



**PENGARUH KUALITAS LAS MIG ALUMINIUM 5083:
VARIASI SUDUT *SINGLE V GROOVE* DAN *ROOT FACE* PADA
LAMBUNG KAPAL**

*diajukan guna memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada
program studi Teknik Konstruksi Perkapalan*

SKRIPSI

Oleh

**Roro Dwi Anugraini Puspitasari
191910701042**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN
TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
TEKNIK KONSTRUKSI PERKAPALAN
JEMBER
2023**

PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Segala puji syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas pertolongan dan bimbingan sang penguasa langit dan bumi, sehingga penulis sampai pada tahap ini. Skripsi yang disusun merupakan wujud dari usaha dan perjuangan selama menempuh bangku kuliah. Dalam kesempatan ini, penulis menghadirkan tugas akhir sebagai sebuah persembahan kepada keluarga kecil penulis yang merupakan wujud nyata ketetapan, keagungan dan kebijaksanaan-Nya dengan menghadirkan sosok terkasih yang disebut rumah dimulai penulis lahir ke dunia.

1. Almarhum Ir. Raden Joko Suwarno, M.M., seseorang yang biasa penulis sapa dengan julukan Papi, merupakan sosok ayah yang telah memberikan berbagai aspek dukungan tak terbatas selama masa hidupnya. Berbekal dengan ingatan terbatas milik penulis, memori mengenai beliau sangat memberikan dampak besar untuk memotivasi menyelesaikan studi ini, yang merupakan salah satu perwujudan beliau sebelum pergi dari sisi penulis;
2. Alik Suryaningsih, sosok yang biasa penulis sapa Mami adalah wanita paling tegar, tangguh dan hebat nomor satu di dunia bagi penulis, karena selalu memberikan berbagai aspek dukungan tak terhingga serta memotivasi penulis untuk terus bangkit menghadapi segala tantangan dan rintangan, juga mencurahkan segala cinta dan kasih demi kesuksesan dan kebahagiaan yang hakiki bagi penulis;
3. Almarhum Raden Eka Wahyu Setiawan, seseorang yang akrab disapa Mas adalah sosok kakak kandung terbaik sepanjang masa, dan sosoknya yang sangat memotivasi dan menginspirasi akan tetap hidup dalam hati dan pikiran penulis. Dukungan serta nasihat yang kini terpatri pada diri menjadi salah satu faktor pendorong utama penulis untuk berani memperjuangkan impian dan membuat suatu karya; dan terakhir
4. Raden Muhammad Bagus Arrizqi, sosok adik bungsu yang biasa disebut Ole yang terkadang bertingkah laku sebagai seorang kakak bagi penulis dan seringkali menunjukkan dukungannya terhadap penulis.

MOTTO

And Allah found you lost, and guided you
Q.S. Ad-Duḥā [93]:7

Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya
Q.S. Al-Baqarah [2]:286

Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain)
Q.S. Asy-Syarḥ [94]:6 – 7

Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri
Q.S. Ar-Ra‘d [13]:11

“Barangsiapa yang memudahkan urusan orang yang tertimpa kesulitan, maka Allah akan memudahkan urusannya di dunia dan akhirat”
— HR. Ibnu Majah

“Tugasmu hanya berikhtiar semampu yang bisa dilakukan, selanjutnya biar Allah yang menetapkan bagian dari maslahat kehidupan”
— Ustadz Adi Hidayat

“No masterpiece was created by a lazy artist”
— Watanabe Haruto

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Roro Dwi Anugraini Puspitasari

NIM : 191910701042

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: *Pengaruh Kualitas Las MIG Aluminium 5083: Variasi Sudut Single V Groove dan Root Face pada Lambung Kapal* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan skripsi ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 28 Juli 2023
Yang menyatakan,

Roro Dwi Anugraini Puspitasari
NIM 191910701042

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul *Pengaruh Kualitas Las MIG Aluminium 5083: Variasi Sudut Single V Groove dan Root Face pada Lambung Kapal* telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Jumat
Tanggal : 21 Juli 2023
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing	Tanda Tangan
1. Pembimbing Utama Nama : Ir. Sumarji, S.T., M.T. NIP : 196802021997021001	(.....)
2. Pembimbing Anggota Nama : R. Puranggo Ganjar Widityo, S.T., M.T. NIP : 198606072019031012	(.....)

Penguji	Tanda Tangan
1. Penguji Utama Nama : Ahmad Yasim, S.T., M.T. NRP : 760020007	(.....)
2. Penguji Anggota Nama : Pratama Yuli Arianto, S.T., M.T. NIP : 199407072022031007	(.....)

ABSTRACT

The ship's manufacturing process is highly complex and requires special attention to welding, which relates to the ability of hull structure connections to withstand both static and dynamic loads. The quality of weld joints needs to be assessed through welding parameters to determine their effects and obtain appropriate parameters in accordance with specifications and expected welding quality standards. One such parameter is weld geometry, such as bevel angle and root face thickness. The main focus of this research is to investigate good welding parameters for MIG welding on the type of material used for ship hulls, aluminum plate with a thickness of 8 mm, through testing variations in bevel angle and root face thickness performed on one of the angle variations to determine the impact on the quality of the welded joint using non destructive methods, tensile strength properties, metallography, and fractography properties. The tensile test results show that the single V groove angle of 60° is optimal, compared to a root face thickness of 0 mm, with better values that exceed the BKI standard, with an ultimate tensile strength value of 283.64 N/mm², elongation of 15.53%, and modulus elasticity of 4028.4 N/mm². Based on macro scale metallography and fractography results, it is known that factors affecting the reduction in tensile strength values include alpha and beta phases found in the weld metal area, and discontinuities that occur have an effect on the reduction of tensile strength values. Additionally, macro scale fractography results identify brittle fractures in each variation, as well as a relatively ductile fracture that occurs in the single V groove angle variation of 60° without using root face thickness. Through SEM observations of the most superior variation results, it can describe detailed fracture topography and conclude that the single V groove angle of 60° without root face thickness has sufficient ability to withstand both static and dynamic loads without undergoing drastic plastic deformation as a welding joint parameter for ship hulls.

Keywords: aluminum 5083, MIG welding, single V groove, groove angle, root face

RINGKASAN

Paduan aluminium 5083 merupakan material teknik pilihan yang populer digunakan sebagai material lambung kapal karena bobotnya ringan, tahan korosi dan memiliki kekuatan yang baik. Pembuatan lambung kapal cukup kompleks, khususnya dengan material aluminium perlu mendapatkan perhatian khusus perihal kualitas sambungan pengelasan, karena lambung kapal berfungsi sebagai penopang dalam menerima beban statis maupun dinamis selama beroperasi. Penggunaan MIG sebagai teknologi pengelasan dengan pelindung gas mulia dapat mengatasi sifat kurang baik aluminium dan meminimalisir diskontinuitas yang terjadi. Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh parameter pengelasan, salah satunya adalah geometri las seperti besaran sudut juga ketebalan *root face*. Identifikasi kualitas las baik maupun buruk dapat diketahui melalui kegiatan pengujian tidak merusak dan merusak, sehingga diperoleh informasi terkait parameter dengan kualitas fisik dan mekanik sambungan yang baik berdasarkan variabel yang diuji dan dapat diterapkan dalam penentuan parameter yang tepat supaya kualitas hasil las memenuhi spesifikasi dan standar yang diharapkan. Melalui penelitian metode eksperimental dengan variabel independen variasi sudut *single V groove* 40°, 50°, 55° dan 60° serta variasi ketebalan *root face* 2 dan 0 mm pada sudut 60°, yang merupakan sudut yang sering digunakan dan tertera pada WPS yang diacu, dilakukan analisis uji melalui indikator pengujian tidak merusak secara visual dan penetrasi serta pengujian merusak melalui uji tarik, metalografi dan fraktografi. Sehingga diketahui pengaruh variasi yang digunakan terhadap kualitas las MIG pada aluminium 5083 tebal pelat 8 mm. Diperoleh informasi pada hasil pengujian tidak merusak tidak dapat menunjukkan pengaruh yang terjadi karena hasil pengelasan lolos uji visual dan *liquid penetrant*. Namun demikian, pada pengujian tarik diperoleh nilai kekuatan tarik maksimum (UTS) pada variasi sudut *single V groove* terlihat perbedaan nilai dan belum memenuhi nilai minimum standar BKI, serta pada hasil ANOVA menunjukkan bahwa variasi sudut berpengaruh secara signifikan terhadap nilai UTS. Hal tersebut memungkinkan belum mencapai standar BKI akibat faktor *preparation* proses pengelasan yang kurang baik dan pengaturan arus yang terlalu rendah sehingga mengakibatkan panas elektroda rendah. Pada variasi ketebalan *root face* dijumpai sampel 2 dengan *root face* 0 mm melampaui nilai minimum kekuatan tarik standar BKI dan pada hasil ANOVA tidak diketahui adanya pengaruh secara signifikan antara variasi *root face* dengan nilai UTS. Selain pengujian tarik, persentase elongasi juga diketahui dan dihasilkan bahwa semakin besar nilai sudut terjadi peningkatan elongasi serta pada variasi *root face* dengan sudut yang sama, tanpa menggunakan ketebalan *root face* memiliki nilai elongasi lebih tinggi dibandingkan dengan ketebalan *root face* 2 mm. Uraian mengenai elongasi tersebut berbanding terbalik dengan hasil modulus elastisitas yang menunjukkan bahwa semakin besar nilai sudut, semakin kecil nilai modulus elastisitas, serta pada ketebalan *root face* 0 mm memiliki nilai modulus elastisitas yang lebih rendah. Hasil analisis pengujian tarik yang diperoleh dilanjutkan dengan pengamatan metalografi melalui pengamatan makro dan struktur mikro guna mengetahui tiga daerah fokus yang diamati yaitu BM, HAZ dan WM yang

menunjukkan terdapat perbedaan penyebaran dan struktur butiran dari tiap daerah. Secara garis besar dijumpai fasa α dan fasa β terlebih pada daerah WM, membentuk dendrit. Hasil metalografi dapat memberikan kesimpulan mengenai faktor yang mempengaruhi hasil kekuatan tarik spesimen uji yang belum melampaui nilai standar BKI, diketahui terdapat *lack of penetration* juga *porosity* mikro yang berpengaruh terhadap penurunan nilai kekuatan tarik. Melalui hasil pengamatan fraktografi secara makro dilakukan analisis melalui bentuk patah sisi dan topografi patahan yang terjadi, diperoleh hasil patahan getas pada variasi sudut *single V groove* serta pada sudut *single V groove* 60° tanpa ketebalan *root face* memiliki patah yang cukup ulet, karena secara makro patah yang terjadi yaitu patah geser atau tidak tegak lurus dan membentuk sudut dengan kemiringan 60° serta permukaan topografi penampang berserabut tajam dan dominan berwarna cerah yang diidentifikasi sebagai patah cukup ulet. Selain itu, pada hasil foto SEM dilakukan pada variasi yang lebih unggul dan diperoleh tiga titik yang dilakukan pengamatan yaitu *cleavage* sebagai patah getas, detail permukaan *porosity* sebagai identifikasi adanya diskontinuitas las internal serta daerah *dimple* yang mendominasi menunjukkan sebagai patah ulet. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan diketahui variasi sudut *single V groove* 60° dengan ketebalan *root face* 0 mm pada kualitas las MIG pelat aluminium 5083 tebal 8 mm memiliki sifat mekanis yang baik pada penelitian ini, sehingga sambungan las dengan variasi tersebut memiliki kemampuan yang cukup dalam menahan beban statis maupun dinamis tanpa mengalami deformasi plastis secara drastis pada lambung kapal.

PRAKATA

Segala puji bagi Allah Subhanahu Wa Ta'ala, Rabb semesta alam yang telah membimbing setiap langkah melalui segala hiruk-pikuk, likuan terjal kehidupan yang kerap kali mematahkan langkah serta memberikan limpahan nikmat dan karunia-Nya dengan bekal ilmu pengetahuan sehingga tugas akhir ini terselesaikan dengan tepat waktu. Penulis menyadari bahwa keberhasilan penyusunan tugas akhir tidak mungkin tercapai tanpa dukungan beberapa pihak. Melalui kesempatan ini, penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

- a. Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
- b. Ir. Hari Abiantara, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
- c. Ir. Sumarji, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Strata 1 Teknik Konstruksi Perkapalan Universitas Jember, sekaligus dosen pembimbing utama yang telah memberikan bantuan berupa arahan, saran serta bimbingan pada penyusunan tugas akhir dari awal hingga akhir;
- d. R. Puranggo Ganjar Widityo, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota yang telah memberikan dukungan informasional penyusunan tugas akhir dari awal hingga akhir;
- e. Ahmad Yasim, S.T., M.T dan Pratama Yuli Arianto, S.T., M.T., selaku dosen penguji utama dan anggota yang telah memberikan kritik serta saran dalam penyempurnaan penelitian tugas akhir;
- f. Seluruh dosen Prodi Teknik Konstruksi Perkapalan yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan dalam mendukung penyusunan tugas akhir;
- g. Seluruh pihak PT Yasa Wahana Tirta Samudera, terutama kepada bapak Veriyanto, bapak Eko, bapak Nopia, bapak Yashiruz, ibu Anggi, dan mbak Dea juga bapak Lela yang telah meluangkan waktu, pikiran maupun tenaga dalam mendukung penelitian;
- h. Seluruh teknisi laboratorium, khususnya kepada bapak Abduh dan bapak Haidar Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember serta bapak Deny

Politeknik Negeri Malang yang telah banyak membantu keberhasilan dalam pengujian untuk pengambilan data primer penelitian;

- i. Kedua orang tua terkasih dan segenap keluarga besar tercinta sebagai faktor pendukung utama, baik secara emosional yang mencakup doa dan moral maupun instrumental pada setiap langkah penulis;
- j. Seluruh rekan seperjuangan angkatan 2019 yang senantiasa mendampingi dan banyak membantu selama masa perkuliahan, khususnya ucapan terima kasih kepada “Sobat Las” Alfi Handariatul Masruroh dan Atika Harmawati yang telah menjadi *unbiological sister* penulis melalui perjuangan yang sama dan saling membantu, menguatkan serta memotivasi satu sama lain dalam penyelesaian penyusunan tugas akhir dari awal hingga akhir;
- k. Seluruh sahabat masa SMA penulis, terutama Qurrotul Uyun yang memberikan banyak bantuan kepada penulis selama pelaksanaan penelitian di Malang;
- l. Seluruh pihak yang turut memberikan dukungan selama perjalanan menyelesaikan tugas akhir dan tidak bisa disebutkan satu per satu; dan
- m. Terakhir penulis berterima kasih kepada diri sendiri yang berani untuk tetap bertahan di tengah rasa gundah, gelisah, dan putus asa yang terus menghantui sehingga mampu melampaui batas kemampuan diri dengan terselesaikannya masa studi melalui penyusunan tugas akhir ini.

Akhir kata, penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan kontribusi positif bagi perkembangan keilmuan secara teoritis dan memberikan wawasan yang bermanfaat. Penyusunan tugas akhir ini jauh dari kata sempurna, sehingga kritik dan saran yang membangun diharapkan demi kesempurnaan penulisan tugas akhir.

Jember, 25 Juli 2023

Roro Dwi Anugraini Puspitasari

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN.....	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
ABSTRACT	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI.....	xvii
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2. TINJAUAN TEORI.....	5
2.1 Kajian Literatur	5
2.2 Paduan Aluminium 5083.....	6
2.3 Las Metal Inert Gas (MIG)	6
2.4 <i>Shielding Gas</i> (Gas Pelindung).....	8
2.5 Logam Pengisi (<i>Filler Metal</i>).....	8
2.6 <i>Single V Groove Weld</i>	9
2.7 Pengujian Material	9
2.7.1. <i>Liquid Penetrant Test</i>	9
2.7.2. <i>Tensile Testing</i>	10
2.7.3. Pengujian Struktur Mikrografi	10
2.7.4. Uji Fraktografi	11
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	12
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	12

3.1.1. Lokasi Penelitian	12
3.1.2. Waktu Penelitian	12
3.2 Subjek Penelitian.....	13
3.3 Prosedur Penelitian.....	13
3.3.1. Persiapan <i>Test Coupons</i>	13
3.3.2. Proses Pengelasan.....	14
3.3.3. Pemeriksaan Visual dan Pengujian Penetran	15
3.3.4 Pengujian Tarik	16
3.3.5 Pengujian Metalografi	17
3.3.6 Pengujian Fraktografi	18
3.4 Pengumpulan Data Penelitian	18
3.5 Instrumen Penelitian.....	19
3.6 Metode Analisis.....	19
3.7 Diagram Alir	20
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	21
4.1 Pengujian <i>Non Destructive</i>	21
4.1.1. <i>Visual Examination</i>	22
4.1.2. <i>Liquid Penetrant Test</i>	22
4.2 Pengujian Tarik (<i>Tensile Test</i>)	23
4.2.1. Hasil Pengujian Tarik.....	24
4.2.2. Analisa Data Hasil Pengujian Tarik	27
4.3 Hasil Metalografi.....	33
4.3.1. Hasil Pengamatan Makro	33
4.3.2. Hasil Pengamatan Mikro	35
4.4 Fraktografi.....	42
4.4.1. Hasil Fraktografi Makro Patahan Uji Tarik	42
4.4.2. Hasil <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	45
BAB 5. PENUTUP.....	48
5.1 Kesimpulan.....	48
5.2 Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN-LAMPIRAN	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hasil literatur review penelitian terdahulu variasi sudut kampuh.....	5
Tabel 2. 2 Komposisi kimia paduan aluminium 5083	6
Tabel 2. 3 Komposisi AWS ER 5183	9
Tabel 3. 1 <i>Timeline</i> penelitian.....	12
Tabel 3. 2 Parameter pengelasan.....	15
Tabel 3. 3 Standar nilai kekuatan tarik paduan aluminium.....	16
Tabel 3. 4 Data perhitungan nilai kekuatan tarik	18
Tabel 3. 5 Data perhitungan nilai regangan tarik.....	18
Tabel 3. 6 Data perhitungan nilai modulus elastisitas.....	18
Tabel 3. 7 Alat dan bahan penelitian.....	19
Tabel 4. 1 Data hasil uji tarik variasi sudut <i>V groove</i>	24
Tabel 4. 2 Data hasil uji tarik variasi ketebalan <i>root face</i>	26
Tabel 4. 3 Data <i>descriptive one-way</i> UTS variasi sudut	28
Tabel 4. 4 Data ANOVA <i>one-way</i> UTS variasi sudut	28
Tabel 4. 5 Data <i>descriptive one-way</i> UTS variasi ketebalan <i>root face</i>	29
Tabel 4. 6 Data ANOVA <i>one-way</i> UTS variasi ketebalan <i>root face</i>	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pengelasan MIG	7
Gambar 2. 2 <i>Single V groove weld, groove angle, root face</i>	9
Gambar 2. 3 Contoh topografi pada mikro fraktografi	11
Gambar 3. 1 Skema dimensi <i>test coupon</i> sesuai standar ASME <i>section IX</i>	14
Gambar 3. 2 Skema variasi sudut <i>single V groove</i>	14
Gambar 3. 3 Skema variasi <i>root face</i>	14
Gambar 3. 4 Skema pengelasan <i>butt joint</i>	15
Gambar 3. 5 Dimensi spesimen uji tarik merujuk pada standar BKI	16
Gambar 3. 6 Diagram alir	20
Gambar 4. 1 Hasil pengelasan sebelum dan setelah pembersihan	21
Gambar 4. 2 Hasil pengelasan <i>test coupons</i>	22
Gambar 4. 3 Contoh hasil pengujian penetran	23
Gambar 4. 4 Spesimen uji tarik sebelum pengujian	24
Gambar 4. 5 Grafik tegangan regangan variasi sudut <i>V groove</i>	25
Gambar 4. 6 Grafik tegangan regangan variasi ketebalan <i>root face</i>	26
Gambar 4. 7 Diagram batang <i>ultimate tensile strength</i> variasi sudut	27
Gambar 4. 8 Diagram batang <i>ultimate tensile strength</i> variasi <i>root face</i>	29
Gambar 4. 9 Diagram batang <i>strain</i> variasi sudut	30
Gambar 4. 10 Diagram batang <i>strain</i> variasi <i>root face</i>	31
Gambar 4. 11 Grafik modulus elastisitas variasi sudut	32
Gambar 4. 12 Grafik modulus elastisitas variasi <i>root face</i>	32
Gambar 4. 13 Hasil foto makro variasi sudut <i>single V groove</i>	33
Gambar 4. 14 Hasil foto makro variasi sudut 60° tanpa <i>root face</i>	34
Gambar 4. 15 <i>Grain boundaries</i> variasi sudut <i>single V groove</i>	35
Gambar 4. 16 <i>Grain boundaries</i> sudut 60° perbesaran 50x	37
Gambar 4. 17 Struktur mikro sudut 40°	39
Gambar 4. 18 Struktur mikro sudut 50°	39
Gambar 4. 19 Struktur mikro sudut 55°	39
Gambar 4. 20 Struktur mikro sudut 60° variasi <i>root face</i> 2 mm	40
Gambar 4. 21 Struktur mikro sudut 60° variasi <i>root face</i> 0 mm	40

Gambar 4. 22 Hasil patahan spesimen uji tarik.....	43
Gambar 4. 23 Hasil foto SEM daerah <i>cleavage</i> perbesaran 500x.....	45
Gambar 4. 24 Hasil foto SEM daerah <i>dimple</i>	46
Gambar 4. 25 Hasil foto SEM daerah <i>porosity</i>	47



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Sertifikat Pelat dan Gas Argon	53
Lampiran 2. Data Pendukung Hasil Pengujian Tarik	53
Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian	53



DAFTAR NOTASI

σ	: Tegangan tarik atau <i>stress</i> (N/mm ²)
$\bar{\sigma}$	: Tegangan tarik rata-rata (N/mm ²)
ε	: Regangan tarik (%)
$\bar{\varepsilon}$	: Regangan tarik rata-rata (%)
E	: Modulus elastisitas (N/mm ²)
\bar{E}	: Modulus elastisitas rata-rata (N/mm ²)



DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

Singkatan/Istikal	Arti dan keterangan
AFSA	Aluminum Federation of Southern
ANOVA	Analysis of Variance
ASM	American Society for Metals
ASME	American Society for Mechanical Engineering
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWS	American Welding Society
BKI	Biro Klasifikasi Indonesia
BM	Base Metal
GMAW	Gas Metal Arc Welding
HAZ	Heat Affected Zone
IACS	International Association of Classification Societies
MIG	Metal Inert Gas
PMZ	Partially Melted Zone
SEM	Scanning Electron Microscopy
WB	Weld Back
WM	Weld Metal
WPS	Welding Procedure Specification

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Material aluminium merupakan pilihan tepat sebagai material teknik yang digunakan pada lambung transportasi laut seperti kapal, karena memiliki karakteristik bobot ringan dan kekuatan yang baik sebanding dengan kekuatan material baja karbon rendah (Hidayat, dkk., 2020; Dwight, 1999). Paduan aluminium 5083 menjadi salah satu jenis aluminium yang populer digunakan dalam fabrikasi pembuatan kapal, ialah aluminium yang dapat di *anneal* dengan komposisi paduan 4,5% Mg yang memiliki kekuatan ideal, mampu dilas (*weldability*) dan ketahanan yang tinggi terhadap korosi (Hidayat, dkk., 2020; Callister, 2013). Selain material yang digunakan, proses pembangunan perlu diperhatikan agar kualitas produk yang diperoleh sesuai dengan perencanaan desain (Hidayat, dkk., 2020).

Fabrikasi merupakan salah satu tahapan penting pada manufaktur kapal, di mana pada tahap ini dilakukan penyatuan atau penyambungan antara komponen-komponen melalui proses pengelasan. Perihal pengelasan, kemampuan las (*weldability*) aluminium kurang baik dibandingkan dengan baja, sehingga memerlukan teknik pengelasan khusus (Wiryosumarto dan Okumura, 2000). Alternatif guna menanggulangi sifat kurang baik tersebut dapat dilakukan menggunakan alat serta teknik las yang lebih mutakhir seperti penggunaan gas mulia sebagai pelindung selama proses pengelasan (Jamasri dan Sulardjaka, 2020). Penggunaan pengelasan las busur dengan gas mulia mampu meminimalisir terjadinya cacat pengelasan yang terjadi, sehingga penggunaan las busur dengan gas mulia menjadi pilihan yang tepat sebagai teknik pengelasan pada material aluminium. Pengelasan *metal inert gas* (MIG) merupakan salah satu jenis las yang menggunakan gas pelindung dan populer digunakan pada pengelasan paduan aluminium (Wiryosumarto dan Okumura, 2000).

Proses pembuatan lambung kapal (*ship hull*) merupakan suatu proses yang sangat kompleks dan memerlukan perhatian khusus perihal pengelasan. Hal tersebut disebabkan oleh realita bahwa lambung kapal bertanggung jawab dalam

menopang semua beban kapal, baik secara statis maupun dinamis seperti beban muatan juga gelombang air laut. Oleh karena itu, kualitas pengelasan pada lambung kapal sangat penting untuk menjamin keamanan dan stabilitas kapal. Dikutip pada studi terdahulu oleh Nugroho, dkk., (2020) disimpulkan bahwa salah satu parameter yang mempengaruhi kualitas sambungan pengelasan adalah geometri dari sambungan las. Geometri sambungan las yang dimaksud yaitu besaran nilai sudut dan bentuk kampuh (*groove*) sambungan dan jenis bentuk *groove* yang seringkali digunakan adalah *butt single V groove*. Besaran nilai sudut pada kampuh jenis *single V* berpengaruh terhadap kekuatan logam, karena sudut memiliki dampak yang besar berkenaan dengan penyusutan suatu logam.

Pada hasil penelitian Joni Arif dan Koswara (2021) mengenai pengelasan MIG aluminium 5083 dengan variasi sudut kampuh V dan variasi arus diketahui adanya pengaruh terhadap nilai rata-rata kuat *impact*, *hardness* dan perubahan struktur mikro pada daerah pengelasan. Hasil yang dikaji oleh Ariefin (2019) juga menyebutkan bahwa variasi besaran nilai sudut kampuh V memiliki pengaruh terhadap nilai kekuatan tarik dan kekerasan secara signifikan. Namun demikian, penelitian terdahulu dan fakta di lapangan menunjukkan terdapat batasan sudut *groove* yang dapat digunakan, terutama pada material kapal yang umumnya memiliki ketebalan pelat yang berbeda, sehingga sudut pengelasan yang optimal juga akan berbeda. Hal tersebut juga berlaku pada penentuan penggunaan ketebalan *root face* yang memiliki kemungkinan sebagai salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kualitas sambungan las.

Baik maupun buruknya kualitas sambungan pengelasan, dapat diketahui melalui pengujian, yang merupakan tahapan penting untuk memastikan kualitas sambungan pengelasan yang dihasilkan baik dan sesuai dengan spesifikasi serta standar yang diacu. Pengujian yang dilakukan dapat berupa *non destructive* (tidak merusak) maupun *destructive* (merusak). Oleh sebab itu, fokus utama penelitian ini mengkaji mengenai parameter las yang baik untuk pengelasan pada lambung kapal, berdasarkan variasi sudut dan ketebalan *root face* terhadap kualitas hasil las MIG secara visual, sifat kekuatan tarik, struktur mikro dan sifat fraktografi pada sambungan pelat aluminium 5083.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas maka dapat ditarik rumusan permasalahan sebagai berikut:

- a. Bagaimana kualitas hasil pengelasan melalui pengujian *non destructive*?
- b. Bagaimana nilai *ultimate tensile strength*, *elongation* dan modulus elastisitas terhadap variasi sudut *single V groove* dan ketebalan *root face*?
- c. Bagaimana pengaruh struktur mikro hasil pengelasan terhadap variasi sudut *single V groove* dan ketebalan *root face*?
- d. Bagaimana analisis sifat patahan hasil pengelasan berdasarkan variasi yang digunakan melalui pengamatan fraktografi makro dan *scanning electron microscopy* (SEM)?

1.3 Tujuan Penelitian

Merujuk pada rumusan permasalahan di atas, dapat disimpulkan tujuan penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

- a. Mengetahui kualitas hasil pengelasan melalui pengujian *non destructive*.
- b. Mengetahui nilai *ultimate tensile strength*, *elongation* dan modulus elastisitas terhadap variasi sudut *single V groove* dan ketebalan *root face*.
- c. Mengetahui pengaruh struktur mikro hasil pengelasan terhadap variasi sudut *single V groove* dan ketebalan *root face*.
- d. Mengetahui analisis sifat patahan hasil pengelasan berdasarkan variasi yang digunakan melalui pengamatan fraktografi makro dan *scanning electron microscopy* (SEM).

1.4 Batasan Penelitian

Ruang lingkup pembahasan pada topik penelitian ini memiliki cakupan yang sangat luas, guna mengidentifikasi permasalahan dan menghindari penyimpangan maupun perluasan pokok permasalahan, sehingga terfokus dengan tujuan penelitian, maka segala aspek pembahasan penyusunan penelitian ini dibatasi berdasarkan pada:

- a. Penelitian tidak membahas mengenai variasi kuat arus, *heat input* (masukan panas), dan pengaruh pengelasan ulang apabila terdapat diskontinuitas;
- b. Laju proses pendinginan pengelasan diabaikan;
- c. Variasi ketebalan *root face* hanya dikaji pada sudut 60°; dan
- d. Penelitian ini tidak menggunakan EDS sehingga tidak membahas kandungan atau unsur pada hasil pengujian mikro fraktografi melalui SEM.

1.5 Manfaat Penelitian

Penyusunan penelitian ini, diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat bagi peneliti, mahasiswa serta universitas, sebagai berikut.

- a. Mahasiswa dapat mengetahui kebenaran teori, pengetahuan serta kondisi di lapangan mengenai pengaruh kualitas las MIG aluminium 5083 dengan penggunaan variasi sudut dan ketebalan *root face*;
- b. Secara teoritis hasil penelitian ini dapat menambah wawasan, informasi dan literatur kepada mahasiswa terkait salah satu jenis material yang digunakan untuk kapal yaitu aluminium dan jenis metode serta parameter pengelasannya; dan
- c. Universitas dapat melakukan kerjasama dengan industri perkapalan sebagai upaya peningkatan fasilitas juga inovasi mengenai ilmu perkapalan sehingga akan meningkatkan kualitas hasil penelitian mahasiswa lanjutan di masa mendatang.

BAB 2. TINJAUAN TEORI

2.1 Kajian Literatur

Pengelasan pada material aluminium telah banyak dikaji dengan berbagai variasi metode serta parameter yang berbeda. Pada material yang sama, pengelasan dengan metode dan parameter yang berbeda dapat mempengaruhi hasil dari pengelasan (Saputro, 2022). Berikut merupakan beberapa hasil ringkasan penelitian terdahulu yang relevan atau memiliki keterkaitan dengan permasalahan penelitian yang akan dikaji.

Tabel 2. 1 Hasil literatur review penelitian terdahulu variasi sudut kampuh

Penelitian	Uraian Variabel		Hasil
	Intervensi	Indikator	
Arif dan Koswara, 2021	Variasi sudut <i>single V groove</i> 60°, 70°, 80° dan 90° dengan variasi arus 105 A, 125 A dan 170 A pada pengelasan MIG aluminium 5083	Pengujian <i>impact</i> , <i>hardness</i> , dan metalografi struktur mikro	Variasi sudut memiliki pengaruh terhadap sifat mekanis sambungan, dan diperoleh variasi sudut paling baik adalah 60°. Disimpulkan bahwa semakin besar sudut <i>groove</i> yang digunakan dapat menurunkan nilai kekuatan <i>impact</i> . Serta perubahan struktur mikro pada <i>weld metal</i> dijumpai partikel Al ₃ Mg ₂ dan MgSi.
Ariefin, 2019	Sudut <i>single V groove</i> 60°, 80° dan 90° dengan arus 100 A pengelasan MIG pelat aluminium 5083 tebal 3 mm menggunakan elektroda AWS 5356	Pengujian tarik dan kekerasan	Sudut jenis kampuh V yang paling baik dalam pengelasan adalah sudut 60° dengan nilai kekuatan tarik rata-rata tertinggi, didukung dengan nilai kekerasan tertinggi pada logam induk dan HAZ. Sedangkan nilai kekuatan tarik terendah dan nilai kekerasan tertinggi pada <i>weld metal</i> terjadi pada sudut 90°.
Mufti, dkk., 2021	Variasi sudut <i>single V groove</i> 40°, 60°, 80° dan variasi posisi pengelasan 1G dan 2G pengelasan MIG aluminium 6061, dengan rentan arus 140 A hingga 160 A.	Pengujian <i>impact</i>	Diketahui posisi pengelasan dan variasi besaran sudut kampuh V memiliki pengaruh terhadap nilai kekuatan <i>impact</i> . Di mana posisi 1G memiliki nilai lebih ideal dan diperoleh kesimpulan semakin kecil besaran sudut kampuh mempengaruhi peningkatan nilai pada kekuatan <i>impact</i> .
Naufal, dkk., 2016	Sudut kampuh V 60° dan 80° dengan variasi arus 130, 150, 170 dan 200 A pengelasan GTAW aluminium 5083	Pengujian <i>tensile</i> , bending dan simulasi numerik	Berdasarkan variasi sudut dan kuat arus menunjukkan pengaruh secara signifikan terhadap kekuatan las. Nilai kekuatan tarik tertinggi terjadi pada kuat arus terkecil (130 A) dan pada sudut 80° memiliki nilai kekuatan tarik dan tekuk lebih ideal dibandingkan sudut 60°.
Setia dan Pranatal, 2022	Variasi sudut 50° dan 60° dan arus 90 A, 110 A, 130 A serta 150 A pada pengelasan SMAW baja A36 posisi 2 G	Pengujian penetran dan cacat las	Berdasarkan hasil, diketahui adanya perbedaan kualitas pengelasan terhadap variasi sudut kampuh 50° dan 60° dan arus. Diketahui bahwa cacat <i>porosity</i> dominan terjadi pada sudut 60°. Sedangkan cacat <i>over spatter</i> dan <i>undercut</i> dijumpai pada tiap variasi arus dan sudut kampuh yang berbeda.

2.2 Paduan Aluminium 5083

Berlandaskan pada standar AWS D3.7 tertulis bahwa paduan aluminium 5083 termasuk dalam jenis paduan *non heat treatable* yang meliputi seri 5052, 5083, 5086, 5454, dan 5456. Paduan 5083, 5086, dan 5456 ialah material aluminium yang sering dijumpai sebagai material utama dalam lambung kapal. Paduan tersebut secara khusus direkomendasikan dalam *the Technical and Research Bulletin No. 2-15, guide for the selection of wrought aluminium plate and shape for ship structure*, yang telah dipublikasikan oleh *Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME)*.

Berdasarkan *ASM Handbook Vol. 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, berikut ini tabel mengenai komposisi kimia dan sifat mekanik aluminium seri 5083.

Tabel 2. 2 Komposisi kimia paduan aluminium 5083

<i>Chemical Element</i>	<i>Kandungan (%berat)</i>
Silicon (Si)	<0,40%
Besi (Fe)	<0,40%
Tembaga (Cu)	<0,10%
Manganese (Mn)	0,40%- 1,0%
Magnesium (Mg)	4,0%-4,9%
Chromium (Cr)	0,05%-0,25%
Zinc (Zn)	<0,25%
Titanium (Ti)	<0,15%

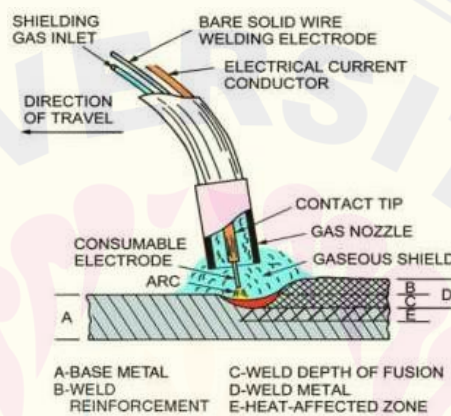
Sumber: *ASM Handbook Vol. 2, (1990)*

2.3 Las Metal Inert Gas (MIG)

Las MIG ialah pengembangan dari las GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) yang memiliki dua gas pelindung yaitu inert gas yang dikenal sebagai las MIG dan active gas sebagai las MAG (*Metal Active Gas*). Las MIG merupakan salah satu jenis pengelasan untuk menyambungkan dua atau lebih material logam dengan proses pencairan elektroda yang sama dengan logam dasar dan menggunakan gas pelindung (*inert gas*). Las MIG menggunakan gas argon (Ar), helium (He) atau campuran keduanya sebagai pelindung busur dan mencair dari pengaruh udara. (Saputro, 2022). GMAW disebutkan pada *ASME section IX (2019)* merupakan

proses las busur yang menggunakan busur antara elektroda logam pengisi kontinu dan kolam las. Proses ini menggunakan pelindung berupa gas yang disuplai dari luar dan tanpa menggunakan tekanan.

Pengoperasian dengan menggunakan pengelasan MIG atau GMAW memerlukan peralatan yang lebih rumit dibandingkan las busur manual, yaitu dengan membutuhkan pembangkit tenaga, kabel-kabel las, pengontrol kawat elektroda, botol gas pelindung, perangkat pengatur serta alat penyuplai *shielding gas* (Saputro, 2022). Berikut ini merupakan ilustrasi terkait pengelasan MIG.



Gambar 2. 1 Pengelasan MIG
Sumber: Saputro, (2022)

Jamasri dan Sulardjaka (2020) menyebutkan bahwa parameter yang memiliki pengaruh terhadap geometri *bead*, penetrasi suatu las dan kualitas hasil pengelasan MIG yaitu:

- Arus pengelasan atau kecepatan pemakanan kawat las (elektroda);
- Polaritas;
- Tegangan busur atau panjang busur las;
- Kecepatan pengelasan;
- Ekstensi elektroda;
- Orientasi elektroda atau sudut melakukan pengelasan; dan
- Diameter dari kawat las (elektroda).

2.4 *Shielding Gas (Gas Pelindung)*

Berdasarkan AWS D3.7 (2004), dijelaskan bahwa argon dan helium, atau campuran dari keduanya, digunakan khusus pada pengelasan aluminium. Kemurnian dan kadar air dari gas pelindung *inert* sangat penting. Proses suplai gas perlu berhati-hati untuk memastikan bahwa nilai pengelasan komersial bebas dari kelembapan, minyak, dan kontaminan lainnya.

Pada las busur berpelindung gas, *shielding gas* dapat memberikan pengaruh besar pada sifat-sifat logam las (Cueca, dkk., 2012). Mayoritas penggunaan *shielding gas* dalam pengelasan GMAW adalah argon. Gas argon (Ar) merupakan gas *inert* monoatomik dengan berat molekul 40 bersama mencairkan udara. Umumnya, gas argon yang digunakan pada logam tidak reaktif dan reaktif adalah argon murni dengan minimal kemurnian 99,95% dan 99,9976%. Dalam pengelasan GMAW, digunakan gas argon jenis *high purity* (HP) yang memiliki kemurnian 99,95% serta *ultra-high purity* (UHP) yang memiliki kemurnian 99,997% (Syahroni. dkk, 2021).

2.5 Logam Pengisi (*Filler Metal*)

Mengacu pada AWS D3.7 (2004), logam pengisi (*filler metal*) paduan aluminium memiliki peran sebagai elektroda kawat berupa gulungan, juga sebagai batang las. *Filler metal* aluminium yang berupa produk kawat dengan kualitas tinggi dan diproduksi secara khusus agar terhindar dari terjadinya kontaminasi permukaan material akibat kelembapan maupun benda asing. Pemilihan *filler metal* perlu diperhatikan dengan mempertimbangkan ketahanan korosi, temperatur, tidak *crack* saat pengelasan, maupun kekuatan serta keuletan las. Pemilihan *filler metal* yang tepat sangat penting karena sifat mekanik sambungan pengelasan dipengaruhi oleh komposisi logam las, dan faktor lainnya.

Diketahui dalam AWS D3.7 (2004) tertera mengenai pemilihan *filler metal* yang dikhususkan untuk paduan aluminium 5083, salah satunya adalah logam pengisi (*filler metal*) dengan kode 5183. Berikut merupakan tabel komposisi dari AWS ER 5183.

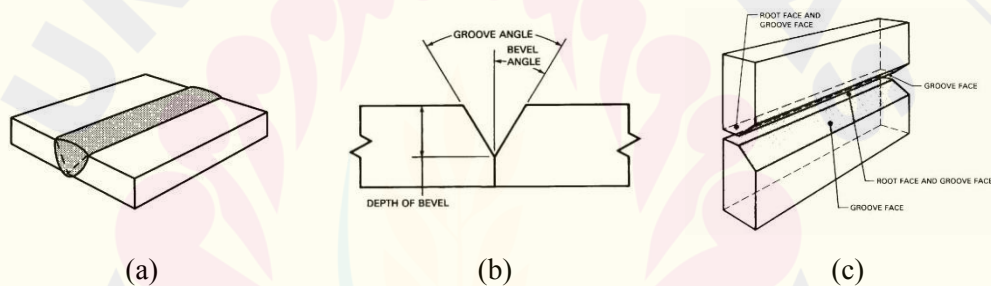
Tabel 2. 3 Komposisi AWS ER 5183

Unsur	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
Berat (%)	0,40	0,40	0,10	0,50 – 1,0	4,3 – 5,2	0,05 – 0,25	0,25	0,15

Sumber: AWS D3.7, (2004)

2.6 Single V Groove Weld

Berdasarkan pada AWS A3.0 (1994), diketahui bahwa *single V groove weld* didefinisikan sebagai jenis sambungan alur las seperti pada Gambar 2.2 (a), pengelasan fusi (*fusion welding*) yang dibuat hanya dari satu sisi saja. Pada Gambar 2.2 (b) *groove angle* didefinisikan sebagai sudut total dari alur antara benda kerja. *Root face* pada Gambar 2.2 (c) didefinisikan sebagai ketebalan dari permukaan alur dalam sambungan.



Gambar 2. 2 *Single V groove weld, groove angle, root face*
(Sumber: AWS A3.0, 1994)

2.7 Pengujian Material

Pengujian material bertujuan untuk menjamin mutu serta kepercayaan terhadap suatu hasil pengelasan. Pengujian dari pengelasan pada umumnya dibagi menjadi dua yakni pengujian destruktif (merusak) dan pengujian non-destruktif (tidak merusak) (Jamasri dan Sulardjaka, 2020).

2.7.1. Liquid Penetrant Test

Pengujian dengan *dye penetrant* merupakan salah satu metode non-destruktif *inspection* (NDI) guna memeriksa cacat permukaan dan terbuka pada permukaan menggunakan suatu cairan yang disebut cairan *penetrant*. Dimana pemeriksaan dilakukan dengan mendeteksi ada atau tidaknya diskontinuitas yang

terjadi pada permukaan seperti *crack* maupun lubang-lubang yang tak kasat mata karena memiliki ukuran yang kecil dan rapat (Jamasri dan Sulardjaka, 2020).

“Pengujian las *butt* atau sambungan las lainnya menggunakan aplikasi cairan tegangan permukaan rendah di satu sisi batas kompartemen atau susunan struktural. Jika tidak ada cairan yang terdeteksi di sisi berlawanan dari batasan setelah berakhirnya periode waktu yang ditentukan, ini menunjukkan kekedapan dari batasan. Dalam kasus tertentu, larutan pengembang (*developer solution*) dapat dicat atau disemprotkan di sisi lain lasan untuk membantu deteksi kebocoran” (BKI, 2022: Pt. 1 Vol. 1 Annex A.6 Sec. 3.4.6)

2.7.2. *Tensile Testing*

Tensile testing atau pengujian tarik adalah suatu jenis pengujian destruktif atau pengujian dengan sifat merusak bahan, dimana bahan akan diberikan gaya tarik yang memiliki arah berlawanan menggunakan mesin yang tertuju pada benda menjauhi titik sentra (Pranata, Santosa, dan Iqbal, 2020). Pengujian tarik adalah metode yang bertujuan untuk memperoleh sifat mekanik material yang disebabkan oleh beban tarik satu sumbu (*uniaxial*). Sifat mekanik yang dihasilkan tergambar dalam bentuk *stress-strain curve*. Beban serta pertambahan panjang (elongasi) merupakan parameter yang diukur. Sifat-sifat dari pengujian tarik yang diukur meliputi *ultimate tensile strength* atau tegangan tarik maksimum, regangan maksimum dan modulus elastisitas (Jamasri dan Sulardjaka, 2020).

2.7.3. Pengujian Struktur Mikrografi

Panas yang diakibatkan proses pengelasan dapat mempengaruhi perubahan struktur mikro dan perubahan pada kekuatan mekanisnya (Wirjosumarto dan Okumura, 2000). Perlakuan panas dan dingin pada suatu material dapat menyebabkan adanya perubahan bentuk struktur serta ukuran butir. Sehingga, pengujian mikro perlu dilakukan guna mengetahui struktur mikro, fasa unsur, bentuk juga ukuran butir logam. Dalam pengujian struktur mikro pengelasan, dilakukan pengamatan pada tiga daerah, meliputi *base metal*, *heat affected zone* (HAZ) juga *weld metal* (Saputro, 2022).

2.7.4. Uji Fraktografi

Fraktografi didefinisikan sebagai ilmu metalurgi fisik dengan mempelajari *surface* fraktur atau permukaan patah. Pengamatan pada permukaan patahan melalui pemeriksaan mikroskopik dapat memberikan informasi penting mengenai sifat patah material (Amin, 2017). Pengamatan topografi perpatahan dapat dilakukan dengan mata telanjang maupun dengan *stereoscan microscope*. Pada pengamatan lebih detail dapat dilakukan dengan menggunakan *scanning electron microscope* atau SEM (Yuwono, 2009).

Mode patahan dalam analisis mikro fraktografi yang diamati umumnya mengidentifikasi daerah belahan (*cleavage*), *dimple* dan *beach marks*. *Cleavage* menunjukkan sebagai jenis patah getas, *dimple* menunjukkan patah ulet dan *beach marks* akibat dari beban dinamis, seperti pada gambar berikut (Amin, 2017).



(a) *cleavage*

(b) *dimple*

(c) *beach marks*

Gambar 2. 3 Contoh topografi pada mikro fraktografi
Sumber: Amin, (2017)

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.1.1. Lokasi Penelitian

Kegiatan eksperimen dilakukan untuk pembuatan dan pengambilan data yang dilakukan pada lokasi pendukung. Dimulai dengan pembuatan *test coupons*, proses pengelasan serta pengujian penetran yang dilakukan di PT Yasa Wahana Tirta Samudera, Semarang. Kemudian, lokasi pembuatan spesimen uji tarik di Laboratorium Hidro Teknik Konstruksi Perkapalan Universitas Jember dan pelaksanaan pengujian tarik pada Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang. Pelaksanaan persiapan dan pengujian struktur mikro dilakukan pada Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember. Penelitian terakhir berupa pengujian fraktografi spesimen uji tarik dilaksanakan pada Laboratorium Farmasetika Fakultas Farmasi Universitas Jember.

3.1.2. Waktu Penelitian

Durasi penelitian dilakukan kurang lebih 5 bulan, terhitung dari pertengahan bulan Maret hingga awal Juli dengan detail pelaksanaan seperti tabel berikut.

Tabel 3. 1 *Timeline* penelitian

No.	Kegiatan	Bulan															
		Februari		Maret		April		Mei		Juni		Juli					
		3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
1. Persiapan Penelitian																	
	a. Penyusunan dan Pengajuan Judul	■	■	■	■												
	b. Pengajuan proposal	■	■	■	■												
	c. Pangajuan proposal (perusahaan)			■	■	■	■										
	d. Perizinan penelitian					■	■	■	■								
	e. Persiapan data untuk penelitian							■	■	■	■						
2. Pelaksanaan Penelitian																	
	a. Pembuatan <i>test coupons</i>							■	■	■							
	b. Pengujian penetran							■	■								
	c. Pembuatan spesimen uji tarik									■	■	■	■				
	d. Pengujian tarik										■	■	■	■			
	e. Analisis data uji tarik											■	■	■	■		
	f. Persiapan dan pengujian mikro												■	■	■		
	g. Pengujian fraktografi (SEM)													■	■		
3. Penyusunan Laporan																	
	a. Pengumpulan dan pengolahan data													■	■	■	■
	b. Analisis data													■	■	■	■
	c. Pembuatan laporan hasil													■	■	■	■

3.2 Subjek Penelitian

Karakteristik dari subjek penelitian diinterpretasikan melalui klasifikasi variabel penelitian yang diklasifikasikan menjadi tiga variabel sebagai berikut.

a. Variabel Independen

Faktor yang dimanipulasi dan mempengaruhi variabel dependen (terikat). Variabel independen penelitian ini meliputi jenis *groove* dan besaran sudut yang digunakan yaitu *single V groove* sudut 40°, 50°, 55°, dan 60° serta penambahan variasi ketebalan *root face* 0 mm pada sudut *single V groove* 60°.

b. Variabel Dependen

Bersifat terikat dengan variabel independen yang perlu diamati sehingga diperoleh *output* atau hasil yang dikaji. Variabel ini dapat didefinisikan sebagai metode pengujian yang digunakan, yakni *liquid penetrant test* (PT), *tensile testing*, pengujian metalografi dan pengujian fraktografi makro dan SEM.

c. Variabel Kontrol

Terkendali dan bersifat konstan, sehingga pengaruh dari variabel independen pada variabel dependen tidak terpengaruh faktor luar. Variabel kontrol pada penelitian ini merupakan material pelat 8 mm aluminium 5083, pengelasan MIG, serta dimensi maupun parameter lain yang telah ditentukan.

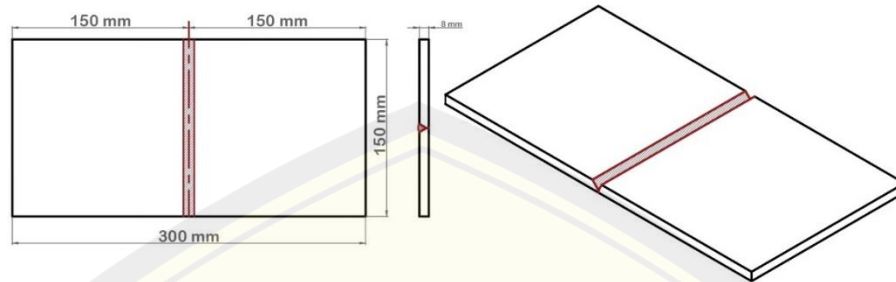
3.3 Prosedur Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan melakukan percobaan dan analisis, sehingga diperoleh hasil dari pengujian subjek dan variabel penelitian yang telah dilakukan. Berikut merupakan pengelompokan prosedur pelaksanaan penelitian “Pengaruh Kualitas Las MIG Aluminium 5083: Variasi Sudut *Single V Groove* dan *Root Face* pada Lambung Kapal”.

3.3.1. Persiapan *Test Coupons*

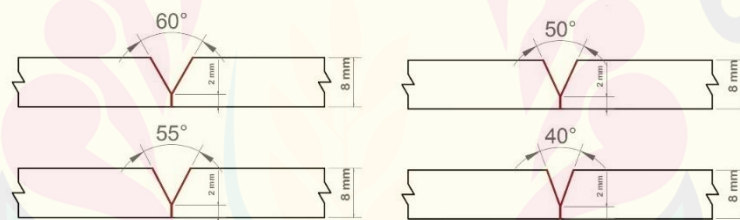
Test coupon merupakan material dengan dimensi tertentu untuk kualifikasi pengelasan dan dapat dijadikan sebagai spesimen dari beberapa pengujian. Material yang digunakan adalah pelat aluminium 5083 dengan tebal 8 mm. Dimensi *test*

coupon pada penelitian ini mengacu pada standar ASME *section IX* (2019) dan diperoleh potongan pelat 8 mm berukuran 150 × 150 mm sebanyak lima pasang, dengan skema *test coupon* yang digunakan sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Skema dimensi *test coupon* sesuai standar ASME *section IX*

Persiapan material diawali dengan pemotongan pelat dengan ukuran seperti pada Gambar 3.1. dan kemudian dilakukan pembentukan sudut bevel (separuh sudut *single V groove*) menggunakan alat bantu *welding gauge* dan gerinda tangan seperti pada gambar kerja berikut.



Gambar 3. 2 Skema variasi sudut *single V groove*

Di samping itu, dilakukan pembuatan *test coupon* dengan dimensi yang sama pada sudut 60° tanpa penggunaan *root face* atau ketebalan *root face* 0 mm sebagai variasi dari ketebalan *root face* yang akan dikaji sebagai berikut.

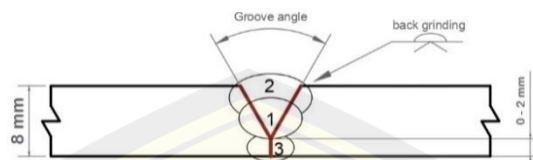


Gambar 3. 3 Skema variasi *root face*

3.3.2. Proses Pengelasan

Pemastian dimensi dan persiapan peralatan serta bahan sebelum pengelasan, juga pembersihan lapisan aluminium oksida (Al_2O_3) menggunakan *flap disc* pada *surface* material yang akan dilakukan pengelasan (*edge preparation*). Pengelasan

dilakukan dua *layer* mengacu pada WPS, meliputi *layer root pass* (1), *layer capping* (2) serta dilakukan *back grinding* atau *weld back* pada daerah *root* guna meningkatkan kekuatan dan kualitas sambungan, dengan skema sambungan seperti pada gambar berikut.



Gambar 3. 4 Skema pengelasan *butt joint*

Parameter pengelasan mengacu pada WPS No: 15/WPS/AlMg/YWTS/17, sehingga parameter pengelasan disesuaikan seperti pada tabel berikut.

Tabel 3. 2 Parameter pengelasan

Parameter	Keterangan
Jenis sambungan	<i>Butt joint</i>
Posisi Pengelasan	<i>down hand</i> (1G)
Arus las	125 – 175 A
<i>Travel Speed</i>	100 – 200 mm/min
Tegangan Las	19 – 24 V
Diameter <i>filler</i>	1,2 mm
Aliran gas argon	10 – 20 liter/min

3.3.3. Pemeriksaan Visual dan Pengujian Penetran

Prosedur pemeriksaan visual dilakukan dengan pembersihan hasil las dari residu, kemudian pengamatan secara seksama pada daerah sambungan las dengan kondisi lingkungan yang terang atau menggunakan alat bantu optik seperti senter, untuk mengidentifikasi adanya diskontinuitas yang terjadi pada permukaan sambungan las. Pada *liquid penetrant test*, prosedur pengujian sebagai berikut.

- Pembersihan daerah *weld root* menggunakan cairan *cleaner* dan kain.
- Pengaplikasian cairan *penetrant* pada daerah *weld root* dan dibiarkan kurang lebih 2 hingga 3 menit.
- Pembersihan daerah *weld face* dengan cairan *cleaner* dan kain.
- Pengaplikasian cairan *developer* pada *weld face* dan didiamkan minimal 8 jam untuk evaluasi hasil pengujian.
- Evaluasi dilakukan dengan melihat ada atau tidak *red penetrant* yang timbul di daerah *weld face* yang telah diaplikasikan cairan *developer*. Hal tersebut

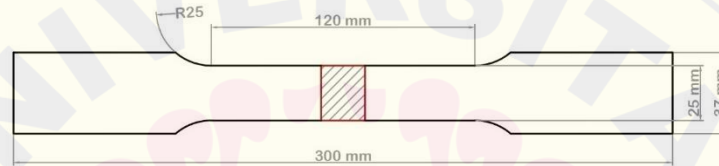
menunjukkan indikasi *crack* atau kebocoran las yang terjadi pada area yang timbul *red penetrant*.

- f. Pembersihan hasil pengujian menggunakan cairan *cleaner* dan kain.

3.3.4 Pengujian Tarik

Berikut tahapan pelaksanaan persiapan dan pengujian tarik yang dilakukan.

- a. Pemotongan spesimen uji tarik menggunakan gerinda tangan dengan acuan dimensi standar BKI *Rules for The Classification and Construction, Part 1 Vol. VI: Rules for Welding, 2022* yang mengacu pada standar ISO 4136 seperti pada gambar kerja berikut.



Gambar 3. 5 Dimensi spesimen uji tarik merujuk pada standar BKI

- b. Perhitungan luas permukaan (A_0) dengan mengukur lebar spesimen (b) dan tebal pelat (t_s), kemudian input data pada komputer mesin alat uji tarik.
- c. Peletakan spesimen uji pada mesin dan spesimen uji diberikan pembebanan secara perlahan dan terus menerus hingga spesimen patah.
- d. Pengumpulan dan pengolahan data seperti pada Tabel 3.4. hingga Tabel 3.6.
- e. Pembuatan diagram batang tiap parameter hasil pengujian tarik.
- f. Perbandingan nilai hasil kekuatan tarik maksimum rata-rata dengan nilai minimum kekuatan tarik berdasarkan BKI pada *Rules for The Classification Part 1, Vol. VI: Rules for Welding, Sec. 12 F Tabel 12.5 Requirements applicable to aluminium alloys* nilai standar minimum *tensile strength* untuk las *butt* aluminium paduan 5083 adalah sebagai berikut.

Tabel 3. 3 Standar nilai kekuatan tarik paduan aluminium

Base Material		Tensile Strength (N/mm ²)
Alloy No.	Material Designation	
5083	AlMg4,5Mn0,7	275

Sumber: BKI vol. VI *rules for welding, (2022)*

- g. Analisis data hasil pengujian tarik menggunakan *one way analysis of variance* (ANOVA) pada *software Microsoft Excel* untuk mengetahui perbandingan secara statistik antara nilai kekuatan tarik tiap sampel uji dan menentukan secara signifikan atau seberapa pengaruh perbedaan nilai kekuatan tarik yang disebabkan oleh faktor uji (variasi besaran sudut *single V groove* dan ketebalan *root face*).

3.3.5 Pengujian Metalografi

Pengamatan dilakukan pada tiga daerah utama yaitu *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Berikut prosedur pelaksanaan pengujian metalografi.

- a. Pengaplikasian etsa pada spesimen uji untuk mengidentifikasi sambungan pengelasan dengan logam induk menggunakan cairan etsa sesuai standar ASTM E407-07 *etching*, yaitu 2 ml HF, 3 ml HCL, 5 ml HNO₃ dan 190 ml *water* selama 10 hingga 20 detik.
- b. Pengeringan dan pembersihan sisa etsa pada spesimen uji.
- c. Penandaan perbedaan daerah sambungan pengelasan hasil etsa.
- d. Pemotongan spesimen uji dengan ukuran 30 mm dan pemastian *weld metal* atau logam las berada pada sentra.
- e. *Mounting* potongan spesimen uji mikro menggunakan resin dan katalis.
- f. Penghalusan permukaan spesimen uji menggunakan *abrasive paper* dengan kekasaran 80, 100, 220, 400, 600, 800, 1000, 1500, dan 2000 *grit*.
- g. Pengaplikasian autosol dan penggosokan menggunakan kain *wol* hingga permukaan spesimen uji terlihat berkilau seperti cermin.
- h. Pengaplikasian etsa kedua sesuai standar ASTM E340-95 *etching* dengan cairan 1 tetes HF, 25 ml HCL, 25 HNO₃ dan 25 ml *aquades* yang didiamkan selama kurang lebih 5 detik.
- i. Pengeringan dan pembersihan spesimen metalografi.
- j. Pengambilan foto struktur makro dan mikro dengan meletakkan spesimen uji pada alat mikroskop dan mengamati struktur mikro pada tiga daerah yang diamati, dengan perbesaran 50x hingga 200x.

3.3.6 Pengujian Fraktografi

Pengujian fraktografi yang dikaji dilakukan melalui dua metode, meliputi metode fraktografi dengan pengamatan makro secara visual dan pengamatan mikro menggunakan SEM. Pada pengujian ini, dilakukan analisis hasil evaluasi sifat fraktur atau patahan hasil spesimen uji tarik, berdasarkan teori dan penelitian terdahulu untuk mengidentifikasi jenis patahan yang terjadi, tergolong patah ulet atau getas.

3.4 Pengumpulan Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data dokumentasi, observasi dan eksperimen langsung, berupa pengumpulan data penelitian yang dilakukan secara sengaja dan sistematis terhadap suatu variabel melalui pengadaan perlakuan atau tindakan pengamatan (Meryanalinda, dkk., 2021). Khusus pada pengujian tarik, dilakukan input data seperti pada tabel berikut.

Tabel 3. 4 Data perhitungan nilai kekuatan tarik

Variasi	Sampel	A [mm ²]	P		Stress [N/mm ²]
		$b \times t_s$	[kg]	[N]	$\sigma = \frac{P}{A}$
...	1	200	...	... × 9,81	...
...	2	200	...	... × 9,81	...
dst.	1	200	dst.	dst.	dst.

Tabel 3. 5 Data perhitungan nilai regangan tarik

Variasi	Sampel	L ₀ [mm]	ΔL [mm]	Strain [mm/mm]
				$\epsilon = \frac{\Delta L}{l_0}$
...	1	120	...	...
...	2	120	...	...
dst.	1	120	dst.	dst.

Tabel 3. 6 Data perhitungan nilai modulus elastisitas

Variasi	Sampel	σ [N/mm ²]	ε	Modulus [N/mm ²]
				$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$
...	1	...	...	...
...	2	...	...	...
dst.	1	dst.	dst.	dst.

3.5 Instrumen Penelitian

Berikut instrumen penelitian yang digunakan tercantum pada tabel berikut.

Tabel 3. 7 Alat dan bahan penelitian

Jenis	Nama	Kegunaan	Spesifikasi
Bahan	Pelat aluminium	Material yang akan disambung/ las atau objek yang dikaji, dan digunakan sebagai <i>stopper</i>	Tebal 8 mm, paduan aluminium 5083
	Kawat elektroda (<i>filler metal</i>)	Logam isi atau material pengisi pada proses pengelasan	Novofil penandaan AWS ER 5183, Ø 1,2 mm
	Gas Argon	<i>Shielding gas</i>	UHP 99,999%
	Cairan uji penetrasi	Alat pengujian penetrasi untuk deteksi retak	<i>Cleaner, developer, dan red penetrant crack detector</i>
	Mata gerinda dan amplas	Penghalusan permukaan spesimen uji sesuai kebutuhan	Gerinda potong, <i>flapdisc</i> , gerinda amplas dan <i>abrassive paper grit</i>
	Cairan kimia etsa Cairan <i>mounting</i>	Pengetsaan spesimen uji mikro Perekat untuk persiapan pengamatan spesimen uji struktur mikro	Aquades, HF, HCl, HNO ₃ , Resin dan katalis
Alat	CNC	Mesin potong pelat aluminium	
	Jangka sorong/ mistar	Alat ukur dimensi panjang	
	<i>Welding gauge</i>	Alat ukur sudut bevel	Cam type gauge
	Instalasi pengelasan MIG	Peralatan pengelasan	Weiro DC MIG
	Sikat kawat baja	Pembersih residu hasil las setelah pengelasan	
	<i>Power tooling</i>	Sebagai alat potong juga pengamplasan	
	Mesin uji tarik	Peralatan untuk mendapatkan data hasil pengujian tarik	Alat uji tarik dan komputer
	Mesin <i>polishing</i>	Penghalusan permukaan spesimen uji mikro menggunakan <i>abrassive paper</i>	
Mesin uji mikro Kamera	Pengamatan struktur mikro Dokumentasi, pengamatan makro pada patahan	Mikroskop dan komputer	
Mesin <i>scanning electron microscope (SEM)</i>	Pengamatan topografi patahan secara mikro		

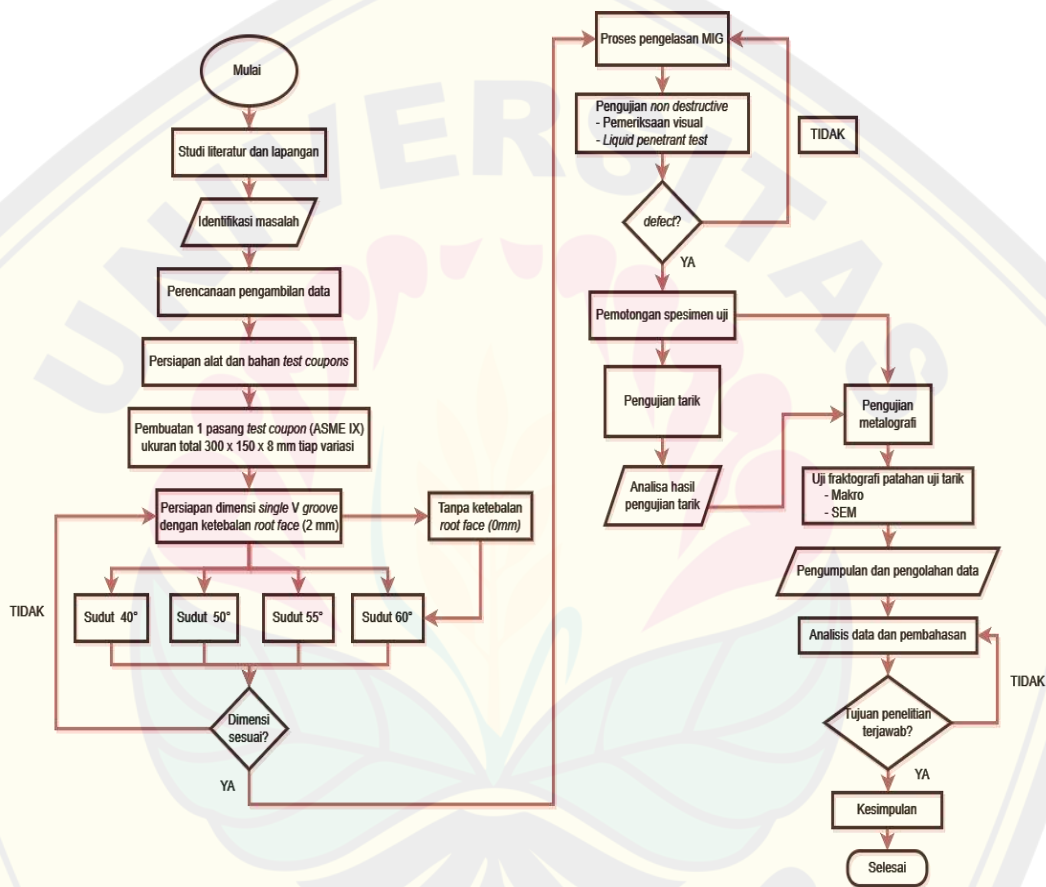
3.6 Metode Analisis

Data perolehan hasil pengujian dianalisis dilakukan sesuai dengan parameter hasil pengujian yang dilakukan. Pada pengujian *non destructive*, metalografi dan fraktografi membutuhkan data sekunder berupa pembahasan mengenai hasil penelitian sebelumnya untuk memberikan uraian analisis hasil penelitian yang diperoleh. Begitu pula dengan pengujian tarik yang juga memerlukan data sekunder seperti standar nilai kekuatan tarik minimum pada BKI untuk membandingkan hasil nilai kekuatan tarik. Selain itu, dilakukan analisis data

primer yang diperoleh dengan melakukan perhitungan secara manual menggunakan *software Microsoft Excel* sehingga diperoleh tabel perolehan data, grafik dan diagram batang serta tabel analisis *one way ANOVA*.

3.7 Diagram Alir

Berikut merupakan diagram alir (*flow chart*) penelitian dari awal hingga penarikan kesimpulan.



Gambar 3. 6 Diagram alir

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian *Non Destructive*

Pengujian tidak merusak atau *non destructive test* dilakukan pada lima buah *test coupons* dengan ukuran $300 \times 150 \times 8$ mm, untuk mendeteksi diskontinuitas atau cacat permukaan hasil pengelasan. Sesuai dengan tujuan penelitian Endramawan dkk. (2017), disebutkan bahwa pengujian ini dilakukan sebagai penentuan suatu bagian hasil pengelasan perlu dilakukan *repair* (perbaikan) atau tidak, bergantung pada jumlah diskontinuitas yang terjadi sesuai dengan standar yang diacu. Hal tersebut turut ditegaskan pada *BKI Rules for The Classification and Construction, Part 1 Vol. VI: Rules for Welding, 2022* yang menyebutkan jika sebelum pemotongan, setiap spesimen uji las *butt* diperlukan menjalani uji visual dan *non destructive test* pada seluruh panjang daerah las untuk mendeteksi cacat las eksternal maupun internal. Metode pengujian pada penelitian ini menggunakan metode sederhana berupa *visual examination* dan *liquid penetrant test* guna mendeteksi adanya indikasi diskontinuitas yang terjadi pada daerah *surface* pengelasan. Pengujian ini perlu dilakukan sebelum proses pemotongan *test coupons* menjadi spesimen uji.

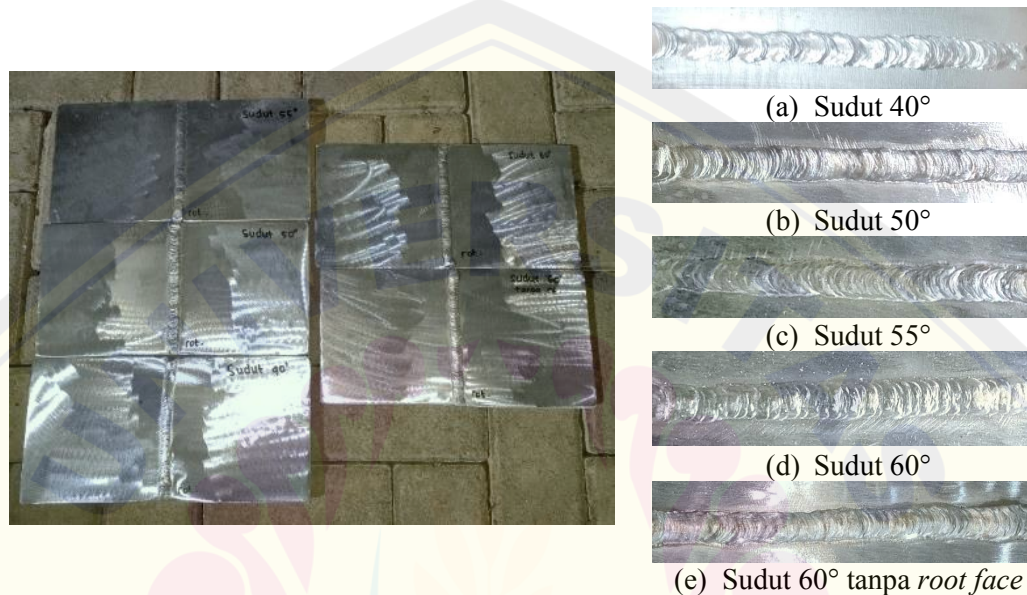
Berlandaskan pada IACS Rec. 20 dijelaskan bahwa dalam melakukan pengujian *non-destructive*, kondisi permukaan atau zona lasan yang akan diperiksa harus bebas dari kerak (*scale*), karat lepas (*loose rust*), percikan las (*spatter weld*), minyak (*oil*), gemuk lumas (*grease*), kotoran atau cat yang dapat mempengaruhi sensitivitas metode pengujian yang dilakukan. Dalam penelitian ini proses pembersihan dilakukan menggunakan kawat baja untuk membersihkan hasil residu pengelasan MIG sebelum dilakukan pemeriksaan dan pengujian seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Hasil pengelasan sebelum dan setelah pembersihan

4.1.1. Visual Examination

Pengujian visual merupakan pengujian dengan mengamati hasil pengelasan secara seksama dan detail dengan tujuan mendeteksi cacat pada permukaan las yang dapat dilihat secara kasat mata maupun dengan alat bantu penglihatan (Trisdyanto dan Choifin, 2019).

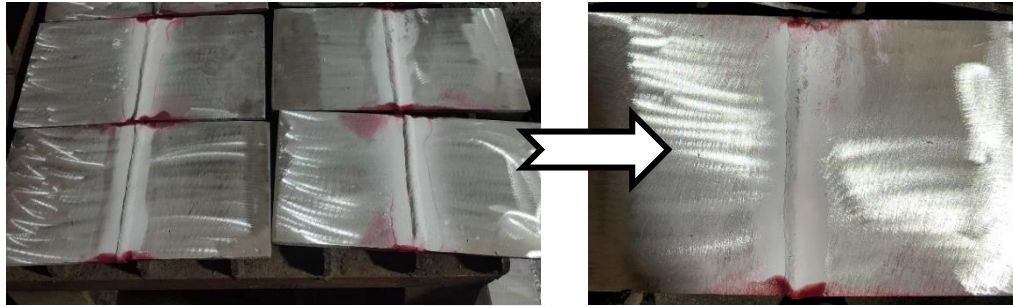


Gambar 4. 2 Hasil pengelasan *test coupons*

Berdasarkan hasil pengujian secara visual pada Gambar 4.2. tidak ditemukan diskontinuitas atau cacat permukaan hasil pengelasan seperti *surface pore* (lubang-lubang kecil di permukaan las) maupun *undercut* (celah atau cerukan sambungan las). Namun terdapat beberapa *spatter* (percikan atau bintik-bintik las) halus yang ditemui dan masih dapat diterima. Sehingga pada hasil pengujian visual pada lima *test coupons* dinyatakan lolos uji visual.

4.1.2. Liquid Penetrant Test

Menurut Jamasri dan Sulardjaka (2019), cacat permukaan atau cacat hasil pengelasan yang tidak terdeteksi secara visual akibat kondisi rapat atau kecilnya cacat yang terjadi, dapat dideteksi melalui pengujian *liquid penetrant inspection*. Metode pengujian ini dilakukan untuk mendeteksi keberadaan cacat permukaan yang sangat kecil dan rapat seperti *crack* atau lubang-lubang yang tidak dapat dilihat secara jelas dengan ketajaman mata.



Gambar 4. 3 Contoh hasil pengujian penetran

Berdasarkan hasil pengujian *liquid penetrant* seperti pada gambar, daerah *weld face* dengan cairan *developer* yang berwarna putih pada daerah kampuh las tidak terlihat adanya cairan *penetrant* yang berwarna merah di permukaan las. Dengan peristiwa tersebut, disimpulkan bahwa tidak ditemukan indikasi terjadinya *crack*, *pinhole* (lubang bulat rapi dengan ruang di dalamnya yang mengindikasikan adanya kemungkinan kebocoran las pada lokasi cacat), maupun diskontinuitas lainnya seperti kebocoran las pada sepanjang daerah sambungan pengelasan. Sehingga hasil evaluasi dari pengujian *liquid penetrant* yang dilakukan, *test coupons* dinyatakan lolos uji dan kelima *test coupons* dapat dilakukan pemotongan menjadi spesimen uji pada pengujian berikutnya. Namun pada manufaktur kapal khususnya lambung, penggunaan *liquid penetrant test* masih kurang efektif dan perlu dilakukan pengujian lain untuk mendeteksi lebih lanjut kualitas hasil sambungan las internal.

4.2 Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

Pada hasil pengelasan aluminium 5083 menggunakan metode pengelasan *metal inert gas* (MIG), *tensile test* atau pengujian tarik dilakukan guna mengetahui kekuatan hasil sambungan pengelasan pada sudut *single V groove* dan ketebalan *root face* yang berbeda pada sudut yang sama yaitu 60° . Dalam penelitian ini, tiap variasi spesimen uji tarik memiliki dua pengulangan (sampel), sehingga terdapat sepuluh sampel uji yang dilakukan pengujian tarik seperti pada gambar berikut.



Gambar 4. 4 Spesimen uji tarik sebelum pengujian

4.2.1. Hasil Pengujian Tarik

Parameter keberhasilan pengujian tarik adalah terjadi patah atau pecah pada spesimen uji, melalui hal tersebut dapat diketahui parameter nilai tegangan tarik, elongasi juga modulus elastisitas. Parameter tersebut dapat memberikan informasi lebih lanjut perihal kekuatan material, terlebih pada kekuatan sambungan pengelasan MIG aluminium 5083 tebal 8 mm dengan variabel independen yang dikaji.

a. Variasi Sudut V Groove

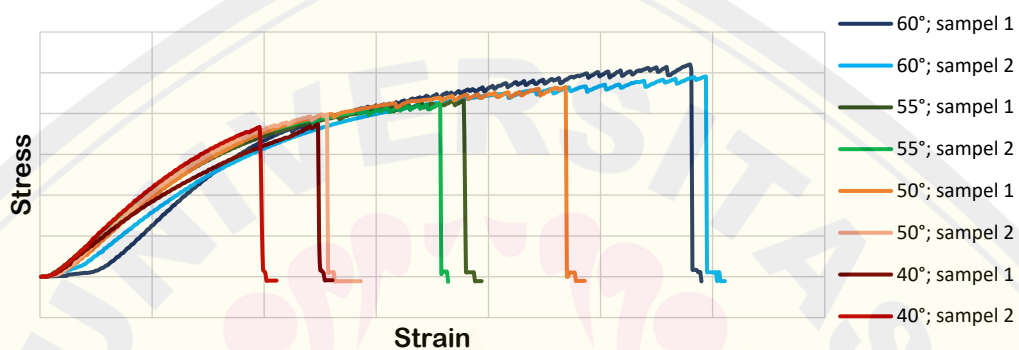
Berikut data hasil pengujian tarik variasi sudut *single V groove* yang disajikan berupa tabel dan grafik tegangan regangan sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Data hasil uji tarik variasi sudut V groove

V Groove Angle (°)	Sampel	Elongation (%)		Tensile Strength (N/mm ²)		Modulus Elasticity (N/mm ²)	
		ϵ_{max}	$\bar{\epsilon}$	σ_{max}	$\bar{\sigma}$	E	\bar{E}
40	1	5,68	5,50	187,03	185,23	5098,59	5345,97
	2	5,31		183,43		5593,35	
50	1	6,95	6,77	232,60	215,86	5021,89	5332,56
	2	6,58		199,12		5643,23	
55	1	7,50	7,74	215,74	213,99	5466,75	5311,98
	2	7,98		212,23		5157,21	
60	1	12,67	11,20	259,95	252,65	2210,45	4288,04
	2	9,73		245,36		6365,64	

Menurut data Tabel 4.1. pada variasi sudut 40° diperoleh rata-rata nilai elongasi, kekuatan tarik maksimum dan modulus elastisitas secara berturut-turut yaitu 5,50%, 185,23 N/mm² dan 5345,97 N/mm². Sudut 50° diperoleh hasil elongasi rata-rata 6,77%, kekuatan tarik maksimum rata-rata 215,86 N/mm², dan modulus elastisitas rata-rata sebesar 5332,56 N/mm². Hasil elongasi rata-rata 7,74%,

kekuatan tarik maksimum rata-rata $213,99 \text{ N/mm}^2$, dan modulus elastisitas rata-rata $5311,98 \text{ N/mm}^2$ terjadi pada variasi sudut 55° . Pada variasi sudut 60° diperoleh nilai elongasi rata-rata $11,20\%$, kekuatan tarik maksimum $252,65 \text{ N/mm}^2$ dan nilai modulus elastisitas rata-rata $4288,04 \text{ N/mm}^2$. Berdasarkan perolehan data tersebut, perbandingan juga hubungan nilai tegangan dan regangan spesimen uji selama pengujian tarik data divisualisasikan melalui grafik untuk mengetahui daerah elastis dan plastis seperti pada grafik berikut.



Gambar 4. 5 Grafik tegangan regangan variasi sudut V groove

Dari hasil grafik tersebut, daerah elastis diwakili dengan garis linier pada awal grafik yang menunjukkan sampel uji masih menerapkan hukum *Hooke*, yaitu dapat kembali ke bentuk semula setelah dikenakan beban atau gaya tarik. Apabila sampel uji tidak dapat kembali ke bentuk semula meskipun beban dihilangkan, atau terjadi perubahan bentuk secara signifikan sebelum akhirnya mengalami patah atau deformasi permanen merupakan daerah plastis yang diwakili dengan garis lengkung yang melewati batas elastis. Daerah fraktur atau patah digambarkan pada garis setelah titik tertinggi pada grafik atau *ultimate tensile strength* yang mengalami penurunan, hal tersebut mulai menunjukkan sampel uji mengalami kerusakan atau pecah dan tidak mampu lagi menahan beban. Berdasarkan pada grafik diketahui bahwa semakin besar sudut menunjukkan elastis dan plastis hingga mengalami fraktur semakin lambat atau melandai dibandingkan dengan sudut terkecil yaitu 40° . Hal tersebut dipengaruhi besar kecilnya nilai kemampuan tegangan dan regangan yang terjadi pada sampel uji selama diberikan beban pada saat pengujian tarik, sehingga disimpulkan bahwa sifat mekanis kekuatan, elastisitas dan keuletan sambungan pada variasi sudut 40° kurang baik jika dibandingkan dengan sudut lain.

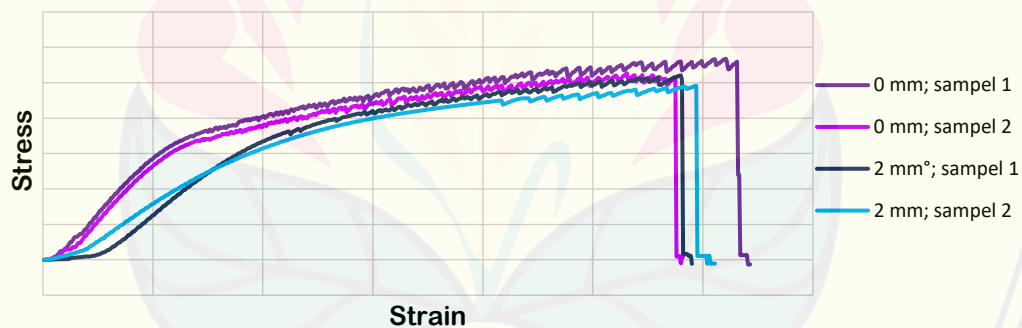
b. Variasi Ketebalan *Root Face*

Berikut data hasil pengujian tarik dengan variasi ketebalan *root face*, yang disajikan melalui tabel dan grafik tegangan regangan.

Tabel 4. 2 Data hasil uji tarik variasi ketebalan *root face*

Thickness of Root Face (mm)	Sampel	Elongation (%)		Tensile Strength (N/mm ²)		Modulus Elasticity (N/mm ²)	
		ε_{max}	$\bar{\varepsilon}$	σ_{max}	$\bar{\sigma}$	E	\bar{E}
2	1	12,67	11,20	259,95	252,65	2210,45	4288,04
	2	9,73		245,36		6365,64	
0	1	11,00	12,00	262,96	273,30	4984,15	4028,44
	2	12,99		283,64		3072,73	

Menurut data Tabel 4.2. diperoleh nilai rata-rata elongasi, kekuatan tarik maksimum dan modulus elastisitas pada sudut 60° ketebalan *root face* 0 mm secara berturut-turut yaitu 12%, 273,30 N/mm², dan 4028,44 N/mm². Hubungan antara nilai tegangan dan regangan juga mengetahui daerah elastis dan plastis spesimen uji selama pengujian tarik dapat diketahui melalui grafik berikut.



Gambar 4. 6 Grafik tegangan regangan variasi ketebalan *root face*

Selaras dengan hasil grafik tegangan regangan dengan variasi sudut, pada variasi ketebalan *root face*, garis linier pada awal grafik juga menunjukkan kondisi material masih dapat kembali ke kondisi awal setelah mendapatkan beban, kondisi ini disebut sebagai daerah elastis. Sedangkan pada garis yang melengkung setelah melewati batas elastis merepresentasikan terjadinya kondisi plastis pada spesimen uji, dengan kata lain material tidak dapat kembali ke bentuk semula meskipun beban telah dihilangkan atau terjadi perubahan bentuk secara signifikan sebelum akhirnya mengalami patah.

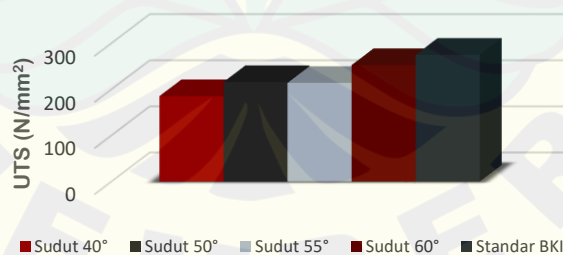
4.2.2. Analisa Data Hasil Pengujian Tarik

Berdasarkan data hasil pengujian tarik yang dilakukan pada spesimen uji diperoleh beberapa parameter yaitu *ultimate tensile strength*, *elongation* atau pertambahan panjang dan modulus elastisitas.

a. *Ultimate Tensile Strength*

Ultimate tensile strength atau UTS merupakan nilai tegangan maksimum atau beban tarik maksimum spesimen uji yang dapat ditahan selama terjadinya pertambahan regangan sebelum spesimen uji mengalami patah akibat beban tarik yang diterapkan. Penelitian ini menganalisa hasil diagram batang dan membandingkan nilai minimum *tensile strength* standar BKI pada sambungan aluminium 5083. Di samping itu, dilakukan validasi berdasarkan data yang diperoleh menggunakan uji ANOVA melalui *software microsoft Excel* dan asumsi yang ditetapkan yaitu; $f < f_{crit}$, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak, yang menunjukkan bahwa variasi yang digunakan yaitu sudut atau ketebalan *root face* pada pengelasan MIG aluminium 5083 tidak secara signifikan mempengaruhi nilai kekuatan tarik material. Pada $f > f_{crit}$, diasumsikan bahwa H_0 ditolak dan asumsi H_1 diterima yang menunjukkan bahwa variasi sudut atau ketebalan *root face* pada pengelasan MIG aluminium 5083 secara signifikan berpengaruh terhadap nilai kekuatan tarik material dan nilai signifikansi yang digunakan adalah 5% atau 0,05.

1) Variasi Sudut *Single V Groove*



Gambar 4. 7 Diagram batang *ultimate tensile strength* variasi sudut

Berdasarkan diagram batang di atas, diketahui dari semua variasi sudut 40°, 50°, 55° dan 60° memiliki nilai yang berbeda dan belum mencapai nilai minimum *tensile strength* standar BKI yaitu 275 N/mm². Nilai kekuatan tarik rata-rata terendah terjadi pada variasi sudut terkecil yaitu 40° dengan nilai 185,23 N/mm².

Sedangkan nilai kekuatan tarik rata-rata tertinggi terjadi pada variasi sudut tertinggi yaitu 60° dengan nilai $252,65 \text{ N/mm}^2$. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui pengaruh secara signifikan variasi sudut terhadap nilai UTS melalui tabel berikut.

Tabel 4. 3 Data *descriptive one-way* UTS variasi sudut

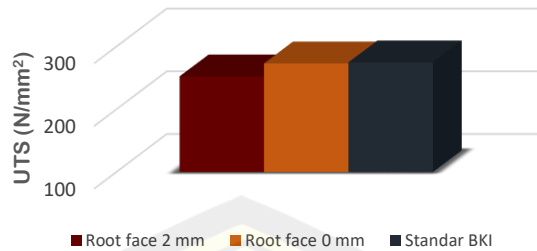
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Sudut 40°	2	370,455	185,227	6,481
Sudut 50°	2	431,728	215,864	560,506
Sudut 55°	2	427,971	213,986	6,167
Sudut 60°	2	505,303	252,652	106,397

Tabel 4. 4 Data ANOVA *one-way* UTS variasi sudut

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
<i>Between Groups</i>	4581,779	3	1527,260	8,990	0,030	6,591
<i>Within Groups</i>	679,552	4	169,888			
Total	5261,330	7				

Berdasarkan tabel, diketahui bahwa f memiliki nilai yang lebih besar yaitu 8,99 dibandingkan f_{crit} dengan nilai 6,59. Sehingga $f > f_{crit}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima, yang menunjukkan bahwa variasi sudut memiliki pengaruh secara signifikan terhadap nilai kekuatan tarik material pada taraf uji 5%. Sehingga diketahui bahwa pada variasi sudut *single V groove* memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap nilai kekuatan tarik, dan pada hasil penelitian ini, faktor kemungkinan yang mempengaruhi nilai kekuatan tarik pada seluruh variasi tidak melampaui nilai standar BKI adalah adanya faktor diskontinuitas yang terjadi akibat persiapan instrumen pengelasan yang kurang baik dan bersih, pengaturan arus terlalu rendah yang dapat mempengaruhi panas atau lelehnya elektroda, serta pengaruh dari ketebalan *root face* sehingga penembusan pengelasan kurang maksimal dan berpengaruh terhadap kekuatan sambungan las. Faktor-faktor tersebut dapat ditelusuri lebih lanjut melalui pengujian metalografi dan pengujian fraktografi yang dilakukan pada penelitian ini.

2) Variasi *Root Face*



Gambar 4. 8 Diagram batang *ultimate tensile strength* variasi *root face*

Berdasarkan diagram batang tersebut, nilai kekuatan tarik dengan sudut *single V groove* 60° dengan variasi ketebalan *root face* 2 mm dan 0 mm memiliki perbedaan nilai kekuatan yang cukup mencolok. Diketahui nilai UTS variasi tanpa *root face* atau ketebalan 0 mm memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan ketebalan *root face* 2 mm. Selain itu, salah satu sampel pada variasi tanpa *root face* berhasil melampaui nilai minimum kekuatan tarik penyambungan aluminium 5083 berdasarkan standar BKI yaitu dengan nilai 283,637 N/mm² pada sampel 2. Berdasarkan analisa hasil diagram batang, dapat diketahui pengaruh secara signifikan variasi ketebalan *root face* terhadap nilai UTS melalui tabel berikut.

Tabel 4. 5 Data *descriptive one-way* UTS variasi ketebalan *root face*

Groups	Count	Sum	Average	Variance
With (2 mm)	2	505,303	252,652	106,397
Without (0 mm)	2	546,594	273,297	213,820

Tabel 4. 6 Data ANOVA *one-way* UTS variasi ketebalan *root face*

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	426,222	1	426,222	2,662	0,030	18,513
Within Groups	320,218	2	160,109			
Total	746,440	3				

Berdasarkan tabel hasil uji ANOVA diketahui nilai $f < f_{crit}$, di mana nilai f adalah 2,66 dan nilai f_{crit} adalah 18,51, maka diasumsikan bahwa variasi *root face* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kekuatan tarik material. Sehingga ditarik kesimpulan bahwa pengaruh perbedaan dari hasil kekuatan tarik pada variasi *root face* disebabkan karena adanya faktor lain yang lebih mendukung

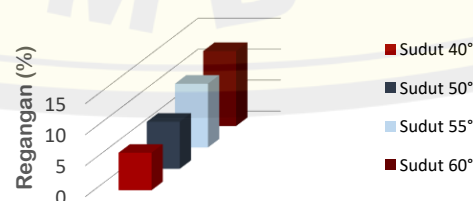
seperti diskontinuitas yang tidak terdeteksi melalui pengujian penetran atau akibat dari persiapan instrumen maupun proses pengelasan yang kurang baik pada variasi sudut 60° dengan ketebalan *root face* 2 mm yang berpengaruh terhadap penurunan nilai kekuatan tarik pada sambungan material.

Namun demikian, apabila ditelaah pada parameter pengelasan dan jenis sambungan dan bentuk juga sudut kampuh yang sama, perbedaan ketebalan *root face* memiliki kemungkinan untuk mempengaruhi distribusi panas yang terjadi dan secara tidak langsung berkaitan dengan hasil penembusan pengelasan. Pada ketebalan *root face* 2 mm terjadi penembusan yang kurang baik pada proses pengelasan karena adanya kemungkinan terdapat daerah yang tidak tersambung secara sempurna. Hasil asumsi tersebut berkaitan dengan penelitian Nowacki dan Rybicki (2005), yang menyimpulkan bahwa hasil studi pada kondisi spesimen tanpa *root gap*, penggunaan ketebalan *root face* maksimal pada sambungan dengan sudut yang kecil memiliki keuntungan dalam pertimbangan konsumsi logam pengisi (*filler metal*) namun memiliki dampak terhadap penurunan kualitas sambungan karena pada ketebalan *root face* yang lebih tebal memerlukan peningkatan parameter las untuk mendapatkan penetrasi las maksimal. Oleh sebab itu, kemahiran *welder* diperlukan dalam menentukan ketebalan *root face* yang tepat sesuai dengan spesifikasi perlakuan pengelasan dan standar yang digunakan pada industri perkapalan. Juga perlu memperhatikan perihal pemastian kebersihan dan instrumen pengelasan guna mencapai hasil pengelasan yang optimal.

b. *Elongation*

Elongasi atau pertambahan panjang merupakan kondisi terjadinya perubahan ukuran panjang awal hingga panjang akhir pada spesimen uji tarik (Bailusi, 2023).

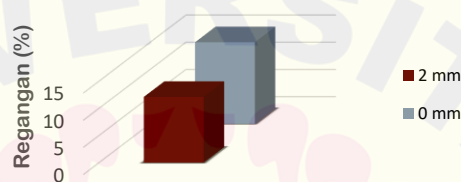
1) Variasi Sudut *Single V Groove*



Gambar 4. 9 Diagram batang *strain* variasi sudut

Berdasarkan pada tabel dan diagram batang, hubungan antara nilai persentase dari rata-rata regangan maksimum terhadap variasi sudut yaitu semakin besar nilai sudut *single V groove* maka terjadi peningkatan nilai regangan. Diketahui nilai rata-rata regangan maksimum terendah hingga tertinggi yaitu 6,05% pada sudut 40° adalah 7,59% pada sudut 50° senilai 10,28% pada sudut 55° dan 12,10% pada sudut 60°. Dengan hal tersebut, diketahui bahwa sudut 60° memiliki nilai elongasi paling tinggi sehingga memiliki sifat elastisitas yang lebih baik dibandingkan variasi sudut lainnya.

2) Variasi *Root Face*



Gambar 4. 10 Diagram batang *strain* variasi *root face*

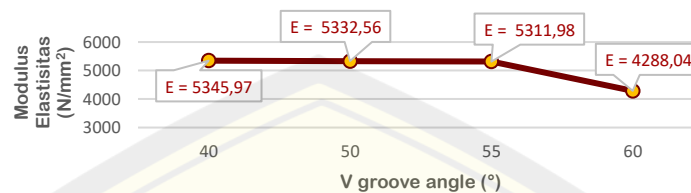
Diketahui nilai elongasi tertinggi terjadi pada variasi *root face* 0 mm dengan nilai 12% dibandingkan dengan *root face* 2 mm yaitu 11,20%. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada sudut 60° tanpa menggunakan *root face* memiliki sifat elastis yang lebih unggul dibandingkan ketebalan *root face* 2 mm. Semakin tinggi nilai regangan maka semakin elastis sifat suatu bahan. Pada lambung kapal, sifat elastisitas yang dimiliki seharusnya cukup tinggi sehingga konstruksi sambungan las mampu menerima beban secara statis maupun dinamis dengan baik tanpa mengalami deformasi plastis secara langsung.

c. Modulus Elastisitas

Nilai modulus elastisitas merupakan ukuran kekakuan suatu material yang secara teori diperoleh berdasarkan perbandingan antara nilai kekuatan tarik dan regangan saat berada pada kondisi elastis. Penentuan nilai modulus elastisitas ditentukan berdasarkan pengamatan pada grafik tegangan regangan seperti pada Gambar 4.5. dan Gambar 4.6. dengan meninjau daerah linier yang terletak pada awal grafik tegangan regangan yang disebut sebagai regio elastis, di mana regio ini terbentuk karena material masih berada pada kondisi mampu kembali ke bentuk semula setelah mendapatkan beban. Berkaitan dengan hasil penelitian Huda dkk.

(2017) yang menyimpulkan jika nilai rata-rata dari modulus elastisitas tinggi maka semakin kecil nilai regangan elastisitas yang terjadi sehingga tingkat kekakuan material semakin tinggi dan mudah terjadi patah.

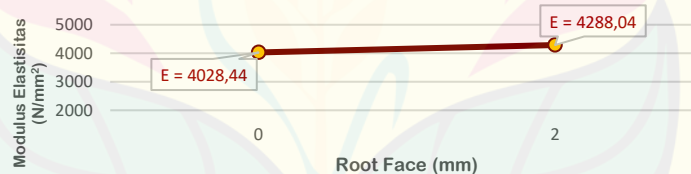
1) Variasi Sudut *Single V Groove*



Gambar 4. 11 Grafik modulus elastisitas variasi sudut

Diketahui nilai modulus elastisitas pada variasi sudut memiliki nilai yang berbanding terbalik dengan nilai regangan, yang di mana semakin kecil sudut semakin besar nilai modulus elastisitas yang menunjukkan bahwa sudut kecil memiliki sifat kaku yang tinggi. Nilai rata-rata modulus elastisitas tertinggi terjadi pada sudut 40° adalah 5345,97 N/mm² dan terkecil senilai 4288,04 N/mm² pada sudut 60°.

2) Variasi *Root Face*



Gambar 4. 12 Grafik modulus elastisitas variasi *root face*

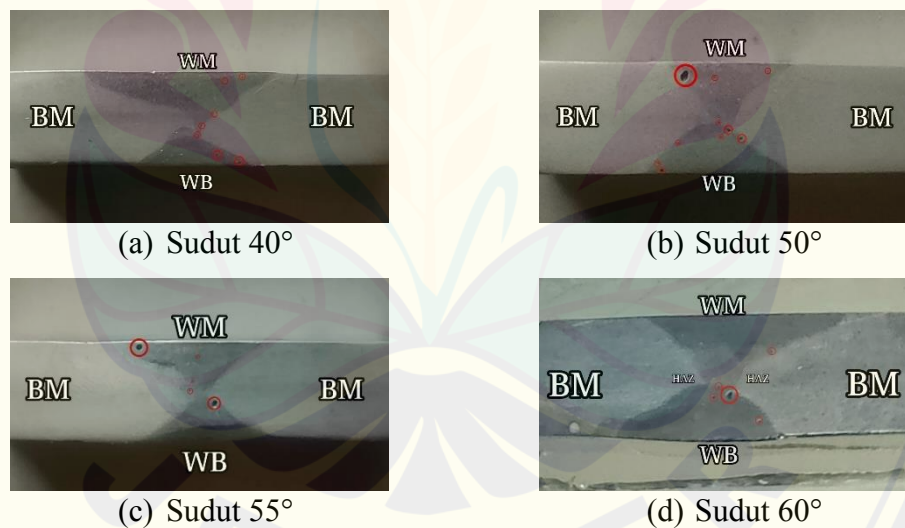
Pada sudut 60° dengan variasi ketebalan *root face* 2 mm memiliki nilai 4288,04 N/mm² yang lebih tinggi dibandingkan dengan ketebalan *root face* 0 mm yaitu 4028,44 N/mm². Sehingga dapat disimpulkan bahwa spesimen uji dengan ketebalan *root face* 2 mm memiliki elastisitas yang lebih rendah atau kaku jika dibandingkan dengan ketebalan *root face* 0 mm.

4.3 Hasil Metalografi

Berdasarkan hasil pengujian tarik diperoleh nilai kekuatan tarik yang berbeda-beda. Di samping itu, nilai kekuatan tarik pada sepuluh sampel uji hanya satu sampel yang memenuhi nilai minimum standar BKI. Oleh sebab itu, pada pengujian metalografi dengan melakukan pengamatan struktur makro dan mikro sambungan las bertujuan untuk melakukan validasi hasil pengujian tarik, mengetahui perbandingan perbedaan bentuk struktur hasil pengelasan MIG pada pelat aluminium 5083 tebal 8 mm serta menganalisis hubungan antara hasil pengujian tarik dengan hasil metalografi.

4.3.1. Hasil Pengamatan Makro

Pengamatan makro dilakukan pada spesimen dengan daerah sambungan pengelasan yang terletak pada sentra dan telah dilakukan etsa pada permukaan yang diamati, sehingga dapat diidentifikasi daerah logam las atau *weld metal* (WM) dan logam induk atau *base metal* (BM).



Gambar 4. 13 Hasil foto makro variasi sudut *single V groove*

Dari hasil foto makro, diketahui perbedaan warna yang mencolok antara logam las dengan logam induk. BM yang terlihat berwarna lebih terang menunjukkan *base metal* atau logam induk, WM yang terlihat lebih gelap menunjukkan *weld metal* atau logam las, HAZ yang terlihat lebih terang diantara BM dan WM menunjukkan daerah yang terpengaruh oleh panas, serta WB

menunjukkan *weld back* atau logam las pendukung yang berada pada sisi akar las. Selain itu, lingkaran merah menunjukkan adanya lubang kecil yang menunjukkan *porosity* yang dapat dilihat secara makro. Pada seluruh variasi sudut 40° , 50° , 55° dan 60° , ketebalan *root face* yang digunakan adalah 2 mm. Berdasarkan pada gambar, hasil sambungan las semakin ke bawah permukaan akar las semakin kecil dan tidak sampai pada permukaan akar las. Hasil foto makro pada sudut *single V groove* 40° hasil penetrasi tidak terjadi secara sempurna ditinjau berdasarkan Gambar 4.13. (a), terlebih pada ujung sudut antara WM dan WB memiliki daerah sambungan yang lebih sempit dibandingkan daerah permukaan atas las. Serta pada pertemuan antara WB dan WM tidak tersambung dengan baik karena faktor kesalahan selama proses pengelasan *back weld*, yang juga terjadi pada variasi sudut *single V groove* 50° . Selain itu, ketebalan *root face* yang digunakan juga memiliki kemungkinan untuk mempengaruhi kurangnya penetrasi pada daerah pengelasan, sehingga sambungan pengelasan akan menjadi lemah. Dalam kondisi tersebut hubungan antara hasil foto makro dengan nilai kekuatan tarik dapat diketahui melalui bentuk sambungan las yang dihasilkan. Pada sudut yang lebih kecil, maka logam las yang dilelehkan dengan logam induk yang terjadi hanya sedikit karena sempitnya daerah pengelasan, sehingga kekuatan tarik sambungan juga memiliki kecenderungan lebih kecil. Hal tersebut sesuai dengan hasil pengujian tarik yang menunjukkan bahwa sudut *single V groove* 40° memiliki nilai paling rendah. Namun melalui pengamatan makro belum diketahui faktor penyebab sudut *single V groove* 50° lebih rendah nilai kekuatannya dibandingkan dengan sudut 55° .

Melalui hasil tersebut, pada variasi sudut penelitian ini diambil salah satu sudut yang akan diteliti lebih lanjut dengan menambahkan variasi ketebalan *root face* 0 mm yaitu 60° dan diketahui hasil foto makro sebagai berikut.



Gambar 4. 14 Hasil foto makro variasi sudut 60° tanpa *root face*

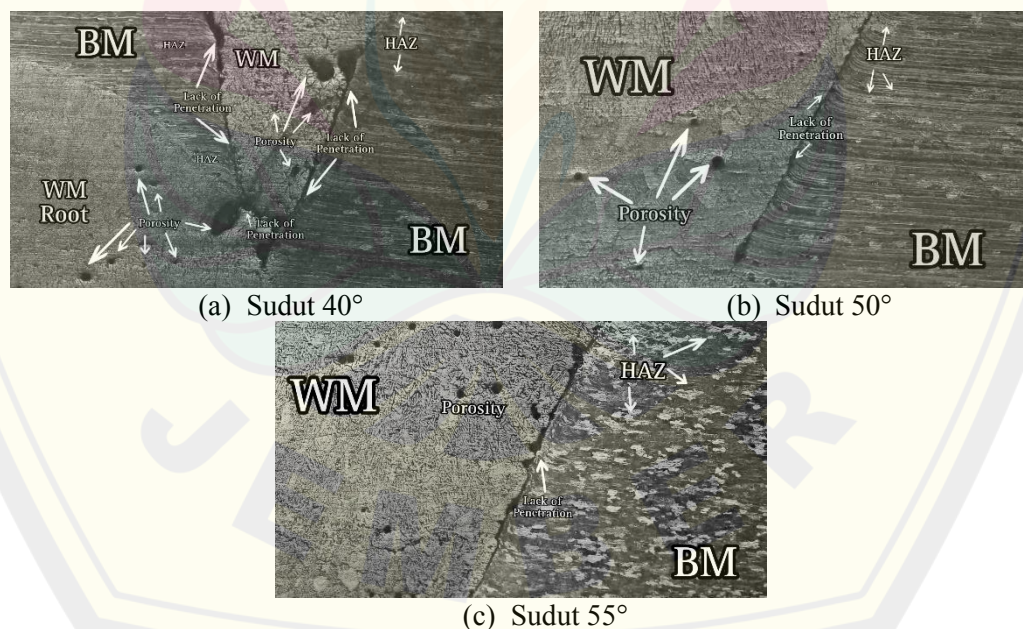
Berdasarkan hasil menunjukkan bentuk WM pada daerah *weld face* terlihat cukup presisi kanan kiri dibandingkan dengan sudut *single V groove* 60° ketebalan *root face* 2 mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada *root face* 0 mm memiliki hasil kualitas sambungan yang lebih baik.

4.3.2. Hasil Pengamatan Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui secara garis besar perbedaan butiran tiga daerah utama yang diamati yaitu daerah *base metal*, *heat affected zone* dan *weld metal*, guna mengidentifikasi kualitas sambungan. Pada penelitian ini, hasil struktur mikro yang diamati melalui perbesaran 50x untuk mengetahui secara garis besar perbedaan tiga daerah yang diamati, dan perbesaran 200x guna mengetahui secara detail bentuk struktur dan butiran pada tiga daerah utama yang diamati.

a. Perbesaran 50x

Perbedaan *grain boundaries* secara garis besar dapat diketahui melalui hasil struktur mikro dengan perbesaran 50x ditunjukkan pada gambar berikut.



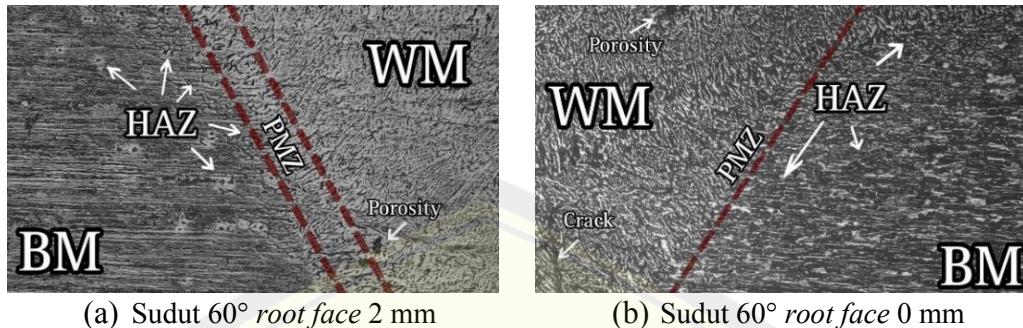
Gambar 4. 15 *Grain boundaries* variasi sudut *single V groove*

Berdasarkan hasil foto struktur mikro diketahui pada sudut *single V groove* 40° , 50° dan 55° terdapat *lack of penetration* atau *incomplete penetration* yang

menunjukkan penetrasi pengelasan tidak terjadi dan tidak menembus secara sempurna pada lapisan *base metal* yang akan disambungkan, sehingga terdapat daerah yang tidak terisi dengan baik, seperti pada Gambar 4.15. Hal tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti persiapan proses pengelasan yang kurang baik dan kebersihan yang tidak baik, ketidaksesuaian elektroda dengan jenis material yang digunakan, kecepatan pengelasan yang terlalu cepat sehingga waktu logam induk untuk meleleh terlalu singkat, juga pengaturan arus yang terlalu rendah sehingga mengakibatkan panas elektroda rendah. Pada penelitian ini, arus yang rentang arus yang digunakan berkisar 125 hingga 175 A yang merupakan rentang arus rendah mengacu pada WPS. Besar kecilnya arus yang digunakan pada elektroda MIG dapat berpengaruh terhadap panas elektroda yang dihasilkan saat proses pengelasan berlangsung, karena semakin besar arus yang digunakan, maka semakin panas elektroda sehingga semakin banyak logam yang dapat dilelehkan dan mencair. Panas elektroda yang baik dapat memperkuat dan memperhalus butiran sambungan. Selain itu, diketahui terdapat *porosity* yang terjadi pada daerah WM yang dapat dipengaruhi karena faktor kebersihan material, kemurnian *shielding gas* yang digunakan serta kondisi lingkungan pengelasan, juga elektroda yang mengalami oksidasi maupun terpapar udara lembab dengan waktu yang lama karena proses penyimpanan yang kurang baik.

Diketahui berdasarkan hasil struktur mikro memiliki kesinambungan dengan hasil kekuatan tarik, yang ditunjukkan pada Gambar 4.15. (a) sudut 40° dijumpai *lack of penetration* dan *porosity* yang cukup parah dibandingkan sudut lain dan hal tersebut sesuai dengan nilai kekuatan tarik sudut *single V groove* 40° yang bernilai paling rendah kekuatannya. Selain itu, pada nilai kekuatan tarik diketahui bahwa sudut *single V groove* 50° lebih tinggi dibandingkan dengan sudut *single V groove* 55° akibat dari *lack of penetration* dan *porosity* yang terjadi. Ditunjukkan pada Gambar 4.15 (b) dan (c), pada sudut *single V groove* 55° memiliki *porosity* mikro yang lebih banyak dan *lack of penetration* yang terjadi memiliki celah yang lebih lebar yang menjelaskan bahwa pada sambungan sudut *single V groove* 55° memiliki kekuatan yang lebih lemah dibandingkan pada hasil mikro sudut *single V groove* 50° . Selain itu, pada variasi sudut ketebalan *root face*

yang digunakan adalah 2 mm diketahui juga menjadi faktor yang ikut berpengaruh terhadap kesempurnaan penembusan dan distribusi panas yang terjadi.



Gambar 4. 16 Grain boundaries sudut 60° perbesaran 50x

Berbeda dengan ketiga variasi sudut sebelumnya, pada sudut *single V groove* 60° dapat diidentifikasi dengan baik daerah *base metal* (BM), *weld metal* (WM) dan *heat affected zone* (HAZ). Ditinjau berdasarkan gambar di atas, selain tiga daerah tersebut terdapat pembentukan butiran yang berbeda membentuk garis antara daerah *weld metal* dengan daerah perlakuan panas (HAZ), di mana daerah tersebut disebut sebagai *partially melted zone* (PMZ). Afifuddin dan Ilman (2021) menjelaskan bahwa daerah PMZ merupakan struktur mikro yang memperlihatkan batas atau daerah *interface* antara *weld metal* dengan HAZ pada sambungan las, dan pada kasus logam murni disebut sebagai *fusion line*. Secara umum, pada material aluminium 5083 ukuran butir PMZ relatif kecil. Di samping adanya faktor metalurgi, masukan panas dapat mempengaruhi ukuran dari butir daerah HAZ dan PMZ yang dapat menentukan sifat mekanik dari las. Hal tersebut selaras dengan teori yang dikemukakan oleh Jamasri dan Sulardjaka (2019), yakni panas pada proses pengelasan paduan aluminium dapat mengakibatkan terjadinya pencairan sebagian atau *partially melted zone*, pelarutan padat atau pengendapan dan rekristalisasi bergantung pada tingginya temperatur pada daerah las. Perubahan struktur yang terjadi umumnya mengalami penurunan kekuatan dan ketahanan korosi serta adakalanya daerah las menjadi getas.

Berdasarkan pada Gambar 4.16. struktur mikro dengan ketebalan *root face* yang berbeda, menunjukkan perubahan struktur dari *weld metal* hingga ke *base metal* secara signifikan. Pada *root face* 0 mm memiliki tampilan struktur atau butiran yang lebih jelas dibandingkan dengan *root face* 2 mm. Meninjau

berdasarkan *partially melted zone* (PMZ) pada ketebalan *root face* 2 mm terlihat lebih jelas dan lebar dibandingkan tanpa *root face*. Daerah pengaruh panas (HAZ) yang terbentuk pada ketebalan *root face* 2 mm terlihat lebih sedikit dan tidak membaur dengan *base metal* sehingga butiran HAZ dapat diidentifikasi dengan mudah. Hal tersebut menjelaskan bahwa hasil pengelasan pada ketebalan *root face* 2 mm mengalami distribusi panas yang tidak merata selama proses pengelasan. Namun demikian, pada ketebalan *root face* 0 mm butiran HAZ membaur secara merata dengan *base metal*, juga PMZ yang tipis dan sedikit bahkan hampir tidak terlihat dan fenomena tersebut menggambarkan bahwa hasil pengelasan MIG aluminium sudut 60° ketebalan *root face* terjadi pendistribusian panas secara merata selama proses pengelasan. Pada kedua variasi *root face* dijumpai *porosity* yang terjadi, namun pada *root face* 0 mm juga terdapat *crack* atau retak mikro pada daerah antara WM dan PMZ. Hal tersebut dapat diakibatkan karena tipisnya *root face* yang memicu faktor pelebaran daerah las, sehingga pendistribusian panas lebih cepat dan terjadi peningkatan temperatur yang berdampak pada logam di sekitar daerah las menjadi sangat panas, dan terjadi perubahan temperatur cukup cepat pada proses pendinginan sehingga terbentuk tegangan pada daerah sekitar WM yang dapat menyebabkan retakan struktur mikro.

b. Perbesaran 200x

Perbedaan struktur mikro dengan perbesaran 200x pada tiga daerah yang diamati yaitu daerah *base metal*, *heat affected zone* dan *weld metal* spesimen uji variasi sudut *single V groove* 40° , 50° dan 55° , serta perbandingan antara variasi ketebalan *root face* pada sudut 60° *single V groove* yaitu 2 mm dan 0 mm dapat diketahui sebagai berikut.



(a) *Base metal*

(b) HAZ

(c) *Weld metal*

Gambar 4. 17 Struktur mikro sudut 40°

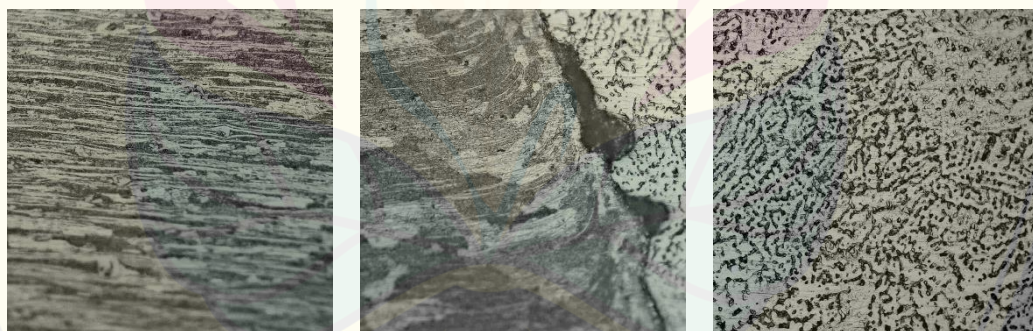


(a) *Base metal*

(b) HAZ

(c) *Weld metal*

Gambar 4. 18 Struktur mikro sudut 50°



(a) *Base metal*

(b) HAZ

(c) *Weld metal*

Gambar 4. 19 Struktur mikro sudut 55°

(a) *Base metal*

(b) HAZ

(c) *Weld metal*Gambar 4. 20 Struktur mikro sudut 60° variasi *root face* 2 mm(a) *Base metal*

(b) HAZ

(c) *Weld metal*Gambar 4. 21 Struktur mikro sudut 60° variasi *root face* 0 mm

Ditinjau berdasarkan 4.17. hingga Gambar 4.21, diketahui pada ketiga daerah menunjukkan adanya perubahan struktur mikro dari *base metal* (BM) hingga bagian tengah pengelasan atau *weld metal* (WM), memperlihatkan terjadinya perbedaan bentuk butir dan warna fasa yaitu terang dan gelap. Hal tersebut menegaskan hasil penelitian oleh Riyadi, dkk (2019) yang menjelaskan bahwa daerah *base metal*, HAZ dan *weld metal* dijumpai dua fasa yaitu fasa berwarna putih atau terang (α) dengan sifat dengan kekuatan rendah dan keuletan yang baik serta fasa berwarna hitam atau gelap (β) yang memiliki sifat kekuatan yang tinggi dan cukup keras. Mengacu pada ASM *handbook* vol.3 *Alloy Phase Diagram* (1993), paduan aluminium magnesium pada fasa α merupakan fasa aluminium dan fasa β merupakan fasa Al_3Mg_2 . Pada hasil pengamatan struktur mikro daerah *base metal* selaras dengan hasil penelitian Arif dan Koswara (2021) yang menyebutkan bahwa partikel berwarna hitam dan terpisah dari matrik aluminium pada *base metal* merupakan partikel Al_3Mg_2 , yang mempengaruhi sifat ketangguhan atau keuletan

suatu material. Semakin banyak jumlah partikel Al_3Mg_2 maka material memiliki sifat ketahanan yang sangat baik terhadap korosi, hal ini disebut sebagai *hidronallium*.

Heat affected zone (HAZ) merupakan daerah yang mengalami perubahan termal akibat proses pengelasan atau fenomena temperatur yang tinggi dan pendinginan cepat yang terjadi pada daerah sekitar logam yang dilakukan pengelasan. HAZ memiliki pengaruh terhadap perubahan struktur mikro. Pada HAZ dapat diketahui mulai terjadinya pengasaran bentuk butir aluminium akibat kemungkinan ikatan intermetalik serta fasa β yang berada pada batas butir maupun butir. Hal tersebut, berbanding lurus dengan hasil penelitian Arif dan Koswara (2021) bahwa pada HAZ terbentuk partikel butiran yang relatif banyak, akibat adanya pengaruh proses pengelasan sehingga terjadi perubahan bentuk struktur mikro dari lamelar atau lonjong menjadi bulat akibat kenaikan temperatur kuat arus. HAZ yang ditunjukkan pada sudut *single V groove* 40° pada Gambar 4.17 (b) tidak dapat diidentifikasi secara signifikan karena HAZ yang terbentuk sedikit, karena adanya *lack of penetration* yang terlihat sangat jelas dalam menunjukkan kesenjangan penetrasi yang terjadi. Hal tersebut juga terjadi pada sudut *single V groove* 55° dengan lebar butir HAZ yang bisa diidentifikasi namun jumlahnya sedikit dan tidak membur merata dengan baik. Kedua hal tersebut menunjukkan pada sudut *single V groove* 40° dan 55° rentan terhadap terjadinya keretakan akibat dari kurangnya ikatan pada sambungan las dan hal ini berpengaruh terhadap penurunan nilai kekuatan tarik.

Pada daerah *weld metal* (WM) yang merupakan daerah sambungan las dari penggabungan antara logam induk dengan *filler metal* selama proses pengelasan. Diketahui pada WM mengalami pembentukan butiran yang semakin besar dan dijumpai partikel berwarna hitam dan abu-abu yang menunjukkan adanya fasa β yang terbentuk atau struktur MgSi dan Al_3Mg_2 berbaur secara merata akibat adanya perubahan panas yang terjadi. Seperti pada 4.17. hingga Gambar 4.21 poin (c), menunjukkan terdapat penyebaran butiran berwarna gelap secara merata pada larutan padat aluminium. Pada WM memperlihatkan dengan jelas struktur berbentuk dendrit, mengacu pada penelitian Afifuddin dan Ilman (2021)

menjelaskan bahwa pada sambungan logam las memperlihatkan struktur mikro yang berwarna gelap berbentuk dendrit dan *equiaxed dendritic* yang menunjukkan fasa β sedangkan struktur dengan warna terang menunjukkan fasa α .

Secara garis besar, hasil penyebaran butir dan perubahan struktur dari BM ke WM seluruh spesimen uji memiliki kesamaan. Di samping itu, kemungkinan faktor yang mempengaruhi hasil pengujian struktur mikro adalah distribusi panas yang terjadi pada proses pengelasan serta faktor lain seperti lama waktu dalam proses pengetsaan yang dilakukan sebelum melakukan pengujian struktur mikro.

4.4 Fraktografi

Fraktografi merupakan ilmu metalurgi fisik yang mempelajari permukaan patahan. Sifat patah suatu bahan dapat diamati melalui pemeriksaan mikroskopik permukaan patah (Amin, 2017). Hasil pengujian yang dilakukan berupa hasil foto makro patahan uji tarik dan *scanning electron microsocopy* (SEM) untuk melihat permukaan patah dan mengidentifikasi jenis patahan yang terjadi. Spesimen uji SEM adalah hasil patahan pada daerah sambungan spesimen uji tarik yang telah dilakukan.

4.4.1. Hasil Fraktografi Makro Patahan Uji Tarik

Berdasarkan hasil pengujian tarik, dapat dilakukan analisis melalui hasil patahan spesimen uji guna mengidentifikasi jenis patahan yang terjadi. Selama proses pengujian tarik, spesimen uji diterapkan beban secara bertahap hingga spesimen mengalami kerusakan yaitu patah atau pecah seperti pada gambar berikut.



(a) Tampak atas



(b) Tampak samping



(c) Topografi patahan

Gambar 4. 22 Hasil patahan spesimen uji tarik

Berdasarkan hasil pada Gambar 4.22 (a) dan (b) patahan yang terjadi dapat mengidentifikasi mengenai sifat mekanik dari hasil sambungan pengelasan pada spesimen uji dengan variasi yang digunakan. Sifat mekanik patahan yang dimaksud yaitu patah getas dan patah ulet. Diketahui bahwa fraktur atau patahan yang terjadi pada 10 sampel uji tarik berada di daerah sambungan las dan hampir semua spesimen tidak menunjukkan adanya *necking* yang terbentuk secara signifikan. Patahan pada spesimen uji tarik variasi sudut *single V groove* 40°, 50°, 55°, dan 60° dengan ketebalan *root face* 2 mm (kode sampel R11 hingga R42) menunjukkan patah rapi, relatif tegak lurus dengan arah pembebanan, dan kemungkinan faktor penyebab terjadinya, akibat kecilnya deformasi plastis yang terjadi atau bahkan tidak mengalami deformasi plastis. Hasil tersebut diperjelas berdasarkan hasil penelitian Huda dkk. (2017; Setiaji, 2009) yang menyebutkan bahwa patahan uji tarik dengan karakteristik tidak atau sedikit mengalami deformasi plastis menunjukkan sebagai patahan getas yang berarti material tersebut lebih mudah rapuh dan *crack* secara tiba-tiba tanpa memberikan peringatan sebelumnya. Berbeda hal dengan spesimen variasi sudut 60° tanpa ketebalan *root face* (kode sampel R51 dan R52) yang menunjukkan patahan sedikit mengalami kemiringan atau tidak tegak lurus dengan arah pembebanan dan membentuk sudut mendekati 60° hingga 70° yang mengindikasikan sebagai patahan geser. Selaras dengan penelitian Afifuddin dan Ilman (2021) yang sama dengan hasil penelitian di atas bahwa patahan dengan pembentukan sudut mendekati 45° menandakan sebagai patahan geser yang umumnya terjadi pada material ulet. Ditinjau berdasarkan

analisis tersebut, telah diketahui sifat mekanik fraktur yang diperoleh berupa patah getas dan ulet.

Ditinjau berdasarkan pada Gambar 4.22. (c) diketahui hasil patahan sampel uji tarik, sesuai dengan hasil struktur mikro yang telah diuraikan sebelumnya, pada topografi patahan dijumpai diskontinuitas berupa *lack of penetration* yang divisualisasikan dengan butiran berwarna gelap yang mendeskripsikan terjadi penyambungan tidak sempurna sehingga terdapat bagian yang tidak tersambung dengan baik. Selain itu, terdapat lubang-lubang halus atau *porosity* yang memiliki pengaruh terhadap penurunan nilai kekuatan tarik. Diketahui topografi yang ditunjukkan pada Gambar 4.22. (c) pada sampel uji variasi sudut *single V groove* menunjukkan permukaan patahan terdapat diskontinuitas yang cukup banyak (kode sampel R11 hingga R42) serta terdapat butiran berwarna gelap (*lack of penetration*), hal tersebut mengidentifikasi sebagai patah getas, serta berdasarkan pada hasil kekuatan tarik memiliki nilai yang rendah, dibandingkan dengan material yang memiliki patah jenis ulet. Selain itu, diketahui pada patahan sudut *single V groove* 55° (kode sampel R31 dan R32) memiliki butiran gelap relatif lebih banyak dibandingkan dengan sudut *single V groove* 50° (kode sampel R21 dan R22) dan sesuai dengan hasil struktur mikro yang menunjukkan bahwa kekuatan mekanis pada sudut *single V groove* 50° lebih unggul dibandingkan dengan sudut 55° . Hal tersebut juga menjadi faktor yang mempengaruhi penurunan nilai kekuatan tarik yang terjadi pada sudut *single V groove* 55° karena *lack of penetration* yang terjadi relatif lebih banyak akibat dari persiapan pengelasan yang kurang baik serta pengaturan arus terlalu rendah yang dapat berdampak pada kualitas penetrasi elektroda selama proses pengelasan.

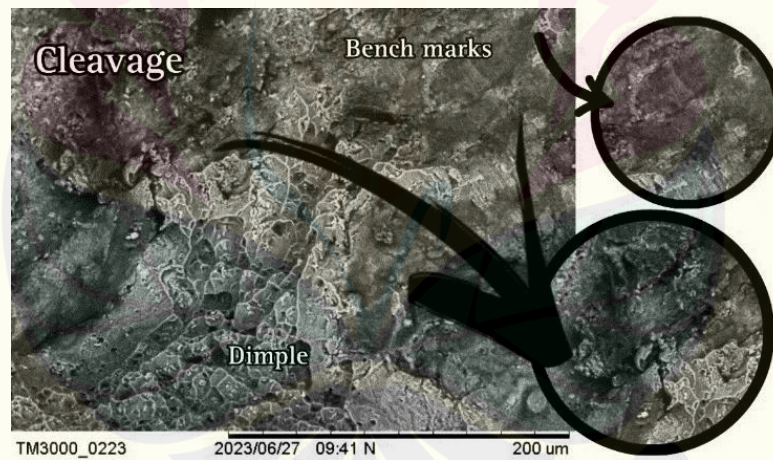
Pada sudut *single V groove* 60° ketebalan *root face* 0 mm (kode sampel R51 dan R52) mengacu pada hasil penelitian Laksono dkk., (2017) yang meneliti pengelasan GMAW aluminium 5083 variasi kuat arus dan debit *shielding gas*, sesuai dengan hasil penelitian diketahui jenis patahan tergolong cukup ulet, karena hasil butiran patahan dominan berwarna cerah, butiran gelap yang relatif sedikit serta permukaan *fibrous* dan terdapat permukaan dengan bentuk kerucut tajam. Hal tersebut menunjukkan terjadinya deformasi elastis sehingga pada patahan terbentuk

kontur akibat dari pembebanan tarik uniaksial. Patah yang menunjukkan lebih unggul sifat mekanisnya ditunjukkan pada kode sampel R52, hal tersebut sesuai dengan hasil pengujian tarik yang menunjukkan bahwa kode sampel R52 memiliki nilai kekuatan tarik paling tinggi dibandingkan dengan sampel lain.

4.4.2. Hasil *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Dari hasil analisis fraktografi melalui foto makro dapat dilakukan pengamatan lebih detail mengenai topografi fraktur spesimen uji menggunakan SEM guna melakukan validasi hasil analisa pengujian tarik, struktur mikro serta fraktografi makro yang telah dilakukan. Pada penelitian ini, pengamatan secara detail *surface* patahan hasil uji tarik dari variasi spesimen uji yang paling unggul yaitu variasi sudut *single V groove* 60° tanpa menggunakan *root face*. Adapun hasil foto SEM yang diamati diklasifikasikan menjadi tiga titik yakni daerah *cleavage*, *dimple* dan *porosity* sebagai berikut.

a. Daerah *Cleavage*

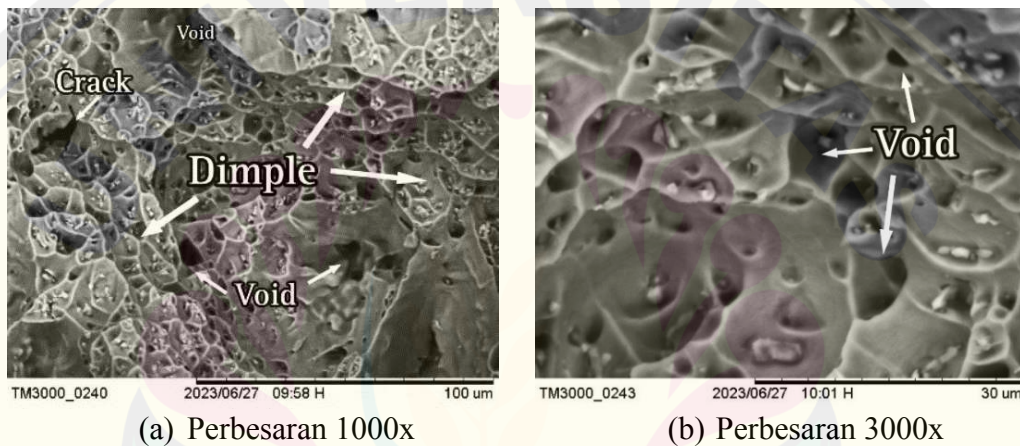


Gambar 4. 23 Hasil foto SEM daerah *cleavage* perbesaran 500x

Diketahui pada hasil foto SEM di atas, terdapat daerah yang menggambarkan *fibrous* atau serabut dan terdapat beberapa perambatan retak yang ditunjukkan. Sesuai dengan penelitian Amin (2017) daerah pada gambar di atas menunjukkan daerah *cleavage* yang merupakan tampilan fraktur transgranular atau lintas butiran. Dalam kondisi ini, patahan tergolong pada jenis patah getas yang umumnya diakibatkan oleh temperatur rendah. Hal tersebut selaras dengan hasil

struktur mikro dan makro fraktografi, juga parameter pengelasan yang digunakan, di mana arus pengelasan yang dipilih berdasarkan acuan WPS menggunakan rentang arus yang rendah yakni 125 hingga 175 A. Selain itu, pada gambar juga terdapat daerah *bench marks* yang memiliki ciri permukaan datar. Penelitian Amin (2017) mendefinisikan daerah *bench marks* sebagai karakteristik fraktografi yang ditemukan pada kerusakan lelah akibat pembebanan ulang (beban dinamis). Hal tersebut sesuai dengan data hasil pengujian tarik yang menunjukkan terdapat pembebanan yang tidak stabil seperti yang tergambar pada grafik tegangan dan regangan pada Gambar 4.6.

b. Daerah *dimple*

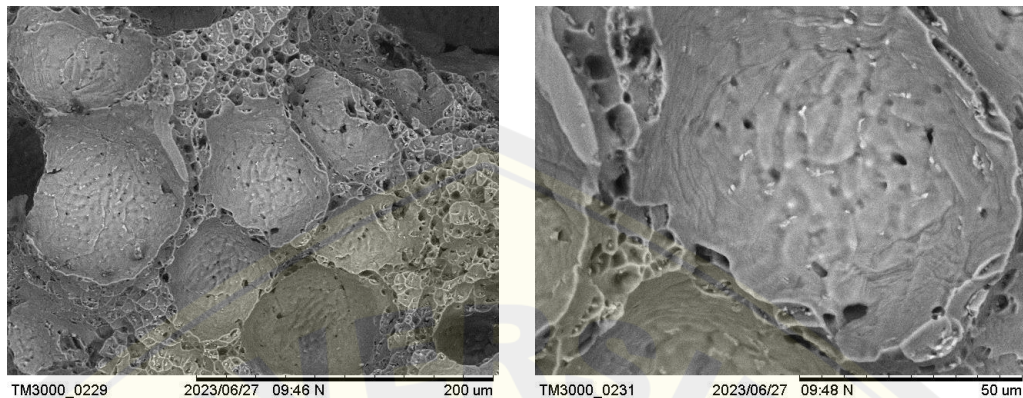


Gambar 4. 24 Hasil foto SEM daerah *dimple*

Pada gambar diketahui secara visual berbentuk cekungan yang rimbun seperti sarang laba-laba disebut sebagai daerah *dimple* yang merupakan indikator keuletan sambungan las spesimen uji sudut 60° ketebalan *root face* 0 mm. Didukung dengan teori penelitian yang digunakan oleh Kurniawan (2017), yang menyebutkan bahwa indikasi patah ulet memiliki ciri khas dengan terlihatnya *dimple* pada permukaan patahan akibat dari perambatan retakan mikro (*microvoids coalescence*). Berdasarkan hasil penelitian Amin (2017) diketahui bahwa *dimple* adalah penggabungan *void* (*void coalescence*) yang mana *void* terbentuk, tumbuh dan bersatu. Pada hasil SEM permukaan patahan, dapat diketahui perbedaan geometri dari tiap *dimple* yang disebabkan oleh distribusi atau jarak dari setiap partikel-partikel inklusi yang tidak merata. Sehingga jumlah *void* yang bergabung

membentuk *dimple* tidak selaras dan ukuran *void* tidak terbentuk sama besar pada tiap bagian permukaan patahan.

c. *Porosity*



(a) Perbesaran 500x

(b) Perbesaran 1500x

Gambar 4. 25 Hasil foto SEM daerah *porosity*

Berdasarkan hasil, diketahui secara kasat mata topografi patahan spesimen uji terdapat diskontinuitas las berupa *porosity* dan hal ini ditunjukkan lebih detail permukaan *porosity* seperti pada Gambar 4.25. dengan tampilan *porosity* berbentuk bulatan yang berongga seperti tempurung kelapa. Beberapa faktor penyebab *porosity* diantaranya ialah pengaruh dari pelat material tidak dibersihkan secara benar atau *filler wire* kotor, *filler metal* tidak tersimpan dengan baik dan terlalu oksidasi, busur yang tidak stabil, laju aliran *shielding gas* yang terlalu rendah, juga faktor sudut dan pengelasan yang salah (APSA, 2004).

Meninjau ulang hasil pengamatan fraktografi dengan SEM, disimpulkan bahwa patahan yang terjadi memiliki karakteristik dari patahan getas dan patahan ulet pada permukaan patahan, dan lebih cenderung pada ciri patahan ulet jika dibandingkan dengan patahan getas. Hal tersebut mendukung simpulan dari hasil pengujian uji tarik dan struktur mikro serta fraktografi makro yang bersinambungan dan menunjukkan bahwa spesimen uji dengan variasi sudut *single V groove* 60° ketebalan *root face* 0 mm pada pengelasan MIG pelat aluminium tebal 8 mm memiliki sifat mekanis yang lebih unggul dibandingkan dengan variasi lain yang digunakan pada penelitian ini.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang tertuang pada bab hasil dan pembahasan, dapat diambil kesimpulan dengan uraian sebagai berikut:

- a. Pada hasil pengelasan tiap variasi tidak ditemukan adanya indikasi diskontinuitas las yang fatal seperti *porosity*, *undercut*, *crack* maupun kebocoran las melalui hasil pemeriksaan visual dan *liquid penetrant test*. Sehingga pada hasil pengelasan *test coupons* dapat digunakan sebagai spesimen pengujian *destructive*.
- b. Nilai *ultimate tensile strength* rata-rata terbesar pada variasi sudut *single V groove* terjadi pada sudut 60° dengan nilai 252,65 N/mm², diikuti dengan sudut 50° sebesar 215,86 N/mm², sudut 55° senilai 213,99 N/mm² dan sudut 40° sebesar 185,23%. Pada perbandingan sudut 60° dengan ketebalan *root face* 0 mm memiliki nilai kekuatan tarik rata-rata 273,30 N/mm². Hasil *elongation* tertinggi ke terendah secara berturut-turut terjadi pada sudut 60°, 55°, 50°, 40° dengan nilai 11,20%; 7,74%; 6,77%; dan 5,50%. Serta pada sudut 60° tanpa *root face* sebesar 12%. Modulus elastisitas tertinggi terjadi secara berturut-turut pada sudut 40°, 50°, 55° dan 60° dengan nilai 5345,97 N/mm²; 5332,56 N/mm²; 5311,98 N/mm²; 4288,04 N/mm², serta pada sudut 60° dengan ketebalan *root face* 0 mm memiliki nilai modulus elastisitas 4028,44 N/mm².
- c. Berdasarkan variasi dapat diidentifikasi daerah BM, HAZ dan WM, serta diketahui fasa α dan β khususnya pada daerah WM. Pada sudut *single V groove* 60° dengan variasi ketebalan *root face* dijumpai daerah PMZ, juga *porosity* dan *lack of penetration* pada variasi sudut 40°, 50°, 55° yang berpengaruh terhadap penurunan nilai kekuatan tarik, dengan jumlah diskontinuitas relatif besar ke paling minimum secara berurutan terjadi pada sudut 40°, 55°, 50° dan 60°. Serta pada sudut 60° tanpa *root face* bentuk struktur dendrit yang terjadi terlihat lebih jelas dibandingkan variasi lain.

- d. Hasil pengamatan makro mengidentifikasi bahwa rata-rata hasil patahan pada variasi sudut *single V groove* menunjukkan patah getas karena memiliki patah rapi dan butiran gelap yang menunjukkan *lack of penetration*. Selain itu, dijumpai patahan dengan sifat cukup ulet pada sudut 60° tanpa *root face* dengan hasil patahan miring serta topografi patahan dominan berwarna cerah dan bekontur cukup tajam. Kemudian hasil variasi yang paling unggul yaitu sudut *single V groove* 60° tanpa *root face* dilakukan pengamatan topografi lebih detail melalui SEM dan diperoleh daerah *dimple* yang mendominasi menggambarkan jenis dari patah ulet,

5.2 Saran

Berdasarkan hasil diketahui kekurangan penelitian sehingga dapat dikemukakan saran sebagai bahan pertimbangan pada penelitian selanjutnya, agar hasil yang diperoleh lebih maksimal dalam melanjutkan penelitian ini dan diharapkan penelitian selanjutnya dapat lebih memberikan perbaikan positif .

- a. Penambahan variabel independen penelitian pendukung seperti variasi kuat arus, *heat input*, jarak *root opening*, jenis elektroda, ketebalan pelat dan lain sebagainya.
- b. Penambahan variabel dependen pada pengujian *non destructive* berupa *radiography testing* maupun *ultrasonic testing*. Serta pada pengujian merusak lainnya, seperti uji *impact*, uji bending dan *hardness*.
- c. Diperlukan uji simulasi melalui *ANSYS* atau *software* pendukung lainnya guna melakukan validasi hasil pengujian destruktif yang dilakukan.
- d. Diperlukan pengujian *energy dispersive x-ray spectroscopy* (EDS) pada uji SEM untuk mengetahui kandungan unsur dan bahan pada analisis patahan, juga perlu dilakukan pengujian SEM pada tiap daerah utama pengelasan.
- e. Pemastian segala instrumen penelitian khususnya pada instrumen pengelasan seperti *filler metal*, gas argon dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- American National Standard Institute. (1994). *Standard Welding Terms and Definitions*. AWS A3.0 Miami: American Welding Society.
- American National Standard Institute. (2003). *Structural Welding Code-Aluminum*. AWS D1.2. Miami: American Welding Society.
- American National Standard Institute. (2004). *Guide for Hull Welding Aluminum*. AWS D3.7. Miami: American Welding Society.
- Amin, A. (2017). Pengaruh Variasi Temperatur Interpass Terhadap Struktur Mikro dan Fraktografi Haz Hasil Pengelasan GMAW Metode Temper Bead Welding Pada Baja Karbon Sedang. *Al Jazari: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1(2).
- Ariefin, S. (2019). *Analisa Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V Dengan Metode Pengelasan Mig (Metal Inert Gas) Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Pada Spesimen Aluminium Tipe 5083* (Doctoral dissertation, University of Muhammadiyah Malang).
- Afifuddin, E., dan Ilman, M. N. (2021). Analisis Mikrostruktur dan Sifat Mekanis Sambungan Las Tak Sejenis Aluminium Paduan AA5083-H112/AA6061-T6.
- Arif, J., dan Koswara. (2021). Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V Terhadap Sifat Mekanis Pada Sambungan Las Aluminium 5083 Engine Girder Kapal Laut. *TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi dan Informatika*, 8(1), 54-62.
- Aluminium Federation of Southern Africa. (2004). *The welding of aluminium - MIG & TIG fusion: pocket guide*, 2nd edition. (www.afsa.org.za).
- Bailusi, M. R. (2023). *Pengaruh Variasi Arus Listrik Terhadap Uji Kekuatan Tarik dan Scanning Electron Microscope (SEM) Pada Pengelasan Pelat Logam Al 5083 Menggunakan Pengelasan GMAW* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Biro Klasifikasi Indonesia, (2022). *Rules for Classification and Surveys*. Volume 1. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Biro Klasifikasi Indonesia, (2022). *Rules for Welding*. Volume 6. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Cueca, F., Patarroyo, A., Rojas, F., Solano, E., Morales, A., dan Muñoz, R. (2012). Study of the weld ability of Aluminum Alloy 5083 H116 with Pulsed Arc GMAW (GMAW-P). *Ship Science and Technology*, 6(11), 43-56.
- Endramawan, T., Haris, E., Dionisius, F., dan Prinka, Y. (2017). Aplikasi Non Destructive Test Penetrant Testing (Ndt-Pt) Untuk Analisis Hasil Pengelasan Smaw 3g Butt Joint. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 3(2).
- Huda, M. H., Jokosisworo, S., dan Yudo, H. (2017). Analisa Pengaruh Pengelasan TIG Dan MIG Terhadap Kekuatan Tarik Dan Bending Pada Sambungan Pelat Aluminium 5083. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, 14(1), 14-20.
- Hidayat, A., Junaidi, A., Mudiantoro, S., dan Winarto, W. (2020), September. Fracture Toughness and Microstructure of Gas Metal Arc Welded Plates of Aluminium Alloy 5083 Using Different Filler Wires and Heat Inputs. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 924, No. 1, p. 012017). IOP Publishing.

- International Association of Classification Societies. (2007), December. IACS Recommendation No. 20 "Non-destructive testing of ship hull steel welds".
- Jamasri dan Sulardjaka. (2020). *Pengelasan Paduan Aluminium*. UGM PRESS.
- Kurniawan, R. T., Wibisono, A. T., dan Noerochim, L. (2017). Analisis Kegagalan Komponen Spring Rod dalam Spring Suspension Assembly pada Coal Mill Tuban I PT. Semen Indonesia Tbk. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), F376-F380.
- Ketaren, L. P., Budiarto, U., dan Santosa, A. W. B., (2019). Analisa Pengaruh Variasi Kampuh Las dan Arus Listrik Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Sambungan Las GMAW (Gas Metal ARC Welding) Pada Aluminium 6061. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(4).
- Laksono, W. A. S., Solichin, S., dan Yoto, Y. (2017). Analisis Kekuatan Tarik Aluminium 5083 Hasil Pengelasan Gmaw Posisi 1G dengan Variasi Kuat Arus dan Debit Aliran Gas Pelindung. *Teknologi dan Kejuruan: Jurnal teknologi, Kejuruan dan Pengajarannya*, 40(1), 21-30.
- Mufti, M. A. A., Budiarto, U., dan Hadi, E. S. (2021). Analisis Pengaruh Variasi Sudut Kampuh Single V dan Variasi Posisi Las dengan Sambungan MIG pada Aluminium 6061 terhadap Kekuatan Impak sebagai Material Kapal. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 9(1), 23-31.
- Naufal, A., Jokosisworo, S., dan Samuel, S. (2016). Pengaruh Kuat Arus Listrik Dan Sudut Kampuh V Terhadap Kekuatan Tarik Dan Tekuk Aluminium 5083 Pengelasan GTAW. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(1).
- Nugroho, A.W., Hartanto, S., Nugroho, M.A.E. dan Himarosa, R.A., (2022). Pengaruh Sudut Kampuh V Tunggal terhadap Sifat Mekanis Sambungan Las SMAW pada Pipa Baja Karbon API 5L X46. *Semesta Teknika*, 25(2), pp.188-200.
- Nowacki, J., & Rybicki, P. (2005). The influence of welding heat input on submerged arc welded duplex steel joints imperfections. *Journal of Materials Processing Technology*, 164, 1082-1088.
- Pranata, M. S., Santosa, A. W. B., dan Iqbal, M. (2020). Perbandingan Kekuatan Tarik dan Kekuatan Kekerasan Las GMAW dan GTAW Terhadap Material Aluminium 6061 Dengan Variasi Arus Pengelasan. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 9(1), 59-69.
- Riyadi, M. R. (2019). Pengaruh RPM dan Diameter Pin Tool Terhadap Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi Hasil Pengelasan Friction Stir Welding (FSW) Single Side Pada Aluminium 5083. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(4).
- Syahroni, N., Winando, S. S., dan Mulyadi, Y. (2021). Influence Analysis of Shielding Gas Flow Rate and Purity Level Variation on GMAW Welding Process to Microstructure of Alumunium 5083. *International Journal of Offshore and Coastal Engineering (IJOCE)*, 5(1), 18-22.
- Saputro, F. C. (2022). *Analisa Cacat Distorsi Dan Porositas Pada Sambungan Butt Joint Pada Aluminium AA 5083* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta).
- Setia, C. D., dan Pranatal, E. (2022). Analisa Cacat Pengelasan Smaw pada Posisi 2G pada Baja Material a36 Dengan Variasi Arus dan Sudut Pengelasan. *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan (SEMATAN)*, 1(1), 257-263.

- Meryanalinda, Sohib, M. dan Habibullah, A., (2021). Analisis Variasi Sudut Kampuh V Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las Baja ASTM A36. *Wahana Teknik*, 10(1), pp.49-58.
- The American Society for Testing and Materials. *Standard Test Method for Macroetching Metal and Alloys*. E340-95. USA: ASTM
- The American Society for Testing and Materials. *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*. E407-07. USA: ASTM
- The Materials Information Company. (1990). *ASM Handbook. Properties and Selection: Non-ferrous Alloy and Special-Purpose Materials*. Volume 2. ASM International
- The Materials Information Company. (1992). *ASM Handbook. Alloy Phase Diagrams*. Volume 3. ASM International
- The American Society of Mechanical Engineers. (2019). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code an International Code*. Section IX. New York: ASME
- Trisdyanto, G., dan Choifin, M. (2019). Analisa Pengaruh Variasi Multiple Repair Dan Tanpa Repair Pada Pengelasan Fcaw Baja Karbon Jis G3106 Sm 490 Yb Terhadap Sifat Mekanik. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 2(2), 153-162.
- Wirjosumarto, H., dan Okumura, T. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Yuwono, A. H. (2009). buku panduan praktikum karakterisasi material 1 pengujian merusak (destructive testing). *Jakarta: Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia*.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1. [Sertifikat Pelat dan Gas Argon](#)



Lampiran 2. [Data Pendukung Hasil Pengujian Tarik](#)



Lampiran 3. [Dokumentasi Penelitian](#)

