

PENGARUH ARUS LISTRIK PENGELASAN GMAW TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN *BENDING* SAMBUNGAN LAS PADA MATERIAL BAJA S355J2+N

Muchammad Bagus Setiawan

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: muchammad.20004@mh.unesa.ac.id

Novi Sukma Drastiawati

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: novidrastiawati@unesa.ac.id

Abstrak

Pengelasan yang sering digunakan di industri manufaktur adalah pengelasan GMAW yang disebut juga las busur gas. Seperti pada PT. INKA (Persero) industri pembuatan kereta api. *Bogie* salah satu komponen utama kereta, berfungsi sebagai penopang dasar bodi atau rangka dasar sarana kereta api. Beban yang ditopang kereta bertumpu pada beberapa titik sepanjang rangka *bogie*, besarnya beban tersebut menyebabkan terjadinya tegangan dan defleksi pada bagian sambungan pengelasan. Maka dapat diketahui tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh arus pengelasan GMAW pada penyambungan rangka *bogie* terhadap kekuatan tarik dan *bending* sambungan las setelah mengalami pengelasan. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental. Pada penelitian ini plat baja S355J2+N akan dilas dengan metode GMAW menggunakan arus 200, 220, 240 A posisi pengelasan dibawah tangan (1G) kemudian dilakukan pembentukan spesimen serta dilakukan uji kekuatan tarik menggunakan standar ASTM E8 dan kekuatan *bending* menggunakan standar ASTM E290. Data hasil eksperimen dianalisis dengan metode *one way anova* dan uji-t. Hasil dari penelitian ini ialah terdapat pengaruh signifikan hasil variasi arus pada material baja S355J2+N terhadap kekuatan tarik dan kekuatan *bending*. Nilai kekuatan tarik terbesar pada variasi arus pengelasan 240 A rata-rata sebesar 522,95 MPa. Sedangkan nilai kekuatan tarik terendah pada variasi arus pengelasan 200 A rata-rata sebesar 503,99 MPa. Nilai kekuatan *bending* terbesar pada variasi arus pengelasan 240 A rata-rata sebesar 1789,47 MPa. Sedangkan nilai kekuatan *bending* terendah pada variasi arus pengelasan 200 A rata-rata sebesar 1712,38 MPa.

Kata Kunci: Kuat Arus, Pengelasan GMAW, Kekuatan Tarik, Kekuatan *Bending*, S355J2+N

Abstract

Welding that is often used in the manufacturing industry is GMAW welding which is also called gas arc welding. As in PT. INKA (Persero) railway manufacturing industry. *Bogie* one of the main components of the train, serves as the basic support for the body or frame of the railway facilities. The load supported by the train rests at several points along the *bogie* frame, the amount of the load causes stress and deflection in the welding joint. So it can be known that the purpose of this study is to determine the effect of GMAW welding current on the connection of the *bogie* frame on the tensile strength and bending of the weld joint after welding. This research is an experimental study. In this study, S355J2+N steel plate will be welded using the GMAW method using a current of 200, 220, 240 A, welding position under hand (1G), then specimen formation is carried out and tensile strength tests are carried out using ASTM E8 standards and bending strength using ASTM E290 standards. The experimental data were analyzed by one way anova and t-test methods. The result of this study is that there is a significant influence of current variation results on S355J2+N steel material on tensile strength and bending strength. The greatest tensile strength value at the 240 A welding current variation averaged 522.95 MPa. While the lowest tensile strength value at the 200 A welding current variation averaged 503.99 MPa. The largest value of bending strength at the 240 A welding current variation averaged 1789.47 MPa. While the lowest bending strength value at the 200 A welding current variation averaged 1712.38 MPa.

Keywords: Current Strength, GMAW Welding, Tensile Strength, Bending Strength, S355J2+N

PENDAHULUAN

Dampak modernisasi terlihat pada perkembangan peralatan, baik dalam sektor industri kecil maupun industri besar. Peralatan di suatu industri memiliki keterkaitan yang tidak terhindarkan dengan bahan baku logam, untuk itu bahan baku logam tidak dapat dipisahkan dengan hal penyambungan, guna mendapatkan kekuatan yang maksimal. Ada beberapa Teknik penyambungan yang salah satunya ialah penyambungan las. Penyambungan las adalah teknik penyambungan logam menggunakan energi panas dengan mencairkan sebagian

logam induk dan logam isi dengan tanpa tekanan sehingga menghasilkan sambungan yang *kontinyu* (Wiryosumarto, 2000).

Pada saat ini penggunaan las GMAW sering digunakan pada industri manufaktur salah satunya industri pembuatan kereta api. Kereta ialah sarana perkeretaapian yang ditarik oleh lokomotif untuk mengangkut orang dan memiliki daya angkut yang berbeda-beda. Konstruksi dan komponen utama kereta termasuk rangka dasar, bodi, *bogie*, alat pengereman, dan alat keselamatan (Suria abadi, 2016).

Bogie salah satu komponen utama kereta, berfungsi sebagai penopang dasar bodi atau rangka dasar sarana kereta api. Beban yang ditopang kereta bertumpu pada beberapa titik sepanjang rangka *bogie*, besarnya beban tersebut menyebabkan terjadinya tegangan dan defleksi pada bagian sambungan pengelasan. Adanya pembebanan berlebih dapat membuat rangka *bogie* mengalami patah atau pun bengkok pada bagian sambungan pengelasan. Maka permasalahan yang terjadi pada setiap penyambungan rangka *bogie* adalah seberapa besar kekuatan tarik dan *bending* sambungan las setelah dilakukan pengelasan.

Pada kualitas pengelasan juga dipengaruhi oleh material yang akan dilas maka perlu diperhatikan dalam pemilihan arus yang digunakan agar mendapatkan kekuatan pengelasan maksimum. Banyaknya pengelasan yang mengalami cacat las sehingga perlu dilakukan proses perbaikan. Keberhasilan sambungan las bisa dikatakan berhasil apabila setelah pengelasan tidak ada retak ataupun cacat pada area hasil lasan (Effrianti G., 2021). Arus pengelasan adalah parameter pengelasan yang mempengaruhi kualitas produk dari proses pengelasan baja karbon rendah dengan metode pengelasan GMAW. Pemilihan variasi arus merupakan parameter yang cukup penting untuk menghasilkan kekuatan sambungan las yang sempurna (Dionisius T.D., 2023)

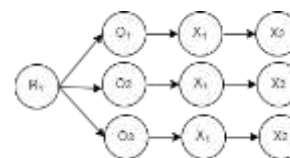
Berdasarkan uraian di atas peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang “Pengaruh Arus Listrik Pengelasan GMAW Terhadap Kekuatan Tarik Dan *Bending* Sambungan Las Pada Material Baja S355J2+N” yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan sambungan las pada material S355J2+N menggunakan metode pengelasan GMAW. Guna mendapatkan hasil arus yang mempunyai kekuatan yang tinggi sehingga dapat diterapkan di dunia industri untuk acuan pengelasan pada material S355J2+N.

METODE

Jenis Penelitian

Metode penelitian yang diterapkan dalam studi ini adalah metode eksperimental. Metode eksperimental adalah suatu prosedur penelitian yang digunakan untuk menyelidiki dan menemukan hubungan sebab-akibat antara variabel independen dan variabel dependen. Metode *eksperimental* yang dilakukan adalah meneliti tentang pengaruh parameter pengelasan yaitu kuat arus 200, 220, 240 Ampere yang digunakan untuk mencari kekuatan pengelasan yang optimal terhadap tensile test dan bending test pada material S355J2+N. Penelitian ini dilakukan dalam kondisi dan peralatan yang sudah disesuaikan.

Desain yang digunakan ialah desain penelitian *pre-eksperimen*, desain penelitian *pre-eksperimen* baik dari satu atau berbagai kelompok variabel dependen diamati untuk dapat menentukan ada atau tidaknya pengaruh penerapan variabel independen yang sebelumnya dianggap mampu atau menyebabkan perubahan.



Gambar 1. Desain Penelitian

Keterangan :

- R₁ = Spesimen
- O₁ = Variasi kuat arus 200
- O₂ = Variasi kuat arus 220
- O₃ = Variasi kuat arus 240
- X₁ = Uji tarik
- X₂ = Uji *bending*

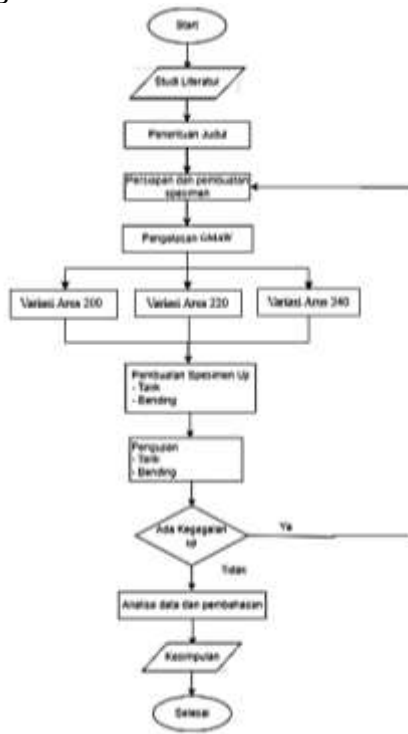
Waktu, Tempat, dan Objek Penelitian

- **Waktu**
Penelitian ini dilakukan padat tanggal 18 Juli 2023 sampai 5 Januari 2024.
- **Tempat**
Tempat dilaksanakannya penelitian ini di PT. Industri Kereta Api (Persero), Laboratorium Perlakuan Bahan Politeknik Negeri Malang dan Laboratorium Metalurgi ITS.
- **Objek**
Penelitian ini menggunakan objek baja S355J2+N dengan dilakukan perlakuan pengelasan GMAW dengan elektroda ER70S-6 diameter 1,2 mm

Variabel Penelitian

- **Variabel Independen**
Variabel independen adalah variabel yang menyebabkan perubahannya variabel dependen (Sugiyono, 2018). Variabel independent pada penelitian ini yaitu parameter pengelasan seperti: kuat arus.
- **Variabel Dependen**
Variabel dependen adalah variabel yang terpengaruh atau yang menjadi hasil, karena adanya variabel independen. Variabel dependen dalam penelitian ini adalah kekuatan pengelasan yang disini peneliti menguji dengan perlakuan tarik dan *bending*.
- **Variabel Kontrol**
Variabel kontrol yang diterapkan dalam penelitian ini mencakup menjaga kestabilan atau konstan faktor-faktor tertentu untuk memastikan bahwa pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen tidak dipengaruhi oleh faktor eksternal yang tidak sedang diteliti.
 - Material baja S355J2+N
 - Jenis pengelasan GMAW
 - Ketebalan plat 12 mm.
 - Posisi pengelasan yang digunakan adalah posisi dibawah tangan atau 1G dan kampuh las V 60°.

Rancangan Penelitian



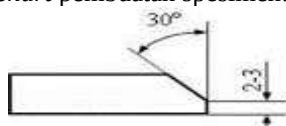
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Pembuatan Spesimen

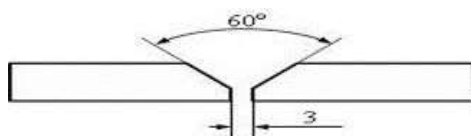


Gambar 3. Diagram Alir Pembuatan Spesimen

Keterangan flowchart pembuatan spesimen:



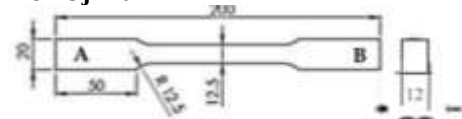
Gambar 4. Sudut Kampuh Las



Gambar 5. Lebar Celah Desain Pengelasan

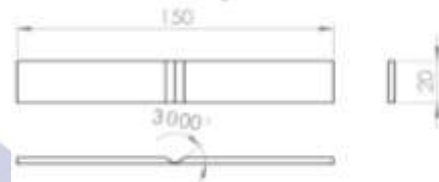
- Memberikan label pada setiap spesimen uji;
- Pembuatan spesimen uji selesai.

• Spesimen Uji Tarik



Gambar 6. Spesimen Uji Tarik ASTM E8

• Spesimen Uji Bending



Gambar 7. Spesimen Uji Bending ASTM E290

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*).

Metode ini dilakukan setelah mengumpulkan data dan akan digambarkan dalam bentuk diagram dan grafik serta dihitung untuk mengetahui seberapa besar pengaruh yang dimiliki masing-masing variabel. Dalam penggunaan *anova* asumsi yang harus terpenuhi adalah objek harus bersifat independent, dan data yang diamati juga harus independen terhadap kelompok. Selanjutnya dilanjutkan pengujian *anova* satu jalur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

• Uji Tarik

Tabel 1. Hasil Uji Tarik

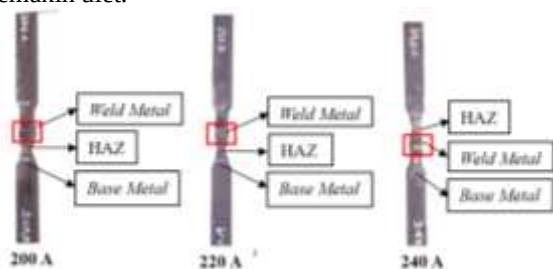
Spesimen	Lebar (b) (mm)	Tebal (d) (mm)	Luas $A_0 = b \cdot d$ (mm ²)	Beban Tarik Max (P) (Kg)	Kekuatan Tarik Max ($\sigma = P/A_0$) (MPa)	Rata-rata Tegangan Tarik Max (MPa)
200 A	1	12,5	12	150	7683,56	501,99
	2	12,5	12	150	7734,54	505,32
	3	12,5	12	150	7699,87	503,05
220 A	1	12,5	12	150	7808,98	510,18
	2	12,5	12	150	7897,70	515,98
	3	12,5	12	150	7780,43	508,32
240 A	1	12,5	12	150	7985,39	521,71
	2	12,5	12	150	8033,32	524,84
	3	12,5	12	150	7994,57	522,31



Gambar 8. Grafik Uji Tarik

Dilihat dari grafik perbandingan nilai rata-rata yang didapatkan beserta hasil uji tarik dari setiap variasi 200 A, 220 A, 240 A memiliki pengaruh terhadap kekuatan tarik bahan. Nilai tarik rata-rata variasi arus 200 A yang diperoleh sebesar 503,99 MPa dengan nilai tarik terbesar ada pada spesimen ke 2 yaitu 505,32 MPa. Nilai tarik rata-rata variasi arus 220 A yang diperoleh sebesar 511,49 MPa dengan nilai tarik terbesar pada spesimen ke 2 yaitu 515,98 MPa. Nilai tarik rata-rata variasi arus 240 A yang diperoleh sebesar 522,95 MPa dengan nilai tarik terbesar ada pada spesimen ke 2 yaitu 524,84 MPa.

Dari hasil data dan diagram diatas dapat ditemukan bahwa semakin tinggi arus pengelasan yang digunakan, maka nilai kekuatan tarik yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Hasil pengelasan yang baik dilihat dari nilai kekuatan tarik besar, karena jika nilai kekuatan tarik semakin besar maka bahan akan semakin ulet.



Gambar 9. Patahan Spesimen Uji Tarik

Diketahui dari hasil uji kekuatan tarik pada table 1. memiliki rata-rata kekuatan tarik yang berbeda-beda. Dari data hasil penelitian variasi arus pengelasan GMAW pada material baja S355J2+N dengan menggunakan variasi arus 200 A mempunyai kekuatan tarik rata-rata 503,45 MPa, variasi arus 220 A memiliki kekuatan tarik rata-rata 511,49 MPa dan variasi arus 240 A memiliki kekuatan tarik rata-rata 522,95 MPa. Dari ketiga arus tersebut dapat dilihat bahwa variasi arus 240 A memiliki nilai kekuatan tarik yang paling besar. Serta pada table 4.7 menunjukkan ada pengaruh signifikan dari variasi arus pengelasan pada kekuatan tarik baja S355J2+N. Hal tersebut dapat diketahui dari hasil data menggunakan pengujian T-test menggunakan software SPSS yang dijelaskan pada analisa hasil penelitian kekuatan tarik.

Berdasarkan hasil uji tarik yang diperoleh, semakin tinggi arus yang digunakan semakin besar nilai kekuatannya. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa peningkatan arus pengelasan mempengaruhi

kekuatan tarik spesimen. Hal ini sejalan dengan apa yang dilakukan oleh Nindia Lestari, dkk (2020) bahwa arus las yang semakin meningkat berbanding lurus dengan nilai kekuatan dan kekerasan karena arus yang besar akan mengeluarkan energi panas yang besar pula. Ini karena semakin besar arus pengelasan, semakin besar *input* panas. *Heat input* sendiri mempengaruhi proses peleburan bahan baku dan logam filler (Teddy, 2014). Ini sesuai dengan rumus:

$$Heat\ Input = \frac{E \cdot I \cdot 60}{V \cdot 1000} \quad (AWS\ D1.1/D1.1M:2020)$$

Keterangan:

Heat Input = Masukan Panas satuan kilojoule per milimeter

E = Tegangan Listrik satuan volt

I = Kuat Arus satuan ampere

V = Kecepatan Pengelasan satuan milimeter per menit

Dari rumusan di atas, dapat dilihat bahwa semakin besar arus, semakin besar nilai *input* panas atau energi panas. Ini juga memudahkan proses peleburan antara bahan baku dan logam pengisi. Jadi dengan penggunaan arus yang lebih besar, semakin besar *input* panas dan semakin baik hasil pengelasan pada baja S355J2+N.

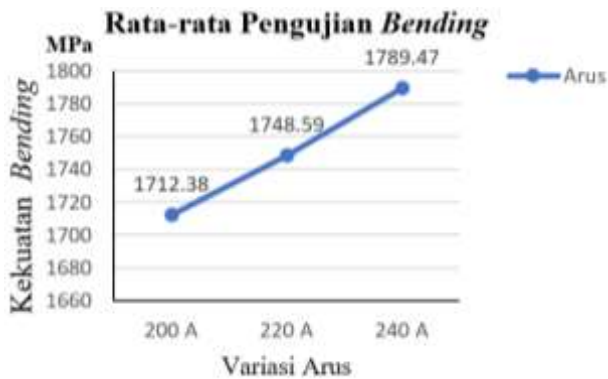
Hasil kekuatan tarik variasi 200A memiliki nilai terendah karena sulitnya pengapian busur listrik yang tidak stabil. Sehingga hasil uji tarik variasi 200A memiliki nilai terendah karena material menjadi lebih mudah pecah dan energi yang dibutuhkan untuk menarik material lebih kecil.

Hasil kekuatan tarik dari variasi arus 220 A memiliki nilai lebih besar dari 200 A lebih kecil dari 240 A, pada arus 220 A pengapian busur listrik lebih bagus dan stabil. Berbeda dengan arus 240 A, menghasilkan percikan busur yang besar dan peleburan kawat elektroda bersama dengan gas pelindung lebih cepat dan lebih stabil. Sehingga kawat elektroda dengan bahan baku dapat meleleh dengan sempurna. Sehingga dapat dilihat bahwa variasi arus 240 A memiliki nilai kuat tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi arus 200 A dan 220 A.

• Uji Bending

Tabel 2. Hasil Uji Bending

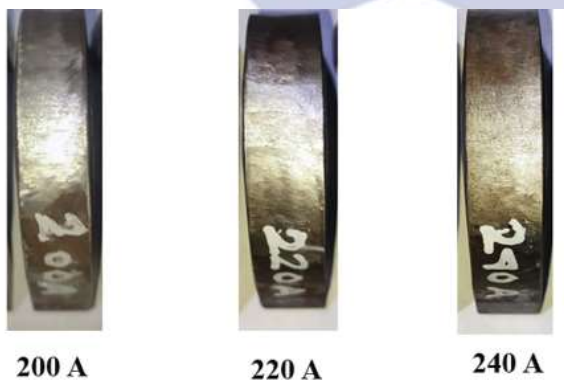
Spesimen	Lebar (b) (mm)	Tebal (d) (mm)	Panjang (l) (mm)	Beban Lengkung Max (F) (Kg)	Tegangan Bending Max (MPa) $\sigma_b = \frac{F \cdot l}{2bd^2}$	Rata-rata Tegangan Bending (MPa)
200 A	1	20	12	160	2083,40	1701,44
	2	20	12	160	2110,60	1723,65
	3	20	12	160	2096,40	1712,06
220 A	1	20	12	160	2148,00	1754,20
	2	20	12	160	2132,00	1741,13
	3	20	12	160	2143,40	1750,44
240 A	1	20	12	160	2190,40	1788,82
	2	20	12	160	2198,80	1795,68
	3	20	12	160	2184,40	1783,92



Gambar 10. Grafik Rata-rata Uji *Bending*

Dilihat hasil perbandingan nilai rata-rata yang didapatkan beserta hasil uji *bending* dari setiap variasi arus pengelasan yaitu 200A, 220A, dan 240A memiliki pengaruh terhadap kekuatan *bending* bahan. Nilai *Bending* rata-rata variasi arus 200 A yang diperoleh sebesar 1712,38 MPa dengan nilai *bending* terbesar pada spesimen ke 2 yaitu 1723,65 MPa. Nilai *bending* rata-rata variasi arus 220 A yang diperoleh sebesar 1748,59 MPa dengan nilai *bending* terbesar pada spesimen ke 1 yaitu 1754,20 MPa. Nilai *bending* rata-rata variasi arus 240 A yang diperoleh adalah 1789,47 MPa dengan nilai *bending* terbesar pada spesimen ke 2 yaitu 1795,68 MPa.

Dari hasil data dan diagram diatas dapat ditemukan bahwa semakin tinggi arus pengelasan yang digunakan, maka nilai kekuatan *bending* yang dihasilkan juga akan semakin tinggi.. Hasil pengelasan yang baik dilihat dari nilai kekuatan *bending* yang besar, karena jika nilai kekuatan *bending* semakin besar maka bahan akan semakin ulet.



Gambar 11. Lengkungan Spesimen Uji *Bending*

Dari hasil pengujian *bending* diatas dapat dilihat bahwa pengujian *bending* tidak ada mengalami patah maupun cacat pengelasan, sehingga dapat dikatakan bahwa pengelasan dilakukan dengan baik, plat baja S355J2+N mengalami keuletan sehingga rata-rata bengkok akibat pengelasan berada di daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) itu menandakan bahwa pengelasan dilakukan dengan baik.

Hal ini diketahui dari hasil uji kekuatan *bending* pada tabel 2. memiliki kekuatan *bending* rata-rata yang berbeda-beda. Dari data hasil penelitian dengan variasi

arus pengelasan GMAW material baja S355J2+N variasi arus 200 A memiliki kekuatan *bending* rata-rata 1712,38 MPa, variasi arus 220 A memiliki kekuatan *bending* rata-rata 1748,59 MPa dan variasi arus 240 A memiliki kekuatan *bending* rata-rata 1789,47 MPa. Dari ketiga variasi arus tersebut dapat dilihat bahwa variasi arus 240 A memiliki nilai kekuatan *bending* yang paling besar. Serta tabel 4.8 menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan terhadap variasi arus las terhadap kekuatan *bending* pada baja S355J2+N. Hal ini dapat diketahui dari hasil data menggunakan pengujian uji-T *software* SPSS yang dijelaskan dalam analisis hasil penelitian kekuatan *bending*.

Berdasarkan hasil uji *bending* yang diperoleh, semakin tinggi arus yang digunakan semakin besar nilai kekuatannya. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa peningkatan arus pengelasan mempengaruhi kekuatan *bending* spesimen. Hal ini sejalan dengan apa yang dilakukan oleh Nindia Lestari, dkk (2020) bahwa variasi arus las yang semakin meningkat berbanding lurus dengan nilai kekerasan karena arus yang besar akan mengeluarkan energi panas yang besar pula. Ini karena semakin besar arus pengelasan, semakin besar input panas. Heat input sendiri mempengaruhi proses peleburan bahan baku dan logam filler (Teddy, 2014).

Ini sesuai dengan rumus:

$$\text{Heat Input} = \frac{E I 60}{V 1000} \quad (\text{AWS D1.1/D1.1M:2020})$$

Keterangan:

Heat Input = Masukan Panas satuan kilojoule per milimeter

E = Tegangan Listrik satuan volt

I = Kuat Arus satuan ampere

V = Kecepatan Pengelasan satuan milimeter per menit

Dari rumusan di atas, dapat dilihat bahwa semakin besar arus, semakin besar nilai *input* panas atau energi panas. Ini juga memudahkan proses peleburan antara bahan baku dan logam pengisi. Jadi dengan menggunakan arus yang besar, semakin besar *input* panas dan semakin baik hasil pengelasan pada baja S355J2+N.

Hasil uji *bending* dari arus 200 A memiliki nilai terendah karena sulitnya pengapian busur listrik yang tidak stabil. Sehingga hasil uji *bending* variasi 200A memiliki nilai terendah karena material menjadi lebih mudah bengkok sehingga energi yang dibutuhkan untuk menekuk material lebih kecil.

Hasil uji *bending* dari variasi arus 220 A memiliki nilai lebih tinggi dari 200 A tetapi lebih rendah dari 240 A, pada variasi arus 220 A ini pengapian busur listrik lebih baik dan lebih stabil. Berbeda dengan variasi 240 A, arus yang digunakan menghasilkan percikan busur yang lebih besar dan peleburan kawat elektroda bersama dengan gas pelindung lebih cepat dan lebih stabil. Sehingga kawat elektroda dengan bahan baku dapat meleleh dengan sempurna. Sehingga

dapat dilihat bahwa variasi arus 240A memiliki nilai kuat *bending* yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi arus 200A dan 220A.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan analisis hasil data uji tarik dan uji *bending* pada material baja S355J2+N, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil uji tarik menunjukkan bahwa ada pengaruh yang signifikan antara variasi arus 200A, 220A dan 240A. Pada arus pengelasan 200A mendapatkan kekuatan tarik rata-rata 503,99 MPa. Pada arus pengelasan 220A, ia mendapat kekuatan tarik rata-rata 511, 49 MPa. Pada arus pengelasan 240A mendapat kekuatan tarik rata-rata 522,95 MPa. Peningkatan arus pengelasan dari 200A menjadi 220A dan 240A memberikan dampak pada peningkatan kekuatan tarik.
- Hasil uji *bending* menunjukkan bahwa ada pengaruh yang signifikan antara variasi arus 200A, 220A dan 240A. Pada arus pengelasan 200A, kekuatan *bending* rata-rata adalah 1712,38 MPa. Pada arus pengelasan 220A, diperoleh kekuatan *bending* rata-rata 1748, 59 MPa. Pada arus pengelasan 240A, diperoleh kekuatan *bending* rata-rata 1789, 47 MPa. Peningkatan arus las dari 200A menjadi 220A dan 240A memberikan dampak pada peningkatan kekuatan *bending*.

Saran

Pada penelitian ini pengaruh arus listrik pengelasan GMAW terhadap kekuatan tarik dan *bending* sambungan las pada material baja S355J2+N saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut:

- Pernyataan ini tidak berlaku jika variasi arus, bahan, kawat dan standar uji yang digunakan terlalu *extrime*.
- Pada pengelasan rangka bogie disarankan menggunakan arus rendah 200 A dan 220 A untuk menghemat energi karena hasil pengelasan masih dalam standar material.
- Pada penelitian selanjutnya disarankan dengan variasi arus, kampuh, jenis bahan dan ketebalan spesimen yang berbeda serta melakukan pengujian kekerasan dan uji struktur makro atau mikro.

DAFTAR PUSTAKA

- A.L.Pratama, S. Supriyadi, H. Ma'mun. (2021). Pengaruh Variasi Arus Pada Pengelasan GMAW Terhadap Kekuatan dan Kekerasan Baja ST60. *Jurnal Majalah Ilmiah Momentum*. Vol. 17 p.43-46.
- AWS D1.1: 2015 *StrukturalWeldingCode-Steel*
- ASTM E290. (2012). ASTM E290. *ASTM International*, 3.
- ASTM E8. (2016). ASTM E8-E8M-16a. *ASTM International*, 4.
- Azwinur, Jalil, S. ., & Husna, A. (2017). Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Pada Proses Pengelasan SMAW. *JURNAL POLIMESIN*, 37.

- Davis, Joseph R., (2004). *Tensile Testing*, 2nd. Edition. *ASM international*.
- Dionisius, Doreng (2023) Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Smaw Terhadap Kekuatan Tarik Dan Bending Pada Baja St 37. Skripsi Thesis, Institut Teknologi Nasional Malang.
- Iwan Nugraha Gusniar, dkk. (2021). Analisa Pengaruh Pengelasan Terhadap Sifat Mekanis Material High Strenght Low-Alloy, *Jurnal Ilmu Teknik*. Vol. 2 No. 3
- Kenyon, W. (1985). *Dasar – Dasar Pengelasan*. Jakarta: Erlangga.
- Kokasih, W., dkk. (2015). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Bucket Tipe ZX 200 GP dengan Metode Statistical Process Control dan Failur Mode and Effect Analysis (Studi Kasus. PT. CDE). *Jurnal Ilmiah Teknik Industri* 3(2): 1-9.
- Siswanto, & Amri. (2012). *Konsep Dasar Teknik Las (Teori Dan Praktik)*. Jakarta: Prestasi Pustaka Publiisher.
- Siswanto, R. (2018). *Teknologi Pengelasan Teknologi Pengelasan*.
- Suria Abadi. (2016). Simulasi Kekuatan Bogie Kereta dengan Menggunakan Program Ansys
- V. Milovanovi, M. Živkovi, G. Jovi, A. Dišic. (2019). Experimental Determination Of Fatigue Properties And Fatigue Life Of S355J2 +N Steel Grade. *Materials* 455– 461
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.03.149>.
- Wirjosumarto, H., & Okumura, T. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*.
- Y. Cheng, R. Yu, Q. Zhou, H. Chen, W. Yuan, Y. Zhang. (2021). *Real-time Sensing Of Gas Metal Arc Welding Process – A Literature Review and Analysis*, *Journal of Manufacturing Process*, 452-469
<https://doi.org/10.1016/j.jma-pro.2021.08.058>.