



JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Pengaruh Pemberian Media Pendingin Pasca Pengelasan dan Kuat Arus Listrik Terhadap Kekuatan Tarik, Kekuatan Tekuk dan Struktur Mikro Pada Sambungan Las Aluminium 5083 dengan Pengelasan TIG (*TUNGSTEN INERT GAS*)

Putra Yonatan Halomoan Sinaga¹⁾, Untung Budiarto¹⁾, Sarjito Jokosisworo¹⁾

¹⁾Laboratorium Teknologi Material dan Produksi Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

e-mail : putrasinagaa28@gmail.com

Abstrak

Aluminium 5083 merupakan paduan aluminium dan magnesium yang dapat diaplikasikan pada dunia perkapalan. Pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) adalah jenis pengelasan yang sering digunakan dalam aluminium karena memiliki kelebihan pada hasil pengelasannya dibandingkan jenis pengelasan lainnya. Pemilihan kuat arus listrik dan perlakuan media pendingin pasca pengelasan yang tepat diperlukan untuk menghasilkan sifak mekanik yang bagus. Penelitian ini menganalisis pengaruh penambahan media pendingin pasca pengelasan dan variasi kuat arus listrik terhadap kekuatan tarik, kekuatan tekuk, dan struktur mikrografi pada sambungan las aluminium 5083 dengan metode pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas). Variasi yang digunakan meliputi kuat arus listrik 160 A dan 190 A, serta media pendingin berupa air, air radiator, dan tanpa media pendingin. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan kombinasi optimal antara kuat arus dan media pendingin yang menghasilkan kekuatan mekanik terbaik dan struktur mikrografi yang optimal. Metode yang digunakan mencakup pengujian tarik, pengujian tekuk, serta analisis mikrografi pada hasil pengelasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat arus 160 A dengan media pendingin air radiator memberikan kekuatan tarik dan kekuatan tekuk tertinggi dibandingkan dengan variasi lainnya. Analisis mikrografi juga mengungkapkan struktur yang berubah akibat penggunaan media pendingin. dengan demikian, kombinasi kuat arus 160 A dan media pendingin air radiator direkomendasikan untuk pengelasan aluminium 5083 menggunakan metode TIG guna memperoleh kualitas sambungan yang optimal.

Kata Kunci : Aluminium 5083, Kuat Arus Listrik, Media Pendingin, Kekuatan Tarik, Kekuatan Tekuk, Struktur Mikrografi

1. PENDAHULUAN

Kapal merupakan salah satu sarana penting dan esensial terutama sebagai alat transportasi perhubungan antara suatu daerah baik nasional maupun internasional. oleh karena itu kapal memerlukan konstruksi yang kuat dan kokoh. pada umumnya konstruksi kapal berbahan baja, fiberglass, kayu dan aluminium. aluminium merupakan salah satu jenis bahan utama untuk pembuatan konstruksi kapal karena memiliki beban material yang lebih ringan dibandingkan baja serta memiliki tahanan akan korosif.

Aluminium 5083 merupakan sebuah paduan aluminium (Al) yang mengandung magnesium (Mg). Aluminium 5083 memiliki kandungan 4.5%Mg, 0.7%Mn, dan 0.13%Cr. Aluminium jenis ini diaplikasikan pada kapal tipe crew boat, rescue boat, kapal patroli atau bisa digunakan pada konstruksi pada tangki kapal LNG dan pada bangunan atas kapal cargo. Biro Klasifikasi Indonesia telah mengeluarkan persyaratan mengenai kekuatan tarik aluminium 5083 pada sambungan las harus memiliki kekuatan tarik 275 Mpa [1].

Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua atau lebih logam dengan menggunakan energi panas di area yang disambung, baik dengan atau tanpa tekanan tambahan. Pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) merupakan jenis pengelasan yang menggunakan gas busur tungsten yang mana elektrodanya tidak terumpun menggunakan gas sebagai pelindung terhadap pengaruh udara luar, sehingga tidak mengasilkan kerak dan tidak membentuk percikan las. Hasil pengelasan yang digunakan pada pengelasan TIG berlaku untuk hampir semua jenis logam berkualitas tinggi dan sering digunakan pada logam ringan seperti magnesium, aluminium dan stainless steel[2].

Salah Satu yang mempengaruhi hasil pengelasan adalah pengaturan kuat arus listrik. ketika kuat arus listrik yang digunakan terlalu rendah maka akan menyebabkan elektroda yang mencair tidak masuk ke dalam sambungan las. sebaliknya ketika kuat arus listrik terlalu tinggi menyebabkan panas yang berlebih sehingga elektroda mencair terlalu dalam dan lebar hingga menyebabkan material yang di las akan berlubang[3].

Salah satu perlakuan pasca pengelasan yang dapat dilakukan adalah penambahan media pendingin. media pendingin merupakan suatu fluida yang fungsinya digunakan untuk menentukan kecepatan pendinginan pada material mengalami perlakuan panas atau setelah proses pengelasan[4].

Penelitian sebelumnya telah dilakukan Analisa perbandingan kekuatan tarik, tekuk, impak dan mikrografi aluminium 5083 pasca pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) dengan media pendingin air laut dan oli didapatkan bahwa hasil pengujian tarik pendingin air laut 155,29 N/mm², pendinginan oli 110,49 N/mm², tanpa media pendingin 196,48 N/mm², hasil pengujian tekuk pendingin air laut 65,34 N/mm², pendingin oli 69,77 N/mm², tanpa media pendingin 58,05 N/mm², hasil pengujian impak pendingin air laut 0,42 J/mm², pendingin oli 0,36 J/mm² tanpa media pendingin 0,28 J/mm² dan hasil pengelasan tig variasi media pendingin air laut dan oli serta tanpa perlakuan pendinginan Perlakuan ini menghasilkan perubahan struktur mikrografi pada setiap sampel. Spesimen yang mengalami pendinginan memiliki kerapatan struktur yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen yang tidak mengalami pendinginan [5].

Penelitian lainnya telah dilakukan mengenai Pengaruh Media Pendingin Air tawar, Air Coolant, dan Udara Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan pada Sambungan Las MIG (Metal Inert Gas) dan (Metal Active Gas) Aluminium 6061. didapatkan dari hasil penelitian tersebut bahwa air

coolant memiliki pengaruh terbesar terhadap kekuatan tarik, modulus elastis dan untuk nilai kekerasan Vickers tertinggi diperoleh oleh air tawar sebagai media pendinginnya [6].

Penelitian selanjutnya yang menjadi referensi adalah Pengaruh Kuat Arus Listrik Dan Sudut Kampuh V Terhadap Kekuatan Tarik dan Tekuk Aluminium 5083 Pengelasan GTAW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi sudut kampuh 60° dan 80° dengan menggunakan arus sebesar 130 ampere, 150 ampere, 170 ampere, dan 200 ampere menghasilkan variasi kekuatan tarik yang berbeda. Kekuatan tarik tertinggi tercatat pada arus 130 ampere dengan sudut kampuh 80°, mencapai 150,4 N/mm². Di sisi lain, kekuatan tarik terendah terjadi pada arus 200 ampere dengan sudut kampuh 60°, hanya mencapai 63,36 N/mm². Sementara untuk uji tekuk, kekuatan tekuk tertinggi tercatat pada arus 130 ampere dengan sudut kampuh 80°, mencapai 591,38 N/mm². Namun, kekuatan tekuk terendah terjadi pada arus 200 ampere dengan sudut kampuh 60°, hanya mencapai 321,78 N/mm² [7].

Bedasarkan pendahuluan yang telah disajikan penulis pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan kekuatan tarik, kekuatan tekuk dan struktur mikrografi dari aluminium 5083 dengan penambahan media pendingin serta kuat arus listrik untuk menghasilkan kekuatan tarik, kekuatan tekuk yang maksimal dan juga membandingkan struktur mikro setelah melakukan variasi penambahan media pendingin dan kuat arus listrik.

2. METODE

2.1 Objek Penelitian

Aluminium memiliki nomor atom 13 dan unsur kimia Al. Aluminium merupakan salah satu logam yang tidak mengandung unsur besi (Fe) dan biasa disebut dengan logam non-Ferrous. aluminium memiliki ringan, tahan korosi, berwarna putih-perak dan mudah ditempah.

Aluminium 5083 merupakan paduan aluminium dan magnesium. Meskipun campuran ini memiliki sifat yang tidak dapat diberi perlakuan panas, namun memiliki ketahanan terhadap korosi yang sangat baik, terutama korosi yang disebabkan oleh air laut, dan kemampuan las Aluminium 5083 diaplikasikan pada kapal kapal tipe crew boat, rescue boat, kapal patroli atau bisa digunakan pada konstruksi pada tangki kapal LNG dan pada bangunan atas kapal cargo [8]. Material jenis ini menawarkan kekuatan tarik yang tinggi diantara paduan non heat treatable lain karena rata rata mengandung 4.5% Mg, 0.7% Mn, dan 0.13% Cr.



Gambar 1 Pelat Aluminium 5083

Tabel 1 Sifat Mekanik Aluminium 5083[9]

Sifat	Nilai
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	250 Mpa
<i>Yield Strength</i>	200 Mpa
Modulus Elastisitas	70,3 Gpa
Modulus Kompresif	71,7 Gpa
Poisson Ratio	0,33
<i>Shear Modulus</i>	26,4 Gpa
Densitas	2,66 g/cm ³

2.2 Perlakuan Objek Penelitian

2.2.1 Pengelasan Spesimen

Pengelasan merupakan kegiatan menggabungkan dua atau lebih bagian dari suatu benda dengan cara memanaskan atau menekankan titik pertemuan diantara keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda tunggal.

Las TIG (Tungsten Inert Gas) merupakan metode pengelasan dengan gas tungsten-arc, di mana elektroda berperan sebagai pengumpul busur nyala api yang tidak meleleh selama proses pengelasan. Tungsten Inert Gas (TIG) atau Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) menggunakan wolfram atau tungsten sebagai bahan elektroda dan gas inert sebagai pelindung. Penggunaan GTAW umumnya diterapkan pada logam ringan seperti magnesium, aluminium, stainless steel dan lain lain.

Dalam penelitian ini digunakan filler rod ER 5356 dan elektroda tungsten murni. Elektroda Tungsten terdiri dari Elektroda tungsten Murni dan Elektroda tungsten Paduan. terdapat beberapa jenis elektroda tungsten yang umum digunakan dalam proses pengelasan sebagaimana tercantum dalam tabel dibawah ini.

Tabel 2 Klasifikasi Elektroda Tungsten[10]

Kode	Paduan oksid dalam %	Kode Warna
W	Tanpa Paduan	Hijau
WT 10	0,9-1,2 Thorium oksid	Kuning
WT 20	1,8-2,2 Thorium oksid	Merah
WT 30	2,8-3,2 Thorium oksid	Violet
WT 40	3,8-4,2 Thorium oksid	Orange
WZ 3	0,15-0,5 Zirkonium oksid	Coklat
WZ 8	0,7-0,9 Zirkonium oksid	Putih
WL 10	0,9-1,2 Lanthanium oksid	Hitam
WL 20	1,8-2,2 Lanthanium oksid	Biru Muda
WC 20	1,8-2,2 Cerium oksid	Abu-Abu

2.2.2 Pendinginan Spesimen

Media Pendingin merupakan suatu zat yang memiliki fungsi dalam mengatur laju kecepatan proses pendinginan pada suatu material yang mengalami pemanasan. Pada umumnya, Ada dua jenis media pendingin yang umum digunakan dalam proses pendinginan yaitu media pendingin dengan tingkat kerapatan rendah dan media pendingin dengan tingkat kerapatan yang tinggi. Pada media pendingin dengan tingkat kerapatan tinggi, laju pendinginan cenderung lebih cepat karena molekulnya berada dalam jarak yang lebih dekat. Akibatnya, proses perpindahan panas terjadi lebih efisien. Dengan percepatan proses pendinginan ini, material yang dihasilkan cenderung memiliki sifat yang keras dan getas. Sementara itu, pada media pendingin dengan kerapatan rendah, laju pendinginan akan lebih lambat karena molekulnya berada pada jarak yang lebih jauh. Ini menyebabkan proses perpindahan panas menjadi lebih lambat. dampaknya, material yang terpendingin dengan lambat ini cenderung memiliki struktur yang lebih kuat dan lentur[11]. Media pendingin yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Air merupakan media pendingin yang paling mudah ditemukan, murah dan juga mempunyai kemampuan pendingin yang tinggi. Air memiliki massa jenis 1 kg /m³ dimana massa jenis tersebut lebih tinggi dari pendingin udara.

Air radiator, atau yang sering disebut sebagai coolant, adalah cairan pendingin yang dimanfaatkan untuk menurunkan suhu benda kerja selama proses permesinan. Komposisi water coolant umumnya terdiri dari air bersih, etilen glikol, dan zat anti karat. Etilen glikol memiliki peran krusial dalam campuran tersebut sebagai pendingin utamanya.

2.2.3 Kuat Arus Listrik

Kualitas hasil pengelasan sangat dipengaruhi oleh pengaturan intensitas kuat arus pengelasan. Jika kuat arus yang digunakan terlalu rendah, maka mungkin akan sulit untuk memulai pembentukan busur listrik. Dampaknya, panas yang dihasilkan tidak mencukupi untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar, yang berujung pada hasil pengelasan yang kurang memuaskan. Karakteristik dari hasil ini meliputi ukuran las yang kecil, distribusi panas yang tidak merata, dan penembusan yang kurang dalam. Sebaliknya, jika kuat arus diatur terlalu tinggi, elektroda akan meleleh terlalu cepat, menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang lebih dalam[12]. Hal ini dapat mempengaruhi kualitas pengelasan dengan mungkin terjadinya deformasi atau kehilangan

kontrol terhadap proses. Dalam penelitian ini digunakan kuat arus Listrik 160 ampere dan 190 ampere.

2.3 Lokasi Penelitian

Pengelasan dilakukan di INLASTEK *Welding Institute* Surakarta sedangkan pengujian tarik, tekuk dilakukan di Laboratorium Struktur dan Konstruksi Kapal Universitas Diponegoro dan pengujian mikrografi dilakukan di Laboratorium Bahan Mesin Universitas Diponegoro.

2.4 Metode dan Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Pelaksanaannya meliputi persiapan yang mencakup pembuatan kampuh las, pengelasan material, pendinginan material, serta pembentukan spesimen untuk pengujian. penelitian ini dilaksanakan sesuai prosedur standar ISO 4136 untuk pengujian tarik, ISO 5173 untuk pengujian tekuk dan ASTM E3-11 untuk pengujian Struktur Mikrografi.

2.5 Parameter Pengujian

2.5.1 Parameter Tetap

a. Uji Tarik

Uji Tarik merupakan proses pengujian yang melibatkan penerapan pembebanan atau tegangan Tarik pada suatu material dengan tujuan menentukan atau mengetahui nilai kekuatan tarik material tersebut. Tegangan tarik yang diterapkan adalah tegangan eksternal aktual atau perubahan panjang sumbu dari benda uji. Pengujian tarik dilakukan dengan cara menarik material menggunakan gaya tarik secara berkelanjutan sehingga perpanjangan material terus bertambah hingga mencapai titik putus. Berikut adalah sifat-sifat yang dihasilkan oleh uji Tarik.

1. Tegangan Tarik Maksimum (σ)

Tegangan Tarik adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh material sebelum mengalami patah (*fracture*). kekuatan tarik maksimum dari suatu bahan dapat dirumuskan :

$$\sigma = \frac{P}{A_o} \quad (1)$$

Keterangan :

σ = Tegangan maksimum (N/mm²)
 A_o = Luas penampang (mm²)
 P = Beban maksimum (N)

2. Regangan Tarik Maksimum (ϵ)

Regangan Tarik adalah penambahan panjang maksimum yang dialami oleh suatu material setelah melakukan uji Tarik. Regangan Tarik ini memperlihatkan pertambahan Panjang material

dibandingkan Panjang aslinya. Regangan Tarik dari suatu bahan dapat dirumuskan :

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \times 100 \% \quad (2)$$

Keterangan :

ΔL = Pertambahan panjang (mm)
 ϵ = Regangan (%)
 L_o = Panjang awal (mm)

3. Modulus Elastisitas (E)

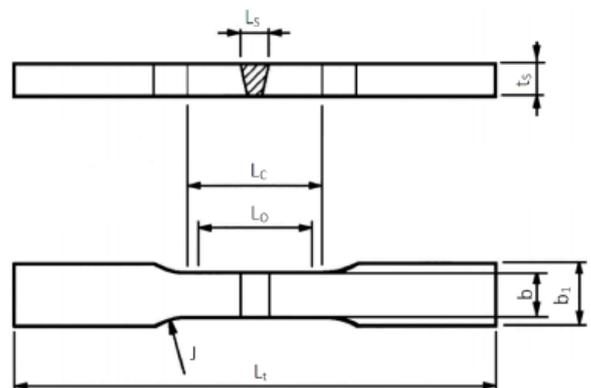
Modulus Elastisitas merupakan suatu paramter yang digunakan untuk mengukur ukuran kekakuan suatu material. Modulus Elastisitas dari suatu bahan dapat dirumuskan :

$$E = \frac{\sigma}{e} \quad (3)$$

Keterangan :

E = Modulus Elastisitas (GPa)
 σ = Tegangan (MPa)
 e = Regangan (%)

Ukuran Spesimen Uji Tarik berdasarkan ISO 4136



Gambar 2 Dimensi Spesimen [13]

Keterangan :

Length (L_t) = 200 mm
 Weld Width (L_s) = 20 mm
 Gage Length (L_c) = 120 mm
 Length of Reduced Section (L_o) = 110 mm
 Width (b) = 23 mm
 Width of grid Section (b_1) = 37 mm
 Thickness (T) = 6 mm
 Radius of Fillet (J) = 25 mm

b. Uji Tekuk

Uji Tekuk atau dikenal sebagai bending test adalah pengukuran kekuatan material yang mampu menanggung beban serta elastisitas hasil

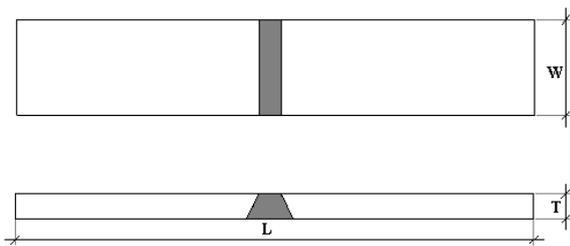
penyambungan las baik itu pada logam lasan maupun pada zona yang terpengaruh panas, berikut adalah rumus pengujian tekuk

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (4)$$

Keterangan :

σ_b = Tegangan tekuk (MPa)
 L = Panjang span (mm)
 P = Beban (N)
 d = Tebal (mm)
 b = Lebar (mm)

Ukuran Spesimen Uji Tekuk berdasarkan ISO 5173



Gambar 3 Dimensi Spesimen Uji Tekuk [14]

Keterangan :

Overall Length (L) = 200 mm
 Thickness (T) = 6 mm
 Width (W) = 20 mm

c. Uji mikrografi

Pengujian mikrografi berfungsi untuk menampilkan gambar yang menggambarkan struktur mikro dari sebuah logam atau paduan. Proses pengujian ini berguna untuk mengamati perubahan struktur logam atau paduan setelah melalui proses pengelasan, dibandingkan dengan kondisi logam murni.

2.5.2 Parameter Tetap

Parameter berubah dalam penelitian ini adalah kuat arus listrik dan media pendingin.

- 160 Ampere dan tanpa media pendingin dengan kode spesimen AL160TP
- 160 Ampere dan media pendingin air dengan kode spesimen AL160AM
- 160 Ampere dan media pendingin air dengan kode spesimen AL160AR
- 190 Ampere dan tanpa media pendingin dengan kode spesimen AL190TP
- 190 Ampere dan media pendingin air dengan kode spesimen AL190AM
- 190 Ampere dan media pendingin air dengan kode spesimen AL190AR

2.5 Alat dan Bahan

Dalam penelitian in terdapat beberapa alat dan bahan yang digunakan seperti berikut :

1. Mesin Gerinda
2. Mesin Las TIG (*Tungsten Inert Gas*)
3. Mesin Uji Tarik
4. Mesin Tekuk
5. Mesin Mikrografi
6. Media Pendingin Air dan Air Radiator

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan sesuai dengan ketentuan ISO 4136. Hasil dari pengujian tarik mencakup data mengenai tegangan tarik, regangan tarik dan modulus elastisitas.

Tegangan Tarik

Berikut nilai rata-rata tegangan tarik maksimum :

Tabel 3 Data hasil Tegangan Tarik

Kode Spesimen	No	Area (mm)	P _{max} (kN)	σ_{max} (Mpa)	Standar Deviasi	σ Rata Rata (Mpa)
Raw Material	1	138,00	35,8	259,42		
Raw Material	2	138,00	35,88	260,00	0,50	260,09
Raw Material	3	138,00	35,94	260,43		
Raw Material	4	138,00	35,95	260,51		
AL160TP	1	138,00	20,81	150,80		
AL160TP	2	138,00	20,62	149,42	0,94	149,46
AL160TP	3	138,00	20,53	148,77		
AL160TP	4	138,00	20,54	148,84		
AL160AM	1	138,00	21,72	157,39		
AL160AM	2	138,00	21,66	156,96	2,87	158,41
AL160AM	3	138,00	21,61	156,59		
AL160AM	4	138,00	22,45	162,68		
AL160AR	1	138,00	22,68	164,35		
AL160AR	2	138,00	22,72	164,64	6,70	159,62
AL160AR	3	138,00	20,74	150,29		
AL160AR	4	138,00	21,97	159,20		
AL190TP	1	138,00	19,96	144,64		
AL190TP	2	138,00	20,05	145,29	2,39	146,30
AL190TP	3	138,00	20,68	149,86		
AL190TP	4	138,00	20,07	145,43		
AL190AM	1	138,00	20,71	150,07		
AL190AM	2	138,00	21,42	155,22	2,31	153,41
AL190AM	3	138,00	21,34	154,64		
AL190AM	4	138,00	21,21	153,70		
AL190AR	1	138,00	22,39	162,25		
AL190AR	2	138,00	22,47	162,83	9,71	155,54
AL190AR	3	138,00	19,59	141,96		
AL190AR	4	138,00	21,41	155,14		

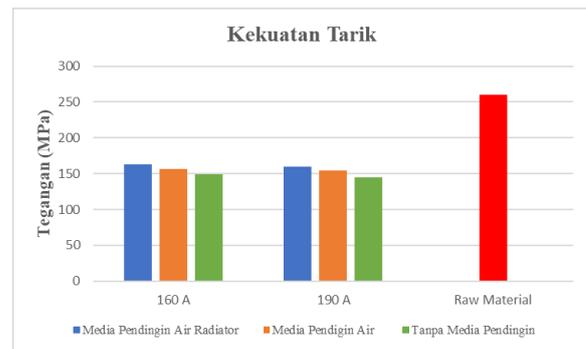
Berdasarkan tabel 3 standar deviasi untuk setiap variasi pendinginan dapat dihitung. Pada raw material, standar deviasi adalah 0,50, yang menyebabkan raw material 1 tidak dapat dimasukkan dalam perhitungan karena nilai tegangan tariknya kurang dari standar deviasi. pada variasi 160 ampere tanpa media pendingin, standar deviasinya adalah 0,94, sehingga spesimen 160 ampere tanpa media pendingin 1 tidak dapat dimasukkan dalam perhitungan karena nilai tegangan tariknya melebihi standar deviasi. Hal serupa terjadi pada variasi 160 ampere dengan

menggunakan media pendingin air, di mana standar deviasinya adalah 2,87. Oleh karena itu, spesimen 160 ampere dengan media pendingin air 4 tidak dapat dimasukkan dalam perhitungan karena nilai tegangan tariknya melebihi standar deviasi. Pada variasi 160 ampere dengan menggunakan media pendingin air radiator, standar deviasinya adalah 6,70. Ini menyebabkan spesimen 160 ampere dengan media pendingin air radiator 3 tidak dapat dimasukkan dalam perhitungan karena nilai tegangan tariknya kurang dari standar deviasi.

Pada variasi 190 ampere dan tanpa media pendingin memiliki nilai standar deviasi sebesar 2,39 hingga menyebabkan spesimen 190 a dan tanpa media pendingin 3 tidak dapat diikutsertakan dalam perhitungan karena nilai tegangan tarik melebihi standar deviasi. Pada variasi 190 ampere dan media pendingin air memiliki nilai standar deviasi sebesar 2,31 hingga menyebabkan spesimen 190 a dan media pendingin air 1 tidak dapat diikutsertakan dalam perhitungan karena nilai tegangan tarik kurang dari standar deviasi. Pada variasi 190 ampere dan media pendingin air radiator memiliki nilai standar deviasi sebesar 9,71 hingga menyebabkan spesimen 190 a dan media pendingin air radiator 3 tidak dapat diikutsertakan dalam perhitungan karena nilai tegangan tarik kurang dari standar deviasi.

Tabel 4 data hasil Tegangan Tarik dengan Validasi Standar Deviasi

Kode Spesimen	no	Area (mm)	P Max (kN)	σ Max (Mpa)	σ Rata Rata (Mpa)
Raw Material	2	138	35,88	260,00	
Raw Material	3	138	35,94	260,43	260,31
Raw Material	4	138	35,95	260,51	
AL160TP	2	138	20,62	149,42	
AL160TP	3	138	20,53	148,77	149,01
AL160TP	4	138	20,54	148,84	
AL160AM	1	138	21,72	157,39	
AL160AM	2	138	21,66	156,96	156,98
AL160AM	3	138	21,61	156,59	
AL160AR	1	138	22,68	164,35	
AL160AR	2	138	22,72	164,64	162,73
AL160AR	4	138	21,97	159,20	
AL190TP	1	138	19,96	144,64	
AL190TP	2	138	20,05	145,29	145,12
AL190TP	4	138	20,07	145,43	
AL190AM	2	138	21,42	155,22	
AL190AM	3	138	21,34	154,64	154,52
AL190AM	4	138	21,21	153,70	
AL190AR	1	138	22,39	162,25	
AL190AR	2	138	22,47	162,83	160,07
AL190AR	4	138	21,41	155,14	



Gambar 4. Grafik Rata-Rata Tegangan Tarik

Bedasarkan hasil tegangan tarik tabel 4.2 menunjukkan bahwa tegangan tarik raw material sebesar 260,31. Untuk pengujian tarik tertinggi pada variasi kuat arus listrik 160 ampere adalah dengan menggunakan media pendingin air radiator dengan tegangan tarik sebesar 162,73 MPa sedangkan yang terendah pada 160 ampere adalah tanpa media pendingin dengan tegangan tarik sebesar 149,01 MPa. Begitu juga untuk tegangan tarik tertinggi pada variasi kuat arus listrik 190 ampere adalah dengan menggunakan media pendingin air radiator dengan tegangan tarik sebesar 160,07 sedangkan yang terendah pada 190 ampere adalah tanpa media pendingin dengan tegangan tarik sebesar 145,12 Mpa.

Hasil tersebut menyimpulkan bahwa penggunaan media pendingin, baik berupa air maupun air radiator, meningkatkan tegangan tarik pada arus 160 A dan 190 A jika dibandingkan dengan spesimen yang tidak menggunakan media pendingin. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan media pendingin efektif dalam meningkatkan tegangan tarik.

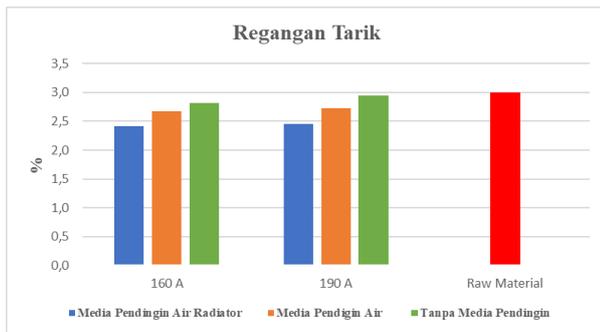
Regangan Tarik

Berikut nilai rata-rata Regangan tarik :

Tabel 5 Data Hasil Regangan Tarik

Kode Spesimen	no	ΔL (mm)	Lo (mm)	e Regangan (%)	e Rata Rata (%)
Raw Material	2	5,7	200	2,85	
Raw Material	3	5,9	200	2,95	2,90
Raw Material	4	5,8	200	2,90	
AL160TP	2	5,8	200	2,90	
AL160TP	3	5,5	200	2,75	2,82
AL160TP	4	5,6	200	2,80	
AL160AM	1	5,2	200	2,60	
AL160AM	2	5,3	200	2,65	2,67
AL160AM	3	5,5	200	2,75	

AL160AR	1	4,5	200	2,25	
AL160AR	2	4,8	200	2,40	2,42
AL160AR	4	5,2	200	2,60	
AL190TP	1	6	200	3,00	
AL190TP	2	5,9	200	2,95	2,95
AL190TP	4	5,8	200	2,90	
AL190AM	2	5,1	200	2,55	
AL190AM	3	5,8	200	2,90	2,73
AL190AM	4	5,5	200	2,75	
AL190AR	1	4,8	200	2,40	
AL190AR	2	5	200	2,50	2,45
AL190AR	4	4,9	200	2,45	



Gambar 5 Grafik Rata-Rata Regangan tarik

Bedasarkan data tabel 5 regangan tarik menunjukkan bahwa regangan Untuk Raw Material, nilai regangan rata-rata yang diperoleh adalah 2,90%. Pada spesimen dengan arus listrik 160 A tanpa media pendingin, nilai regangan rata-rata adalah 2,82%. Penggunaan media pendingin air pada arus 160 A menunjukkan penurunan regangan dengan rata-rata 2,67%. Sementara itu, penggunaan media pendingin air radiator pada arus yang sama memberikan nilai regangan rata-rata sebesar 2,42%.

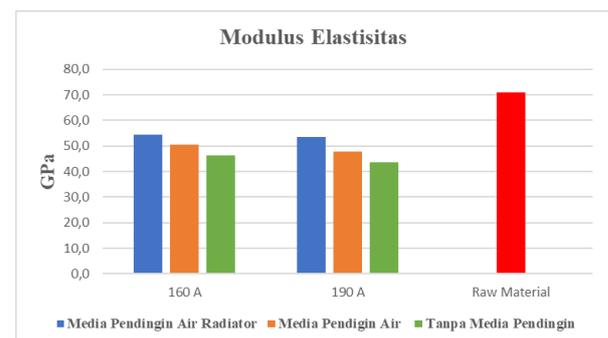
Pada pengujian dengan arus listrik 190 A tanpa media pendingin, nilai regangan rata-rata yang diperoleh adalah 2,95%. Ketika menggunakan media pendingin air pada arus 190 A, nilai regangan rata-rata menurun menjadi 2,73%. Sementara itu, penggunaan media pendingin air radiator pada arus 190 A menghasilkan nilai regangan rata-rata sebesar 2,48%.

Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa variasi media pendingin dan kuat arus listrik memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai regangan tarik. Penggunaan media pendingin, terutama air dan air radiator, cenderung menurunkan nilai regangan dibandingkan dengan tanpa media pendingin. Selain itu, peningkatan kuat arus dari 160 A ke 190 A juga cenderung menurunkan nilai regangan tarik material. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi pendinginan dan arus listrik dapat mempengaruhi karakteristik regangan tarik material.

Modulus Elastisitas

Berikut nilai rata-rata Modulus Elastisitas :

Kode Spesimen	no	σ Max (Mpa)	e Regangan (%)	E Modulus Elastisitas (Gpa)	E Rata Rata (Gpa)
Raw Material	2	205,02	2,85	71,94	
Raw Material	3	205,46	2,95	69,65	70,77
Raw Material	4	205,08	2,90	70,72	
AL160TP	2	130,63	2,90	45,04	
AL160TP	3	130,79	2,75	47,56	46,40
AL160TP	4	130,47	2,80	46,60	
AL160AM	2	133,46	2,60	51,33	
AL160AM	3	133,95	2,65	50,55	50,36
AL160AM	4	135,29	2,75	49,20	
AL160AR	1	128,03	2,25	56,90	
AL160AR	2	131,45	2,40	54,77	54,35
AL160AR	3	133,61	2,60	51,39	
AL190TP	1	130,62	3,00	43,54	
AL190TP	2	130,06	2,95	44,09	43,74
AL190TP	4	126,45	2,90	43,60	
AL190AM	2	129	2,55	50,59	
AL190AM	3	129,91	2,90	44,80	47,73
AL190AM	4	131,43	2,75	47,79	
AL190AR	1	131,97	2,40	54,99	
AL190AR	2	131,29	2,50	52,52	53,40
AL190AR	4	129,13	2,45	52,71	



Gambar 6 Grafik rata-rata Modulus Elastisitas

Bedasarkan data tabel 6 nilai material tanpa perlakuan awal menunjukkan nilai modulus elastisitas rata-rata sebesar 70,77 GPa. Ketika dilakukan pengujian dengan arus listrik 160 A tanpa media pendingin, nilai modulus elastisitas rata-rata turun menjadi 46,40 GPa. Penggunaan media pendingin air pada arus 160 A menghasilkan nilai modulus elastisitas rata-rata sebesar 50,36 GPa, sementara penggunaan media pendingin air radiator memberikan nilai rata-rata sebesar 54,35 GPa

Pada pengujian dengan arus listrik 190 A tanpa media pendingin, nilai modulus elastisitas rata-rata adalah 43,74 GPa. Penggunaan media pendingin air pada arus 190 A meningkatkan nilai modulus elastisitas rata-rata menjadi 47,73 GPa, sedangkan penggunaan media pendingin air radiator memberikan nilai rata-rata sebesar 53,40 GPa. Dari hasil tersebut,

Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa perlakuan arus listrik dan media pendingin memberikan dampak yang signifikan terhadap modulus elastisitas material. Modulus elastisitas cenderung menurun dengan adanya perlakuan arus listrik, terutama pada arus 190 A. Namun, penggunaan media pendingin air dan air radiator dapat meningkatkan modulus elastisitas dibandingkan dengan tanpa media pendingin. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh pendinginan terhadap modulus elastisitas material dapat bervariasi tergantung pada jenis media pendingin yang digunakan.

3.2 Perbandingan Hasil pengujian dengan standar BKI

Menurut Biro Klasifikasi Indonesia pada “Rules for the classification and Construction, Part 1 Vol VI: Rules For Welding, section 5: Welding Consumables And Auxillary Material” Kekuatan tarik minimal yang harus dimiliki oleh aluminium 5083 adalah sebesar 275 MPa.

Bedasarkan hasil dari pengujian tarik yang telah dilakukan pada tabel 3, pengujian tarik dengan kuat arus 160 ampere dan media pendingin air radiator memiliki kekutan tarik tertinggi sebesar 162,73 Mpa. nilai kekuatan tarik ini masih belum memenuhi ketentuan standar. hal ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor seperti pemilihan kuat arus yang kurang tepat, pemilihan elektroda ataupun seorang welder dalam mengelas suatu material.

3.3 Hasil Uji Tekuk

Pengujian tekuk dilakukan sesuai dengan ketentuan ISO 5173. Pengujian dilakukan pada dua variasi kuat arus dan perbandingan dua media pendingin serta satu tanpa media pendingin,

Tegangan Tekuk

Berikut nilai rata-rata Tegangan Tekuk :

Tabel 7 Data Hasil Tegangan Tekuk

Kode Spesimen	no	b lebar (mm)	d Tebal (mm)	L Panjang Span (mm)	P beban (N)	standar deviasi	σb tegangan tekuk (Mpa)	σb rata rata (MPa)
Raw Material	1	6	20	10	3970	2,68	82,71	78,80
Raw Material	2	6	20	10	3710		77,29	
Raw Material	3	6	20	10	3690		76,88	
Raw Material	4	6	20	10	3760		78,33	
AL160TP	1	6	20	10	2410	19,72	50,21	42,76
AL160TP	2	6	20	10	2650		55,21	
AL160TP	3	6	20	10	2510		52,29	
AL160TP	4	6	20	10	640		13,33	
AL160AM	1	6	20	10	2570	1,41	53,54	55,05
AL160AM	2	6	20	10	2700		56,25	
AL160AM	3	6	20	10	2600		54,17	
AL160AM	4	6	20	10	2700		56,25	

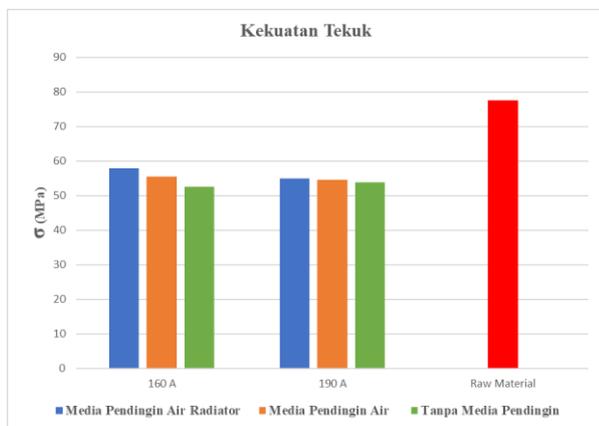
AL160AR	1	6	20	10	2720	2,37	56,67	56,82
AL160AR	2	6	20	10	2570		53,54	
AL160AR	3	6	20	10	2800		58,33	
AL160AR	4	6	20	10	2820		58,75	
AL190TP	1	6	20	10	2660	20,58	55,42	43,49
AL190TP	2	6	20	10	2600		54,17	
AL190TP	3	6	20	10	610		12,71	
AL190TP	4	6	20	10	2480		51,67	
AL190AM	1	6	20	10	2670	0,55	55,63	54,84
AL190AM	2	6	20	10	2620		54,58	
AL190AM	3	6	20	10	2630		54,79	
AL190AM	4	6	20	10	2610		54,38	
AL190AR	1	6	20	10	2640	0,27	55,00	55,10
AL190AR	2	6	20	10	2630		54,79	
AL190AR	3	6	20	10	2660		55,42	
AL190AR	4	6	20	10	2650		55,21	

Berdasarkan tabel 7, nilai standar deviasi untuk setiap variasi pendinginan dapat dihitung. pada raw material memiliki standar deviasi 2,32 hingga menyebabkan raw material 1 dapat dimasukkan dalam perhitungan karena nilai tegangan tekuk melebihi standar deviasi. Pada variasi 160 ampere dan tanpa media pendingin memiliki nilai standar deviasi sebesar 17,08 hingga menyebabkan spesimen 160 a dan tanpa media pendingin 4 tidak dapat diikutsertakan dalam perhitungan karena nilai tegangan tekuk kurang dari standar deviasi. Pada variasi 160 ampere dan menggunakan media pendingin air memiliki nilai standar deviasi sebesar 1,22 hingga menyebabkan spesimen 160 a dan media pendingin air 1 tidak dapat diikutsertakan dalam perhitungan karena nilai tegangan tekuk kurang dari standar deviasi. Pada variasi 160 ampere dan menggunakan media pendingin air radiator memiliki nilai standar deviasi sebesar 2,05 hingga menyebabkan spesimen 160 a dan media pendingin air 2 tidak dapat diikutsertakan dalam perhitungan karena nilai tegangan tekuk kurang dari standar deviasi.

Pada variasi 190 ampere dan tanpa media pendingin memiliki nilai standar deviasi sebesar 17,82 hingga menyebabkan spesimen 190 a dan tanpa media pendingin 3 tidak dapat diikutsertakan dalam perhitungan karena nilai tegangan tekuk kurang dari standar deviasi. Pada variasi 190 ampere dengan media pendingin air, nilai standar deviasinya adalah 0,47, sehingga spesimen 190 A dengan media pendingin air 1 tidak dapat dimasukkan dalam perhitungan karena nilai tegangan tekuknya melebihi standar deviasi. Sedangkan pada variasi 190 ampere dengan media pendingin air radiator, nilai standar deviasinya adalah 0,23. Oleh karena itu, spesimen 190 A dengan media pendingin air radiator 3 tidak dapat dimasukkan dalam perhitungan karena nilai tegangan tekuknya melebihi standar deviasi.

Tabel 8 Data Hasil Tegangan Tekuk dengan Validasi Standar Deviasi

Kode Spesimen	no	b lebar (mm)	d Tebal (mm)	L Panjang Span (mm)	P beban (N)	σb tegangan tekuk (Mpa)	σb rata rata (MPa)
Raw Material	6	20	10	3710	3710	77,29	
Raw Material	6	20	10	3690	3690	76,88	77,50
Raw Material	6	20	10	3760	3760	78,33	
AL160TP	6	20	10	2410	2410	50,21	
AL160TP	6	20	10	2650	2650	55,21	52,57
AL160TP	6	20	10	2510	2510	52,29	
AL160AM	6	20	10	2700	2700	56,25	
AL160AM	6	20	10	2600	2600	54,17	55,56
AL160AM	6	20	10	2700	2700	56,25	
AL160AR	6	20	10	2720	2720	56,67	
AL160AR	6	20	10	2800	2800	58,33	57,92
AL160AR	6	20	10	2820	2820	58,75	
AL190TP	6	20	10	2660	2660	55,42	
AL190TP	6	20	10	2600	2600	54,17	53,75
AL190TP	6	20	10	2480	2480	51,67	
AL190AM	6	20	10	2620	2620	54,58	
AL190AM	6	20	10	2630	2630	54,79	54,58
AL190AM	6	20	10	2610	2610	54,38	
AL190AR	6	20	10	2640	2640	55,00	
AL190AR	6	20	10	2630	2630	55,42	55,21
AL190AR	6	20	10	2650	2650	55,21	



Gambar 7 Grafik rata-rata Tegangan Tekuk

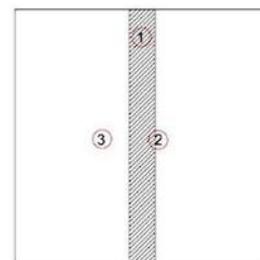
Pengujian pada material awal tanpa perlakuan arus listrik menunjukkan nilai kekuatan tekuk rata-rata sebesar 77,50 MPa. Pada spesimen dengan arus listrik 160 A tanpa media pendingin, kekuatan tekuk rata-rata adalah 52,57 MPa. Penggunaan media pendingin air pada arus 160 A meningkatkan kekuatan tekuk rata-rata menjadi 55,56 MPa. Sementara itu, penggunaan pendingin air radiator pada arus yang sama memberikan kekuatan tekuk rata-rata tertinggi sebesar 57,92 MPa.

Untuk pengujian dengan arus listrik 190 A tanpa media pendingin, kekuatan tekuk rata-rata yang diperoleh adalah 53,75 MPa. Ketika menggunakan media pendingin air pada arus 190 A, nilai kekuatan tekuk rata-rata sedikit meningkat menjadi 54,58 MPa. Sedangkan penggunaan pendingin air radiator pada arus listrik 190 A menghasilkan kekuatan tekuk rata-rata sebesar 55,00 MPa.

Dari hasil pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa variasi media pendingin memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekuatan tekuk. Pada arus 160 A, penggunaan media pendingin air dan air radiator cenderung meningkatkan nilai kekuatan tekuk dibandingkan tanpa media pendingin, dengan peningkatan tertinggi dicapai oleh media pendingin air radiator. Pada arus 190 A, baik media pendingin air maupun air radiator juga menunjukkan peningkatan nilai kekuatan tekuk dibandingkan tanpa media pendingin, dengan media pendingin air radiator memberikan hasil terbaik. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan media pendingin, terutama air radiator, dapat meningkatkan kekuatan tekuk material yang diuji pada kedua kuat arus listrik tersebut.

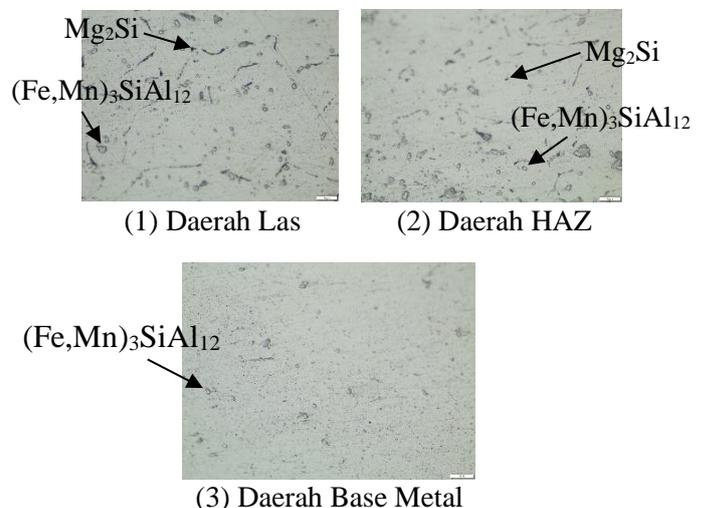
3.3 Hasil Uji Mikrografi

Pengujian mikrografi dilakukan sesuai dengan ketentuan ASTM E3-11. pengujian mikrografi dilakukan pada Daerah las, HAZ dan base metal. seperti gambar di bawah ini



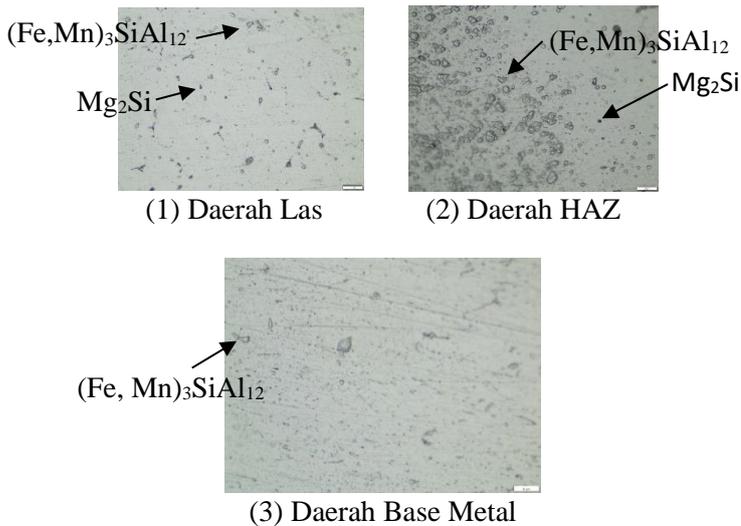
Gambar 8. (1) Daerah Las (2) Daerah HAZ (3) Daerah Base Metal

Dari pengujian menggunakan mikroskop untuk pengamatan struktur mikro dengan pembesaran 500x pada aluminium dengan variasi media pendingin didapatkan hasil seperti berikut :



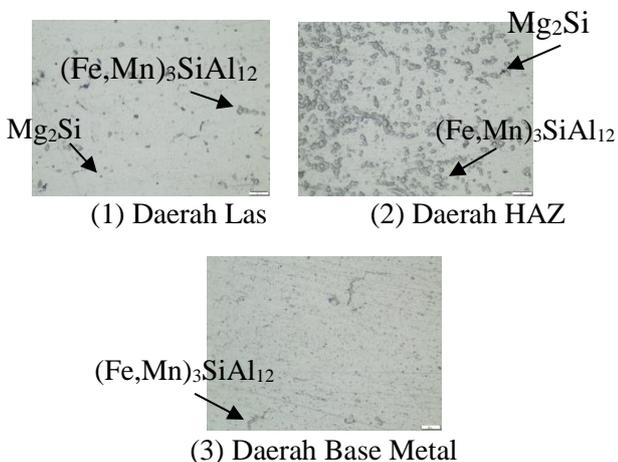
Gambar 9. Sturktur mikro tanpa media pendingin dengan kuat arus 160 A

Hasil pengujian mikrofografi dengan variasi tanpa media pendingin dan kuat arus 160 A dihasilkan bahwa base material mengandung fasa $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$ yang memiliki ciri yang berwarna abu-abu. Pada daerah HAZ adanya partikel yang berwarna hitam. Partikel ini mengandung unsur magnesium silicon (Mg_2Si)[15]. Pada daerah HAZ terlihat adanya Mg_2Si dan $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$ bertambah dan menyebar namun tidak merata. pada daerah las terlihat jumlah $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$ berkurang dibandingkan daerah HAZ namun jumlah Mg_2Si meningkat.



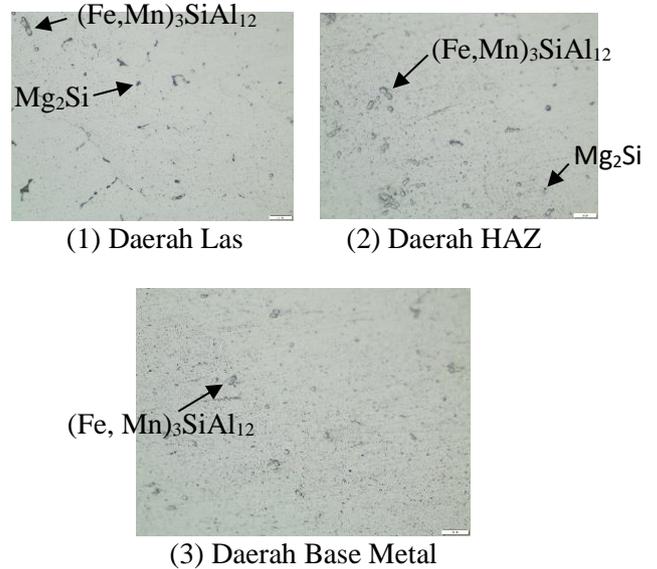
Gambar 10. Sturktur mikro media pendingin air dengan kuat arus 160 A

Hasil pengujian mikrofografi dengan variasi media pendingin air dan kuat arus 160 A dihasilkan bahwa pada base material mengandung $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$. Pada daerah HAZ terlihat $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$ meregang dan menyebar secara merata namun tidak sebanyak media pendingin air radiator. Pada Daerah las menunjukkan pengurangan fase $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$ dan terlihat meningkatnya jumlah Mg_2Si .



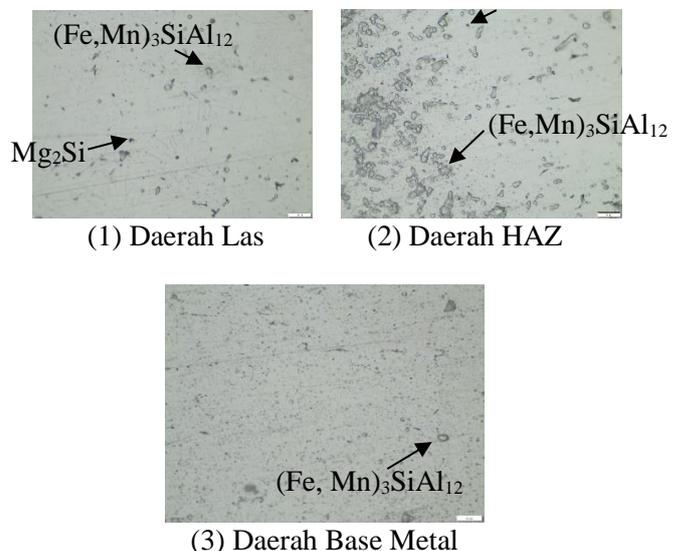
Gambar 11. Sturktur mikro media pendingin air radiator dengan kuat arus 160 A

Hasil pengujian mikrofografi dengan variasi media pendingin air radiator dan kuat arus 160 A dihasilkan bahwa pada pada base material mengandung fasa $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$. Pada daerah HAZ adanya Mg_2Si dan terlihat $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$ meregang dan menyebar secara merata. Pada Daerah las menunjukkan pengurangan fase $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$ dan terlihat meningkatnya jumlah Mg_2Si .



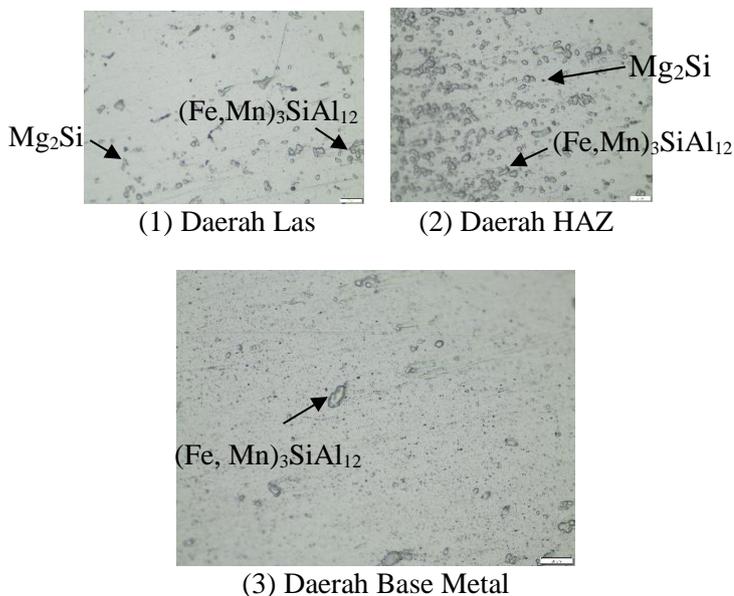
Gambar 12. Sturktur mikro tanpa media pendingin dengan kuat arus 190 A

Hasil pengujian mikrofografi dengan variasi tanpa media pendingin dan kuat arus 190 A dihasilkan bahwa pada pada base material mengandung $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$. Pada daerah HAZ adanya Mg_2Si dan terlihat $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$ bertambah dan menyebar namun tidak merata. pada daerah las terlihat jumlah $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$ berkurang dibandingkan daerah HAZ namun jumlah Mg_2Si meningkat.



Gambar 12. Sturktur mikro media pendingin air dengan kuat arus 190 A

Hasil pengujian mikrografi dengan variasi media pendingin air dan kuat arus 190 A dihasilkan bahwa pada base material mengandung fasa $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$. pada daerah HAZ terlihat jumlah Mg_2Si dan $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$ lebih sedikit dibandingkan dengan kuat arus 160 A namun pada kuat arus 190 A tanpa media pendingin jumlahnya lebih banyak. pada daerah las terlihat jumlah $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$ berkurang dibandingkan daerah HAZ namun jumlah Mg_2Si meningkat.



Gambar 13. Struktur mikro media pendingin air dengan kuat arus 190 A

Hasil pengujian mikrografi dengan menggunakan air radiator Pada base material mengandung $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$. Pada daerah HAZ menunjukkan adanya kandungan Mg_2Si dan kandungan $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$ yang menyebar jumlahnya lebih banyak dibandingkan media pendingin air. pada daerah las jumlah $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$ dan Mg_2Si lebih banyak dibandingkan dengan tanpa media pendingin.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian tarik, tekuk, dan analisis struktur mikrografi pada aluminium 5083 dengan berbagai variasi media pendingin dan kuat arus listrik, beberapa simpulan dapat diambil sebagai berikut:

dari pengujian tarik dan tekuk dapat disimpulkan bahwa media pendingin dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan tekuk dibandingkan tanpa media pendingin. dari hasil struktur mikrografi daerah las dan daerah HAZ mendapatkan perubahan ukuran struktur dibandingkan dengan daerah base metal dengan masing masing perlakuan spesimen. Spesimen dengan perlakuan media pendingin air menunjukkan bahwa ukuran Mg_2Si yang paling

dominan pada daerah HAZ. Spesimen dengan dengan perlakuan media pendingin air dan air radiator menunjukkan bahwa pada daerah las fasa Mg_2Si cenderung lebih banyak dibandingkan tanpa media pendingin.

dari pengujian tarik media pendingin air radiator dengan kuat arus pengelasan 160 A, mencapai 162,73 MPa dan nilai terendah pada spesimen tanpa media pendingin dengan kuat arus listrik 190 A yaitu sebesar 145,12 MPa. Nilai kuat tekuk tertinggi terdapat pada kuat arus 190 A dan media pendingin air radiator dengan nilai sebesar 57,92 MPa dan nilai terendah terdapat pada spesimen dengan kuat arus 160 A dan tanpa menggunakan media pendingin dengan nilai sebesar 52,57 MPa.

Berdasarkan hasil dari pengujian tarik yang telah dilakukan, nilai kuat tarik dengan kuat arus 160 ampere dan media pendingin air radiator memiliki kekuatan tarik tertinggi sebesar 162,73 MPa. nilai kekuatan tarik ini masih belum memenuhi ketentuan standar Biro Klasifikasi Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Biro Klasifikasi Indonesia, "Rules For The Classification And Construction Volume VI Rules For Welding.," Vol. Vi, 2022, P. 55.
- [2] Jamasri And Sulardjaka, *Pengelasan Paduan Aluminium*, Cetakan Ke 1., Vol. 1. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2019.
- [3] O. Mulyadi And M. T. Iswanto, *Buku Ajar Teknologi Pengelasan*. 2020.
- [4] J. Dossett And G. Totten, *Steel Heat Treating Fundamentals And Processes*. ASM International, 2013. Doi: 10.31399/asm.hb.v04a.9781627081658.
- [5] R. Cahya Kusuma, S. Jokosisworo, And A. S. Wibawa Budi, "Analisis Perbandingan Kekuatan Tarik, Impak, Tekuk Dan Mikrografi Aluminium 5083 Pasca Pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) Dengan Media Pendingin Air Laut Dan Oli," *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol. 5, No. 4, P. 585, 2017, [Online]. Available: [Http://Ejournal3.Undip.Ac.Id/Index.Php/Naval](http://Ejournal3.Undip.Ac.Id/Index.Php/Naval)
- [6] H. Kurniawan, A. Santosa Budi Wibawa, And U. Budiarto, "Pengaruh Media Pendingin Air Tawar, Air Coolant Dan Udara Terhadap Kekuatan Tarik Dan

Kekerasan Pada Sambungan Las MIG (Metal Inert Gas) Dan MAG (Metal Active Gas) Alumunium 6061,” *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol. 8, Pp. 584–584, 2020.

- [7] A. Naufal, S. Jokosisworo, And J. Teknik Perkapalan, “Pengaruh Kuat Arus Listrik Dan Sudut Kampuh V Terhadap Kekuatan Tarik Dan Tekuk Aluminium 5083 Pengelasan GTAW,” 2016.
- [8] S. Gupta, D. Singh, A. Yadav, S. Jain, And B. Pratap, “A Comparative Study Of 5083 Aluminium Alloy And 316L Stainless Steel For Shipbuilding Material,” In *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, Jan. 2020, Pp. 2358–2363. Doi: 10.1016/J.Matpr.2020.04.641.
- [9] R. Nunes *Et Al.*, “Properties And Selection: Nonferrous Alloys And Special-Purpose Materials,” In *ASM HAND BOOK*, Vol. 2, 2005.
- [10] Daryanto, *Teknik Las*. Bandung : ALFABETA., 2012, 2012.
- [11] M. A. Priadi, I. Nyoman, P. Nugraha, And G. Widayana, “Pengaruh Media Pendinginan Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Oxy Acetylene Pada Material Baja ST-37,” *Jurnal Jurusan Pendidikan Teknik Mesin (JJPTM)*, Vol. 8, No. 2, 2017.
- [12] P. Fenoria, “Analisa Pengaruh Variasi Kuat Arus Dan Jarak Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik, Sambungan Las Baja Karbon Rendah Dengan Elektroda 6013,” 2010.
- [13] “Destructive Tests On Welds In Metallic Materials-Transverse Tensile Test,” 2022. [Online]. Available: [Www.Iso.Org](http://www.iso.org)
- [14] “Destructive Tests On Welds In Metallic Materials — Bend Tests,” 2023.
- [15] Richard And Stevens, *Aluminum Alloys: Metallographic Techniques And Microstructures*. 2005.