

Analisis Pengaruh Variasi *Heat Input* terhadap Uji *Impact*, Uji Metalografi, dan Laju Korosi pada Pengelasan SMAW Sambungan Pelat Baja A36 dengan Baja *Structural Steel* 400 (SS400)

Atha Fazadima, Herman Pratikno, dan Hasan Ikhwan

Departemen Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: athafazadimaa@gmail.com

Abstrak—Pengelasan merupakan metode penyambungan material yang sering digunakan pada kapal dan industri lepas pantai. Baja karbon rendah seperti baja A36 dan baja *structural steel* 400 (SS400) merupakan material yang sering digunakan dalam konstruksi kapal. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis pengaruh variasi *heat input* pada pengelasan SMAW sambungan pelat baja A36 dengan baja *structural steel* 400 (SS400) terhadap uji laju korosi dan beberapa sifat mekanik seperti uji *impact* dan uji metalografi. Untuk variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah *heat input* yaitu 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm. Dari pengujian *impact* didapatkan untuk nilai ketangguhan *impact energy* terbesar yaitu pada variasi *heat input* 1,44 kJ/mm sebesar 122 Joule. Pada pengujian makro metalografi, didapatkan hasil bahwa semakin besar *heat input* yang digunakan maka akan memiliki ukuran *weld metal* yang semakin lebar. Selain itu pada pengujian mikro metalografi didapatkan bahwa semakin besar *heat input* yang digunakan maka struktur mikro yang terbentuk akan semakin kasar. Sehingga akan menyebabkan nilai ketangguhan meningkat. Sementara pada pengujian laju korosi, didapatkan bahwa nilai laju korosi tertinggi yaitu pada spesimen dengan variasi *heat input* 1,44 kJ/mm yaitu sebesar 0,5386 mm/a.

Kata Kunci—Baja A36, Baja SS400, *Heat Input*, Laju Korosi, Uji *Impact*

I. PENDAHULUAN

PENGELASAN sering digunakan dalam proses fabrikasi struktur baja seperti konstruksi teknik sipil, konstruksi pelat kapal [11]. Dalam perkembangannya, pengelasan memiliki banyak jenis atau metode dengan komponen dan kegunaan yang berbeda-beda disetiap jenisnya. Metode SMAW merupakan metode pengelasan yang memiliki biaya yang murah, mudah digunakan, dan serbaguna karena dapat menggabungkan material dalam berbagai bidang seperti bidang kelautan, pembangunan kapal, otomotif, konstruksi dan industri petrokimia [1-2]. SMAW juga banyak digunakan pada pengelasan *stainless steel*, besi ulet, besi cor, baja karbon, baja paduan rendah dan baja paduan tinggi [3].

Contoh baja karbon rendah yang biasa digunakan untuk konstruksi bangunan kapal adalah baja ASTM A36 dan baja SS400. Baja SS400 merupakan baja produksi dari Jepang yang sering digunakan untuk struktur baja, konstruksi kapal, jembatan dan lain sebagainya. Sedangkan untuk baja A36 merupakan bahan yang digunakan untuk pembuatan kapal, bangunan lepas pantai, dan industri minyak dan gas [4].

Salah satu faktor yang memengaruhi kualitas hasil pengelasan adalah terkait dengan besar kecilnya *heat input*. *Heat input* pada pengelasan memiliki pengaruh yang cukup

besar terhadap hasil pengelasan. Termasuk juga dalam menilai suatu ketangguhan material dan juga sifat-sifat mekaniknya [5]. Selain itu, dengan membuat desain *welding procedure specification* dalam melakukan proses fabrikasi pengelasan, nantinya akan membantu dan memberikan dampak yang lebih baik pada kualitas produksi tanpa adanya pemborosan dan pengerjaan ulang pada material [6].

Dalam dunia industri maritim, tentunya salah satu tantangan yang harus dihadapi adalah terkait dengan korosi. Salah satu jenis korosi yang bisa terjadi adalah korosi galvanik. Dimana korosi galvanik yaitu korosi yang sering terjadi apabila ada dua material berbeda jenis dan memiliki perbedaan beda potensial saling kontak dalam suatu larutan elektrolit. Material yang memiliki beda potensial lebih kecil akan menjadi anoda dan akan mengalami korosi lebih cepat [7]. Oleh karena itu, pada penelitian ini penulis akan menganalisis pengaruh variasi arus terhadap sifat mekanik dan laju korosi pada pengelasan SMAW sambungan pelat baja A36 dengan baja SS400. Variasi yang digunakan pada penelitian ini variasi *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm. Pengujian yang dilakukan adalah uji *impact*, uji metalografi serta laju korosi.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. *Desain Welding Procedure Specification* (WPS)

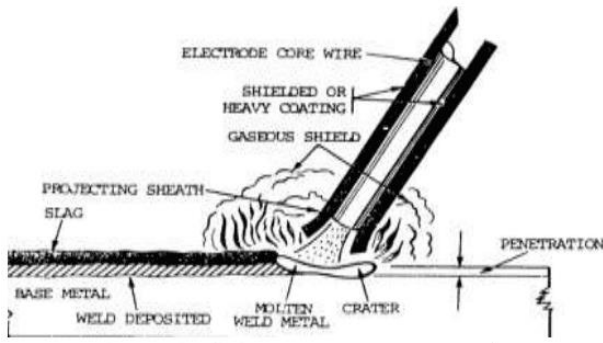
WPS merupakan acuan yang digunakan oleh *welder* ketika melakukan pengelasan. Beberapa hal yang diatur dalam WPS adalah jenis las, arus, tegangan, dan lain-lain.

B. *Pengelasan SMAW dengan Variasi Heat Input*

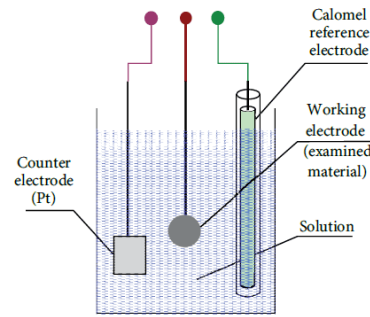
Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) adalah sebuah proses penyambungan logam yang menggunakan energi panas untuk mencairkan benda kerja dan elektroda (bahan pengisi). Jenis pelindung yang digunakan adalah selaput fluks yang berfungsi untuk melindungi logam dari adanya kontaminasi dari udara luar [8]. Gambar 1 merupakan proses pengelasan SMAW.

Selama proses pengelasan, fluks yang melapisi elektroda yang digunakan untuk pengelasan akan mencair dan mengisi kampuh las dengan logam cair yang berasal dari elektroda induk, kemudian membentuk kawah cair dan membeku. Maka terjadilah logam lasan (*weldment*) dan terak (*slag*).

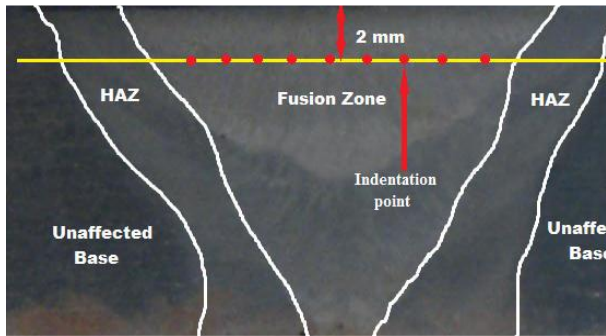
Heat input adalah energi panas yang dimasukkan ke dalam logam melalui elektroda. Jumlah *heat input* yang diberikan selama pengelasan tergantung pada arus dan ukuran dari elektroda yang digunakan [9]. Variasi *heat input* yang



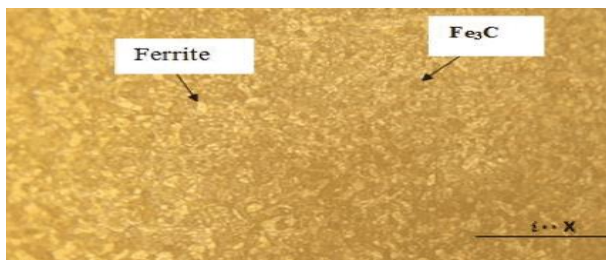
Gambar 1. Proses SMAW.



Gambar 4. Metode sel tiga elektoda.



Gambar 2. Ilustrasi gambar struktur makro.



Gambar 3. Ilustrasi gambar struktur mikro.

digunakan pada penelitian ini adalah 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm, Perhitungan *heat input* pada pengelasan dapat dituliskan menggunakan persamaan berikut [10]:

$$Heat\ Input = \frac{Voltage \times Amperage \times 60}{Travel\ Speed} \quad (1)$$

C. NDT Radiografi

Pengujian *Non-destructive test* (NDT) merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui cacat las pada hasil pengelasan. Metode yang digunakan adalah metode tes radiografi.

D. Pengujian Impact

Uji *impact* merupakan suatu pengujian yang mengukur ketangguhan material terhadap beban yang diberikan secara tiba-tiba. Uji *impact* merupakan sebuah metode yang sangat baik untuk mengukur ketangguhan takik suatu material secara sederhana [11]. Energi yang diserap oleh spesimen uji merupakan usaha yang dilakukan oleh pendulum ketika menghantam spesimen uji dapat dituliskan pada rumus sebagai berikut [12]:

$$w = Ep - Em \quad (2)$$

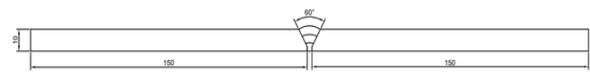
Keterangan:

w = Energi yang terserap (Joule)

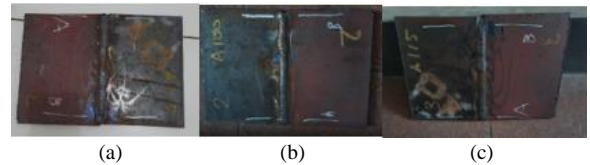
Ep = Energi potensial (Joule)

Tabel 1. Desain WPS

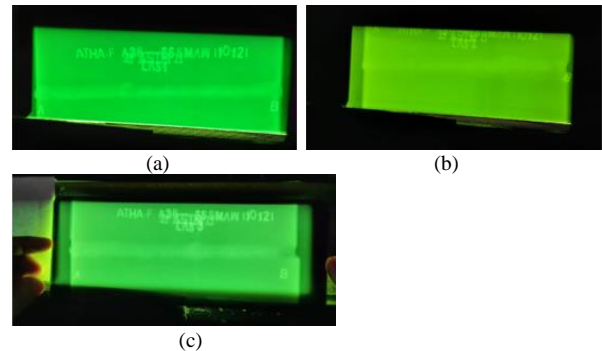
No. Spesimen	Variasi Heat Input	Jumlah Layer
Spesimen 1	1,08 kJ/mm	3 Layer
Spesimen 2	1,26 kJ/mm	4 Layer
Spesimen 3	1,44 kJ/mm	4 Layer



Gambar 5. Ilustrasi Sambungan Pengelasan.



Gambar 6. Hasil pengelasan (a) Spesimen 1, (b) Spesimen 2, (c) Spesimen 3.



Gambar 7. Hasil uji radiografi (a) Spesimen 1, (b) Spesimen 2, (c) Spesimen 3.

Em = Energi kinetik (Joule)

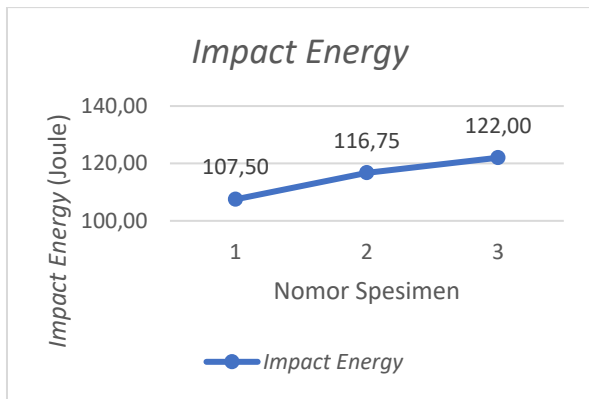
E. Pengujian Metalografi

Uji metalografi merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui struktur logam dengan menggunakan alat bantu mikroskop. Pada uji metalografi terdapat dua jenis, yaitu pengujian mikro dan pengujian makro. Pengujian makro bertujuan untuk mengamati daerah hasil pengelasan, yaitu pengukuran lebar *weld metal* serta untuk mengetahui cacat las yang ada. Gambar 2 merupakan contoh hasil uji makro.

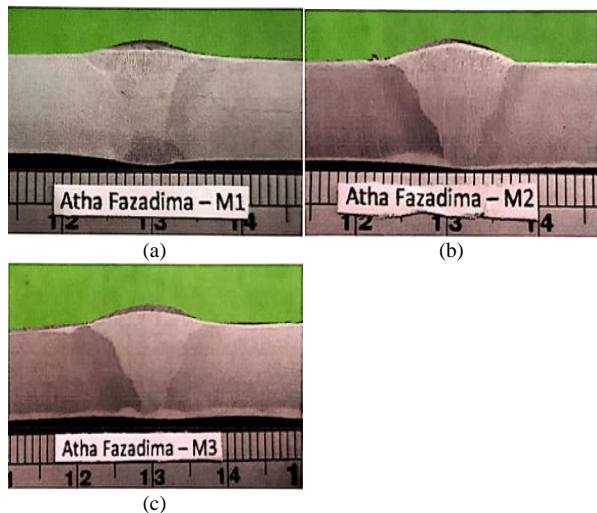
Pengujian mikro adalah suatu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui fase-fase pada logam dengan paduan tertentu dan bentuknya. Gambar 3 merupakan contoh hasil uji struktur mikro.

F. Pengujian Laju Korosi

Korosi merupakan proses degradasi atau penurunan kualitas material, baik logam maupun non-logam yang terjadi dikarenakan adanya reaksi reduksi oksidasi antara logam



Gambar 8. Grafik nilai *impact energy* hasil uji *impact*.



Gambar 9. Hasil Pengujian Makro (a) Spesimen 1, (b) Spesimen 2, (c) Spesimen 3.

Tabel 2. Hasil *weld profile* pada uji makro

Weld Profile				
Spesimen	Excess weld metal (R1)	Excess penetration (R2)	Width of the weld (face) (W1)	Width of the weld (root) (W2)
1	2,20	0,80	14,00	6,80
2	3,00	1,70	14,70	4,90
3	3,00	1,60	15,80	5,80

dengan lingkungannya. Gambar 4 merupakan proses uji laju korosi dengan metode sel tiga elektroda.

Metode yang digunakan dalam perhitungan laju korosi diantaranya adalah metode elektrokimia. Metode ini dapat menentukan laju korosi dengan cara mengukur beda potensial material sehingga akan didapat laju korosinya. Untuk perhitungan laju korosi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [13]:

$$CR = \frac{K_1 i_{corr} EW}{\rho} \quad (3)$$

Keterangan:

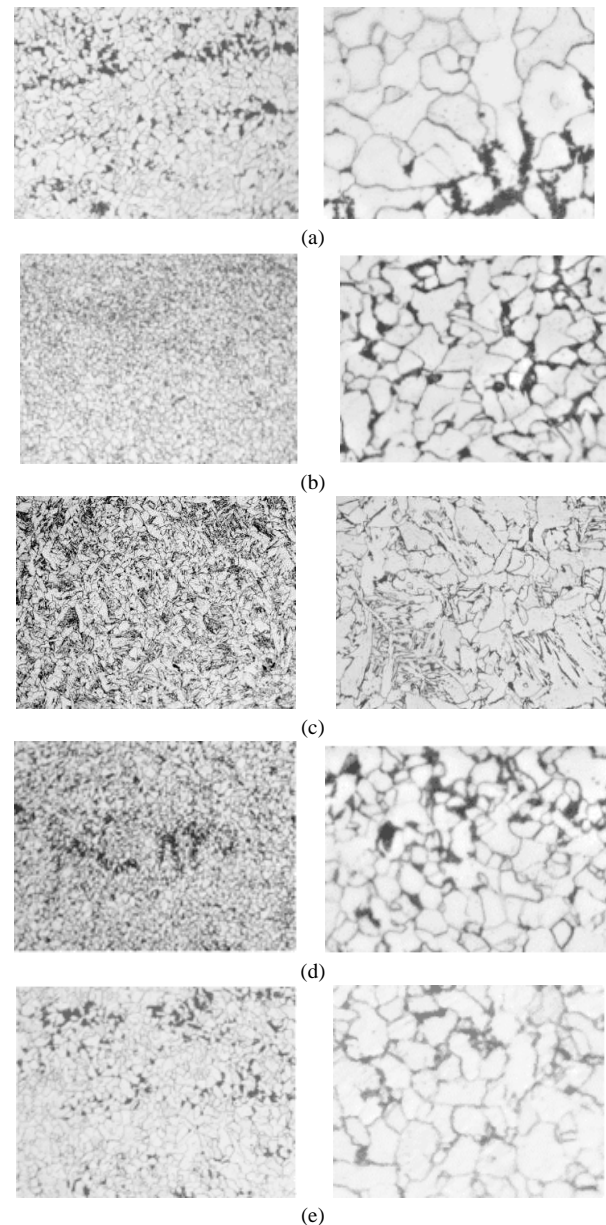
CR = Laju korosi (mmpy)

i_{corr} = Arus korosi ($\mu A/cm^2$)

K_1 = Konstanta ($3,27 \times 10^{-3} mmpy$)

ρ = Massa jenis (g/cm^3)

EW = *Equivalent weight* (g/mol)



Gambar 10. Hasil Pengujian Mikro Spesimen 1 perbesaran 100x dan 500x (a) *base metal* A36, (b) HAZ A36, (c) *weld metal*, (d) HAZ

III. HASIL DAN DISKUSI

A. *Desain Welding Procedure Specification* (WPS)

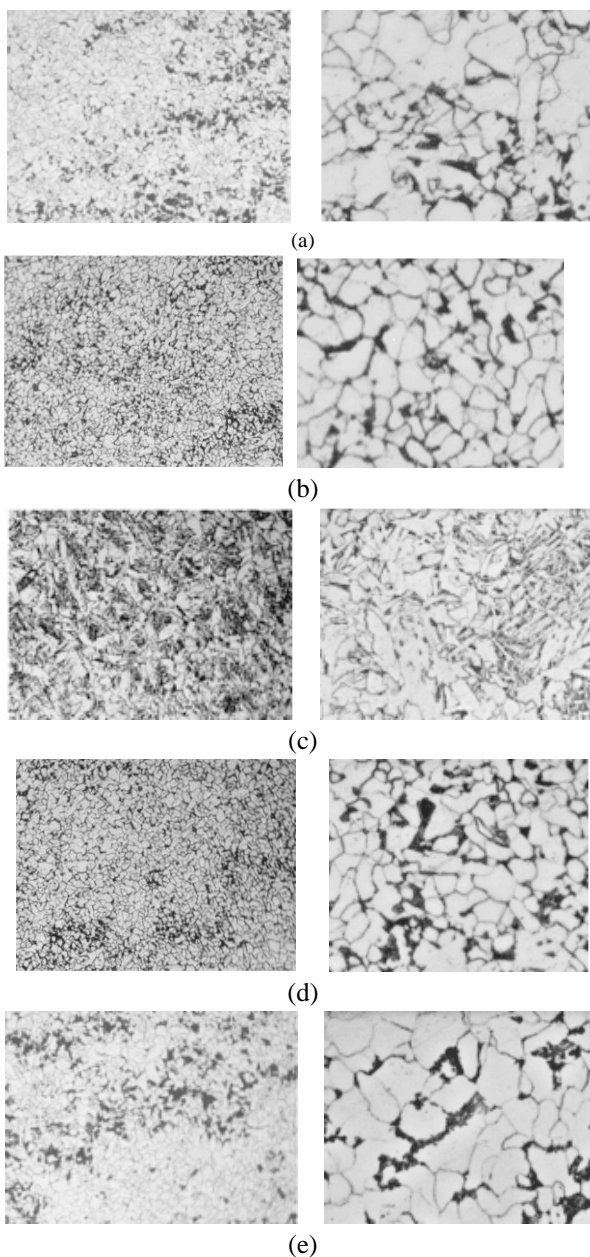
Pada penelitian ini, ketentuan WPS yang akan digunakan adalah berdasarkan ASME Section IX [10] sebagai berikut :

1. *Welding Process*: SMAW
2. *Joint Design* : *Butt Joint*
3. *Groove* : *Single V*
4. *Base Metals* : A36 to SS400, t:10mm, L=300, P=200
5. *Filler Metals* : E7018 diameter 3,2 mm
6. *Position* : 1G
7. *Gas* : N/A
8. *Technique* : *String or Weave*

Tabel 1 merupakan penjelasan mengenai desain WPS. Ilustrasi dari sambungan pengelasan pada Gambar 5 dan hasil pengelasan untuk ketiga specimen pada Gambar 6.

B. *Pengujian NDT Radiografi*

Setelah melakukan proses pengelasan, dilanjutkan melakukan proses tes radiografi untuk mendeteksi cacat las yang ada pada material. Gambar 7 hasil uji tes radiografi.



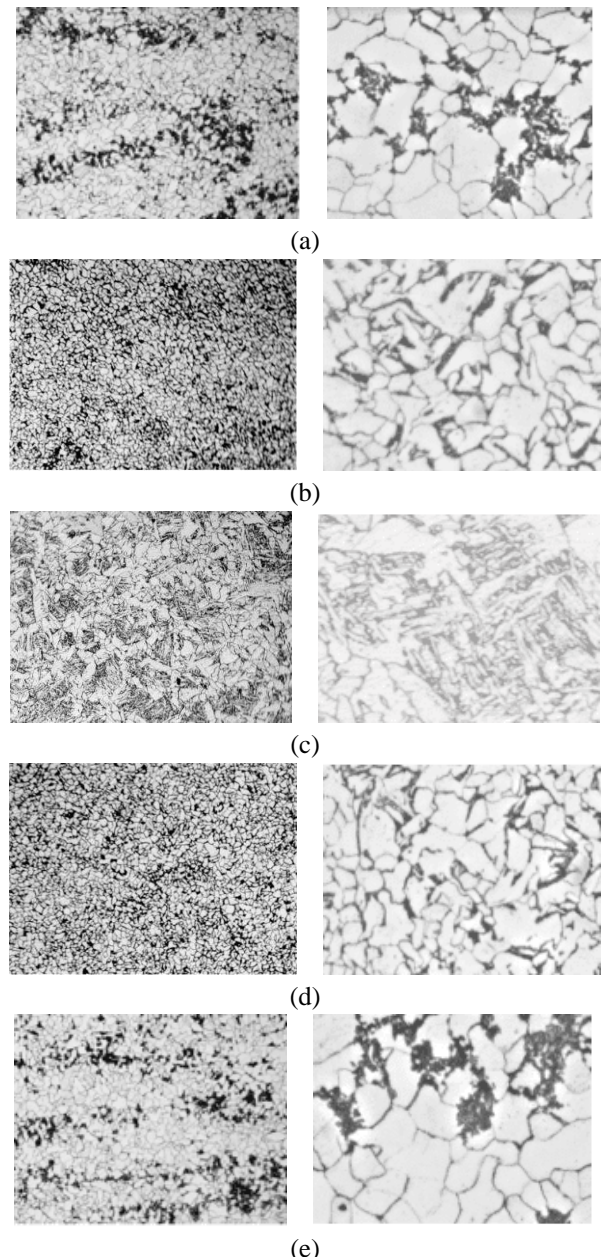
Gambar 11. Hasil Pengujian Mikro Spesimen 2 perbesaran 100x dan 500x (a) *base metal* A36, (b) HAZ A36, (c) *weld metal*, (d) HAZ SS400, (e) *base metal* SS400.

Dari hasil pengujian radiografi, semua spesimen tidak ditemukan cacat yang melebihi batas toleransi, sehingga dapat dilanjutkan ke pengujian selanjutnya.

C. Pengujian Impact

Pengujian uji *impact* merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui ketangguhan dari suatu material. Uji *Impact* dilakukan dengan cara memberikan beban secara tiba-tiba ke spesimen yang telah di tempatkan ke alat uji *impact*. Pada penelitian ini menggunakan, uji *impact* yang dilakukan menggunakan metode *impact charpy*. Spesimen pengujian *impact* dengan metode *charpy* ini dilakukan berdasarkan standart ASTM E23.

Pada Spesimen 1 dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm., didapat nilai *impact energy* berturut-turut sebesar 103,0 Joule dan 112,0 Joule. Sehingga didapatkan rata-rata *impact energy* untuk Spesimen 1 yaitu sebesar 107,5 Joule. Kemudian pada Spesimen 2 dengan variasi *heat input* 1,26 kJ/mm didapatkan nilai *impact energy* sebesar 117,0 Joule dan 116,5 Joule.



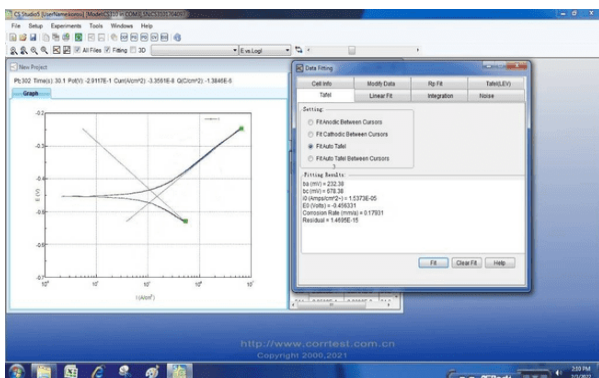
Gambar 12. Hasil Pengujian Mikro Spesimen 3 perbesaran 100x dan 500x (a) *base metal* A36, (b) HAZ A36, (c) *weld metal*, (d) HAZ SS400, (e) *base metal* SS400.

Sehingga didapatkan rata-rata *impact energy* untuk Speisemen 2 yaitu sebesar 116,75 Joule. Selanjutnya pada Spesimen 3 dengan variasi *heat input* 1,44 kJ/mm., didapatkan nilai *impact energy* sebesar 121 Joule dan 123 Joule.

Sehingga didapatkan rata-rata *impact energy* untuk Spesimen 3 yaitu sebesar 122 Joule. Dari nilai yang diperoleh, berturut-turut untuk nilai *impact energy* dari yang terkecil menuju ke yang terbesar adalah dari spesimen dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm. Semakin tinggi *heat input* maka ketangguhan akan semakin meningkat juga [14]. Nilai *impact energy* untuk ketiga spesimen dapat dilihat pada Gambar 8.

D. Pengujian Metalografi

Pada pengujian metalografi dilakukan dua pengujian yaitu pengujian secara makroskopik dan mikroskopik. Untuk pengujian secara makro dilakukan menggunakan kamera dengan perbesaran 2,25x untuk melihat hasil pengelasan pada area *base metal*, HAZ dan juga *weld metal*. Kemudian untuk



Gambar 13. Contoh grafik tafel hasil pengujian laju korosi.

Tabel 3.
Hasil pengujian laju korosi

Spesimen	I corr (A/cm ²)	Ecorr (V)	Laju Korosi (mm/a)
1	1,54E-05	-0,45633	0,17931
2	1,77E-05	-0,49801	0,20658
3	4,62E-05	-0,51944	0,53865

pengujian secara mikro dilakukan menggunakan bantuan mikroskop dengan perbesaran 100x dan 500x. Sehingga nantinya akan didapatkan perbedaan pada struktur mikro yang diamati. Pengujian makro bertujuan untuk mengetahui *discontinuity type* dan juga *weld profile* dari hasil pengelasan yang dilakukan. Hasil pengujian makro pada Gambar 9.

Dari hasil tersebut didapatkan hasil yaitu *no imperfection*, yang berarti tidak ada cacat las yang terjadi. Kemudian dilakukan analisis terhadap *weld profile*. Berikut merupakan Tabel 2 mengenai hasil pengukuran dari *weld profile*.

Untuk hasil *weld profile* pada ukuran *excess weld metal*, nilai yang tertinggi yaitu pada spesimen dengan variasi *heat input* 1,26 kJ/mm dan 1,44 kJ/mm sebesar 3,0 mm. Hal tersebut dikarenakan semakin besar *heat input* yang digunakan, maka jumlah layer yang dibutuhkan pada saat pengelasan juga akan semakin banyak. Untuk hasil *weld profile* pada ukuran *excess penetration*, nilai yang tertinggi yaitu pada spesimen dengan variasi 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm sebesar 1,7 mm dan 1,6 mm. Semakin besar *heat input*, maka tingkat kedalaman penetrasi cenderung semakin dalam.

Untuk hasil *weld profile* pada ukuran *width of the weld (face)*, nilai tertinggi yaitu pada spesimen dengan variasi *heat input* 1,44 kJ/mm sebesar 15,8 mm. Hal tersebut dikarenakan semakin besar *heat input* yang digunakan, maka panas yang terjadi pada saat pengelasan akan semakin besar juga. Sehingga menyebabkan area *weld metal* semakin lebar. Untuk hasil *weld profile* pada ukuran *width of the weld (root)*, nilai yang tertinggi yaitu pada spesimen dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm sebesar 6,8 mm. Hal tersebut dikarenakan semakin kecil *heat input* yang digunakan, maka ujung elektroda las yang digunakan pada saat pengelasan akan berbentuk tumpul. Sehingga ketika dilakukan pengelasan pada area *root* akan memiliki ukuran *weld* yang semakin lebar.

Pengujian metalografi selanjutnya adalah pengujian mikro terhadap spesimen pada daerah *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal*. Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan

perbesaran 100x dan 500x untuk melihat struktur mikro yang ada pada spesimen tersebut. Pada pengujian mikro metalografi dilakukan pengamatan pada area *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal*. Gambar 10-12 mengenai hasil pengujian mikro metalografi.

Pada saat pengelasan menggunakan baja berkarbon rendah, fasa yang terjadi adalah sepenuhnya *austenite*, namun pada suhu tertentu akan terjadi pengintian butir-butir *ferrite* pada batas butir *austenite*, sehingga akan terjadi dua fase yaitu fasa *austenite* dan *ferrite*. Kemudian butir-butir *ferrite* tersebut akan mengalami pertumbuhan. Namun, pada suhu yang semakin rendah atau ketika suhu telah melewati garis *eutectoid* pada diagram Fe-Fe₃C, sisa fasa *austenite* akan berubah menjadi fasa *pearlite*. Fasa *pearlite* terdiri dari 2 fasa, yaitu fasa *ferrite* dan juga fasa *cementite*. Sehingga pada akhirnya akan terdapat dua fasa yaitu fasa *ferrite* dan *pearlite*.

Dari pengambilan gambar struktur mikro dengan perbesaran 100x pada variasi *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm. Dari gambar tersebut, dapat diamati bahwa semakin besar *heat input*, maka akan mengakibatkan fasa *pearlite* yang terbentuk semakin kasar. Dan dengan menggunakan *heat input* yang lebih rendah maka akan mengakibatkan struktur mikronya akan semakin halus. Dengan terbentuknya struktur mikro yang semakin kasar, akan meningkatkan nilai katangguhannya. Pada penelitian lain juga menyebutkan bahwa dengan menggunakan *heat input* atau masukan panas yang rendah maka struktur mikro yang terbentuk akan lebih halus, tetapi dengan meningkatkan nilai dari *heat input*-nya maka struktur mikro akan berubah menjadi kasar [15].

E. Pengujian Laju Korosi

Pengujian laju korosi dilakukan untuk mengetahui kecepatan suatu material mengalami korosi. Pada penelitian ini pengujian laju korosi menggunakan metode elektrokimia. Dari pengujian tersebut, akan diperoleh grafik tafel. Grafik tersebut akan diperoleh nilai laju korosi dengan waktu yang cukup singkat. Dari grafik tafel tersebut, sumbu X merupakan nilai kerapatan arus (I_{corr}), sedangkan sumbu Y adalah nilai potensial (E). Gambar 13 merupakan contoh dari hasil dari pengujian laju korosi.

Dari Tabel 3 diatas, didapatkan nilai laju korosi untuk spesimen dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm berurutan adalah 0,17931 mm/a, 0,20658 mm/a, dan 0,53865 mm/a. Dengan adanya perbedaan variasi *heat input* yang dilakukan, maka akan didapatkan nilai laju korosi yang berbeda. Variasi *heat input* akan berpengaruh pada masukan panas yang terjadi pada saat melakukan pengelasan. Sehingga akan terjadi perbedaan *residual stress* atau tegangan sisa pada setiap perbedaan *heat input*-nya. Semakin tinggi tegangan sisa yang terjadi pada material, akan menyebabkan tingkat korosi juga semakin meningkat. Dari perbedaan tegangan sisa tersebut, akan berpengaruh pada nilai elektropotensial pada material tersebut. Hal tersebut dapat diketahui dari tabel 3 bahwa nilai elektropotensial yang semakin kecil dari *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm dan 1,44 kJ/mm. Semakin kecil nilai elektropotensial suatu material, maka material tersebut akan semakin mudah untuk teroksidasi, sehingga menyebabkan material semakin mudah terkorosi.

IV. KESIMPULAN

Hasil pengujian *impact* berupa nilai *impact energy* yaitu berturut-turut terdapat pada spesimen dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm dan 1,44 kJ/mm sebesar 107,5 Joule, 116,75 Joule, 122 Joule. Sehingga nilai *impact energy* tertinggi terjadi pada variasi *heat input* 1,44 kJ/mm.

Pada hasil pengujian makro metalografi menunjukkan bahwa semakin tingginya *heat input* akan membuat lebar *weld* yang semakin lebar. Dan pada pengujian mikro metalografi didapatkan bahwa semakin besar *heat input* yang digunakan maka akan menyebabkan struktur mikro menjadi lebih kasar. Sehingga hal tersebut akan meningkatkan nilai ketangguhannya.

Pada pengujian laju korosi didapatkan bahwa nilai laju korosi berturut-turut dari variasi *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm dan 1,44 kJ/mm yaitu sebesar 0,17931 mm/a, 0,20658 mm/a, dan 0,53865 mm/a. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar *heat input* yang digunakan pada saat pengelasan, maka akan menghasilkan nilai laju korosi yang semakin tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Alkahla, Ibrahim and Pervaiz, "Sustainability Assessment of Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Process," IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 244, no. 1, p. 012001, 2017.
- [2] S. Weerasekeralage, LSK and Karunaratne, M and Pathirana, "Optimization of shielded metal arc welding (SMAW) process for mild steel," IJSRST, vol. 4, pp. 1536--1543, 2018.
- [3] S. Patel, D and Patel, S and Parekh, J and Chaudhary, "A review on effect of different process parameters of SMAW," Imp. J. Interdiscipl. Res., vol. 3, no. 1, pp. 1384--1389, 2017.
- [4] S. Aragon-Verduzco, DA and Olivares-Galvan, JC and Campero-Littlewood, E and Ocon-Valdez, R and Teuffer-Zuniga, L and Magdaleno-Adame, "Behavior of Magnetic Properties of Power Transformers Structural Steel A36 at Different Temperatures," 2019 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC), 2019, pp. 1--5.
- [5] Z. Popovic, Olivera and Prokic, R and Burzic, Meri and Milutinovic, "The Effect of Heat Input on The Weld Metal Toughness of Surface Welded Joint," Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Serbia: presented in 14th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology", Mediterranean Cruise, 2010, pp. 11--18.
- [6] A. Jeergi and P. Student, "Study On Welding Procedure Specifications As Per ASME sec IX," International Journal Science Research and Development, vol. 4, no. 04, pp. 2321--0613, 2016.
- [7] C. Nejeru, C and Savin, C and Perju, MC and Burduhos-Nergis, DD and Costea, M and Bejinariu, "Studies on Galvanic Corrosion of Metallic Materials in Marine Medium," IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, p. 012106.
- [8] D. Kamra, A. Singh, and H. Singh, "Microstructure analysis of shielded metal arc welding using different electrode combination," International Journal for Technology Research in Engineering, vol. 2, no. 7, pp. 1138--1142, 2015.
- [9] A. Jha, Rohit and Jha, "Investigating the effect of welding current on the tensile properties of SMAW welded mild steel joints," International Journal of Engineering Research, vol. 3, no. 4, 2014.
- [10] A. S. IX, "Qualification standard for welding, brazing, and fusing procedures," ASME Int, vol. 9, pp. 1--24, 2015.
- [11] T. KOBAYASHI, "Progress in the instrumented Charpy impact test," Journal of the Society of Materials Science Japan, vol. 51, pp. 141--150, 2002.
- [12] Y. Handoyo, "Perancangan alat uji impak metode charpy kapasitas 100 joule," Jurnal Ilmu Teknik Mesin, vol. 1, no. 2, pp. 45--53, 2013.
- [13] ASTM Standard, "Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information," PA ASTM International, West Conshohocken, 1999.
- [14] I. and others Bodude, MA and Momohjimoh, "Studies on effects of welding parameters on the mechanical properties of welded low-carbon steel," Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, vol. 3, no. 03, p. 142, 2015.
- [15] L. Jinqiu, C. and Fei, L. and Zhisheng, W. and Weigang, "Effect of heat input on the microstructure and mechanical properties of an electron-beam-welded AZ31 magnesium alloy," Materialli in Tehnologije, vol. 54, pp. 819--828, 2020.