

Analisis Pengaruh Variasi Logam Pengisi dan Arus Pada Hasil Pengelasan Baja Corten A dengan Metode GTAW Terhadap Struktur Mikro, Ketahanan Korosi, dan Sifat Mekanik

Mavindra Ramadhani, Rochman Rochiem, Dian Mughni F, Alvian Toto Wibisono, Wikan Jatimurti, Eartha Annafi Rasjiddin

Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya, 60111, Indonesia

e-mail: mavindra@its.ac.id

Abstrak—Pengaplikasian baja corten A pada cerobong pembuangan emisi pada kapal *Barge Mounted Power Plant* (BMPP) membutuhkan sifat-sifat tertentu. Material baja corten A memiliki sifat ketahanan panas yang baik karena memiliki unsur Cu. Proses pengelasan dan pemilihan elektroda sangat berpengaruh pada hasil las yang diinginkan. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan menganalisis bagaimana pengaruh variasi elektroda dan arus terhadap hasil pengelasan baja corten A terhadap struktur mikro, ketahanan korosi, dan sifat mekanik. Adapun variasi logam pengisi yang digunakan adalah ER70S – G dan ER80S – G. Pengelasan yang digunakan adalah metode *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW). Skema eksperimen didasari dengan *Welding Procedur Spesification* (WPS) yang telah ada. Setelah eksperimen pengelasan, dilanjutkan dengan pengujian metalografi, pengujian tarik, pengujian kekerasan dan pengujian korosi pada temperatur 374°C dengan gas CO₂. Hasil penelitian korosi temperatur tinggi menunjukkan bahwa laju korosi mengalami penurunan. Laju korosi terendah terdapat pada spesimen dengan pengelasan menggunakan logam pengisi ER80S-G dan arus 140A. Untuk hasil tertinggi nilai UTS dan nilai kekerasan terdapat pada spesimen D-3 yaitu pengelasan menggunakan logam pengisi ER80S-G dan arus 140A.

Kata Kunci—*Pengelasan, elektroda, korosi, GTAW, UTS*

I. PENDAHULUAN

Cerobong pada kapal *Barge Mounted Power Plant* (BMPP) di PT. PAL Indonesia berfungsi untuk pembuangan emisi yang dihasilkan dari proses pembangkit listrik. Pada proses pembuatan cerobong asap ini menggunakan metode pengelasan GTAW. Cerobong asap tersebut juga harus memiliki sifat yang baik terhadap ketahanan korosi karena dalam pengaplikasiannya terpapar temperatur maksimum 374°C. Pemilihan parameter pengelasan, yang tepat seperti jenis elektroda, dan arus pengelasan yang digunakan sangat berpengaruh pada hasil las yang baik.

Pemilihan logam pengisi pada GTAW tergantung dari logam dasar (*base metal*) yang akan dilas. *Filler rod* dibuat dari logam yang komposisinya lebih unggul dibanding logam dasar. Mengingat dalam proses pengelasan ada beberapa unsur logam yang berkurang atau berubah strukturnya berdampak pada pengurangan sifat-sifat mekanik logam, sehingga logam pengisi harus dibuat komposisinya lebih unggul agar mampu mengatasi dampak-dampak tersebut.

Pengaruh arus yang besar akan mempengaruhi struktur atom pada daerah lasan karena semakin panas saat proses pengelasan maka daerah pengelasan atau disebut sebagai daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) akan membuat pengaruh rekristalisasi yaitu menyebabkan terjadinya butir-butir pada daerah HAZ semakin bertambah besar. Jika butiran ini semakin besar maka akan menurunkan kualitas dan kekuatan sambungan las. Sedangkan jika arus yang digunakan terlalu kecil maka panas yang ditimbulkan juga kecil sehingga akan berdampak pada pencairan logam yang disambung. Arus yang digunakan kecil maka pencairan logam yang disambung tidak akan menjadi sambungan yang baik atau tidak akan terjadi ikatan metalurgi yang baik antar logam yang akan disambung. Selain itu, dampak arus yang kecil juga dapat membuat elektroda sering lengket terhadap benda kerja.[1]

WPS yang ada, menunjukkan logam pengisi yang digunakan untuk baja corten A menggunakan ER80-S. Pada pengelasan baja corten A588 dengan logam pengisi ER70S-6 memiliki rata-rata Ultimate Tensile Strength yang baik pada daerah weld metal, lalu diikuti oleh daerah HAZ, dan terakhir pada daerah base metal. Sehingga untuk logam pengisi dengan kode awal “70” memungkinkan untuk digunakan pada pengelasan baja corten A dengan metode GTAW dan mendapatkan hasil yang baik untuk sifat ketahanan korosi. Arus yang digunakan pada pengelasan baja corten A di PT.PAL menurut WPS menggunakan 112 A dan 144 A. Dengan mempertimbangkan kedua arus tersebut, memungkinkan dilakukan pengelasan diantara arus tersebut yaitu sebesar 125 A karena tidak melebihi dan tidak kurang dari yang terdapat pada WPS. Pengelasan baja Corten A606 menggunakan metode pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) memiliki sifat mekanik yang lebih baik ketika menggunakan masukan panas lebih tinggi.[2]

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Material dan Logam Pengisi

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelat baja Corten A dengan tebal 6 mm. Adapun komposisi kimia dan sifat mekanik dari baja tersebut disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja Corten A

Unsur	Komposisi (%)
Karbon (C)	0,12
Mangan (Mn)	0,36
Silikon (Si)	0,30 – 0,50
Sulfur (S)	0,001
Fosfor (P)	0,106
Besi (Fe)	98,095
Nikel (Ni)	0,197
Kromium (Cr)	0,5
Tembaga (Cu)	0,249
Vanadium (V)	0,003
Aluminium (Al)	0,018
Karbon (C)	0,12
Mangan (Mn)	0,36
Silikon (Si)	0,30 – 0,50
Sulfur (S)	0,001
Fosfor (P)	0,106

Tabel 2. Sifat Mekanik Baja Corten A

Ultimate Tensile Strength	Yield Strength	Elongation	Hardness
484 MPa 70 ksi	303 MPa 44 ksi	22%	175 HV

Untuk variasi logam pengisi yang digunakan adalah AWS ER70S-G dan ER80S-G, masing – masing berdiameter 2,6 mm. Adapun komposisi kimia dari masing – masing variasi logam pengisi tersebut disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4

Tabel 3. Komposisi Kimia Elektroda ER80S-G

Unsur	Komposisi (%)
Karbon (C)	0,08-0,09
Mangan (Mn)	1,16-1,25
Silikon (Si)	0,51 – 0,60
Sulfur (S)	0,020-0,025
Fosfor (P)	0,004-0,010
Nikel (Ni)	0,03
Kromium (Cr)	0,02-0,04
Tembaga (Cu)	0,15-0,23
Karbon (C)	0,08-0,09
Mangan (Mn)	1,16-1,25

Kawat elektroda ER70S-G dan ER80S-G adalah salah satu filler metal untuk pengelasan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW). ER70S-G dan ER80S-G adalah logam pengisi yang tidak termasuk dalam kelas dimana hanya persyaratan sifat mekanik tertentu yang ditentukan. Elektroda ditujukan untuk aplikasi single-pass dan multi-pass. Pemasok logam pengisi harus dikonsultasikan untuk komposisi, sifat, karakteristik, dan tujuan penggunaan klasifikasi ini. Elektroda ini juga memiliki harga yang ekonomis, memiliki kekuatan tarik 70.000 psi dan 80.000 psi. solid filler metal, dan tidak memiliki persyaratan khusus komposisi kimia, yield strength, elongation, dan kekuatan impak.[3]

Tabel 4. Komposisi Kimia Elektroda ER80S-G

Unsur	Komposisi (%)
Karbon (C)	0,09-0,10
Mangan (Mn)	1,73-1,81
Silikon (Si)	0,61 – 0,64
Sulfur (S)	0,003-0,009
Fosfor (P)	0,006-0,008
Nikel (Ni)	0,01-0,02
Kromium (Cr)	0,02-0,03
Tembaga (Cu)	0,15-0,28
Karbon (C)	0,09-0,10
Mangan (Mn)	1,73-1,81

Kawat elektroda ER80S-G adalah salah satu filler metal untuk pengelasan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW).

ER80S-G tidak terdapat perbedaan yang signifikan dengan ER70S-G dimana perbedaan terdapat pada kekuatan tarik. Elektroda ditujukan untuk aplikasi single-pass dan multi-pass. Pemasok logam pengisi harus dikonsultasikan untuk komposisi, sifat, karakteristik, dan tujuan penggunaan klasifikasi ini. Elektroda ini juga memiliki harga yang ekonomis, memiliki kekuatan tarik 80.000 psi. Solid filler metal, dan tidak memiliki persyaratan khusus komposisi kimia, yield strength, elongation, dan kekuatan impak.[3]

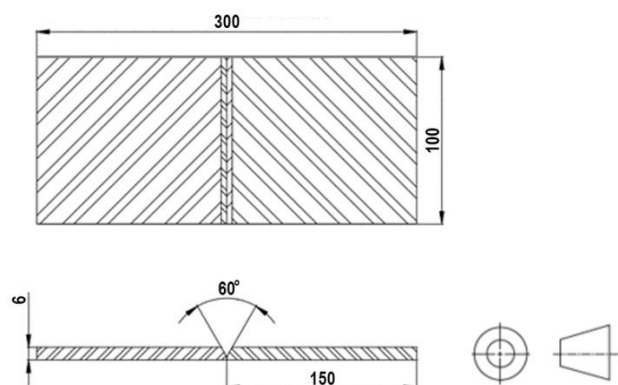
B. Metode Penelitian

Pengelasan dilakukan menggunakan metode Gas Tungsten Arc Welding (GTAW). Eksperimen pengelasan ini dilakukan dengan variasi arus 112 A, 125 A, dan 140A. Adapun baja Corten A akan dipreparasi terlebih dahulu sebelum dilas. Parameter pengelasan disesuaikan dengan Welding Procedure Specifications (WPS) yang ada, disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Parameter Pengelasan

Process	Position	Type & Polarity	Amps (A)	Volts (V)	Travel Speed (kJ/mm)
GTAW	3G Flat	DCEN	112, 125, 140	15	82

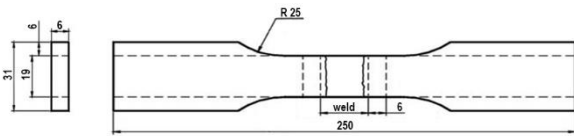
Adapun skema test piece baja Corten A setelah dilakukan pengelasan disajikan pada Gambar 1.



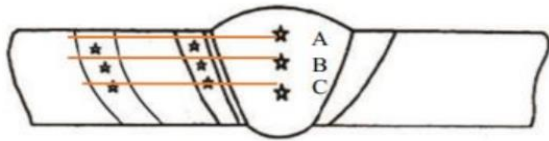
Gambar 1. Test Piece Baja Corten A

C. Metode Pengujian

Terdapat empat metode pengujian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pengujian metalografi, korosi temperatur tinggi, tarik, dan kekerasan. Adapun pengujian metalografi menggunakan larutan Nital dengan komposisi sesuai standar ASTM E407-07. Pengujian Korosi Temperatur Tinggi menggunakan standar ASTM G111-97. Sedangkan pengujian tarik, menggunakan standar penerimaan ASME IX QW-153 dan preparasi berdasarkan ASME IX seperti pada Gambar 2. Pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers berdasarkan standar ASTM E92-17, titik indentasi disajikan pada Gambar 3. Sedangkan metalografi menggunakan larutan Nital dengan komposisi sesuai standar ASTM E407-07.



Gambar 2. Spesimen Pengujian Tarik



Gambar 3. Titik Indentasi Pengujian Kekerasan

Untuk memudahkan pengambilan data saat pengujian, seluruh spesimen uji diberi kode khusus yang disajikan pada Tabel 6.

Kode	Keterangan	Arus Pengelasan
C-1	Pengelasan dua sisi dengan kawat AWS ER70S-G	112 A
C-2	Pengelasan dua sisi dengan kawat AWS ER70S-G	125 A
C-3	Pengelasan dua sisi dengan kawat AWS ER70S-G	140 A
D-1	Pengelasan dua sisi dengan kawat AWS ER80S-G	112 A
D-2	Pengelasan dua sisi dengan kawat AWS ER80S-G	125 A
D-3	Pengelasan dua sisi dengan kawat AWS ER80S-G	140 A

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh Variasi Logam Pengisi Terhadap Ketahanan Korosi

Setelah dilakukan pengujian korosi pada temperature 374 °C dan paparan gas CO₂, maka pengaruh variasi elektroda terhadap ketahanan korosi dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan Hasil Pengujian Penetran antar Variasi Elektroda

Laju Korosi (mpy)	Waktu Holding (Jam)		
	3	6	10
Base metal	9,329	7,441	0,006
C-1	4,605	4,185	0,005
C-2	4,382	7,295	0,005
C-3	4,361	6,014	0,003
D-1	4,912	6,117	0,005
D-2	4,562	5,375	0,003
D-3	5,970	0,717	0,002

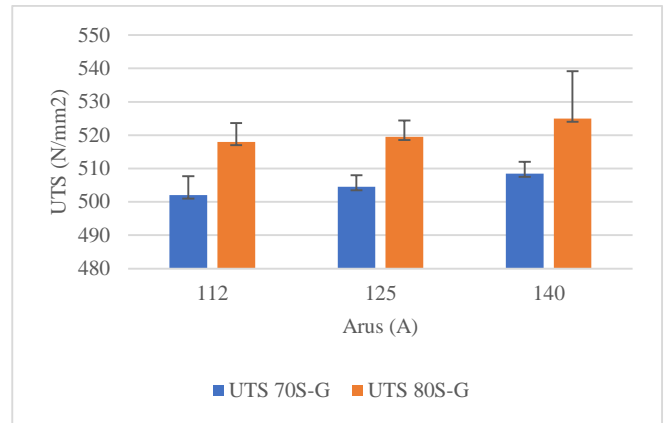
Dapat dilihat dari Tabel 7, laju korosi cenderung meningkat dari waktu 3 jam terhadap 6 jam, tetapi untuk *base material* dan spesimen D-3 yaitu pengelasan menggunakan logam isi ER80S-G dan arus 140A terjadi penurunan. Untuk rentang waktu 10 jam, semua spesimen mengalami penurunan laju korosi,

Penurunan laju korosi pada keadaan temperatur 374°C dan Gas CO₂ dapat disebabkan oleh pertumbuhan oksida yang bersifat melindungi seperti Cr-Ni-Cu. Hal ini juga dapat dilihat dari stuktur mikro, apabila fasa *ferrite* semakin halus atau ukuran butir mengecil, maka laju korosi akan menurun [4]

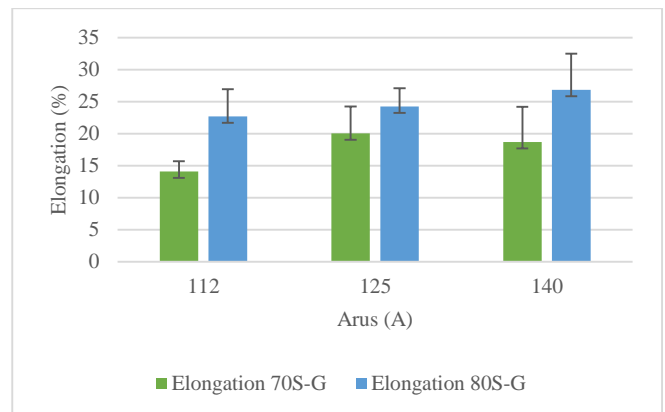
Penambahan paduan Mo dan Cr sangat berpengaruh pada ketahanan korosi temperatur tinggi. Hal ini dapat diakibatkan oleh terbentuknya lapisan pelindung lebih banyak akibat penambahan unsur paduan seperti Mo dan Cr. Lapisan oksida tersebut akan mencegah reaksi oksidasi lebih lanjut dan reaksi oksidasi pada baja.[5]

B. Pengaruh Variasi Elektroda Terhadap Kekuatan Tarik

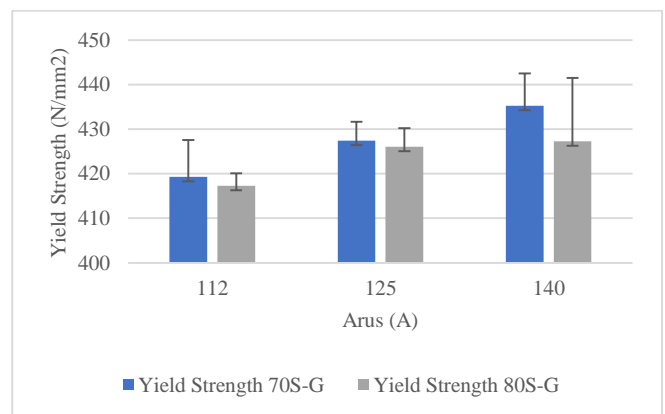
Setelah dilakukan pengujian tarik, didapatkan perbandingan antar variasi elektroda yang ditunjukkan oleh Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6, beserta Tabel 8, Tabel 9, Tabel 10.



Gambar 4. Grafik Perbandingan *Ultimate Tensile Strength* pada Logam Pengisi ER70S-G dan ER80S-G



Gambar 5. Grafik Perbandingan *Elongation* pada Logam Pengisi ER70S-G dan ER80S-G



Gambar 6. Grafik Perbandingan *Yield Strength* pada Logam Pengisi ER70S-G dan ER80S-G

Tabel 8. Perbandingan Rata – Rata UTS antar Variasi Elektroda

Arus	UTS ER70S-G(N/mm ²)	UTS ER80S-G(N/mm ²)
112A	502 ±5,66	518 ±5,65
125A	504,5 ±3,55	519,5 ±4,95
140A	508,5 ±3,54	525 ±14,14

Tabel 9. Perbandingan Rata – Rata Elongasi antar Variasi Elektroda

Arus	Elongation ER70S-G(%)	Elgonaition ER80S-G(%)
112A	14,1 ±1,60	22,68 ±4,24
125A	20,06 ±4,17	24,26 ±2,81
140A	18,69 ±5,51	26,82 ±5,69

Tabel 10. Perbandingan Rata – Rata Kekuatan Luluh antar Variasi Elektroda

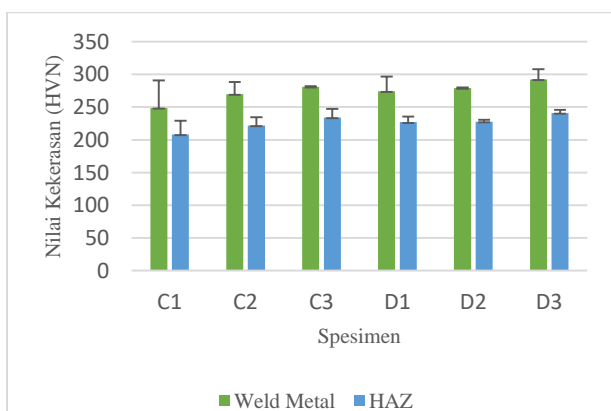
Arus	Yield Strength ER70S-G(N/mm ²)	Yield Strength ER80S-G(N/mm ²)
112A	427 ±8,27	417 ±2,81
125A	419 ±4,27	426 ±4,21
140A	435 ±7,25	427 ±14,26

Dari data diatas, nilai *Ultimate Tensile Strength* tertinggi terdapat pada spesimen D-3 yaitu pengelasan menggunakan logam pengisi ER80S-G arus 140A sebesar 525 N/mm² dan terendah terdapat pada spesimen C-1 yaitu pengelasan menggunakan logam pengisi ER70S-G arus 112A sebesar 502 N/mm². Untuk nilai *Elongation* tertinggi terdapat pada spesimen D-3 sebesar 26,82% dan terendah terdapat pada spesimen C-1 sebesar 14,1%. Untuk nilai *Yield Strength* terbesar, terdapat pada spesimen C-3 sebesar 435,26 N/mm² dan terendah pada D-1 sebesar 417,27 N/mm².

Perbandingan nilai *elongation* dan *Ultimate Tensile Strength* (UTS) pada penggunaan logam pengisi dari ER70S-G dan ER80S-G mengalami pertambahan dan juga seiring pertambahan penggunaan arus pengelasan dari 112A sampai 140A. Hal ini dapat ditinjau dari pertambahan kadar *pearlite* dan penurunan kadar *ferrite* yang memiliki sifat ulet dan lunak.[6]

C. Pengaruh Variasi Elektroda Terhadap Kekerasan

Setelah dilakukan pengujian kekerasan dengan metode Vickers, didapatkan perbandingan yang disajikan pada Gambar 7, Tabel 11 dan Tabel 12.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Rata-Rata Hasil Pengujian Kekeerasan

Tabel 11. Perbandingan Hasil Nilai Kekerasan Logam Pengisi ER70S-G

Kode	Weld Metal	HAZ
C-1	248,6 ±42,43	208 ±21,21
C-2	269,6 ± 18,58	222 ±12,73
C-3	281 ±1	234 ±13,11

Tabel 12. Perbandingan Hasil Nilai Kekerasan Logam Pengisi ER80S-G

Kode	Weld Metal	HAZ
D-1	274 ±22,91	227 ±8,49
D-2	279 ±1	227,6 ±2,83
D-3	292,3 ±15,50	241 ±4,62

Pada Tabel 11, dapat dilihat bahwa rata-rata nilai kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen D-3 yaitu pengelasan menggunakan logam pengisi ER80S-G dan arus 140A pada daerah *Weld Metal* dan *Haz* sedangkan tuntut hasil rata-rata nilai kekerasan terkecil terdapat pada spesimen C-1 yaitu pengelasan menggunakan logam pengisi ER70S-G dan arus 112A.

Ditinjau dari Tabel 12, Pada pengelasan menggunakan logam pengisi ER70S-G didapatkan hasil terbesar pada daerah *weld metal* dan *HAZ* pada spesimen C-3 yaitu pengelasan menggunakan arus 140A. Untuk hasil kekerasan terkecil terdapat pada spesimen C-1 yaitu pengelasan menggunakan arus 112A.

Peningkatan nilai kekerasan pada daerah *Weld Metal* dan *HAZ* seiring naiknya arus pengelasan dan penggunaan logam pengisi ER80S-G dapat dipengaruhi oleh meningkatnya kadar fasa *pearlite* karena fasa ini mempunyai sifat yang keras dan kuat [6]

D. Hasil Metalografi

Pengujian makro dilakukan sebelum melakukan pengujian metalografi agar mengetahui daerah dari *Weld Metal*, *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Base Material* dari masing-masing spesimen seperti pada Gambar 8. Setelah dilakukan metalografi dan pemrosesan menggunakan aplikasi ImageJ, hasil perbandingan *ferrite* dan *pearlite* yang disajikan pada Tabel 13.

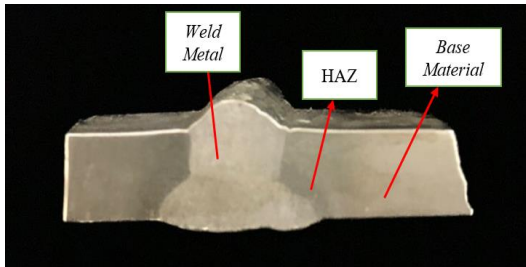
Tabel 13. Perbandingan Persentase Fasa

Kode	WM		HAZ		BM	
	F(%)	P(%)	F(%)	P(%)	F(%)	P(%)
C-1	66,35	33,65	72,07	27,93		
C-2	66,05	33,95	74,56	25,44		
C-3	55,72	44,28	72,62	27,38	76,56	23,44
D-1	65,42	34,58	73,99	26,01		
D-2	58,05	41,95	72,43	27,57		
D-3	53,08	47,92	69,99	30,01		

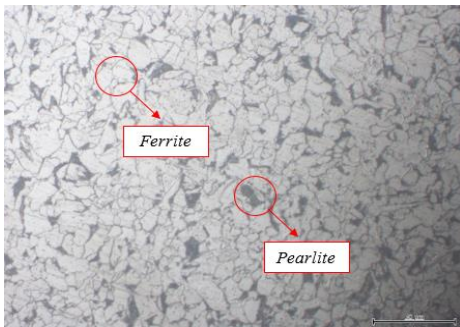
Ditinjau data diatas, persentase fasa *pearlite* pada daerah *Weld Metal* dan *HAZ* terbesar terdapat pada sepsimen D-3 yaitu pengelasan menggunakan logam pengisi ER80S-G dan arus 140A sebesar 44,28% dan 30,01%. Sedangkan apabila ditinjau dari penggunaan logam pengisi, pada logam pengisi ER70S-G untuk daerah *Weld Metal* dan *HAZ* terbesar pada C-3 dan untuk logam pengisi ER80S-G terbesar pada D-3. Berikut adalah contoh gambar hasil pengujian metalografi spesimen *Base Material*, C-3, dan D-3 dapat dilihat pada

Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11, Gambar 12, dan Gambar 13.

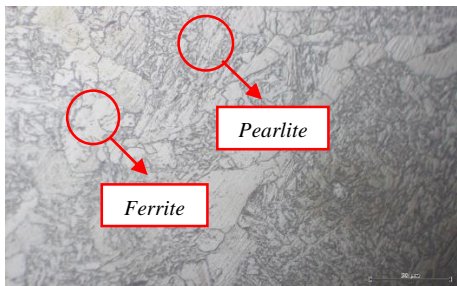
Setelah dilakukan pengelasan, daerah *Weld Metal* dan HAZ pertumbuhan fasa *pearlite* terjadi dan mengakibatkan persentase fasa *pearlite* lebih banyak dibandingkan daerah *base material* hal ini disebabkan oleh kenaikan temperatur akibat proses pengelasan [7]



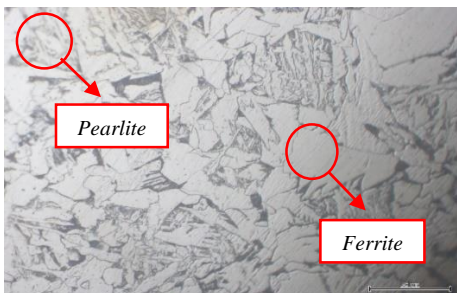
Gambar 8. Pengujian Mikro secara Visual



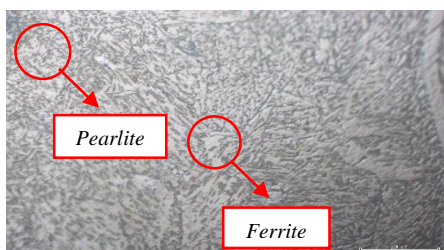
Gambar 9. Metalografi Base Material Perbesaran 50x dengan Etsa Nital



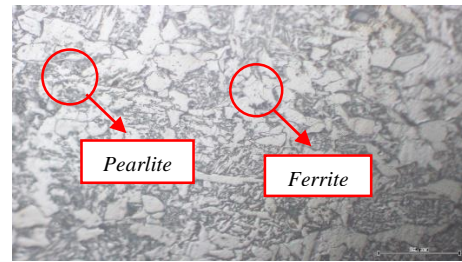
Gambar 10. Metalografi Weld Metal Spesimen C-3 Perbesaran 50x dengan Etsa Nital



Gambar 11. Metalografi HAZ Spesimen C-3 Perbesaran 50x dengan Etsa Nital



Gambar 12. Metalografi Weld Metal Spesimen D-3 Perbesaran 50x dengan Etsa Nital



Gambar 13. Metalografi HAZ Spesimen D-3 Perbesaran 50x dengan Etsa Nital

IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis data dan pembahasan serta *cross – reference* dengan teori yang ada, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah:

1. Pada hasil penelitian variasi logam pengisi dan arus dalam pengelasan terdapat peningkatan persentase fasa *pearlite* pada daerah *weld metal* dan HAZ. Peningkatan tertinggi terdapat pada pengelasan menggunakan logam pengisi ER80S-G dan arus 140A pada daerah *Weld Metal* 40,28% dan *Heat Affected Zone* (HAZ) 30,01%. Nilai persentase fasa *pearlite* dalam pengelasan terdapat pada spesimen dengan logam pengisi ER70S-G dan arus 112A *Weld Metal* sebesar 33,65% dan *Heat Affected Zone* (HAZ) 27,93%.
2. Hasil penelitian korosi temperatur tinggi menunjukkan bahwa laju korosi mengalami penurunan. Laju korosi terendah terdapat pada spesimen dengan pengelasan menggunakan logam pengisi ER80S-G dan arus 140A.
3. Pada hasil pengujian kekuatan tarik terdapat peningkatan *Ultimate Tensile Strength* (UTS) dalam penggunaan logam pengisi ER80S-G dan peningkatan arus mulai dari 112A, 125A, sampai 140A. Untuk pengujian kekerasan pada daerah *weld metal* dan *Heat Affected Zone* (HAZ), mengalami peningkatan dalam penggunaan logam pengisi ER80S-G dan arus pengelasan. Untuk hasil tertinggi nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) dan nilai kekerasan terdapat pada spesimen D-3 yaitu pengelasan menggunakan logam pengisi ER80S-G dan arus 140A.
4. Sampel baja corten – A mempunyai konduktivitas thermal dan konduktivitas elektrik yang mampu diaplikasikan di dunia pengelasan, khususnya di dunia perkapalan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua beserta keluarga atas segala bentuk bantuan, kepada segala pihak yang terlibat di PT. PAL yang telah memberikan segala kesempatan penulis untuk melakukan penelitian disana, seluruh elemen pendidik Departemen Teknik Material dan Metalurgi, seluruh teman dan kerabat yang ikut membantu dalam proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Rahmatika, E. Sutarto, and A. C. Arifin, "Pengujian Merusak Pada Kualifikasi Prosedur Las Plat Baja Karbon SA-36 dengan Proses Pengelasan SMAW Berdasarkan Standar ASME Section IX," *J. Vokasi Teknol. Ind.*, vol. 3, no. 1, pp. 24–30, 2021, doi: 10.36870/jvti.v3i1.218.
- [2] J. R. Deepak, V. K. Bupesh Raja, J. Jeswin Arputhabalan, G. R. Yupendra Kumar, and S. K. Thomas, "Experimental investigation of corten A588 filler rod for welding weathering steel," *Mater. Today Proc.*, vol. 16, pp. 1233–1238, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2019.05.219.
- [3] S. P. P. Warman, "ANALISIS FAKTOR PENYEBAB CACAT PENGELASAN PADA PIPA (Study Kasus Pada Pipa Distribusi PDAM Kabupaten Kutai Barat)," *J. Mek.*, vol. 8, no. 2, pp. 730–736, 2017.
- [4] M.- Rohmah, "Pengaruh Penempaan Dan Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanik Dan Ketahanan Korosi Pada Modifikasi Baja Laterit a-588," *Metalurgi*, vol. 36, no. 1, p. 33, 2021, doi: 10.14203/metalurgi.v36i1.579.
- [5] B. Hermawan, I. B. Permana, R. Martin, and M. Nur, "Uji ketahanan korosi temperatur tinggi (550)," pp. 1–8, 2005.
- [6] D. Juliaptini, "Skripsi Analisis Sifat Mekanik dan Metalografi Baja Karbon Rendah untuk Aplikasi Tabung Gas 3 Kg," *Skripsi*, pp. 1–90, 2015.
- [7] J. R. Deepak, V. K. Bupesh Raja, P. Viswanatha Reddy, L. Lakshmi Venkata Sai, and G. Ashok Kumar Reddy, "Investigation of microstructural and metallurgical properties of corten A588 grade steel gtaw joints," *Int. J. Mech. Prod. Eng. Res. Dev.*, vol. 9, no. 5, pp. 1257–1264, 2019, doi: 10.24247/ijmperdoct2019111.
- [8] American Welding Society. (2001). *Welding Handbook*, Welding Science & Technology. In *Welding Handbook* (Vol. 1).
- [9] Antonini, J. M. (2014). Health Effects Associated with Welding. *Comprehensive Materials Processing*, 8, 49–70. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.00807-4>
- [10] ASME Section IX. (2015). *Asme Section IX*. In *The American Society of Mechanical Engineers* (pp. 433–455). <https://doi.org/10.4324/9781315132051-22>