

Studi Pengaruh *Heat Input* Terhadap Ketangguhan Impak Dan Kekuatan Lengkung (*Bending*) Sambungan SMAW Pada Baja Karbon Rendah

Reo Wintolo¹, Wartono^{2,*}, Nizam Effendi³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Yogyakarta JL. Babarsari Catur Tunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta, 5528

*Corresponding author: wartono@itny.ac.id

Abstract

This study aims to determine the effect of Heat Input which has the most effect on the impact toughness test and bending strength (Bending) of SMAW welding on low carbon steel. This study used a strip of low carbon steel plate measuring 300 mm × 100 mm × 6 mm which was given a "V" seam with an angle of 60° and welded using SMAW welding using 2 layers with electrode diameters of 2.6 mm and 3.2 with variations in heat input. by using a current of 50 A for the first layer and 80 A, 90 A, 100 A for the second layer. Then tested the microstructure, impact toughness and bending strength (Bending). The results of the chemical composition test on the raw material containing 0.1930% carbon content are included in the low carbon steel classification. The microstructures formed after welding are acicular ferrite, grain boundary ferrite, widmanstatten ferrite, ferrite and perlite. The results of the impact test showed that the highest impact toughness value was found in the 764 J/mm heat input variation specimen of 0.777 J/mm². The results of the bending test showed that the highest bending strength value was found in the heat input variation specimen of 764 J/mm of 730 Mpa.

Keywords: Heat input, SMAW, low carbon steel impact toughness test, bending strength test.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *Heat Input* yang paling berpengaruh terhadap uji ketangguhan impak dan kekuatan lengkung (*Bending*) las SMAW pada baja karbon rendah. Penelitian ini menggunakan *strip plat* baja karbon rendah berukuran 300 mm × 100 mm × 6 mm yang diberi kampuh "V" dengan sudut 60° dan dilas menggunakan pengelasan SMAW menggunakan 2 layer dengan diameter elektroda 2,6 mm dan 3,2 dengan variasi *heat input* dengan menggunakan arus 50 A untuk layer pertama dan 80 A, 90 A, 100 A untuk layer kedua. Selanjutnya dilakukan pengujian struktur mikro, ketangguhan impak dan kekuatan lengkung (*Bending*). Hasil uji komposisi kimia pada *raw material* mengandung kadar carbon 0,1930 % masuk kedalam klasifikasi baja karbon rendah. Struktur mikro yang terbentuk setelah pengelasan adalah *acicular ferrite*, *grain boundary ferrite*, *widmanstatten ferrite*, *ferrite* dan *perlite*. Hasil pengujian *impact* menunjukkan bahwa nilai ketangguhan *impact* tertinggi terdapat pada spesimen variasi *heat input* 764 J/mm sebesar 0,777 J/mm². Hasil pengujian *bending* menunjukkan bahwa nilai kekuatan *bending* tertinggi terdapat pada spesimen variasi *heat input* 764 J/mm sebesar 730 MPa.

Kata Kunci: Heat input, SMAW, baja karbon rendah, uji ketangguhan impak, uji kekuatan lengkung.

PENDAHULUAN

Logam merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam berbagai bidang industri, infrastruktur dan transportasi pada umumnya. Di zaman modern seperti sekarang ini, kehidupan manusia banyak mengalami perkembangan yang sangat pesat dan diikuti oleh kebutuhan material terutama yang berasal dari logam. Beberapa jenis logam yang banyak digunakan oleh masyarakat antara lain besi, tembaga, aluminium, seng, *nikel* dan baja.

Penelitian tentang “Analisis Pengaruh Proses *Normalizing* Pada Sambungan Las *SMAW* Baja Plat SS-400 Terhadap Nilai *Impact* dan *Hardness*”. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa pada pengujian *impact* specimen yang mengalami proses *normalizing* dengan suhu 850°C dengan penahanan waktu 30 menit lebih tangguh dengan nilai ketangguhan rata-rata sebesar 3,727 joule, dari pada yang tidak mengalami proses *normalizing* dengan nilai ketangguhan rata-rata 3,14 joule. Nilai kekerasan material baja SS-400 mengalami kenaikan setelah mengalami proses perlakuan *normalizing*. Pengaruh proses *normalizing* pada sambungan las *SMAW* baja plat SS-400 yaitu menjadi lebih tangguh dan keras dari pada yang tidak mengalami proses *normalizing* [1].

Penelitian tentang “Pengaruh *Heat Input* Terhadap Hasil Kekuatan Sambungan Pengelasan *SMAW* Pada Material *Stainless Steel 201*”. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa pada proses pengelasan *SMAW* material *stainless steel 201* dengan tebal material 1 mm menggunakan variasi arus yang berbeda akan menimbulkan pengaruh hasil kekuatan sambungan yang berbeda-beda. Untuk hasil kekuatan daerah las tertinggi terdapat pada arus 50 A sebesar 73,60 HRB sedangkan yang terendah terdapat pada arus 40 A sebesar 63,60 HRB. Pada daerah *HAZ* nilai kekerasan tertinggi terdapat pada arus 60 A sebesar 78,40 HRB dan untuk pada daerah logam induk terdapat pada arus 60 A sebesar 82,90 HRB. Dari hasil uji tarik menunjukkan kuat arus yang berbeda akan menimbulkan adanya selisih perbedaan kekuatan tarik dan tegangan tarik. Jika dilihat dari hasil rata-rata kekuatan tarik dan tegangan tariknya terdapat selisih dari masing-masing variasi kuat arus yang berbeda. Untuk nilai tegangan tarik tertinggi dari kuat arus 40 A, 50 A, dan 60 A terdapat pada kuat arus 50 A sebesar 0,711 kN/mm² sedangkan yang terendah terdapat pada arus 60 A sebesar 0,5199 kN/mm². 3. Secara umum penggunaan kuat arus (*heat input*) sangat berpengaruh terhadap penembusan dan pencairan elektroda ke benda kerja daerah sambungan las. Hal itu dapat dibuktikan dari hasil nilai rata-rata pengujian yang dilakukan. Untuk penggunaan arus 50 A memiliki nilai kekerasan dan tegangan tarik yang tinggi [2].

Penelitian tentang “Studi Komparasi Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Impak, Kekerasan, dan Struktur Mikro Sambungan Las Pegas Daun Baja SUP 9 Pada Proses Las *SMAW*”. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai kekuatan impak memiliki kecenderungan semakin turun dengan penggunaan arus pengelasan yang semakin tinggi. Untuk variasi arus pengelasan 100 Ampere memiliki ketangguhan impak nilai tertinggi yaitu sebesar 1,698 *Joule/mm*. Nilai kekerasan memiliki pola yang sama untuk semua variasi arus pengelasan. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada specimen variasi pengelasan arus 140 Ampere. Struktur mikro untuk semua variasi arus pengelasan yang digunakan terdiri dari ferit dan perlit. Struktur mikro yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh besarnya *heat input* yang digunakan [3].

Penelitian tentang “Analisa Kekuatan Impak Pada Penyambungan Pengelasan *SMAW* Material ASSAB 705 Dengan Variasi Arus Pengelasan”. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai energi yang diserap dan ketangguhan untuk specimen kualitas kekuatan impak material ASSAB AQ 705 kelompok base metal mempunyai nilai paling tinggi dengan nilai rata-rata 146 joule dan 1,83 joule/mm² dibandingkan dengan kelompok menggunakan variasi arus 100 Ampere, 125 Ampere, dan 150 Ampere. Semakin tinggi arus pengelasan maka semakin rendah nilai kekuatannya. Hal ini menunjukkan bahwa arus 150 Ampere lebih rendah. Jenis perpatahan yang terjadi pada pengujian adalah

patah ulet. Ciri patah ulet tampak lebih buram maka perpatahannya tampak berwarna keabu-abuan dan seperti berserabut atau dinamakan *fibrous fracture* [4].

Penelitian tentang “Analisis Pengaruh Variasi Sudut Kampuh *Double V* Pada Sambungan Las *SMAW* (*Shield Metal Arc Welding*) Baja St 37 Terhadap Kekuatan Tarik, Tekuk dan *Impact*”. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa dari hasil penelitian pengujian baja ST 37 dengan pengelasan *SMAW* dan kampuh *double v butt joint* dengan variasi sudut 50° , 60° , 70° didapatkan nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 461,55 N/mm², 492,35 N/mm², dan 487,28 N/mm² untuk masing masing sudutnya. Tegangan tekuk didapatkan 934,8 N/mm², 915,3 N/mm², dan 907,7 N/mm² untuk masing-masing sudut variasinya. Kekuatan impak didapatkan 2,79 J/mm², 2,3 J/mm², dan 2,37 J/mm² untuk masing-masing sudutnya. Keseluruhan hasil pengujian baik tekuk, tarik ataupun impak jika mengacu pada standar minimal nilai tegangan tarik, tekuk, dan kekuatan impak yang ditetapkan oleh BKI yaitu minimal kekuatan tarik sebesar 400-560 N/mm², kekuatan tekuk 305 N/mm², dan kekuatan impact 47 J/m² (4.7×10^{-5} J/mm²) [5].

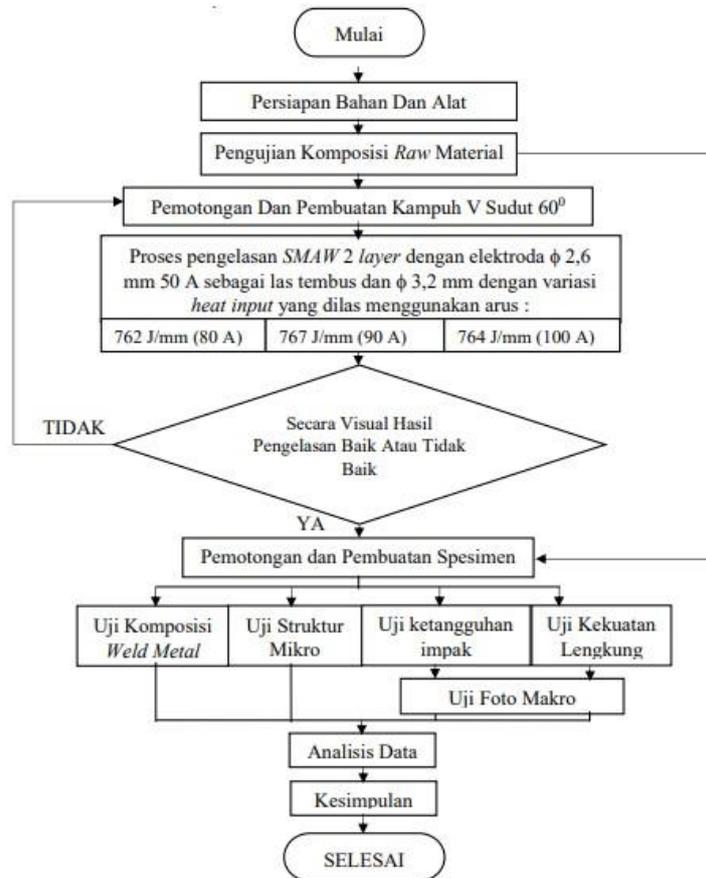
Penelitian tentang “Analisa Perbandingan Pengelasan *SMAW* Dengan Variasi Ampere Terhadap Sifat Mekanis”. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa pengelasan baja karbon A 36 tebal 10 mm dengan menggunakan proses las *SMAW* yang memakai elektroda E 7018 diameter 3.2 mm posisi pengelasan 1G bentuk sambungan kampuh V 60° dengan variasi arus 100 A, 120 A, 130 A adalah semakin besar *heat input* maka semakin besar nilai kekuatan tarik dan semakin besar pula *heat inputnya* maka semakin besar juga nilai kekerasannya [6].

Penelitian yang dilakukan adalah Pengaruh bentuk kampuh terhadap kekuatan bending las sudut *SMAW* posisi mendatar pada baja karbon rendah. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil uji komposisi kimia menunjukkan bahwa bahan baja karbon yang digunakan merupakan klasifikasi baja karbon rendah yang mempunyai kadar karbon 0,236% C. bahan ini termasuk Golongan baja Karbon rendah. Struktur mikro yang terbentuk didaerah las terbentuk *Grain boundary ferrite*, *Widman-statten ferrite*, dan *acicular ferrite*, didaerah las kampuh *double U* didominasi *acicular ferrite* terbesar merata di semua daerah las dan merupakan kampuh las tertinggi. Sehingga struktur *acicular ferrite* inilah yang diharapkan dari setiap proses pengelasan, karena mampu menghambat terjadinya retak. Hasil uji kekerasan Vickers menunjukkan bahwa daerah lasan memiliki nilai kekerasan tertinggi dibanding dengan daerah *HAZ* maupun logam induknya dan kekerasan lasan tertinggi dimiliki oleh kampuh U sebesar 191,07 kg/mm² sedangkan kampuh V memiliki tingkat kekerasan daerah las sebesar 159,8 kg/mm². Hasil pengujian bending menunjukkan bahwa kampuh *double V* memiliki tegangan *bending* maksimum tertinggi dengan nilai 281,745 N/mm² dan tegangan bending maksimum terendah ada pada bentuk kampuh I dengan nilai tegangan maksimum 114,27 N/mm². Terlihat perbedaan kekuatan *bending* yang ekstrim antara kampuh tunggal dan kampuh ganda Terlihat bahwa kampuh-kampuh tunggal tidak mampu menahan beban *bending*/lentur yang besar [7].

Penelitian yang dilakukan adalah analisa pengaruh arus pengelasan *SMAW* pada material baja karbon rendah terhadap kekuatan material hasil sambungan. Dari hasil penelitian impak metode Charpy, nilai arus pengelasan 80 A lebih tinggi dari pada arus pengelasan 70 A dan 75 A. Sedangkan angka kekerasan arus pengelasan 70 A mendapatkan kekerasan yang lebih tinggi dari arus pengelasan 75 A dan 80 A [8].

METODE PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian



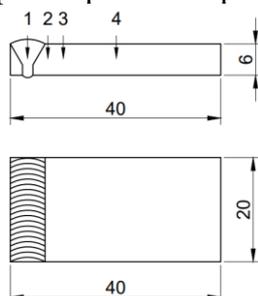
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Bahan

Bahan penelitian ini berupa plat baja (*strip plate*) dengan kandungan karbon 0,19 % termasuk dalam kategori baja karbon rendah. Bahan ini diperoleh dari Toko Besi Sekawan Jl. Magelang dengan ukuran 6000 mm x 100 mm x 6 mm. Kemudian bahan dipotong dengan ukuran 300 mm x 100 mm x 6 mm.

Pengujian Struktur Mikro

Pengujian mikro adalah suatu pengujian mengenai struktur bahan melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus yaitu mikroskop logam. Dengan pengujian mikro struktur, dapat diamati bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas, dan perbedaan komposisi.



1. *Weld Metal*
2. *HAZ kasar*
3. *HAZ halus*
4. *RAW Metal*

Gambar 2. Spesimen uji struktur mikro.

Pengujian Ketangguhan Impak

Kekuatan impak adalah salah satu kriteria penting dalam ilmu metalurgi. Uji Impak bertujuan untuk menentukan kemampuan material tersebut rapuh atau ulet berdasarkan sifat tangguhannya [9]. Pada umumnya pengujian impak menggunakan batang bertakik dengan standar menggunakan pengujian *ASTM E23*. Berbagai jenis pengujian impak batang bertakik telah digunakan untuk menentukan kecenderungan bahan untuk bersifat getas. Dengan jenis uji ini dapat diketahui perbedaan sifat bahan yang tidak teramati dalam uji tarik. Beberapa kasus laju pembebanan tidak dapat ditetapkan dengan baik, maka oleh karena itu perlu hati-hati dalam membandingkan hasil satu sama lain. Hasil yang diperoleh dari uji batang bertakik tidak langsung sekaligus memberikan besaran rancangan yang dibutuhkan, karena tidak mungkin mengukur komponen tegangan tiga sumbu pada takik. Para peneliti perpatahan getas logam telah menggunakan berbagai bentuk benda uji untuk pengujian impak bertakik. Secara umum harga impak (HI) didefinisikan sebagai perbandingan antara energi yang digunakan untuk mematahkan bahan (U) dengan luas penampang sisa setelah diberi takikan.

$$\text{Ketangguhan Impact (KI)} = \frac{\text{Energi patah}}{\text{Luas penampang patah}}$$

$$(\text{KI}) = \frac{G \cdot g \cdot L (\cos \beta - \cos \alpha)}{p \cdot l} \quad (1)$$

- Keterangan G = Berat Pemukul (kgf)
g = Gaya Gravitasi (m/s²)
L = Panjang lengan (mm)
 α = Sudut awal Ayunan (°)
 β = Sudut Akhir Ayunan = (°)
p = Panjang Penampang Patah (mm)
l = Lebar Penampang Patah (mm)

Pengujian Kekuatan Lengkung

Pengertian Uji *Bending* merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selanjutnya bahan akan mengalami deformasi dengan dua buah gaya yang berlawanan bekerja pada saat yang bersamaan. Pada pengujian ini secara bersamaan mulai terbentuk tegangan tarik, tekan, dan geser. Beban tersebut akan maksimum pada permukaan spesimen, serta bernilai nol pada *neutral axis*-nya. Pada pengujian lengkung menggunakan pengujian *Root Bend (Bending pada akar las)* Dikatakan *Root Bend* jika *bending* dilakukan sehingga akar las mengalami tegangan tarik dan dasar las mengalami tegangan tekan. Pengamatan dilakukan pada akar las yang mengalami tegangan tarik, apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak dimanakah letaknya, apakah di *weld metal*. *HAZ* atau di *fusion line* garis perbatasan *WM* dan *HAZ*.

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} \quad (2)$$

Dimana σ_b = kekuatan *bending* (MPa)

- P = beban /load (N)
L = panjang *span* (mm)
b = lebar/ *width* (mm)
d = tebal / *depth* (mm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hasil Pengujian Komposisi Kimia

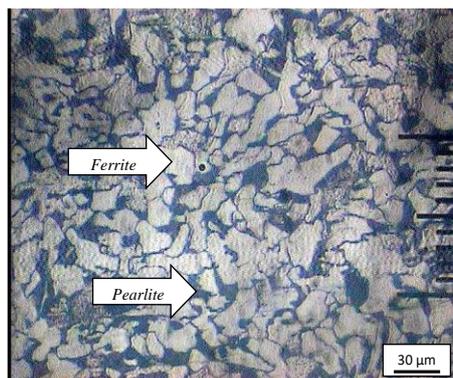
Tabel 1. Komposisi Kimia

Unsur	Kadar		Kandungan Elektroda E6013(%)
	Raw Material	Weld Metal	
Fe	98,8645	98,9447	
C	0,1930	0,1846	0,15
Si	0,1446	0,1464	1
Cr	0,1525	0,1232	
Mn	0,3984	0,3749	1,6

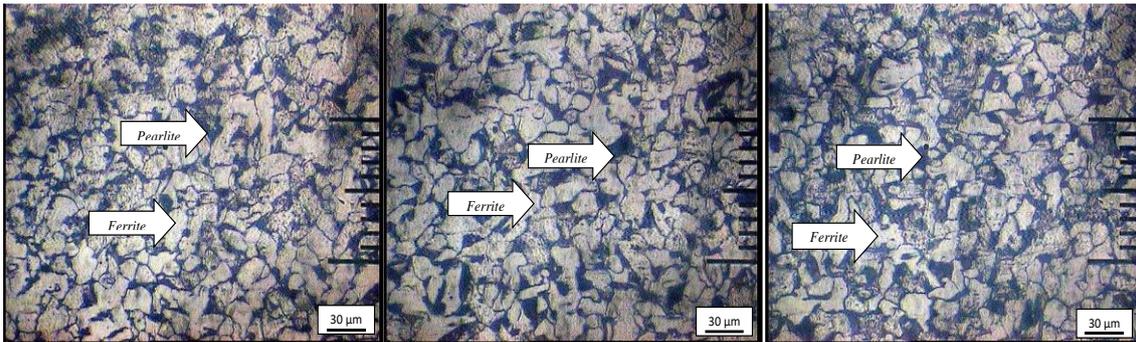
Pengujian komposisi kimia dilakukan bertujuan untuk mengetahui prosentase unsur-unsur yang terkandung dalam *raw material* maupun *weld metal*, sehingga dapat diketahui perbandingan kadar kandungan unsur – unsur kimia dari kedua spesimen tersebut. Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia pada tabel 1. pada *raw material* mengandung kadar *ferro* (Fe) sebesar 98,8645%, *carbon* (C) sebesar 0.1930%, *silicon* (Si) sebesar 0.1446%, *mangan* (Mn) sebesar 0.3984%. Terkandungnya kadar *carbon* (C) sebesar 0.1930% pada *raw material* menunjukkan bahwa *raw material* digolongkan kedalam baja karbon rendah dalam kelas baja lunak dengan kadar karbon 0,12–0,20%. Sedangkan berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia pada tabel 1. pada *weld metal* mengandung kadar *ferro* (Fe) sebesar 98,9447%, *carbon* (C) sebesar 0.1846%, *silicon* (Si) sebesar 0.1464%, *mangan* (Mn) sebesar 0,3749%.

Analisis Hasil Pengujian Struktur Mikro

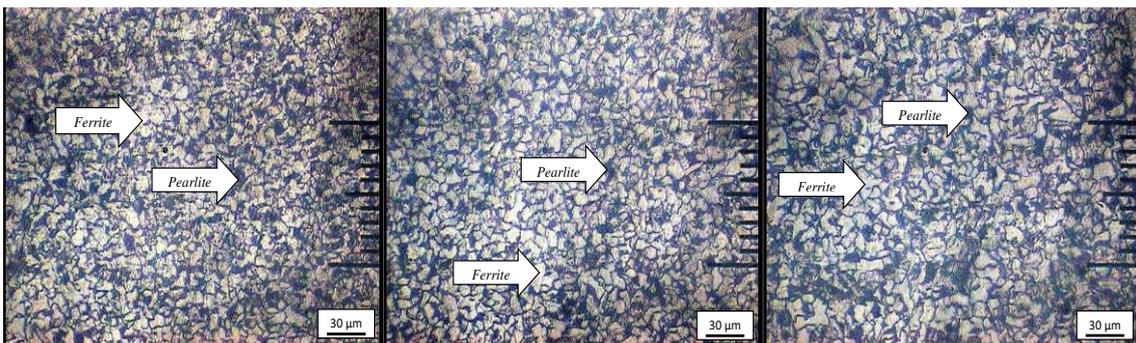
Pengujian struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik. Foto struktur mikro dengan perbesaran 100x. Spesimen berjumlah 13 buah yang terdiri dari *raw material*, *base metal*, *HAZ* halus, *HAZ* kasar dan *weld metal*, dengan variasi *heat input* 762 J/mm, 767 J/mm, dan 764 J/mm.



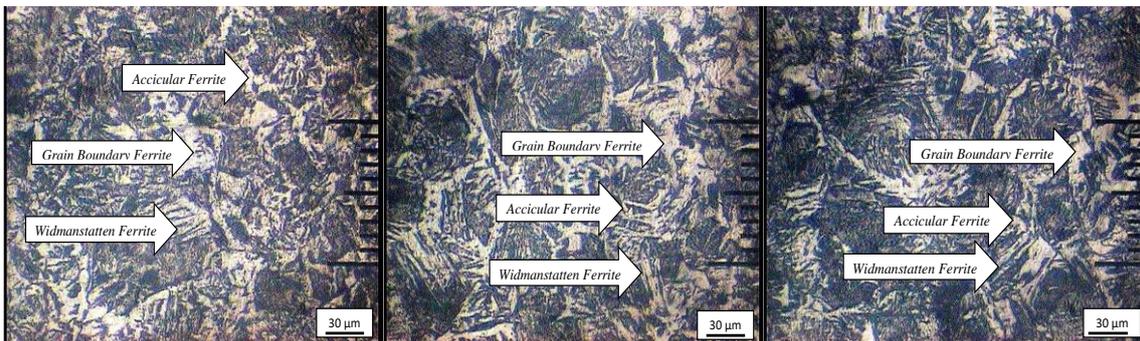
Gambar 3. Struktur mikro *raw material* (Perbesaran 100x).



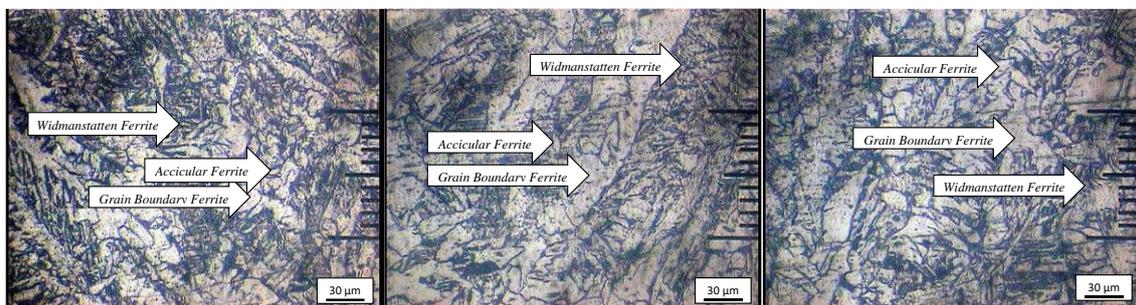
Gambar 4. Struktur mikro daerah *base metal* variasi HI 762 J/mm, 767 J/mm, dan 764 J/mm (Perbesaran 100x).



Gambar 5. Struktur mikro daerah *HAZ halus* variasi HI 762 J/mm, 767 J/mm, dan 764 J/mm (Perbesaran 100x).



Gambar 6. Struktur mikro daerah *HAZ kasar* variasi HI 762 J/mm, 767 J/mm, dan 764 J/mm (Perbesaran 100x).



Gambar 7. Struktur mikro daerah *weld metal* variasi HI 762 J/mm, 767 J/mm, dan 764 J/mm (Perbesaran 100x).

Berdasarkan hasil foto struktur mikro pada *raw material* pada struktur yang terbentuk pada *raw material* baja karbon sedang didominasi oleh struktur *ferrite* yang berwarna putih (terang) dibandingkan struktur *pearlite* yang lebih sedikit (berwarna gelap). Butir *ferrite* cenderung lunak, sedangkan butir *pearlite* cenderung keras karena mengandung karbon. Hal

ini menunjukkan *base metal* mempunyai sifat lunak dan juga ulet yang diperoleh dari struktur *ferrite* dan sifat kuat dan cukup keras yang diperoleh dari struktur *pearlite*.

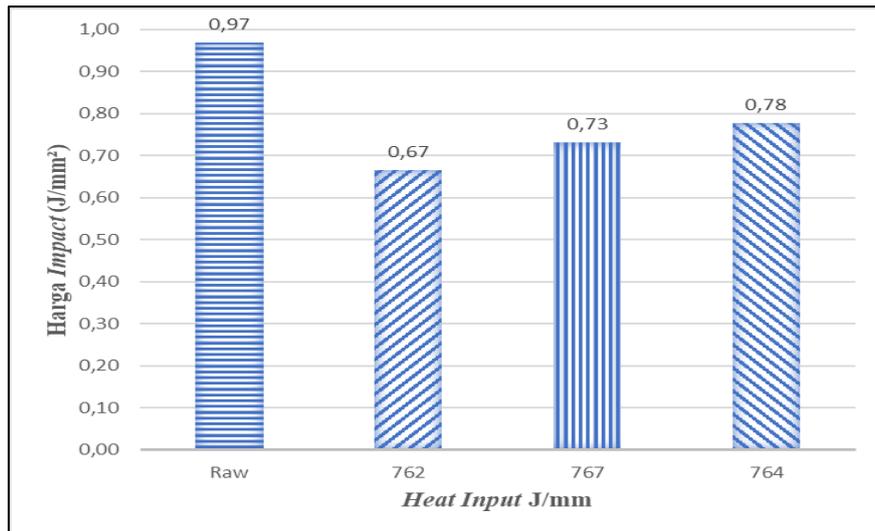
Struktur *widmanstatten ferrite* berbentuk plat-plat sejajar, sedangkan struktur *accicular ferrite* berbentuk plat-plat kecil yang saling menyilang seolah-olah membentuk anyaman. Hasil pengamatan yang dilakukan pada struktur mikro daerah *HAZ*, struktur mikro pada daerah *HAZ* terdiri dari *pearlite* dan *ferrite*. Karena pengaruh masukan panas (*heat input*) proses pengelasan relatif lebih rendah sehingga hanya mengalami proses *rekristalisasi* dan pada saat pendinginan berubah menjadi *ferrite* halus. Struktur mikro daerah *HAZ* terdapat perbedaan ukuran butirnya disetiap variasi arus atau masukan panas (*heat input*), sehingga ini menyebabkan kekerasan dan kekuatan luluh yang berbeda-beda.

Analisis Hasil Pengujian Ketangguhan *Impact*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan material terhadap beban *impact* dan mengetahui pengaruh beban *impact* terhadap sifat mekanik material. Nilai *impact* dari spesimen uji dapat dihitung menggunakan rumus di bawah ini:

Tabel 2. Hasil Pengujian *Impact*

Kode	Heat Input (J/mm)	Sudut α (°)	Energi (J)	Sudut β (°)	Energi Terserap (J)	Luas (mm ²)	Harga <i>Impact</i> (J/mm ²)
Raw 1	Raw Material	151	300	125,00	48,2	47,3	1,019
Raw 2		151	300	127,00	43,6	45,0	0,969
Raw 3		151	300	127,00	43,6	47,6	0,918
80A 1	762	151	300	134,00	28,8	46,4	0,620
80A 2		151	300	131,00	35,0	53,8	0,650
80A 3		151	300	131,00	35,0	48,0	0,728
90A 1	767	151	300	131,00	35,0	49,2	0,711
90A 2		151	300	132,00	32,9	46,3	0,712
90A 3		151	300	131,00	35,0	45,4	0,772
100A 1	764	151	300	133,00	30,9	48,1	0,642
100A 2		151	300	132,00	32,9	43,2	0,762
100A 3		151	300	128,00	41,5	44,7	0,928



Gambar 8. Grafik nilai rata-rata pengujian *impact*.

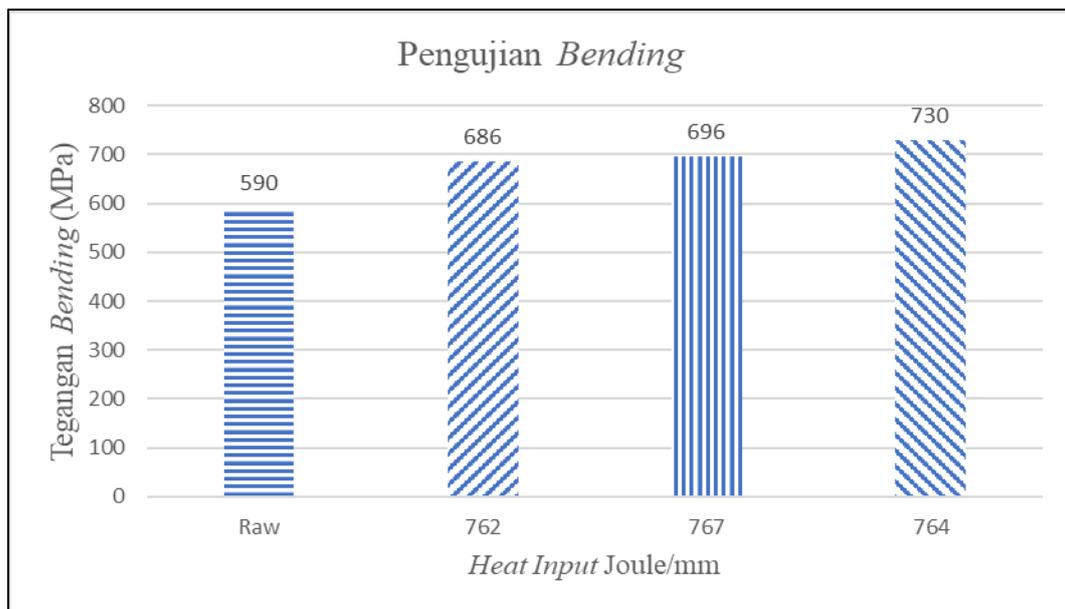
Dari Grafik diatas diperoleh nilai ketangguhan impact paling tinggi terjadi pada masukan panas (*heat input*) pengelasan arus 100 *ampere* sebesar 764 J/mm, yaitu mencapai 0,777 J/mm², sedangkan nilai terendah pada masukan panas (*heat input*) pengelasan arus 80 *ampere* sebesar 762 J/mm, dengan nilai ketangguhan impact mencapai 0,666 J/mm². Ketangguhan impact pada logam induk (*raw material*) memiliki ketangguhan impact sebesar 0,968 J/mm². Hal ini berarti ketangguhan *impact* logam induk (*raw material*) lebih tinggi dari ketangguhan *impact* logam las pada setiap variasi masukan panas (*heat input*). Bahwa arus listrik akan meningkatkan *heat input* pada pengelasan yang berdampak pada memperlambat laju pendinginan dan peningkatan kekuatan sambungan las, tetapi ketangguhannya menjadi turun, selain itu akibat adanya pemanasan dan pendinginan yang mendadak pada proses pengelasan mengakibatkan rusaknya struktur mikro di sekitar logam las. Bahwa proses pengelasan mengakibatkan terjadinya penurunan sifat logam hasil las khususnya ketangguhan impact dari logam induknya. Sedangkan masukan panas (*heat input*) berpengaruh terhadap laju pendinginan pada proses pengelasan yang sangat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik logam las.

Analisis Hasil Pengujian Kelengkungan (*Bending*)

Uji *bending* dilakukan untuk menentukan *flexural strength* komponen. Pengujian ini dilakukan dengan menumpu batang dengan tumpuan sederhana dan kemudian membebani batang tersebut secara transversal pada bagian tengahnya. Bila materialnya ulet, kegagalan yang terjadi berupa luluh sedangkan bila materialnya getas kegagalannya adalah berupa patahan. dihitung sesuai dengan rumus *three point bending* sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Pengujian *Bending*

Kode	Heat Input (J/mm)	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan <i>Bending</i> (MPa)
Raw 1	Raw Material	5,44	20,7	5,96	25,86	583,75
Raw 2		5,46	21,22	6,13	26,47	581,41
Raw 3		5,46	21,21	6,37	27,19	604,46
80A 1	762	5,67	21,20	6,45	17,72	567,82
80A 2		5,57	22,34	9,66	18,99	836,25
80A 3		5,67	20,95	7,34	19,69	653,88
90A 1	767	5,58	21,25	7,87	20,09	713,67
90A 2		5,89	20,24	7,90	19,53	675,05
90A 3		5,71	20,45	7,76	18,93	698,31
100A 1	764	5,94	20,39	8,35	19,14	696,38
100A 2		5,58	20,29	7,52	18,56	714,20
100A 3		5,53	20,55	8,15	19,47	778,12

**Gambar 9.** Grafik nilai rata-rata pengujian *impact*.

Grafik di atas menunjukkan nilai kekuatan lengkung (*bending*) rata-rata antara *raw material* dan variasi *heat input*. Nilai kekuatan *bending* tertinggi yaitu pada masukan panas (*heat input*) pengelasan arus 100 *ampere* dengan nilai 730 MPa dan terendah yaitu pada *raw material* dengan nilai rata-rata 590 MPa.

Pada pengujian *bending* rata-rata spesimen hasil pengujian terjadi retakan pada daerah las dikarenakan kurang baiknya hasil dari proses pengelasan dan cacat las yang terjadi pada spesimen benda uji. Untuk hasil rata-rata pengujian *bending* variasi arus pengelasan nilai tertinggi terdapat pada spesimen arus pengelasan 100 *ampere* dengan nilai 730 MPa dan terendah yaitu pada *raw material* dengan nilai rata-rata 590 MPa.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis hasil penelitian pengelasan dengan menggunakan las *SMAW* (*shielded metal arc welding*) pada baja karbon rendah, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan *raw material* mengandung unsur utama yaitu Fe sebesar 98,8645 %, Mn sebesar 0,3984 %, Si sebesar 0,1446 % dan C sebesar 0,1930 %. Berdasarkan hasil uji komposisi dapat disimpulkan bahwa baja yang digunakan adalah jenis baja karbon rendah dilihat dari nilai C sebesar 0,1930 %.
2. Struktur mikro yang terbentuk dari pengelasan posisi dibawah tangan (IG) las SMAW dengan model kampuh V 60°. Pada daerah HAZ dengan variasi *heat input* pengelasan dengan arus 80 ampere terlihat bentuk strukturnya lebih halus dibanding dengan variasi *heat input* pengelasan dengan arus 90 ampere dan dengan arus 100 ampere. Semakin tinggi arus pengelasan bentuk strukturnya menjadi lebih kasar sehingga kekuatannya naik. Struktur mikro yang terbentuk didaerah lasan membentuk *Grain boundary ferrite*, *widmanstatten ferrite*, dan *acicular ferrite* sehingga didaerah las didominasi *acicular ferrite* tersebar merata disemua daerah las. Sehingga struktur *acicular ferrite* inilah yang diharapkan dari setiap proses pengelasan, karena mampu menghambat terjadinya retak. Apabila dilihat dari bentuk struktur mikro daerah las kekuatan terlemah yaitu pada arus 80 ampere karena struktur mikro yang terbentuk paling banyak yaitu *widmanstatten ferrite* (*WF*) dibanding *accicular ferrite* (*AF*). Apabila struktur yang paling dominan adalah *widmanstatten ferrite* (*WF*) mengakibatkan daerah las lebih rentan terhadap perambatan retak, hal tersebut dipengaruhi *heat input* dan laju pendinginan.
3. Hasil pengujian *impact* menunjukkan bahwa nilai ketanguhan *impact* tertinggi terdapat pada spesimen variasi masukan panas (*heat input*) 764 J/mm yaitu sebesar 0,777 J/mm² dan untuk nilai *impact* terendah pada spesimen masukan panas (*heat input*) 762 J/mm yaitu sebesar 0,666 J/mm².
4. Hasil pengujian *bending* menunjukkan bahwa nilai kekuatan *bending* tertinggi terdapat pada spesimen variasi *heat input* 764 J/mm yaitu sebesar 730 MPa dan untuk nilai *bending* terendahnya terdapat pada *raw material* dengan nilai rata-rata 590 MPa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini. Peneliti banyak menerima bimbingan, petunjuk dan nasehat agar terus semangat terutama Institut Teknologi Nasional Yogyakarta yang telah mendukung dalam penelitian saya

REFERENSI

- Suryadi Ramadhan, S. N. (2021, Agustus). Analisis Pengaruh Proses Normalizing Pada Sambungan Las SMAW Baja Plat SS-400 Terhadap Nilai Impact dan Hardness. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 5, 107-113.
- Valla Yuntan Fauzi Romdhoni, F. Y. (2019). Pengaruh Heat Input Terhadap Hasil Kekuatan Sambungan Pengelasan SMAW Pada Material Stainless Steel 201. *KOMPUTEK : Jurnal Teknik Universitas Muhammadiyah Ponorogo*, 3, 14-26.
- Fajar, N. (2017). Studi Komparasi Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Impak, Kekerasan, dan Struktur Mikro Sambungan Las Pegas Daun Baja SUP 9 Pada Proses Las SMAW. *Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, IX, 57-66.
- Saifuddin A.Jalil, Z. T. (2017, Agustus). Analisa Kekuatan Impak Pada Penyambungan Pengelasan SMAW Material ASSAB 705 Dengan Variasi Arus Pengelasan. *Jurnal Polimesin*, 15, 58-63.
- Gilas Dwi Maylano, U. B. (2022, Januari). Analisis Pengaruh Variasi Sudut Kampuh Double V Pada Sambungan Las SMAW (Shield Metal Arc Welding) Baja St 37 Terhadap Kekuatan Tarik, Tekuk dan Impact. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 10, 17-23.

- . Shochib, M. A. (2016, Juni). Analisa Perbandingan Pengelasan SMAW Dengan Variasi Ampere Terhadap Sifat Mekanis. *Jurnal keilmuan dan Terapan Teknik*, 5, 81-90.
- Djoko, S. (2013, Desember). Pengaruh bentuk kampuh terhadap kekuatan bending las sudut SMAW posisi mendatar pada baja karbon rendah. *Jurusan Teknik Mesin STTNAS Yogyakarta*, 91-96.
- Abdul, H. (2016, Januari). analisa pengaruh arus pengelasan SMAW pada material baja karbon rendah terhadap kekuatan material hasil sambungan. *Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Batam*, 7, 26-36.
- Dieter, G. E. (1988). *Mechanical Metalurgi*. New York.