

PENGARUH VARIASI ARUS LISTRIK PENGELASAN FCAW (Flux Cored Arc Welding) PORTABLE TERHADAP KEKUATAN TARIK LAS

Muhammad Ikrom Sutandi¹, Syahril Sayuti¹

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri
Jl. PHH. Mustafa No.23 Bandung 40124
e-mail : ikromsutandi@gmail.com

Received 23 01 2024 | Revised 30 01 2024 | Accepted 30 01 2024

ABSTRAK

.Metode pengelasan adalah las FCAW merupakan pengelasan menggunakan busur nyala listrik sebagai panas pencair logam dan elektroda. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh variasi arus pada hasil pengelasan FCAW menggunakan elektroda E71TGS 0,8 mm dan 1.00 mm pada logam Baja SS400 tebal 5 mm terhadap kekuatan tarik .Dari penelitian diperoleh arus 125A menggunakan elektroda E71TGS berdiameter 0,8 mm dan 1 mm dengan kekuatan tarik maksimum 376.550 Mpa dan 370.770 Mpa dari hasil analisa struktur mikro, jumlah ferrite atau bainit terbentuk berbanding lurus terhadap besar kuat arus pengelasan. Arus pengelasan 125 Ampere, adanya struktur bainit memiliki sifat lebih tangguh dan lebih ulet dari widmanstatten ferrite menutupi retak saat pendinginan. Dapat disimpulkan bahwa dari hasil pengujian tarik, arus pengelasan berpengaruh pada hasil pengelasan berdasarkan nilai kekuatan tarik. Semakin besar arus maka semakin besar pula nilai kekuatan tarik, tetapi harus disesuaikan dengan panduan pada elektroda yang digunakan dan ketebalan benda kerja yang dilakukan pengelasan.

Kata kunci: Pengelasan, Pengujian Pengelasan, Las FCAW, Mesin las portable, Uji tarik, Analisa Struktur mikro

ABSTRACT

The welding method is FCAW welding, which is welding using an electric arc as heat to melt the metal and electrode. This research aims to determine the effect of current variations on FCAW welding results using 0.8 mm and 1.00 mm E71TGS electrodes on 5 mm thick SS400 Steel metal on tensile strength. Maximum tensile strength is 376,550 Mpa and 370,770 Mpa. From the results of microstructure analysis, the amount of ferrite or bainite formed is directly

proportional to the strength of the welding current. Welding current is 125 Ampere, the bainite structure has tougher and more ductile properties than widmanstatten ferrite, covering cracks when cooling. It can be concluded that from the tensile test results, the welding current influences the welding results based on the tensile strength value. The greater the current, the greater the tensile strength value, but this must be adjusted according to the guidelines for the electrode used and the thickness of the workpiece being welded.

Keywords: Welding, Welding Testing, FCAW Welding, Portable Welding Machine, Tensile Test, Microstructure Analysis

PENDAHULUAN

Pengelasan adalah salah satu teknik manufaktur yang penting dalam industri modern. Proses pengelasan memungkinkan penggabungan material logam dengan cara melelehkan sebagian atau seluruh permukaan material dan kemudian membiarkan cairan tersebut mengeras, menghasilkan sambungan permanen antara kedua material tersebut. Salah satu metode pengelasan yang banyak digunakan adalah Flux Cored Arc Welding (FCAW) atau pengelasan berinti fluks.

Teknik penyambungan logam dengan metode las busur listrik dengan Kawat dan elektroda yang telah dipergunakan secara luas dalam penyambungan logam-logam baja, konstruksi mesin, dan bahkan masyarakat umum banyak yang menggunakannya untuk kebutuhan penyambungan baja atau hal-hal kecil yaitu menggunakan mesin las listrik portable FCAW adalah teknik pengelasan yang menggunakan elektroda berinti fluks untuk menghasilkan busur listrik yang memanaskan dan melelehkan material logam. Elektroda berinti fluks ini menghasilkan lapisan fluks yang membantu melindungi area pengelasan dari kontaminan seperti oksida dan mengurangi risiko terbentuknya pori-pori dalam sambungan las. Selain itu, FCAW memiliki kelebihan dalam hal mobilitas karena bisa dilakukan secara portabel, membuatnya cocok untuk pengelasan di lokasi-lokasi yang sulit dijangkau.

Salah satu faktor kunci yang memengaruhi kualitas sambungan las adalah parameter pengelasan, di antaranya adalah arus listrik pengelasan. Arus listrik memiliki dampak signifikan terhadap karakteristik termal dan kekuatan sambungan las. Pengaturan arus listrik yang tepat dapat mempengaruhi penetrasi, dispersi panas, dan akhirnya kekuatan tarik dari sambungan las. Oleh karena itu, penting untuk memahami pengaruh variasi arus listrik pada proses pengelasan FCAW terhadap kekuatan tarik sambungan las.

Jenis pengelasan yang akan dilakukan pada proses pengujian tersebut adalah dengan menggunakan jenis las FCAW . Diharapkan nantinya akan mendapatkan hasil yang terbaik dari tiap-tiap jenis arus yang di gunakan pada penyambungan material baja plat SS400, pengujian dalam penelitian ini meliputi pengujian tarik yang akan menentukan seberapa besaran

PENGARUH VARIASI ARUS LISTRIK PENGELASAN FCAW (Flux Cored Arc Welding) PORTABLE TERHADAP KEKUATAN TARIK LAS

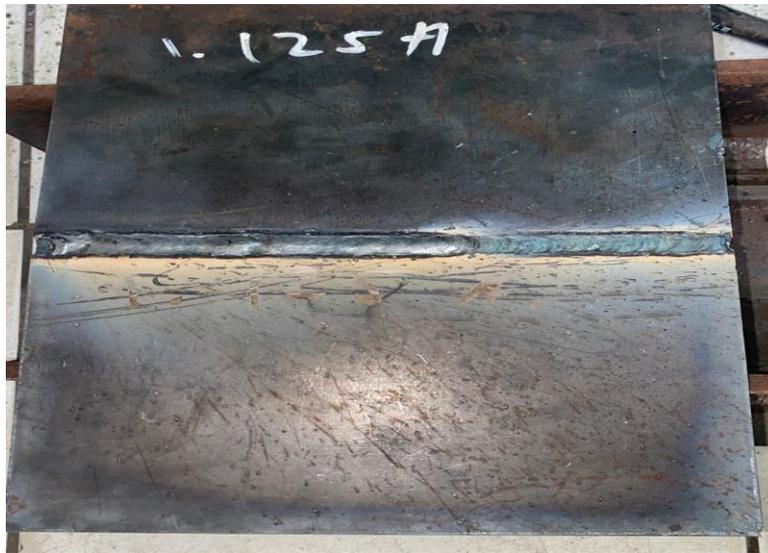
kekuatan tarik dari spesimen tersebut. Dalam proses pengujian, spesimen akan mengalami peregangan sebelum terjadi perpatahan. Perpatahan ini disebabkan oleh deformasi plastik dari benda kerja. Apabila dalam sebuah benda kerja terjadi deformasi plastik, hal ini dapat disebut dengan perpatahan ulet (ductile fracture), dan bila sebaliknya maka disebut patahan getas (brittle fracture) Pengujian tarik ini dilakukan untuk mendapatkan data mengenai sifat-sifat mekanik dari suatu logam yang dimana benda kerja akan mengalami beban aksial secara besar dan kontinu sehingga benda kerja tersebut patah.

Dalam penelitian sebelumnya yang berjudul "Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik dan Ketangguhan Las FCAW dengan Elektroda E71T-1 Ø 1,2 mm (Joko Susanto, 2016) dijelaskan tentang pengaruh variasi arus dengan besar arus 100, 130 dan 160 Ampere terhadap plat baja karbon rendah. Dalam penelitian tersebut masih terdapat beberapa kekurangan dari variasi arusnya, jika pengelasan dengan jarak arus terlalu jauh perbedaan ampere nya maka sudah jelas perbedaannya dalam pengujian tarik. Untuk itu untuk melengkapi penelitian tersebut penulis ingin membuat analisa dengan jarak interval arusnya tidak terlalu jauh yaitu dari 110 , 120 , 125 Ampere terhadap plat baja ss 400 material umumnya mempunyai sifat tarik yang relatif tinggi dan mampu bentuklas yang sangat baik. biasanya di pakai untuk struktur baja seperti jembatan, kapal, otomotif, tiang pancang, komponen alat berat dan fabrikasi yang lain . Oleh karena itu, dalam penulisan Tugas Akhir ini penulis mengambil judul "PENGARUH VARIASI ARUS LISTRIK PENGELASAN FCAW (Flux Cored Arc Welding) PORTABLE TERHADAP KEKUATAN TARIK LAS".

METODOLOGI

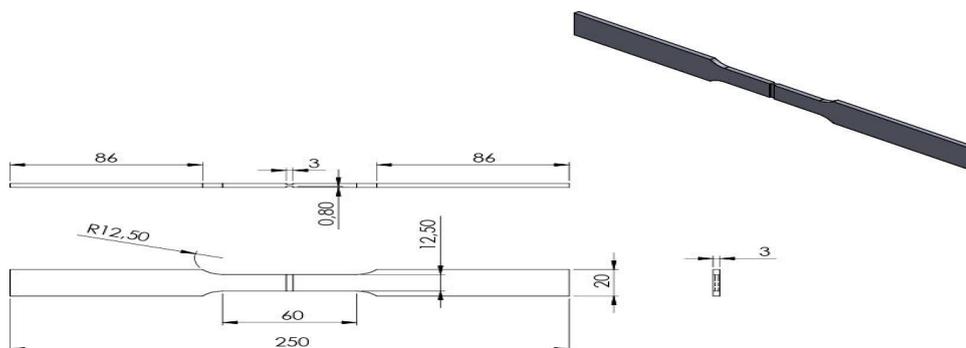
1. Dalam penelitian ini menggunakan material logam baja SS 400 dengan tebal 5 mm baja SS 400 adalah salah satu spesifikasi baja yang dibuat berdasarkan standard Industri JEPANG yaitu JIS G3101 (Rolled Steel for General Structures). JIS = Japan Industrial Standard SS 400/ JIS G3101/ASTM A36 adalah baja umum (mild steel) dimana komposisi kimianya hanya karbon (C), Manganese (Mn), Silikon (Si), Sulfur (S) dan Posfor (P). yang dibentuk dahulu menjadi spesimen lalu dilakukan pengelasan. Proses pengelasan yang digunakan adalah FCAW, dengan mesin las FCAW portable spesifikasi 220 V 140 A menggunakan elektroda E71TGS diameter 0,8 mm dan 1,00 mm pada baja SS 400 ketebalan 5 mm. Setelah dilakukan proses penyambungan sepesimen dengan menggunakan elektroda E71TGS dengan ukuran 0,8 dan 1,00 mm dilakukan pengujian berupa uji dye penetrant dan uji tarik terhadap spesimen yang sudah dilakukan pengelasan dan dipisahkan dari yang terindikasi cacat dan

dijadikan 30 spesimen tanpa ada nya cacat. Setelah itu dilakukan pengujian berupa uji tarik akan muncul hasil berupa data hasil pengujian dan mendapatkan data hasil pengujian maka dilakukan pengolahan data berupa kurva hasil uji tarik. Setelah mendapatkan data dan hasil pengujian dilakukan analisa struktur mikro, analisa dan kesimpulan terkait hasil pengujian dari spesimen baja ss 400 yang disambung menggunakan las faw dengan elektroda E71TGS dengan ukuran 0,8 dan 1,00 mm.



Gambar 1 spesimen yang sudah dilas

Variasi arus yang digunakan adalah 110A, 120 A dan 125 A karena amper tersebut merupakan nilai tengah dari spesifikasi mesin las portable tersebut. Jenis kampuh yang digunakan adalah kampuh V dengan sudut 30° dan alur pengelasan bergerak melingkar menggunakan kampuh dan alur tersebut berfungsi untuk satu kali pengelasan. Pengujian yang digunakan adalah Ujitarik dengan jumlah spesimen setiap kelompok arus 3 spesimen maka total seluruh spesimen adalah 30 spesimen dan dianalisa berdasarkan nilai kekuatan tarik.



Gambar 2 bentuk spesimen uji tarik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dimulai dengan proses penyambungan spesimen dengan menggunakan elektroda E71TGS dengan ukuran 0,8 dan 1,00 mm dan dilakukan pengujian berupa uji dye penetrant dan uji tarik terhadap spesimen yang sudah dilakukan pengelasan.

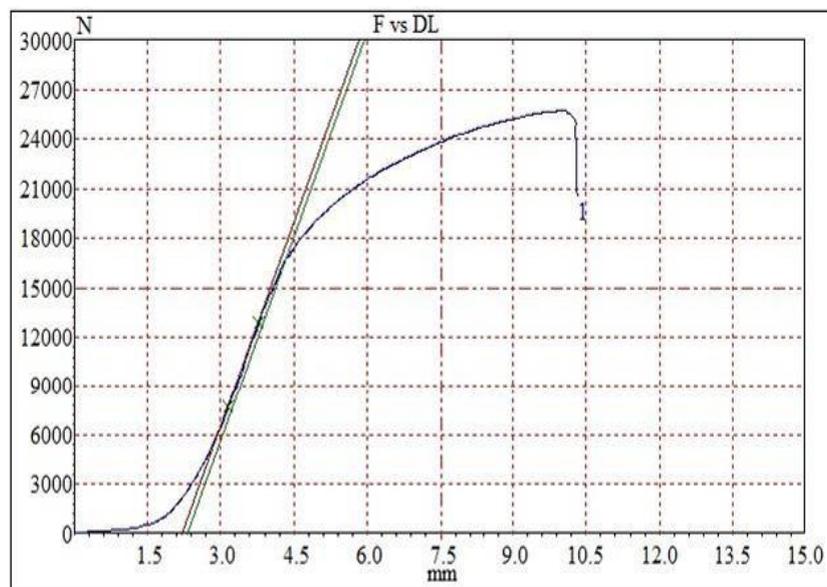


Gambar 1 Proses pengelasan



Gambar 2 Hasil uji dye penetrant

Pengujian tanpa merusak dengan metode dye penetrant bertujuan untuk mendeteksi adanya cacat atau retakan pada permukaan suatu material tanpa merusak. Dye penetrant suatu metode pengujian sederhana yang digunakan untuk mengetahui adanya cacat pada permukaan terbuka dari komponen solid, baik logam maupun non logam dengan menggunakan cairan penetrant dan developer. Caranya adalah memberikan cairan yang berwarna kontras (penetrant berwarna merah dan developer berwarna putih) pada permukaan yang di inspeksi melalui metode ini cacat pada material akan terlihat jelas. Berikut adalah hasil dye penetrant pada plat baja SS 400 yang dilas menggunakan kawat E71TGS dengan diameter 0,8 mm dan 1mm



Gambar 4 kurva uji tarik

No	Arus (A)	Spe-simen	Max. Load (N)	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)	Elastic Modulus (MPa)	Frac-ture (N)	Elo-ngation (%)
1	110	1	25739.038	411.825	273.247	7828.747	20496.239	4.2
		2	23804.042	193.973	144.173	4900.361	19036.087	4.1
		3	18682.38	152.238	143.148	4406.481	14775.63	3.1
	Rata-rata	22741.82	252.680	186.86	5711.86	18102.65	3.8	
2	120	1	20292.513	405.85	351.662	9286.943	15976.316	1.8
		2	24616.45	200.593	144.487	4929.769	19011.144	3.3
		3	26409.744	528.195	387.901	13692.952	20941.623	2.9
	Rata-rata	23772.90	378.210	294.68	9303.22	18643.03	2.67	
3	125	1	24485.218	391.763	298.225	9666.642	19534.944	4.1
		2	19707.831	315.325	265.586	9010.974	14956.581	2.1
		3	26410.512	422.568	274.385	8683.141	21125.72	5.6
	Rata-rata	23534.52	376.550	279.40	9120.25	18539.08	3.93	

Gambar 5 tabel hasil uji tarik pada kawat 0,8mm

No	Arus (A)	Spe-simen	Max. Load (N)	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)	Elastic Modulus (MPa)	Frac-ture (N)	Elo-ngation (%)
1	110	1	26426.134	422.818	280.025	9439.659	20984.977	4.1
		2	16854.974	269.68	264.362	7965.916	12615.956	2
		3	20314.221	325.028	300.092	8957.697	15874.433	1.5
	Rata-rata	21198.44	339.180	281.49	8787.76	16491.79	2.53	
2	120	1	24116.343	317.021	279.194	9177.638	18270.584	2.6
		2	23828.867	366.598	262.7	7752.394	18879.434	4
		3	17718.765	272.596	259.741	8935.843	13437.272	1.3
	Rata-rata	21887.99	318.740	267.21	8621.96	16862.43	2.63	
3	125	1	25781.916	412.511	304.887	10693.951	20530.05	3.3
		2	24225.482	387.608	305.819	10537.437	19127.972	3
		3	19511.622	312.186	307.728	9989.951	15547.322	0.9
	Rata-rata	23173.01	370.770	306.14	10407.11	18401.78	2.40	

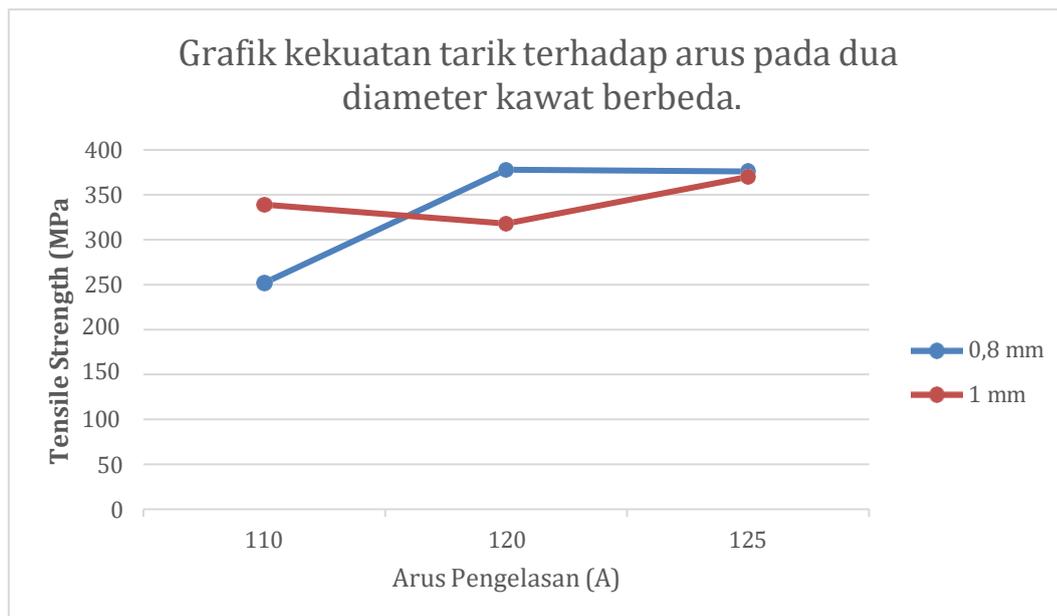
Gambar 6 tabel hasil uji tarik pada kawat 1mm

Berdasarkan hasil uji tarik spesimen pengelasan pelat baja SS400 yang disajikan dalam tabel 4.2 dan 4.3 dapat dilihat tegangan tarik spesimen menunjukkan nilai rata-rata tegangan tarik dengan nilai rata-rata tertinggi adalah pada spesimen pengelasan dengan arus 120 A pada

PENGARUH VARIASI ARUS LISTRIK PENGELASAN FCAW (Flux Cored Arc Welding) PORTABLE TERHADAP KEKUATAN TARIK LAS

kawat 0,8 mm yaitu 378,21 MPa dan nilai rata-rata tegangan tarik terendah pelat baja SS400 adalah pada spesimen pengelasan arus 110 A pada pelat 0,8 mm dengan nilai 252,68 MPa. Kekuatan tarik pengelasan baja SS400 menggunakan pengelasan FCAW , elektroda jenis (E71TGS), kampuh pengelasan V sudut 30⁰, arus pengelasan 110 A, 120 A, 125 A memenuhi standar kekuatan tarik minimum baja SS400. Hasil uji tarik menggunakan tensile tester menunjukkan hasil pengujian pada spesimen pengelasan pelat 0,8 mm dengan arus 110 A memiliki nilai rata- rata tegangan tarik (σ) 252,68 MPa, regangan (ϵ) 3,8%, dan modulus elastis (E) 5711 MPa. Spesimen pengelasan dengan arus 120 A memiliki nilai rata- rata tegangan tarik (σ) 378,21 MPa, regangan (ϵ) 2.67% , dan modulus elastis (E) 9303,22 MPa. Spesimen pengelasan dengan arus 125 A memiliki nilai rata- rata tegangan tarik (σ) 376,55 MPa, regangan (ϵ) 3,93%, dan modulus elastis (E) 9120,5 MPa.

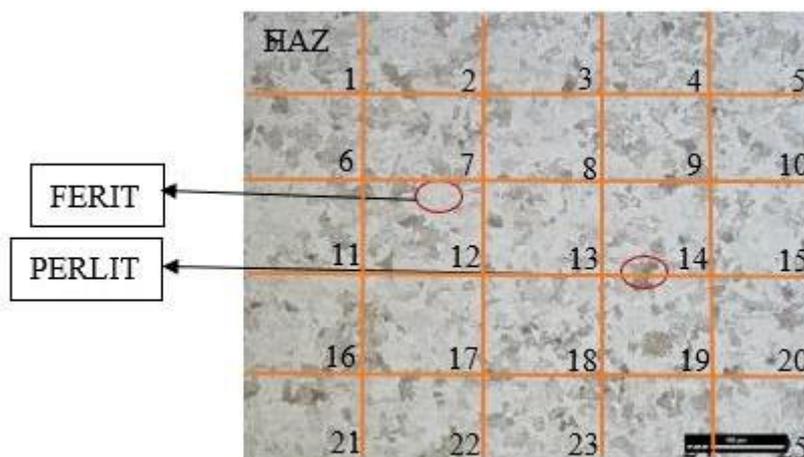
Grafik 1 Arus pengelasan terhadap kekuatan tarik kawat E71TGS 0,8 mm dan 1mm



Grafik 1 hubungan variasi di atas menunjukkan bahwa pengujian tarik dengan arus 110 A memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 252,68 MPa dan 339,18 MPa pada kawat 0,8 mm dan 1 mm secara berturut-turut. Pada pengelasan menggunakan arus 120 A memiliki nilai kekuatan tarik rata-rata sebesar 378,21 MPa pada plat 0,8 mm dan 318,74 MPa pada kawat 1

mm. Pada kawat 1 mm, pengelasan dengan arus 125 A memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah dibandingkan arus 110 A dengan selisih 20,44 MPa atau sebesar 6% sedangkan pada kawat 0,8 mm, pengelasan dengan arus 125 A memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan arus 110 A dengan selisih 125,53 MPa atau sebesar 50%. Untuk pengelasan dengan arus 125 A memiliki kekuatan tarik yang maksimum dari pada arus 110 A dan 120 A pada plat 1 mm sedangkan untuk pengelasan dengan arus 120 A memiliki kekuatan tarik yang maksimum dari pada arus 110 A dan 125 A pada kawat 0,8 mm. Kekuatan tarik pada pengelasan dengan arus 125 A memiliki kekuatan tarik rata-rata dengan nilai tinggi yaitu 373,66 MPa. Penyebab dari menurunnya nilai kekuatan tarik rata-rata pada arus 120 A adalah karena hasil dari patahan uji tarik ternyata terdapat perbedaan tebal plat yang sesudah diberikan takikan pada penampang las, sehingga penampang menjadi kecil dan menurunnya kekuatan tarik maksimum yang dapat diterima oleh spesimen tersebut.

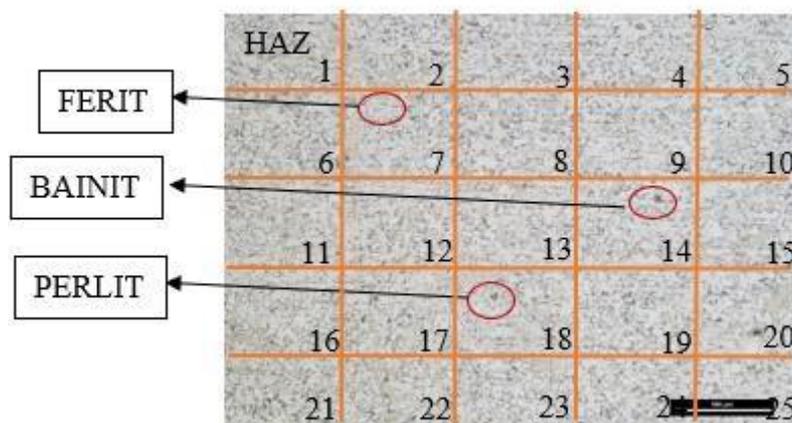
Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan sebelumnya tentang pengaruh variasi arus, setiap kenaikan arus maka akan terjadi kenaikan pada kekuatan tarik. Karena semakin tinggi arus yang digunakan maka energi listrik yang digunakan akan meningkat juga berdasarkan rumus $Q = I^2R$. Semakin tinggi arus yang mengalir maka energi listrik yang mengalir akan meningkat. Pada saat pengelasan energi listrik diubah menjadi energi panas melalui busur listrik, ketika muatan arus yang mengalir semakin tinggi maka pada saat pengelasan elektroda dan logam induk mengalami proses penggabungan dengan sempurna jika energi listrik yang digunakan terlalu rendah maka proses penggabungan antara elektroda dan logam induk tidak sempurna dan hanya elektroda saja yang meleleh sehingga menyebabkan menurunnya kekuatan tarik maksimum pada hasil pengelasan tersebut.



Gambar 7 HAZ E71TGS 1 mm, 110 A

PENGARUH VARIASI ARUS LISTRIK PENGELASAN FCAW (Flux Cored Arc Welding) PORTABLE TERHADAP KEKUATAN TARIK LAS

Pada variasi kuat arus 110 A dan kawat E71TGS 0,8 mm , menghasilkan struktur mikro berupa ferit (area terang), perlit (area gelap), dan Widmanstatten Ferrite, struktur mikro ferit lebih dominan pada base metal dan HAZ dibandingkan struktur mikro perlit. Sedangkan pada fusion line (FL) dan weld metal (WM) struktur mikro perlit lebih banyak dibandingkan dengan ferrit. Pada area WM terdapat Widmanstatten Ferrite. Pada penelitian ini, pengambilan foto struktur mikro dilakukan pada bagian sambungan las. Bagian pertama pada logam induk. Pengambilan foto pada daerah HAZ. Dari Gambar dapat dilihat bahwa struktur mikro logam induk terdiri dari perlit dan ferit. Pada logam induk didominasi oleh ferit. Ferit bersifat lunak dan ulet.



Gambar 8 HAZ E71TGS 1 mm, 125 A

Pada variasi kuat arus 125 A dan kawat E71TGS , menghasilkan struktur mikro berupa ferit (area terang), perlit (area gelap), dan Widmanstatten Ferrite, struktur mikro ferit lebih dominan pada base metal dan HAZ dibandingkan struktur mikro perlit. Sedangkan pada fusion line (FL) dan weld metal (WM) struktur mikro perlit lebih banyak dibandingkan dengan ferrit. Pada area WM terdapat Widmanstatten Ferrite. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh variasi kuat arus terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro sambungan las. Nilai kekuatan tarik dengan kuat arus pengelasan 110 Amper mengalami penurunan . Sedangkan dengan kuat arus pengelasan 120 Amper mengalami kenaikan. Pada kuat arus pengelasan 125 Amper mengalami kenaikan pada setiap diameter kawat tentunya berbanding naiknya. Bila dilihat pada struktur mikro, diketahui bahwa kenaikan kuat arus pengelasan diikuti dengan bertambahnya jumlah widmanstatten ferrite yang terbentuk. Sehingga dapat dipastikan bahwa nilai kekerasan juga meningkat. Pada hal ini variasi kuat arus pengelasan sangat berpengaruh pada kekuatan tarik dan kekuatan impact suatu material. Dimulai dari rapuh, yakni pada kuat arus yang sangat rendah. Pada tahap ini, akibat kuat arus yang sangat rendah mengakibatkan ukuran butir mengecil sehingga jarak antar butir semakin jauh, ikatan

melemah, dan rapuh (Raharjo, 2012). Dengan demikian material amat mudah patah, sehingga energi yang dibutuhkan untuk menarik dan mematahkannya sangat kecil pula. Selanjutnya dengan bertambahnya kuat arus penge lasan, maka ukuran butir makin membesar sehingga jaraknya semakin dekat dan ikatannya menguat serta kekuatan tarik dan ketangguhannya meningkat, namun masih getas (Rubijanto, 2012). Dengan demikian kekuatan tarik dan kekuatan impactnya meningkat. Kemudian apabila temperatur makin meningkat, hingga material mencapai keuletan sampai pada temperatur maksimalnya, energi yang dibutuhkan untuk menarik dan mematahkannya akan bertambah pula sampai nilai maksimum. Selanjutnya jika lewat dari titik ini, maka energi akan menurun karena (Suherman, 1988). adanya deformasi.

KESIMPULAN

1. hasil uji tarik pada spesimen dengan elektroda E71TGS dan diameter kawat 0,8 mm serta 1 mm pada arus 110 A menunjukkan bahwa kekuatan tarik rata-rata meningkat pada kawat dengan diameter 1 mm. Grafik menunjukkan bahwa kekuatan tarik rata-rata sebesar 378.210 MPa pada kawat 1 mm.
2. Namun, pada gambar spesimen dan patahan, tidak terdapat tanda-tanda void atau cacat pada pengelasan. Perbedaan luas penampang takikan pada spesimen dengan luas penampang takikan 2,9 mm dan 3,3 mm mempengaruhi hasil uji tarik. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa meskipun terdapat cacat pada permukaan hasil pengelasan, kekuatan tarik rata-rata dapat meningkat dengan menggunakan kawat berdiameter 1 mm. Perbedaan luas penampang takikan juga dapat memengaruhi hasil uji tarik

Hasil dari pengamatan visualisasi struktur mikro menggunakan metalografi Berdasarkan semua spesimen weld metal pada variasi kuat arus 125 A dan kawat E71TGS 1 mm memiliki widmanstatten ferrite terbanyak atau dapat disimpulkan bahwa semakin besar kuat arus dan sudut kampuh maka semakin banyak struktur widmanstatten ferrite yang terbentuk. Variasi kuat arus pengelasan memberikan pengaruh terhadap nilai kekuatan tarik sambungan las nilai kekuatan tarik dengan kuat arus pengelasan 110 Ampere mengalami penurunan. Sedangkan dengan kuat arus pengelasan 120 Ampere mengalami kenaikan . Pada kuat arus pengelasan 125 Ampere mengalami kenaikan Dari kajian ini didapatkan beberapa kesimpulan yakni semakin besar tingkat arus yang digunakan berbanding lurus dengan persentase pertumbuhan fasa pearlite yang semakin besar dan menyeluruh yang diakibatkan dari rambatan pertumbuhan karbon akibat besaran suhu yang tinggi, hal ini berhubungan secara langsung dengan hasil nilai kekuatanyang cenderung dan mengakibatkan material logam menjadi semakin keras dan getas. Arus tinggi juga sangat berguna untuk material-material logam

dengan pengaplikasian di dunia industri yang membutuhkan tingkat kekerasan yang cukup tinggi.

Saran

Pengelasan selanjutnya Perlu diperhatikan tentang pemilihan elektroda pada pengelasan FCAW agar mendapatkan hasil las dengan sifat mekanik yang baik. Disarankan menggunakan elektroda E71TGS untuk menghasilkan sambungan las dengan kekuatan tarik yang baik.

Perlu diperhatikan tentang pemilihan kuat arus pada pengelasan FCAW agar mendapatkan hasil las dengan sifat mekanik yang baik. Disarankan menggunakan kuat arus 125 Ampere untuk menghasilkan sambungan las dengan kekuatan tarik yang baik. Bagi peneliti selanjutnya Perlu penelitian lebih lanjut tentang pengaruh variasi kuat arus pada pengelasan FCAW untuk menghasilkan sifat mekanik seperti kekerasan, kekuatan tarik dan lain-lain untuk menghasilkan produk las yang baik. Perlu penelitian dengan spesimen lebih banyak sehingga mendapat kan hasil yang lebih teliti.

DAFTAR PUSTAKA (alphabetical)

- Grill, J. (2023). What is Flux-Core Arc Welding (FCAW) & How Does it Work? Weld Guru. <https://weldguru.com/flux-core-welding/>
- Groover, M. (2010). Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes and Systems. John Wiley & Sons, 493.
- Kannan, T., & Murugan, N. (2006). Effect of flux cored arc welding process parameters on duplex stainless steel clad quality. *Journal of Materials Processing Technology*, 176(1–3), 230–239. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.03.157>
- Weldingis. (2021). FCAW (Flux Core Arc Welding). <https://www.weldingis.com/fcaw-welding/>
- Will, J. (2023). Getting to Know Flux-core Wire. Welder. <https://www.thefabricator.com/thewelder/article/consumables/getting-to-know-flux-core-wire>
- Arifin Syamsul, "Las Listrik dan Otogen", Edisi khusus, Bandung, GhaliaIndonesia, 1977.
- Laurence H. Van Vlack, 1995, Ilmu Dan Teknologi Bahan, Edisi Kelima, Erlangga, Jakarta

Abdus Shomad, M, . Shahar Mushfi, M. Jurnal 2017 . Analisis pengaruh variasi elektroda las e6013 dan e7018 terhadap kekuatan tarik dan kekerasan pada bahan baja ss 400 .Diakses pada tanggal 17 November 2018.

Rujukan Buku:

Arifin Syamsul, "Las Listrik dan Otogen", Edisi khusus, Bandung, GhaliaIndonesia, 1977.
Laurence H. Van Vlack, 1995, Ilmu Dan Teknologi Bahan, Edisi Kelima,Erlangga, Jakarta

Rujukan Jurnal:

Kannan, T., & Murugan, N. (2006). Effect of flux cored arc welding process parameters on duplex stainless steel clad quality. *Journal of Materials Processing Technology*, 176(1–3), 230–239. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.03.157>

Abdus Shomad, M, . Shahar Mushfi, M. Jurnal 2017 . Analisis pengaruh variasi elektroda las e6013 dan e7018 terhadap kekuatan tarik dan kekerasan pada bahan baja ss 400 .Diakses pada tanggal 17 November 2018.

Rujukan Sumber Online :

Grill, J. (2023). What is Flux-Core Arc Welding (FCAW) & How Does it Work? Weld Guru.
<https://weldguru.com/flux-core-welding/>