

Pengaruh Jenis Elektroda Pada Sambungan Las Plat Baja Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro

Bambang Surono¹, Tri Cahyo Wahyudi^{2*}, Eko Nugroho³, Sakti Santoso⁴

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro
Jl. Ki Hajar Dewantara 15 A Kota Metro, Lampung, Indonesia

⁴Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro
Jl. Ki Hajar Dewantara 15 A Kota Metro, Lampung, Indonesia

*Corresponding author: tricahyowahyudi3@gmail.com

Abstract

Welding is not just about heating two metal parts until they melt to be joined and letting them freeze again, but making a complete weld by adding additional material or electrodes when heated so that it has the desired strength. The aim of the research is to determine the effect of electrode type on the tensile strength and microstructure of steel plates. The research method is by using electrodes types E6013, E7016 and E7018 with ASTM A36 steel plate material, using V-Groove seams in the underhand welding position (1G). Based on the results of the calculations that have been carried out, it shows that tensile testing from welding results with electrode types E6013, E7016, and E7018 on ASTM A36 steel plate joints resulted in the E6013 electrode variation having a tensile strength value of 536.9 MPa, E7016 electrodes having a tensile strength value of 564.76 MPa, and the average value of the tensile strength for the E7018 electrode is 398.87 MPa. Based on the results of microstructure testing, with variations in the E6013, E7016, and E7018 electrodes, microstructural defects in the welding results are influenced by the type of electrode variation used and the quality of the process. welding carried out.

Keywords : elektrode, E6013, E7016, E7018, micro structure, tensile test, welding

Abstrak

Pengelasan bukan sekedar tentang memanaskan dua bagian logam sampai mencair untuk disambung dan membiarkannya membeku kembali, akan tetapi membuat lasan yang utuh dengan cara memberikan bahan tambah atau elektroda saat dipanaskan sehingga memiliki kekuatan seperti yang diinginkan. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh jenis elektroda terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro pada plat baja. Adapun metode penelitian yaitu dengan menggunakan elektroda jenis E6013, E7016 dan E7018 dengan bahan plat baja ASTM A36, menggunakan kampuh V-Groove pada posisi pengelasan bawah tangan (1G). Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pengujian tarik dari hasil pengelasan dengan jenis elektroda E6013, E7016, dan E7018 pada sambungan plat baja ASTM A36 mendapatkan hasil pada variasi elektroda E6013 nilai kekuatan tariknya yaitu 536,9 MPa, elektroda E7016 nilai kekuatan tariknya yaitu 564,76 MPa, dan elektroda E7018 nilai rata-rata kekuatan tariknya yaitu 398,87 MPa Berdasarkan hasil dari pengujian struktur mikro, dengan variasi elektroda E6013, E7016, dan E7018 didapat cacat struktur mikro hasil pengelasan dipengaruhi oleh jenis variasi elektroda yang digunakan serta kualitas proses pengelasan yang dilakukan.

Kata kunci : elektroda, E6013, E7016, E7018, pengelasan, uji tarik, struktur mikro

1. Pendahuluan

Berdasarkan definisi menurut *Deutsche Industri Norman (DIN)* pengelasan adalah ikatan metalurgi yang terjadi pada bagian sambungan logam yang dikerjakan dalam keadaan cair atau lumer. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan kembali bahwa pengelasan memerlukan energi panas untuk penyambungan setempat dari atau beberapa

logam. Adapun pengertian lain dari pengelasan adalah teknik menyambungkan dua buah batang logam atau lebih dengan cara melumerkan sebagian dari logam yang akan disambung dengan tekanan maupun tanpa tekanan serta menghasikan sambungan secara berkelanjutan.

Pengelasan bukan sekedar tentang memanaskan dua bagian logam sampai

mencair untuk disambung dan membiarkannya membeku kembali, akan tetapi membuat lasan yang utuh dengan cara memberikan bahan tambah atau elektroda saat dipanaskan sehingga memiliki kekuatan seperti yang diinginkan [1].

Selain prosedur pengelasan, bahan, elektroda, dan jenis kampuh yang digunakan, faktor lain yang dapat mempengaruhi kekuatan sambungan las, antara lain tegangan busur, besar arus, kecepatan pengelasan, dan polaritas listrik. Pengerjaan pengelasan juga sangat mementingkan kualitas dan mutu yang harus sesuai dengan standar misalnya *Japanese Industrial Standard (JIS)*, *American System for Testing Material (ASTM)*, *American Welding Society (AWS)*, dan lain-lain. Di dalam pengelasan kita juga harus memilih proses yang tepat, memilih bahan baku logam, proses perancangan, standar prosedur pengelasan, dan *welder*.

Pengendalian sistem dan standar pengujian pengelasan harus dilakukan untuk memenuhi standar. Lebih tepatnya untuk pengelasan logam yang tidak diketahui prosedur standar pengelasan, maka perlu mengkaji atau melakukan percobaan yang kemudian dilakukan pengujian sesuai dengan yang diinginkan [2].

Elektroda yang digunakan berbentuk kawat yang dibungkus pelindung berupa *fluks*. Diantara ujung elektroda dan bahan dasar yang bertemu menghasilkan busur listrik yang akan mencairkan ujung elektroda dan sebagian bahan dasar, dimana selaput elektroda yang ikut terbakar akan menghasilkan suatu gas yang melindungi ujung elektroda dan daerah las disekitar terhadap pengaruh udara luar. Selaput elektroda yang terbakar dan mencair akan membeku menutupi permukaan las dan juga berfungsi sebagai pelindung terhadap udara luar. Busur listrik dibangkitkan oleh suatu mesin las.

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair membentuk butir-butir yang akan terbawa

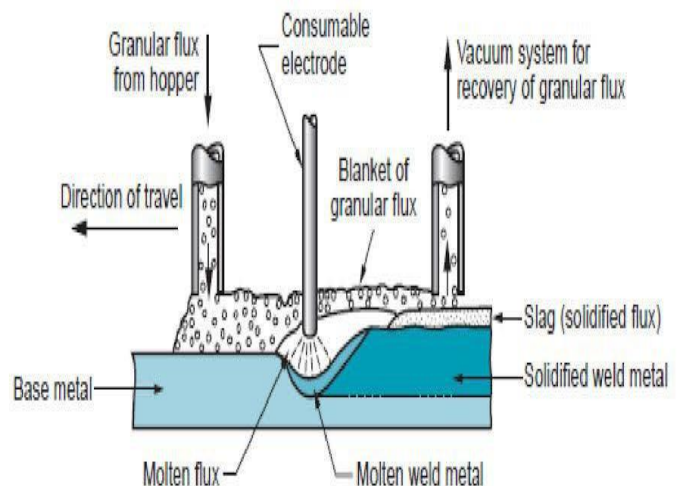
oleh arus dari busur listrik. Semakin besar arus listrik yang digunakan maka butiran logam cair yang terbawa akan semakin halus dan sebaliknya apabila arus listrik yang digunakan kecil maka butiran logam cair yang dibawa akan semakin kasar [3]. Elektroda yang digunakanpun dapat menyesuaikan tebal material sehingga hasil pengelasan pada plat tidak menimbulkan endapan yang sangat tebal dan tidak mengakibatkan plat menjadi berlubang [4]

Jenis-Jenis Pengelasan

Menurut penelitian [5], berbagai jenis pengelasan yang banyak digunakan pada dunia industri diantaranya sebagai berikut.

a. Submerged Arc Welding (SAW)

SAW adalah salah satu jenis las listrik dengan proses memadukan material yang dilas dengan cara memanaskan dan mencairkan metal induk dan elektroda oleh busur listrik yang terletak diantara metal induk dan elektroda. Arus dan busur lelehan metal diselimuti (ditimbun) dengan butiran flux di atas daerah yang dilas [5].

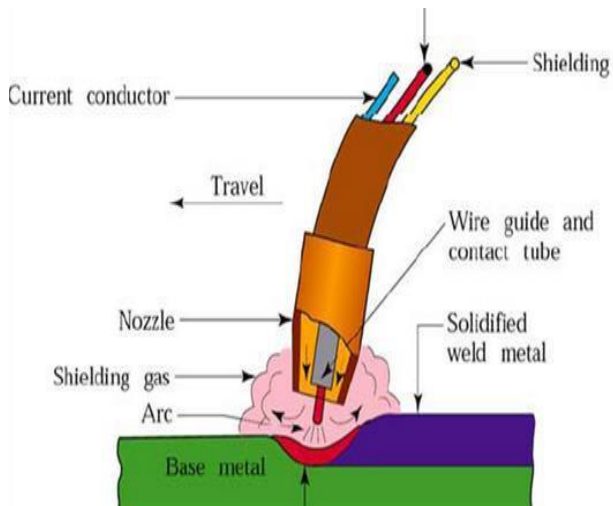


Gambar 1. Pengelasan SAW [6].

Prinsip pada pengelasan ini hampir sama Bahan baku logam yang mampu dilas dengan SAW secara umum ialah semua material yang ada dipasar dewasa ini mulai dari baja karbon sederhana hingga logam nikel dan alloy yang rumit [6].

b. Gas Metal Arc Welding (GMAW)

GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) merupakan proses penyambungan dua buah logam atau lebih yang sejenis dengan menggunakan bahan tambah yang berupa kawat gulungan dan gas pelindung melalui proses pencairan. Gas pelindung dalam proses pengelasan ini berfungsi sebagai pelindung dari proses oksidasi, yaitu pengaruh udara luar yang dapat mempengaruhi kualitas las. Gas yang digunakan dalam proses pengelasan ini dapat menggunakan gas argon, helium, argon+helium. Penggunaan gas juga dapat mempengaruhi kualitas las itu sendiri [7].



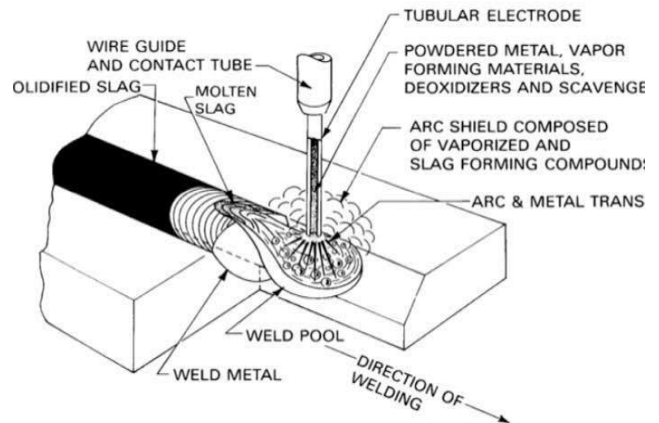
Gambar 2. Pengelasan GMAW [8].

Proses pengelasan GMAW merupakan pengelasan dengan proses pencairan logam. Proses pencairan logam ini terbentuk karena adanya busur las yang terbentuk diantara kawat las dengan benda kerja. Ketika kawat las didekatkan dengan benda kerja maka terjadilah busur las (menghasilkan panas) yang mampu mencairkan kedua logam tersebut (kawat las + benda kerja), sehingga akan mencair bersamaan dan akan membentuk suatu sambungan yang tetap. Dalam proses ini gas pelindung yang berupa gas akan melindungi las dari udara luar hingga terbentuk suatu.

c. Flux Core Arc Welding (FCAW)

Flux cored arc welding (FCAW) merupakan las busur listrik fluks inti tengah / pelindung inti tengah. FCAW merupakan

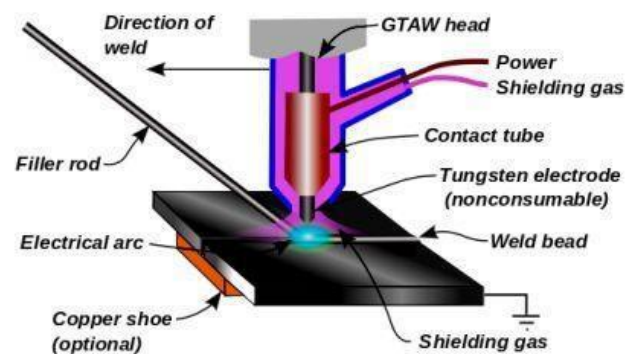
kombinasi antara proses SMAW, GMAW dan SAW. Sumber energi pengelasan yaitu dengan menggunakan arus listrik AC atau DC dari pembangkit listrik atau melalui trafo dan atau *rectifier* [8].



Gambar 3. Pengelasan FCAW [9]

d. Gas tungsten arc welding (GTAW)

Gas tungsten arc welding (GTAW) adalah proses las busur yang menggunakan busur antara tungsten elektroda (non konsumsi) dan titik pengelasan. Proses ini digunakan dengan perlindungan gas dan tanpa penerapan tekanan. Proses ini dapat digunakan dengan atau tanpa penambahan filler metal [9]

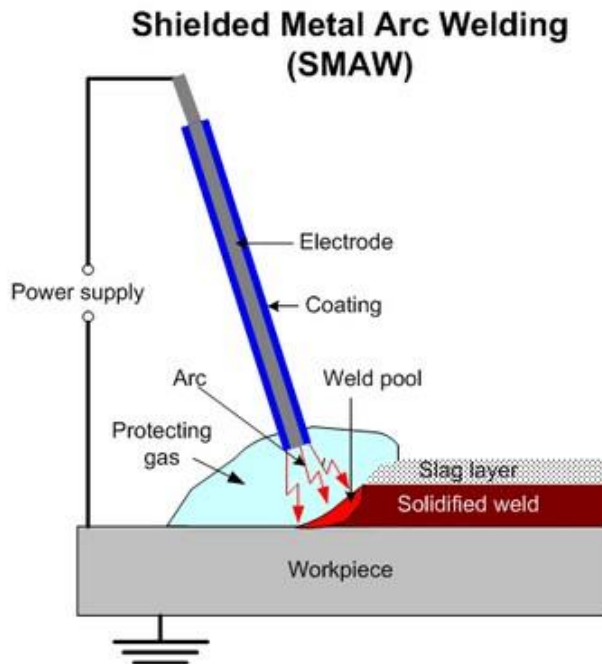


Gambar 4. Pengelasan GTAW [9]

e. Shield Metal Arc Welding (SMAW)

Proses pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) yang juga disebut Las Busur Listrik adalah proses pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan material dasar atau logam induk dan elektroda (bahan pengisi). Panas tersebut dihasilkan oleh lonjatan ion listrik yang

terjadi antara katoda dan anoda (ujung elektroda dan permukaan plat yang akan dilas [11]



Gambar 5. Pengelasan SMAW [12]

Jarak yang paling baik adalah sama dengan 1,5 x diameter elektroda yang dipakai. Proses pengelasan ini sangat cocok digunakan pada material yang tipis dan sedikit tebal, karena penggunaannya yang mudah dan sangat umum digunakan didunia industri. Selain itu tegangannya dapat diatur sehingga panas yang dihasilkan tidak terlalu rendah ataupun terlalu panas. Elektroda yang digunakanpun dapat menyesuaikan tebal material sehingga hasil pengelasan pada plat tidak menimbulkan endapan yang sangat tebal dan tidak mengakibatkan plat menjadi berlubang [13]

Pemilihan Jenis Elektroda

Elektroda untuk las busur listrik berdasarkan *American Welding Society* (AWS) dinyatakan dengan lambang E dan diikuti 4 digit angka. Huruf E artinya elektroda SMAW, dua angka pertama artinya kekuatan tarik minimum dalam satuan Psi, angka ketiga menunjukkan posisi pengelasan yang dapat dilakukan, dan angka terakhir menunjukkan jenis polaritas dan jenis selaput [14]. Berdasarkan jenis lapisan (fluks), jenis arus listrik, posisi pengelasan,

dan polaritas, elektroda dibagi menjadi beberapa spesifikasi di bawah ini.

Tabel 1. Spesifikasi Elektroda Tipe E60xx [1]

AWS-AST M	Jenis fluks	Posisi penge lasan	Jenis listrik	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)
E6010	Natrium selulosa tinggi	F,V,O H,H	DC polaritas baik	43,6	35,2	22
E6011	Kalium selulosa tinggi	F,V,O H,H	AC/DC polaritas baik	43,6	35,2	22
E6012	Natrium titania tinggi	F,V,O H,H	AC/DC polaritas lurus	47,1	38,7	12
E6013	Kalium titanium tinggi	F,V,O H,H	AC/DC polaritas ganda	7,1	38,7	12
E6020	Oksida besi tinggi	H,S,F	AC/DC polaritas ganda	3,6	35,2	25
E6027	Serbuk besi oksida tinggi	H,S,F	AC/DC polaritas ganda	3,6	35,2	25

Tabel 2. Spesifikasi Elektroda Tipe E70xx

AWS -AST M	Jenis fluks	Posisi penge lasan	Jenis listrik	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)
E7014	Serbuk besi,titania	F,V,O H,H	AC/DC polaritas ganda	50,6	42,2	17
E7015	Natrium hidrogen rendah	F,V,O H,H	AC/DC polaritas ganda	50,6	42,2	22
E7016	Kalium hidrogen rendah	F,V,O H,H	AC/DC polaritas lurus	50,6	42,2	22
E7018	Serbuk besi hidrogen rendah	F,V,O H,H	AC/DC polaritas ganda	50,6	42,2	22
E7024	Serbuk besi,titania	H,S,F	AC/DC polaritas ganda	50,6	42,2	17
E7028	Serbuk besi hidrogen rendah	H,S,F	AC/DC polaritas ganda	50,6	42,2	22

Keterangan:

F : Pengelasan datar

V : Pengelasan vertikal

O : Pengelasan di atas kepala

H : Pengelasan horizontal

Posisi Pengelasan

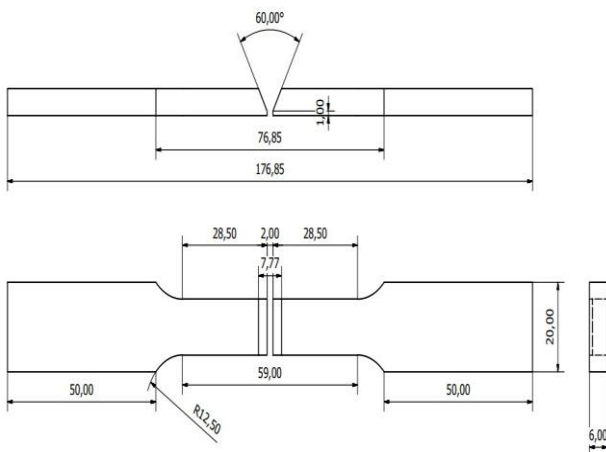
Terdapat beberapa jenis sambungan logam dasar pada pengelasan. Sambungan tersebut ditujukan untuk maksud tertentu

yang berhubungan juga dengan posisi pengelasan. Adapun macam- macam posisi pengelasan yang digunakan adalah sebagai berikut [15]



Gambar 6. Posisi Pengelasan [10]

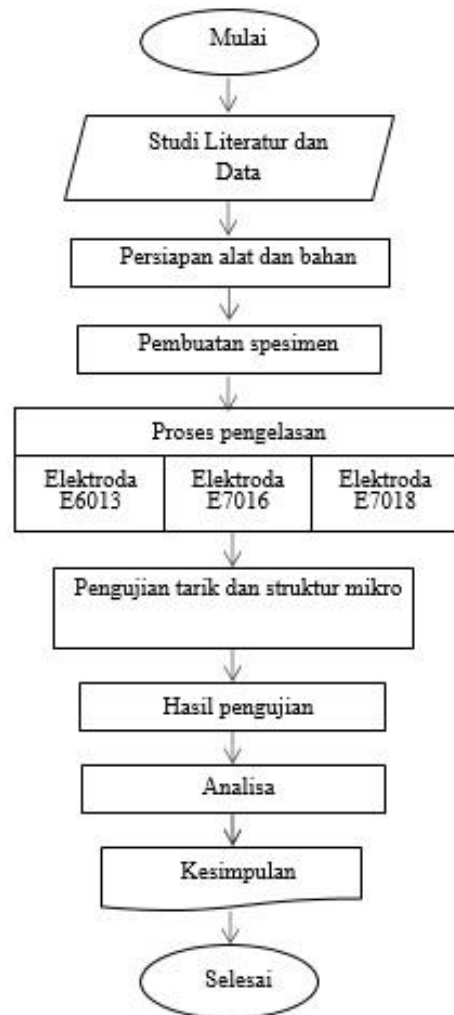
2. Metode Penelitian



Gambar 7. Desain Spesimen Uji Tarik

Tahapan penelitian meliputi pembentukan, pengelasan dengan Jenis elektroda E6013, E7016 dan E7018 dengan bahan plat baja karbon rendah menggunakan kampuh V-Groove pada Posisi pengelasan bawah tangan (1G) dengan ukuran spesimen

ASTM A36 yang nantinya akan dilakukan pengujian tarik dan struktur mikro dengan harapan Untuk mengetahui nilai kekuatan tarik hasil sambungan las seta perbedaan struktur mikro dari hasil pengelasan dengan menggunakan jenis elektroda yang berbeda.

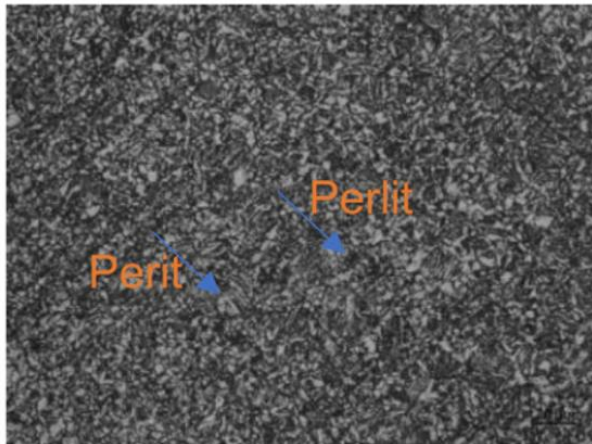


Gambar 8. Diagram Alir Penelitian

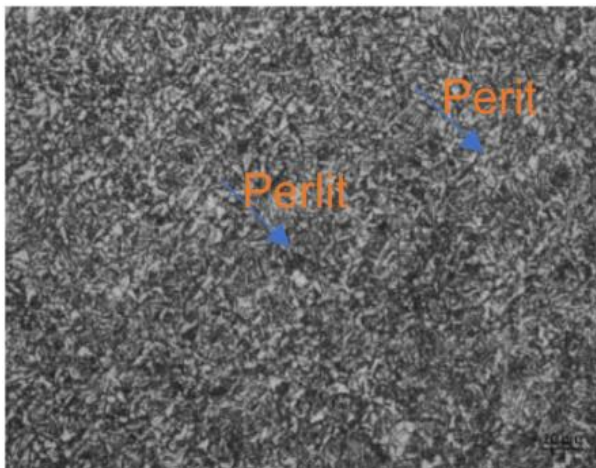
3. Hasil dan Pembahasan

Data hasil pengujian tarik dan struktur mikro

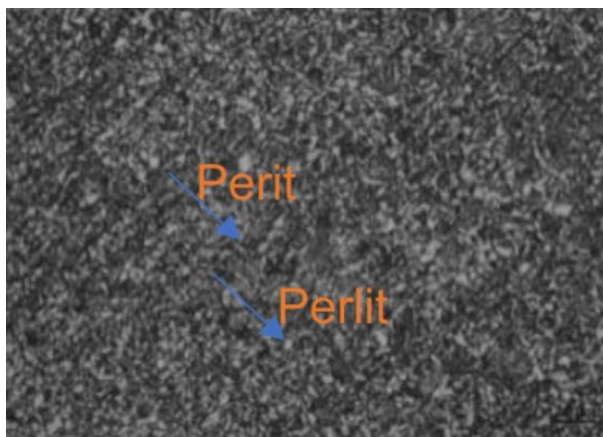
Adapun hasil data dari pengujian struktur mikro yang telah di lakukan pada masing- masing variasi elektroda E6013, E7016, dan E7018. Pengamatan struktur mikro menurut pengujian metalografi untuk bahan plat baja ASWM A36 dengan pembesaran 100x didapatkan gambar sebagai berikut :



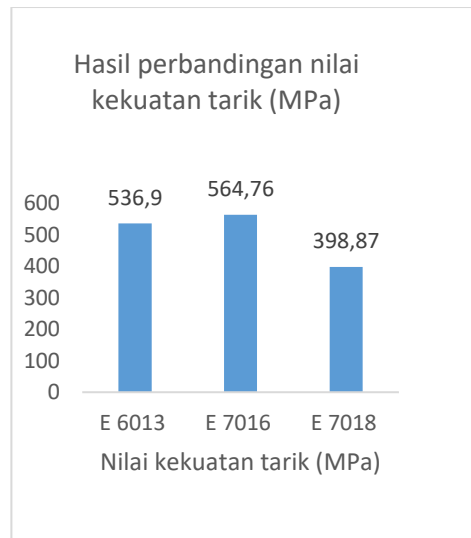
Gambar 9. Struktur mikro pada pembesaran 100 x variasi elektroda E6013



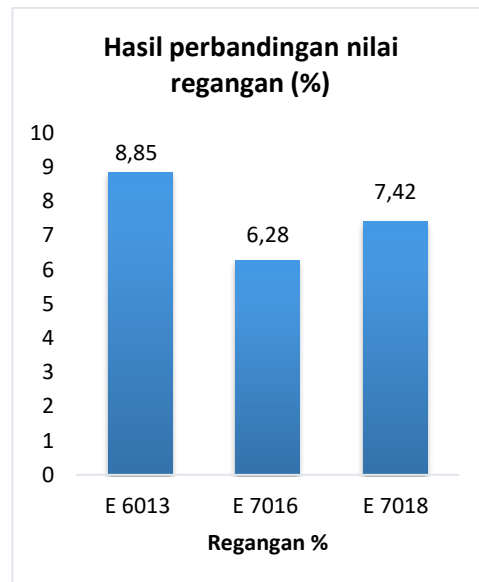
Gambar 10. Struktur mikro pada pembesaran 100 x variasi elektroda E7016



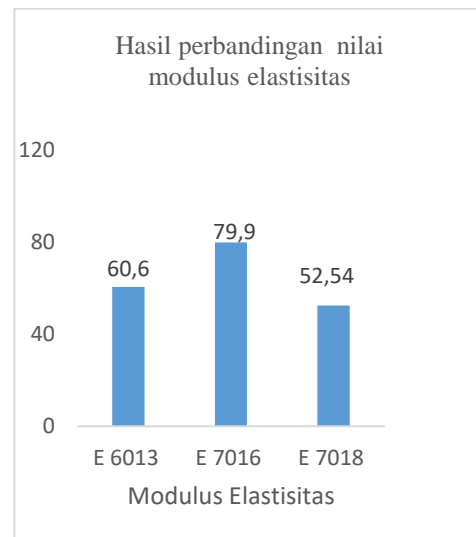
Gambar 11. Struktur mikro pada pembesaran 100 x variasi elektroda E7018



Gambar 12. Diagram kekuatan tarik variasi elektroda



Gambar 13. Diagram regangan variasi elektroda



Gambar 14. Diagram modulus elastisitas variasi elektroda

Pembahasan Uji Tarik

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan pengaruh variasi dari jenis elektroda E6013, E7016, dan E7018 terhadap nilai kekuatan Tarik bahan plat baja ASWM A36. Kekuatan Tarik merupakan salah satu sifat mekanik yang setiap material atau bahan memiliki sifat kekerasan dan kelenturan yang berbebeda-beda. Untuk dapat mengetahui sifat dari suatu material tersebut maka diperlukan suatu pengujian yaitu uji Tarik (tensile test). Terdapat beberapa spesimen pada uji Tarik. Uji Tarik juga merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan (tensile strenght) suatu material dengan cara memberikan beban secara cepat maupun lambat sehingga diperoleh hasil pengujian berupa kekuatan dan elastisitas dari suatu bahan. Telah dilakukan pengujian, diperoleh hasil untuk variasi elektroda E6013 mendapatkan nilai kekuatan Tariknya adalah 536,9 MPa. Pengujian elektroda E7016 mendapatkan nilai kekuatan Tarik sebesar 564,76 MPa. Serta pada pengujian Tarik variasi elektroda E7018 mendapatkan nilai uji Tarik sebesar 394,87 MPa. Dari ketiga jenis elektroda yang digunakan mendapatkan nilai tertinggi pada pengujian Tarik variasi elektroda E7016. Hal tersebut menunjukkan hasil kekuatan Tarik sampel yang digunakan.

Nilai kekuatan dan elastisitas dari material uji dapat dilihat dari kurva hasil uji Tarik. Selain kekuatan dan elastisitas bahan, sifat lain yang dapat diketahui dari hasil uji tarik antara lain; kekuatan luluh dari suatu material, keuletan (regangan) yang dihasilkan pada pengujian uji Tarik, serta kelentingan dari bahan material baja ASTM A36. Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kekuatan suatu material atau bahan dari baja ASTM A36 dan juga sebagai referensi untuk mengetahui spesifikasi dari bahan material baja ASTM A36. Nilai regangan tertinggi terjadi pada variasi elektroda E6013 sebesar 8,85 % hal tersebut menunjukkan bahwa nilai keuletan suatu bahan material dari baja ASWM A36.

Jika regangan menunjukkan keuletan, maka modulus elastisitas menunjukkan kekuatan dari suatu material baja ASWM A36. Apabila nilai E semakin besar, maka semakin kaku suatu bahan material tersebut. Nilai rata-rata modulus elastisitas tertinggi dihasilkan oleh variasi elektroda E7016 dengan nilai rata-rata sebesar 79,9 N/mm².

Adanya perbedaan nilai pada hasil pengujian tersebut disebabkan oleh perbedaan jenis elektroda yang digunakan, serta kualitas pada saat proses pengelasan berlangsung. Sehingga setelah dilakukan pengujian, nilai yang diperoleh oleh ketiga variasi elektroda tersebut berbeda. Dan dilihat dari grafik yang dihasilkan, hasil tersebut mengalami kenaikan serta penurunan nilai uji.

Hubungan antara hasil uji Tarik dan hasil uji struktur mikro

Dilihat dari hasil foto struktur mikro yang diperoleh menunjukkan terjadinya perbedaan struktur mikro. Bentuk ukuran struktur mikro yang berbeda ini diakibatkan karena perbedaan panas dan transformasi fasa terutama pada daerah fusi yaitu batas antara daerah HAZ dan logam las, sehingga mengakibatkan kekuatan lasnya berbeda-beda.

Berubahnya nilai kekuatan tarik dari hasil pengelasan terjadi karena adanya perubahan perbedaan struktur mikro yang terjadi saat proses pengelasan berlangsung, semakin banyak dan rapat posisi unsur (perlite) maka menunjukkan kekuatan tarik semakin besar dan begitu pula sebaliknya. Ferrite merupakan larutan padat dari atom murni yang mempunyai sel-sel kubus dan memiliki sifat yang lebih lunak dan liat, sedangkan (perlite) juga tersusun oleh lapisan-lapisan halus dan memiliki sifat yang lebih kuat dan keras daripada ferrite.

Hal ini bias terjadi karena pada saat proses pengelasan berlangsung terjadi perbedaan masukan panas (kuat arus) pada daerah las. Masukan panas (heat input) ini, nilainya berbanding lurus dengan arus tegangan yang digunakan, serta berbanding

terbalik dengan kecepatan pengelasan. Bila menggunakan heat input yang rendah maka mengharuskan kecepatan pengelasan yang relatif pelan, sehingga energi panas banyak yang menyebar ke bagian logam, sehingga semakin banyak pula daerah yang mengalami perubahan struktur Kristal.

4. Kesimpulan

Dari pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pengujian tarik dari hasil pengelasan dengan jenis elektroda E6013, E7016, dan E7018 pada sambungan plat baja ASTM A36 mendapatkan hasil pada variasi elektroda E6013 nilai kekuatan tarikannya yaitu 536,9 MPa, elektroda E7016 nilai kekuatan tarikannya yaitu 564,76 MPa, dan elektroda E7018 nilai rata-rata kekuatan tarikannya yaitu 398,87 MPa. Dengan hasil tersebut memperoleh nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu pada variasi elektroda E7016. Dan sebaliknya, untuk nilai kekuatan tarik terendah terdapat pada variasi elektroda E7018.

Sedangkan berdasarkan hasil dari pengujian struktur mikro, dengan variasi elektroda E6013, E7016, dan E7018 didapat cacat struktur mikro hasil pengelasan dipengaruhi oleh jenis variasi elektroda yang digunakan serta kualitas proses pengelasan yang dilakukan. Hasil uji struktur mikro terbaik ditunjukkan oleh spesimen dengan variasi elektroda E7016 dengan persebaran unsur elektroda yang merata. Dibandingkan dengan jenis variasi elektroda E6013, yang mana persebaran unsur elektrodanya cenderung tidak merata. Dengan demikian semakin persebaran unsur elektroda yang merata, maka kekuatan tarik spesimen akan meningkat.

Referensi

[1] Wiryosumarto, H. dan Okumura, T. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradya Paramita.

- [2] Hakim, A. R. dan Imran. 2020. Analisa Pengaruh Variasi Kampuh Terhadap Hasil Pengelasan SMAW pada Stainless Steel 304 Menggunakan Pengujian Ultrasonic dan Kekuatan Tarik. *Jurnal Polimesin*. 18(1), h. 30-38.
- [3] Susetyo, F. B. (dkk). 2013. Studi Karakteristik Pengelasan SMAW pada Baja Karbon Rendah ST 42 dengan Elektroda E7018. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ*. 1, h. 32-39.
- [4] Davin Ridho Kurniawan. 2017. Analisa Hasil Pengelasan SMAW Dengan Arus 200A Pada Material Plate ST 37 Menggunakan Elektroda E7018 Yang Direndam Air Dengan Pengujian Radiografi Dan Makro Etsa.
- [5] Pratiwi, Y. R. dan Wibowo, S. S. 2019. Pengaruh Jenis Elektroda dan Jumlah Pass Terhadap Uji Kekerasan Hasil Pengelasan dan Struktur Mikro pada Proses Pengelasan Shielded Metal Arch Welding. *Jurnal Riset dan Konseptual*. 4(2), h. 159-166.
- [6] Anda, Y. D. 2021. *Analisa Hasil Sambungan Las SMAW pada Material Baja ASTM A36 dengan Variasi Arus dan Jarak Kampuh Las*. Skripsi tidak diterbitkan. Pekanbaru: Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
- [7] Setiawan, A. dan Wardana, Y. A. Y. 2006. Analisa Ketangguhan dan Struktur Mikro pada Daerah Las dan HAZ Hasil Pengelasan Sumerged Arc Welding pada Baja SM490. *Jurnal Teknik Mesin*. 8(2), h. 57-63.
- [8] Amin, A. 2015. Analisa Struktur Mikro dan Fraktografi Hasil Pengelasan GMAW Metode Temper Bead Welding dengan Variasi Temperatur Interpass pada Baja Karbon Sedang. Makalah disajikan dalam *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin Indonesia XIV*, ULM

- Banjarmasin. Banjarmasin: 7-78 Oktober 2015.
- [9] Ardiansah, A. 2019. Studi Hasil Proses Pengelasan FCAW (Flux Cored Arc Welding) pada Materail ST 41 dengan Variasi Media Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro. *Jurnal Teknik Mesin*. 7(2), h. 9-16.
- [10] Sari, D. M. 2015. *Pengaruh Suhu Preheating pada Hasil Pengelasan GTAW Terhadap Sifat Fisis dan Mekanisme Stainless Steel 304*. Skripsi tidak diterbitkan. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- [11] Jones, D. 2014. Pengertian Proses Las SMAW Listrik. <https://www.pengelasan.com/2014/06/pengertian-las-smaw-adalah.html>. 24 Agustus 2022 (23:17).
- [12] Siswanto. 2011. *Konsep Dasar Teknik Las (Teori dan Praktik)*. Jakarta: PT. Prestasi Pustakarya.
- [13] Darmawan, I. 2017. Konsultasi, Pengujian, Kualifikasi, dan Sertifikasi Pengelasan. <https://pojok-welder.blogspot.com/2017/04/desain-kampuh-sebelum-melakukan.html?m=1>.
- [14] Muhsin Z. 2018. Analisa Perbandingan Kualitas Las SMAW Kampuh V dengan Uji Bending pada Baja ST 37. *Teknologi*. 19(1), h. 45-55.
- [15] Pandapotan, P. O. P. 2019. *Pengaruh Variasi Arus dan Jenis Elektroda Terhadap Cacat Las pada Baja ST 60 Hasil Proses Pengelasan SMAW (Shield Metal Arc Welding)*. Skripsi tidak diterbitkan. Medan: Universitas Sumatra Utara.