

Analisa Pengaruh Pemanasan Awal Pengelasan ulang Aluminium 5083 pada Lambung Kapal

Varid Sandy, Zaed Yuliadi
Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surabaya
Email : varidsandy24@gmail.com

Abstract: Proses pengelasan merupakan hal yang sangat penting dalam industri perkapalan untuk menilai kualitas kapal. Dalam proses pekerjaan di lapangan sering kali terjadi kesalahan dalam proses pengelasan ataupun perawatan pada kapal sehingga perlu dilakukan *replating*. Pemanasan awal bertujuan untuk mencegah terjadinya perbedaan pemuai material yang disebabkan oleh perbedaan temperatur antara sumber panas lokal dan logam, sehingga dapat meminimalkan masalah yang terjadi seperti distorsi serta tegangan sisa yang berlebih. Dalam skripsi ini dilakukan, pengelasan ulang sebanyak 4x dengan perlakuan pemanasan awal (*preheat*). Suhu awal maksimal sebesar 80°C dan suhu *interpass* maksimal sebesar 150°C. Proses pengelasan yang di gunakan untuk pengelasan Aluminium 5083 adalah *Gas Metal Arch Welding* (GMAW). Setelah pengelasan, dilakukan pengujian yang meliputi: *Radiography Test*, *Ultrasonic Flaw Detector*, *Tensile Test*, *Hardness Vickers Test* dan Struktur Mikro. Berdasarkan hasil pengujian *radiography* dan *Ultrasonic Flaw Detector* tidak ditemukan defect/cacat pada proses pengelasan ulang. Nilai kuat tarik tertinggi sebesar 209.61 N/mm² (*Yield Strenght*) dan 248.16 N/mm² (*Ultimate Tensile Strenght*) pada material 1x pengelasan dan nilai kuat tarik terendah sebesar 153.12 N/mm² (*Yield Strenght*) dan 170.02 N/mm² (*Ultimate Tensile Strenght*) pada 4x pengelasan. Nilai kekerasan tertinggi pada *weld metal* 1x pengelasan sebesar 85.67 HV dan nilai kekerasan terendah pada *weld metal* 4x pengelasan sebesar 65.33 HV. Hasil uji metalografi Partikel Mg₂Al₃ memiliki komposisi yang relative tinggi jika dibandingkan dengan partikel lainnya. Hal tersebut disebabkan komposisi *filler metal* memiliki partikel Mg₂Al₃ yang lebih dominan sehingga partikel Mg₂Al₃ cenderung lebih banyak, sedangkan partikel Mg₂Si dan (Fe,Mn)₃SiAl₁₂ cenderung lebih stabil karena pada daerah *weld metal* partikel yang mendominasi adalah Mg₂Al₃. Terjadi penurunan komposisi partikel Mg₂Al₃ seiring dilakukannya proses pengelasan ulang. Hal tersebut disebabkan pengaruh panas yang diterima material semakin meningkat seiring dilakukannya pengelasan ulang.

Kata kunci : Aluminium 5083, Kuat tarik, Kekerasan, *Preheat*, *Radiography*, Struktur mikro, *Ultrasonic Flaw*

I. PENDAHULUAN

Aluminium type 5803 merupakan jenis aluminium yang biasa digunakan dalam dunia industri karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan material baja. Dalam industri perkapalan, aluminium type 5803 sangat diminati karena memiliki ketahanan terhadap korosi sehingga umumnya digunakan untuk struktur kapal, lambung kapal, *water storage* dan *fuel storage*. Pada umumnya, material aluminium memiliki nilai *ductility* yang cukup tinggi pada temperture rendah (dingin) dan memiliki nilai *ductility* yang lebih rendah pada temperature tinggi (panas). Hal ini dapat terlihat bahwa aluminium memiliki ketahanan korosi yang tinggi pada temperatur rendah-normal, namun saat material aluminium mengalami *preheat* atau pemanasan dan proses pengelasan maka akan terjadi perubahan struktur

material sehingga nilai *ductility* material aluminium lebih rendah dari logam induk. Oleh karena itu dibutuhkan teknik pengelasan khusus untuk material aluminium.

Aluminium memiliki beberapa macam panduan yang dapat di *heat treatable* dan *non heatrettreatable*. Aluminium 5083 merupakan salah satu paduan aluminium yang tergolong *non heattreatable* sehingga jarang dilakukan pemanasan awal ketika dilakukan pengelasan. *Preheat* pada aluminium 5083 dapat diizinkan pada *range* temperature tertentu.

II. TINJAUAN PUSTAKA

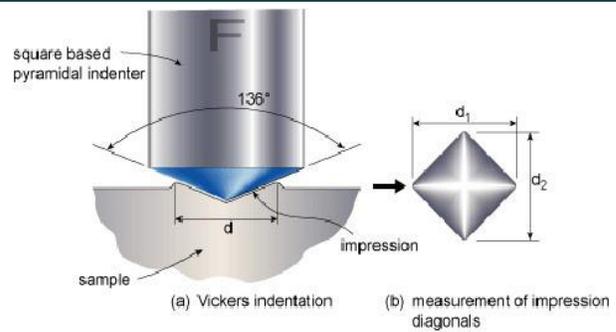
Pengujian metalografi adalah suatu teknik atau ilmu untuk melihat struktur mikro dan mikro material. Pengujian metalografi padadasarnya terdiri dari pengujian makro dan pengujian mikro. Pengujian mikro

bertujuan untuk mengetahui kondisi struktur mikro penyusun logam akibat proses pengelasan, pemanasan, dan pendinginan. Struktur mikro berupa butiran-butiran yang dipisahkan oleh batas butir (*grain boundary*). Tahapan dalam melakukan pengujian mikro adalah:

- *Cutting*, yaitu pemotongan benda uji disesuaikan dengan penampang yang akan diamati.
- *Mounting* (pemingkaian), yaitu untuk memudahkan pemegangan terhadap benda uji yang berukuran kecil atau memiliki bentuk yang tidak beraturan.
- *Grinding*, yaitu proses meratakan permukaan benda uji dengan menggunakan kertas amplas anti air. Selama *grinding* diberi air untuk mencegah terjadinya oksidasi pada permukaan benda uji.
- *Polishing*, yaitu menghaluskan serta menghilangkan goresan-goresan selama proses *grinding* dengan menggunakan kain bludru (*polishing cloth*). Sebagai media pendingin digunakan alkohol.
- *Etching*, yaitu proses mereaksikan benda uji dengan bahan etsa sehingga dapat memunculkan gambar struktur mikro dengan jelas.
- *Viewing*, yaitu pengamatan yang dilakukan dengan mikroskop optic dan mikroskop electron.

Kekerasan (*hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bias kembali ke bentuk asal. Dengan kata lain material tersebut tidak dapat kembali ke bentuk semula. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban identasi atau penetrasi (penekanan).

Angka kekerasan *Vickers* (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dengan luas permukaan bekan luka tekan (injakan) dari *indenter* (A) yang dikalikan dengan $\sin(136^\circ/2)$. Rumus untuk menentukan besarnya nilai kekerasan dengan metode *Vickers*. Gambar 2.2.



Gambar 1. Pengujian kekerasan

$$VHN = \frac{2P \sin(\frac{\theta}{2})}{d^2} = \frac{(1,854) P}{d^2}$$

Dimana,

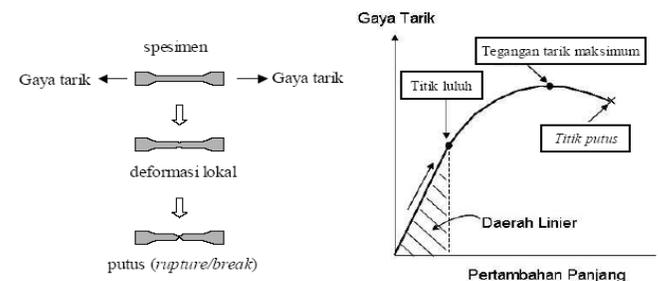
P = beban yang digunakan (kg)

d = panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = sudut antara permukaan intan yang berhadapan = 1360

Pengujian tarik adalah salah satu metode pengujian material yang paling luas penggunaannya. Pada pengujian tarik spesimen uji mengalami pembebanan satu sumbu (*uniaxial loading*) yang menyebabkan terjadinya deformasi baik elastis maupun plastis. Sari pengujian ini dapat dipelajari perilaku dari material sebagai respon terhadap beban yang diberikan.

Tujuan pengujian tarik adalah untuk mengetahui sifat mekanis dari suatu material terhadap tarikan dimana sifat mekanis tersebut antara lain meliputi batas lumer, kekuatan tarik, kekenyalan, pertambahan panjang dan pengecilan luas penampang Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Tensile / Tarik

Pengujian tarik pada umumnya menghasilkan parameter kekuatan tarik (ultimate strength) maupun luluh (yield strength). Keuletan bahan biasanya disajikan dalam bentuk persentase perpanjangan dan kontraksi/ reduksi penampang (reduction of area). Ini adalah kurva standar ketika melakukan eksperimen uji tarik dimana

perbandingan tegangan (σ) dan regangan (ϵ) selalu tetap, kurva yang menyatakan hubungan antara strain dan stress seperti ini disingkat kurva SS (SS curve). Persamaan hubungan antara tegangan dan regangan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E = \sigma \epsilon$$

Dimana,

E = Modulus Elastisitas (N/mm²) atau (MPa)

σ = Tegangan Tarik (N/mm²) atau (MPa)

ϵ = Regangan (%)

Untuk hasil uji tarik pada material uji yang tidak memiliki daerah linier dan landing yang jelas, tegangan luluh didefinisikan sebagai tegangan yang memiliki regangan permanen sebesar 0.2%, regangan ini bisa disebut sebagai *offset strain*. Hubungan sifat- sifat material yang diperoleh dari pengujian tarik dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_u = F_u A_0 \quad (2)$$

Dimana:

σ_u = Tegangan tarik (N/mm²) atau (MPa)

F_u = Gaya tarik maksimum (N)

A_0 = Luas penampang awal spesimen (mm²)

Hubungan persamaan regangan (persentase pertambahan panjang) yang diperoleh dengan membagi perpanjangan panjang ukur (ΔL) dengan panjang ukuran awal spesimen dirumuskan sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Dimana:

ϵ = Regangan (%)

L = Panjang akhir setelah patah (mm)

L_0 = Panjang awal spesimen (mm)

Gaya beban tarik yang diberikan secara terus-menerus dengan menambahkan beban, sehingga akan mengakibatkan perubahan bentuk pada penampang benda berupa pertambahan panjang dan pengecilan luas permukaan dan berakibat patahnya material uji. Persamaan persentase pengecilan yang terjadi dapat dinyatakan dengan hubungan sebagai berikut :

$$Ra = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\% = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

Dimana:

Ra = Reduksi Penampang (%)

A_0 = Luas penampang awal spesimen (mm²)

A_1 = Luas penampang akhir setelah patah (mm²)

Sebelum patah material uji saat dilakukan uji tarik akan mengalami tegangan elastis sampai mencapai titik luluh hingga mengalami perpatahan, hubungan tegangan elastis ini dapat rumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_y = F_e A_0$$

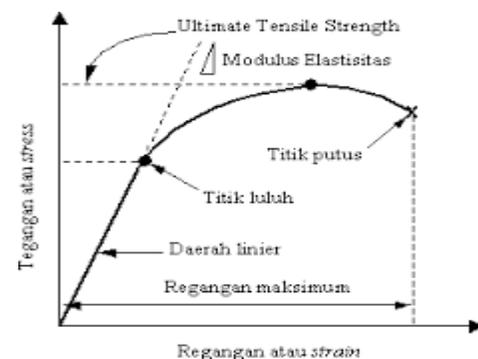
Dimana:

σ_y = Tegangan elastis (N/ mm²) atau (MPa)

F_e = Gaya batas elastis (N)

A_0 = Luas penampang awal spesimen (mm²)

Selanjutnya didapatkan yang merupakan kurva standar ketika melakukan eksperimen uji tarik. Kurva yang menyatakan hubungan antara strain dan stress seperti Gambar 3. ini kerap disingkat dengan kurva SS (SS curve).



Gambar 3. Grafik stress vs strain

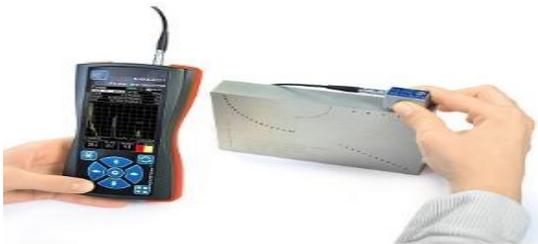
Radiografi digunakan dalam aplikasi yang sangat luas termasuk kesehatan, teknik, forensic, keamanan, dan lain-lain. Dalam *Non-Destructive Test*, radiografi merupakan satu yang sangat penting dan metode yang digunakan secara meluas. Uji radiografi memiliki beberapa kelebihan dibandingkan metode *Non-Destructive Test* lainnya. Namun, satu kekurangan terbesarnya adalah resiko kesehatan yang berkaitan dengan radiasi

Secara umum, uji radiografi merupakan metode pemeriksaan material terhadap kerusakan atau cacat yang tidak terlihat atau tersembunyi dengan menggunakan kemampuan radiasi dari gelombang elektromagnetik pendek (energi foton tinggi) untuk memasuki berbagai material. Uji radiografi dalam dunia teknik Intensitas dari radiasi yang masuk dan melewati material ditangkap oleh

lapisan yang sensitive terhadap radiasi (*Film Radiography*) atau dengan susunan planer sensor radiasi sensitive (*Real-time Radiography*). Lapisan atau film radiografi merupakan metode tertua yang masih banyak digunakan pada *Non-Destructive Test*.

Ultrasonic Flaw Detector ini memungkinkan para pengguna untuk melakukan pengujian pada produk atau material untuk mendeteksi adanya cacat. Ultrasonic Flaw detector dapat menjadi pilihan bagi anda yang memerlukan pengujian dan pengukuran guna standar kualitas produk metal dan nonmetal. Baik pengujian keretakan metal, NDT, heat reduction dan sebagainya cocok dengan spesifikasi produk.

Ultrasonic flaw detector ini mempunyai keunggulan dalam mendeteksi kecacatan benda melewati ultrasonic, yang ketika menyala dan sensor ditunjukkan maka secara otomatis ia akan mengindikasikan pada layar display dengan teknik tampilan gelombang. Gambar 4.

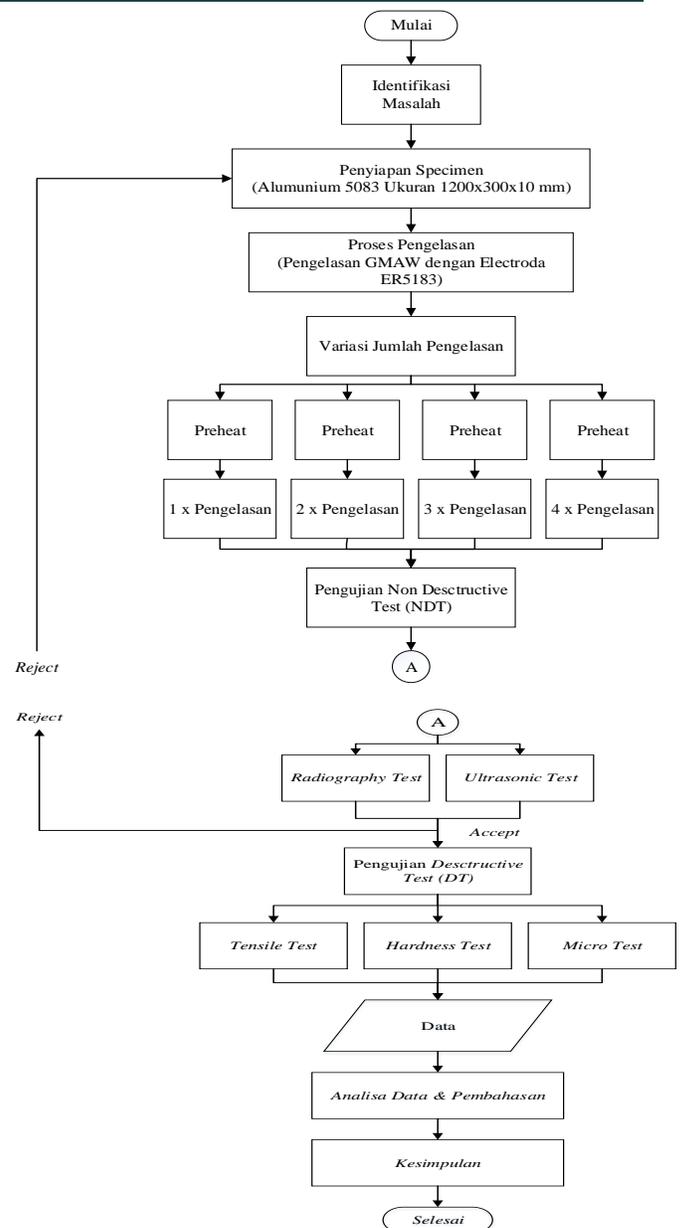


Gambar 4. Alat Ultrasonic Flaw Detecto (www.info-digital.com)

Prinsip kerja dari Ultrasonic Flaw Detector adalah dengan menembakkan gelombang ultrasonic dengan frekuensi tinggi sekitar 0.25 sampai 10 MHz pada material melalui jalur yang bisa diprediksi. Gelombang ultrasonic yang ditembakkan akan merambat melalui material dan akan dipantulkan apabila mengenai sisi lain material atau cacat yang ada di dalam material, sehingga pada umumnya pengecekan ultrasonik ini didasarkan pada perbedaan intensitas gelombang yang diterima serta masa-masa perambatannya.

III. METHODOLOGY

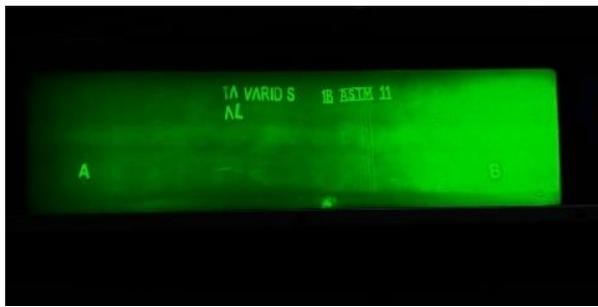
Adapun pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Metodologi Pelaksanaan

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pengujian Radiography bertujuan untuk mengetahui kondisi cacat pengelasan setelah dilakukan proses pengelasan ulang. Dalam pengujian Radiography ini mengacu pada standart atau code AWS D1.1 dapat dilihat pada Gambar 6., sampai Gambar 9.



Gambar 6. Hasil Pengujian Radiography Pada 1x Pengelasan



Gambar 7. Hasil Pengujian Radiography Pada 2x Pengelasan



Gambar 8. Hasil Pengujian Radiography Pada 3x Pengelasan



Gambar 9. Hasil Pengujian Radiography Pada 4x Pengelasan

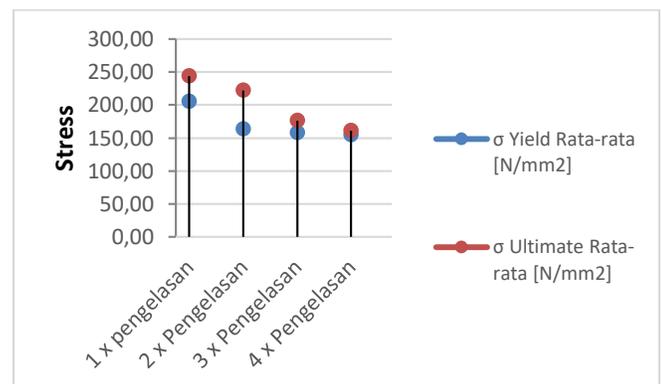
Jika dilihat dari pengujian Radiography Test pada 1x pengelesan , 2x pengelasan, 3x pengelasan dan 4x pengelasan dengan hasil ACC no Repair. Hal ini

di sebabkan pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW) memiliki sheilding gas atau gas pelindung yang memiliki komposisi hingga 99,95%. Gas shielding / Gas Argon Murni ini berfungsi untuk melindungi cairan logam las dari udara lingkungan sekitar untuk mencegah terjadinya proses oksidasi antara logam las dengan udara luar. Hal ini bisa di lihat dari hasil pengujian Rdiography Test pada 1x pengelasan, 2x pengelasan, 3x pengelasan, 4x pengelasan yang tidak ditemukan Deffect pada Weld Metal. Karena gas murni argon yang berkomposisi 99,95% mampu melindungi logam dari udara sekitar yang masuk pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Data Pengujian Ultrasonic Test

Part of Identification	Ange l	Freq	Decibl e	Disc ontu nity	Eval uati on
1x Las	70°	4.5 HZ	46.5 db	-	ACC
2x Las	70°	4.5 HZ	46.5 db	-	ACC
3x Las	70°	4.5 HZ	46.5 db	-	ACC
4x Las	70°	4.5 HZ	46.5 db	-	ACC

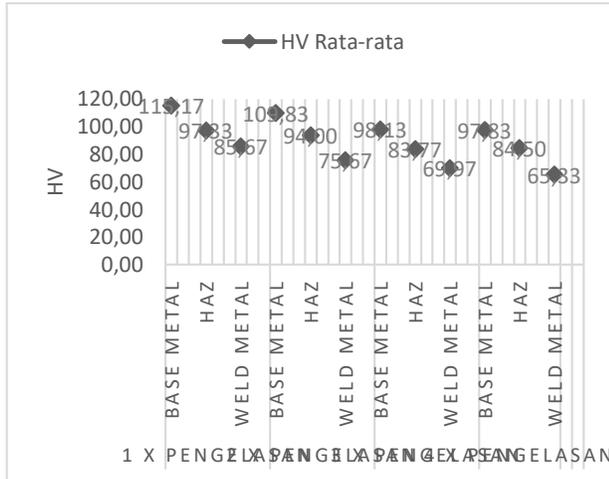
Dimana pengujian tersebut menggunakan probe sudut 70° dengan frequency 5 MHz di dalam Examination area A-B.



Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian

Berdasarkan Gambar 6. data hasil pengujian tarik, dapat dianalisa bahwa nilai yield strength dan ultimate tensile strength terbesar di dapat pada pelat aluminium 5083 dengan perlakuan 1x pengelasan

(No Repair), yaitu sebesar 209.61 N/mm² (yield strength) dan 248.16 N/mm² (ultimate tensile strength). Sedangkan nilai terendah yield strength dan ultimate tensile strength terendah di dapat di perlakuan 4x pengelasan (3x Repair), yaitu sebesar 153.12 N/mm² (yield strength) dan 170.02 N/mm² (ultimate tensile strength).



Gambar 7. Grafik nilai pengujian kekerasan

Berdasarkan Gambar 7. hasil pengujian kekerasan Aluminium 5083 yang ada pada Tabel, Dapat dianalisa bahwa nilai kekerasan terbesar dimiliki oleh plat aluminium 5083 dengan 1x pengelasan sebesar 115.17 HV pada daerah base metal, 85.67 HV pada daerah weld metal, dan pada plat aluminium 5083 dengan 2x pengelasan sebesar 97.83 HV pada daerah HAZ. Sedangkan nilai kekerasan terkecil dimiliki oleh plat aluminium 5083 dengan 4x pengelasan sebesar 97.83 HV pada daerah base metal , 65.33 HV pada daerah weld metal , dan 84.50 HV pada daerah HAZ.

Grafik Pengujian Kekerasan secara keseluruhan nilai kekerasan material berkurang seiring dilakukannya pengelasan ulang. Semakin sering dilakukannya proses pengelasan ulang maka semakin berkurang kekerasan pada material tersebut. Namun terlihat bahwa penurunan nilai kekerasan pada setiap pengelasan ulang tidak terlalu signifikan. Hal ini karena material di beri heat treatment berupa pemanasan awal (preheat) yang dapat mengurangi tegangan sisa pada logam las dan pada daerah HAZ sehingga penurunan tidak terlalu signifikan.

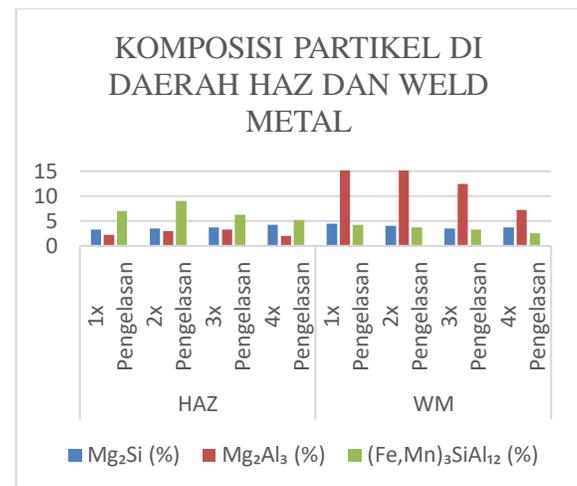
Pengamatan terhadap struktur mikro dilakukan pada daerah HAZ dan weld metal. Pengujian struktur mikro dilakukan dengan optical microscope. Partikel hitam yang terpisah merata pada matrik aluminium adalah Mg₂Si, partikel yang berwarna abu-abu adalah (Fe,Mn)₃SiAl₁₂, dan partikel yang berwarna kebiru-biruan adalah Mg₂Al₃. Partikel Mg₂Si cenderung membuat material semakin ulet atau tangguh, partikel (Fe,Mn)₃SiAl₁₂ cenderung membuat material menjadi brittle, dan partikel Mg₂Al₃ berpengaruh terhadap ketangguhan material dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Foto Mikro Daerah HAZ,



Gambar 9. Foto Mikro Daerah Weld Metal,



Gambar 10. Grafik Komposisi Partikel Pada Daerah HAZ dan Weld Metal.

Perubahan struktur mikro pada proses pengelasan tidak terlepas dari panas yang di hasilkan pada proses pengelasan. Perubahan struktur mikro terjadi pada HAZ. Daerah ini merupakan daerah base metal yang terkena pengaruh panas. Pada daerah HAZ tampak partikel yang berwarna hitam. Partikel ini mengandung unsur magnesium silicon. Unsur Mg akan bersenyawa dengan Si yang merupakan unsur tambahan filler metal. Pada Gambar 4.22. terlihat bahwa partikel Mg_2Si semakin meningkat sering dilakukannya pengelasan ulang. Semakin banyak komposisi partikel Mg_2Al_3 di daerah HAZ lebih sedikit dibandingkan di daerah weld metal. Partikel $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$ memiliki komposisi partikel yang lebih besar dibanding partikel lainnya. Hal tersebut dikarenakan daerah HAZ merupakan daerah krusial yang menerima panas sehingga sering terjadi kenaikan partikel $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$ pada material dengan 1x pengelasan. Seiring dilakukannya pengelasan ulang komposisi partikel $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$ semakin menurun.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil *radiography test* dan *ultrasonic test* ini untuk mengetahui kondisi pengelasan setelah dilakukan pengelasan ulang. Dari hasil pengujian tidak di temukan defect atau cacat. Hal tersebut di karenakan metode pengelasan dengan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) ini memiliki gas argon murni yang komposisinya hingga 99,95% gas ini berfungsi untuk melindungi cairan logam las dengan udara luar. Sehingga mencegah terjadinya proses oksidasi antara logam las dengan udara luar. Nilai *yield tensile strength* dan *ultimate tensile strength* tertinggi pada material aluminium 5083 1x Pengelasan (no repair) sebesar 209.61 N/mm² (*yield strength*) dan 248.16 N/mm² (*ultimate tensile strength*) nilai *yield tensile strength* dan *ultimate tensile strength* terendah pada material aluminium 5083 4x pengelasan (3x repair) sebesar 153.12N/mm² (*yield strength*) dan 170.02 N/mm² (*ultimate tensile strength*). Nilai *yield tensile strength* dan *ultimate tensile strength* mengalami penurunan setiap dilakukan pengelasan ulang. Namun penurunan nilai *yield tensile strength* dan *ultimate tensile strength* cenderung stabil hal ini karena material aluminium 5083 mendapat perlakuan *preheat* sebelum pengelasan yang akan membuat laju pendinginan menjadi lambat dan

dapat membuat kesempatan pada hydrogen untuk berdifusi keluar dari logam tanpa merusak sehingga material menjadi lebih keras. Nilai kekerasan tertinggi dari uji kekerasan terdapat pada *base metal* sebesar 115.17 HV dan nilai terendah terdapat pada *weld metal* sebesar 65.33 HV. *Preheat* maupun pengelasan ulang menyebabkan nilai kekerasan pada *weld metal* menurun namun tidak terlalu banyak selisih penurunan. Hasil pengujian struktur mikro dapat diketahui bahwa semakin sering dilakukannya proses pengelasan ulang maka komposisi partikel Mg_2Si akan terus meningkat. Partikel Mg_2Al_3 mengalami penurunan pada daerah *weld metal* karena pengaruh *preheat* dan pengelasan ulang sehingga jumlah masukan panas semakin meningkat seiring dilakukan pengelasan ulang. Partikel $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$ cenderung lebih stabil. Saran yang dapat dilakukan untuk percobaan selanjutnya agar dapat lebih baik dan menyempurnakan skripsi ini adalah melakukan pengujian *impact* untuk mengetahui ketangguhan material.

VI. UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Universitas Muhammadiyah Surabaya, yang telah mendanai penelitian internal sehingga menghasilkan luaran artikel ilmiah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdillah, S. (2008) "*Analisa Pengaruh Pengelasan Ulang Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Pada Baja Tahan Karat Austenitic AISI 304*". Surabaya: Jurusan Teknik Perkapalan, ITS.
- [2] Anderson, T. (2008). "*Understanding The Aluminium Alloys*". Michigan: ESAB Group. <http://www.teknikmesin.org/proses> pengujian-tarik/.
- [3] ASM International. (1990). "*ASM Metal Handbook Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials*". Ohio: ASM International Handbook Committee..
- [4] ASM E 562. (2011). "*Standart Test Method for Determining Volume Fraction by Systematic Manual Point Count*". West Conshohocken: ASM International.
- [5] AWS D.1.2. (2003). "*Structural Welding Code- Aluminium*". Miami: American Welding Society.

- [6] Biro Klasifikasi Indonesia Volume VI. (2009). *"Rule For Welding"*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- [7] Prasetyo, B.D. (2010). *"Study Variasi Pengelasan Ulang Terhadap Cacat Las Dan Kekerasan Material Aluminium 5083"* Surabaya: Jurusan Teknik Perkapalan ITS.
- [8] R.E.M. (Rekayasa, Energi, Manufaktur) Jurnal Vol. 1 No. 2. 2016 / Pengaruh Model Speciment Uji Tarik Pada Pengelasan Besi Fc- 30 Di Lihat Dari Kekuatan Tarik Pengelasan/Mulyadi
- [9] Suherman, W. (1988). *"Ilmu Logam"*. Surabaya: Jurusan Teknik Perkapalan ITS
- [10] Sunaryo, H. (2008) *"Teknik Pengelasan Kapal"*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan