

ANALISIS KEKUATAN *BUTT JOINT* PENGELASAN SMAW PADA MATERIAL ST-37 DENGAN VARIASI ELEKTRODA DAN KECEPATAN PENGELASAN

- 1) Mahasiswa Teknik Mesi,
Universitas Tidar, Kota
Magelang Indonesia
- 2) Koordinator Prodi Teknik
Mesin, Universitas Tidar,
Kota Magelang Indonesia
- 3) Dosen Teknik Mesin,
Universitas Tidar, Kota
Magelang Indonesia

Corresponding email ¹⁾ :
pamungkasdeni18@gmail.com
hastutisrimetin@untidar.ac.id
ikhwantaufik26@untidar.ac.id

Received: 10.05.2024
Accepted: 08.06.2024
Published: 28.06.2024

©2024 Politala Press.
All Rights Reserved.

Deni Pamungkas ¹⁾, Sri Hastuti ²⁾, Ikhwan Taufik ³⁾

Abstrak. *Pengelasan Shield Metal Arc Welding (SMAW) dalam praktiknya sering menghadapi tantangan berupa cacat pada sambungan yang merusak kualitas penyambungan. Salah satu implementasi penyambungan las yaitu proses pembuatan paddock. Pengelasan yang tidak baik dapat merusak paddock dan merugikan penggunaannya. Penelitian bertujuan mengetahui efek laju pengelasan dan elektroda terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro sambungan las baja ST-37. Penelitian menggunakan elektroda AWS E 7016 dan AWS E 6013 dengan arus 100 ampere serta variasi kecepatan las 0,2 cm/dtk, 0,3 cm/dtk, dan 0,4 cm/dtk. Kekuatan tarik tertinggi pada elektroda AWS E 7016 sebesar 460,32 MPa dan terendah pada AWS E 6013 sebesar 256,02 MPa. Nilai kekerasan tertinggi pada AWS E 7016 sebesar 236,07 MPa dan terendah pada AWS E 6013 sebesar 176,86 MPa. Komposisi ferit lebih mendominasi pada logam las. Karena ferit bersifat ulet dan tidak terlalu keras, berarti daerah logam las bersifat ulet dan kekerasan yang tidak terlalu tinggi.*
Kata Kunci: *kecepatan pengelasan, kekuatan tarik, AWS E 7016, AWS E 6013*

Abstract. *Shield Metal Arc Welding (SMAW) welding, in practice, often faces challenges in the form of defects in the joints, which damage the quality of the connection. One implementation of welding connections is the process of making a paddock. Poor welding can damage the paddock and harm its users. The research aims to determine the effect of welding speed and electrodes on the tensile strength, hardness, and microstructure of ST-37 steel welded joints. The study used AWS E 7016 and AWS E 6013 electrodes with a current of 100 amperes and varying welding speeds of 0.2 cm/s, 0.3 cm/s, and 0.4 cm/s. The highest tensile strength for the AWS E 7016 electrode was 460.32 MPa, and the lowest for the AWS E 6013 electrode was 256.02 MPa. The highest hardness value on AWS E 7016 was 236.07 MPa, and the lowest was on AWS E 6013, amounting to 176.86 MPa. The ferrite composition dominates the weld metal. Because ferrite is ductile and not too hard, the weld metal area is malleable, and the hardness is not too high.*
Keywords: *welding speed, tensile strength, AWS E 7016, AWS E 6013.*

To cite this article: <https://doi.org/10.34128/je.v11i1.277>

1. Pendahuluan

Perkembangan cepat dalam teknologi konstruksi mesin mengakibatkan meningkatnya kebutuhan akan teknik penyambungan yang efektif antara bagian-bagian mesin. Metode penyambungan yang umum digunakan adalah pengelasan menggunakan metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Pengelasan ialah teknik penyambungan suatu logam yang dilakukan dengan cara meleburkan logam induk bersama logam *filler*. Namun, dalam prakteknya, pengelasan SMAW sering menghadapi berbagai tantangan, terutama dalam bentuk cacat pada sambungan las yang dapat mengurangi kualitas keseluruhan penyambungan. Salah satu contoh penerapan pengelasan adalah dalam proses pembuatan *paddock*.

Paddock adalah alat yang digunakan sebagai penyangga atau *stand* untuk motor *sport* maupun motor biasa. Pada motor balap, *paddock* digunakan saat parkir di *pitstop*. *Paddock* diproduksi dengan beberapa metode, proses pengelasan dan pembengkokan termasuk salah satu metodenya [2].

Paddock dari material baja ST-37 memiliki kelemahan, seperti risiko patah atau bengkok. Kualitas pengelasan yang buruk dapat menyebabkan kerusakan pada *paddock* dan merugikan pengguna. Oleh karena itu, sambungan pengelasan harus berkualitas tinggi untuk dapat menahan gaya yang bekerja padanya. Selain itu, dalam pembuatan *paddock*, belum ada data acuan mengenai metode pengelasan yang sesuai untuk mencapai kekuatan *paddock* yang optimal [3]. Sehingga penelitian harus dilaksanakan guna menemukan kekuatan tarik dan kekerasan pada *paddock* yang maksimal sehingga meminimalisasi kerusakan. Tujuan dilaksanakan penelitian ini yaitu guna menganalisis pengaruh dari variasi elektroda dan laju pengelasan terhadap kekuatan tarik, struktur mikro, dan kekerasan sambungan las *butt joint* pada pengelasan SMAW menggunakan material ST-37. Penelitian ini menggunakan baja ST-37 tebal 6 mm, arus 100 A, jenis elektroda AWS E 7016 dan AWS E 6013, kecepatan pengelasan 0,2 cm/dtk, 0,3 cm/dtk, dan 0,4 cm/dtk.

Penelitian terkait lainnya menyatakan prosedur pengelasan dan parameternya memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan sambungan las. Pengelasan dilakukan pada baja AISI 1050 menggunakan elektroda E7016 dengan variasi arus 100 ampere, 125 ampere, dan 150 ampere. Data menunjukkan besar arus sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan. Nilai tertinggi tegangan tarik terdapat pada spesimen dengan besar arus 100 A sebesar 74,05 kgf/mm^2 , tegangan tarik yang terendah terdapat di arus 150 A sebesar 68,60 kgf/mm^2 . Patahan tidak terjadi di area logam las dan dapat dikategorikan sebagai patahan getas [4].

Pada proses manufaktur kapal, baja ST-37 merupakan salah satu material yang sering digunakan. Beragam jenis baja memperlihatkan variasi material yang dapat dipilih sebagai bahan untuk lambung kapal, termasuk baja ST-37. Dalam penelitian ini, dilakukan pengelasan dengan metode SMAW dengan kampuh jenis *double v-butt joint* yang memiliki variasi besar sudut. Setelah itu, dilakukan pengujian tarik berdasarkan standar ASTM E8, pengujian tekuk sesuai standar ASTM E19014, dan pengujian *impact* sesuai standar menurut ASTM E23. Didapatkan rata-rata nilai tegangan tarik paling besar yaitu sebesar 492,35 N/mm^2 pada besar sudut 60 derajat. Didapat hasil rata-rata nilai tegangan tekuk yang terbesar 934,80 N/mm^2 pada sudut 50 derajat. Didapat hasil rata-rata nilai kekuatan impak terbesar yaitu 2,79 J/mm^2 untuk besar sudut 50 derajat [5].

2. Tinjauan Pustaka

Elektroda atau dikenal sebagai kawat las atau *filler*, dimanfaatkan dalam proses pengelasan busur listrik. Saat ujung elektroda menyentuh logam, tercipta busur listrik yang menghasilkan panas yang cukup untuk mencairkan logam dan elektroda sehingga menyatukannya. Pilihan elektroda seperti E7016 dan E6013 memiliki dampak pada hasil akhir pengelasan. Selain itu, dalam pengelasan SMAW, elektroda bisa menggunakan arus DC- atau DC+. Penggunaan besar arus antara 115-165 ampere. *Interval* besar arus tersebut menghasilkan pengelasan berbeda-beda. Penggunaan berbagai jenis elektroda dan standar pengujian tarik yang berbeda, membuat hasil dari kekuatan tarik yang berbeda pula [6].

Kecepatan pengelasan sangat mempengaruhi bentuk struktur mikro dan sifat mekanik hasil lasan. Kecepatan pengelasan menentukan besar dari *heat input* saat proses pengelasan terjadi. *Heat input* itu sendiri berpengaruh terhadap proses pencairan antara logam pengisi dan *raw material* [7]. Ini sesuai persamaan berikut:

$$HI = \eta \frac{E I 60 kJ}{V 1000 mm} \quad (1)$$

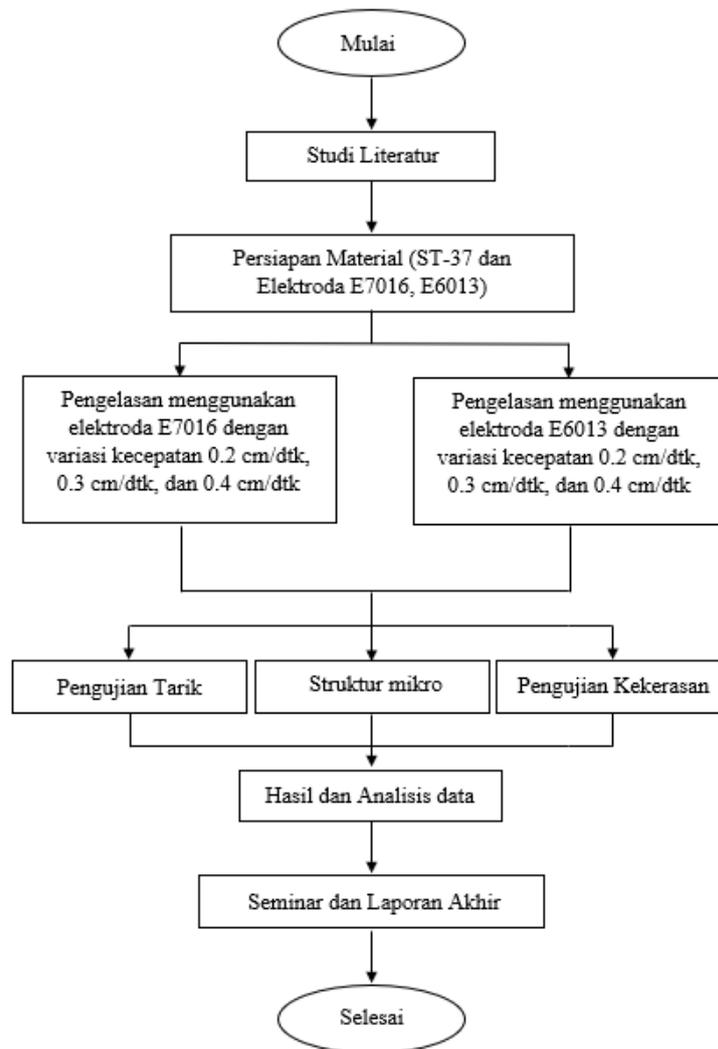
Keterangan:

- HI = Heat Input (kJ/mm)
- η = Efisiensi mesin, SMAW bernilai 0,9
- E = Tegangan Listrik (Volt)
- I = Kuat Arus (Ampere)
- V = Kecepatan Pengelasan (mm/menit)

Dapat diamati bahwa semakin lambat kecepatan pengelasan dilakukan, maka nilai *heat input* semakin besar juga. Hal ini akan membuat proses peleburan antara logam induk dan logam pengisinya menjadi lebih mudah. Semakin besar nilai *heat input*, maka hasil pengelasan semakin baik [7]. Bisa dikatakan bahwa, kekuatan tarik akan semakin tinggi dengan kecepatan las yang semakin rendah [8].

3. Metodologi

Adapun diagram alir dari pelaksanaan penelitian sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

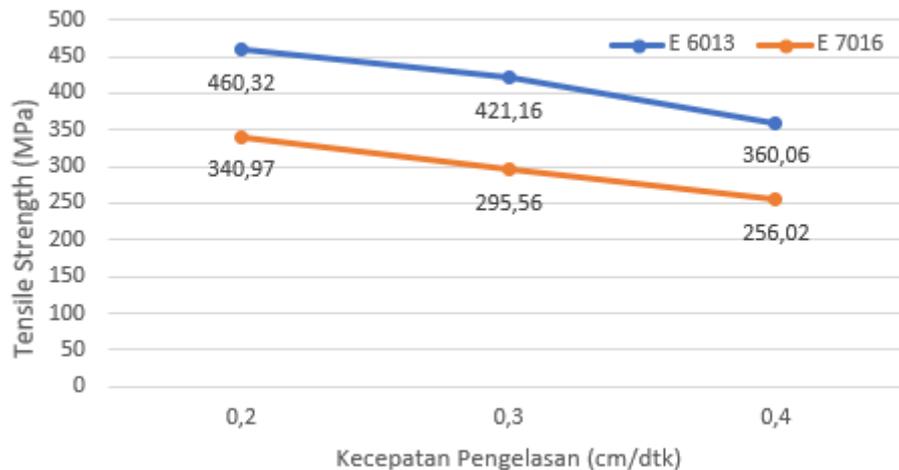
Pengujian kekuatan tarik mengikuti standar prosedur pengujian ASTM E8, dilakukan tiga kali pengujian untuk setiap spesimen kemudian diambil nilai rata-ratanya. Pengujian kekerasan menggunakan standar prosedur ASTM E384 serta pengujian struktur mikro dilakukan dengan perbesaran 50 kali perbesaran.

4. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Pengujian Tarik

Pada pengujian tarik spesimen menggunakan elektroda AWS E7016, diberikan tiga variasi kecepatan pengelasan yaitu 0,2 cm/dtk, 0,3 cm/dtk, dan 0,4 cm/dtk. Dibutuhkan tiga kali pengujian pada spesimen yang sama dan diambil nilai rata-rata dari ketiga pengujian tersebut. Didapatkan rata-rata nilai *Tensile Strength* berurutan yaitu 460MPa, 421,16 MPa, dan 360,06 MPa. *Breaking Point* terjadi pada area pengelasan atau pada *weld metal*. Pada pengujian tarik spesimen menggunakan elektroda AWS E6013, diberikan tiga variasi kecepatan pengelasan yaitu 0,2 cm/dtk, 0,3 cm/dtk, dan 0,4 cm/dtk. Dibutuhkan tiga kali pengujian pada spesimen yang sama dan diambil nilai rata-rata dari ketiga pengujian tersebut. Didapatkan rata-rata nilai *Tensile Strength* berurutan yaitu 340,97 MPa, 295,56 MPa, dan 256,02 MPa. *Breaking Point* terletak pada area pengelasan atau pada *weld metal*.

Berdasarkan data yang didapatkan dari penelitian ini, bisa dilihat bahwa nilai *Tensile Strength* tertinggi didapat dari AWS E7016 dengan kecepatan pengelasan paling rendah yaitu 0,2 cm/dtk. Sedangkan *Tensile Strength* terendah didapat dari AWS E6013 dengan kecepatan pengelasan paling tinggi yaitu 0,4 cm/dtk. Data hasil uji tarik bisa dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil uji tarik

Dapat dilihat untuk kekuatan tarik terkuat ada pada elektroda AWS E7016 sedangkan yang menggunakan AWS E6013 cenderung lebih lemah kekuatannya. Ini terjadi karena elektroda E7016 mengandung mangan (Mn) dalam jumlah lebih banyak dibandingkan dengan elektroda E6013. Mangan meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik baja, meskipun tidak sebesar pengaruh karbon [9]. Unsur kimia mangan (Mn) berfungsi untuk mengikat karbon (C) sehingga menghasilkan karbida mangan (Mn₃C) yang berperan dalam meningkatkan kekuatan serta ketangguhan dan mempertahankan sifat kemampuan lasnya [6].

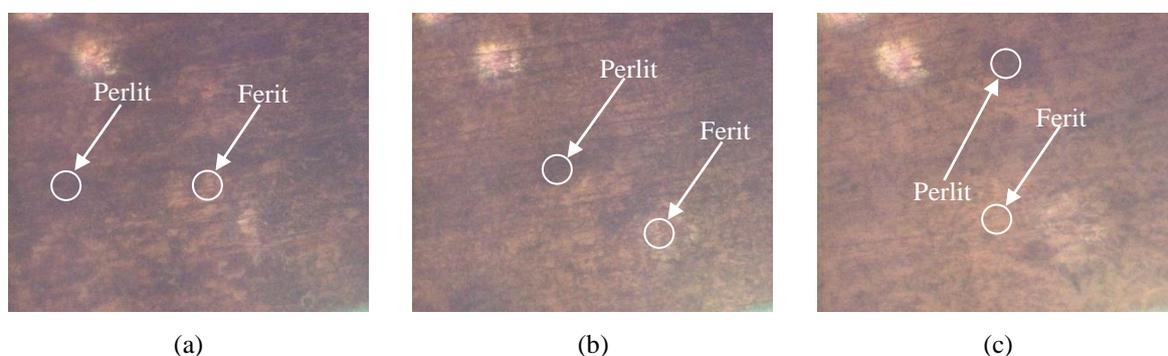
Sedangkan hasil kekuatan tarik berdasarkan laju pengelasan hasilnya serupa, kecepatan terendah 0,2 cm/dtk memiliki kekuatan tarik paling tinggi dilanjutkan kecepatan 0,3 cm/dtk dan kecepatan 0,4 cm/dtk memiliki kekuatan tarik paling rendah. Pada pengujian tarik, semakin rendah kecepatan pengelasan, maka menghasilkan kekuatan tarik semakin besar [10]. Ini disebabkan oleh nilai *heat input*. Semakin besar nilai *heat input* maka akan semakin mudah proses pencairan *raw material* serta membuat penetrasi elektroda ke *raw material* menjadi lebih dalam.

B. Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bentuk dan susunan pada logam las, HAZ, dan *raw material* pada skala mikro-nya. Struktur mikro ditentukan beberapa faktor di antaranya kuat arus, *heat input*, *filler* dan *fluks*, laju pengelasan, dan laju pendinginan [11]. Ketika pengelasan terjadi, daerah lasan dan HAZ mengalami siklus termal, dimulai dengan pemanasan hingga mencapai temperatur tertinggi, lalu terjadi pendinginan. Siklus termal ini mengubah struktur mikro logam las dan HAZ, menyebabkan berbagai transformasi fasa saat terjadi proses pendinginan.. Transformasi tersebut dimulai dari logam las yang berada dalam keadaan cair, kemudian menjadi ferit- δ , lalu γ (austenit), dan terakhir menjadi α (ferit). Waktu pendinginan antara suhu 800° C hingga 500° C digunakan sebagai referensi dalam pengelasan pada baja karbon, karena perubahan dari austenit (γ) menjadi ferit ataupun bainit terjadi pada rentang suhu ini, tergantung laju pendinginannya [12].

1. AWS E 6013

Setelah dilakukan uji mikro pada spesimen pengelasan dengan elektroda AWS E 6013 dengan kecepatan pengelasan 0,2 cm/dtk, didapatkan penampang struktur mikro seperti Gambar 3 berikut.

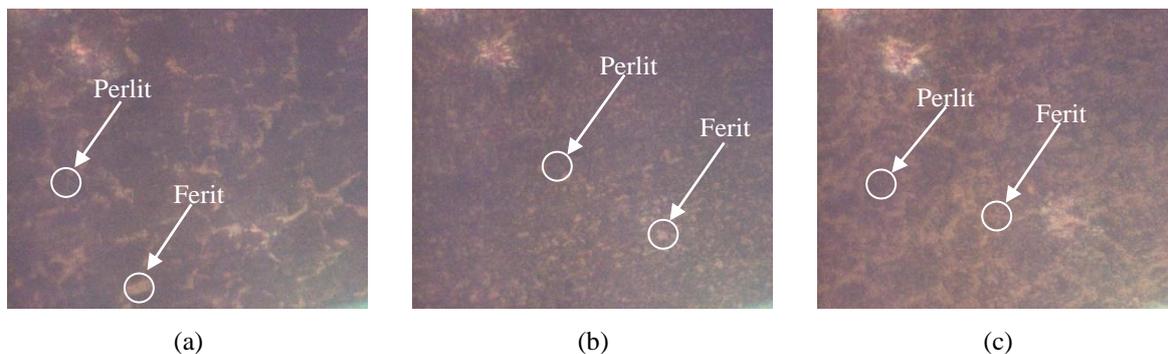


Gambar 3. Struktur mikro *raw material* (a), HAZ (b), dan logam las (c) pada elektroda E6013 dan kecepatan las 0,2 mm/dtk

Pada struktur mikro spesimen dengan AWS E 6013 dari raw material, komposisi dari ferit dan perlit terlihat seimbang atau sama jumlahnya. Perlit berwarna gelap sedangkan ferit berwarna terang. Pada daerah HAZ terjadi perubahan struktur mikro yaitu ferit terlihat lebih banyak dibandingkan dengan perlit. Ini dikarenakan daerah HAZ merupakan daerah yang terkena dampak perubahan temperatur yang cukup tinggi pada saat proses pengelasan. Perubahan temperatur yang signifikan dapat merubah struktur mikro suatu logam. Pada daerah logam las, terlihat jumlah dari ferit sangat mendominasi dibandingkan dengan perlit. Karena ferit bersifat ulet dan tidak terlalu keras, berarti daerah logam las memiliki sifat yang ulet dan kekerasan yang tidak terlalu tinggi.

2. AWS E 7016

Setelah dilakukan uji mikro pada spesimen pengelasan dengan elektroda AWS E 6013 dengan kecepatan pengelasan 0,2 cm/dtk, didapatkan penampang struktur mikro seperti Gambar 4 di bawah.

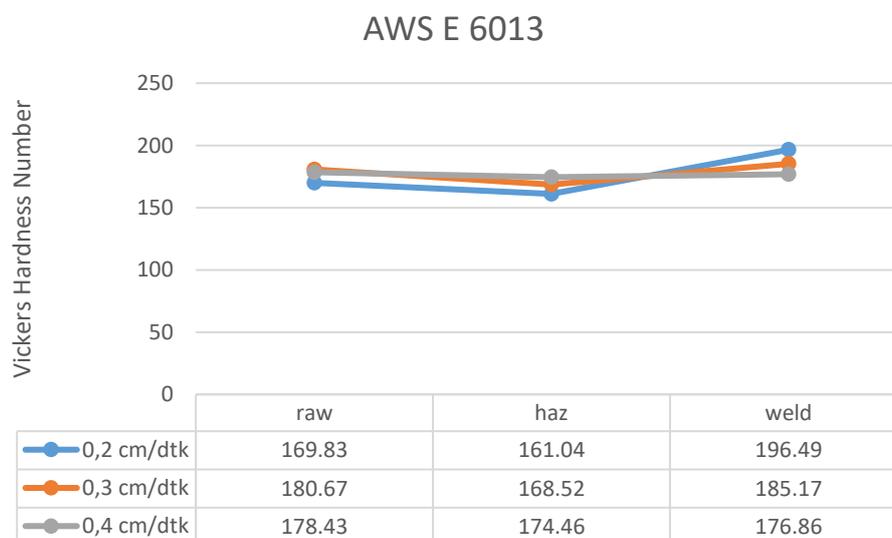


Gambar 4. Struktur mikro *raw material* (a), HAZ (b), dan logam las (c) pada elektroda E7016 dan kecepatan las 0,2 mm/dtk

Struktur mikro pada spesimen AWS E 7013 di daerah *raw material*, terlihat warna gelap lebih banyak dibanding warna terang. Dengan demikian, daerah tersebut lebih banyak mengandung perlit daripada ferit. Butir perlit biasanya keras karena adanya kandungan karbon, sedangkan butir ferit cenderung lebih lunak [13]. Pada daerah HAZ, terlihat hampir sama dengan daerah *raw material*. Namun ada butiran-butiran ferit yang terbentuk diakibatkan terkena efek perubahan temperatur dari proses pengelasan. Sedangkan pada daerah logam las, komposisi dari ferit dan perlit terlihat sama banyak. Ini berarti daerah tersebut memiliki sifat kekerasan yang cukup tinggi dan cenderung tidak terlalu rendah serta memiliki sifat yang ulet.

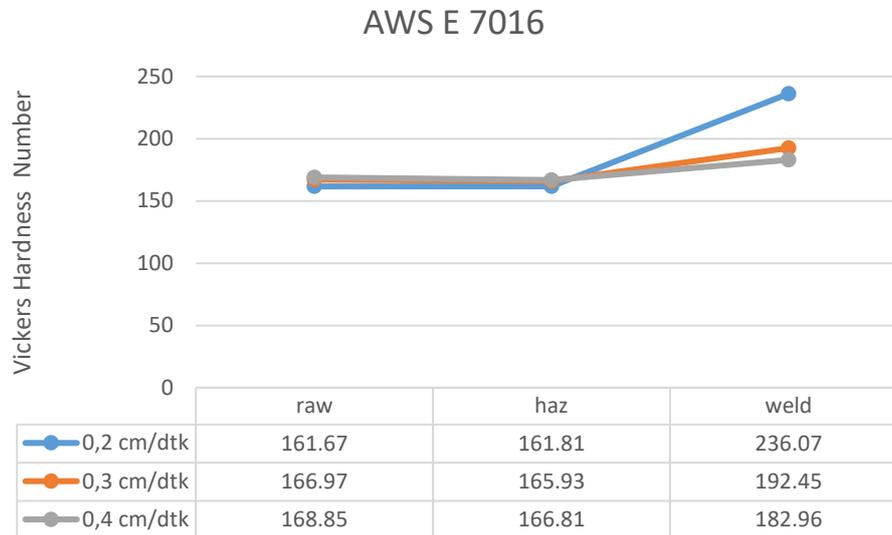
C. Hasil Pengujian Kekerasan

Pada pengujian ini, masing-masing spesimen dilakukan pengujian kekerasan dengan beban 0,1Kgf dan durasi 12 detik. Pengujian kekerasan dilaksanakan sebanyak lima titik pada masing-masing area logam induk, HAZ, dan logam las. Pengambilan data sebanyak lima titik dilakukan dengan tujuan untuk menemukan data yang lebih akurat. Dari kelima titik tersebut akan diambil nilai rata-ratanya untuk mewakili nilai kekerasan pada setiap area. Berikut merupakan grafik dari data yang telah didapatkan.



Gambar 5. Data uji kekerasan dengan AWS E 6013

Dapat dilihat pada Gambar 5 bahwa di area logam las, kekerasan paling tinggi ada pada spesimen dengan kecepatan las 0,2 cm/dtk yaitu 196,49 VHN dan nilai kekerasan yang terendah adalah pada kecepatan las 0,4 cm/dtk yaitu 176,86 VHN. Sedangkan untuk area HAZ rata-rata tertinggi terdapat pada kecepatan las 0,4 cm/dtk yaitu 174,46 VHN dan kekerasan terendah pada kecepatan las 0,2 cm/dtk yaitu 161,04 VHN. Prosedur pengujian pada spesimen ini sama dengan yang dilakukan pada spesimen sebelumnya, tetap dengan beban 0,1 Kgf dan durasi penekanan selama 12 detik serta dilakukan lima titik pada setiap area logam induk, area HAZ, dan area logam las. Setelah dilakukan pengujian kekerasan, didapatkan hasil sebagai berikut.



Gambar 6. Data uji kekerasan dengan AWS E 7016

Berdasarkan Gambar 6, nilai kekerasan tertinggi di area logam las terdapat pada spesimen dengan kecepatan las 0,2 cm/dtk yaitu 236,07 VHN dan nilai kekerasan yang terendah pada kecepatan las 0,4 cm/dtk yaitu 182,96 VHN. Sedangkan untuk area HAZ rata-rata tertinggi terdapat pada kecepatan las 0,4 cm/dtk yaitu 166,81 VHN dan terendah pada kecepatan las 0,2 cm/dtk sebesar 161,18 VHN. Kecepatan yang tinggi dapat mengakibatkan penetrasi yang kurang maksimal, melemahkan kekuatan sambungan, dan mengurangi jumlah kalor yang diterima. Akibatnya, pendinginan lebih cepat terjadi yang dapat menyebabkan pengerasan pada area yang terpengaruh panas [14].

Kekerasan di daerah las cenderung lebih tinggi daripada kekerasan di HAZ. Pada daerah las memiliki kekerasan yang tinggi karena telah tercampur logam induk dengan logam las, sementara daerah HAZ memiliki kekerasan yang lebih rendah karena mengalami perubahan struktur. Daerah las cenderung memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan HAZ dan *raw material*. Fenomena ini terjadi ketika berkurangnya pengaruh panas seiring jarak yang semakin jauh dari titik pusat pengelasan [15]. Semakin rendah kecepatan pengelasan, semakin besar area HAZ pada setiap sampel. Ini dikarenakan peningkatan panas yang diserap oleh setiap sampel dengan penurunan kecepatan pengelasan. Akibatnya, panas tersebut tersebar ke dalam logam dasar dan memperluas wilayah HAZ. Selain itu, kekerasan Vickers akan meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan pengelasan. [10].

5. Kesimpulan

Jenis elektroda dan kecepatan pengelasan merupakan faktor penting yang berpengaruh terhadap karakteristik, sifat mekanik, dan struktur mikro dari sambungan las. Rata-rata besar kekuatan tarik dan besar nilai kekerasan dari elektroda AWS E 7016 lebih tinggi dibandingkan AWS E 6013. Kekuatan tarik tertinggi dihasilkan pada kecepatan las 0,2 cm/dtk yaitu sebesar 460,32 MPa untuk AWS E 7016 dan 340,97 MPa untuk AWS E 6013. Sedangkan kekuatan tarik terendah dihasilkan pada kecepatan las 0,4 cm/dtk yaitu sebesar 360,06 MPa untuk AWS E 7016 dan 256,02 MPa untuk AWS E 6013. Pada daerah logam las, kekerasan tertinggi dihasilkan oleh kecepatan pengelasan 0,2 cm/dtk dengan AWS E 7016 sebesar 236,07 VHN dan AWS E 6013 sebesar 196,49 VHN. Sedangkan kekerasan terendah dihasilkan oleh kecepatan pengelasan 0,4 cm/dtk dengan AWS E 7016 182,96 VHN sebesar dan AWS E 6013 sebesar 176,86 VHN. Struktur mikro menunjukkan komposisi ferit lebih mendominasi pada logam las. Karena ferit bersifat ulet dan tidak terlalu keras, berarti daerah logam las memiliki sifat yang ulet dan kekerasan yang tidak terlalu tinggi.

Daftar Pustaka

- [1] I. Afrianto Rabbi, "Analisa Pengaruh Gerakan Elektroda pada Pengelasan SMAW terhadap Uji Kekerasan dan Kekuatan Bending Baja ST 37," *Semin. Nas. Ind. dan Teknol.*, hal. 131–149, 2018.
- [2] H. Rashid, A. H. Abdullah, M. H. Mohd Noh, A. H. Abdul Hamid, dan N. M. Zainal Abidin, "Design of a superbike paddock stand using cad and cae tools," *Int. J. Automot. Mech. Eng.*, vol. 5, no. 1, hal. 670–679, 2012, doi: 10.15282/ijame.5.2012.13.0054.
- [3] T. C. Agency *et al.*, "No Title Πώς Παράγονται και Παρέχονται Αποτελεσματικά Υπηρεσίες Ποιότητας," *Transportation (Amst)*., vol. 1, no. January, hal. 21–30, 2006, doi: 10.1002/ejoc.201200111.
- [4] Azwinur, A. S. Ismy, R. Nanda, dan Ferdiansyah, "Pengaruh arus pengelasan SMAW terhadap kekuatan sambungan las double lap joint pada material AISI 1050," *J. Weld. Technol.*, vol. 2, no. 1, hal. 1–7, 2020.
- [5] H. Ivandri, I. P. Mulyatno, dan Kiryanto, "Analisis Pengaruh Variasi Sudut Kampuh Double V Pada Sambungan Las SMAW (Shield Metal Arc Welding) Baja St 37 Terhadap Kekuatan Tarik, Tekuk dan Impact," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 4, hal. 785, 2017, [Daring]. Tersedia pada: <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [6] Tarkono, Sugiyanto, dan Andriyanto, "Studi penggunaan jenis elektroda las yang berbeda terhadap sifat mekanik pengelasan SMAW Baja AISI 1045," *J. Mech.*, vol. 1, no. 1, hal. 51–62, 2010.
- [7] R. A. Gumara dan N. S. Drastiawati, "Pengaruh Variasi Arus Listrik Pengelasan Metal Inert Gas (MIG) Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Pada Baja Karbon ASTM A36," *Jtm*, vol. 09, no. 03, hal. 65–68, 2021.
- [8] M. Javed, A. Khalid Hussain, dan A. Lateef, "Influence of Welding Speed on Tensile Strength of Welded Joint in TIG Welding Process," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 1, no. 3, hal. 518–527, 2010.
- [9] C. Journal dan B. E. Vol, "2 2 2 Π," no. 30, hal. 56–70, 2006.
- [10] A. S. Mohruni dan B. H. Kembaren, "Struktur Mikro Baja Karbon Rendah Dengan Elektroda E6013," vol. 13, no. 1, hal. 1–8, 2013.
- [11] H. Bisri dan Y. Yunus, "Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Pengelasan SMAW Material Baja SS400 Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Yunus Abstrak," *J. Tek. Mesin Unesa*, vol. 10, no. 03, hal. 55–60, 2022.
- [12] Anang Setiawan dan Yusa Asra Yuli Wardana, "Analisa Ketangguhan dan Struktur Mikro pada Daerah Las dan HAZ Hasil Pengelasan Sumerged Arc Welding pada Baja SM 490," *J. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2, hal. 57–63, 2006, [Daring]. Tersedia pada: <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/mes/article/view/16525>
- [13] I. Naryono dan F. Rakhman, "Pengaruh Variasi Kecepatan Pengelasan Pada Penyambungan Pelat Baja Sa 36 Menggunakan Elektroda E6013 Dan E7016 Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro Dan Kekuatan Tariknya," vol. 5, no. 2, hal. 1–13, 2012.
- [14] H. Helianto, E. Epriyandi, dan H. Rahmadi, "Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Smaw Terhadap Kekerasan Logam Induk Dan Logam Las," *Elem. J. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 2, hal. 138–147, 2020, doi: 10.34128/je.v7i2.148.
- [15] Y. E. Muhammad Farid Anshori, Suharno, "Jurnal Pendidikan Teknik Mesin," *Nozel*, vol. 01, no. 01, hal. 09–22, 2019.