

Analisis Sifat Mekanik Pengelasan SMAW posisi 3G (vertical up) pada Baja Karbon Rendah St 37

Andi Purwanto*¹, Wijoyo², Bagus Tiyan Tri Hartadi³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Surakarta, Surakarta, Indonesia

e-mail: *¹andipe77@gmail.com, ²wijaya.solo99@gmail.com, ³bagustiyantri@gmail.com

Abstrak

Proses pengelasan merupakan salah satu metode penyambungan logam yang paling banyak digunakan dalam bidang konstruksi dan manufaktur. Salah satu proses pengelasan yang umum dipakai adalah Shielded Metal Arc Welding (SMAW), yang dikenal dengan kepraktisan serta kemampuannya menghasilkan sambungan yang kuat. Dalam pengelasan posisi 3G (vertical up), kualitas hasil las sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, di antaranya adalah jenis elektroda yang digunakan. Jenis elektroda memiliki peranan penting dalam menentukan sifat mekanis hasil las, seperti kekuatan tarik, kekerasan, dan ketangguhan sambungan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui variasi jenis elektroda pengelasan SMAW 3G Baja Karbon Rendah ST 37 terhadap kekuatan tarik, ketangguhan impact, kekerasan vikers dan struktur mikro. Metode eksperimen destruktif penelitian ini menggunakan variabel bebas variasi elektroda E6013, E7016 dan E7018, sedangkan variabel kontrol yaitu mesin Las SMAW, mesin UTM, mesin uji impact, mesin Vickers Hardness dan mikroskop. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Baja Karbon Rendah ST 37. Material dilas dengan metode (SMAW) Shielded Metal Arc Welding posisi 3G (vertikal up). Tahap pengujian untuk mengetahui kekuatan tarik mengacu pada ASTM E8/E8M-09 sedangkan untuk pengujian impact mengacu pada ASTM E23-07a dan pengamatan foto struktur mikro dengan mikroskop. Analisa menghasilkan E7018 unggul dalam kekuatan tarik (465,75 MPa) dan ketangguhan impact (1,97 Joule/mm²), ideal untuk aplikasi dinamis. E7016 memiliki tegangan luluh tertinggi (338,25 MPa) dan elongasi terbesar (18,2%), mencerminkan keuletan dan ketahanan deformasi. E6013 unggul dalam kekerasan (190,95 HV) namun rendah dalam keuletan dan ketangguhan. Mikrostruktur E6013 merata tapi kurang mendukung sifat mekanik, E7016 halus dan seragam, sedangkan E7018 dominan ferrite di HAZ yang meningkatkan ketangguhan. Kesimpulannya, E7018 terbaik untuk beban dinamis, E7016 seimbang untuk struktural, dan E6013 cocok untuk aplikasi ringan dengan kebutuhan kekerasan tinggi.

Kata kunci—Elektroda, Pengelasan, SMAW, Baja Karbon Rendah ST 37

Abstract

Welding is one of the most widely used metal joining methods in the construction and manufacturing sectors. Shielded Metal Arc Welding (SMAW) is a common welding process, known for its practicality and ability to produce strong joints. In 3G (vertical up) welding, the quality of the weld is greatly influenced by various factors, including the type of electrode used. The type of electrode plays a crucial role in determining the mechanical properties of the weld, such as tensile strength, hardness, and toughness of the joint. The purpose of this study was to determine the variation of SMAW 3G Low Carbon Steel ST 37 welding electrode types on tensile strength, impact toughness, viker hardness and microstructure. The destructive experimental method of this study uses the independent variable of E6013, E7016 and E7018 electrode variations, while the control variables are SMAW welding machine, UTM machine, impact testing machine, Vickers Hardness machine and microscope. The material used in this

study is Low Carbon Steel ST 37. The material is welded using the (SMAW) Shielded Metal Arc Welding method in the 3G position (vertical up). The testing stage to determine the tensile strength refers to ASTM E8/E8M-09 while for impact testing refers to ASTM E23-07a and observation of microstructure photos with a microscope. The analysis shows that E7018 excels in tensile strength (465.75 MPa) and impact toughness (1.97 Joules/mm²), ideal for dynamic applications. E7016 has the highest yield stress (338.25 MPa) and the greatest elongation (18.2%), reflecting its ductility and deformation resistance. E6013 excels in hardness (190.95 HV) but is low in ductility and toughness. The microstructure of E6013 is even but less supportive of mechanical properties, E7016 is smooth and uniform, while E7018 is predominantly ferrite in the HAZ which increases toughness. In conclusion, E7018 is best for dynamic loads, E7016 is balanced for structural, and E6013 is suitable for light applications with high hardness requirements.

Keywords— *Electrodes, Welding, SMAW, Low Carbon Steel ST 37*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan pesat dalam bidang konstruksi tidak terlepas dari peran penting pengelasan dalam merencanakan dan mereparasi logam. Pengelasan menjadi teknik utama dalam penyambungan logam untuk mendukung kualitas konstruksi. Salah satu metode yang umum digunakan adalah *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), yang memanfaatkan busur listrik untuk mencairkan logam induk dan elektroda, sehingga membentuk sambungan yang kokoh saat membeku bersama [1]. Pengelasan busur logam terlindung adalah metode yang umum digunakan untuk menyambung baja dalam aplikasi industri umum, mencakup pengelasan logam sejenis dan logam berbeda, terutama karena pertimbangan ekonomis [2]. Pengelasan saat ini banyak dilibatkan dalam proses pembangunan konstruksi yakni proses penyambungan logam. Teknik penyambungan pengelasan yang berkualitas tentunya akan menentukan kualitas dari konstruksi yang dirancang. Pengelasan menggunakan busur nyala listrik sebagai panas pencair logam disebut sebagai pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Busur listrik terbentuk di antara elektroda terlindung dan logam induk. Panas dari busur listrik maka logam induk dan ujung elektroda mencair dan membeku bersama [3].

Elektroda pada pengelasan SMAW memiliki perbedaan dalam komposisi selaput dan kawat inti, yang bersama-sama dengan kuat arus memengaruhi sifat mekanik sambungan las, seperti kekuatan dan ketangguhan. Pemilihan elektroda yang tepat sangat penting untuk memastikan hasil pengelasan yang optimal dan berkualitas [4]. Pengelasan (*welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinyu [5]. Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) merupakan proses pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan material dasar atau logam induk dan elektroda (kawat las), dimana panas tersebut ditimbulkan oleh lonjakan ion listrik yang terjadi antara katoda dan anoda (ujung elektroda dan permukaan plat yang akan dilas) [6]. Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon kurang dari 3%. Baja karbon rendah adalah jenis yang paling umum dengan harganya yang relatif rendah serta jenis baja yang dapat di aplikasikan pada banyak hal. *Electroplating* merupakan salah satu cara untuk melindungi sebuah logam untuk membatasi dari interaksi dengan lingkungan luar [7]. Sifat baja karbon dipengaruhi oleh kandungan karbon dan struktur mikro, yang bergantung pada komposisi dan perlakuan panas. Karbon bersama unsur lain dapat meningkatkan kekerasan, ketahanan gores, dan ketahanan temperatur. Fungsinya sebagai unsur penguat adalah dengan menghambat pergeseran dislokasi dalam kisi kristal atom besi [8].

Hasil uji kekerasan *vickers* menunjukkan bahwa elektroda E7018 menghasilkan *vickers*

kekerasan tertinggi di daerah las sebesar 95,7 kgf. Sedangkan uji tarik menunjukkan bahwa elektroda E6013 memberikan kekuatan tarik terbaik sebesar 414,14 N/mm², nilai regangan 8,57%, dan modulus elastisitas 4855,77 N/mm² [9]. Kandungan karbon pada strip plate adalah 0,1304% dan pada *weld metal* 0,0720%. Struktur mikro yang terbentuk meliputi *acicular ferit*, *ferit* batas butir, *ferit widmanstatten*, *ferit*, dan *perlit*. Kekerasan tertinggi pada spesimen elektroda E6013, E7016, dan E7018 berturut-turut adalah 205,7 kgf/mm² VHN, 174,3 kgf/mm² VHN, dan 222,5 kgf/mm² VHN. Nilai kekuatan tarik pada spesimen E6013, E7016, dan E7018 berturut-turut adalah 44,11 kgf/mm², 43,15 kgf/mm², dan 42,25 kgf/mm². Nilai regangan pada spesimen E6013, E7016, dan E7018 berturut-turut adalah 28,46%, 25,96%, dan 25,7% [10]. Kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada elektroda E7016 sebesar 564,76 MPa, sementara kekuatan tarik terendah pada elektroda E7018 sebesar 398,87 MPa. Elektroda E7016 menghasilkan struktur mikro terbaik dengan persebaran unsur yang lebih merata, meningkatkan kekuatan tarik. Sebaliknya, elektroda E6013 memiliki persebaran unsur yang kurang merata, menurunkan kualitas kekuatan tarik. Kesimpulannya, jenis elektroda dan kualitas pengelasan memengaruhi kekuatan tarik dan hasil struktur mikro [11].

Hasil dari eksperimen ini menunjukkan bahwa Elektroda E6013, E7016, dan E7018 memiliki struktur mikro stabil dengan dominasi ferrite dan pearlite, namun menunjukkan performa mekanik berbeda. E6013 unggul dalam kestabilan mikrostruktur tetapi rendah keuletan. E7016 seimbang antara kekuatan dan deformasi plastis, sementara E7018 menawarkan ketangguhan dan kekuatan tarik tinggi, ideal untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan benturan.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan eksperimen destruktif, yaitu melakukan *trial and error* dengan merusak spesimen saat pengambilan data uji, pengamatan dan mengukur dampak pengujian terkait. Metode eksperimen destruktif yaitu metode yang digunakan dalam sistem penelitian sehingga dapat diketahui penyebab dan faktor-faktor perubahan pada keluaran sebagai respon dari eksperimen yang dilakukan. Eksperimen dilaksanakan di laboratorium dengan kondisi dan peralatan yang sesuai, guna memperoleh data tentang pengaruh kecepatan pengelasan terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan dampak pengelasan SMAW 3G. Variabel yang digunakan dalam metode penelitian eksperimen adalah:

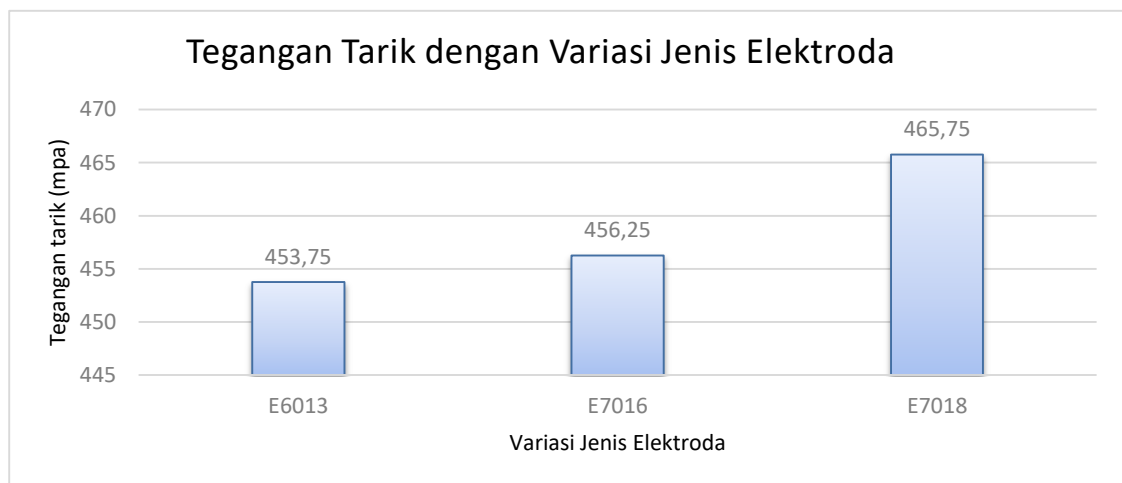
1. Variabel bebas
 - a. Baja karbon rendah ST 37
 - b. Variasi jenis elektroda 6013, elektroda 7016, elektroda 7018
2. Variabel control
 - a. Mesin las SMAW
 - b. Mesin *vickers hardness* dengan penekanan 9,8 N
 - c. Mesin UTM kecepatan 0,5 mm/detik
 - d. Mikroskop optik perbesaran 100x
 - e. Mesin uji dampak dengan berat pendulum 9,7 kg
 - f. Arus listrik 60 - 80 A
 - g. Sudut kampuh 30°
3. Variabel terikat
 - a. Hasil pengujian tarik, dampak, dan kekerasan *vickers*
 - b. Hasil pengamatan metalografi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

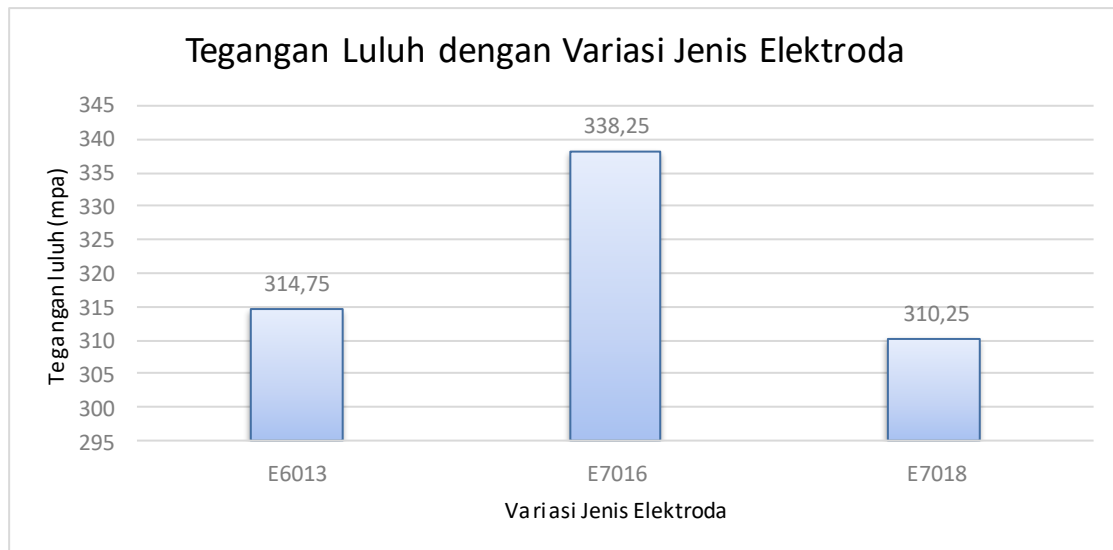
3.1. Hasil Uji Tarik

Tabel 1. Hasil pengujian kekuatan Tarik

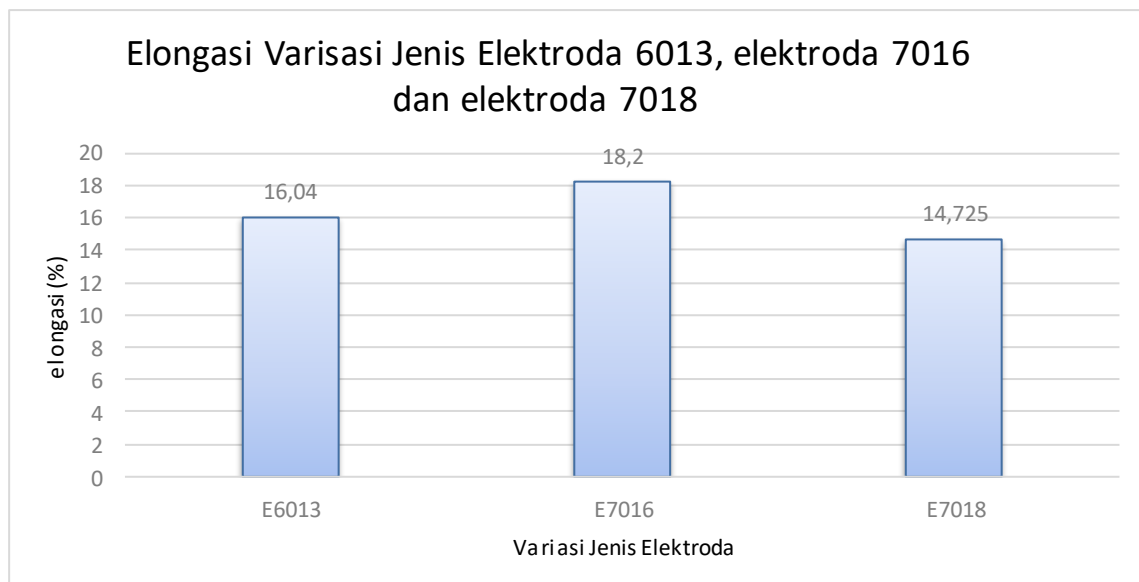
Variasi Jenis Elektroda	Ultimate Strength (MPa)	Rata-Rata	Yeild Strength (MPa)	Rata-Rata	Elongation (%)	Rata-Rata
E6013	499	453.75	365	314.75	14	11.04
	423		272		9.60	
	446		306		11	
	447		316		9.56	
E7016	469	456.25	349	338.25	17.60	18.2
	431		310		16.80	
	501		377		20.40	
	424		317		18.0	
E7018	427	465.75	294	310.25	9.60	14.725
	489		335		17.40	
	470		308		14.0	
	477		304		17.90	



Gambar 1. Grafik hubungan kekuatan tarik dengan variasi jenis elektroda 6013, elektroda 7016 dan elektroda 7018



Gambar 2. Grafik Hubungan tegangan luluh dengan variasi jenis elektroda 6013, elektroda 7016 dan elektroda 7018

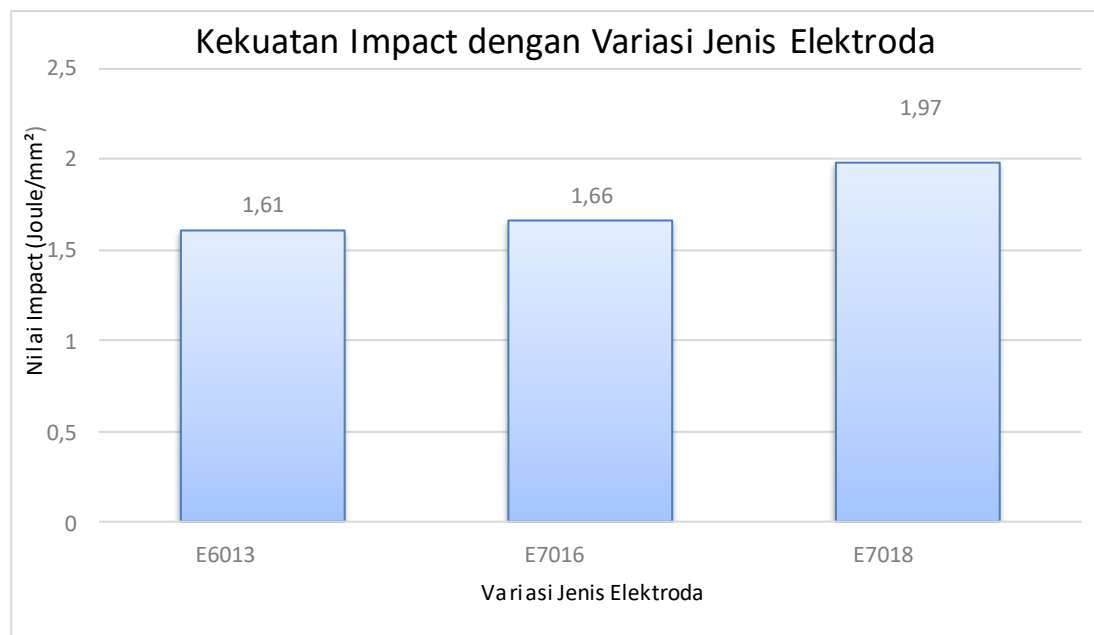


Gambar 3. Grafik Elongasi Rata-Rata dengan variasi jenis elektroda 6013, elektroda 7016, dan elektroda 7018

3.2. Hasil Uji Impact

Tabel 2. Data hasil pengujian impact

No	Variasi Jenis Elektroda	Sudut Akhir Pendulum (°)	Energi Impact (Joule)	Nilai Impact (Joule/mm ²)	Rata-Rata
1	E6013	13	159.18	1.99	1.61
2		60	115.67	1.45	
3		60	115.67	1.45	
4		53	124.85	1.56	
1	E7016	15	157.90	1.97	1.92
2		12	159.73	2.00	
3		8	160.65	2.01	
4		43	136.78	1.71	
1	E7018	14	158.81	1.99	1.97
2		8	160.65	2.01	
3		19	156.06	1.95	
4		17	156.98	1.96	

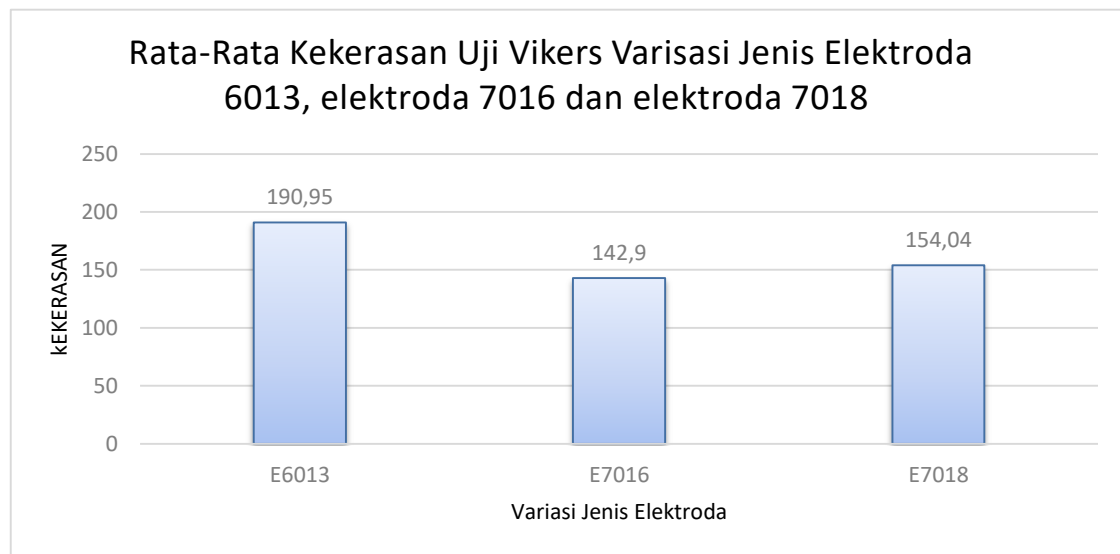


Gambar 4. Grafik hubungan kekuatan Impact dengan variasi jenis elektroda 6013, elektroda 7016, dan elektroda 7018

3.4. Hasil Uji Vikers

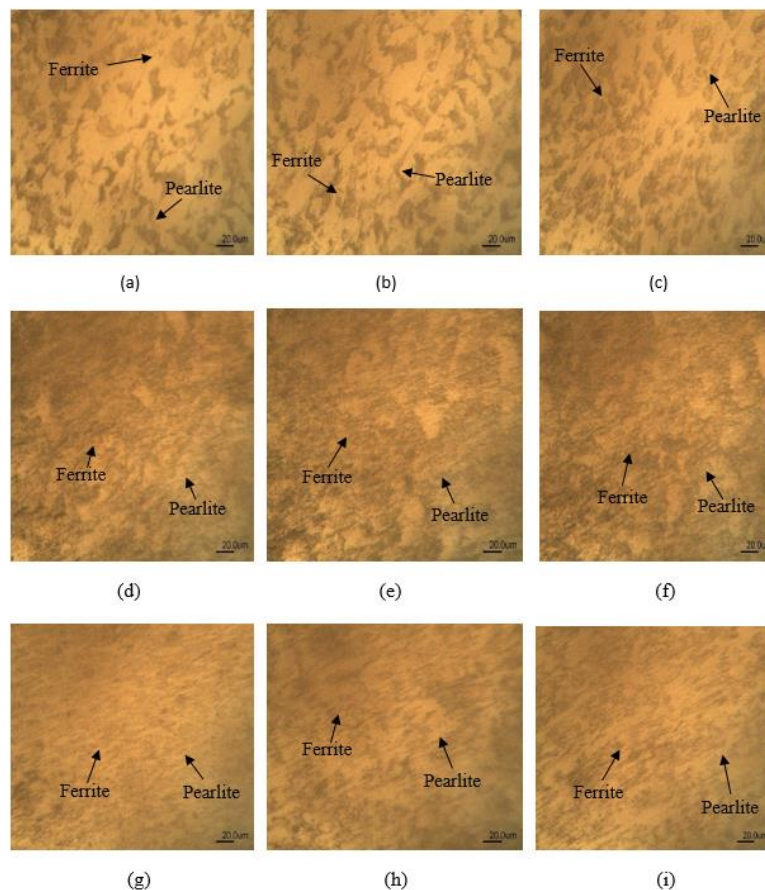
Tabel 3. Tabel Uji Kekerasan *Vickers*

No	Spesimen	D1	D2	HV	Rata-Rata
1	E7018	100,88	100,94	182,3	154.04
2		100,75	100,88	182,5	
3		109,88	110,19	153,3	
4		111,57	111,69	148,9	
5		110,94	111,19	150,4	
6		112,94	112,88	145,6	
7		112,94	113,25	145,1	
8		114,32	113,63	142,9	
9		112,19	112,75	146,7	
10		113,94	114,13	142,7	
1	E7016	100,69	100,94	182,5	142.9
2		102,13	102,07	177,2	
3		102,13	101,88	178,3	
4		107,82	107,94	159,4	
5		108,75	109,19	156,3	
6		112,44	112,82	146,2	
7		113,88	114,50	142,3	
8		113,94	114,07	142,7	
9		113,50	113,82	143,7	
10		114,13	113,94	142,7	
1	E6013	92,88	93,07	214,7	190.95
2		94,00	94,07	209,9	
3		95,25	95,44	204,2	
4		96,75	96,94	197,9	
5		97,63	97,82	194,4	
6		100,57	100,38	183,9	
7		101,50	102,63	178,1	
8		102,88	102,75	175,5	
9		102,94	103,07	174,8	
10		102,57	102,75	176,1	



Gambar 5. Grafik Rata-Rata Kekerasan Uji *Vickers* Variasi Jenis Elektroda 6014, Elektroda 7016, dan Elektroda 7018

3.4. Hasil Uji Struktur Mikro



Gambar 6. a) Logam Induk Elektroda 6013, b) Logam Induk Elektroda 7016, c) Logam Induk Elektroda 7018, d)HAZ Elektroda 6013, e) HAZ Elektroda 7016, f) HAZ Elektroda 7018, g) Logam Las Elektroda 6013, h) Logam Las Elektroda 7016, i) Logam Las Elektroda 7018

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji tarik, kekerasan, impact, dan pengamatan struktur mikro pada baja karbon rendah ST 37 dengan variasi elektroda 6013, 7016, dan 7018, maka E6013 memiliki struktur *ferrite-pearlite* merata, tapi kurang mendukung performa mekanik. E7016 memiliki mikrostruktur halus dan seragam, menunjang kekuatan serta keuletan. E7018 memiliki dominasi *ferrite* di HAZ tingkatkan ketangguhan, namun kurangi sedikit *yield strength*. Secara keseluruhan, E7018 adalah elektroda terbaik untuk beban dinamis, E7016 ideal untuk kebutuhan struktural yang seimbang, dan E6013 cocok untuk aplikasi ringan yang membutuhkan kekerasan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yulianto E. Skripsi pengaruh variasi gerakan elektroda dan posisi pengelasan terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro hasil pengelasan 2022.
- [2] Ary D, Muhayat N, Triyono. *Research Gap Finding in Shielded Metal Arc Welding of Steel*. E3S Web Conf 2023;465:1–7. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346501012>.
- [3] Sarifudin M, Tjahjanti PH. Karakteristik Pengelasan *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) dan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) pada Plat *Stainless Steel* 201 di Tabung Air Minum. *Innov Technol Methodical Res J* 2024;3:1–10. <https://doi.org/10.47134/innovative.v3i1.98>.
- [4] Wahyudi, R., Nurdin. dan S. Analisa Pengaruh Jenis Elektroda Pada Pengelasan SMAW Penyambungan Baja Karbon Rendah Dengan Baja Karbon Sedang Terhadap *TYensile Strenght*. *J Weld Technol* 2019;1:43–7.
- [5] Sopiansyah, Yusuf I, Sumardi. Kaji eksperimen pengaruh variasi elektroda dan kuat arus pengelasan SMAW pipa baja AISI 1026 terhadap nilai kekerasan dan pengujian *magnetic particle*. *J Weld Technol* 2021;3:47–52.
- [6] Johana Sihol Marito Purba Pengaruh Kuat Arus Terhadap Ketangguhan Sambungan Pada Proses Pengelasan Baja Aisi 4340 Dengan Metode Shielded Metal Arc Welding (Smaw) 2024;13:45–51.
- [7] Prabowo AE, Rarindo H, Hadi S, Sujatmiko A, Hardjito A. Pengaruh Tegangan Dan Waktu *Elektroplating* Tembaga Dan Nikel Terhadap Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah *Effect of Electroplating Voltage and Time of Copper and Nickel on Corrosion Rate in Low Carbon Steel*. *J Ilm Teknol FST Undana* 2021;15:14–20.
- [8] Muas M, Rasyid S, Mahendra Y, ... Analisis Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah Melalui Proses *Pack Carburizing (Single Quenching)* Menggunakan Arang Sekam SeminaHas 2021:34–9
- [9] Yufi Iqbal. Teknik Ji. Pengaruh Variasi Elektroda Terhadap Sifat Mekanik Pada Sambungan Pengelasan Smaw Baja Karbon Rendah St40 2024;1:365–77.
- [10] Galang Pangestu (2-24). Pengaruh variasi jenis elektroda terhadap kekuatan tarik dan kekerasan vickers las SMAW pada baja karbon renda, n.d.:7018.
- [11] Surono B, Wahyudi TC, Nugroho E, Santoso S. Pengaruh Jenis Elektroda Pada Sambungan Las Plat Baja Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro. *Turbo J Progr Stud Tek Mesin* 2023;12:363–71. <https://doi.org/10.24127/trb.v12i2.2912>