

Pengaruh *Dissimilar Welding* (MIL-DTL-46100 dan ISO-15608 1.2) Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las pada Kendaraan Tempur

Syaloom Yunika¹, Sovian Aritonang^{1*}, & Rizky Kurnia Helmy¹

¹⁾ Department of Chemistry, Faculty of Military Mathematics and Natural Sciences
Universitas Pertahanan Republik Indonesia (Unhan RI), Bogor 16810, Indonesia

*Email: soviaritonang160668@gmail.com

ABSTRACT

Material testing before use in combat vehicles is critical. The aim is to detect and resolve defects in combat vehicle materials so that the vehicle can operate optimally. This research aims to improve the structural performance of combat vehicles by focusing on dissimilar welding material testing. The materials observed in this study were MIL-DTL 46100 Armor and ISO-15608 1.2 Non-Armor, which were evaluated through metallographic analysis (to examine microstructure) and Vickers Microhardness testing (to assess hardness). This was done to ensure that the materials used in combat vehicles can effectively deal with various threats. Results showed that metallographic observation of the HAZ of the three specimens revealed that the microstructure was dominated by acicular ferrite. This structure is highly desirable in welding joints. Generally, the non-armor material (ISO-15608 1.2) has a lower range of HV values than the armor material (MIL-DTL-46100). This indicates that the armor material has a higher hardness, which suits the needs of protection applications.

Keywords. *Combat Vehicle, Dissimilar Welding, Metallography, Vickers Microhardness.*

PENDAHULUAN

Pengelasan pada kendaraan tempur merupakan salah satu elemen kunci dalam pengembangan, pemeliharaan, dan pembaruan kekuatan pertahanan negara dalam mengatasi berbagai ancaman. Pengelasan berperan dalam menjaga integritas kendaraan tempur mewujudkan kedaulatan negara. Kemajuan dalam teknologi pengelasan memungkinkan bagaimana kendaraan tempur memiliki material yang lebih ringan, tetapi tetap kuat dalam konstruksi kendaraan tempur. Hal ini dapat mewujudkan pengoptimalan 3 aspek penting bagi kendaraan tempur, yaitu aspek balistik, aspek tempur, dan aspek mobilitas. Oleh karena, diperlukan sumber daya manusia yang terampil dan kompeten di bidang pengelasan untuk memastikan bahwa kendaraan tempur dapat beroperasi secara optimal dengan efektif. Pengelasan merupakan salah satu teknik fabrikasi yang penting dalam dunia industri dan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) memiliki artian proses ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Pengelasan memungkinkan pembentukan sambungan yang kuat antara komponen-komponen logam yang sama maupun berbeda untuk menciptakan struktur yang kokoh. Konsep pengelasan tidak hanya tentang dua bagian material yang dipanaskan dan dibiarkan hingga beku kembali. Namun, penyambungan logam diberikan jenis bahan tambah (*filler metal*) ataupun elektroda pada saat dipanaskan [1].

Fungsi utama *filler metal* dalam pengelasan adalah untuk menciptakan sambungan pengelasan yang kuat antara bahan kerja. *Filler metal* memiliki komposisi kimia dan sifat mekanis yang dirancang untuk memenuhi persyaratan spesifik pengelasan, seperti kekuatan tarik, kekuatan lentur, tahan korosi, dan lain sebagainya. *Filler metal* juga membantu menjembatani perbedaan antara dua material yang digabungkan, termasuk perbedaan dalam sifat fisik dan komposisi kimia. Beberapa *filler metal* yang digunakan dalam pengelasan kendaraan tempur adalah ER70s-6, ER 307, dan ER 110S-G. Namun, *filler metal* yang digunakan pada spesimen ini adalah ER 307.



Gambar 1. Esab Ok Autrod Er307 [2]

Kualitas pengelasan yang baik bergantung pada bagaimana material digunakan sebagaimana mestinya. Hal tersebut memainkan peran penting dalam menggabungkan material yang berbeda (*dissimilar welding*) dalam proses pengelasan. *Dissimilar welding* seringkali menggabungkan beberapa logam agar dapat mencakup pengurangan biaya dan peningkatan ketangguhan material [3]. Pada penelitian ini, material yang digabungkan adalah *armor* MIL-DTL 46100 dan *non armor* ISO-5608 1.2. Material *armor* MIL-DTL 46100 memiliki kekerasan material yang tinggi [15]. Namun, material ini biasanya hanya digunakan pada bagian-bagian tertentu dari struktur kendaraan tempur. Ada maksud mengapa kedua material ini digabungkan, yaitu kemampuan terhadap proteksi balistik / kekerasan yang jauh berbeda, sehingga penggabungan *armor* dan *non armor* pada kendaraan tempur terdapat pada pemasangan profil penguat *body hull*. Plat armor digunakan pada komponen yang terkespos pada lingkungan luar, sedangkan profil penguat *non armor* berfungsi sebagai penguat struktur konstruksi *body* di area dalam

Sambungan las menyatukan dua atau lebih permukaan logam dengan pengaplikasian pemanasan lokal pada titik-titik yang ingin disambung [1]. Pada penelitian ini digunakan bentuk sambungan las sudut (*fillet weld*).



Gambar 2. Spesimen Fillet Weld

Proses pengelasan yang digunakan pada penelitian ini adalah GMAW (Gas Metal Arc Welding). Teknik pengelasan fusi ini menghasilkan deformasi pengelasan yang berlebihan, tegangan sisa, dan perubahan fasa pada bahan dasar di sekitar las karena tingginya masukan panas, sehingga perlu dilakukan beberapa pengujian untuk mengurangi cacat yang kemungkinan akan terjadi [4]. Di mana teknik pengelasan ini melibatkan aliran gas inert (80% Ar dan 20% CO₂ atau campuran 80/20). Aliran gas inert ini bersifat sebagai gas pelindung yang berfungsi sebagai pencegah manakala terjadi oksidasi dan pelindung bagi hasil las saat masa pembekuan (*solidification*) [5]. Argon seringkali digunakan pada proses pengelasan yang melibatkan temperatur yang tinggi (melebihi 5.000°C), sehingga tidak mudah terbakar. Selain itu, Argon yang merupakan gas inert mampu tidak bereaksi secara kimia dengan logam panas atau elemen lain di sekitarnya. Hal inilah yang menjadikan Argon sebagai pilihan agar dapat melindungi logam panas dari oksidasi dan kontaminasi yang terjadi selama proses pengelasan. Namun, Argon murni jarang digunakan karena mahal dan kinerja yang tidak terlalu signifikan apabila dikombinasikan dengan gas lainnya. Itulah mengapa Argon murni biasanya ditambah dengan campuran CO₂ karena berbagai alasan, yaitu portabilitas yang tinggi, penetrasi yang lebih baik biaya yang lebih rendah, dan CO₂ dapat mengurangi potensi cacat seperti percikan logam (*spatter*) [6].

Proses sambungan las melibatkan aplikasi panas tinggi pada logam las (*weld metal*) dan area sekitarnya yang terkena panas dikenal sebagai HAZ (*Heat Affected Zone*). Hal ini menciptakan serangkaian perubahan termal yang signifikan. Pada awalnya, panas yang diberikan menyebabkan kenaikan temperatur logam hingga mencapai titik lebur. Di titik ini, logam mencapai temperatur lebur, dan itu adalah saat di mana perubahan struktural terjadi. Setelah mencapai temperatur lebur, logam las dan HAZ mengalami proses pendinginan dan dapat memengaruhi transformasi fasa, sifat fisik, mekanik, dan struktur mikro yang akan berpengaruh pada ketangguhan sambungan las tersebut [7]. Transformasi struktur mikro dipengaruhi oleh faktor laju pendinginan [16].

Faktor yang memengaruhi struktur mikro pengelasan, yaitu *heat input*, filler (*solid wire*), dan solidifikasi. Struktur mikro yang terbentuk akibat pengelasan menurut Abson dan Pergeter (1986) adalah:

1. *Proeutectoid Ferrite* (ferit poligonal). Struktur ferit ini terdiri dari *grain boundaries ferrite* dan *intragranular polygonal ferrite* pada temperatur 1000-650°C pada sepanjang batas *austenite*.
2. *Widmanstätten Ferrite*. Berbentuk plat-tipis atau jarum-jarum panjang yang halus pada temperatur 750-650°C
3. *Acicular Ferrite*. Struktur ini berbentuk butiran seperti jarum atau jarum tumpul yang saling bersilangan. *Acicular ferrite* adalah struktur mikro yang diharapkan karena sifatnya yang bersifat "*interlocking structure*", yaitu mampu menghambat laju perambatan retak [8].
4. *Bainite*. Memiliki bentuk seperti *widmanstätten ferrite*. Namun, *bainite* terbentuk selama pendinginan yang lebih cepat daripada *widmanstätten ferrite*. Terbentuk pada temperatur 400-500°C
5. *Martensite*. Berbentuk jarum atau jarum datar dan terbentuk selama pendinginan yang sangat cepat dari temperatur di atas titik kritis transformasi *austenite*.

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja struktural kendaraan tempur dengan fokus pada pengujian material *dissimilar welding*. Material yang diamati dalam penelitian ini adalah Armor MIL-DTL 46100 dan Non Armor ISO-15608 1.2. Material-material ini akan dievaluasi melalui serangkaian analisis, termasuk analisis metalografi untuk memeriksa struktur mikro dan pengujian Vickers Microhardness untuk menilai tingkat kekerasan.

METODE PENELITIAN

Spesifikasi Material Dalam Pengelasan

Jenis Sambungan	: Fillet Weld
Jenis Material	: MIL-DTL-46100/ ISO 15608 1.2
Ketebalan Spesimen	: 10 mm
<i>Throat Thickness</i>	: 4 mm
<i>Single Layer/Multi Layer</i>	: <i>Single Layer</i>
<i>Filler Metal</i> dan diameter	: ER 307 ; 1,2 mm
Gas Pelindung	: 80% Ar + 20% CO ₂
Posisi Pengelasan	: Flat Position (PB)
Kecepatan Umpan Kawat (m/menit)	: 8
Jenis Arus/ Polaritas	: DCRP

Spesimen A

Arus (A)	: Min = 221 Max = 238
Tegangan (V)	: Min = 25,2 Max = 26
Kecepatan Pengelasan (mm/menit)	: 202,3
Heat Input	: Min = 1,65 Max = 1,84

Spesimen B

Arus (A)	:	Min = 214 Max = 232
Tegangan (V)	:	Min = 24 Max = 27
Kecepatan Pengelasan (mm/menit)	:	280
Heat Input	:	Min = 1,10 Max = 1,34

Spesimen C

Arus (A)	:	Min = 216 Max = 220
Tegangan (V)	:	Min = 26,5 Max = 26,7
Kecepatan Pengelasan (mm/menit)	:	241
Heat Input	:	Min = 1,43 Max = 1,46

Pengamatan Metalografi

Pengamatan metalografi bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dari spesimen pengelasan *dissimilar welding* [9] [10]. Pengamatan dilakukan pada bagian HAZ, *weld metal*, dan *base metal* pada masing-masing material, sehingga nantinya akan dipetakan menjadi logperluam induk (*base metal*), HAZ (HAZ 1 dan HAZ 2), logam induk (*base metal*), dan logam las (*weld metal* 1 dan *weld metal* 2). *Software* yang digunakan untuk mengamati struktur mikro adalah Micropic Image Procession Software dengan perbesaran 200x dan 800x.

Sebelum dilakukan pengamatan pada mikroskop, dilakukan beberapa hal pada spesimen, yaitu:

- Grinding.** Tujuan dari proses *grinding* adalah menghasilkan permukaan spesimen yang lebih halus, terutama apabila sebelumnya spesimen sudah lama terpapar di lingkungan terbuka dan telah mengalami oksida, yang dapat mengakibatkan terbentuknya karat dan dapat menghambat pengamatan mikroskopis [17]. Spesimen digrinding menggunakan beberapa mata asah ampelas dari yang paling kasar sampai yang paling halus ($\pm 60 - 100$) secara bertahap. Menggunakan mata ampelas yang paling kasar adalah langkah awal untuk menghapus sebanyak mungkin material yang tidak diinginkan dalam waktu singkat.



Gambar 3. Proses *Grinding*

- Polishing(Pemolesan).** Tahapan *polishing* adalah tahapan paling penting karena spesimen akan dibuat mengkilat dan permukaannya rata. Langkah ini perlu dilakukan untuk menghilangkan goresan-goresan yang terjadi akibat proses *grinding*. Bahan yang digunakan untuk melakukan *polishing* adalah alumina atau pasta.



Gambar 4. Proses *Polishing*

- c. **Etching (Pengetsaan).** Proses ini menggunakan larutan kimia nital 2,5%, yaitu 2,5% larutan HCl dalam etanol. Pengetsaan bertujuan untuk membuat permukaan material yang akan di amati menjadi kasar (*roughing*) dari spesimen metalografi menurut H.S. Rawdon, 1920. Lamanya pengetsaan dilakukan adalah 5-10 detik sampai terjadi perubahan warna pada permukaan spesimen. Setelah itu, spesimen harus dibilas dengan air bersih yang mengalir lalu disiram dengan alkohol. Spesimen yang masih dalam keadaan basah dikeringkan dengan mesing pengering [14]. Setelah langkah ini dilakukan, spesimen siap untuk diamati struktur mikronya di mikroskop.



Gambar 5. Pengetsaan

- d. **Pengamatan Mikroskop.** Langkah ini merupakan langkah terakhir untuk mengamati struktur mikro spesimen. *Software* yang digunakan untuk mengamati struktur mikro adalah Micropic Image Procession Software dengan perbesaran 200x dan 800x.

Pengujian Vickers Microhardness

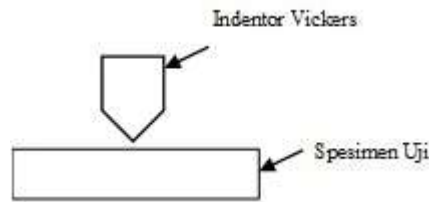


Gambar 6. Alat pengujian Vickers Microhardness

Langkah dalam pengujian Vickers Microhardness:

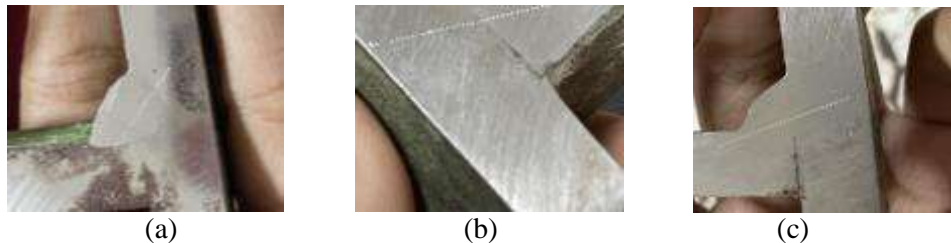
1. Spesimen yang telah di *grinding*, *polishing*, dan *etching* pada pengamatan metalografi, kemudian akan disiapkan untuk pengujian Vickers Microhardness.
2. Menyiapkan perangkat uji kekerasan Vickers Microhardness dengan baik
 - Memasang beban sebesar 5 kg.

- Memasang idendor piramida intan 136° pada alat uji



Gambar 7. Skema Uji Vickers Microhardness

3. Posisikan ujung idendor pada spesimen
4. Melepasakan handle pada alat secara perlahan tanpa tekanan ke bawah, lalu handle akan bergerak turun dengan sendirinya
5. Menunggu beberapa detik sampai handle otomatis bergerak ke atas menjauhi permukaan spesimen
6. Mengulangi perngujian dengan menggeser spindel ke arah samping secara diagonal dengan jarak 0,5 mm sebanyak 40 kali (langkah ini dilakukan untuk ketiga spesimen).



Gambar 8. Spesimen setelah diberi beban 5 kg sebanyak 4 titik Spesimen A : (b) Spesimen B : (c) Spesimen C

7. Mengukur diagonal masing-masing titik indentasi dengan menggunakan Micropic Image Procession Software dan mendapatkan nilai HV.

Nilai HV dapat diperoleh menggunakan persamaan, yaitu

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

dimana:

P = beban yang digunakan (kg) = 5 kg

θ = sudut puncak idendor = 136°

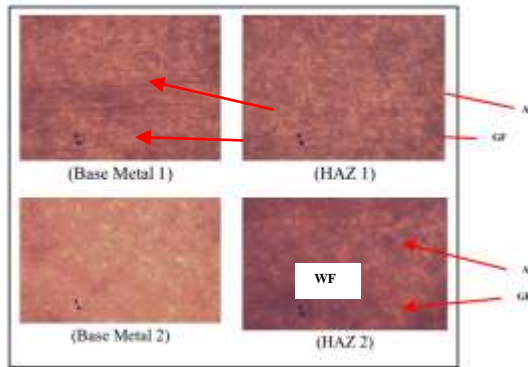
d = rata-rata panjang diagonal

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan Metalografi

Spesimen A

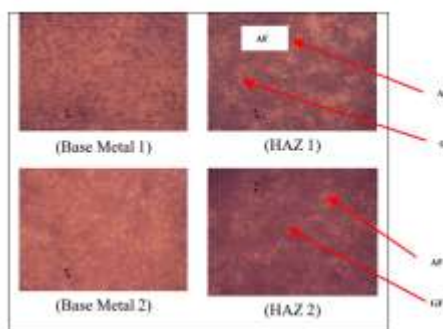
- Perbesaran 800x



Gambar 9. Struktur Mikro Spesimen A Perbesaran 800x

Spesimen B

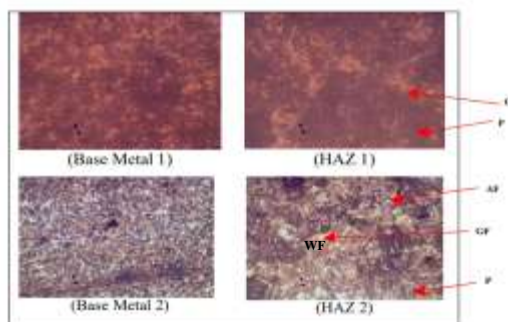
- Perbesaran 800x



Gambar 10. Struktur Mikro Spesimen B Perbesaran 800x

Spesimen C

- Perbesaran 800x



Gambar 11. Struktur Mikro Spesimen c Perbesaran 800x

Keterangan:

- P = Perlite
- AF = Acicular Ferrite
- GF = Grain Boundaries Ferrite
(ferit batas butir)
- WF = Widmanstätten Ferrite

Saat logam terpapar pada temperatur tinggi selama proses pengelasan, butiran-butiran kristalnya dapat mengalami perubahan temperatur secara serentak. Ketika logam cepat mendingin, sejumlah *grain boundaries ferrite* dapat terbentuk secara difusi karbon di sekitar batas butir-butir logam [11]. *Grain boundaries ferrite* dipisahkan dari *acicular ferrite* dengan lapisan *perlite* yang sangat halus. *Grain boundaries ferrite* cenderung memiliki struktur yang lebih lemah dan kurang kuat dibandingkan dengan *acicular ferrite* yang mendominasi sambungan pengelasan. Dominasi

acicular ferrite, sebagai produk dari perpindahan transformasi *austenite* bisa menunjukkan nilai kekerasan yang tinggi [12]. Hal ini dapat dilihat pada pengamatan metalografi HAZ ketiga spesimen di mana ditemukan struktur mikro yang didominasi oleh *acicular ferrite*, struktur yang kehadirannya diinginkan dalam sambungan las. Pada aplikasi armor memang distribusi *acicular ferrite* yang baik sangat diinginkan. *Acicular ferrite* yang dominan dalam material armor dapat meningkatkan ketahanan terhadap penetrasi proyektil atau serangan fisik karena memberikan kekuatan yang tinggi dan ketahanan terhadap deformasi. Namun, pada aplikasi *non armor*, seperti dalam komponen struktural distribusi *acicular ferrite* mungkin tidak selalu menjadi prioritas utama.

Pada bagian *weld metal*, dapat diamati bahwa struktur mikro didominasi oleh *grain boundaries ferrite* dan *widmanstätten ferrite*, dengan sedikit adanya *acicular ferrite*. Hal tersebut diakibatkan *heat input* dan laju pendinginan yang relatif lebih lambat [11]. Untuk base metal MIL-DTL-46100 struktur mikronya *Tempered Martensite*. Untuk ISO-15608 1.2 *Ferrite Pearlite*.

Pengujian Vickers Microhardness

Spesimen A



Gambar 12. Spesimen A (Face)



Gambar 13.. Spesimen A (Root)

Spesimen B



Gambar 14. Spesimen B (Face)



Gambar 15. Spesimen B (*Root*)

Spesimen C



Gambar 16. Spesimen C (*Face*)

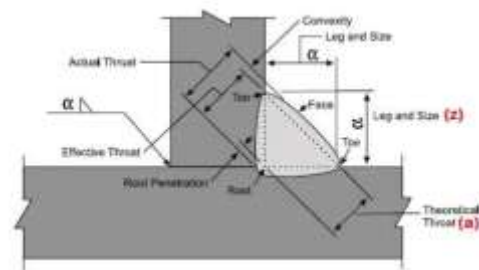


Gambar 17. Spesimen C (*Root*)

Keterangan (*line* pada grafik)

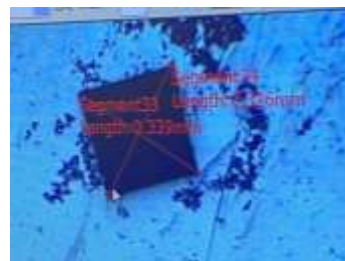
- = BASE METAL
- = HAZ 1
- = WELD METAL
- = HAZ 2

Spesimen ini terbagi menjadi 2 bagian yang nantinya akan diamati, yaitu bagian atas(*face*) dan bagian bawah(*root*).



Gambar 18. Bagian dari *Fillet Weld*[13]

Namun, pada spesimen ini karena daerahnya sempit, maka di ambil di *centernya* tidak pada bagian *face* dan *root*. Pada pengujian, *indentor* ada 40 titik di mana 20 titik untuk *face* dan 20 titik untuk *root*. Masing-masing *indentor* diberi jarak 0,5 mm. Nilai kekerasan diukur pada 3 daerah, yaitu *weld metal* (*weld metal 1* dan *weld metal 2*), HAZ (HAZ 1 dan HAZ 2), dan *base metal*. Di mana bagian 1 menunjukkan bagian daerah *face* (material *non armor*) dan *root* (material *armor*). Tekanan yang diberikan pada *indentor* biasanya tetap (masing-masing titik mewakili pemberian beban 5 kg) dan hasil indentasi adalah ukuran diagonal dari cetakan yang dihasilkan. Rata-rata diameter diagonal inilah yang kemudian digunakan untuk menghitung nilai HV.



Gambar 19. Pengukuran *indentor* pada Micropic Image Procession Software

Berdasarkan tabel data perhitungan *Hardness Vickers* (HV) dapat diamati tren antar masing-masing ketiga spesimen bagaimana perbedaannya. Nilai HV pada material *non armor* ISO-15608 1.2 memiliki rentang nilai HV yang lebih rendah, daripada material *armor* MIL-DTL-46100. Nilai HV pada HAZ umumnya memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi daripada *weld metal*. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti HAZ yang mengalami pemanasan yang sangat intens (mendekati titik lebur logam, tetapi tidak mencapainya. Pemanasan yang tinggi dapat menyebabkan rekristalisasi mikrostruktur logam dan menghasilkan struktur yang lebih lebih keras. Selain itu, proses pendinginan yang cepat setelah pengelasan selesai dapat menghasilkan struktur kristal yang lebih keras.

Berbeda halnya dengan material *non armor*, *weld metal* cenderung memiliki nilai HV lebih tinggi daripada HAZ. Biasanya dipengaruhi faktor-faktor seperti komposisi logam dan perubahan temperatur selama pengelasan, Selain itu, seharusnya untuk material armor, nilai HV *base metal* lebih tinggi daripada *weld metal*. Namun, pada grafik spesimen A dan spesimen B ditemukan nilai HV *weld metal* justru lebih tinggi, daripada *base metal*, hanya spesimen c yang sesuai dengan hal tersebut. Apabila nilai HV *weld metal* lebih tinggi daripada *base metal* akan ada akibat positif dan akibat negatif. Akibat positifnya adalah perlindungan tambahan dan ketahanan abrasi, sedangkan akibat negatifnya adalah kerapuhan, kesulitan dalam pengolahan, dan kurang mampu menahan tegangan berulang.

Secara umum, semakin tinggi nilai HV, semakin keras material tersebut. Material dengan nilai HV yang tinggi cenderung memiliki struktur kristal yang lebih padat atau pengikatan atom yang lebih kuat, sehingga lebih tahan terhadap deformasi atau penetrasi. Namun, justru nilai HV yang terlalu tinggi dapat menandakan kekerasan yang berlebihan (600 HV atau lebih tinggi), yang dapat

◆ mengurangi mengakibatkan beberapa konsekuensi negatif, seperti kerapuhan tinggi, ketahanan terhadap aus yang rendah, pengolahan yang sulit, dan beberapa hal lainnya. Nilai HV tersebut ada kaitannya dengan struktur mikro *acicular ferrite*, *ground boundaries ferrite*, dan sedikit *widmanstätten ferrite*.

Ketidaksesuaiannya nilai HV pada bagian bagian pengelasan. Namun, masalah ini dapat diidentifikasi dan ditangani dengan efektif melalui serangkaian langkah yang terstruktur. Pertama-tama, langkah awal adalah mengidentifikasi sumber cacat. Ini melibatkan pemeriksaan teliti terhadap area pengelasan untuk mencari tanda-tanda potensial ketidaksesuaian nilai HV, seperti retakan, porositas, atau perubahan warna yang mencurigakan.

Setelah sumber cacat diidentifikasi, langkah berikutnya adalah mengevaluasi cacat material dengan cermat. Ini termasuk analisis lebih mendalam terhadap cacat yang ditemukan, termasuk pengukuran nilai kekerasan (HV) yang sesuai. Selain itu, evaluasi juga melibatkan penilaian terhadap sejauh mana cacat tersebut dapat memengaruhi integritas struktural bagian pengelasan.

Setelah identifikasi dan evaluasi cacat, langkah selanjutnya adalah melakukan penanganan yang sesuai. Penanganan cacat material dapat melibatkan berbagai metode, seperti penyusunan ulang pengelasan [18][19], penggunaan bahan pengisi yang sesuai, atau perlakuan panas yang diperlukan untuk mengembalikan tingkat kekerasan yang diinginkan. Proses penanganan ini harus dilakukan oleh tenaga ahli yang berpengalaman dalam pengelasan.

Terakhir, setelah penanganan selesai, penting untuk melakukan pengujian ulang terhadap bagian pengelasan yang telah diperbaiki. Pengujian ulang ini bertujuan untuk memastikan bahwa nilai HV telah kembali sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan dan bahwa integritas struktural telah dipulihkan. Pengujian ulang ini juga membantu memastikan bahwa bagian pengelasan siap digunakan dalam aplikasi yang sesuai.

Secara keseluruhan, proses mengidentifikasi dan menangani ketidaksesuaian nilai HV pada bagian-bagian pengelasan melibatkan serangkaian langkah yang terstruktur, dimulai dari identifikasi cacat hingga pengujian ulang untuk memastikan kualitas dan keamanan dalam penggunaannya.

KESIMPULAN

Penelitian ini berfokus pada material dissimilar welding dalam kendaraan tempur berbahan Armor MIL-DTL 46100 dan Non Armor ISO-15608 1.2, dengan melakukan pengujian sifat mekanis dan analisis struktur mikro melalui metalografi dan pengujian Vickers Microhardness. Hal ini dapat membuka peluang untuk penggunaan material dengan karakteristik yang berbeda dalam konstruksi kendaraan tempur, yang pada akhirnya dapat menghasilkan kendaraan yang lebih efektif. Dalam proses pengelasan, ketika logam terpapar pada temperatur tinggi, perubahan temperatur yang serentak terjadi pada butiran kristalnya. Saat logam cepat mendingin, terbentuk *grain boundaries ferrite* di sekitar batas butir-butir logam sebagai hasil difusi karbon. Struktur *grain boundaries ferrite* ini cenderung memiliki sifat mekanis yang lebih lemah dan kurang kuat dibandingkan dengan struktur *acicular ferrite* yang mendominasi sambungan pengelasan. Dominasi *acicular ferrite*, yang dihasilkan dari transformasi *austenit*, dapat menunjukkan nilai kekerasan yang tinggi. Pengamatan metalografi HAZ ketiga spesimen mengungkapkan bahwa struktur mikro didominasi oleh *acicular ferrite*. Struktur ini sangat diinginkan dalam sambungan pengelasan, terutama dalam aplikasi armor. *Acicular ferrite* yang mendominasi dalam material armor dapat meningkatkan ketahanan terhadap penetrasi proyektil atau serangan fisik karena memberikan kekuatan yang tinggi dan ketahanan terhadap deformasi. Namun, dalam aplikasi *non armor*, prioritas dapat bervariasi, dan distribusi *acicular ferrite* mungkin tidak selalu menjadi yang utama. Secara umum, material non armor (ISO-15608 1.2) memiliki rentang nilai HV yang lebih rendah daripada material armor (MIL-DTL-46100). Hal ini mengindikasikan bahwa material armor memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi, yang sesuai dengan kebutuhan dalam aplikasi perlindungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jatnika, D., & Kesuma, N., “Analisis Kekuatan Sambungan Las pada Komponen Lifting Lug Panser”. *Jurnal Teknik Mesin*, 2021.
- [2] <https://esab.com/> , diakses 15 September 2023.
- [3] Dhaliwal, N.P.142S., Mittal, R., Gill, S., Khullar, P., ”Comparative Evaluation of Impact Strength of Dissimilar Metal Weld Between T91 And 304SS Prepared by SMAW and GTAW Techniques” *Indian Journal of Science and Technology*, 2016 9 (39). <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i39/101403>.
- [4] Soleh, M. Z. A., & Mulyadi, M., “Design and Build JIG Design on Friction Stir Welding Using Fillet Connection on AA6061-T6 Material”, *Indonesian Journal of Innovation Studies*, 2021 14. <https://doi.org/10.21070/ijins.v14i.536>.
- [5] Kamil², K., Muhammad, D., & Asiri², H., “Analisis Kekuatan Sambungan Las Metal Inert Gas (MIG) pada Logam Aluminium”, *Jurnal Teknik Material*, 2018.
- [6] Citra Harapan Jaya, “Pilihan Gas Untuk Las: Argon (Ar) atau Karbon Dioksida (CO₂). <https://chj.co.id/blog/gas-las-argon-atau-karbon-dioksida-co2/>diakses tanggal 15 September 2021.
- [7] Okviyanto, T., Setiawan, D., Nugraha, G., Muliastri, D., J., Teknik Mesin, J., Negeri Bandung, P., Gegerkalong Hilir, J., & Barat, B., “Analisis Struktur Mikro Terhadap Hasil Ekperimental Sambungan Las Smaw Pada Baja Karbon St 37” *Informasi Artikel Abstrak*. 2023 4(2), 2723–3359. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8049215>.
- [8] Azis, R. A., Suharno, S., & Saputro, H., “Pengaruh Variasi Diameter Elektroda E7018 Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan, dan Struktur Mikro Pengelasan pada Baja Karbon Rendah Jenis SS400 dengan Metode SMAW”, *Jurnal Teknik*, 2019 17(2), 94–105. <https://doi.org/10.37031/jt.v17i2.53>
- [9] MIL-DTL-46100 “Detail Specification: Armor Plate, Steel, Wrought, High-Hardness” 2018.
- [10] ISO 15608, “Welding - General Guidance for a Preliminary Welding Procedure Specification (pWPS)” 2017.
- [11] Sutrimo, “Pengaruh Masukan Panas Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Pada Pengelasan Busur Rendam Baja Karbon AISI 1020” 2011
- [12] Glišić, D., Radović, N., Drobnjak, D., & Fadel, A., “Critical Stress for Cleavage Fracture in Continuously Cooled Medium Carbon V-microalloyed Steel”, *Procedia Materials Science*, 3, 1226–1231. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.06.199/2014>.
- [13] <https://www.materialwelding.com/weld-fillet-symbols-fillet-weld-types/>, 15 September 2023
- [14] Staf Pengajar Jurusan Mesin Fakultas Teknik, (n.d). Analisa Struktur Mikro pada Daerah Las dan HAZ Hasil PengelasanShielded Metal Arc Welding(SMAW)pada Baja Karbon MediumDan Quenching Air Laut.
- [15] Payana, D., Widiyarta, I. M., & Sucipta, M., “Kekerasan Baja Karbon Sedang dengan Variasi Temperatur Permukaan Material”, *Jurnal METTEK*, 20184(2), 43. <https://doi.org/10.24843/mettek.2018.v04.i02.p02>
- [16] Setiawan, A., Asra, Y., & Wardana, Y., “Analisa Ketangguhan dan Struktur Mikro pada Daerah Las dan HAZ Hasil Pengelasan Sumerged Arc Welding pada Baja SM 490”, <http://www.petra.ac.id/~puslit/journals/dir.php?DepartmentID=MES>. 2006.
- [17] Budi, A., Kurniawan, A., & Jatimurti, S. T. W., “Effect of Heat Input And Tempering on A516 Grade 55 Steel SMAW Welding To Acicular Ferrite Formation and its Mechanical Properties”, *Journal of*, 2016.
- [18] Mikro, S., Burhanudin, D. K., Chamim, M., Hidayah, F. N., Radiant Utomo, B., Syamsul Erfan, R., Atmoko, N. T., Studi, P., Mesin, T., Teknologi, S. T., & Surakarta, W., “Efek Perbaikan Las Berulang (Multilayer Repair Welding) pada Baja Carbon SS400”, . *Jurnal Creative Research in Engineering*, 2022, 2(1), 1–8.
- [19] Mahardhika, D., & Lubis, D. A., “Kekuatan Geser dan Integritas Struktur Sambungan Fillet Weld pada Support Lug Bejana Tekan Silinder Vertikal”, In *Jurnal Mechanical*, 2020 (Vol. 11, Issue 2).