



Pengaruh Variasi Arus Pengelasan SMAW Terhadap Kekuatan Tarik Dan Bending Baja ST 37 Dengan Elektroda E7016

Moch Iqbal Hakiki¹, Agus Sulistiawan², dan Mohammad Anshori³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nahdlatul Ulama Sunan Giri

¹mochiqbalhakiki@gmail.com

Abstract

Paddock is an optional component used to support a motorcycle in a stable position when not in use. However, paddocks made from low carbon steel such as ST 37 are still at risk of structural failure, such as cracking or bending, due to suboptimal weld joint quality. This study aims to determine the maximum tensile and bending strength of welded joints on ST 37 steel for paddock applications. An experimental method was used to analyze the effect of varying SMAW welding currents on the tensile and bending strength of welded joints on ST 37 steel. The study employed welding currents of 90 A, 100 A, and 110 A, using E7016 electrodes with a diameter of 3.2 mm, V-groove type welds at 60°, butt joint type, 1G welding position, tensile testing based on ASTM E8, microstructure observation, and bending testing according to ASTM E290 standards. Statistical analysis using One Way ANOVA and Tukey HSD test confirmed significant differences among the current variations. The results showed that the welding current variation significantly affected both tensile and bending strength. The highest tensile strength was obtained at 110 A with an average stress of 433.59 N/mm², strain of 25%, and modulus of elasticity of 1770.08 N/mm². The 110 A current produced the best microstructure with dominant and evenly distributed acicular ferrite, finer grain size, and optimal metal fusion. This structure enhanced mechanical strength, resulting in ductile fracture characteristics. The highest bending strength was also achieved at 110 A, with an average value of 1657.75 N/mm².

Keywords: Current variation, ST 37 steel, tensile strength, Microstructure, bending strength,

Abstrak

Paddock merupakan komponen opsional yang digunakan untuk menopang sepeda motor agar tetap stabil saat tidak digunakan. Namun, *paddock* yang terbuat dari baja karbon rendah seperti ST 37 masih berisiko mengalami kegagalan struktural, seperti patah atau bengkok, akibat kualitas sambungan las yang kurang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dan bending maksimal sambungan las baja ST 37 untuk aplikasi *paddock*. Metode eksperimen untuk menganalisis pengaruh variasi arus pengelasan SMAW terhadap kekuatan tarik dan bending sambungan las pada baja ST 37. Penelitian menggunakan variasi arus 90 A, 100 A, dan 110 A, dengan elektroda E7016 berdiameter 3,2 mm, kampuh tipe V 60°, jenis sambungan butt joint, posisi pengelasan 1G, pengujian tarik standar ASTM E8, struktur mikro dan pengujian bending standar ASTM E290. Analisis statistik menggunakan *One Way ANOVA* dan uji *Tukey HSD* mengonfirmasi perbedaan signifikan antar variasi arus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi arus berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik dan bending. Kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada arus 110 A dengan nilai rata-rata tegangan 433,59 N/mm, regangan 25% dan modulus elastisitasnya 1770,08 N/mm². Arus 110 A menghasilkan struktur mikro terbaik dengan distribusi *acicular ferrite* yang dominan dan merata, ukuran butir yang lebih halus, serta fusi logam yang optimal struktur ini meningkatkan kekuatan mekanik yang menghasilkan patahan ulet, sedangkan kekuatan bending tertinggi juga dicapai pada arus 110 A dengan nilai rata-rata 1657,75 N/mm².

Kata kunci: Variasi arus, baja ST 37, kekuatan tarik, struktur mikro, kekuatan bending.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi manufaktur dan otomotif menuntut penggunaan material logam yang tidak hanya ekonomis, tetapi juga memiliki kekuatan dan kemudahan fabrikasi yang baik. Salah satu material yang banyak digunakan dalam konstruksi ringan,

otomotif, dan industri manufaktur adalah baja karbon rendah tipe ST 37. Material ini dipilih karena memiliki kekuatan tarik yang cukup, mudah dibentuk dan dilas, serta tersedia secara luas dengan harga yang relatif murah [1].

Baja karbon rendah ST 37 adalah salah satu jenis baja struktural yang banyak diaplikasikan di berbagai bidang industri seperti otomotif, konstruksi, dan manufaktur. Karena kadar karbonnya rendah kurang dari 0,3% baja ini termasuk baja yang tidak terlalu keras, sehingga sering disebut sebagai baja lunak atau baja perkakas ringan. Singkatan 'ST' berasal dari kata 'Steel', sementara angka '37' menunjukkan nilai kekuatan tarik minimumnya, yaitu sekitar 37 kg/mm² atau setara dengan 360 hingga 370 N/mm²[2].

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) merupakan salah satu metode pengelasan yang paling umum digunakan karena peralatannya sederhana dan biaya operasionalnya rendah [3]. Namun demikian, kualitas hasil pengelasan sangat dipengaruhi oleh parameter proses, khususnya besar arus pengelasan dan jenis elektroda yang digunakan. Salah satu permasalahan umum yang ditemukan di lapangan adalah kegagalan sambungan las, seperti patah atau bengkok, akibat penggunaan arus yang tidak sesuai atau pemilihan elektroda yang kurang tepat [4].

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa variasi arus pengelasan berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik dan bending pada sambungan las baja karbon rendah. Sebagai contoh, penggunaan elektroda E6013 pada arus optimal menghasilkan kekuatan tarik sebesar 384,27 N/mm² dan kekuatan bending sebesar 1383,02 N/mm² [5]. Namun, elektroda E6013 memiliki keterbatasan dari segi penetrasi dan ketahanan terhadap cacat las. Oleh karena itu, diperlukan pengujian lebih lanjut dengan elektroda tipe E7016 yang memiliki keunggulan berupa penetrasi lebih dalam dan lapisan fluks rendah hidrogen, yang mampu meminimalkan risiko porositas dan retak panas [6].

Berdasarkan konteks yang telah disajikan dan dari uraian latar belakang, penelitian ini memilih judul "Pengaruh Variasi Arus Pengelasan SMAW Terhadap Kekuatan Tarik Dan Bending Baja ST 37 Dengan Elektroda E7016".

2. Metode Penelitian

Metode yang dipakai pada proses ini yakni melalui pendekatan penelitian eksperimen. Sejumlah model arus las dilakukan pada baja ST 37 kemudian dibuat spesimen sesuai standart ASTM E8 untuk pengujian tarik dan ASTM E290 untuk uji bending.

Di lain itu juga diterapkan model uji tarik dan tekuk. Pengujian eksperimen dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi arus pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) 90 A, 100 A dan 110 A pada tarikan serta kekuatan tekuk terhadap baja ST 37.

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

- Waktu Penelitian

Penelitian tentang pengaruh variasi arus pengelasan SMAW pada sambungan baja ST 37 terhadap

kekuatan tarik dan bending dengan menggunakan metode eksperimental dilakukan pada tanggal 25 april 2025 hingga 4 juni 2025.

- Tempat Penelitian

Tempat penelitian ini dilaksanakan Laboratorium pengujian bahan POLINEMA.

- Objek Penelitian

Penelitian ini menggunakan objek baja ST 37 dengan dilakukan perlakuan pengelasan SMAW dengan elektroda E7016 diameter 3,2 mm.

2.2 Variabel penelitian

- Variabel Bebas (*Independent*)

Variabel *independen* adalah variabel yang mempengaruhi atau menjadi penyebab terjadinya perubahan pada variabel dependen [7]. Dalam penelitian ini, variabel independen yang digunakan adalah parameter pengelasan, yaitu kuat arus.

- Variabel Terikat (*dependent*)

Variabel *dependen* adalah variabel yang dipengaruhi atau merupakan hasil dari variabel independen [7]. Dalam penelitian ini, variabel dependen adalah kekuatan tarik dan kekuatan bending pada sambungan las baja ST 37. Kekuatan pengelasan diuji melalui perlakuan tarik dan uji bending.

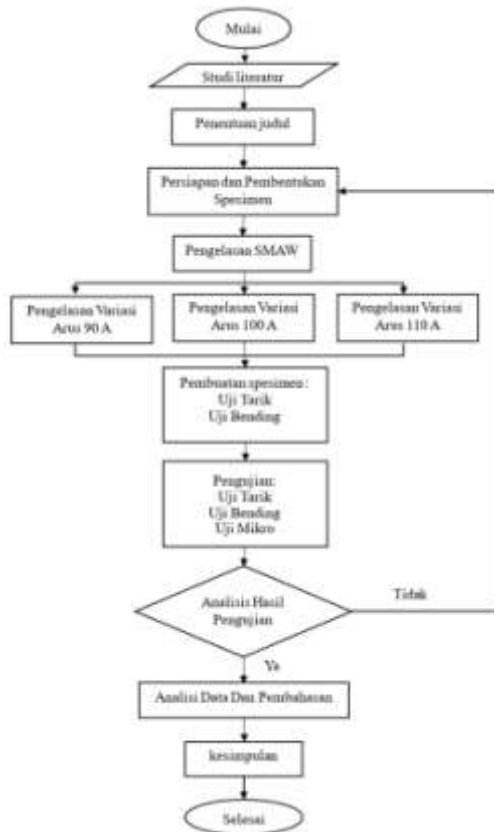
- Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dipertahankan konstan untuk memastikan bahwa pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen tidak dipengaruhi oleh faktor eksternal yang tidak diteliti. Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Material baja ST 37
2. Ketebalan baja ST 37
3. Jenis pengelasan SMAW
4. Jenis elektroda E7016
5. Posisi pengelasan yang digunakan adalah posisi dibawah tangan atau 1G dan kampuh las V 60°

2.3 Rancangan Penelitian

Penelitian disusun secara sistematis dalam bentuk diagram alir dalam pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

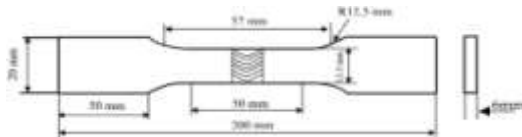
2.4 Pengelasan dan Variasi Penelitian

Pada variasi penelitian, disini peneliti memvariasikan arus pengelasan yaitu 90, 100 dan 110 ampere dan elektroda E7016 diameter 3,2 mm dengan polaritas DCEP pada plat baja ST 37 dengan ketebalan 6mm. Proses pengelasan SMAW Tahap las dilaksanakan melalui mesin las yang sama, tukang las yang sama, dan posisi pengelasan yang sama yaitu 1G.

2.5 Pembuatan Spesimen

- Spesimen uji Tarik

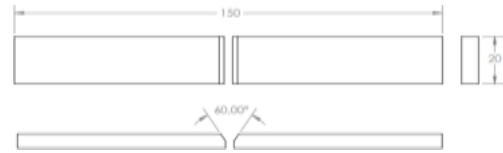
Pembentukan dibuat sesuai dengan standar yang direkomendasikan AWS D1.1/D1.1M: *Structural Welding code – Steel* yaitu ASTM E8/EM8 (*Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*) [8]. Spesimen dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Spesimen Uji Tarik standar ASTM E-8

- Spesimen Uji Bending

Pembentukan dibuat sesuai dengan standar yang direkomendasikan AWS D1.1/D1.1M: *Structural Welding code – Steel* yaitu ASTM E290 (*Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility*) [9]. Spesimen dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Speseimen Uji Bending ASTM E290

2.6 Teknik Analisis Data

Informasi tentang hasil tes dihitung untuk mendapatkan hasil rata-rata. Tes signifikansi perbedaan hasil tes di atas, dihitung dengan menggunakan metode analisis varian tunggal (*One Way Analysis Of Variance*)

3. Hasil dan Pembahasan

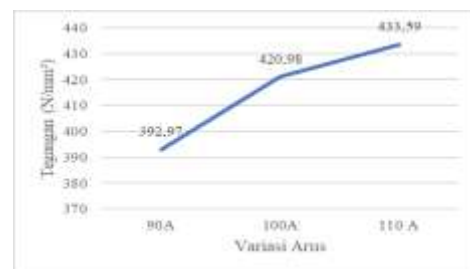
3.1. Hasil Uji Tarik

Hasil perhitungan yang dilakukan dengan metode serupa pada masing-masing spesimen disajikan dalam table 1.

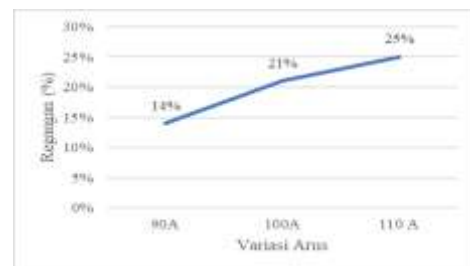
Tabel 1. Hasil kekuatan uji tarik

Arus Pengelasan	Luas Penampang (A=bxd) (mm ²)	Tegangan Tarik (N/mm ²)	Hasil Regangan ε (%)	E (N/mm ²)
90 A	1 75	392,64	12	3271,96
	2 75	393,29	16	2458,06
	3 75	392,98	14	2806,97
Rata-rata		392,97	14	2845,66
100 A	1 75	424,16	20	2120,79
	2 75	431,09	26	1658,04
	3 75	407,68	18	2264,87
Rata-rata		420,89	21	2014,57
110 A	1 75	420,42	22	1910,99
	2 75	428,55	24	1785,64
	3 75	451,81	28	1613,60
Rata-rata		433,59	25	1770,08

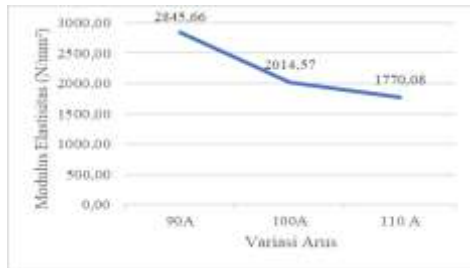
Nilai rata-rata kekuatan bending yang tercantum pada Tabel 1 kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik sebagaimana ditampilkan pada gambar 4,5 dan 6.



Gambar 4. Grafik Rata-Rata Tegangan Tarik

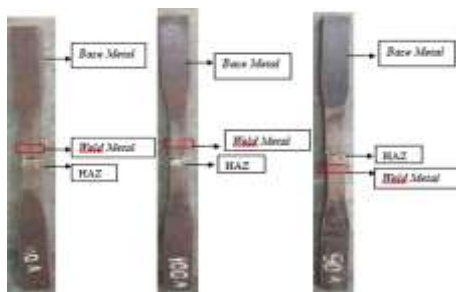


Gambar 5. Grafik Rata-rata Regangan Tarik



Gambar 6. Grafik Rata-rata Modulus Elastisitas

Berdasarkan Tabel 1 kekuatan tarik pada baja ST 37 yang dilas menggunakan elektroda E7016 dengan variasi arus 90 A, 100 A, dan 110 A menunjukkan bahwa nilai tertinggi sebesar 451,8 N/mm² diperoleh pada arus 110 A. Sementara itu, pada arus 100 A tercatat nilai sebesar 431,09 N/mm², dan pada arus 90 A nilai kekuatan tarik terendah sebesar 393,29 N/mm². Pada grafik pengujian di atas didapatkan hasil nilai rata-rata yang didapatkan beserta hasil uji tarik dari setiap variasi 90 A, 100 A dan 110 A menunjukkan kenaikan nilai tegangan tarik dari variasi 90 A dengan nilai rata-rata 392,87 N/mm² untuk reganganya 14% dan modulus elastisitasnya 2845,66 N/mm². Nilai tegangan tarik pada variasi 100 A dengan nilai rata-rata 420,98 N/mm² untuk reganganya 21% dan modulus elastisitasnya 2014,57 N/mm². Nilai tegangan tarik pada variasi arus 110 A mengalami peningkatan kekuatan tariknya yaitu 433,59 N/mm² untuk reganganya 25% dan modulus elastisitasnya 1770,08 N/mm². Berikut hasil pengujian tarik variasi arus pengelasan 90 A, 100 A, dan 110 A pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Pengujian Tarik Variasi Arus 90 A,100 A,110 A

Hasil uji tarik material baja ST 37 variasi arus 90 A mengalami patah pada daerah HAZ, variasi arus 100 A mengalami patah pada daerah HAZ, dan variasi arus 110 A mengalami patah pada daerah HAZ. Pengujian tarik setiap variasi rata-rata memiliki daerah patah yang sama. Maka dapat disimpulkan pengelasan antara plat setiap variasinya memiliki sambungan yang baik.

Diketahui hasil dari pengujian tarik dapat dilihat pada Tabel 1 memiliki rata-rata kekuatan tarik yang berbeda-beda. Dari data hasil penelitian variasi arus pengelasan SMAW pada material baja ST 37 nilai tegangan tarik dari variasi 90 A dengan nilai rata-rata 392,87 N/mm² untuk reganganya 14% dan modulus elastisitasnya 2845,66 N/mm². Nilai tegangan tarik pada variasi 100 A dengan nilai rata-rata 420,98 N/mm² untuk reganganya 21% dan modulus

elastisitasnya 580,87 N/mm². Nilai tegangan tarik pada variasi arus 110 A mengalami peningkatan kekuatan tariknya yaitu 433,59 N/mm² untuk reganganya 25% dan modulus elastisitasnya 1770,08 N/mm².

Dapat diketahui dari ketiga variasi arus tersebut nilai tertinggi pengujian tarik dengan arus 110 A. Serta menunjukkan ada pengaruh yang signifikan untuk variasi arus pengelasan 90 A dengan 110 A, akan tetapi untuk arus 100 A dengan 110 A dan arus 90 A dengan 100 A tidak terdapat pengaruh signifikan. Hal tersebut dapat diketahui dari hasil data menggunakan pengujian *One Way ANOVA* menggunakan software SPSS 26 yang dijelaskan pada analisa hasil penelitian kekuatan tarik. Hasil uji dalam penelitian ini menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik cenderung meningkat. Kekuatan tarik akan semakin tinggi seiring dengan meningkatnya arus yang digunakan dalam penelitian. Peningkatan arus pengelasan menghasilkan input panas yang lebih besar. Input panas ini mempengaruhi proses pencairan bahan baku dan logam pengisi [10]. Hal ini sesuai dengan rumus:

$$HI = \eta \frac{E I 60 kJ}{V 1000mm} \quad (1)$$

Keterangan :

HI = Heat Input (kJ/mm)

E = Tegangan Listrik (Volt)

I = Besar arus (Ampere)

η = Efisiensi mesin, untuk SMAW nilainya 0,9

v = Kecepatan (mm/menit)

Dari pernyataan di atas, dapat disimpulkan bahwa semakin besar arus yang digunakan, semakin tinggi pula nilai input panas atau energi panas yang dihasilkan. Hal ini memudahkan proses pencairan antara bahan baku dan logam pengisi. Dengan kata lain, penggunaan arus yang lebih besar akan meningkatkan input panas dan menghasilkan kualitas pengelasan yang lebih baik pada spesimen tersebut[11].

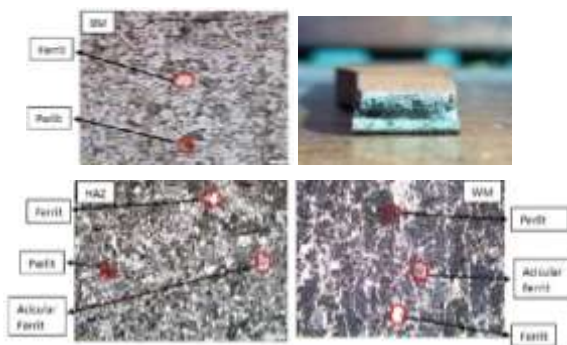
Nilai kekuatan tarik untuk variasi arus 90 A memiliki nilai yang paling rendah karena penyalan busur listrik dan kestabilan busur listrik yang kurang baik. Akibatnya, hasil uji tarik dari variasi arus 90 A menunjukkan nilai yang paling rendah, karena material menjadi lebih mudah patah dan energi yang dibutuhkan untuk menarik material tersebut lebih kecil. Nilai kekuatan tarik untuk variasi arus 100 A lebih tinggi dibandingkan dengan 90 A, namun masih lebih rendah daripada 110 A.

Pada arus tinggi 110 A panas yang dihasilkan dari busur listrik lebih besar, sehingga pencairan logam induk dan elektroda menjadi lebih optimal. Hal ini menghasilkan fusi yang sempurna antara logam induk dan logam pengisi, yang dapat dilihat dari identifikasi struktur las secara mikro, di mana tidak ditemukan *undercut* atau tumpukan las berlebih [12]. Selain itu, pada arus tinggi, kemungkinan terbentuknya porositas

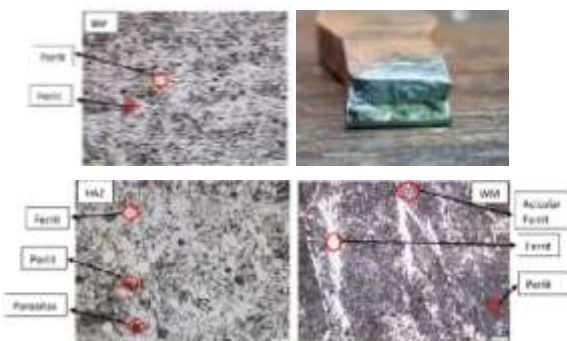
jauh lebih kecil dibandingkan arus rendah. Suhu tinggi membantu pelepasan gas dari lapisan *fluks* lebih sempurna sebelum logam membeku, sehingga rongga udara dalam las berkurang. Porositas yang minimal berarti tidak ada titik lemah yang bisa menjadi awal retakan saat spesimen ditarik, sehingga kekuatan tarik meningkat. Dari sisi ikatan antar partikel, peningkatan *heat input* juga meningkatkan kecepatan difusi atom-atom logam yang mencair. Ini menghasilkan ikatan metalurgi yang lebih kuat antar partikel dan membentuk zona fusi yang lebih padat serta menyatu sempurna. Ikatan yang kuat ini mendukung peningkatan kekuatan tarik pada arus tinggi [13]. Oleh karena itu, variasi arus 110 A menunjukkan nilai kekuatan bending yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi arus 90 A dan 100 A.

3.2. Hasil Struktur Mikro

Pemeriksaan dilakukan menggunakan mikroskop optik pada area logam las, HAZ (*Heat Affected Zone*), dan logam induk, dengan potret gambar pembesaran 20 kali guna membandingkan karakteristik masing-masing zona secara visual dan struktural di lihat pada gambar 9,10 dan 11.



Gambar 8 Struktur mikro sambungan las arus 90 A



Gambar 9 Struktur mikro sambungan las arus 100 A



Gambar 10 Struktur mikro sambungan las arus 110 A

Pengaruh variasi arus terhadap struktur mikro pada sambungan las SMAW baja ST 37 dapat diamati melalui hasil pengamatan mikroskopis terhadap tiga sampel pengelasan dengan arus 90 A, 100 A, dan 110 A. Masing-masing variasi arus menunjukkan perbedaan karakteristik struktur mikro, terutama dalam distribusi dan proporsi fasa-fasa seperti *ferrit*, *perlit*, dan *acicular ferrit*.

Pada arus 90 A, struktur mikro menunjukkan dominasi *ferrit* di area *base metal* (BM) dan *heat affected zone* (HAZ), sedangkan *perlit* lebih banyak ditemukan di daerah *weld metal* (WM). *Acicular ferrit* juga muncul, namun dalam jumlah relatif terbatas. Rendahnya arus menyebabkan input panas yang rendah, sehingga proses fusi logam kurang maksimal. Hal ini berdampak pada ukuran butir yang lebih besar dan kurangnya homogenitas struktur, yang dapat mengurangi kekuatan mekanik hasil lasan. Hal ini menyebabkan hasil lasan rentan terhadap patahan getas, ditandai oleh permukaan patah yang halus dan minim deformasi plastis.

Pada arus 100 A, terjadi peningkatan jumlah *acicular ferrit*, khususnya di WM. *Acicular ferrit* merupakan fasa yang sangat diinginkan karena berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan dan ketangguhan material. Hal ini menandakan bahwa peningkatan arus menghasilkan input panas yang lebih tinggi, mendorong pembentukan struktur mikro yang lebih halus dan kuat. Porositas masih ditemukan namun dalam jumlah sedikit, yang menunjukkan proses pengelasan mulai stabil pada arus ini, menghasilkan patahan semi-ulet.

Pada arus 110 A, *acicular ferrit* lebih banyak terbentuk, terutama di area *weld metal*. Struktur *ferrit* tetap mendominasi di BM dan HAZ, namun distribusi *perlit* dan *acicular ferrit* di WM menjadi lebih seimbang. Input panas yang tinggi menghasilkan daerah leleh yang lebih luas dan pendinginan yang lebih lambat, yang mendorong terbentuknya struktur mikro halus dengan kekuatan lebih tinggi. Ini menunjukkan bahwa arus 110 A merupakan parameter optimal dalam menghasilkan struktur mikro terbaik dari segi kekuatan dan keuletan lasan. Struktur ini meningkatkan kekuatan mekanik dan menghasilkan patahan ulet, yang menunjukkan kemampuan spesimen menyerap energi sebelum terjadi kegagalan.

Secara keseluruhan, peningkatan arus menghasilkan perubahan signifikan pada struktur mikro, khususnya dengan meningkatnya jumlah *acicular ferrit* yang berdampak positif terhadap kekuatan mekanik hasil

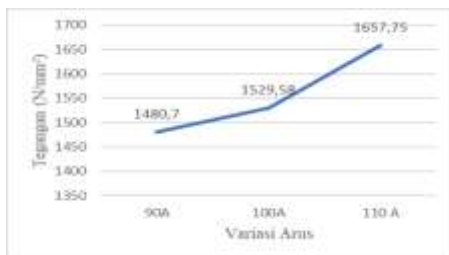
las. Dengan demikian, pengendalian parameter arus sangat penting dalam menghasilkan sambungan las yang optimal, baik dari segi kekuatan tarik maupun sifat mikrostrukturnya.

3.3. Hasil Uji Bending

Hasil pengujian dari masing-masing spesimen dicatat dan ditampilkan dalam Tabel 2 untuk dianalisis lebih lanjut.

Arus Pengelasan	Lebar (b) (mm)	Tebal (d) (mm)	Panjang (L) (mm)	Beban Lengkung Max (P) (Kg)	Tegangan Bending (σb) (N/mm ²)
90 A	1	20	6	150	643,8
	2	20	6	150	612,8
	3	20	6	150	633,4
Rata-rata					1480,7
100 A	1	20	6	150	623,8
	2	20	6	150	652,2
	3	20	6	150	676,4
Rata-rata					1529,58
110 A	1	20	6	150	727,2
	2	20	6	150	726,2
	3	20	6	150	662,4
Rata-rata					1657,75

Nilai rata-rata kekuatan bending yang tercantum pada Tabel 2 kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik sebagaimana ditampilkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Rata-Rata Hasil Pengujian Bending

Merujuk pada Tabel 2 diketahui bahwa kekuatan bending pada baja karbon ST 37 yang dilas menggunakan elektroda E7016 mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya arus pengelasan. Variasi arus 110 A menghasilkan tegangan bending tertinggi sebesar 1714,24 N/mm² dengan rata-rata sebesar 1657,75 N/mm². Sementara itu, pada arus 100 A diperoleh tegangan bending maksimum sebesar 1589,75 N/mm² dan nilai rata-rata sebesar 1529,58 N/mm². Untuk arus 90 A, nilai maksimum tegangan bending tercatat sebesar 1513,13 N/mm² dengan rata-rata 1480,75 N/mm². Berikut hasil pengujian tarik variasi arus pengelasan 90 A, 100 A, dan 110 A dilihat pada gambar 13.



Gambar 12. Hasil Pengujian Bending Variasi Arus 90 A, 100 A, 110A

Dari hasil pengujian bending seperti yang tertera pada Gambar 12 dapat dilihat bahwa pengujian bending tidak ada mengalami retak maupun cacat pengelasan, sehingga dapat dikatakan bahwa pengelasan dilakukan dengan baik, plat baja ST 37 mengalami keuletan sehingga rata-rata bengkok akibat pengelasan berada di daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) itu menandakan bahwa pengelasan dilakukan dengan baik

Diketahui hasil dari pengujian bending dapat dilihat pada Tabel 2 memiliki nilai rata-rata kekuatan bending yang berbeda-beda. Dari data hasil penelitian variasi arus pengelasan SMAW pada material baja ST 37 menggunakan variasi arus 90 A mendapatkan rata-rata pengujian bending sebesar 1480,7 N/mm², variasi arus 100 A mendapatkan nilai rata-rata pengujian bending sebesar 1529,58 N/mm², dan variasi arus 110 A mendapatkan nilai rata-rata pengujian bending sebesar 1657,75 N/mm².

Dapat diketahui dari ketiga variasi arus tersebut nilai tertinggi pengujian bending dengan arus 110 A. Serta menunjukkan ada pengaruh yang signifikan untuk variasi arus pengelasan 90 A dengan 110 A, akan tetapi untuk arus 100 A dengan 110 A dan arus 90 A dengan 100 A tidak terdapat pengaruh signifikan. Hal tersebut dapat diketahui dari hasil data menggunakan pengujian *One Way ANOVA* menggunakan software SPSS 26 yang dijelaskan pada analisa hasil penelitian kekuatan bending.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekuatan bending cenderung meningkat. Semakin tinggi arus yang digunakan dalam penelitian ini, semakin tinggi pula nilai kekuatan bending yang diperoleh. Peningkatan arus pengelasan menghasilkan input panas yang lebih besar, yang berdampak pada kualitas hasil pengelasan. Input panas ini mempengaruhi proses pencairan bahan baku dan logam pengisi [10]. Hal ini sesuai dengan rumus:

$$HI = \eta \frac{E I 60 kJ}{V 1000mm} \quad (1)$$

Keterangan : HI = Heat Input (kJ/mm)

E = Tegangan Listrik (Volt)

I = Besar arus (Ampere)

η = Efisiensi mesin, untuk SMAW nilainya 0,9

v = Kecepatan (mm/menit)

Dari pernyataan atas, terlihat bahwa semakin besar arusnya, semakin tinggi nilai heat input atau energi panas yang dihasilkan. Ini memudahkan proses peleburan antara bahan mentah dan logam pengisi.

Dengan menggunakan arus yang lebih tinggi, heat input juga bertambah, dan hasil pengelasan spesimen menjadi lebih baik[11].

Kekuatan bending pada arus 90 A menunjukkan nilai terendah karena penyalan busur listrik yang tidak stabil. Sehingga, uji bending pada arus 90 A memberikan kekuatan terendah karena material lebih mudah melengkung, membutuhkan energi bending yang lebih rendah. Nilai kekuatan bending pada arus 100 A lebih tinggi daripada arus 90 A, tetapi lebih rendah daripada arus 110 A.

Pada arus tinggi 110 A penetrasi las lebih dalam dan fusi antar logam lebih sempurna, sehingga menghasilkan sambungan yang lebih kuat dan padat. Struktur hasil pengelasan yang padat dan merata ini sangat mendukung spesimen untuk menahan tegangan lentur saat diuji. Faktor porositas kembali menjadi hal penting dalam uji bending [12]. Rongga-rongga gas yang terbentuk akibat porositas pada arus rendah menjadi titik awal terjadinya retakan saat beban lentur diberikan. Karena pada arus 110 A porositas hampir tidak ditemukan, maka tidak ada inisiasi retak yang signifikan, sehingga spesimen mampu menahan beban yang lebih besar. Ikatan antar partikel yang lebih kuat juga berperan dalam mendukung hasil uji bending. Pemanasan yang merata dan fusi sempurna membentuk struktur logam yang lebih homogen dan solid, terutama di daerah HAZ (*Heat Affected Zone*), sehingga kekuatan bending meningkat secara signifikan [13]. Oleh karena itu, variasi arus 110 A menunjukkan nilai kekuatan bending yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi arus 90 A dan 100 A.

4. Kesimpulan Dan Saran

4.1 Kesimpulan

Pada Penelitian yang telah dilaksanakan mulai dari tahap awal hingga tahap akhir menghasilkan data-data pengujian yang telah melalui proses analisis. Berdasarkan hasil tersebut, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil penelitian ini menunjukkan terdapat pengaruh variasi arus pengelasan terhadap nilai kekuatan tarik, pada variasi arus 90 A memperoleh nilai rata-rata kekuatan tegangan tarik 392,97 N/mm², reganganya 14% dan modulus elastisitasnya 2845,66 N/mm². Pada variasi arus 100 A memperoleh nilai rata-rata kekuatan tegangan tarik sebesar 420,98 N/mm², reganganya 21% dan modulus elastisitasnya 2014,57 N/mm². Pada variasi arus 110 A memperoleh nilai rata-rata kekuatan tegangan tarik sebesar 433,59 N/mm², reganganya 25% dan modulus elastisitasnya 1770,08 N/mm². Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi arus yang digunakan terdapat pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik material. Arus 110 A memberikan kekuatan tarik terbaik dibandingkan dengan arus 90 A dan 100 A.

2. Hasil penelitian ini menunjukkan terdapat pengaruh signifikan terhadap struktur mikro sambungan las baja ST 37. Arus rendah 90 A menghasilkan struktur mikro yang didominasi oleh ferrit dan perlit dengan ukuran butir yang relatif kasar dan distribusi tidak merata, serta hanya sedikit terbentuk acicular ferrite, hal ini menyebabkan hasil lasan rentan terhadap patahan getas. Pada arus 100 A, terjadi peningkatan jumlah acicular ferrite di area weld metal, menandakan struktur mikro mulai membaik yang menghasilkan patahan semi-ulet. Arus 110 A menghasilkan struktur mikro terbaik dengan distribusi acicular ferrite yang dominan dan merata, ukuran butir yang lebih halus, serta fusi logam yang optimal yang menghasilkan patahan ulet. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar arus yang digunakan, semakin baik kualitas struktur mikro yang terbentuk, di mana arus 110 A dinilai sebagai arus paling optimal untuk menghasilkan kekuatan dan keuletan material yang tinggi pada sambungan las.
3. Hasil penelitian ini menunjukkan terdapat pengaruh variasi arus pengelasan terhadap nilai kekuatan bending, pada arus 90 A memiliki nilai rata-rata uji bending 1480,7 N/mm², arus 100 A memiliki nilai rata-rata uji bending 1529,58 N/mm² dan arus 110 A memiliki nilai rata-rata uji bending 1657,75 N/mm². Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi arus yang digunakan terdapat pengaruh signifikan terhadap kekuatan bending material. Arus 110 A memberikan kekuatan bending terbaik dibandingkan dengan arus 90 A dan 100 A.

4.2 Saran

Pada penelitian pengaruh variasi arus pengelasan pengelasan SMAW terhadap kekuatan tarik dan bending sambungan las baja ST 37 dengan elektroda E7016 saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut:

1. Pada pengelasan *Paddock* menggunakan baja ST 37 dengan elektroda E7016 disarankan menggunakan arus 110 A agar hasil pengelasan optimal.
2. Pada penelitian selanjutnya disarankan dengan variasi jenis elektroda pengelasan SMAW yang digunakan pada baja karbon rendah serta kampuh, arus, dan ketebalan material yang berbeda sehingga dapat memberikan perbedaan yang signifikan serta melakukan pengujian kekerasan (*hardness test*) dan uji impact

Daftar Rujukan

- [1] Okviyanto, T., Setiawan, D., Nugraha, G., Muliastri, D., 2023. Analisis Struktur Mikro Terhadap Hasil Eksperimental Sambungan Las SMAW Pada Baja Karbon ST-37. *MACHINERY: Jurnal Teknologi Terapan*, 4 (2), pp.82-90.

- [2] Insani, M. N., 2019. *Analisis Struktur Micro Material Baja Karbon Rendah (ST 37) SNI Akibat Proses Bending*. Doctoral dissertation, Universitas Negeri Makassar.
- [3] Wiryosumarto, H., Okumura, T., 2000. *Teknologi pengelasan logam*. 8th ed. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [4] Tarigan, B. S. S., Drastiawati, N. S., 2022. Pengaruh variasi arus pengelasan Shield Metal Arc Welding (SMAW) terhadap kekuatan tarik dan tekuk pada baja ST 37. *Jurnal Teknik Mesin*, 10 (03), pp.119-124.
- [5] Setyo, W., Rendy, A., 2013. Analisis Perbandingan Elektroda E6013 dan E7016 pada Pengelasan SMAW. *Jurnal Rekayasa Material*, 8 (1), pp.14-20.
- [6] Setyo, W., Rendy, A., 2013. Analisis Perbandingan Elektroda E6013 dan E7016 pada Pengelasan SMAW. *Jurnal Rekayasa Material*, 8 (1), pp.14–20.
- [7] Sugiyono., 2017. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- [8] ASTM., 2021. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials (ASTM E8/E8M-21)
- [9] ASTM. (2014). Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility (ASTM E290-14).
- [10] Pramono, T. A., 2014. Pengaruh Kuat Arus Pengelasan dan Jenis Elektroda Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Sambungan Las SMAW (Shielding Metal Arc Welding) Pada Baja ST 37. Sarjana. Malang: Universitas Brawijaya,
- [11] Gumara, R. A., Drastiawati, N. S., 2021. Pengaruh Variasi Arus Listrik Pengelasan Metal Inert Gas (Mig) Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Pada Baja Karbon Astm A36. *Jurnal Teknik Mesin*, 9 (03), pp.65-68.
- [12] Syahrani, A., Sam, A., Chairulnas., 2019. Variasi Arus Terhadap Kekuatan Tarik dan Bending Pada Hasil Pengelasan SM490. *Jurnal Mekanikal*, 4 (2), pp.393-402.
- [13] Raharjo, S., Rubijanto, J. P., 2012. Variasi Arus Listrik Terhadap Sifat Mekanis Sambungan Las Shielding Metal Arc Welding (SMAW). *Jurnal FT UMS*, 1412, 9612.