

Pengaruh Variasi Arus Pengelasan SAW terhadap Uji

Impact dan Uji *Hardness* pada Material S355 KTO

Wahyu Rezki^{*1} Ninda Hardina Batubara, S.Pd., M.Si.^{1*}
dan Ir. Hendra Saputra, S.T., M.Eng.^{2*}

* Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknik Mesin

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: wrezky09@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi arus pengelasan terhadap sifat mekanik material S355 KTO yang dilas menggunakan metode *Submerged Arc Welding* (SAW). Parameter arus divariasikan pada dua tingkat, yaitu 520–610 A (ampere rendah) dan 650–730 A (ampere tinggi). Pengujian dilakukan terhadap spesimen hasil pengelasan dengan uji *Hardness Vickers* (HV10) dan uji *Impact Charpy*. Hasil uji menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi pada spesimen arus rendah berada pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) sebesar 214 HV, sedangkan pada arus tinggi hanya mencapai 210 HV. Sebaliknya, nilai *impact* tertinggi diperoleh pada spesimen arus tinggi, yaitu dengan rata-rata nilai 327 J pada posisi *Fusion Line*, lebih tinggi dari arus rendah yang hanya mencapai 306 J. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan *heat input* dan laju pendinginan yang memengaruhi struktur mikro hasil lasan.

Kata kunci: SAW, Arus Pengelasan, *Impact*, *Hardness*, *Heat Input*, S355 KTO

Abstract

This study aims to determine the effect of welding current variations on the mechanical properties of S355 KTO material welded using the Submerged Arc Welding (SAW) method. Current parameters were varied at two levels, namely 520–610 A (low amperes) and 650–730 A (high amperes). Tests were carried out on welded specimens with the Vickers Hardness test (HV10) and the Charpy Impact test. The test results showed that the highest hardness value in the low current specimen was in the Heat Affected Zone (HAZ) area of 214 HV, while at high current it only reached 210 HV. Conversely, the highest impact value was obtained in the high current specimen, namely with an average value of 327 J at the Fusion Line position, higher than the low current which only reached 306 J. This difference is caused by differences in heat input and cooling rate which affect the microstructure of the weld.

Keywords: SAW, Welding Current, *Impact*, *Hardness*, *Heat Input*, S355 KTO

1. Pendahuluan

Pengelasan *Submerged Arc Welding* (SAW) adalah salah satu metode pengelasan busur listrik di mana prosesnya melibatkan pemanasan dan peleburan material serta elektroda oleh busur listrik yang terjadi di antara material logam induk dan elektroda. Pengelasan SAW menawarkan produktivitas yang tinggi karena prosesnya bersifat otomatis, tetapi memiliki beberapa keterbatasan, yaitu hanya dapat dipakai pada posisi 1F, 2F dan 1G dengan sambungan panjang dan lurus. Selain itu, pengelasan ini tidak direkomendasikan untuk pelat dengan ketebalan di bawah 10 mm karena masukan panas yang tinggi dan dapat merusak material[1]. Pengelasan ini digunakan karena memiliki kemampuan penetrasi yang dalam, produktivitas tinggi, dan kualitas las yang konsisten. Namun, untuk menghasilkan sambungan yang optimal, pengendalian parameter pengelasan, khususnya *heat input*, menjadi faktor yang sangat penting. Material

S355 KTO banyak digunakan untuk berbagai aplikasi pada konstruksi dan struktur lepas pantai. Baja ini memiliki kekuatan luluh minimum 355 MPa (N/mm²) dan juga dikenal karena kemampuan lasnya yang baik, membuatnya cocok untuk berbagai jenis pengelasan.

Heat input merupakan besaran energi panas yang diberikan ke material selama proses pengelasan per satuan panjang. Energi yang dihasilkan dalam operasi pengelasan berasal dari bermacam-macam sumber yang tergantung pada proses pengelasannya. Energi panas ini sebenarnya hasil kolaborasi dari parameter arus las, tegangan las, dan kecepatan pengelasan[2]. Rasio dari tiga parameter memberikan energi pengelasan disebut sebagai *Heat Input*. Pada proses pengelasan, *heat input* yang kecil akan menyebabkan penetrasi yang kurang dalam serta meningkatkan nilai kekerasan pada material. Sedangkan nilai *heat input* yang terlalu besar menyebabkan timbulnya keretakan pada daerah yang terkena panas, menurunkan ketangguhan dan mengurangi kekuatan luluh [3].

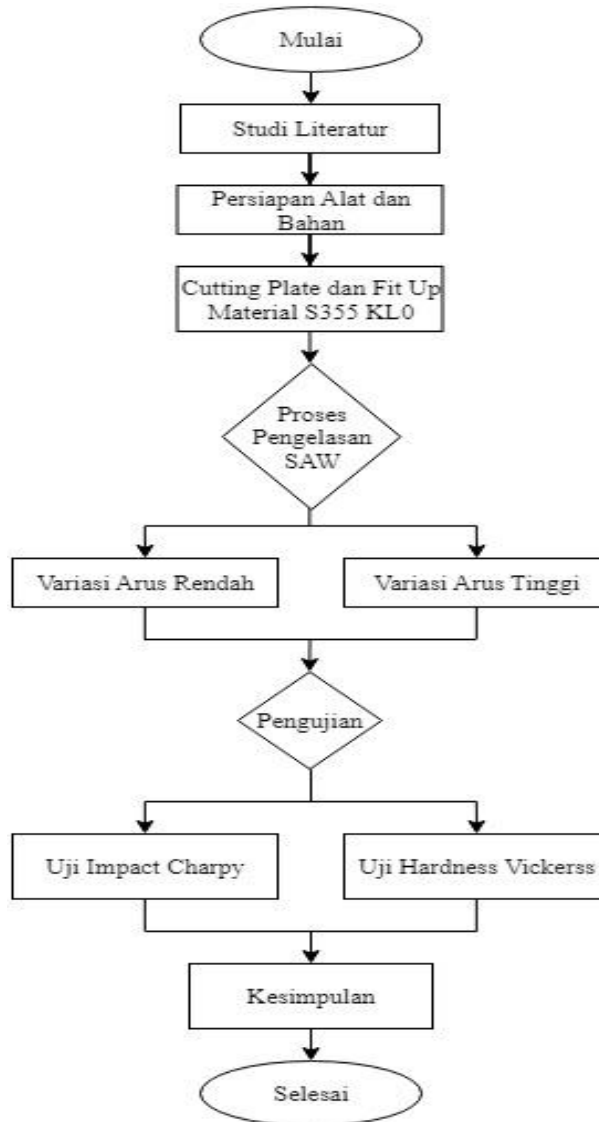
Uji *Impact Charpy* adalah salah satu pengujian yang digunakan untuk menentukan ketangguhan pada material. Pengujian *impact* merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut, inilah yang membedakan pengujian *impact* dengan pengujian tarik dan kekerasan, dimana pembebanan dilakukan secara perlahan. Pengujian *impact* juga merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan secara tiba-tiba. Pada uji *impact* terjadi proses penyerapan energi yang besar ketika beban menumbuk spesimen, [4] System pengujian impak adalah dengan mematahkan benda (specimen) uji, sehingga melalui pengujian tersebut akan didapatkan energi yang diserap. Dengan memposisikan pendulum dengan ketinggian yang sudah di setting kemudian pendulum tersebut diayunkan menuju specimen, maka akan terjadi patah pada sasaran yang sudah ditentukan [5], sedangkan uji *hardness* adalah metode yang digunakan untuk mengukur kekerasan material. Uji *hardness Vickers* dikenal juga sebagai *Diamond Pyramid Hardness test (DPH)*. Uji *hardness vickers* menggunakan indenter piramida intan, besar sudut antar permukaan piramida intan yang saling berhadapan adalah 136 derajat[6]. Kelebihan dari metode *vickers* dapat digunakan pada berbagai jenis material dan dapat memberikan hasil yang konsisten serta mampu digunakan pada area yang kecil.

Penelitian sebelumnya banyak membahas pengaruh parameter pengelasan SAW terhadap sifat mekanik baja, tetapi kebanyakan pada material seperti API 5L X56 atau EH36. Belum banyak penelitian yang secara khusus menguji material S355 KTO dengan variasi arus pengelasan. Selain itu, penelitian terdahulu biasanya hanya fokus pada satu jenis pengujian, sedangkan penelitian ini menguji dua sifat mekanik sekaligus yaitu uji *impact* dan uji *hardness*. Karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi kekurangan tersebut dengan mengkaji bagaimana perubahan arus pengelasan SAW mempengaruhi sifat mekanik pada zona las material S355 KTO. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh variasi arus pengelasan terhadap material S355KTO yang dilas menggunakan metode SAW, yang dapat dilihat melalui uji *impact* dan uji *hardness*. Penelitian ini dibatasi pada penggunaan baja S355 KTO sebagai objek penelitian. Variasi *heat input* diatur melalui parameter arus rendah dan tinggi sesuai standar prosedur pengelasan. Pengujian sifat mekanik dibatasi pada uji *hardness vickers* dan uji *impact charpy*. Penelitian ini bermanfaat untuk industri karena dapat menjadi acuan dalam memilih arus pengelasan SAW yang tepat sesuai kebutuhan. Jika dibutuhkan kekerasan yang lebih tinggi, maka arus rendah lebih cocok. Sebaliknya, jika dibutuhkan ketangguhan yang lebih baik, maka arus tinggi dapat digunakan. Dengan pemilihan arus yang tepat, kualitas sambungan las bisa lebih optimal dan risiko kegagalan konstruksi dapat berkurang

2. Metodologi Penelitian

2.1 Studi Literatur

Metode yang digunakan dalam analisis yaitu metode kuantitatif berupa perbandingan pengaruh variasi arus tinggi dan arus rendah pada pengelasan SAW terhadap nilai uji *impact* dan nilai uji *hardness*. Tahapan pertama yang dilakukan adalah mencari referensi dari berbagai jurnal, buku, laporan penelitian hasil uji *impact*, uji *hardness* dan artikel yang sesuai dengan judul yaitu pengaruh *heat input*, uji *impact*, uji *hardness* dan pengelasan SAW.



Gambar 1. Diagram Alir

2.2 Persiapan Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang akan digunakan dalam proses pengelasan:

1. Penelitian ini menggunakan material S355 KT0 sebagai sarana untuk proses pengelasan SAW
2. Elektroda yang digunakan pengelasan SAW adalah OESD3 dengan diameter 4.0 mm
3. Flux menggunakan OP121TT
4. Mesin Las *Lincoln Electric Type MAXsa 10*
5. Kaliper
6. *Stopwatch*

7. *Clamp Ampere*
8. *Thermometer*
9. Pita Ukur
10. *Welding Gauge*
11. *Chipping*
12. Gerinda

2.3 Cutting Plate dan Fit Up

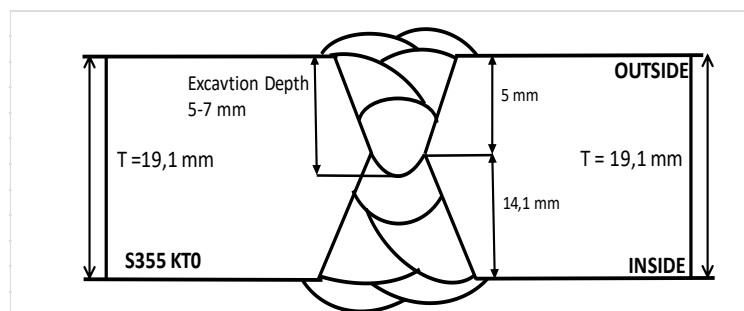
Pada penelitian ini plate baja yang digunakan S355 KTO dengan *thickness* 19,1 mm. setelah itu plat baja melewati proses pembuatan kampuh *single V* dengan sudut 60°. Selanjutnya plate di *fit up* dengan memasang *stronge back* agar saat plat baja dilakukan pengelasan tidak mengalami pembengkokan karena tempetratur yang panas, kemudian dipasangkan *run of plate* di setiap ujung bevel. Posisi pengelasan 1G dengan posisi plat yaitu flat. Tipe arus yang digunakan *DCEP (Direct Current Electrode Positive)* dan *AC(Alternating Current)*, tipe mesin las adalah *Lincoln Electric Type MAXsa 10*

2.4 Proses Pengelasan SAW

Pada pengelasan SAW, proses pengelasan akan dilakukan pada dua spesimen dengan menggunakan arus rendah 520-610 A dan arus tinggi 650-730 A sesuai dengan acuan WPS pengelasan. Elektroda berfungsi untuk mengisi bagian yang ingin dilas dan diumpankan secara terus menerus (*electrode wire*) pada benda kerja selama proses las berlangsung. Sedangkan pasir flux berfungsi untuk melindungi busur dan logam yang mencair dari kontaminasi udara. Kampuh las yang digunakan adalah kampuh *single V* dengan urutan pengelasan mulai dari akar (*root*), pengisian (*filler*), dan penutup (*capping*). Kampuh las digunakan bertujuan untuk mendapatkan penetrasi atau penembusan yang dalam dari hasil pengelasan. Posisi pengelasan yang digunakan adalah posisi 1G (posisi pengelasan datar) untuk *groove weld plate*[7] Proses pengelasan SAW akan dilakukan di kedua sisi yaitu *inside* dan *outside*. Parameter pengelasan mengacu pada WPS –DSAW-24010-01 Rev 05 di table 1.

Tabel 1. WPS –DSAW-24010-01 Rev 05

SIDE	WELD PASS	WELD PROCESS	FILLER METAL		TYPE & POLARITY	CURRENT				TRAVEL SPEED (mm/min)		HEAT INPUT (KJ/mm)	
			AWS CLASS	DIAMETER (mm)		AMPERAGE		VOLTAGE		Min.	Max.	Min.	Max.
						Min.	Max.	Min.	Max.				
Side 1 or 2	Tack/Seal Weld	GMAW	ER70S-6	1,0	DCEP	120	150	16	21	130	170	0,54	1,16
Side 1 or 2	FILL	SAW Single Wire	F7A8-EH12K	4,0	DCEP	500	675	24	34	450	620	1,16	3,06
Side 1 or 2	FILL	SAW Tandem Wire	F7A8-EH12K	4,0	DCEP	500	730	24	33	520	740	0,97	2,78
					AC	490	720	26	34			1,03	2,82
Side 1 or 2	CAP	SAW Single Wire	F7A8-EH12K	4,0	DCEP	500	680	26	34	450	630	1,24	3,08



Gambar 2. Pengelasan SAW

Setelah melakukan proses pengelasan di posisi *inside*, selanjutnya material bagian *outside* akan di lakukan *excavation milling* sedalam 5-7 mm. Sebelum dilakukan proses pengelasan SAW dibagian *outside*. Kualitas

sambungan yang baik dapat dihasilkan dengan proses las yang tepat. *Heat input* dalam proses las SAW ditentukan oleh berbagai faktor seperti, arus listrik, tegangan busur dan kecepatan las.

$$HI = \frac{V \times I \times 0,06}{Travel\ Speed}$$

Dimana :

HI = Masukan panas (kJ/mm)

V = Tegangan pengelasan (*Voltase*)

I = Arus las (*Ampere*)

0,06 = Faktor konversi

Travel Speed = Kecepatan pengelasan (mm/min)

Tabel. 2 Parameter Variasi Arus Rendah

Weld Layer No.	Weld Pass No.	Weld Pass	Welding Proses	Number Of Electrode	Wire Diameter	Ampere (A)		Voltage (V)		Type & Polarity	Travel Speed	Heat Input (KJ/mm)		Weld Bead		Preheat & Interpass Temperature
					MM	Min	Max	Min	Max		(mm/min)	Min	Max	Width (mm)	Height (mm)	(°Celcius)
<i>Side 2</i>																
1	1	Tack/Seal Weld	GMAW	Single Wire	1.0	131	145	18	20	DCEP	170	0.66	0.82	10	2	29°C (Ambient Temperature)
<i>Side 1</i>																
1	1	Fill Pass	SAW	Tandem Wire	4.0	550	580	29	30	DCEP	650	1.47	1.61	26	3	32°C (Ambient Temperature)
						525	540	28	29	AC		1.36	1.45			
2	2	Fill/Cap Pass	SAW	Tandem Wire	4.0	570	592	29	31	DCEP	670	1.48	1.64	28	3	147°C
						530	550	28	30	AC		1.33	1.48			
3	3	Cap Pass	SAW	Single wire	4.0	585	610	30	31	DCEP	600	1.76	1.89	22	3	163°C
<i>Side 2</i>																
1	1	Fill Pass	SAW	Single Wire	4.0	575	590	28	29	DCEP	600	1.61	1.71	16	2	29°C (Ambient Temperature)
2	2	Fill Pass	SAW	Single Wire	4.0	570	600	29	30	DCEP	580	1.71	1.86	20	3	138°C
	3	Fill Pass	SAW	Single Wire	4.0	570	598	29	31	DCEP	600	1.65	1.85	20	3	159°C
3	4	Cap Pass	SAW	Single Wire	4.0	520	540	30	31	DCEP	600	1.56	1.67	22	3	174°C
	5	Cap Pass	SAW	Single Wire	4.0	520	545	29	30	DCEP	620	1.46	1.58	22	3	192°C

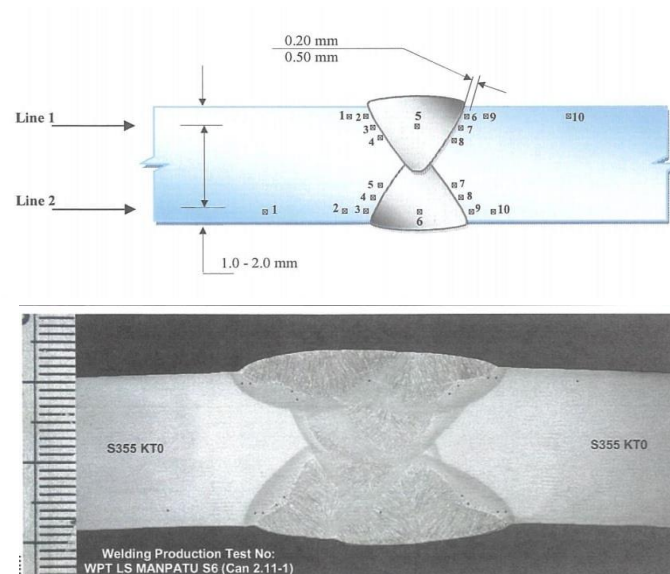
Tabel. 3 Parameter Variasi Arus Tinggi

Weld Layer No.	Weld Pass No.	Weld Pass	Welding Proses	Number Of Electrode	Wire Diameter	Ampere (A)		Voltage (V)		Type & Polarity	Travel Speed	Heat Input (KJ/mm)		Weld Bead		Preheat & Interpass Temperature
					MM	Min	Max	Min	Max		(mm/min)	Min	Max	Width (mm)	Height (mm)	(°Celcius)
<i>Side 2</i>																
1	1	Tack/Seal Weld	GMAW	Single Wire	1.0	130	147	19	20	DCEP	169	0.88	1.04	10	2	29°C (Ambient Temperature)
<i>Side 1</i>																
1	1	Fill Pass	SAW	Tandem Wire	4.0	680	710	28	31	DCEP	690	1.66	1.91	16	3	30°C (Ambient Temperature)
						675	720	29	30	AC		1.70	1.88			
2	2	Fill Pass	SAW	Single Wire	4.0	640	665	27	29	DCEP	600	1.73	1.93	22	2	135°C
		Fill Pass	SAW	Single Wire	4.0	640	660	28	29	DCEP	590	1.82	1.95	22	3	152°C
3	3	Cap Pass	SAW	Single wire	4.0	650	670	29	31	DCEP	600	1.89	2.08	24	3	176°C
	4	Cap Pass	SAW	Single Wire	4.0	650	665	28	30	DCEP	600	1.8	2.00	24	3	181°C
<i>Side 2</i>																
1	1	Fill Pass	SAW	Single Wire	4.0	620	650	29	30	DCEP	590	1.83	1.98	14	2	29°C (Ambient Temperature)
2	2	Fill Pass	SAW	Single Wire	4.0	640	655	29	31	DCEP	600	1.86	2.03	20	3	149°C
	3	Fill Pass	SAW	Single Wire	4.0	640	660	28	29	DCEP	590	1.82	1.95	20	2	157°C
3	4	Cap Pass	SAW	Single Wire	4.0	640	670	27	28	DCEP	600	1.73	1.88	22	3	152°C
	5	Cap Pass	SAW	Single Wire	4.0	650	680	28	30	DCEP	600	1.82	2.04	24	3	169°C

2.5 Pengujian

2.5.1 Uji Hardness Vickers

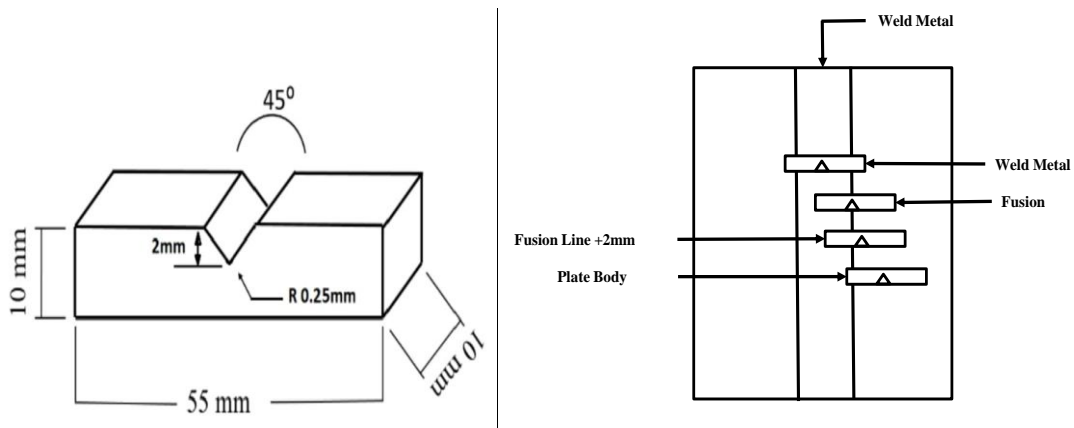
Uji *hardness vickers* menggunakan indenter piramida intan, besar sudut antar permukaan piramida intan yang saling berhadapan dengan sudut 136 derajat. Adapun metode pengujian *hardness* menggunakan metode *vickers* (HV10) dengan pembebanan 10 Kgf. Penelitian ini menggunakan alat uji *The Zwick Roel Hardness Testing Machine*. Pengujian dilakukan pada daerah *base metal*, *HAZ* dan *weld metal*. Untuk pengujian pada spesimen SAW dilakukan sebanyak 2 kali pengujian di 10 titik pada lokasi uji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Uji *hardness vickers* dilakukan dengan terlebih dahulu menyiapkan spesimen logam yang permukaannya telah dipoles hingga rata dan bersih. Setelah itu, spesimen diletakkan pada meja uji dan diuji menggunakan mesin *vickers* dengan indenter berbentuk piramida intan. Beban tertentu, seperti 10 kgf (HV10), diterapkan secara vertikal ke permukaan spesimen melalui indenter, dan ditahan selama 10–15 detik sesuai standar. Setelah waktu penahanan selesai, indenter diangkat dan jejak indentasi terbentuk di permukaan material.



Gambar 3 Lokasi Uji *Hardness Vickers* SAW

2.5.2 Uji Impact Charpy

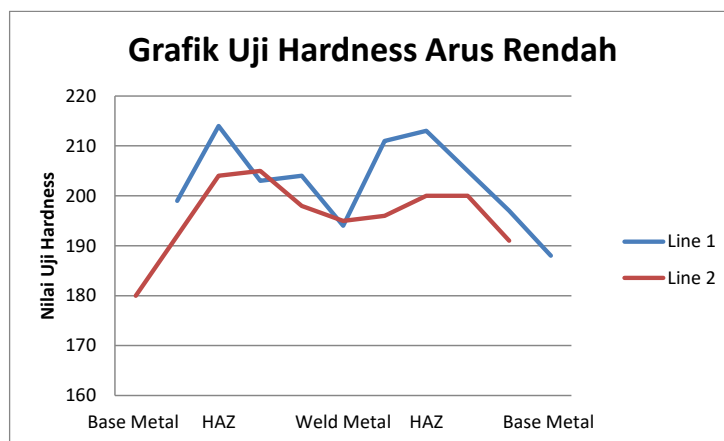
Pengujian *impact* ini adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban, pengujian *impact* spesimen SAW dilakukan di *weld metal*, *fusion line*, *fusion line +2mm* dan *plate body* dengan ukuran spesimen 10mmx10mmx55mm. Untuk mendapatkan data hasil dari proses pengujian *impact charpy*, pengujian ini dilakukan sebanyak 3 kali. Pada bagian spesimen *weld metal* menggunakan suhu -40°C sedangkan *fusion line*, *fusion line +2mm* dan *plate body* menggunakan suhu ruangan 0°C . Langkah awal dinginkan spesimen menggunakan methanol dan dituangkan nitrogen cair mencapai suhu -45°C , selanjutnya spesimen dijepitkan dengan kuat pada ragum dan pendulum diletakkan pada ketinggian h_1 . Setelah itu dilepaskan, maka pendulum akan mengayun sampai kedudukan h_2 dimana ketinggian h_2 akan berbeda dengan h_1 karena terjadinya benturan antara pendulum dengan spesimen yang di uji, sehingga spesimen terjadi deformasi kemudian lihat posisi jarum pada ketinggian h_2 yang ada pada skala di mesin impak[8]



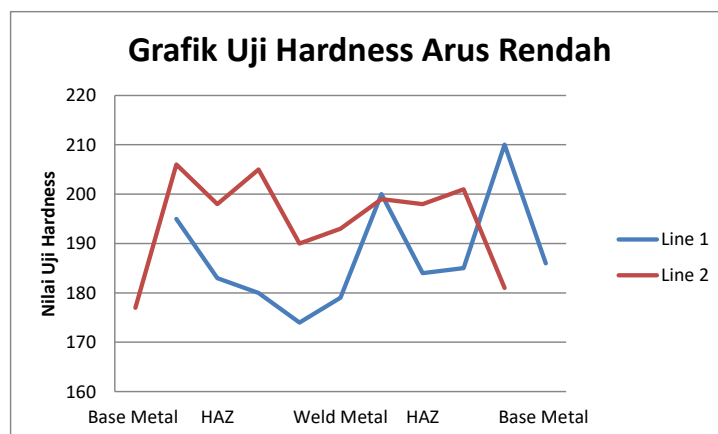
Gambar 4. Ilustrasi ukuran specimen dan Lokasi pengujian *Impact Charpy* dan Lokasi Spesimen Uji *Impact Charpy*

3. Analisa Data dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian *Hardness*



Gambar 6. Grafik Hasil Uji *Hardness Vickers* Arus Rendah



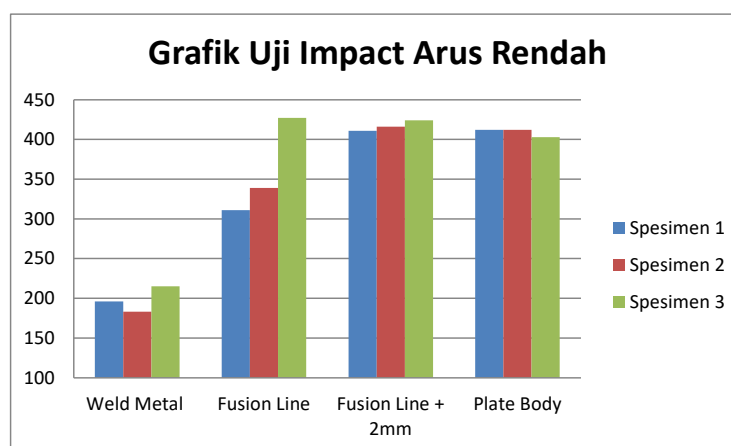
Gambar 7. Grafik Hasil Uji *Hardness Vickers* Arus Tinggi

Gambar 3. diatas menunjukkan lokasi titik pengujian *hardness vickers* yang dilakukan di *base metal*, *HAZ* dan *weld metal*. Dimana data dari pengujian ini didapatkan dari 2 spesimen dengan variasi arus rendah 520-610 A dan variasi arus tinggi 650-730 A. Pengujian *hardness* menggunakan metode *vickers HV10* pada dua variasi arus. Hasil pengujian menunjukkan adanya variasi nilai kekerasan pada *Base Metal* (BM), *Weld*

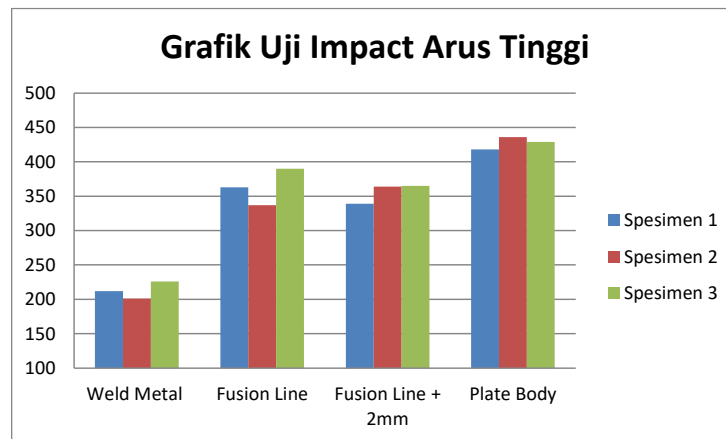
Metal (WM), dan *Heat Affected Zone* (HAZ). Arus rendah 520–610 A, nilai kekerasan tertinggi terdapat pada HAZ dengan nilai mencapai 214 HV, sedangkan WM rata-rata berkisar antara 194-195 HV dan BM 180-188 HV. Hal ini menunjukkan bahwa pendinginan cepat pada arus rendah memperbesar kecenderungan terbentuknya struktur mikro lebih keras seperti di HAZ. Sedangkan arus tinggi 650–730 A nilai kekerasan tertinggi tercatat rata-rata 174-210 HV di HAZ, WM 179- 193 HV dan BM 177-186 HV. Dibanding arus rendah, arus tinggi memberikan kekerasan lebih rendah karena pendinginan lebih lambat memberikan mikrostruktur yang lebih lunak. Arus rendah menghasilkan nilai kekerasan lebih tinggi, khususnya di HAZ, akibat pendinginan cepat. Sebaliknya, arus tinggi menurunkan nilai kekerasan, namun meningkatkan *toughness*.

3.2 Hasil Pengujian *Impact*

Pengujian *impact* dilakukan pada dua variasi arus, yaitu arus rendah 520–610 A dan arus tinggi 650–730 A, pada beberapa posisi spesimen uji Weld metal (WM), Fusion (FL), FL+2 mm, Plate Body. Weld metal menggunakan suhu $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan arus rendah 520–610 A menghasilkan energi serap rata-rata 198 J, sedangkan arus tinggi 650–730 A mencapai 213 J. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pada weld metal dengan arus tinggi memberikan *toughness* lebih baik. Sedangkan fusion Line menggunakan suhu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan arus rendah menunjukkan rata-rata 359 J, sedangkan arus tinggi 363 J. Daerah fusion line yang menerima panas maksimum cenderung memiliki *toughness* stabil baik pada arus rendah maupun tinggi. Pada lokasi ini fusion line + 2 mm menggunakan suhu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan arus rendah justru lebih unggul dengan nilai rata-rata 417 J, dibanding arus tinggi yang hanya 356 J. Hal ini disebabkan pendinginan cepat pada arus rendah yang membentuk butiran lebih halus di daerah transisi HAZ, sehingga ketangguhan meningkat. Pada arus tinggi, pendinginan lambat memicu pertumbuhan butir kasar yang menurunkan *toughness*. Plate Body menggunakan suhu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan arus rendah menghasilkan nilai rata-rata 409 J, sedangkan arus tinggi 427 J. Hasil ini menunjukkan arus tinggi lebih baik pada logam induk, karena heat input tinggi dapat memperbaiki kestabilan butiran sehingga mampu menyerap energi lebih tinggi saat uji *impact*. Secara keseluruhan, arus tinggi unggul pada weld metal dan plate body, sedangkan arus rendah lebih baik pada FL+2 mm. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh variasi arus terhadap *toughness* sangat dipengaruhi oleh lokasi pengujian pada sambungan las.



Gambar 8. Grafik Hasil Uji *Impact Charpy* Arus Rendah



Gambar 9. Grafik Hasil Uji *Impact Charpy* Arus Tinggi

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi arus pengelasan SAW terhadap sifat mekanik material S355 KTO, maka dapat disimpulkan bahwa variasi arus memberikan pengaruh yang jelas terhadap nilai kekerasan dan ketangguhan pada daerah lasan. Pada pengujian kekerasan *vickers* HV10, arus rendah menunjukkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan arus tinggi, di mana kekerasan maksimum sebesar 214 HV berada pada daerah HAZ, sedangkan arus tinggi hanya mencapai 210 HV. Nilai kekerasan pada *weld metal* dan *base metal* spesimen arus rendah juga lebih besar dibandingkan spesimen arus tinggi. Kondisi ini terjadi karena pendinginan yang lebih cepat pada arus rendah menyebabkan terbentuknya mikrostruktur yang lebih keras. Sementara pendinginan yang lebih lambat pada arus tinggi menghasilkan mikrostruktur yang lebih lunak. Sementara itu, pada pengujian *impact charpy*, arus tinggi memberikan nilai ketangguhan lebih baik pada *weld metal* dan *plate body* apabila dibandingkan dengan arus rendah. Hal ini menunjukkan bahwa *heat input* yang lebih tinggi dapat meningkatkan kemampuan material dalam menyerap energi benturan akibat terbentuknya struktur butir yang lebih halus akibat pendinginan lambat. Pada pengujian *fusion line*, nilai *impact* arus rendah dan arus tinggi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, yaitu masing-masing 359 J dan 363 J. Namun, pada posisi FL + 2 mm, arus rendah justru menghasilkan ketangguhan yang lebih tinggi sebesar 417 J dibandingkan arus tinggi sebesar 356 J. Hal ini menunjukkan bahwa di daerah transisi HAZ, pendinginan cepat yang terjadi pada arus rendah mampu meningkatkan ketangguhan material pada zona tersebut.

5. Daftar Pustaka

- [1] D. Nainggolan, P. Manik, A. W. B. Santosa, and J. Soedarto, "Pengaruh Kuat Arus Listrik Dan Kecepatan Pengelasan SAW terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro pada Sambungan Baja SS 400".
- [2] R. Kurniawan, M. Ari, and D. Anggara, "Analisis variasi arus pengelasan Submerged Arc Welding pada proses build-up beam material SM490YA terhadap perubahan distorsi menggunakan metode eksperimen dan numerik".
- [3] P. Sustainability *et al.*, "Jurnal Pengabdian Masyarakat Teknik," vol. 5, no. 1, pp. 27–30, 2022.
- [4] A. B. Maulana, S. S. Budi, and M. T. Qurohman, "Uji Kekerasan Dan Uji Impact Pada Pulley Menggunakan Alat Impact Charpy Dan Brevetty Affri Pt Barata Indonesia (Persero)," *Nozzle J. Mech. Eng.*, vol. 11, no. 2, pp. 49–56, 2022, doi: 10.30591/nozzle.v11i2.5915.
- [5] E. P. D. Boangmanalu, A. B. Pratama, A. Qadry, J. F. H. Saragi, and F. T. H. Sinaga, "Charpy and Izod

- Method Impak Strength Analysis on ST 37 Steel with Temperature Variations,” *Formosa J. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 12, pp. 3329–3342, Dec. 2023, doi: 10.55927/fjst.v2i12.7074.
- [6] Vinan Viyus, Khambali, and Bambang Hertomo, “Prediksi Nilai Batas Elastisitas Baja Konstruksi Dengan Uji Kekerasan Brinell Dan Vickers,” *J. Tek. Ilmu Dan Apl.*, vol. 9, no. 2, pp. 46–51, 2021, doi: 10.33795/jtia.v9i2.32.
- [7] A. Fajrin, M. Rafa S, and H. Butar Butar, “Pengujian Mekanik Material S355J2 Pengelasan SAW dengan Standar DNVGL-OS-C401 2019,” *J. Tek. Mesin Sinergi*, vol. 21, no. 2, pp. 234–244, 2023, doi: 10.31963/sinergi.v21i2.4272.
- [8] J. Teknologi, R. Puspita, M. N. Rahman, N. L. Arifin, and H. B. Butar, “P ERBANDINGAN K ETANGGUHAN M ATERIAL S355G7 + M P ADA P ENGELASAN SAW (O RIGINAL) DAN SMAW (R EPAIR) D ENGAN M ETODE I MPACT C HARP V-N OTCH,” vol. 6, no. 1, pp. 17–23, 2024.