



**UNIVERSITAS PERTAHANAN RI**

**PENGARUH PENGELASAN *MULTILAYER* TERHADAP SIFAT  
MEKANIK DAN MIKROSTRUKTUR MATERIAL *DISSIMILAR  
WELD METAL* (MIL-DTL-46100E DAN ISO-15608 1.2.)  
UNTUK KOMPONEN STRUKTUR  
*BODY HULL* MEDIUM TANK**

**SYALOOM YUNIKA    320200304022**

**Skripsi yang Ditulis Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam  
Mendapatkan Gelar Sarjana**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM MILITER  
PROGRAM STUDI FISIKA**

**BOGOR 2024**

## LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

Nama : Syaloom Yunika  
NIM : 320200304022  
Program Studi : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer  
Judul Skripsi : Pengaruh Pengelasan *Multilayer* terhadap Sifat Mekanik dan Mikrostruktur Material *Dissimilar Weld Metal* (MIL-DTL-46100E dan ISO-15608 1.2.) untuk Komponen Struktur *Body Hull* Medium Tank

Pembimbing I



Dr. Ir. Sovian Aritonang S.Si., M.Si.  
Kolonel Kes. NRP. 519726  
Tanggal: Juli 2024

Pembimbing II



Rizky Kurnia Helmy S.T., M.T.  
NPP. 05470  
Tanggal: Juli 2024

Mengetahui,

Kepala Program Studi Fisika



M. Zuhnir Piliang, S.Si., M.Eng.  
Kolonel Tek NRP. 522657  
Tanggal: Juli 2024





Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu  
Pengetahuan Alam Militer



Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.Si.  
Pembina Utama Muda IV/c  
Tanggal: Juli 2024

### LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Nama : Syaloom Yunika  
NIM : 320200304022  
Program Studi : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer  
Judul Skripsi : Pengaruh Pengelasan *Multilayer* terhadap Sifat Mekanik dan Mikrostruktur Material *Dissimilar Weld Metal* (MIL-DTL-46100E dan ISO-15608 1.2.) untuk Komponen Struktur *Body Hull Medium Tank*

No	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
1	Dosen Pembimbing I Dr. Ir. Sovian Aritonang Kolonel Kes. NRP. 519726		24/07 2024
2	Dosen Pembimbing II Rizky Kurnia Helmy S.T., M.T. NPP. 05470		22/07 2024
3	Dosen Penguji I Dr. Riri Murniati, S.Si., M.Si NIP. 19900p1202022032002		24/07 2024
4	Dosen Penguji II Imastuti, S.Pd., M.Han. NIDN. 4701079401		23/07 2024

## PERNYATAAN ORISIONALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau bagian karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan jenjang apapun di suatu Perguruan Tinggi; dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat istilah, frasa, kalimat, paragraf, subbab atau bab dari karya yang pernah ditulis atau diterbitkan; kecuali yang secara tertulis diajukan dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Referensi.

Apabila di kemudian hari terbukti bahwa terdapat plagiat dalam skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan/undang-undang yang berlaku.

Bogor, 24 Juli 2024



METERAI  
TEMPEL  
10000  
DB810ALX169949042  
Syaloom Yunika

## LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Pertahanan Republik Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Syaloom Yunika  
NIM : 320200304022  
Program Studi : Fisika  
Fakultas : MIPA Militer  
Jenis Karya : Skripsi

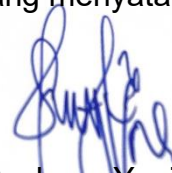
demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pertahanan Republik Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Pengaruh Pengelasan *Multilayer* terhadap Sifat Mekanik dan Mikrostruktur Material *Dissimilar Weld Metal* (MIL-DTL-46100E dan ISO-15608 1.2.) untuk Komponen Struktur *Body Hull* Medium Tank**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Pertahanan Republik Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Bogor  
Pada tanggal : 24 Juli 2024  
Yang menyatakan



Syaloom Yunika  
NIM. 320200304022

## KATA PENGANTAR

Puji syukur peneliti panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulisan skripsi dengan judul: “Pengaruh Pengelasan *Multilayer* terhadap Sifat Mekanik dan Mikrostruktur Material *Dissimilar Weld Metal* (MIL-DTL-46100E dan ISO-15608 1.2.) untuk Komponen Struktur *Body Hull* Medium Tank” dapat diselesaikan.

Penyusunan skripsi ini ditujukan sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer Universitas Pertahanan RI.

Penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, pada kesempatan ini Kadet Mahasiswa mengucapkan terima kasih kepada:

1. Letnan Jenderal TNI Jonni Mahroza S.IP., M.A., M.Sc., CIQnR., CIQaR., Ph.D. selaku Rektor Universitas Pertahanan RI.
2. Bapak Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer.
3. Kolonel M. Zuhnir Pilliang, S.Si., M. Eng. selaku Kaprodi Fisika.
4. Kolonel Dr. Ir. Sovian Aritonang, selaku Dosen Pembimbing I, atas segala bimbingan, ilmu, dan motivasi yang telah diberikan selama proses penulisan skripsi ini.
5. Bapak Rizky Kurnia Helmy S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II selaku Expert Rektek Body Hull PT. Pindad yang telah membimbing serta memberikan masukan-masukan yang diperlukan.
6. Bapak Dr. Toto Sudiro, Ph.D selaku Peneliti Pusat Riset Material Maju BRIN yang senantiasa memberikan banyak ilmu dalam penelitian ini.
7. Kedua orang tua saya yang tidak pernah lelah memberikan doa,

dukungan, dan semangat tanpa henti.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan- kebaikan berbagai pihak atas bantuannya.

Saya menyadari bahwa skripsi ini masih kurang sempurna, oleh karena itu dengan kerendahan hati mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat terhadap pengembangan ilmu pertahanan dan bermanfaat bagi stakeholder terkait dalam upaya memperkaya literatur ilmiah tentang bagaimana teknik pengelasan multilayer dan pengaruhnya terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur material yang akan dilas. Selain itu, sekiranya skripsi ini dapat membantu dalam penyusunan dan penyempurnaan standar industri terkait *dissimilar weld metal*.

Bogor, 24 Juli 2024

Syaloom Yunika

## ABSTRAK

### PENGARUH PENGELASAN *MULTILAYER* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MIKROSTRUKTUR MATERIAL *DISSIMILAR WELD METAL* (MIL-DTL-46100E DAN ISO-15608 1.2.) UNTUK KOMPONEN STRUKTUR *BODY HULL MEDIUM TANK*

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji bagaimana hubungan-hubungan yang terjadi dengan adanya penambahan *layer* pengelasan terhadap *dissimilar weld metal* untuk komponen struktur *Body Hull Medium Tank*. Material tersebut dilas dengan metode *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) dengan jenis sambungan *fillet weld*. Material yang disambung adalah MIL-DTL-46100E (*high armor steel*) dan ISO-15608 1.2 (*low carbon steel*). Ada 2 jenis spesimen berdasarkan dokumen resmi industri, yaitu *Procedure Qualification Record* (PQR), yaitu PQR 5 dan PQR 9. PQR 5 melibatkan pengelasan dengan hanya 1 *layer*, sedangkan PQR 9 2 *layer*. *Layer* pengelasan menjadi variabel yang menarik untuk diamati dalam skala laboratorium, yaitu uji XRD, OM, SEM, and SEM. Hasilnya menunjukkan bahwa spesimen dengan nilai HV dari paling tinggi sampai paling rendah, yaitu PQR 5, PQR 9.2, PQR 9, dan PQR 5.2. Namun, terjadi *error* pada PQR 5.2 yang diakibatkan faktor-faktor pada saat proses pengelasan. Pengelasan *multilayer* akan mengoptimalkan nilai HV agar tidak berlebihan dengan transformasi fasa yang dikontrol terutama fasa martensit. Pada pengujian OM, fasa  $\delta$ -ferit terdeteksi pada matriks austenit di daerah *weld metal*. Struktur mikro *weld metal* bergantung pada jenis *filler metal* yang digunakan, yaitu ER 307. Validasi data dengan SEM diperoleh presentase berat Fe yang dominan pada PQR 5, sehingga berakibat tingginya nilai HV. Hasil pengujian XRD menunjukkan peningkatan *peak*  $\gamma$  (FCC) pada PQR 9. Penurunan kekerasan karena *peak* struktur FCC tinggi akan cenderung lebih lunak (*ductile*) daripada BCC.

**Kata Kunci:** Pengelasan *Multilayer*, GMAW, *Dissimilar Weld Metal*, Sifat Mekanik, Mikrostruktur, Struktur *Body Hull Medium Tank*

## ABSTRACT

### **EFFECT OF MULTILAYER WELDING ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF DISSIMILAR WELD METAL MATERIALS (MIL-DTL-46100E AND ISO-15608 1.2.) FOR MEDIUM TANK HULL STRUCTURAL COMPONENTS**

*This study aims to examine how the relationships that occur with the addition of welding layers to dissimilar weld metal for Body Hull Medium Tank structural components. The material is welded by the Gas Metal Arc Welding (GMAW) method with a fillet weld joint type. The joined materials are MIL-DTL-46100E (high armor steel) and ISO-15608 1.2 (low carbon steel). There are two types of specimens based on the official industry document, Procedure Qualification Record (PQR), namely PQR 5 and PQR 9. PQR 5 involves welding with only one layer, while PQR 9 has two layers. The welding layer is an interesting variable to observe on a laboratory scale, namely XRD, OM, SEM, and SEM tests. The results show that the specimens with the highest to lowest HV values are PQR 5, PQR 9.2, PQR 9, and PQR 5.2. However, there is an error in PQR 5.2 due to factors during the welding process. Multilayer welding will optimize the HV value not to be excessive by controlled phase transformation, especially the martensite phase. In the OM test, the  $\delta$ -ferrite phase was detected in the austenite matrix in the weld metal region. The microstructure of the weld metal depends on the type of filler metal used, ER 307. Validation of the data with SEM obtained a dominant percentage of Fe weight in PQR 5, resulting in a high HV value. XRD test results showed an increase in peak  $\gamma$  (FCC) at PQR 9. The decrease in hardness due to the high peak FCC structure will tend to be softer (ductile) than BCC.*

**Keywords:** *Multilayer Welding, GMAW, Dissimilar Weld Metal, Mechanical Properties, Microstructure, Medium Tank Hull Body Structure*

## DAFTAR ISI

SAMPUL DEPAN.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....	iii
PERNYATAAN ORISIONALITAS .....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	
.....	viii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Pembatasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Kendaraan Tempur Lapis Baja .....	5
2.1.1 Struktur <i>Body Hull Medium Tank</i> .....	5
2.2 Pengelasan .....	6
2.2.1 <i>Layer</i> dan <i>Pass</i> dalam Pengelasan .....	6
2.2.2 Sambungan Pengelasan ( <i>Joint Design</i> ).....	8
2.2.3 Bagian-Bagian Hasil dalam Pengelasan .....	9
2.3 Pengelasan GMAW .....	12
2.3.1 <i>Filler Metal</i> (Logam Pengisi) .....	12
2.4 Parameter Pengelasan.....	14

2.4.1	Arus (A) .....	14
2.4.2	Tegangan (volt) .....	14
2.4.3	Kecepatan Pengelasan ( <i>Travel Speed</i> ) .....	14
2.4.4	<i>Heat Input</i> ..... ix .....	15
2.5	<i>Dissimilar Weld Metal</i> .....	15
2.5.1	MIL-DTL-46100E .....	16
2.5.2	ISO-15608 1.2. ....	16
2.5.3	Alasan Pemilihan Material untuk Digabungkan .....	16
2.6	Struktur Mikro Baja Karbon .....	17
2.6.1	Delta Iron ( $\delta$ ).....	17
2.6.2	Austenit ( $\gamma$ ) .....	17
2.6.3	Ferit ( $\alpha$ ).....	17
2.6.4	Perlit ( $\alpha + F_3C$ ).....	17
2.6.5	Martensit.....	18
2.6.6	Sementit ( $F_3C$ ).....	18
2.7	Pengujian <i>Micro Vickers Hardness</i> .....	19
2.8	Pengujian XRD.....	20
2.9	Pengujian Metalografi dengan OM .....	21
2.10	Pengujian <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i> .....	22
2.11	Penelitian Terdahulu .....	23
2.12	Kerangka Pikir .....	26
2.13	Hipotesis .....	26
BAB III	METODE PENELITIAN .....	27
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	27
3.2	Diagram Alir Penelitian.....	28
3.3	Variabel Penelitian .....	28
3.3.1	Variabel Bebas .....	28
3.3.2	Variabel Terikat .....	28
3.3.3	Variabel Terkontrol .....	29
3.4	Material dan Alat .....	29

3.4.1	Material.....	29
3.4.2	Alat .....	29
3.5	Parameter Pengelasan <sup>x</sup> .....	29
3.6	Prinsip Kerja Alat Pengujian .....	30
3.6.1	Pengujian <i>Micro Vickers Hardness</i> .....	32
3.6.2	Pengujian OM.....	33
3.6.3	Pengujian SEM.....	33
3.6.4	Pengujian XRD .....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		37
4.1	Hasil .....	37
4.1.1	Data Pengujian <i>Micro Vickers Hardness</i> .....	37
4.1.2	Data Pengujian <i>Optical Microscope (OM)</i> .....	38
4.1.3	Data Pengujian SEM .....	39
4.1.4	Data Pengujian XRD .....	42
4.2	Pembahasan .....	45
4.2.1	Pengujian <i>Micro Vickers Hardness</i> .....	45
4.2.2	Metalografi Material .....	46
4.2.3	<i>Chemical Compositions</i> Material dengan SEM .....	47
4.2.4	Pola Difraksi dan Identifikasi Fasa pada XRD.....	48
4.2.5	Kualitas Pengelasan Tunggal dan Pengelasan <i>Multilayer</i> .....	49
4.2.6	Pengelasan <i>Multilayer</i> pada Struktur <i>Body Hull</i> Medium Tank.....	50
BAB V KESIMPULAN.....		51
5.1	KESIMPULAN .....	51
5.2	SARAN.....	52
DAFTAR PUSTAKA .....		53
LAMPIRAN .....		56

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Struktur Medium Tank .....	6
Gambar 2. 2. <i>Layer</i> dan <i>Pass</i> dalam Pengelasan .....	7
Gambar 2. 3. Sambungan Pengelasan .....	8
Gambar 2. 4. <i>Fillet Weld</i> Konfigurasi Sambungan Las .....	9
Gambar 2. 5 <i>Butt Weld</i> Konfigurasi Sambungan Las .....	9
Gambar 2. 6 Bagian-Bagian Pengelasan <i>Fillet</i> dan <i>Butt</i> .....	9
Gambar 2. 7 Bagian-Bagian Pengelasan .....	10
Gambar 2. 8 Mikrostruktur dari <i>Fusion Line</i> .....	11
Gambar 2. 9 <i>Throat Thickness</i> dan <i>Leg Length Fillet Weld</i> .....	12
Gambar 2. 10 <i>Filler Metal</i> ESAB OK AUTROD ER307 .....	14
Gambar 2. 11 Diagram Fasa Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	18
Gambar 2. 12 Perhitungan nilai HV .....	19
Gambar 2. 13 Hukum Bragg .....	20
Gambar 2. 14 Alat OM .....	22
Gambar 2. 15 Pembacaan Hasil SEM .....	23
Gambar 2. 16 Kerangka Pikir .....	26
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	28
Gambar 3. 2 Potongan Sampel .....	31
Gambar 3. 3 Posisi Pemotongan Sampel .....	31
Gambar 3. 4 Proses <i>Grinding</i> .....	31
Gambar 3. 5 Proses <i>Polishing</i> .....	32
Gambar 3. 8 Skema Pengujian <i>Micro Vickers Hardness</i> .....	32
Gambar 3. 9 <i>Micro Vickers Hardness</i> .....	33
Gambar 3. 8 Proses <i>Coating</i> .....	34
Gambar 3. 7 <i>Chamber</i> SEM .....	34
Gambar 3. 10 Alat XRD .....	36
Gambar 4. 1 Grafik Pengujian <i>Micro Vickers Hardness</i> .....	38
Gambar 4. 2 SEM Point PQR 5.1 .....	39
Gambar 4. 3 SEM Point PQR 5.2 .....	40
Gambar 4. 4 SEM Point PQR 9 .....	41

Gambar 4. 5 SEM Point PQR 9.2 .....	41
Gambar 4. 6 Data XRD.....	43
Gambar 4. 7 Data XRD Masing-Masing.....	43

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi <i>Filler Metal</i> ER307 .....	13
Tabel 2. 2 Tipe Paduan <i>Filler Metal</i> ER307 .....	13
Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu .....	23
Tabel 3. 1 Waktu Penelitian.....	27
Tabel 3. 2 <i>Record Data</i> PQR 5 .....	30
Tabel 3. 3 <i>Record Data</i> PQR 9 .....	30
Tabel 4. 1 Data Pengujian Micro Vickers Hardness.....	37
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian OM.....	38
Tabel 4. 3 <i>Chemical Compositions</i> PQR 5.1.....	39
Tabel 4. 4 <i>Chemical Compositions</i> PQR 5.2.....	40
Tabel 4. 5 <i>Chemical Compositions</i> PQR 9 .....	41
Tabel 4. 6 <i>Chemical Compositions</i> PQR 9.2.....	42
Tabel 4. 7 <i>Peak List</i> dan Data Indeks Miller PQR 5.1 .....	44
Tabel 4. 8 <i>Peak List</i> dan Indeks Miller PQR 5.2 .....	44
Tabel 4. 9 <i>Peak List</i> dan Data Indeks Miller PQR 9.....	44
Tabel 4. 10 <i>Peak List</i> dan Data Indeks Miller PQR 9.2.....	45

## DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

### SINGKATAN

HAZ	: <i>Heat-Affected Zone</i>
MIL-DTL	: <i>Military Detail Specification</i>
ISO	: <i>International Organization for Standardization</i>
GMAW	: <i>Gas Metal Arc Welding</i>
SMAW	: <i>Shielded Metal Arc Welding</i>
GTAW	: <i>Gas Tungsten Arc Welding</i>
SAW	: <i>Submerged Arc Welding</i>
FCAW	: <i>Flux-Cored Arc Welding</i>
PQR	: <i>Procedure Qualification Record</i>
ER	: <i>Electrode/Rod</i>
FCC	: <i>Face-Centered Cubic</i>
BCC	: <i>Body-Centered Cubic</i>
BCT	: <i>Body-Centered Tetragonal</i>
HV	: <i>Hardness Vickers (Satuan Nilai Kekerasan)</i>

### LAMBANG

$\delta$ -ferit	: Delta ferit
A	: Alpha
$\gamma$	: Gamma
K $\alpha$	: Jenis sinar-X yang dihasilkan