

The effect of welding current on the mechanical properties of ST60 steel in the SMAW welding process

Fahrul Rozi, Taufiq*, Abubakar

Pendidikan Vokasional Teknik Mesin, Universitas Malikussaleh

Aceh Utara, Aceh 24301, Indonesia

Corresponding author: taufik3883@unimal.ac.id

Article Processing Dates:

Received 2024-03-11

Accepted 2024-03-23

Available online 2024-03-30

Keywords:

Welding

Welding current

SMAW

E6013

Tensile strength

Abstract

Welding current greatly affects the strength of the material connection so that a study is needed considering the many uses of welding processes in industrial construction. This study aims to determine the effect of welding current on mechanical properties using the SMAW welding process with current variations of 100 A, 110 A and 120 A. The material used is ST60 steel with a thickness of 10 mm, a single V butt joint type with an angle of 70°. From the results of tests that have been carried out on test specimens using current variations, data is obtained that the average stress value of each current variation is, current 100A = 25.49 Kgf / mm², current 110A = 27.23 Kgf / mm² and current 120A = 26.49 Kgf / mm². The average strain value of each current variation is, current 100A = 1.5%, current 110A = 2% and current 120A = 2.16%. The average elastic modulus value of each current variation is, current 100A = 16,360 N/mm², current 110A = 12,554 N/mm² and current 120A = 11,947 N/mm². Based on these data, the optimal current is 120A.

Pengaruh arus pengelasan terhadap sifat mekanik baja ST60 pada proses pengelasan SMAW

Arus pengelasan sangat mempengaruhi kekuatan sambungan material sehingga diperlukan kajian mengingat banyaknya penggunaan proses las pada konstruksi industri. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh arus pengelasan terhadap sifat mekanik dengan menggunakan proses pengelasan SMAW dengan variasi arus 100 A, 110 A dan 120 A. Material yang digunakan baja ST60 dengan ketebalan 10 mm, jenis sambungan tumpul kampuh V tunggal dengan sudut 70°. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada spesimen uji dengan menggunakan variasi arus maka didapat data bahwa nilai tegangan rata-rata tiap variasi arus yaitu, arus 100A= 25,49 Kgf/mm², arus 110A= 27,23 Kgf/mm² dan arus 120A= 26,49 Kgf/mm². Nilai regangan rata-rata tiap variasi arus yaitu, arus 100A= 1,5%, arus 110A= 2% dan arus 120A= 2,16%. Nilai modulus elastisitas rata-rata tiap variasi arus yaitu, arus 100A= 16.360N/mm², arus 110A= 12.554 N/mm² dan arus 120A= 11.947 N/mm². Berdasarkan data tersebut diperoleh arus optimal yaitu 120A.

Kata Kunci: Pengelasan, arus pengelasan, SMAW, elektroda E6013, kekuatan tarik

1. Pendahuluan

Pertumbuhan pembangunan konstruksi baja atau logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan. Pada konstruksi las secara teknis memerlukan keterampilan yang tinggi bagi pengelanya, agar diperoleh kualitas sambungan yang baik. Sambungan las adalah sambungan antara dua atau lebih permukaan logam dengan cara mengaplikasikan pemanasan lokal pada benda kerja yang disambung. Perkembangan teknologi pengelasan saat ini memberikan alternatif yang luas untuk penyambungan komponen mesin atau struktur[1]. Beberapa komponen mesin atau struktur tertentu sering dapat difabrikasi dengan pengelasan, dengan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan pengecoran atau tempa, tentunya dengan memperhatikan kekuatan dari sambungan tersebut.

Pengelasan adalah suatu proses menyatukan dua buah logam atau lebih menjadi suatu bentuk sambungan dengan

menggunakan proses panas. Panas tersebut diperlukan untuk mencairkan bagian logam yang akan disambung dengan elektroda sebagai bahan tambah atau *filler* [2][3]. Elektroda yang berfungsi sebagai bahan pengisi mencair bersama dengan benda kerja dan setelah dingin akan menjadi satu kesatuan yang sukar dipisahkan dan membentuk paduan logam las atau *weld metal*.

Pengelasan (*welding*) adalah teknik penyambungan logam dengan caramencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan logam *continue* (Siswanto, 2011)[4]. Las SMAW (las busur manual) merupakan suatu proses penyambungan logam dengan menggunakan tenaga listrik sebagai sumber panas dan menggunakan elektroda sebagai bahan tambahnya[5]. Penggunaan teknik pengelasan dalam bidang konstruksi dan mesin sangat luas, meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, sistem perpipaan, otomotif, kereta api dan lain sebagainya.

Sambungan las banyak digunakan dengan pertimbangan bahwa konstruksi ringan, murah dan pengerjaan cepat [6]. Namun begitu kekurangan dari produk sambungan ini sangat tergantung oleh beberapa faktor. Faktor tersebut antara lain juru las, elektroda, kuat arus, dan kecepatan pengelasan.

Faktor arus sangat penting pada pengelasan karena berpengaruh pada hasil pengelasan. Ampere las merupakan salah satu parameter utama dalam pengelasan listrik (Achmadi, 2020)[7]. Penyetelan kuat arus dalam pengelasan sangat berpengaruh terhadap hasil lasan. Ketika arus yang digunakan terlalu rendah maka penyalaan pada ujung elektroda akan sukar, dan menyebabkan ketidak stabilan busur listrik. Serta tidak dapat melelehkan bahan tambah elektroda dan material yang akan di las sehingga hasil pengelasannya tidak sempurna. Sebaliknya ketika arus yang digunakan terlalu tinggi maka bahan tambah elektroda akan cepat mencair mengakibatkan permukaan yang lebar serta penembusan terhadap material yang di las serta dapat mengurangi kekuatan dari material tersebut [8][9].

Menurut Azwinur (2017) dengan penelitian menggunakan material baja karbon rendah (St45). Material diberi perlakuan pengelasan dengan variasi arus yang berbeda. Jenis sambungannya adalah sambungan tumpul kampuh V tunggal dengan sudut 70° . Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil pengujian tarik padaspesimen raw material yang tidak mengalami pengelasan dan spesimen yang mengalami pengelasan bahwa nilai kekuatan tarik yang paling tinggi terdapat pada arus 100 A yaitu sebesar 44.08 kg[4].

Kekuatan hasil lasan dipengaruhi oleh tenaga busur, besar arus, kecepatan pengelasan, besarnya penembusan dan polaritas listrik. Penentuan besarnya arus dalam penyambungan logam menggunakan las busur mempengaruhi efisiensi pekerjaan dan bahan las.

Sebelumnya juga telah dilakukan penelitian tentang pengaruh arus pengelasan terhadap sifat mekanik [10][11][12][7][13]. T. B. Santoso DKK melakukan penelitian tentang pengaruh kuat arus listrik pengelasan terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro las smaw dengan elektroda E7016, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana sifat mekanik dan struktur mikro serta hubungan keduanya hasil pengelasan SMAW dengan variasi kuat arus pengelasan menggunakan elektroda E7016. Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental dan jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Untuk memperoleh hasil tentang analisis besarnya kekuatan tarik dan struktur mikro baja karbon rendah yang telah mengalami pengelasan SMAW dengan variasi kuat arus, data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis deskriptif, yakni menjabarkan perbandingan spesimen yang diberi perlakuan secara berbeda-beda ketika proses pengelasannya. Nilai dari hasil uji kekuatan tarik setiap kelompok di rata-rata kemudian di bandingkan dengan nilai rata-rata uji kelompok yang lain. 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 [12].

Hasil penelitian diperoleh Kekuatan tarik sambungan las raw material 36,711 kgf/mm². nilai kekuatan tarik dengan kuat arus pengelasan 100 Amper mengalami penurunan yaitu 31,863 kgf/mm². Sedangkan dengan kuat

arus pengelasan 125 Amper mengalami kenaikan 40,827 kgf/mm². Pada kuat arus pengelasan 150 Amper mengalami kenaikan 48,503 kgf/mm² 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.

D. Prayitno DKK melakukan penelitian tentang pengaruh kuat arus listrik pengelasan terhadap kekerasan lapisan lasan pada baja astm A316, Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh arus listrik pengelasan terhadap kekerasan lapisan lasan. Metode penelitian dimulai dengan menyiapkan baja tahan karat (ASTM A316) digunakan sebagai material *plug* dan material *stillite* 6 sebagai material penambah yang berupa elektroda berdiameter 3.2 mm. Pengelasan dengan posisi datar dengan variasi arus pengelasan adalah 120 A, 140 A dan 160 A. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa peningkatan arus lasan dari 120 A ke 140 A meningkatkan kekerasan permukaan lasan dari 465 HV menjadi 514.7 HV. Peningkatan arus lasan berikutnya dari 140 A ke 160 A menyebabkan terjadinya penurunan kekerasan permukaan lasan dari 514.7 HV menjadi 423 HV [7].

A. Nugroho melakukan penelitian tentang pengaruh variasi kuat arus pengelasan terhadap kekuatan tarik dan kekerasan sambungan las plate carbon steel ASTM 36, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi arus pengelasan terhadap kuat tarik dan kekerasan pengelasan SMAW dengan elektroda E7016 pada pelat baja karbon ASTM A36 dengan ketebalan 10 mm. Besar variasi penggunaan arus pengelasan yaitu 90 amp, 100 amp, 110 amp dan 120 amp. Penelitian ini dilakukan dengan membuat pengujian spesimen dengan variasi arus pengelasan sebesar 90 ampere, 100 ampere, 110 ampere dan 120 ampere yang selanjutnya pengujian spesimen dilakukan pengujian tarik dan kekerasan untuk mencari informasi pengaruh yang ditimbulkan oleh variasi tersebut. Arus pengelasan terhadap kuat tarik dan kekerasan sambungan las. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tarik (Ultimate Tensile Strength) tertinggi diperoleh pada sampel sebesar 110 ampere dengan nilai – rata-rata UTS sebesar 467,78 MPa diperoleh pada sampel sebesar 120 ampere dengan nilai rata-rata pada wilayah HAZ 191 HV dan pada wilayah Weld metal 228 HV [13].

Berdasarkan latar belakang maka dilakukan penelitian dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi arus pengelasan terhadap sifat mekanik baja ST60 pada proses pengelasan SMAW (*shielded metal arc welding*).

2. Metode Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis penelitian experimental (*true experiment research*). Kajian literatur didapat dari berbagai sumber baik dari buku maupun jurnal yang terkait guna untuk menambah informasi yang diperlukan dalam penelitian.

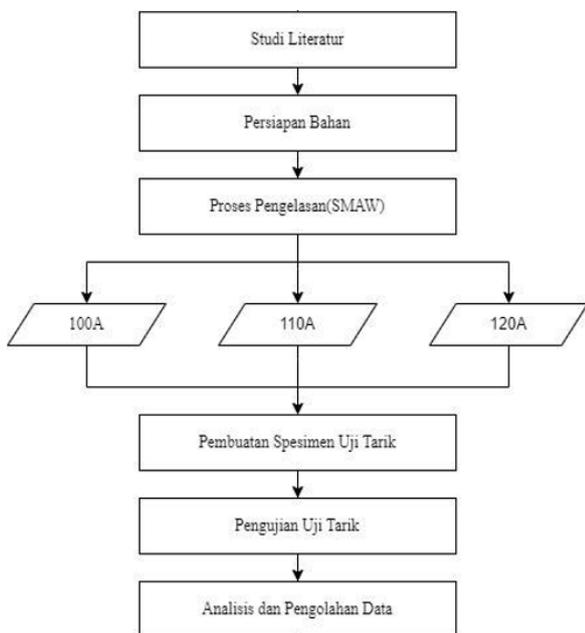
Bahan yang akan digunakan adalah material ST60 yang merupakan jenis baja karbon. Pelat material ST60 adalah salah satu jenis baja struktural yang digunakan dalam berbagai aplikasi teknik dan konstruksi. Penamaan ST60

biasanya merujuk pada standar lama DIN (Deutsches Institut für Normung) dari Jerman. Ketebalan pelat 10 mm.

ST60 umumnya merupakan baja karbon dengan kandungan karbon dan elemen paduan rendah. Komposisi kimia secara umum mengandung karbon (C): 0,30–0,60%, mangan (Mn): 0,50–1,60%, fosfor (P) dan Sulfur (S) dalam jumlah rendah (< 0,05%) untuk menghindari kerapuhan.

Tahapan awal dengan pemotongan specimen ukuran 100x100x10 mm dengan sudut kumpuh V tunggal 70°. Selanjutnya material tersebut dilakukan penyambungan dengan proses las SMAW karena sesuai dengan jenis material. Sedangkan elektroda yang digunakan adalah jenis E 6013 diameter 3,2 mm dengan polaritas DCEP. Polaritas DCEP (*Direct Current Electrode Positive*) pada proses pengelasan SMAW adalah menghasilkan penetrasi yang lebih dalam dibandingkan polaritas lainnya. Hal ini terjadi karena panas yang dihasilkan pada benda kerja lebih besar, sekitar 70% dari total panas pengelasan, sehingga sangat cocok untuk mengelas material dengan ketebalan tinggi atau sambungan yang membutuhkan penetrasi penuh. Pada DCEP, pelelehan elektroda berlangsung secara stabil karena arus listrik mengalir dari benda kerja ke elektroda. Hal ini membantu menghasilkan tetapan logam cair yang konsisten dan mempermudah kontrol selama proses pengelasan. Selain itu, polaritas ini mendukung perpindahan logam cair dari elektroda ke genangan las secara efisien, yang mengurangi percikan (*spatter*) dan membuat hasil lasan lebih halus serta rapi. Variasi arus yang dilakukan adalah 100A, 110A dan 120A. Posisi las 1G

Sistematika penelitian seperti diagram alir penelitian ditunjukkan seperti pada Gambar 1.



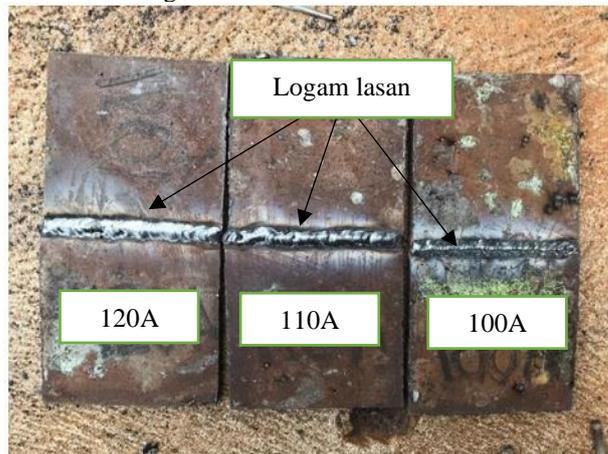
Gambar 1. Diagram alir penelitian

Setelah proses las dilakukan uji tarik untuk mengetahui sifat mekanik hasil pengelasan dan juga untuk mengevaluasi kekuatan sambungan las dalam menahan gaya tarik yang dapat terjadi selama penggunaan. Pengujian ini membantu menentukan apakah sambungan memiliki kekuatan mekanik yang sesuai dengan spesifikasi desain atau standar yang berlaku. Selain itu, uji tarik dapat

mengidentifikasi kelemahan, seperti kurangnya fusi, porositas, atau cacat lain yang mungkin memengaruhi integritas sambungan. Dengan mengetahui nilai kekuatan tarik, dapat dipastikan bahwa hasil las mampu bekerja dengan aman dan andal dalam kondisi operasi yang direncanakan.

3. Hasil dan Pembahasan.

Hasil pengelasan dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2. Pada gambar tersebut memperlihatkan zona pengelasan yang terdiri dari arean terpengaruh panas atau HAZ dan area logam lasan.



Gambar 2. Hasil pengelasan

Gambar 2. menunjukkan hasil pengelasan menggunakan metode SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan variasi arus pengelasan 100A, 110A, dan 120A. Variasi arus ini memengaruhi kualitas dan karakteristik logam lasan yang dihasilkan, seperti penetrasi, lebar, serta tingkat fusi logam. Namun yang paling bagus yaitu arus 120A karena lebih stabil digunakan dalam proses pengerjaan pengelasan SMAW. Pengelasan dengan arus 120A pencairan busur las atau elektroda lebih mudah, penyalaan lebih stabil, penembusan lebih dalam, sedangkan dengan arus 110A hasil lasan yang kurang bagus karna penyalaan busur tidak stabil pencairan logam isi tidak sempurna dan penembusan yang sedikit dangkal, dan pengelasan dengan arus 100A hasil lasan yang kurang merata dengan pencairan busur lambat dan penembusan yang dangkal terdapat beberapa terak terperangkap dan cacat las undercut serta penyalaan busur yang sukar.

Selanjutnya dilakukan uji Tarik seperti pada specimen hasil uji tarik arus 100A dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil penelitian uji tarik variasi arus 100A

Spesimen hasil penelitian uji tarik variasi arus 110A dapat dilihat pada Gambar 4.



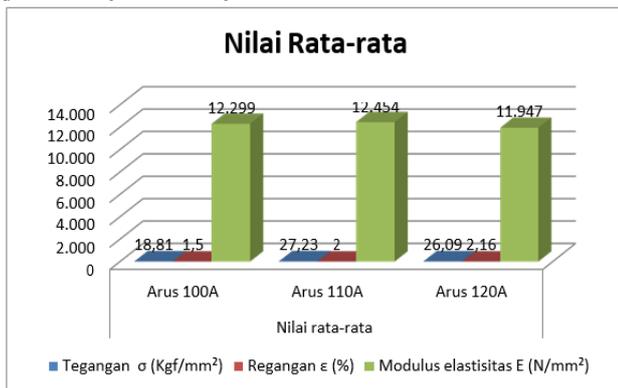
Gambar 4. Hasil penelitian uji tarik variasi arus 100A

Spesimen hasil penelitian uji tarik variasi arus 120A dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil penelitian uji tarik variasi arus 120A

Berdasarkan hasil uji Tarik bahwa terjadi perpatahan di daerah HAZ sehingga didapatkan data sifat mekanik dari hasil sambungan las SMAW. Selanjutnya data hasil penelitian uji tarik dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram nilai uji perhitungan tarik rata-rata

Gambar 6. menunjukkan hasil uji mekanik pada sambungan las dengan variasi arus pengelasan 100A, 110A, dan 120A, yang mengukur tegangan (σ) dalam Kgf/mm², regangan (ϵ) dalam persen (%), dan modulus elastisitas (E) dalam N/mm². Pada arus 100A, tegangan rata-rata tercatat sebesar 18,81 Kgf/mm², dengan regangan 1,5% dan modulus elastisitas 12.299 N/mm². Meskipun hasil ini menunjukkan kekuatan yang cukup, regangan yang rendah menunjukkan

bahwa sambungan lebih cenderung rapuh dan kurang mampu menahan deformasi.

Pada arus 110A, terjadi peningkatan pada tegangan rata-rata menjadi 27,23 Kgf/mm², dengan regangan 2,0% dan modulus elastisitas mencapai 12.454 N/mm², yang menunjukkan sifat mekanik yang optimal. Hal ini menunjukkan bahwa arus 110A menghasilkan sambungan yang lebih kuat dan ulet, dengan penetrasi yang baik serta kualitas fusi yang lebih baik antara logam dasar dan logam las.

Sementara itu, pada arus 120A, tegangan rata-rata sedikit menurun menjadi 26,09 Kgf/mm², regangan meningkat menjadi 2,16%, dan modulus elastisitas menurun menjadi 11.947 N/mm². Penurunan tegangan ini menunjukkan bahwa peningkatan arus dapat menyebabkan pengaruh negatif terhadap kekuatan sambungan, mungkin karena pertumbuhan butiran yang lebih besar atau struktur mikro yang kurang optimal. Meski begitu, regangan yang lebih tinggi menunjukkan bahwa material menjadi lebih lunak dan mampu menahan deformasi lebih besar sebelum patah.

Secara keseluruhan, arus 110A menghasilkan hasil terbaik, dengan kombinasi tegangan yang tinggi, regangan yang cukup, dan modulus elastisitas yang optimal, yang menunjukkan bahwa sambungan las pada arus ini lebih kuat, ulet, dan stabil secara mekanik.

Lebih lanjut dapat dijelaskan bahwa pada arus yang lebih rendah (100A), panas yang dihasilkan tidak cukup untuk menghasilkan penetrasi yang dalam dan fusi yang sempurna antara logam dasar dan logam pengisi. Hal ini menyebabkan pembentukan sambungan yang lebih lemah dengan mikrostruktur yang kurang homogen, yang membuat sambungan lebih rentan terhadap keretakan atau kegagalan di bawah tegangan. Sebaliknya, pada arus yang lebih tinggi (120A), meskipun penetrasi meningkat, panas berlebihan dapat menyebabkan pembesaran butiran pada zona terpengaruh panas (HAZ). Pembesaran butiran ini dapat mengurangi kekuatan sambungan karena struktur mikro yang lebih kasar dan potensi terjadinya retakan panas.

Pada arus 110A, panas yang dihasilkan berada dalam rentang optimal untuk memberikan penetrasi yang baik tanpa menyebabkan overheating. Fusi yang sempurna antara logam dasar dan logam pengisi terbentuk, menghasilkan sambungan yang kuat dan ulet. Penetrasi yang baik juga memastikan bahwa material dasar dan logam las bersatu secara homogen, yang menghasilkan sambungan yang lebih tahan terhadap tegangan tarik. Pada arus yang lebih rendah atau lebih tinggi, penetrasi yang tidak optimal dapat menurunkan kualitas sambungan.

Pada arus lebih tinggi (120A), HAZ cenderung lebih luas, dan pembentukan butiran yang lebih besar dapat terjadi akibat pemanasan berlebihan. Butiran yang lebih besar ini bisa mengurangi kekuatan mekanik material karena butiran besar cenderung lebih rapuh. Selain itu, perubahan struktural pada HAZ ini memengaruhi ketangguhan dan kekuatan sambungan. Pada arus yang lebih rendah (100A), butiran dalam HAZ lebih halus, tetapi HAZ yang sempit mungkin tidak cukup untuk menghasilkan sambungan yang sangat kuat.

Regangan yang lebih tinggi pada arus 120A menunjukkan bahwa sambungan las lebih mudah mengalami deformasi plastis sebelum gagal, yang disebabkan oleh struktur mikro yang lebih lunak dan pengaruh panas berlebih

yang meningkatkan kelenturan material. Modulus elastisitas yang lebih rendah pada arus ini juga menunjukkan bahwa material menjadi lebih lunak dan lebih mudah mengalami deformasi, meskipun masih memiliki regangan yang lebih besar. Pada arus 110A, regangan dan modulus elastisitas berada dalam rentang yang optimal, menunjukkan keseimbangan antara kekuatan dan ketangguhan.

4. Kesimpulan.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah nilai tegangan rata-rata tiap variasi arus yaitu: arus 100A= 18,81 Kgf/mm², arus 110A= 27,23 Kgf/mm² dan arus 120A= 26,49 Kgf/mm². Nilai regangan rata-rata tiap variasi arus yaitu: arus 100A= 1,5%, arus 110A= 2% dan arus 120A= 2,16%. Nilai modulus elastisitas rata-rata tiap variasi arus yaitu: arus 100A= 12.299 N/mm², 12.554 N/mm² dan arus 120A= 11.947 N/mm². Pengaruh arus yang digunakan pada proses penelitian ini pada pengerjaan pengelasan SMAW dengan tiga variasi arus yaitu arus 100A, 110A, dan 120A. setiap arus yang digunakan memiliki hasil lasan yang berbeda-beda, pada pengerjaan baja st60 dengan tebal material plat 10mm dengan menggunakan kampuh v tunggal. Lasan dengan hasil pengerjaan yang stabil menggunakan arus 110A dari setiap variasi arus yang digunakan. Penyalaan busur yang satabil dan penembusan material yang dalam serta cacat las yang sedikit. Sambungan las yang bagus pada plat baja st60 dengan ketebalan 10mm menggunakan elektroda E6013 dengan diameter kawat inti 3,2 mm menggunakan arus 110A.

References.

- [1] T. Endramawan, E. Haris, F. Dionisius, and Y. Prinka, "Aplikasi Non Destructive Test Penetrant Testing (Ndt-Pt) Untuk Analisis Hasil Pengelasan Smaw 3g Butt Joint," *JTT (Jurnal Teknol. Ter.)*, vol. 3, no. 2, 2017.
- [2] N. M. Suwahyo, "Mengelas dengan las busur listrik manual," *Yogyakarta Insa.*, 2011.
- [3] A. Purwanto, W. Wijoyo, and A. F. Riyadin, "Pengaruh Polaritas Mesin Las pada Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Baja Karbon Rendah," *J. Tek. Indones.*, vol. 2, no. 4, pp. 150–158, 2023.
- [4] 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, pp. 36–41, 2017.
- [5] M. M. Rizwan, E. Prahesta, and D. Supriyatna, "ANALISIS PENGARUH AMPERE TERHADAP DEFECT PENGELASAN PADA MATERIAL ATSM 36," *Sci. J. Ilm. Sains dan Teknol.*, vol. 2, no. 8, pp. 258–263, 2024.
- [6] A. Syukran, "Analisa Perancangan Mesin Prontok Jagung Terhadap Putaran dan Laju Produksi." Universitas Islam Riau, 2017.
- [7] D. Prayitno, H. D. Hutagalung, and D. P. B. Aji, "Pengaruh Kuat Arus Listrik Pengelasan Terhadap Kekerasan Lapisan Lasan pada Baja ASTM A316," *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2018.
- [8] H. Wiryosumarto, "O umura, T., 2004, Teknologi Pengelasan Logam, PT Pradaya Paramita, Ja arta," in *Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M)*, 2018, pp. 47–52.
- [9] A. Hamid, "Analisa pengaruh arus pengelasan SMAW pada material baja karbon rendah terhadap kekuatan material hasil sambungan," *J. Teknol. Elektro*, vol. 7, no. 1, p. 142425, 2016.
- [10] A. Azwinur, A. S. Ismy, R. Nanda, and F. Ferdiansyah, "Pengaruh arus pengelasan SMAW terhadap kekuatan sambungan las double lap joint pada material AISI 1050," *J. Weld. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, 2020.
- [11] R. Y. Pratama, M. Basuki, and E. Pranatal, "Pengaruh variasi arus pengelasan smaw untuk posisi pengelasan 1g pada material baja kapal ss 400 terhadap cacat pengelasan," in *Prosiding Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan (SEMITAN)*, 2020, pp. 203–209.
- [12] 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.
- [13] A. Nugroho, "Pengaruh variasi kuat arus pengelasan terhadap kekuatan tarik dan kekerasan sambungan las plate carbon steel ASTM 36," *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 3, no. 2, pp. 134–142, 2018.
- [14] P. Kah, *Advancements in Intelligent Gas Metal Arc Welding Systems: Fundamentals and Applications*. Elsevier, 2021.
- [15] J. Juwanda, S. Saifuddin, and M. Marzuki, "Analisa pengaruh kuat arus hasil pengelasan GMAW terhadap kekerasan material ASTM A 36," *J. Weld. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 6–11, 2021.
- [16] Z. Özdemir, "Effect of Shallow Cryogenic Heat Treatment on Metal Inert Gas Welding Zone of S 355 J2 Steel," *J. Weld. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–5, 2023.