



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Pengaruh Variasi Suhu PWHT Normalizing Pada Instalasi I Bracket Pasca Pengelasan FCAW

Ways Alqarni.M¹⁾, Untung Budiarto¹⁾Ari Wibawa Budi Santosa¹⁾

¹⁾ Laboratorium Las dan Material Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
^{*)}e-mail : waysalqarni1@gmail.com

Abstrak

Dalam pengelasan konstruksi kapal material tidak hanya satu jenis saja bahkan ada dua material yang berbeda di sambungkan. Baja grade A termasuk golongan baja low carbon yang sering digunakan dalam konstruksi kapal, Cast iron juga menjadi salah satu solusi untuk konstruksi bagian dalam bentuk yang rumit. Pada pasca pengelasan material terdapat tegangan-tegangan sisa di daerah sekitar heat affected zone (HAZ). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas dalam penyambungan baja grade A dengan cast iron pada pengelasan Flux Cored Arc Welding (FCAW). Metode yang digunakan dengan melakukan pemanasan material dengan suhu 550°C, 650°C dan 700°C kemudian dilakukan pengujian ultrasonik dan uji fracture. Hasil pengujian ultrasonik spesimen dengan Post Weld Heat Treatment (PWHT) 550°C, 650°C, dan 700°C ada indikasi cacat las, setelah di uji dengan metode fracture didapatkan porosity pada hasil pengelasan. Hasil pengujian yang tanpa PWHT terdapat slag inclusion. Dari hasil penelitian ini dapat di ambil kesimpulan bahwa perlakuan panas atau PWHT tidak dapat mempengaruhi atau menghilangkan cacat pengelasan yang terjadi.

Kata Kunci : Baja Grade A, Cast Iron, FCAW, PWHT, Ultrasonic, Fracture

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan teknologi yang pesat saat ini, berbagai produk manusia berkembang pesat. Banyak dari produk-produk ini terbuat dari bahan logam. Penting untuk memberikan sentuhan akhir atau perlakuan permukaan yang tepat pada barang-barang logam ini, baik untuk meningkatkan penampilan estetik maupun daya tahan. Baja, merupakan salah satu jenis logam yang sangat umum dalam industri teknik, banyak inovasi pengembangan material ini dari segi sifat-sifat material maupun prosesnya, sampai dengan memiliki beragam jenis dengan karakteristik yang berbeda. Penggunaan baja sangat luas dan mencakup berbagai bidang, salah satunya adalah industri perkapalan.

Baja menjadi salah satu jenis logam yang memiliki penerapan yang sangat luas. Baja pada dasarnya terdiri dari kombinasi besi dan karbon dengan adanya elemen tambahan dalam jumlah kecil, yang sering disebut sebagai baja karbon

(carbon steel). Apabila baja ini mengandung unsur-unsur tambahan dalam proporsi yang lebih besar, sehingga menyebabkan perubahan dalam karakteristiknya, maka jenis baja tersebut dikenal sebagai baja paduan (alloy steel) [1].

Nilai kekerasan material baja EMS-45 setelah proses pengelasan dengan PWHT mengalami penurunan dibandingkan dengan baja EMS pengelasan tanpa PWHT. Untuk pengelasan PWHT 350°C sebesar 10,26%, untuk pengelasan PWHT 550°C sebesar 13,92%, untuk pengelasan PWHT 750°C sebesar 30,57%. Suhu optimal Post Weld Heat Treatment Annealing untuk material baja EMS-45 adalah pada suhu 750°C. Karena pada PWHT pada suhu tersebut mengalami penurunan kekerasan yang besar yaitu sebesar 127,2 VHN, sehingga material baja EMS-45 dapat memperbaiki sifat mampu mesinnya [2].

Perkembangan pada saat sekarang ini penggunaan material baja seimbang dengan material besi cor. Besi cor merupakan paduan antara unsur besi yang mengandung karbon (c),

silicon (Si), mangan (Mn), phosphor (p) dan sulfur (s). Keunggulan dari besi cor antara lain: memiliki sifat yang mampu cor (castability) yang baik, bahan relatif lebih murah. Perbedaan kadar C dan Si pada besi cor ini menyebabkan titik lebur dari besi tuang lebih rendah dari baja, berkisar antara 1.150 sampai 1.200 °C.

Namun dalam proses manufaktur dan produksi pengelasan sangat berperan penting. Pengelasan melibatkan proses peleburan, proses metalurgi, dan proses pembekuan logam, maka diperlukan pengetahuan yang mendalam untuk menghasilkan sambungan las yang berkualitas yang sesuai dengan standar dan persyaratan yang berlaku.

FCAW (Flux Core Arc Welding) adalah proses pengelasan yang menggunakan sumber panas yang berasal dari energi listrik yang di konversi menjadi sumber panas pada busur listrik, pada pengelasan FCAW jenis pelindung yang digunakan adalah flux yang berasal dari kawat las yang digulung pada sebuah roll. FCAW juga mempunyai gas pelindung untuk melindungi logam las yang cair saat melakukan proses pengelasan.

Proses pengelasan yang tidak sesuai akan mengakibatkan material akan menjadi getas akibat pemanasan dan pendinginan yang tidak terkontrol. Maka dari itu diperlukannya Post Weld Heat Treatment (PWHT) untuk mengembalikan struktur material tersebut. PWHT telah menjadi suatu usaha yang umum untuk mengurangi tegangan sisa dan meningkatkan sifat mekanis dari material.

Struktur mikro pada daerah base metal, HAZ, dan weld metal memberikan hasil yang merata pada pemberian PWHT dengan waktu tunggu selama 4 jam. Sehingga semakin lama waktu tunggu yang diberikan, semakin seragam butir yang terbentuk. Nilai kekerasan yang disyaratkan sebesar 137-228 HBN, dimana dari pengujian kekerasan yang masuk kedalam range adalah variabel PWHT 4 jam yaitu 173,642-210,072 HBN. Nilai impak yang diijinkan pada temperatur kamar -7°C sebesar 20,33 J, dimana dari pengujian semua variabel menghasilkan nilai impak diatas 20,33 J. [3].

Pada saat pasca pengelasan logam terdapat tegangan-tegangan sisa di daerah sekitar heat affected zone (HAZ) yang dapat menyebabkan terjadinya deformasi serta perubahan sifat mekanis, dan struktur metalurgi. Perubahan sifat yang terjadi dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan sambungan las, sehingga diperlukan perlakuan khusus agar kekuatan sambungan tidak berkurang.

Nilai kekerasan material baja EMS-45 sebelum proses pengelasan sebesar 101,3 VHN, setelah dilakukan proses pengelasan mengalami kenaikan terhadap raw material untuk nilai

kekerasan tertinggi pengelasan non PWHT yaitu sebesar 33,89%, sedangkan untuk nilai kekerasan tertinggi setelah proses pengelasan dengan PWHT berturut-turut mengalami penurunan terhadap raw material yaitu untuk pengelasan PWHT 350°C sebesar 23,98%, untuk pengelasan PWHT 550°C sebesar 17,70%, untuk pengelasan PWHT 750°C yaitu sebesar 3,13%. [4].

Pengaruh Variasi Temperatur Heat treatment pada ductile Cast Iron (Fcd-50) terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro” Hasil analisis yang diperoleh menunjukkan bahwa pengaruh heat treatment terhadap sifat mekanik kekerasan pada Ductile Cast Iron (FCD-50) yaitu terdapat peningkatan nilai kekerasan, dari hasil pengamatan spesimen dengan proses heat treatment mengalami perubahan bentuk grafik nodul atau bulatan yang lebih baik dan mencol lebih banyak kandungan perlit sehingga mempengaruhi tingkat kekerasan besi cor tersebut.

Terdapat peningkatan nilai kekerasan, bila dibandingkan dengan specimen As-Cast dengan nilai yaitu 18,5 HRC. dapat dibandingkan specimen hasil heat treatment 800°C dengan nilai kekerasan yaitu 25,37 HRC, specimen hasil heat treatment 850°C dengan nilai kekerasan yaitu 57,48 HRC, specimen hasil heat treatment 900°C dengan nilai kekerasan yaitu 68,42 HRC. Nilai kekerasan yang lebih tinggi yaitu pada hasil heat treatment 900°C dengan nilai kekerasan 68,42 HRC. [5].

Dengan menggunakan bahan pengisi berbahan dasar nikel memiliki koefisien muai panas yang rendah oleh karena itu ia memberikan tekanan pada besi cor jauh lebih sedikit dibandingkan dengan logam pengisi yang lain, logam pengisi membantu mengurangi resiko retakan HAZ. Berdasarkan karakteristiknya besi cor bisa mencair pada rentang suhu 1150-1300°C [6]

Sejauh yang kita ketahui bahwa proses pengelasan selalu meninggalkan tegangan sisa akibat panas yang masuk, tegangan ini dinamakan dengan tegangan sisa. Tegangan sisa pada material akan mengakibatkan material menjadi keras dan getas sehingga keberadaan tegangan sisa ini akan mempengaruhi sambungan pengelasan. Kerusakan getas pada heat affected zone (HAZ) merupakan sumber permasalahan yang kompleks. Hal ini yang mempengaruhi sifat material seperti kekuatan, keuletan, kekerasan, dan ketangguhan [7].

Dengan menggunakan filler nikel pembentukan karbida di zona fusi dapat dicegah, penggunaan logam pengisi nikel permasalahan pada zona fusi dapat diselesaikan. Perlakuan panas

ini berhasil mengurangi kekerasan pada zona yang terkena perlakuan panas sehingga menghasilkan las dengan kekerasan yang hampir sama. Pengelasan besi cor kelabu dengan logam pengisi nikel ditambah dengan penerapan PWHT yang tepat dapat berfungsi sebagai solusi untuk masalah pengelasan besi cor kelabu [8].

PWHT telah menjadi suatu usaha yang umum dilakukan untuk mengurangi tegangan sisa dan meningkatkan sifat material mekanik dan material paduan dan baja berkekuatan tinggi. Selain menggunakan PWHT, tegangan sisa dapat juga dikurangi dengan cara dipukul berulang-ulang,

Dari latar belakang serta hasil penelitian terdahulu peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Variasi Suhu PWHT Normalizing Pada Instalasi I Bracket Pasca Pengelasan FCAW”. Temperatur PWHT yang digunakan adalah 550°C, 650°C, dan 700°C dengan waktu tunggu 2,5 jam. Penentuan batas atas dan batas bawah dari suhu PWHT bisa ditetapkan berdasarkan Mn + Ni namun tidak boleh ditentukan begitu saja, melainkan harus mempertimbangkan sifat mekaniknya juga [9].

2. METODOLOGI

Pada penelitian ini dilakukan penyambungan dua material yang berbeda antara baja grade A dengan *Cast Iron*, penyambungan antara dua material ini menggunakan pengelasan *Flux Cored Arc Welding (FCAW)* dengan jenis sambungan T joint.

Setelah pengelasan material diberi perlakuan panas (*Heat Treatment*) agar mengurangi tegangan sisa yang terjadi pada penyambungan material, suhu yang digunakan pada *Heat Treatment* ini adalah 550°C, 650°C dan 700°C.

Selanjutnya akan dilakukan pengujian ultrasonik dan uji *Fracture* untuk melihat apakah ada cacat pengelasan yang terjadi pada penyambungan material yang telah PWHT.

2.1. Objek Penelitian

Penelitian ini menggunakan material Baja Grade A dan *Cast Iron*. Jenis pengujian yang dilakukan adalah uji Ultrasonik dan uji *Fracture* sesuai dengan standar yang telah ditetapkan dengan jumlah total spesimen sebanyak 4 buah



Gambar 1. Baja grade A

Tabel 1. Sifat-Sifat Mekanik Baja grade A

Sifat Mekanik	Nilai
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	282 Mpa
<i>Yield Strength</i>	415 Mpa
<i>Elongation At Break</i>	32 %



Gambar 2. Cast Iron

Tabel 2. Sifat-Sifat Mekanik Cast Iron

Sifat Mekanik	Nilai
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	585 Mpa
<i>Yield Strength</i>	345 Mpa
<i>Elongation At Break</i>	32 %

2.2. Pengelasan FCAW

Las FCAW merupakan sebuah jenis pengelasan yang memiliki ciri khas menggunakan panas sebagai energinya, energi itu didapat dari energi listrik setelah itu di ubah menjadi panas di busur listrik, di sistem pengelasan ini menggunakan flux, flux ini berada di inti kawat las. Pada pengelasan ini polarisasi yang di gunakan adalah DC+ yaitu benda kerja di sambungkan dengan kutub negatif dan elektroda disambungkan dengan kutub positif dari mesin DC. Dengan penambahan gas CO₂ pada pengelasan FCAW berfungsi untuk menjaga logam las yang mencair saat proses berlangsung. Elektroda berupa kawat rol yang bergerak menggunakan motor listrik [10].

Proses pengelasan yang tidak sesuai akan mengakibatkan material akan menjadi getas akibat pemanasan dan pendinginan yang tidak terkontrol. Besi cor dengan logam pengisi nikel ditambah

dengan pengaplikasian yang tepat PWHT dapat menjadi solusi dengan meningkatkan sifat mekanik serta struktur yang lebih homogen dalam pengelasan besi cor ini [11].

Elektroda atau *filler* jenis E71T yang digunakan memiliki diameter 1,2 mm. Elektroda E71T adalah kawat fluks berinti rutil yang sering digunakan dalam pengelasan FCAW dan dirancang untuk digunakan dengan gas CO₂.

Tabel 3. Komposisi Elektroda E71T

Unsur	Komposisi (%)
Si	0.90
C	0.18
Mn	1.75
p	0.030
S	0.030

Parameter yang digunakan dalam proses pengelasan sebagai berikut :

- Voltase 23 V
- Kuat Arus 175 A
- *Travel Speed* 15 ipm
- *Gas Flow* CO₂ 15 l/min

Heat input merupakan faktor penting dalam pengelasan karena dapat mempengaruhi laju pendinginan. Laju pendinginan akan berperan pada pembentukan struktur metalurgi daerah HAZ dan weld metal serta sifat mekanis dari sambungan [12]. Untuk menghitung heat input pada proses pengelasan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$HI = \frac{V \times I \times 60}{Travel\ Speed} \quad (1)$$

Dimana :

HI = Masukan Panas (J/mm atau J/in)

V = Tegangan Busur Las

I = Arus Busur Las

Setelah di lakukan perhitungan *Heat Input* di peroleh hasil 16.100 J/inci atau 16,1 KJ/inci

2.3. Perlakuan Panas

Perlakuan panas (*heat Treatment*) merupakan perkakuan khusus yang diberikan pada logam dengan proses pemanasan dan pendinginan dengan tujuan menghilangkan tegangan sisa serta memperoleh sifat-sifat mekanik yang lebih baik. Penelitian ini menggunakan metode perlakuan *normalizing*. Proses *normalizing* menggunakan mesin *furnace* atau dapur panas seperti Gambar 3.

Adapun beberapa tahapan proses yang dilakukan dalam perlakuan panas *normalizing* setelah dilakukan pengelasan adalah sebagai berikut:

1. *Heating* merupakan proses pemanasan dimana material dipanaskan di dalam mesin *furnace* hingga mencapai suhu yang diinginkan.
2. *Holding* merupakan menahan material pada temperatur pemanasan yang bertujuan untuk memberikan kesempatan terjadinya perubahan struktur mikro pada material.
3. *Cooling* adalah melakukan pendinginan pada material dengan media pendingin udara hingga mencapai suhu kamar

Proses *normalizing* pada logam berguna untuk mengurangi tegangan sisa, memperhalus butir, meningkatkan sifat mekanik, *machinability*, serta agar struktur yang didapatkan lebih homogen. Selanjutnya, untuk mendapatkan ketangguhan yang lebih baik maka melalui proses

pemanasan dengan waktu tertentu, struktur yang telah berubah tersebut dapat dikembalikan lagi. struktur makro dan mikro menunjukkan adanya paduan bahan yang tepat sama pengelasan, perlakuan panas pasca pengelasan dengan suhu 700°C menunjukkan peningkatan signifikan pada struktur makro, dan perlakuan panas pasca pengelasan juga meningkatkan keuletan dan kekuatan pengelasan [13].

Dalam penelitian ini menggunakan variasi suhu perlakuan panas 550°C, 650°C, 700°C. Penetapan suhu ini berdasarkan tabel *Recuirements* untuk PWHT pada ASME B31.1



Gambar 3. Mesin *Furnace*

2.4. Uji Ultrasonik

Pengujian ultrasonik adalah salah satu metode uji material *Non Destructive Test*, metode pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi suatu material atau hasil las tanpa merusak material dari benda uji tersebut. Ultrasonik yang digunakan yaitu *Flaw Detector*, Ultrasonik ini digunakan untuk mendeteksi cacat yang ada dalam material

yang akan di uji. Jenis cacat yang bisa di deteksi antara lain adalah *crack*, *incomplete fusion*, *incomplete penetration*, *slag*, dan *porosity*. Data yang ditampilkan oleh alat ultrasonik ini berupa pulsa.

2.5. Uji Fracture

Pengujian *Fracture* erupakan pengujian *Destructive Test*, pengujian ini digunakan sebagai pembandingan antara hasil tes ultrasonik. Dengan dilakukannya pengujian *Fracture* kita dapat melihat secara langsung cacat las yang terjadi pada hasil las-lasan dengan cara mematahkan spesmen di sepanjang jalur pengelasan. Spesimen dipatahkan tanpa memperhitungkan gaya tekanan yang diberikan karena tujuan dari pengujian *Fracture* ini adalah melihat cacat las yang terjadi di sepanjang jalur pengelasan, jadi spesimen harus di patahkan terlebih dahulu sebelum melihat hasil dari las-lasan.



Gambar 4. Pengujian *Fracture*

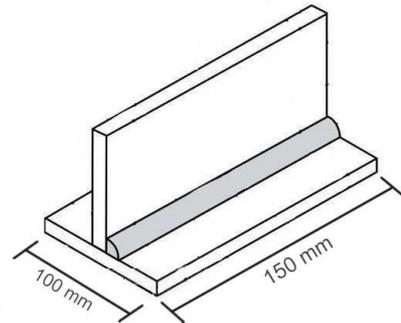
2.6. Alat dan Bahan

Pembuatan spesimen dalam penelitian ini menggunakan alat dan bahan antara lain :

1. Baja Grade A
2. *Cast Iron*
3. Gerinda
4. *Filler E71T*
5. Dapur panas (*furnace*)
6. Mesin las FCAW
7. Mesin uji Ultrasonik
8. Mesin uji *Fracture*

Jumlah spesimen sebanyak 4 buah, 3 yang diberi perlakuan panas dan 1 tanpa perlakuan panas. Setelah spesmen di lakukan uji ultrasonik langsung di lakukan pengujian *Fracture*.

Spesimen dilas secara fillet dengan sambungan T joint. Ketentuan ini berdasarkan pengujian *fracture* dengan sambungan T join pada AWS D1.1



Gambar 5. Spesimen Uji



Gambar 6. Spesimen Uji

2.7. Lokasi Penelitian

Lokasi pengelasan, uji ultrasonik, dan *Fracture* pada penelitian ini dilaksanakan di Inlastek Welding Institute, Surakarta. Untuk PWHT dilaksanakan di Laboratorium Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro, Semarang.

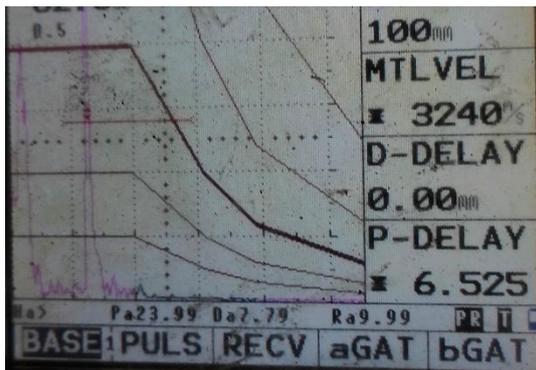
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Uji Ultrasonik

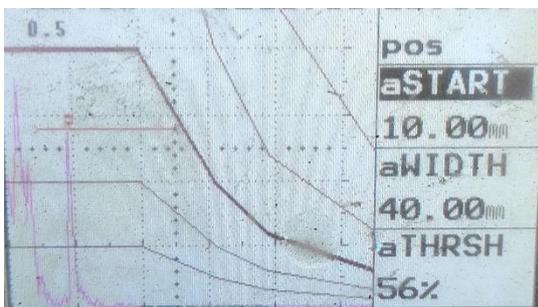
Pengujian ultrasonik ini mengacu pada AWS D1.1/D1.M:2020 *An American National Standard, Structural Welding Code – Steel*. Pengujian ini dilakukan pada seluruh spesimen 3 yang telah di *heat treatment* dan 1 yang tidak di *heat treatment*, dimana masing-masing spesimen memiliki dimensi uji yang sama. Proses pengujian dimulai dengan mengkalibrasi prob kemudian las lasan diberi cairan couplan dan setelah itu probe di gerakkan sepanjang hasil las.

Jika grafik pulsa (grafik warna pink) melebihi kurva DAC yang berwarna merah itu menandakan adanya indikasi cacat pengelasan tetapi harus di cek terlebih dahulu, namun sebaliknya jika grafik pulsa tidak melebihi batas itu menandakan tidak adanya cacat pengelasan yang terjadi.

Dari hasil pengujian ultrasonik didapatkan indikasi pada spesimen yang tidak di berikan perlakuan panas serta spesimen yang di berikan perlakuan panas pada suhu 550°C, 650°C dan 700°C. Dapat dilihat pada gambar 7, 8, 9, dan 10 berikut :



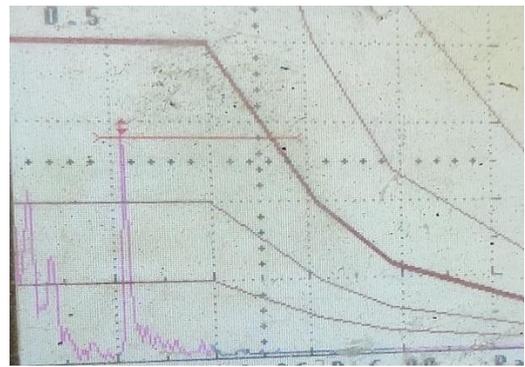
Gambar 7. Tanpa Perlakuan panas



Gambar 8. PWHT Suhu 550°C



Gambar 9. PWHT Suhu 650°C

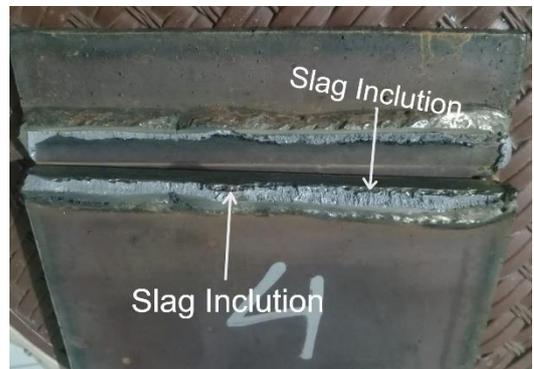


Gambar 10. PWHT Suhu 700°C

Pada pengujian ultrasonik ini di dapatkan indikasi cacat pengelasan dari 4 spesimen pengujian mulai dari spesimen tanpa PWHT dan spesimen yang di PWHT sekalipun. Namun harus di lakukan pengujian lanjutan agar mendapatkan hasil yang tepat dari pengujian ini.

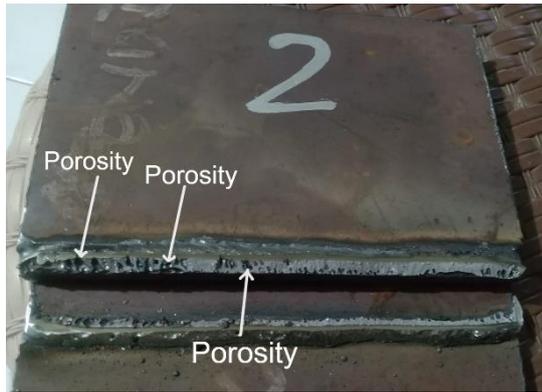
3.2. Hasil Uji Fracture

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil uji fracture sebagai berikut

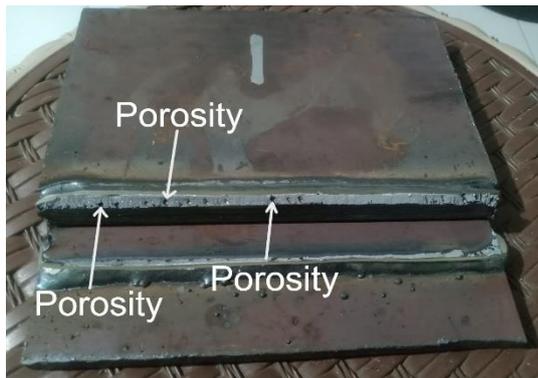


Gambar 11. Slag Inclusion

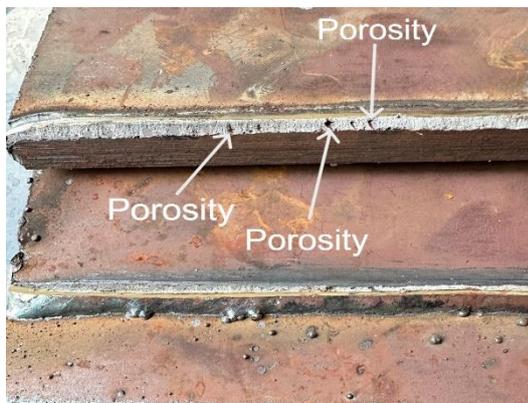
Berdasarkan hasil pengujian *Fracture* pada spesimen tanpa PWHT mengalami cacat *Slag Inclusion* pada gambar 11. *Slag inclusion* merupakan oksida dan benda non logam lainnya yang terjebak pada logam las yang terjadi pada permukaan atau di antara lapisan las. *Slag inclusion* merupakan jenis cacat pengelasan yang mudah dilihat biasanya berbentuk seperti bola atau jarum dan dapat menembus seluruh ketebalan lasan. Dengan adanya retak dapat mengurangi daya tahan dan produktivitas dari logam las.



Gambar 12. *Porosity* PWHT 550 °C



Gambar 13. *Porosity* PWHT 650°C



Gambar 14. *Porosity* PWHT 700°C

Spesimen yang diberikan perlakuan panas dengan suhu 550°C mengalami *porosity* seperti pada gambar 12. Porositas pengelasan adalah cacat pengelasan yang diakibatkan oleh terperangkapnya gas yang tidak diinginkan di dalam genangan las cair selama pematatan, yang menyebabkan munculnya kantong atau pori-pori pada permukaan atau di dalam hasil las.

Dampak yang di timbulkan dari porositas ialah berkurangnya kekuatan dan keuletan, adanya gelembung gas pada logam las dapat mengurangi luas penampang dan menciptakan titik konsentrasi tegangan. Hal ini dapat menurunkan kekuatan tarik dan keuletannya, serta membuatnya lebih rentan terhadap retak atau patah akibat beban.

Gelembung gas pada logam las dapat menciptakan celah atau lubang yang dapat memerangkap kelembapan atau zat korosif. Hal ini dapat meningkatkan kerentanan terhadap korosi dan mempercepat degradasinya seiring waktu.

Sedangkan spesimen gambar 13 dengan pemanasan suhu 650°C mengalami cacat las hal yang serupa dengan gambar 12 yaitu sama-sama mengalami *Porosity*.

Pada gambar 14, spesimen yang di PWHT dengan suhu 700°C kembali mengalami *porosity* pada hasil pengelasan setelah di lakukan pengujian *Fracture*.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini tentang Pengaruh Variasi Suhu PWHT Normalizing Pada Instalasi I Bracket Pasca Pengelasan FCAW dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

Setelah dilakukan pengujian Ultrasonik terdapat indikasi cacat pengelasan pada spesimen yang diberikan perlakuan panas pada suhu 550°C, 650°C, dan 700°C, dan spesimen yang tidak di PWHT. Indikasi cacat pengelasan ini di buktikan pada pengujian *fracture* dengan cara melihat hasil dari las-lasan material.

Pada pengujian *Fracture* didapatkan hasil yang sama yaitu terdapatnya *porosity* pada spesimen yang di suhu 550°C, 650°C, dan 700°C serta *Slag Inclusion* pada spesimen yang tidak PWHT.

Pada suhu 550°C, 650°C, dan 700°C sama-sama terdapat *porosity*. Jadi cacat pengelasan yang terjadi sebelum di PWHT tidak dapat di hilangkan dengan diberinya perlakuan panas setelah pengelasan.

PWHT hanya dapat menghilangkan atau mengurangi tegangan sisa sehingga material yang telah di PWHT akan semakin kuat dan ulet.

Namun terdapat beberapa faktor yang bisa menyebabkan terjadinya cacat pengelasan, serta faktor kemampuan dari *welder* yang mengerjakan. Maka dari itu faktor-faktor tersebut harus diperhatikan agar mendapatkan hasil yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Eva A. Perancangan Struktur Baja. Malang: UB Press, 2020.
- [2] Bashir, S., Thakur, A., Lgaz, H., Chung, I. M., & Kumar, A. Corrosion inhibition performance of acarbose on mild steel corrosion in acidic medium: an experimental and computational study. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45, 4773-4783, 2020.

- [3] Augustino, Immanuel, F. Pengaruh Lama Waktu Tunggu Pada Proses PWHT Terhadap Sifat Mekanik, Struktur Mikro dan Tegangan Sisa Pada Pengelasan Baja AAR M201 GR. B+. 2015.
- [4] Rusiyanto, R., Widayat, W., & Saputro, D. D. Pengaruh Variasi Suhu *Post Weld Heat Treatment* Annealing Terhadap Sifat Mekanis Material Baja EMS-45 Dengan Metode Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). *Saintekno: Jurnal Sains dan Teknologi*, 10(1), 2012
- [5] Dede, Y. D., Sabarudin, S., & Fadhillah, A. R. Pengaruh Variasi Temperatur *Heat Treatment* Pada Ductile Cast Iron (Fcd-50) Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 17(2), 203-212, (2022)
- [6] Bhatnagar, R. K., & Gupta, G. *A review on weldability of cast iron. International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7(5), 126-130, 2016
- [7] Dewan, MW., Liang, J., Wahab, MA, & Okeil, AM. "Effects of Residual Stresses and the Post Weld Heat Treatments of TIG Welded Aluminum Alloy AA6061-T651." *Proceedings of the ASME 2012 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Volume 3: Design, Materials and Manufacturing, Parts A, B, and C. Houston, Texas, USA.* pp. 811-820. ASME, November 9–15, 2012.
- [8] Pouranvari, M. *On the weldability of grey cast iron using nickel based filler metal. Materials & Design*, 31(7), 3253-3258, 2010.
- [9] Taniguchi, G., & Yamashita, K. *Effects of post weld heat treatment (PWHT) temperature on mechanical properties of weld metals for high-Cr ferritic heat-resistant steel. Kobelco Technology Review*, 32, 33-39, 2013
- [10] Pratikno, H. Pengaruh jenis proses las FCAW/SMAW dan salinitas terhadap sifat mekanik weld joint material baja pada underwater welding di lingkungan laut. Surabaya: *Jurnal Teknik Kelautan*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2009
- [11] Kumar, R., Kumar, M., Trivedi, V., & Bhatnagar, R. *Evaluation of mechanical and microstructural properties of cast iron with effect of pre heat and post weld heat treatment. SSRG Int. J. Mech. Eng*, 4, 1-6, 2017
- [12] Sadek, R. N., Ibrahim, J. W., Price, T. Shehata, and Ushio, M. "Effect of welding parameters of FCAW process and shielding gas type on weld bead geometry and hardness distribution (materials, metallurgy & weldability)," *Trans. JWRI*, vol. 30, no. 2, pp. 45–52, 2001.
- [13] Gope, D. K., & Chattopadhyaya, S. Dissimilar welding of nickel based superalloy with stainless steel: influence of post weld heat treatment. *Materials And Manufacturing Processes*, 37(2), 136-142, 2022