

STUDY OF THE EFFECT OF WELDING CURRENT VARIATIONS ON JOINT STRENGTH AND MICROSTRUCTURE OF CRACKER LONTONGAN CHOPPER MACHINE

Firman Maulana Rusdi^{1,*}, Hesti Istiqlaliyah¹

¹Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Nusantara PGRI Kediri, Kediri, Jawa Timur, 64112, Indonesia

*E-mail: firmanmaulana221@gmail.com

Diterima: 22-05-2023

Direvisi: 12-11-2023

Disetujui: 01-12-2023

ABSTRAK

Sambungan las pada konstruksi rangka mesin rentan mengalami kegagalan akibat perubahan sifat material yang disebabkan oleh pengaruh panas, serta kemungkinan terjadinya cacat pada sambungan las. Hal ini menjadi krusial terutama pada konstruksi yang mengalami beban dinamis, di mana sambungan las menjadi faktor penentu dalam ketangguhan material. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi struktur mikro, tingkat kekerasan, dan kekuatan tarik dengan menerapkan variasi kuat arus pengelasan pada proses *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Metode penelitian mencakup pendekatan eksperimental dan studi literatur dengan pengamatan yang teliti. Temuan dari penelitian ini meliputi: 1) Kuat arus pengelasan secara signifikan memengaruhi susunan struktur mikro pada setiap spesimen yang diuji. 2) Peningkatan kuat arus pengelasan menghasilkan peningkatan jumlah dan rapatnya struktur perlit pada zona *Heat-Affected Zone* (HAZ). Selain itu, peningkatan kuat arus pengelasan juga berdampak pada peningkatan nilai tingkat kekerasan dan kekuatan tarik. Rata-rata kekuatan tarik berturut-turut meningkat dari arus 90 A, 100 A, hingga 110 A, yakni 320,11 MPa; 345,33 Mpa; 368,6 Mpa. 3) Hasil uji statistik dengan menggunakan Uji F pada uji tarik dan uji kekerasan menunjukkan nilai masing-masing sebesar 0,023 dan 0,040, mengindikasikan adanya perbedaan yang signifikan pada proses pengujian kekerasan dengan penerapan kuat arus 90 A, 100 A, dan 110 A. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pemahaman mendalam terkait pengaruh kuat arus pengelasan terhadap sifat mekanis material, dengan implikasi penting untuk meningkatkan keandalan sambungan las pada konstruksi mesin.

Kata kunci: sambungan las; kuat arus pengelasan; struktur mikro; kekerasan material; kekuatan tarik.

ABSTRACT

Welded joints in machine frame construction are prone to failure due to changes in material properties caused by the influence of heat, as well as the possibility of defects in welded joints. This is especially crucial in constructions subjected to dynamic loads, where the weld joint is a determining factor in the toughness of the material. This study aims to evaluate the microstructure, hardness, and tensile strength by applying variations in welding current in the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) process. The research method included an experimental approach and literature study with careful observation. The findings of this study include: 1) The welding current strength significantly affected the microstructure arrangement of each tested specimen. 2) An increase in welding current resulted in an increase in the number and density of perlit structures in the Heat-Affected Zone (HAZ). In addition, an increase in welding current also resulted in an increase in hardness and tensile strength values. The average tensile strength successively increased from 90 A, 100 A, to 110 A, namely 320.11 MPa; 345.33 Mpa; 368.6 Mpa. 3) The results of statistical tests using the F-test on the tensile and hardness tests showed values of 0.023 and 0.040, respectively, indicating a significant difference in the hardness testing process with the application of current strengths of 90 A, 100 A, and 110 A. This research contributes to

an in-depth understanding of the effect of welding current strength on the mechanical properties of materials, with important implications for improving the reliability of welded joints in machine construction.

Keywords: *welding joints; welding current strength; microstructure; material hardness; tensile strength.*

1. PENDAHULUAN

Kerupuk merupakan makanan yang sering dikonsumsi oleh banyak orang di Indonesia. Kerupuk merupakan jenis makanan kering yang terbuat dari bahan yang mengandung pati [1]. Sebagai suatu produk, kerupuk merupakan bentuk usaha sentra industri rumah tangga yang dapat menumbuhkan nilai perekonomian. Permintaan pasar akan produksi kerupuk juga semakin meningkat seiring dengan bertambahnya daya konsumsi kerupuk di pasaran. Kondisi yang demikian membuat sentra industri berusaha meningkatkan kualitas produknya dengan memperhatikan setiap proses produksi.

Proses pembuatan kerupuk diperlukan beberapa tahapan pengolahan, diantaranya pemotongan. Proses pemotongan di sentra industri UMKM masih menggunakan metode pemotongan manual. Untuk mempermudah dan memperbanyak kuantitas produksi kerupuk maka dibutuhkan rancang bangun mesin yang otomatis. Proses terpenting dalam pembuatan mesin perajang kerupuk otomatis adalah proses penyambungan rangka dengan pengelasan (*welding*) [2]. Prosedur pengelasan terlihat sangat sederhana, tetapi sebenarnya terdapat banyak faktor yang harus diperhatikan pada saat proses pengelasan dilakukan. Perancangan konstruksi rangka dan mesin dengan sambungan las, harus direncanakan pula tentang cara pengelasan, cara pemeriksaan, bahan las dan jenis las yang akan dipergunakan [3].

Aplikasi penggunaan proses pengelasan rancang bangun mesin ada pada rangka mesin. Rangka merupakan komponen yang sangat penting karena berfungsi sebagai penopang utama komponen dan bodi mesin [4]. Proses pengelasan pada bagian rangka menuntut hasil pengelasan secara baik dan memiliki tingkat keamanan (*safety factor*) yang tinggi [5]. Jenis pengelasan yang digunakan dalam proses pembuatan rangka mesin adalah pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Las

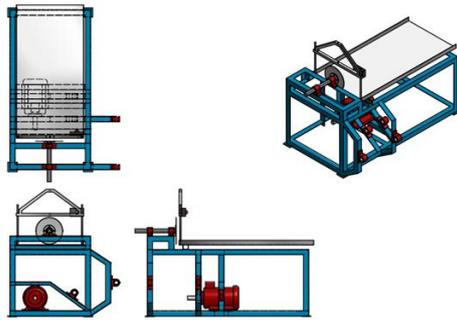
SMAW sendiri merupakan las busur listrik dimana energi panas untuk pengelasan dibangkitkan oleh busur listrik yang terbentuk antara elektroda logam yang terbungkus dan benda kerja [6]. Penggunaan las SMAW memiliki beberapa kelebihan diantaranya yaitu efisiensi, bisa digunakan setiap posisi dan jenis sambungan dan relatif murah, sehingga las SMAW banyak digunakan dalam dunia industri [7].

Sambungan las merupakan bagian yang paling rawan terjadi kegagalan pada konstruksi rangka mesin karena terjadi perubahan sifat material akibat pengaruh panas dan kecenderungan terdapat cacat pengelasan pada sambungan. Konstruksi yang mengalami beban dinamis harus memperhatikan hal tersebut, karena merupakan salah satu faktor penentu dalam ketangguhan material. Penelitian ini diterapkan pada pengaruh variasi kuat arus pengelasan terhadap uji tarik, struktur mikro dan kekerasan dengan metode pengelasan SMAW pada Besi Profil L tebal 3 mm. Sehingga akan didapatkan nilai paling optimum dari hasil masing-masing pengujian tersebut.

1.1. Mesin Perajang Lontongan Kerupuk

Alat perajang lontongan kerupuk adalah suatu alat tepat guna yang dapat mempercepat dan mempermudah proses pemotongan. Pada alat perajang lontongan kerupuk hasil pemotongannya seragam sesuai ukuran kebutuhan [8]. Pengoperasian mesin ini menggunakan mode otomatis sebagai penggerak mesin. Komponen mesin dengan rangka dari besi profil L dan logam baja untuk pisaunya. Prinsip kerja dari mesin ini dimulai dari daya dari motor ditransmisikan melalui *belt* yang dikaitkan pada *pulley*. Pada poros *pulley* tersebut dipasang disc yang dilengkapi mata potong yang berfungsi sebagai pengiris. Untuk sistem pengirisannya menggunakan sistem putaran roda (rotasi), sehingga satu

putaran roda bisa mengiris dengan kecepatan putar roda.



Gambar 1. Mesin Perajang Lontongan Kerupuk

1.2 Las SMAW

Las SMAW yang juga disebut Las Busur Listrik adalah proses pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan material dasar atau logam induk dan elektroda (bahan pengisi) [7]. Panas tersebut dihasilkan oleh lonjakan ion listrik yang terjadi antara katoda dan anoda (ujung elektroda dan permukaan pelat yang akan dilas). Panas yang dihasilkan dari lonjakan ion listrik ini besarnya dapat mencapai 4000 derajat C sampai 4500 derajat C [9]. Sumber tegangan yang digunakan pada pengelasan SMAW ini ada dua macam, yaitu AC (*Alternating Current*) / arus bolak balik dan DC (*Direct Current*) / arus searah. Proses terjadinya pengelasan ini karena adanya kontak antara ujung elektroda dan material dasar sehingga terjadi hubungan pendek, saat terjadi hubungan pendek tersebut tukang las (*welder*) harus menarik elektroda sehingga terbentuk busur listrik yaitu lonjakan ion yang menimbulkan panas [10]. Panas akan mencairkan elektroda dan material dasar sehingga cairan elektrode dan cairan material dasar akan menyatu membentuk logam lasan (*weld metal*). Besarnya arus listrik untuk pengelasan bergantung pada ukuran diameter dan macam-macam elektroda las [11].

1.3 Kuat Arus Pengelasan

Penyetelan kuat arus pengelasan akan mempengaruhi hasil las. Bila kuat arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sukarnya penyalaan busur listrik [12]. Busur

listrik yang terjadi menjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar sehingga hasilnya merupakan rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Sebaliknya bila kuat arus terlalu tinggi maka elektroda akan menair terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan dari hasil pengelasan [13].

1.4 Pengujian Tarik

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu material dengan memberikan beban gaya yang sesumbu [14]. Uji tarik rekayasa banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai pendukung bagi spesifikasi bahan [15]. Benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah secara kontinyu, sehingga benda uji mengalami perpanjangan. Pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami kemudian dilakukan pengukuran untuk memperoleh kurva tegangan regangan rekayasa [16]. Logam pada rentang elastis uji tarik hampir semua berhubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang. Kurva penambahan panjang vs beban mengikuti hukum Hooke yaitu rasio tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) adalah konstan [17].

1.5 Pengujian Kekerasan

Pegujian kekerasan logam hasil pengelasan menggunakan jenis pengujian kekerasan Rockwell. Pengujian Kekerasan Rockwell dimana kekerasan suatu bahan dinilai dari diameter atau diagonal jejak yang dihasilkan maka metode Rockwell merupakan uji kekerasan dengan pembacaan langsung (*direct-reading*) [18]. Metode ini banyak dipakai dalam industri karena pertimbangan praktis. Metode yang paling umum dipakai adalah Rockwell B dengan referensi ASTM E 18 memakai indentor bola baja berdiameter 1/6 inci dan beban 100 kg dan Rockwell C memakai indentor intan dengan beban 150 kg [19]. Sedangkan untuk bahan lunak menggunakan penetrator yang digunakan

adalah bola baja (*ball*) yang kemudian dikenal dengan skala Bdan untuk bahan yang keras penetrator yang digunakan adalah kerucut intan (*cone*) dengan sudut puncak 120° [19]. Pengujian kekerasan Rockwell didasarkan pada kedalaman masuknya penekan benda uji [20]. Nilai kekerasan dapat langsung dibaca setelah beban utama dihilangkan.

1.6. Struktur Mikro

Struktur mikro dan sifat mekanik yang berbeda dari suatu material dipengaruhi oleh proses perlakuan panas dan proses pendinginan yang berbeda [21]. Benda uji harus dipersiapkan dengan baik dalam proses pengujian metalografi. Proses pemotongan tidak boleh membuat cacat awal pada material logam uji. Dimensi atau toleransi spesimen harus tercatat dan penandaan (*marking*) perlu dilakukan untuk mengantisipasi terjadi kekeliruan pada saat pengujian. Struktur mikro akan terlihat berbeda-beda pada mikroskop apabila terdapat perlakuan yang berdeda pada material tersebut [22]. Beberapa struktur mikro yang didapat dari pengujian metalografi material baja, yaitu *ferrite*, *cemmentite*, *pearlite*, *austenite* dan *martensite* [23].

2. METODE PENELITIAN

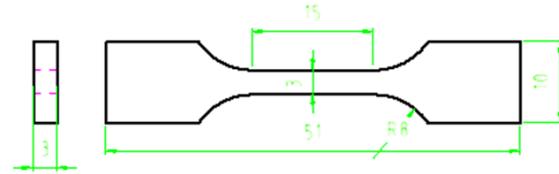
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis Besi Profil L ukuran 50 x 50 mm dengan tebal 3 mm. Setelah itu dilakukan proses pengelasan menggunakan mesin las SMAW.



Gambar 2. Material Hasil Las

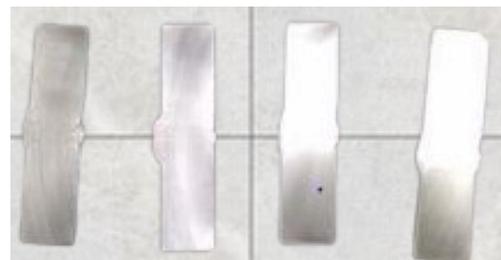
Setelah dilakukan pengelasan material dipotong dan dibentuk spesimen uji tarik, kekerasan dan foto struktur mikro. Untuk uji tarik Spesimen uji tarik untuk material Besi Profil L menggunakan standar JIS Z 2201 pada gambar 3 Pengujian tarik dilakukan dengan

menggunakan Digital Universal Testing Machine. Mesin ini menggunakan sistem hidrolis untuk melakukan proses penarikan pada benda uji.



Gambar 3. Spesimen Uji Tarik

Ukuran spesimen pengujian kekerasan dan foto struktur mikro dapat dilihat pada gambar 4 Pengujian kekerasan menggunakan *Rockwell Hardness Tester*. Penekanan dilakukan dengan jarak 1 mm dari bagian tengah weld metal menuju ke base metal sebanyak 10 titik. Lama penekanan indenter dengan material pada pengujian adalah 5 detik. Proses pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui struktur dari material benda uji dengan mengamati permukaan benda uji dengan mikroskop. Proses pengamplasan benda dilakukan terlebih dahulu sebelum melakukan pengujian. Pengamplasan dilakukan secara bertahap dan harus urut ukuran kertas amplas 100, 180, 400, 600, 800, dan 1000. Permukaan hasil pengamplasan harus rata atau sebidang tanpa ada scratch, kemudian lakukan proses polishing dengan menggunakan autosol. Proses etsa dilakukan setelah polishing, yang bertujuan agar batas butir dan struktur material dapat terlihat. Proses yang terakhir yaitu mengamati benda uji dengan mikroskop hingga mendapatkan struktur mikro yang terlihat jelas di masing-masing *base metal*, *HAZ* dan *weld metal*.



Gambar 4. Spesimen Pengujian Kekerasan dan Foto Struktur Mikro

Dengan melakukan pengujian ini dapat memperoleh data-data yang akan dianalisis secara kuantitatif.

Tahapan penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

a. Pembuatan Spesimen Uji

Pembuatan Spesimen pada penelitian ini dengan menggunakan alat Milling dan gerinda untuk spesimen las dan pengujian material.

b. Proses Pengelasan SMAW

Proses Pengelasan dengan metode SMAW dilakukan dengan menggunakan variasi kuat arus 90, 100, 110 A.

c. Pengujian Material

Pengujian Material dilakukan dengan tiga metode. Pengujian yang pertama yaitu uji metallography untuk mengetahui strukturmikro pada logam. Pengujian yang kedua yaitu uji kekerasan. Pengujian ini menggunakan metode uji kekerasan Rockwell. Pengujian ini akan menghasilkan nilai kekerasan pada suatu material di setiap variasi benda yang di las dengan kuat arus 90 A, 100 A, 110 A.

d. Pengolahan Data

Pada tahapan ini dilakukan untuk menentukan apakah data pengujian memenuhi syarat. Proses pengolahan data menunjukkan data hasil uji kekerasan berupa tabel kekerasan dan grafik kekerasan pada benda uji yang dilas dengan kuat arus 90 A, 100 A, 110 A.

e. Analisa dan Pembahasan

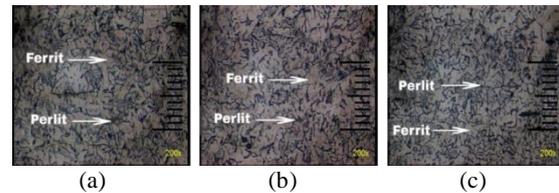
Proses analisa dan pembahasan menjelaskan hasil dari pengolahan data dengan perbandingan data hasil uji kekerasan, tarik, struktur mikro.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Variasi Kuat Arus Pengelasan Terhadap Struktur Mikro

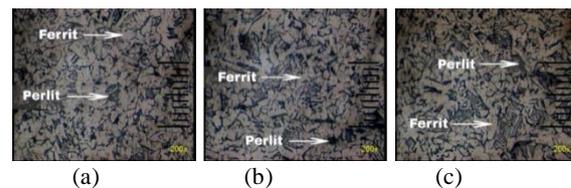
Pada proses Analisa Struktur Mikro dilakukan pengamatan untuk mengetahui bentuk, susunan, dan ukuran butir pada daerah logam induk, HAZ dan logam las. Struktur mikro pada pengelasan ditentukan oleh

beberapa faktor diantaranya yaitu masukan panas, kuat arus, filler dan fluks, kecepatan las dan laju pendinginan.



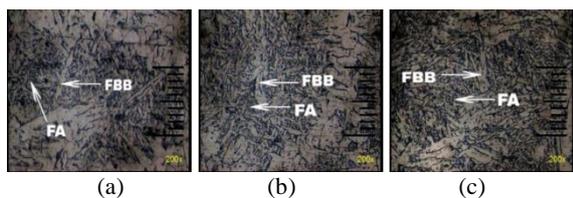
Gambar 4. Foto struktur mikro daerah logam induk (a) Arus 90 A, (b) Arus 100 A, (c) Arus 110 A

Struktur mikro pada daerah logam induk menunjukkan hasil dua jenis struktur mikro, yaitu ferrite dan pearlite. Struktur ferrite yang berwarna putih (terang), sedangkan struktur pearlite yang berwarna hitam (gelap). Foto mikro daerah logam induk untuk seluruh variasi arus pengelasan menunjukkan dominasi struktur ferrite sedangkan struktur pearlite lebih sedikit. Perbedaan jumlah struktur ferrite dan pearlite pada masing-masing arus pengelasan tidak terlalu signifikan. Dominasi struktur ferrite menyebabkan daerah logam induk mempunyai sifat yang lunak dan ulet.



Gambar 5. Foto struktur mikro daerah HAZ (a) Arus 90 A, (b) Arus 100 A, (c) Arus 110 A

Struktur mikro pada daerah HAZ menunjukkan hasil struktur ferrite dan pearlite. Struktur mikro pada daerah HAZ pengelasan arus 90 A menunjukkan peningkatan struktur pearlite dibandingkan pada logam induk. Struktur mikro pada daerah HAZ pengelasan arus 100 A menunjukkan struktur pearlite yang sedikit mengalami peningkatan dari arus sebelumnya. Struktur pearlite pada daerah HAZ pengelasan arus 110 A lebih meningkat dan menyebar dibanding dengan arus 90 A maupun 100 A. Peningkatan jumlah struktur pada daerah HAZ berbanding lurus dengan peningkatan kekerasan pada logam, karena sifat struktur pearlite yaitu kuat dan cukup keras [24].



Gambar 6. Foto struktur mikro daerah Logam Las (a) Arus 90 A, (b) Arus 100 A, (c) Arus 110 A

Pengaruh variasi arus pengelasan terhadap struktur mikro logam las terlihat pada gambar 2. Pengelasan dengan arus 90 A menunjukkan struktur mikro yang terbentuk didominasi oleh ferrite batas butir dan ferrite acicular. Pengelasan dengan arus 100 A terlihat peningkatan struktur ferrite acicular, namun ferrite batas butir juga masih tinggi. Pengelasan dengan arus 110 A menunjukkan jumlah struktur ferrite acicular terlihat lebih banyak. Peningkatan struktur ferrite acicular disebabkan oleh meningkatnya masukan panas (heat input) karena arus pengelasan yang semakin besar.

3.2 Pengaruh Variasi Kuat Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Sambungan

a. Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode Rockwell. Indentor yang digunakan adalah indentor bola berdiameter 1/16" dan beban total 100 kgf dengan skala B untuk pengujian. Pengujian dilakukan pada 10 titik pada setiap variasi pengelasan dengan jarak 1 mm dari tengah weld metal. Hasil pengujian kekerasan disajikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Kekerasan

Titik	Nilai Kekerasan (HRB)		
	Arus 90A	Arus 100A	Arus 110A
1	96	97	99
2	94	95	97
3	93	93	94
4	90	90	91
5	87	88	90
6	85	86	87
7	83	86	89
8	81	83	83
9	81	89	89
10	80	85	85

ANOVA

ujikekerasan					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	187,467	2	93,733	3,636	,040
Within Groups	696,000	27	25,778		
Total	883,467	29			

Hasil uji kekerasan yang terdapat pada tabel 1 menunjukkan nilai kekerasan yang bervariasi. Nilai kekerasan mengalami peningkatan pada logam las karena pengaruh proses pengelasan [25].

Hasil pengujian kekerasan untuk pengelasan dengan variasi arus 90 A, pada 10 titik dari logam las menuju logam induk adalah 96 HRB; 94 HRB; 93 HRB; 90 HRB; 87 HRB; 85 HRB; 83 HRB; 81 HRB; 81 HRB; 80 HRB.

Hasil uji kekerasan untuk pengelasan dengan variasi arus 100 A, pada 10 titik dari logam las menuju logam induk adalah 97 HRB; 95 HRB; 93 HRB; 90 HRB; 88 HRB; 86 HRB; 84 HRB; 83 HRB; 82 HRB; 81 HRB.

Nilai kekerasan pada variasi arus 100 A mengalami peningkatan dari variasi arus 90 A, terutama pada daerah HAZ.

Hasil pengujian kekerasan untuk pengelasan dengan variasi arus 110 A, pada 10 titik dari logam las menuju logam induk adalah 99 HRB; 97 HRB; 94 HRB; 91 HRB; 90 HRB; 87 HRB; 86 HRB; 84 HRB; 82 HRB; 81 HRB.

Nilai kekerasan pada variasi arus 110 A mengalami peningkatan dari variasi sebelumnya, namun tidak terjadi peningkatan secara signifikan terhadap arus 100 A.

Peningkatan kekerasan diakibatkan oleh bertambahnya struktur perlit karena proses pengelasan. Nilai kekerasan berkaitan dengan kekuatan, semakin keras material maka semakin kuat suatu material [12].

Berdasarkan hasil uji hipotesis diketahui nilai sig. yang berada pada kolom “Asymp.Sig. (2-tailed)” sebesar $0,040 < 0,05$, maka dapat disimpulkan Ada perbedaan yang signifikan pada proses pengujian kekerasan dengan kuat arus 90 A, 100 A dan 110 A.

b. Uji Tarik

Pengujian tarik merupakan jenis pengujian dengan melakukan penarikan terhadap suatu bahan sampai bahan tersebut putus atau patah. Kekuatan tarik adalah salah satu sifat mekanik yang sangat penting dan dominan dalam suatu perancangan konstruksi dan proses manufaktur [10]. Setiap material atau bahan memiliki sifat (kekerasan, kelenturan, dan lain lain) yang berbeda-beda. Untuk dapat mengetahui sifat mekanik dari suatu material maka diperlukan suatu pengujian, salah satu pengujian yang paling sering dilakukan yaitu uji tarik (tensile test). Pengujian ini memiliki fungsi untuk mengetahui tingkat kekuatan suatu material dan untuk mengenali karakteristik pada material. Pengujian tarik pada penelitian ini merupakan metode yang digunakan untuk material hasil pengelasan SMAW dengan variasi arus 90 A, 100 A dan 110 A. Data hasil pengujian tarik yang dilakukan pada material hasil pengelasan disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Tarik

Hasil	Kode Spesimen	Variasi Arus Pengelasan		
		90 A	100 A	110 A
Kekuatan Tarik	1	318,00	340,67	387,00
	2	330,33	365,00	353,33
Maksimum (Mpa)	3	312,00	330,33	365,00
Rata-Rata		320,11	345,33	368,44

Hasil uji tarik terhadap spesimen hasil pengelasan pada variasi arus 90 A menunjukkan nilai rata-rata yang paling rendah yaitu 320,11 MPa . Nilai kekuatan tarik yang rendah pada arus 90 A . Hasil kekuatan tarik yang rendah disebabkan oleh cacat hasil pengelasan diakibatkan karena penembusan yang kurang sempurna [26]. Material hasil pengelasan dengan variasi arus 100 A menghasilkan nilai rata-rata 345,33 Mpa. Nilai rata-rata kekuatan tarik tertinggi dihasilkan oleh material hasil pengelasan dengan variasi arus 110 A yaitu 368,44 MPa. Penggunaan arus yang semakin tinggi mengakibatkan penetrasi yang dihasilkan semakin dalam [27]. Penetrasi yang baik membuat hasil pengelasan yang baik juga, sehingga meningkatkan kekuatan tarik dari material. Hasil penelitian menurut Adi Nugraha (2018) menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada sampel 110 A dengan nilai rata – rata sebesar 467,78 Mpa [28].

Berdasarkan hasil uji hipotesis diketahui nilai sig. yang berada pada kolom “Asymp.Sig. (2-tailed)” sebesar $0,023 < 0,05$, maka dapat disimpulkan Ada perbedaan yang signifikan pada proses pengujian tarik dengan kuat arus 90 A, 100 A dan 110 A.

ANOVA

ujitarik					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3506,400	2	1753,200	7,552	,023
Within Groups	1392,916	6	232,153		
Total	4899,316	8			

3.3 Analisa Struktur Mikro

Foto mikro daerah logam induk untuk seluruh variasi arus pengelasan menunjukkan dominasi struktur *ferrite* sedangkan struktur pearlite lebih sedikit. Perbedaan jumlah struktur *ferrite* dan pearlite pada masing-masing arus pengelasan tidak terlalu signifikan. Butir *ferrite* cenderung lebih halus sedangkan butir pearlite lebih kasar. Butir *pearlite* cenderung keras karena mengandung karbon, sedangkan butir *ferrite* cenderung lunak. Dominasi struktur *ferrite* menyebabkan daerah logam induk mempunyai sifat yang lunak dan

ulet. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Winardi (2020) mengatakan bahwa peningkatan jumlah struktur pearlite pada daerah HAZ berbanding lurus dengan peningkatan kekerasan pada logam, karena sifat struktur pearlite yaitu kuat dan cukup keras.

Pada logam las menunjukkan struktur mikro ferit acicular (FA) dan ferit batas butir (FBB). Dalam proses pembentukan struktur mikro, terutama ferit acicular, sangat dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah inklusi. Inklusi adalah partikel halus sebagai akibat dari reaksi oksidasi atau reduksi selama proses pengelasan dan tidak ikut larut dalam logam las cair. Unsur ini dapat membantu terbentuknya struktur ferit acicular. Sedangkan terbentuknya inklusi dipengaruhi oleh beberapa hal antar lain komposisi logam induk, elektroda las, gas, udara, atau fluks yang digunakan. Peningkatan struktur FA disebabkan oleh meningkatnya masukan panas (heat input) karena arus pengelasan yang semakin besar. Hasil demikian sesuai dengan penelitian Azis (2019) bahwa struktur ferit acicular inilah yang diharapkan dari setiap pengelasan, karena struktur ini sebagai interlocking structure yang mampu menghambat laju perambatan retak.

a. Uji Kekerasan

Nilai kekerasan pada kuat arus 90 A, 100 A, 110 A mengalami peningkatan seiring dengan semakin tingginya arus yang digunakan. Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada titik 1-3 (logam las) dengan arus 110 A yaitu 99 HRB; 97 HRB; 94 HRB. Menurut Saefuloh (2019) mengatakan bahwa peningkatan kekerasan diakibatkan oleh bertambahnya struktur perlit karena proses pengelasan. Demikian juga kuat arus mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil lasan semakin tinggi kuat arus yang diberikan semakin tinggi nilai pula kekuatan tarik dan kekerasan yang dihasilkan. Hasil demikian sesuai dengan penelitian Nugroho (2018) bahwa hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada sampel 120 A dengan nilai rata – rata di wilayah HAZ 191 HV.

Berdasarkan hasil uji hipotesis diketahui nilai sig. yang berada pada kolom “Asymp.Sig. (2-

tailed)” sebesar $0,040 < 0,05$, maka dapat disimpulkan Ada perbedaan yang signifikan pada proses pengujian kekerasan dengan kuat arus 90 A, 100 A dan 110 A. Hal ini sesuai dengan penelitian Pradana (2018) bahwa hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat arus las SMAW 65 A, 80 A dan 100 A mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekuatan tarik dan kekerasan. Pengujian kekerasan hasil yang paling optimal adalah arus 100 A dengan harga impact 0,102 J/mm² dan hasil paling rendah adalah arus 65 A dengan harga impact 0,058 J/mm².

b. Uji Tarik

Hasil pengujian tarik dengan variasi 90 A, 100 A, dan 110 A mengalami peningkatan. Nilai kekuatan tarik pada arus 90 A merupakan kuat arus yang paling rendah disebabkan oleh cacat hasil pengelasan diakibatkan karena penembusan yang kurang sempurna. Penggunaan arus yang semakin tinggi yaitu 110 A mengakibatkan penetrasi yang dihasilkan semakin dalam. Penetrasi yang baik membuat hasil pengelasan yang baik juga, sehingga meningkatkan kekuatan tarik dari material. Hasil penelitian menurut Nugroho (2018) menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada sampel 110 A dengan nilai rata – rata sebesar 467,78 Mpa.

Menurut Probawati & Yuliana (2022) mengatakan bahwa 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. Dengan demikian material amat mudah patah, sehingga energi yang dibutuhkan untuk menarik dan mematahkannya sangat kecil pula. Selanjutnya menurut Marthiana et al., (2020) mengatakan bertambahnya kuat arus pengelasan, maka ukuran butir makin membesar sehingga jaraknya semakin dekat dan ikatannya menguat serta kekuatan tarik dan ketangguhannya meningkat, namun masih getas. 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 diperkuat kembali oleh Furkan (2020) mengatakan bahwa jika lewat dari titik ini, maka energi akan menurun karena adanya deformasi.

Berdasarkan hasil uji hipotesis diketahui nilai sig. yang berada pada kolom “Asymp.Sig. (2-tailed)” sebesar $0,023 < 0,05$, maka dapat disimpulkan Ada perbedaan yang signifikan pada proses pengujian tarik dengan kuat arus 90 A, 100 A dan 110 A. Hal demikian sesuai dengan hasil penelitian Rahim Alfri (2020) Hasil pengujian tarik yang paling optimal adalah pada arus 110 A dengan nilai rata-rata $16,9 \text{ kg} / \text{mm}^2$. Dari variasi arus 90 A, 100 A dan 110 A dapat disimpulkan bahwa arus yang optimum adalah pada 110 A dengan semakin bertambahnya kuat arus maka kekuatan sambungan las semakin tinggi.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa struktur mikro daerah logam induk pada seluruh variasi arus pengelasan didominasi oleh struktur *ferrite*, dengan struktur pearlite yang lebih sedikit. Dominasi struktur *ferrite* menghasilkan sifat daerah logam induk yang lunak dan ulet. Pada daerah HAZ pengelasan dengan arus 100 A, terdapat peningkatan jumlah struktur pearlite, yang berbanding lurus dengan peningkatan kekerasan logam, menunjukkan sifat yang lebih kuat dan keras. Selanjutnya, pengelasan dengan arus 110 A menunjukkan peningkatan struktur *Ferrite Acicular* (FA), yang berperan sebagai interlocking structure yang mampu menghambat laju perambatan retak.

Dalam uji kekerasan, variasi arus 100 A mengalami peningkatan kekerasan dibandingkan dengan arus 90 A, terutama pada daerah HAZ. Meskipun arus 110 A menunjukkan peningkatan kekerasan, namun tidak signifikan dibandingkan dengan arus 100 A. Kekerasan tertinggi tercatat pada titik 1-3 (logam las) dengan arus 110 A mencapai 99 HRB, 97 HRB, dan 94 HRB. Analisis hipotesis menunjukkan perbedaan yang signifikan pada proses pengujian kekerasan dengan kuat arus 90 A, 100 A, dan 110 A.

Pada uji tarik, hasil menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi dihasilkan oleh material pengelasan dengan variasi arus 110 A, mencapai 368,44 MPa, sementara variasi arus 90 A memiliki nilai rata-rata terendah, yaitu 320,11 MPa. Hasil uji hipotesis juga memperkuat bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada proses pengujian tarik dengan kuat arus 90 A, 100 A, dan 110 A. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa variasi arus pengelasan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap struktur mikro, kekerasan, dan kekuatan tarik dari material hasil pengelasan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Toja and N. A. Hidayah, “Gambaran Pewarna Rhodamin B Pada Kerupuk Basah Di Pasar Pangkalan Bun,” *J. Borneo Cendekia*, vol. 6, no. 1, pp. 10–15, 2022.
- [2] D. Wardianto, H. Hafni, and M. H. Perkasa, “Pembuatan Dan Pengujian Mesin Perajang Talas,” *J. Teknol. dan Vokasi*, vol. 1, no. 1, pp. 31–37, 2023.
- [3] A. N. Akhmadi and M. T. Qurohman, “Analisa Hasil Pengelasan 2g Dan 3g Dengan Bahan Plat Besi St 40 Ketebalan 10 mm Dan Voltase 20-35 Menggunakan Mesin Las Mig,” *Nozzle J. Mech. Eng.*, vol. 9, no. 2, pp. 25–30, 2020.
- [4] H. Isworo, A. Ghofur, G. Rudi Cahyono, and J. Riadi, “Analisis Displacement pada Chassis Mobil Listrik Wasaka,” *J. Elem.*, vol. 6, no. 2, pp. 94–104, 2019.
- [5] A. I. E. Simanjuntak and N. Sinaga, “Perancangan Jig And Fixture Pengelasan Untuk Mencegah Distorsi Pada Saat Pengelasan Rangka Depan Maung 4x4,” *J. Tek. MESIN*, vol. 9, no. 4, pp. 483–490, 2021.
- [6] A. S. Umartono and A. Latif, “Analisa Pengaruh Variasi Arus Pengelasan SMAW dengan Elektroda E7018 terhadap Kekuatan Tarik pada Baja JIS G3113,” *Wahana Tek.*, vol. 8, no. 1, pp. 27–48, 2019.
- [7] A. Bakhori, “Perbaikan Metode Pengelasan SMAW (Shield Metal Arc Welding) Pada Industri Kecil di Kota Medan,” *Bul. Utama Tek.*, vol. 13, no. 1, pp. 14–20, 2017.
- [8] C. A. Wijaya, M. E. Sianto, and H. Santosa, “Perancangan ulang alat pemotong kerupuk dengan menggunakan metode TRIZ (Teorija Rezhenija Izobretatelskih Zadach),” *Widya Tek.*, vol. 18, no. 2, pp. 64–70, 2019.
- [9] 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.
- [10] A. Azwinur and M. Muhazir, “Pengaruh jenis elektroda pengelasan SMAW terhadap sifat mekanik material SS400,” *J. Polimesin*, vol. 17, no. 1, pp. 19–25, 2019.
- [11] J. Permana, “Pengaruh Sudut Kerja Pengelasan Terhadap Kekuatan Las Pada Link Engine Hanger Tipe K16,” *Mot. Bakar J. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 1, 2017.
- [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*, vol. 23, no. 1, 2016.
- [13] A. Syahrani, N. Naharuddin, and M. Nur, “Analisis kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro pada pengelasan smaw stainless steel 312 dengan variasi arus listrik,” *J. Mek.*, vol. 9, no. 1, 2018.
- [14] R. D. Salindeho, J. Soukotta, and R. Poeng, “Pemodelan pengujian tarik untuk menganalisis sifat mekanik material,” *J. POROS Tek. MESIN UNSRAT*, vol. 2, no. 2, 2013.
- [15] A. Azwinur, S. Syukran, and H. Hamdani, “Kaji sifat mekanik sambungan las butt weld dan double lap joint pada material baja karbon rendah,” *SINTEK J. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 1, pp. 9–16, 2018.
- [16] A. Mustofa, S. Jokosisworo, and A. W. B. Santosa, “Analisa Kekuatan Tarik, Kekuatan Lentur Putar dan Kekuatan Puntir Baja ST 41 sebagai Bahan Poros Baling-baling Kapal (Propeller Shaft) setelah Proses Quenching,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 6, no. 1, 2018.
- [17] A. Sastranegara, “Mengenal Uji Tarik dan Sifat-sifat Mekanik Logam,” *Situs Inf. Mek. Mater. dan manufaktur*, 2009.
- [18] Y. Rizal, A. Fathoni, and S. Anwar, “Kajian Eksperimental Pengaruh Lama Waktu Tempering Pada Perlakuan Panas Terhadap Sifat Kekerasan Komponen Poros Belakang Sepeda Motor,” *Aptek*, pp. 81–90, 2019.
- [19] A. M. Rahmat, D. A. Rajab, N. Yusuf, and A. Abdulah, “Analisis Material Roller CVT Racing Untuk Peningkatan Performa Sepeda Motor Honda Beat 110cc,” *J. Teknol.*, vol. 12, no. 2, pp. 262–269, 2022.
- [20] G. D. Haryadi, “Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan Struktur Mikro Dan Kekuatan Tarik Pada Baja K-460,” *J. Rotasi UNDIP*, vol. 7, 2005.
- [21] R. Adawiyah and A. Hendrawan, “Pengaruh Perbedaan Media Pendingin Terhadap Strukturmikro Dan Kekerasan Pegas Daun Dalam Proses Hardening,” *Poros Tek.*, vol. 6, no. 2, pp. 96–102, 2014.
- [22] A. Ababil and B. Burmawi, “Analisa Pengaruh Panas (Tempering) Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja Aisi 4140.” Universitas Bung Hatta, 2022.
- [23] D. J. Purnomo, S. Jokosisworo, and U. Budiarto, “Analisa Pengaruh Holding Time Tempering Terhadap Kekerasan, Keuletan, Ketangguhan dan Struktur Mikro Pada Baja ST 70,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 1, 2019.
- [24] Y. Winardi, F. Fadelan, M. Munaji, and W. N. Krisdiantoro, “Pengaruh elektroda pengelasan pada Baja AISI 1045 dan SS 202 terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik,” *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 8, no. 2, pp. 86–93, 2020.
- [25] S. Dharma, S. Suherman, S. Sarjianto, R. Sebayang, and H. B. Kurniyanto, “Pengaruh Kuat Arus terhadap Sifat Mekanis pada Aluminium Al-Si-Fe dengan Filler Er 4043 Metode Pengelasan GTAW,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 17, no. 1, pp. 103–112, 2022.
- [26] H. K. Rahman and S. Sunyoto, “Pengaruh Arus SMAW Terhadap Kekuatan Tarik dan Impak Baja Konstruksi IWF JIS G3101 SS400,” *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 35–45, 2021.
- [27] H. Helanianto, E. Epriyandi, and H. Rahmadi, “Pengaruh Variasi Arus Pengelasan SMAW Terhadap Kekerasan Logam Induk Dan Logam Las,” *Elem. J. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 138–147, 2020.
- [28] 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.