. Mech. Eng. Fabr.*, vol. 1, no. 1, pp. 20–24, 2024.
- [2] W. Karmawan *et al.*, "Analisa Kekuatan Variasi Arus Las SMAW Dengan Elektroda E 7018 Bahan Baja ST 42 Terhadap Sifat Mekanis," *J. Mesin Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 1, no. 1, pp. 19–23, 2020.
- [3] M. A. Syahandra, "The effect of variation in E7018 electrode current on the bending strength of carbon steel material," *J. Mech. Eng. Fabr.*, vol. 1, no. 1, pp. 15–19, 2024.
- [4] Y. Liang, J. Shen, S. Hu, H. Wang, and J. Pang, "Effect of TIG current on microstructural and mechanical properties of 6061-T6 aluminium alloy joints by TIG-CMT hybrid welding," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 255, pp. 161–174, 2018.
- [5] A. Azwinur, S. A. Jalil, and A. Husna, "PENGARUH VARIASI ARUS PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA PROSES PENGELASAN SMAW," *J. POLIMESIN*, vol. 15, no. 2, p. 36, Sep. 2017, doi: 10.30811/jpl.v15i2.372.
- [6] D. A. Sudjimat and M. Romlie, *TEKNOLOGI PENGELASAN BUSUR MANUAL: Berbasis Proyek dan Pendekatan Saintifik*. Media Nusa Creative (MNC Publishing), 2021.
- [7] A. Azwinur and M. Muhazir, "Pengaruh jenis elektroda pengelasan SMAW terhadap sifat mekanik material SS400," *J. POLIMESIN*, vol. 17, no. 1, pp. 19–25, Feb. 2019, doi: 10.30811/JPL.V17i1.870.
- [8] K. V. Satheesh Kumar, P. Selvakumar, K. R. Uvanshankar, S. Thirunavukarasu, V. Vijay Anand, and D. Vishal, "Investigation on the effect of technological parameters on emission factor in 316L stainless steel using gas metal arc welding," *Arch. Metall. Mater.*, vol. 66, no. 2, pp. 609–615, 2021, doi: 10.24425/amm.2021.135898.
- [9] I. A. Faqih, S. Ma'arif, and H. Sukarjo, "The Effect of Current Variation on MMA Welding to Mechanical Properties and Microstructure of Mild Steel," *Proceeding Int. Conf. Mater. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 21–26, 2019.
- [10] Tarkono, "Studi Penggunaan Jenis Elektroda Las Yang Berbeda Terhadap Sifat Mekanik Pengelasan SMAW Baja AISI 1045," *MECHANICAL*, vol. 3, no. 2, Sep. 2012, doi: 10.23960/MECH.V3I2.2012.169.
- [11] M. Siddiq, N. Nurdin, and I. Amalia, "Pengaruh jenis kampuh terhadap ketangguhan sambungan pengelasan material St37 dengan AISI 1050 menggunakan proses SMAW," *J. Weld. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 11–16, Jun. 2019.
- [12] T. Triana, M. Kamil, and Y. M. Zulaida, "Pengaruh Variasi Elektroda dan Arus Listrik Pengelasan Terhadap Cacat Las dan Sifat Mekanik Pelat Baja Aplikasi Lambung Kapal," *FLYWHEEL J. Tek. Mesin Untirta*, vol. 2, no. 1, pp. 50–55, 2018.
- [13] T. B. Santoso, S. Solichin, and P. Trihutomo, "Pengaruh kuat arus listrik pengelasan terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro las SMAW dengan elektroda E7016," *J. Tek. Mesin Univ. Negeri Malang*, vol. 23, no. 1, p. 141149, 2015.
- [1] F. Rozi, "The effect of welding current on the mechanical properties of ST60 steel in the SMAW welding process," *J. Mech. Eng. Fabr.*, vol. 1, no. 1, pp. 20–24, 2024.
- [2] W. Karmawan *et al.*, "Analisa Kekuatan Variasi Arus Las SMAW Dengan Elektroda E 7018 Bahan Baja ST 42 Terhadap Sifat Mekanis," *J. Mesin Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 1, no. 1, pp. 19–23, 2020.
- [3] M. A. Syahandra, "The effect of variation in E7018 electrode current on the bending strength of carbon steel material," *J. Mech. Eng. Fabr.*, vol. 1, no. 1, pp. 15–19, 2024.
- [4] Y. Liang, J. Shen, S. Hu, H. Wang, and J. Pang, "Effect of TIG current on microstructural and mechanical properties of 6061-T6 aluminium alloy joints by TIG-CMT hybrid welding," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 255, pp. 161–174, 2018.
- [5] A. Azwinur, S. A. Jalil, and A. Husna, "PENGARUH VARIASI ARUS PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA PROSES PENGELASAN SMAW," *J. POLIMESIN*, vol. 15, no. 2, p. 36, Sep. 2017, doi: 10.30811/jpl.v15i2.372.
- [6] D. A. Sudjimat and M. Romlie, *TEKNOLOGI PENGELASAN BUSUR MANUAL: Berbasis Proyek dan Pendekatan Saintifik*. Media Nusa Creative (MNC Publishing), 2021.
- [7] A. Azwinur and M. Muhazir, "Pengaruh jenis elektroda pengelasan SMAW terhadap sifat mekanik material SS400," *J. POLIMESIN*, vol. 17, no. 1, pp. 19–25, Feb. 2019, doi: 10.30811/JPL.V17i1.870.
- [8] K. V. Satheesh Kumar, P. Selvakumar, K. R. Uvanshankar, S. Thirunavukarasu, V. Vijay Anand, and D. Vishal, "Investigation on the effect of technological parameters on emission factor in 316L stainless steel using gas metal arc welding," *Arch. Metall. Mater.*, vol. 66, no. 2, pp. 609–615, 2021, doi: 10.24425/amm.2021.135898.
- [9] I. A. Faqih, S. Ma'arif, and H. Sukarjo, "The Effect of Current Variation on MMA Welding to Mechanical Properties and Microstructure of Mild Steel," *Proceeding Int. Conf. Mater. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 21–26, 2019.
- [10] Tarkono, "Studi Penggunaan Jenis Elektroda Las Yang Berbeda Terhadap Sifat Mekanik Pengelasan SMAW Baja AISI 1045," *MECHANICAL*, vol. 3, no. 2, Sep. 2012, doi: 10.23960/MECH.V3I2.2012.169.
- [11] M. Siddiq, N. Nurdin, and I. Amalia, "Pengaruh jenis kampuh terhadap ketangguhan sambungan pengelasan material St37 dengan AISI 1050 menggunakan proses SMAW," *J. Weld. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 11–16, Jun. 2019.
- [12] T. Triana, M. Kamil, and Y. M. Zulaida, "Pengaruh Variasi Elektroda dan Arus Listrik Pengelasan Terhadap Cacat Las dan Sifat Mekanik Pelat Baja Aplikasi Lambung Kapal," *FLYWHEEL J. Tek. Mesin Untirta*, vol. 2, no. 1, pp. 50–55, 2018.
- [13] T. B. Santoso, S. Solichin, and P. Trihutomo, "Pengaruh kuat arus listrik pengelasan terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro las SMAW dengan elektroda E7016," *J. Tek. Mesin Univ. Negeri Malang*, vol. 23, no. 1, p. 141149, 2015.