



JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Perbandingan Kekuatan Tarik dan Kekuatan Kekerasan Las GMAW dan GTAW Terhadap Material Aluminium 6061 Dengan Variasi Arus Pengelasan

Muhammad Satya Pranata¹⁾, Ari Wibawa Budi Santosa¹⁾ Muhammad Iqbal¹⁾

¹⁾Laboratorium Material

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*)}e-mail : satya.pranata21@gmail.com

Abstrak

Efisiensi dalam dunia industri sangatlah diperlukan, termasuk dalam dunia perkapalan. Material kapal adalah salah satu aspek vital dalam pembangunan kapal yang baik. Aluminium 6061 sudah tidak asing lagi dalam penggunaannya sebagai material kapal, dengan pengelasan yang tepat material kapal dapat tersambung dengan baik. Pengelasan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) dan Gas Metal Arc Welding (GMAW) adalah pilihan yang dapat digunakan dalam pengelasan aluminium 6061. Pengujian ini bermaksud untuk mengetahui berapa besaran nilai dari kekuatan tarik dan kekuatan kekerasan aluminium 6061 yang dilas menggunakan las GTAW dan GMAW menggunakan elektroda ER4043 dengan kampuh single bevel butt serta variasi arus sebesar 155 Amp, 165 Amp, dan 175 Amp. Hasil yang diperoleh dari pengujian ini adalah bahwa dengan arus, kampuh dan elektroda yang sama, pengelasan GMAW menghasilkan rata-rata nilai maksimal yang lebih baik jika dibandingkan dengan pengelasan GTAW dibuktikan dari rata-rata nilai tegangan tarik GMAW yang memperoleh nilai sebesar 170,13 pada arus 165 Amp, sementara untuk rata-rata nilai tegangan tarik GTAW hanya memperoleh nilai tegangan tarik sebesar 132,70 Mpa pada arus 155 Amp. Begitupun dengan nilai kekerasan Vickers, pengelasan GMAW mendapat rata-rata nilai sebesar 78,17 VHN pada arus 165 Amp, sedangkan pengelasan GTAW mendapat rata-rata nilai sebesar 55,65 pada arus 165 Amp. Pengelasan dengan arus 165 Amp memiliki kekuatan tarik dan kekerasan lebih baik diantara arus 155 Amp dan 175 Amp pada pengelasan GMAW.

Kata Kunci : Aluminium 6061, GTAW, GMAW, Uji Tarik, Uji Kekerasan Vicker, Variasi Arus

1. PENDAHULUAN

Teknologi pengelasan merupakan unsur yang sangat vital dalam kaitannya dengan struktur teknologi industri. Pada dasarnya, pengelasan dapat didefinisikan menyambung logam dengan proses memanaskan logam hingga mencair, dimana dalam logam kerja yang melebur akan bersatu dengan media logam tambahan sehingga terbentuklah suatu sambungan.[1]

Welding atau yang biasa disebut pengelasan adalah dalam sebuah teknologi penyambungan material dalam pembangunan infrastruktur, yang merupakan salah satu keperluan yang utama. Manfaatnya yang bisa untuk menyambung suatu material memberikan kegunaan yang besar, yaitu pekerjaan menjadi lebih cepat dan mudah. Karena terbatasnya bentuk geometri pada suatu bagian infrastruktur tersebut tidak lagi menjadi halangan

jika material tersebut memiliki potensi untuk dilakukan penyambungan.[2]

Ambang batas tertinggi dari nilai stres yang dapat mengakibatkan kerusakan dari kekuatan material tersebut biasanya dinamakan sebagai batas akhir pembebanan kekuatan tarik, atau batas *yield stress*. [3]

Aluminium alloy 6061 adalah perpaduan dari kelompok 6xxx yang kerap kali dimanfaatkan dalam industri perkapalan. Paduan ini tergolong dalam paduan yang memiliki ketahanan terhadap panas. Setelah aluminium, magnesium, dan silicon merupakan komposisi utama dari material ini.

Dalam pembuatan kapal kapal cepat utamanya dibagian lambung, terdapat banyak jenis aluminium yang biasa digunakan, namun berdasarkan *rules* BKI, Aluminium yang akan digunakan sebagai bahan plat pada lambung kapal diharuskan memiliki kekuatan tarik aluminium

(*tensile strength*) 310 MPa (*Vol.5 Rules for Material 2016 sec.4*)

Aluminium alloy 6061 merupakan suatu material logam perpaduan antara magnesium dan silikon. Material ini biasanya digunakan untuk struktur dan lambung kapal ini memiliki berbagai macam unsur seperti Silikon (Si) = 0,65%, Besi (Fe) = 0,26%, Tembaga (Cu) = 0,18%, Mangan (Mn) = 0,07%, Magnesium (Mg) = 1 %, Zinc (Zn) = 0,11 %, Chromium (Cr) = 0,05%, dan Titanium (Ti) = 0,07%.

Besaran arus yang digunakan saat pengelasan dapat berpengaruh dalam proses pengelasan, pada penelitian kali ini besaran variasi arus yang digunakan adalah 155 Amp, 165 Amp, dan 175 Amp menggunakan kampuh *single bevel butt* serta tipe pengelasan yang digunakan adalah GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) dan GMAW (Gas Metal Arc Welding)

Merujuk kepada hasil tugas akhir yang pernah diujikan yaitu Pengujian tarik pada sambungan las Aluminium 6061 menggunakan posisi 2G (Horizontal) dan 3G (Vertical) menggunakan kampuh V dan U didapati kekuatan rata-rata tegangan tarik maksimum yang dihasilkan dari sambungan MIG berposisi 3G menggunakan kampuh V memiliki regangan sebesar 20,84% dan modulus elastisitas sebesar 8,02 GPa.[4]

Pada penelitian yang pernah dilakukan juga pada pengujian tarik dan struktur Mikrografi pada sambungan las aluminium 6061 menggunakan kampuh V dan X serta variasi arus listrik 180 Amp, 200 Amp, dan 220 Amp adalah sebagai berikut: Kekuatan rata-rata tegangan tarik maksimum yang di hasilkan dari sambungan las GMAW (Gas Metal ARC Welding) dengan kampuh V saat arus 200 ampere mempunyai standar tegangan sebesar 142.61 MPa, standar regangan sebesar 29.6 %, dan modulus elastisitas sebesar 7.304 GPa. Aluminium 6061 dengan jenis kampuh X dengan pengelasan GMAW saat arus 180 ampere mempuntai standar tegangan sebesar 139.005 MPa, standar regangan sebesar 12.38 %, dan modulus elastisitas sebesar 11.235 GPa. [5]

Kemudian pada penelitian dengan pengujian impak aluminium 6061 dengan jenis pengelasan *Double Sided Friction Stir Welding* ditambah variasi tool *tilt angle* didapati bahwa pengujian mendapatkan hasil yang berbeda dalam setiap pengujian spesimennya. Harga rata-rata terbesar pada pengujian impak dengan *tool tilt angle* (3°) yaitu sebesar 0,14 J/mm² dan harga *small average* pengujian impak melalui *tool tilt angle* (4°) yaitu sebesar 0,11 J/mm². [6]

Penelitian selanjutnya menggunakan las dengan metode *bypass* TIG-MIG pada Aluminium

6061 dengan bahan pengisi (*filler*) ER4043 dengan kampuh V 70°. Variasi arus yang digunakan dalam penelitian ini adalah 100 Amp, 115 Amp, dan 130 Amp, Berdasarkan uji tarik diperoleh nilai tegangan tarik sebesar 80,9 MPa pada arus 100 Amp, 84,9 MPa pada variasi arus 115 Amp dan kekuatan tarik tertinggi 86,7 MPa pada arus 130 Amp. Jadi dapat disimpulkan semakin tinggi arus yang digunakan maka semakin baik struktur mikro dan kekuatan tarik yang dihasilkan.[7]

Pada penelitian berikutnya menggunakan las MIG dengan sambungan las jenis *single v butt joint* 60° dengan perbedaan posisi pengelasan pada Aluminium 5083. Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa posisi pengelasan cukup berpengaruh terhadap hasil kekuatan dari sambungan las. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tegangan tarik rata-rata terbesar didapat pada pengelasan dengan posisi 1G sebesar 194,54 MPa, sedangkan regangan rata-rata terbesar didapat pada pengelasan dengan posisi 3G sebesar 21,01 %, sedangkan modulus elastisitas rata-rata terbesar didapat pada pengelasan posisi 1G sebesar 11,62 GPa.[8]

Kemudian pada penelitian berikutnya proses pengelasan menggunakan las TIG dan mengevaluasi pengaruh input parameter kekuatan tarik 5083 spesimen paduan Al dengan dimensi panjang 100mm x lebar 15mm x tebal 5mm. Pengelasan arus (I), laju aliran gas (G) dan kecepatan pengelasan (S) adalah input parameter yang mempengaruhi kekuatan tarik 5083 paduan Al yang dilas sendi. Saat kecepatan pengelasan meningkat, kekuatan tarik meningkat terlebih dahulu nilai optimal dan setelah itu keduanya menurun dengan meningkatkan pengelasan mempercepat lebih jauh. Hasil penelitian menunjukkan tarik maksimum kekuatan sambungan las 129 MPa [9]

Dalam penelitian berikutnya, sifat mekanik, mekanisme kegagalan, dan fitur mikrostruktur pelat paduan aluminium 6061-T6 dan 6061-T4 yang dilas dengan las busur logam gas dalam mode transfer logam berdenyut dianalisis. Sampel diserahkan ke perlakuan awal panas standar pelarutan pada 350° C (T4) yang mengungkapkan adanya endapan β -fasa (Al, Mg, Si) yang terlarut dalam matriks aluminium. Ukuran endapan bertambah dari 3,58 menjadi 4,12 μm setelah pelarutan, sedangkan fraksi volumetrik meningkat dari 2,35 menjadi 2,97% dan kekerasan Rockwell menurun dari 82 HR15T menjadi 61 HR15T sebagai akibat dari proses pretreatment. Setelah pengelasan, sifat mekanik terbaik pada kekuatan tarik ditemukan pada sampel 6061-T4 yaitu mencapai 117,48 MPa, berbeda dengan sampel

6061-T6 yang diproses dengan kondisi serupa yang mencapai 73,57 MPa. [10]

Penelitian berikutnya dilakukan upaya untuk menggabungkan paduan aluminium yang dapat diolah panas (AA 6061) dan *non-heat treatmentable* (AA 5086) dengan proses *friction stir welding* (FSW) menggunakan tiga profil pin pahat yang berbeda seperti silinder lurus, silinder lancip dan silinder berulir. Dari penelitian ini ditemukan bahwa penggunaan profil pin berulir berkontribusi pada aliran material yang lebih baik antara dua paduan dan pembentukan zona pengadukan bebas cacat. Selain itu juga diperoleh nilai kekerasan yang lebih tinggi yaitu 83 HV pada zona pengadukan dan kekuatan tarik yang lebih tinggi yaitu 169 MPa dibandingkan dengan dua profil lainnya. [11]

Selanjutnya, penelitian paduan titanium Ti6Al4V dan paduan aluminium 6061 sambungan material yang berbeda dibuat dengan metode *friction stir welding* (FSW). Pengaruh parameter pengelasan, termasuk posisi pin pengaduk, kecepatan putar dan kecepatan gerak pahat, pada antarmuka dan properti sambungan diselidiki. Ketika parameter pengelasan sesuai, sambungan retak di zona termo-mekanis terpengaruh (TMAZ) dan zona terpengaruh panas (HAZ) dari paduan aluminium dan kekuatan sambungan bisa mencapai 215 MPa, 68% dari bahan dasar aluminium kekuatan, serta sambungan bisa menahan deformasi plastik besar.[12]

Penelitian berikutnya adalah hibrida transfer logam dingin laser serat (CMT) pengelasan lembaran tipis paduan aluminium AA6061. Mikrostruktur dianalisis dengan optic mikroskop, mikroskop elektron scanning, dan spektrometri dispersif energi. Kekuatan tarik las silang dan kekerasan diuji untuk mengevaluasi sifat mekanik sambungan las. Sambungan yang diterima dengan mikrostruktur yang lebih halus dan bebas dari cacat diperoleh. Pengujian tarik menghasilkan kekuatan mencapai 223 MPa, 10% lebih kuat dari sambungan las hibrid laser-pulse metal inert gas (PMIG).[13]

Pada penelitian sebelumnya Jenis kampuh *single bevel butt* yang belum ada yang memakai jenis kampuh tersebut, didalam penelitian ini penulis ingin mengetahui apakah penggunaan kampuh *single bevel butt* dapat memenuhi standar tarik dan kekerasan yang ditentukan dirules, dan variasi arus yang digunakan yaitu 155 Amp, 165 Amp,dan 175 Amp.

Las GMAW bisa digunakan otomatis maupun semi otomatis karena memiliki arus searah dengan kemampuan polaritas balik yang baik. Kawat elektroda (*Filler*) yang digunakan berdiameter 1,0

mm – 2,4 mm. Sedangkan untuk pengelasan dengan material aluminium atau non logam yang sangat tebal, *filler* yang digunakan berdiameter 3,2 mm-6,4 mm.[7]

Pada penelitian kali ini penulis bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik terhadap pengaruh Arus pengelasan dengan kampuh jenis *Single Bevel Butt* pada las GTAW dan GMAW pada Aluminium 6061 dengan variasi arus sebesar 155 Amp, 165 Amp, 175 Amp dan juga ingin mengetahui kekuatan kekerasan terhadap pengaruh Arus pengelasan dengan kampuh jenis *Single Bevel Butt* pada las GTAW dan GMAW pada Aluminium 6061 dengan variasi arus sebesar 155 Amp, 165 Amp,dan 175 Amp

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini, beberapa alat dan bahan yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

Bahan :

1. Aluminium 6061
2. Elektroda ER 4043

Alat :

1. Mesin gerinda
2. Mesin las GTAW
3. Mesin las GMAW
4. Mesin uji tarik
5. Mesin uji kekerasan *Vickers*
6. Jangka soring atau penggaris

Tabel 1. Aluminium 6061

No	Aluminium 6061	
1	<i>Poisson's Ratio</i>	0,33
2	<i>Modulus Of Elasticity</i>	68,9 GPa
3	<i>Density</i>	2700 kg/m ³
4	<i>Yield Stress</i>	276 MPa
5	<i>Elongation at Break</i>	12%
6	<i>Fatigue Strength</i>	96,5 MPa
7	<i>Tensile Strength</i>	324 MPa



Gambar 1. Pelat Aluminium 6061

Aluminium 6061 merupakan suatu material logam perpaduan antara magnesium dan silikon. Aluminium 6061 memiliki kekuatan tarik hingga 324 MPa. Material yang biasanya digunakan untuk struktur dan lambung kapal.

Aluminium 6061 adalah jenis aluminium dengan paduan antara Al- Mg-Si, dengan paduan tersebut dapat dikeraskan dengan penuaan setelah proses pelarutan. Aluminium ini termasuk banyak dipilih karena memiliki kekuatan yang baik dalam hal berat, keuletan yang baik, tahan korosi dan juga ketahanan retak.[8]

Elektroda atau *Filler* yang digunakan adalah elektroda berjenis ER 4043. Elektroda ER 4043 adalah paduan Aluminium umum yang biasanya dipilih karena mempunyai kekuatan yang baik. Selain itu, ER 4043 juga memiliki ketahanan korosi yang sangat baik. Elektroda dengan jenis ini cocok digunakan pada sambungan Aluminium berseri 3003, 3004, 5052, 6061 dan 6063. [14]

2.2 Cara Penelitian

2.2.1 Pembuatan Spesimen

Membuat spesimen untuk pengujian dengan cara memotong material plat dan pembersihan tempat pengelasan. Pertama-tama Aluminium 6061 dibevel menggunakan jenis kampuh *Single Bevel Butt* dan menyiapkan material Aluminium 6061 tanpa perlakuan las. Material dibevel dengan dimensi bevel menggunakan standar ISO 9692 *Weld Joint Preparation*.

Kampuh las adalah bagian dari logam utama yang akan melalui proses pengelasan yang bagian tersebut akan diisi oleh logam las atau filler. Sebelumnya workpieces akan dibuat lubang seperti kubangan yang selanjutnya akan diisi dengan logam las.[15]

Material thickness t mm	Type of preparation	Symbol (in accordance with ISO 2553)	Cross-section	Dimensions		
				Angle ^a α, β	Gap ^b b mm	Thickness of root face c mm
$3 \leq t \leq 30$	Single-bevel preparation			$35^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$	$1 \leq b \leq 4$	≤ 2

Gambar 2. Dimensi Kampuh

2.2.2 Pengelasan Spesimen

Setelah Aluminium dibevel, kemudian dilakukan proses pengelasan dengan *GMAW* dan *GTAW* menggunakan elektroda atau *Filler* berjenis ER 4043 dan menggunakan volume alir gas Argon dan Carbon : 19 L / menit, serta berbagai

variasi arus sebesar 155 Amp, 165 Amp dan 175 Amp.

Jumlah arus pengelasan tergantung pada bahan, ukuran pengelasan, geometri koneksi, posisi pengelasan, jenis elektroda dan diameter inti elektroda. Dalam kasus di mana area pengelasan memiliki kapasitas panas yang tinggi, tentu saja dibutuhkan arus pengelasan yang besar. Untuk menghindari pembakaran elemen paduan pada pelat tipis, arus pengelasan kecil harus digunakan.[16]

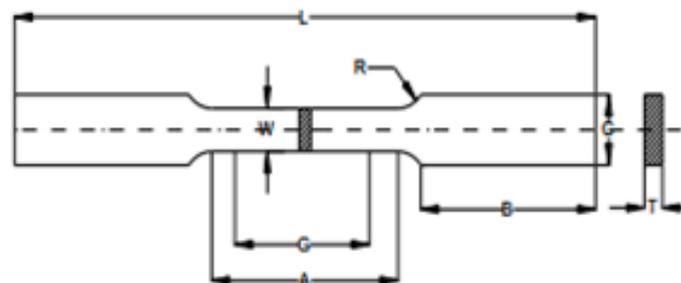
Pada penelitian kali ini menggunakan posisi las *downhand*, Posisi yang dilakukan apabila *workpieces* ada di atas bidang lurus dan proses las di bawah tangan. Posisi ini sering diambil oleh welder karena mudah untuk dioperasikan di lapangan dan menghasilkan sambungan yang berkualitas baik.[7]



Gambar 3. Aluminium 6061 Setelah Dilakukan Pengelasan

2.2.3 Pembentukan Spesimen

Pembuatan spesimen uji tarik menggunakan mesin bentuk sesuai dengan standar spesimen uji tarik .

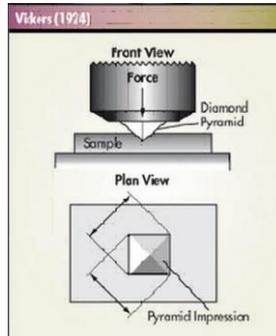


Gambar 4. Dimensi Spesimen Uji Tarik

Tabel 1. Dimensi Spesimen Uji Tarik

Keterangan	Panjang
G	20 mm
A	57 mm

W	12,5 mm
T	10 mm
R	12,5 mm
L	200 mm
C	20 mm
B	50 mm



Gambar 5. Bentuk Spesimen Uji Kekerasan Vickers

Tabel 2. Dimensi Spesimen Uji Kekerasan

Keterangan	Panjang
Panjang	100 mm
Lebar	30 mm
Tebal	10 mm

2.2.4 Pengujian Spesimen

1. Uji Tarik

Uji Tarik adalah salah satu cara pengujian yang dapat memberi informasi terkait sifat-sifat dari bahan yang kita inginkan. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera tahu bagaimana bahan tersebut dapat bereaksi terhadap tenaga tarikan dan memberi informasi seberapa panjang material itu bertambah. Alat yang digunakan untuk melakukan eksperimen uji tarik ini haruslah memiliki genggamannya (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*). [17]

Pengujian tarik merupakan suatu pengujian bahan yang bersifat merusak bahan. Bahan akan diberikan gaya tarik yang berlawanan dengan menggunakan mesin yang mengarahkan benda tersebut menjauh dari titik tengah. Hasil-hasil dari uji tarik di antaranya adalah sebagai berikut :

Pertama Tegangan tarik merupakan perbandingan antara beban maksimum bahan yang diuji dengan luas penampang bahan tersebut. Tegangan tarik dapat dinyatakan dengan rumus :

$$\text{Max} = \frac{P \text{ max}}{\text{Lebar} \times \text{Tebal}} \quad (1)$$

Selanjutnya adalah regangan tarik. Dapat diartikan bawah regangan tarik adalah

perbandingan antara besar pertambahan panjang suatu material dengan panjang awal material tersebut. Regangan tarik dapat dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

$$e = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (3)$$

Dengan keterangan sebagai berikut: e adalah Regangan (dalam %), ΔL adalah selisih panjang setelah patah dengan panjang awal *gage length*, L_f adalah panjang *gage length* setelah patah sedangkan L_0 adalah panjang awal *gage length*.

Modulus elastisitas merupakan nilai untuk menghitung ketahanan suatu material untuk mengalami deformasi setelah material diberi gaya. Modulus elastisitas atau biasa disebut modulus young ini didapat setelah material mendapatkan tegangan dan regangan. Rumus untuk modulus elastisitas adalah sebagai berikut :

$$E = \frac{\sigma}{e} \quad (4)$$

Dengan keterangan sebagai berikut: E adalah nilai modulus elastisitas material (GPa), σ adalah nilai tegangan luluh material (N/mm²), sementara e adalah nilai regangan luluh material (%)

2. Uji Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan merupakan salah satu pengujian material yang bersifat merusak material tersebut. Pengujian dengan metode *Vickers* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam yaitu daya tahan material terhadap indenter intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri berbentuk piramida. Alat uji kekerasan yang digunakan adalah *hardness test*.

Uji kekerasan vickers menggunakan indenter piramida intan, besar sudut antar permukaan piramida intan yang saling berhadapan adalah 136 derajat . Ada dua rentang kekuatan yang berbeda, yaitu *micro* (10g – 1000g) dan *macro* (1kg – 100kg). [18]

2.2.5 Lokasi Penelitian

Pengelasan GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) dan GMAW (Gas Metal Arc Welding) aluminium 6061 akan dilakukan di *Inlastek Welding Institute*, Surakarta. Setelah pengelasan selesai, aluminium 6061 akan dibawa ke Laboraturim Bahan Uji Sekolah Vokasi Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta untuk pembuatan spesimen uji sekaligus pengujian tarik dan kekerasan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Uji Tarik

Uji tarik dilaksanakan di Laboraturim Bahan Uji Sekolah Vokasi Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta pada tanggal 27 Juli 2020. Pada penelitian ini, uji tarik menghasilkan data-data seperti tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas dari aluminium 6061 setelah dilas GMAW dan GTAW serta diberi variasi arus. Pengujian tarik tersebut menggunakan standar ASTM E8.



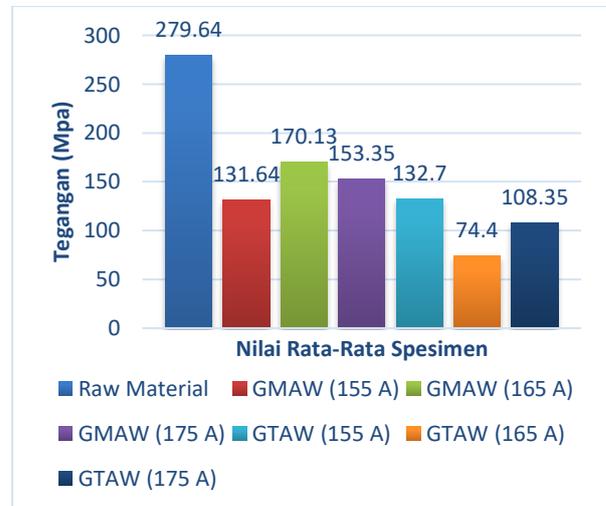
Gambar 6. Spesimen Uji Tarik

Tegangan Tarik

Tabel 3. Data Hasil Uji Tegangan Tarik

Spesimen	σ_{max} (N/mm ²)	σ rata-rata (N/mm ²)
Raw Material	279,11	279,64
	279,99	
	280,55	
	278,92	
GMAW (155 Amp)	171,95	131,60
	87,57	
	138,85	
	127,03	
GMAW (165 Amp)	156,86	170,13
	190,56	
	184,92	
	148,16	
GMAW (175 Amp)	175,57	153,35
	172,76	
	179,57	
	85,48	
GTAW (155 Amp)	101,67	132,70
	134,21	
	138,06	
	156,86	

GTAW (165 Amp)	70,58	74,40
	90,96	
	72,99	
GTAW (175 Amp)	63,09	108,35
	124,11	
	102,48	
	113,36	
	93,46	



Gambar 7. Diagram Nilai Rata-Rata Tegangan Tarik

Data dari pengujian menunjukkan bahwa pengelasan GMAW dengan arus 165 Amp mencapai angka tegangan tarik terbesar yaitu 170,13 MPa. Selain itu, seluruh pengelasan dengan GMAW juga memiliki angka lebih tinggi daripada pengelasan GTAW, ini menunjukkan besaran arus tersebut dan kampuh *single bevel butt* lebih cocok dan kuat pada pengelasan GMAW, sementara itu untuk rata-rata nilai tegangan tarik pada *raw material* sebesar 279,64 MPa.

Regangan Tarik

Tabel 4. Data Hasil Uji Regangan Tarik

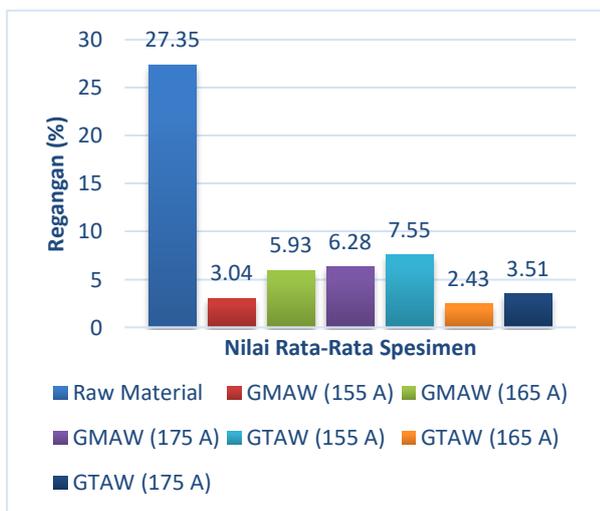
Spesimen	Regangan (%)	Regangan rata-rata (%)
Raw Material	15,98	20,29
	20,32	
	25,73	
	19,12	
GMAW (155 Amp)	5,24	3,04
	1,96	
	2,54	
	2,40	
	5,38	
	5,93	

GMAW (165 Amp)	10,20	
	5,20	
	2,94	
GMAW (175 Amp)	6,09	6,28
	4,93	
	12,07	
GTAW (155 Amp)	2,02	
	3,29	7,55
	5,50	
	5,38	
	16,06	
GTAW (165 Amp)	2,66	2,43
	3,20	
	2,38	
	1,47	
GTAW (175 Amp)	4,72	3,51
	3,07	
	3,55	
	2,71	

Modulus Elastisitas

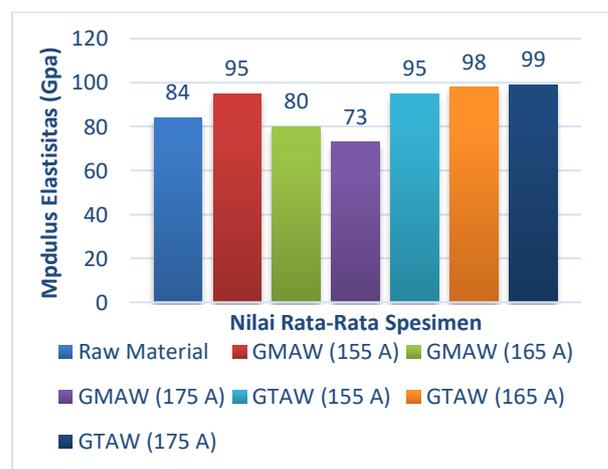
Tabel 5. Data Hasil Uji Modulus Elastisitas

Spesimen	E (GPa)	E Rata-rata (GPa)
Raw Material	66.45	74
	66.43	
	87.10	
GMAW (155 Amp)	74.18	95
	86.17	
	89.16	
GMAW (165 Amp)	109.16	80
	95.16	
	37.63	
GMAW (165 Amp)	99.85	80
	69.78	
	113.46	
GMAW (175 Amp)	81.21	73
	85.02	
	50.73	
GTAW (155 Amp)	76.00	95
	108.23	
	66.49	
GTAW (155 Amp)	93.38	95
	112.06	
	132.80	
GTAW (165 Amp)	85.16	98
	61.23	
	171.30	
GTAW (175 Amp)	95.13	99
	116.82	
	81.99	
	103.45	



Gambar 8. Diagram Nilai Rata-Rata Regangan Tarik

Data dari pengujian tersebut dapat dilihat bahwa pengelasan GTAW dengan arus 155 Amp memperoleh regangan sebesar 7,55%. Namun jika rata-ratakan dari seluruh pengelasan GMAW mendapatkan nilai yang lebih besar dari pengelasan GTAW. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa pengelasan GMAW memperoleh nilai regangan yang lebih besar daripada pengelasan GTAW jika dilihat dari rata-rata kedua metode pengelasan, kemudian daripada itu untuk nilai rata-rata regangan tarik pada *raw material* sebesar 20.23%.



Gambar 9. Diagram Nilai Rata-Rata Modulus Elastisitas

Modulus Elastisitas

Dapat dilihat pada data pengujian diatas, modulus elastisitas terbesar terdapat pada pengelasan GTAW dengan arus sebesar 155 Amp dengan nilai modulus elastisitas sebesar 99 GPa. Menurut hasil pengujian, jika seluruh pengujian GTAW dirata-ratakan maka memperoleh nilai modulus elastisitas yang lebih besar dibandingkan dengan rata-rata seluruh nilai modulus elastisitas pengelasan GMAW, serta untuk rata-rata nilai modulus elastisitas yang didapatkan oleh *raw material* sebesar 74 GPa. Modulus Elastisitas pada spesimen las menjadi lebih besar pada raw material karena menggunakan tegangan luluh dan regangan luluh pada saat perhitungan.

3.2 Uji Kekerasan Vickers

Uji kekerasan metode *Vickers* dilakukan di Laboraturim Bahan Uji Sekolah Vokasi Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta pada tanggal 29 Juli 2020. Uji ini menggunakan pembebanan 200gf selama lima detik. Satuan pengukuran diagonal jejak indentor adalah μm . Posisi untuk menguji kekerasan kali ini di daerah *heat affected zone* secara acak. Pada penelitian ini tidak melakukan uji struktur mikro.

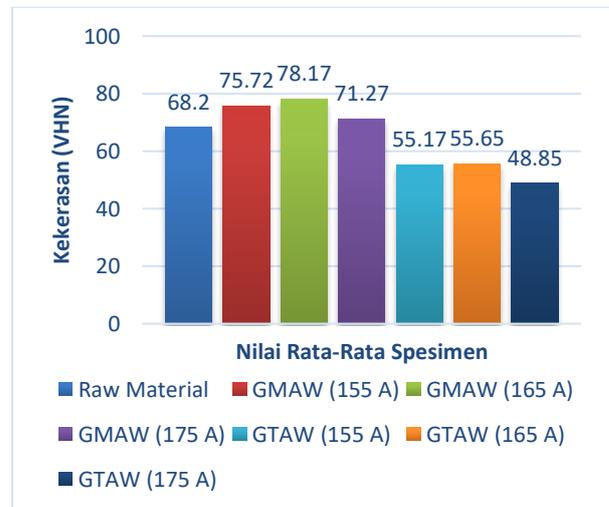


Gambar 10. Spesimen Uji Kekerasan Vickers

Tabel 6. Data Hasil Uji Kekerasan

Spesimen	Kekerasan (VHN)	Rata-Rata Kekerasan (VHN)
Raw Material	67.17	68,2
	67.7	
	68.7	
	68.7	
GMAW (155 Amp)	77,9	75,72
	76,8	
	73,6	
	74,6	
GMAW (165 Amp)	79	78,17
	77,9	

GMAW (175 Amp)	77,9	71,27
	77,9	
	71,5	
	71,5	
GTAW (155 Amp)	70,6	55,17
	71,5	
	55,2	
	57,2	
GTAW (165 Amp)	53,8	55,65
	55,8	
	70,64	
	91,76	
GTAW (175 Amp)	72,70	48,85
	63,24	
	49	
	48,4	
	49	
	49	



Gambar 11. Diagram Nilai Rata-Rata Kekerasan Vickers

Dalam pengujian *Vickers* menunjukkan bahwa pengelasan GMAW dengan arus sebesar 165 Amp memiliki nilai kekuatan kekerasan tertinggi yaitu sebesar 78,17 VHN. Jika dilihat dari rata rata dari ketiga arus yaitu 155 Amp, 165 Amp, dan 175 Amp pengelasan GMAW mempunyai rata-rata nilai kekuatan kekerasan yang lebih baik yaitu sebesar 75,39 VHN sedangkan untuk pengelasan GTAW hanya memperoleh rata-rata sebesar 47,45 VHN. Untuk *raw material* mempunyai rata-rata nilai kekerasan sebesar 68.2 VHN.

3.3. Perbandingan Hasil Penelitian Sekarang

dengan Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya, analisa pengaruh variasi kampuh las dan arus listrik terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro sambungan las GMAW (*Gas Metal ARC Welding*) Pada Aluminium 6061, pengelasan aluminium 6061 menggunakan las GMAW dengan arus 180 A, 200 A dan 220 A serta kampuh V dengan hasil yang maksimal pada arus 200 ampere memiliki rata-rata tegangan sebesar 142.61 MPa, regangan sebesar 29.6 %, dan modulus elastisitas sebesar 7.304 GPa.[4]

Pada penelitian yang lainnya yaitu Analisa uji kekerasan pada poros baja St 60 dengan media pendingin yang berbeda, baja ST 60 dengan temperatur 6000C. Setelah melakukan penelitian dengan metode anova didapatkan hasil dengan nilai Fhitung $-6,0560294 < Ftabel 3,88$. Nilai kekerasan sebelum perlakuan panas yaitu 112,4 HB atau 118 VHN dan yang sesudah perlakuan panas yaitu air (110,2 HB atau 117 VHN), udara (94,8 HB atau 104 VHN) dan oli mesran SAE 40 (119,4 HB atau 125 VHN). Diantara ketiga media pendingin setelah perlakuan panas yang paling baik dalam meningkatkan kekerasan material adalah oli mesran SAE 40 dengan nilai rata-rata 119,4 HB atau 125 VHN.[18]

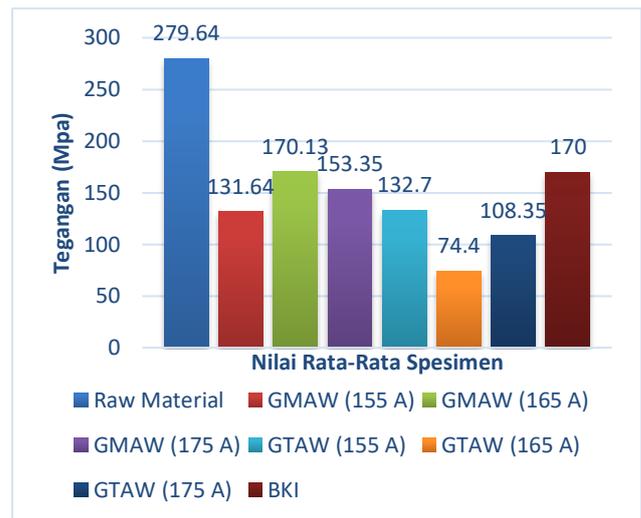
Pada kali ini, angka rata-rata tegangan tarik tertinggi yang dihasilkan oleh pengelasan GMAW aluminium 6061 menggunakan kampuh *single bevel butt* adalah dengan dengan besar arus 165 Amp mendapatkan angka sebesar 170,13 MPa, sedangkan untuk pengelasan GTAW memiliki rata-rata nilai tegangan sebesar 132,70 MPa.

Uji kekerasan kali ini metode yang digunakan berbeda, dimana sebelumnya menggunakan metode uji kekerasan *Brinell*, namun pada pengujian kali ini menggunakan uji kekerasan *Vickers*. Pengelasan GMAW dengan arus 165 Amp memiliki nilai rata-rata 78,17 VHN kekerasan tertinggi yaitu 80,67 VHN. Sedangkan pada pengelasan GTAW memiliki nilai rata-rata kekerasan tertinggi di arus 165 Amp sebesar 55,65 VHN .

3.7. Perbandingan Hasil Penelitian dengan Aturan Biro Klasifikasi Indonesia

Dari data yang diperoleh pada penelitian kali ini akan dibandingkan dengan standar aturan atau *rules* BKI, apakah memenuhi standar atau tidak. Aturan atau standar tersebut disesuaikan dengan "*Rules For The Classification and Construction, Part 1 Vol VI: Rules For Welding, Section 5: Welding Consumables And Auxillary Materials*". Aluminium 6061 harus mempunyai kekuatan tarik minimal 170 MPa. Aturan tersebut juga berlaku

untuk pengelasan aluminium, seperti pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) dan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*). [19]



Gambar 12. Diagram Perbandingan Tegangan Tarik Material dengan *Rules* BKI

Berdasarkan dari diagram diatas, penelitian kali ini hanya ada satu rata-rata nilai tegangan tarik yang lolos standar BKI yaitu metode pengelasan GMAW dengan arus sebesar 165 Amp dengan nilai kekuatan tegangan tarik sebesar 170,13 MPa.

Selisih yang terdapat pada nilai kekuatan tarik aluminium 6061 dengan standar atau *rules* BKI tentunya memiliki beberapa sebab. Beberapa penyebabnya adalah pemilihan elektroda yang digunakan, besar arus yang digunakan, jenis kampuh yang digunakan, serta faktor seorang *welder* dalam mengelas material tersebut. Untuk penelitian yang akan datang, beberapa penyebab atau faktor tersebut agar diperhatikan lagi untuk mendapatkan hasil lasan yang lebih baik lagi.

4. KESIMPULAN

Pada hasil yang telah dilakukan pada penelitian kali ini yaitu uji tarik dan kekerasan aluminium 6061 yang dilas dengan las GTAW dan GMAW menggunakan kampuh *single bevel butt* menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

Aluminium 6061 yang dilakukan uji tarik memiliki rata-rata kekuatan tarik dari berbagai besaran arus yakni, untuk GMAW dengan arus 155 Amp memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 131,60 N/mm², GMAW dengan arus 165 Amp memiliki nilai kekuatan tarik senilai 170,13 N/mm², GMAW dengan arus 175 Amp memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 153,35 N/mm². Pengelasan GTAW dengan arus 155 Amp memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 132,70 N/mm², GTAW dengan arus 165 Amp memiliki nilai kekuatan tarik senilai 74,40 N/mm², GTAW dengan arus 175 Amp memiliki nilai

kekuatan tarik sebesar 108,35 N/mm². Pengelasan GMAW dengan arus 155 Amp, 165 Amp, dan 175 menggunakan kampuh *single bevel butt* memiliki kecocokan yang lebih baik jika dibandingkan dengan pengelasan GTAW dengan arus dan kampuh yang sama hal tersebut dapat terlihat dengan ditunjukkannya besaran nilai kekuatan tarik yang diperoleh. Arus yang terbaik digunakan pada pengelasan GMAW adalah sebesar 165 Amp, dengan kekuatan tarik 170.13 N/mm².

Kemudian untuk aluminium 6061 yang dilakukan uji kekerasan memiliki rata-rata kekuatan kekerasan dari berbagai besaran arus yakni, untuk GMAW dengan arus 155 Amp memiliki nilai kekuatan kekerasan sebesar 75,72 VHN. GMAW dengan arus 165 Amp memiliki nilai kekuatan kekerasan senilai 78,18 VHN, GMAW dengan arus 175 Amp memiliki nilai kekuatan kekerasan sebesar 71,23 VHN. Pengelasan GTAW dengan arus 155 Amp memiliki nilai kekuatan kekerasan sebesar 55,17 VHN, GTAW dengan arus 165 Amp memiliki nilai kekuatan kekerasan senilai 55,65 VHN, GTAW dengan arus 175 Amp memiliki nilai kekuatan kekerasan sebesar 48,85 VHN. Pengelasan GMAW dengan arus 155 Amp, 165 Amp, dan 175 menggunakan kampuh *single bevel butt* memiliki kecocokan yang lebih baik jika dibandingkan dengan pengelasan GTAW dengan arus dan kampuh yang sama hal tersebut dapat terlihat dengan ditunjukkannya besaran nilai kekuatan kekerasan yang diperoleh. Arus terbaik untuk mendapat kekuatan kekerasan pada las GMAW dan GTAW adalah 165 Amp.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam berlangsungnya penulisan tugas akhir ini penulis sangat berterimakasih kepada pihak-pihak yang memberikan saran dan bantuan. Penulis mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT karena berkat dan rahmat-Nya penelitian ini dapat berjalan hingga selesai. Senantiasa juga penulis berterima kasih Inlastek Surakarta dan Lab Uji Material Universitas Gajah Mada, serta kasih sayang kedua orang tua dan keluarga penulis, dan juga kepada dosen pembimbing 1, dosen pembimbing 2, para dosen penguji dan teman-teman, penulis mengucapkan banyak terima kasih atas masukkan dan ilmu yang bermanfaat sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Naufal, S. Jokosisworo, and S. Samuel, "Pengaruh Kuat Arus Listrik Dan Sudut Kampuh V Terhadap Kekuatan Tarik Dan

Tekuk Aluminium 5083 Pengelasan Gtaw," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 1, 2016.

- [2] I. N. I. Sihombing, U. Budiarto, A. F. Zakki, "Pengaruh Posisi Pengelasan dan Bentuk Kampuh Terhadap Kekuatan Tarik dan Mikrografi Sambungan Las Metal Inert Gas (MIG) Pada Aluminium 6061 Sebagai Bahan Material Kapal", *Jurnal Teknik Perkapalan Vol. 7*, pp. 303-312. 2019.
- [3] Kim, W. H.; Laird, C. (1978). "Crack nucleation and stage I propagation in high strain fatigue II. mechanism". *Acta Metallurgica*..
- [4] L. P. Ketaren, U. Budiarto, Ari Wibawa, "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 Vol 7*, pp. 345-354, 2019.
- [5] G. Vernoval, S. Jokosisworo, B. A. Adietya. "Pengaruh Perbedaan Tool Tilt Angle terhadap Kekuatan Tarik, Impak, Pada Aluminium 6061 dengan Pengelasan Double Sided Friction Stir Welding", *Jurnal Teknik Perkapalan Vol 7*, pp. 168-175, 2019..
- [6] A. A. Fakhr, "Pengaruh Pengelasan Bypass TIG – MIG terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik Al 6061", *Undergraduates Thesis, Universitas Negeri Semarang*, 2016.
- [7] I. Al Ghifary, U. Budiarto, A. F. Zakki, "Analisa Kekuatan Impak, Tarik, dan Mikrografi Aluminium 5083 Akibat Pengelasan MIG (Metal Inert Gas) dengan Variasi Posisi Pengelasan", *Jurnal Teknik Perkapalan Vol. 6*, 2018.
- [8] W. Pranajaya, A. W. B. Santosa, U. Budiarto, "Analisa Pengaruh Variasi Kampuh Las dan Arus Listrik Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Sambungan Las TIG (Tungsten Inert Gas) Pada Aluminium 6061", *Jurnal Teknik Perkapalan Vol. 7*, pp. 286-293, 2019.
- [9] L. Singh, R. Singh, N. K. Singh, D. Singh, and P. Singh, "An evaluation of TIG welding parametric influence on tensile strength of 5083 aluminium alloy," *Int. J. Mech. Aerospace, Ind. Mechatronics Eng*, vol. 7, no. 11, pp. 1262–1265, 2013.
- [10] I. Guzman, E. Granda, B. Vargas, C. Cruz, Y. Avila, and J. Acevedo, "Tensile and fracture behavior in 6061-T6 and 6061-T4 aluminum alloys welded by pulsed metal transfer GMAW," *Int. J. Adv. Manuf.*

- Technol.*, vol. 103, no. 5–8, pp. 2553–2562, 2019.
- [11] M. Ilangovan, S. R. Boopathy, and V. Balasubramanian, “Effect of tool pin profile on microstructure and tensile properties of friction stir welded dissimilar AA 6061--AA 5086 aluminium alloy joints,” *Def. Technol.*, vol. 11, no. 2, pp. 174–184, 2015.
- [12] A. Wu, Z. Song, K. Nakata, J. Liao, and L. Zhou, “Interface and properties of the friction stir welded joints of titanium alloy Ti6Al4V with aluminum alloy 6061,” *Mater. Des.*, vol. 71, pp. 85–92, 2015.
- [13] C. Zhang, G. Li, M. Gao, J. Yan, and X. Y. Zeng, “Microstructure and process characterization of laser-cold metal transfer hybrid welding of AA6061 aluminum alloy,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 68, no. 5–8, pp. 1253–1260, 2013.
- [14] W. A. Company, 4043 Aluminium Welding Wire Specification. Washington DC.
- [15] A. Ardiyanto and others, “PENGARUH VARIASI SUDUT KAMPUH DAN KUAT ARUS TERHADAP KEKUATAN TARIK ALUMINIUM 6061 PADA PENGELASAN TUNGSTEN INERT GAS (TIG),” Universitas Negeri Semarang, 2016.
- [16] M. N. Ilman and others, “PENGARUH VARIASI ARUS PADA PROSES LAS TIG DAN VARIASI PUTARAN PADA PROSES FSW TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KOROSI SAMBUNGAN LAS TAK SEJENIS ALUMINIUM PADUAN 5083 DAN 6061-T6,” [Yogyakarta]: Universitas Gadjah Mada, 2011.
- [17] Sastranegara, “Mengenal Uji Tarik dan Sifat-sifat Mekanik Logam”, Jakarta-Indonesia, 2009.
- [18] G. R. Furqon, M. Firman, and others, “Analisa Uji Kekerasan pada Poros Baja St 60 dengan Media Pendingin yang Berbeda,” *AL-JAZARI J. Ilm. Tek. MESIN*, vol. 1, no. 1, 2016.
- [19] B. K. Indonesia, “Rules for the Classification and Construction: Volume VI Rules for Welding” Jakarta. 2019.