

ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *PREHEAT* PADA PENGELASAN GTAW ALUMINIUM 6061 TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO

Naufaldy Ramadhan^{1*}, Dika Anggara^{2*}, Mukhlis^{3*}

Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya^{1*2*3*}

Email: naufram09@gmail.com¹

Abstract – Aluminum 6061 is included in the heat treatable aluminum alloy, during the welding process deformation, cracks, porosity or other welding defects will usually occur which results in a change in the metallurgical composition of the aluminum material resulting in reduced material strength. In this research the variations used are non preheat, preheat 80°C and preheat 120°C. The results of the tensile test with the highest tensile strength value of 189.08 MPa at 120°C preheat variation, then the presence of higher preheat can increase the tensile strength of the material. Micro test results show that the higher the preheat temperature will cause the precipitate to be dispersed, thereby reducing the precipitate content which can affect the mechanical properties of the material. The results of the hardness test, the higher the preheat temperature, the lower the hardness of the material, this can also be seen from the differences in the shape of the microstructure. However, in the welding process with 80°C and 120°C preheat, it was seen that the hardness value in the weld metal increased beyond the hardness in the base metal area which could be caused by a hardening of the precipitate. The highest hardness test result was 67.68 HV on the non-preheat base metal and the lowest hardness was 56.17 HV on the preheat base metal at 120°C.

Keywords: preheat temperature, GTAW, aluminium 6061, mechanical properties, microstructure

1. PENDAHULUAN

Pengelasan adalah proses penyambungan antara logam atau non logam dengan cara pemberian panas pada material yang akan disambung hingga mencapai temperature las, dengan atau tanpa tekanan (*pressure*), dan dengan atau tanpa logam pengisi (*filler*) [1]. Penggunaan teknologi pengelasan seiring dengan perkembangan zaman dalam teknik pengelasan busur dengan gas mulia menyebabkan pengelasan aluminium dan paduannya menjadi sederhana serta dapat dipercaya, oleh karenanya penggunaan aluminium dibidang manufaktur atau industri telah berkembang [2].

Paduan aluminium dikelompokkan menjadi 2 yaitu *heat-treatable* dan *non heat-treatable* aluminium seri 6XXX termasuk dalam paduan aluminium heat treatable dikarenakan memiliki kandungan Mg dan Si [3]. Dalam proses fabrikasi penyambungan aluminium seri 6XXX disarankan untuk menggunakan *Tungsten Inert Gas* (TIG) dan *Metal Inert Gas* (MIG) karena penerapannya yang relatif lebih mudah dan ekonomi [3]. Namun pada proses pengelasan aluminium memiliki kecenderungan mengalami deformasi, *hot crack*, *porosity* ataupun cacat-cacat las lain khususnya pada paduan aluminium-magnesium-sislicon yang dapat menurunkan sifat mekanik sambungan las [3].

Aluminium seri 6XXX merupakan paduan yang akan memberi respon ketika diberi perlakuan panas (*heat-treatable*), maka dari itu untuk meningkatkan sifat mekanis dari sambungan las aluminium maka dilakukan perlakuan *preheat*. Proses *preheat* dilakukan untuk memperlambat laju pendinginan, menghilangkan kelembaban dan mengurangi resiko *crack* [3]. Oleh karena itu, akan dilakukan Analisis Pengaruh Variasi Temperatur *Preheat* pada Pengelasan GTAW Aluminium 6061 terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro.

2. METODOLOGI .

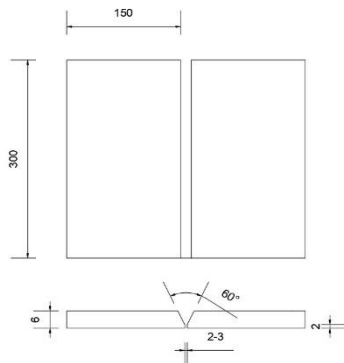
2.1 Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan proses pengelasan GTAW pada material aluminium 6061 T4 dengan ketebalan 6 mm. Variasi yang digunakan adalah *non-preheat*, *preheat 80°C*, dan *preheat 120°C*. Pengujian material yang dilakukan adalah inspeksi visual, *radiography test*, pengujian tarik, pengujian struktur makro dan mikro, serta pengujian kekerasan.

2.2 Persiapan Pengelasan dan Spesimen Uji

Peneliti menyiapkan material untuk pembuatan spesimen uji. Material yang digunakan adalah aluminium 6061 T4 dengan ukuran 150x300 sejumlah 6 buah sesuai dengan

BKI Vol. VI. Kemudian dilakukan pengelasan *butt joint* pada material tersebut sesuai yang ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 1. Joint design

Selanjutnya menyiapkan peralatan yang dibutuhkan untuk pengelasan meliputi mesin las dan kelengkapannya, *shielding gas* Argon UHP 99,9%, dan *filler metal* ER5356 ϕ 2,4 mm. Berdasarkan ASME Sec. 2 Div. C, komposisi kimia *filler metal* ditampilkan pada tabel berikut.

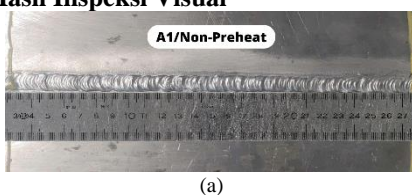
Tabel 1. Komposisi Kimia *Filler* ER5356

Unsur Kimia	Kandungan (%)
Si	0,25
Fe	0,40
Cu	0,10
Mn	0,05-0,20
Mg	4,5-5,5
Cr	0,05-0,20
Zn	0,10
Ti	0,06-0,20

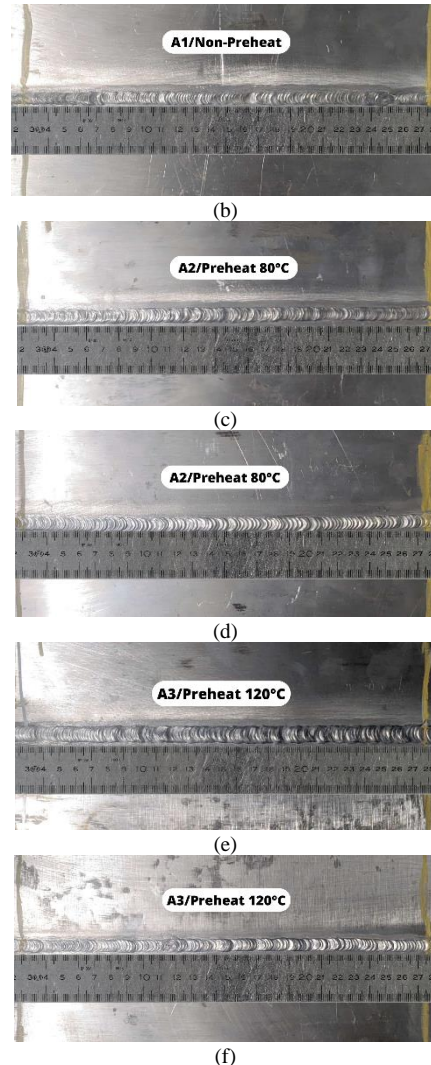
Adapun parameter lain yang digunakan seperti arus sebesar 160 A, voltase 16 Volt, dan *travel speed* 2,2-2,8 mm/s. Setelah proses pengelasan selesai dilaksanakan, kemudian dilaksanakan pengujian. Pengujian yang dilaksanakan dalam penelitian ini adalah inspeksi visual, *radiography test*, pengujian tarik, pengujian struktur makro dan mikro, serta pengujian kekerasan. Setelah inspeksi visual dan *radiography test* selesai, kemudian material dipotong untuk dijadikan spesimen uji. Pemotongan spesimen berdasarkan aturan pada BKI Vol. VI. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik antara lain pengujian tarik dan pengujian kekerasan, serta untuk mengetahui struktur makro dan mikro dengan pengujian metalografi. Potongan tersebut harus memuat bagian *base metal*, *weld metal*, dan *HAZ*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Inspeksi Visual



(a)



Gambar 2. Hasil Inspeksi Visual (a) Face A1, (b) Root A1, (c) Face A2, (d) Root A2, (e) Face A3, (f) Root A3

Pada beberapa gambar diatas hasil dari inspeksi visual pada paneletian kali ini, didapati beberapa *defect* pada pengelasan variasi temperatur *preheat*. Hasil Analisa inspeksi visual dapat dilihat pada berikut.

Tabel 2. Hasil Inspeksi Visual

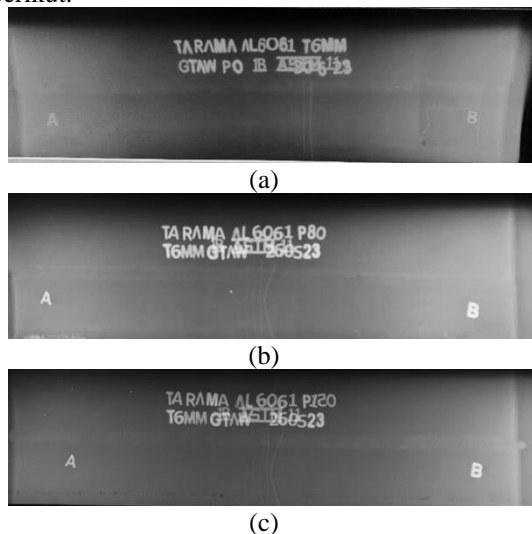
Mark/ Variasi	Area	Defect	Dimensi	Resu lt
A1/No n- Prehea t	Face Weld	Undercut Porosity	P = 1 mm d = 0,5 mm	ACC
	Root Weld	Porosity	d = 1 mm	
A2/Pre heat 80°C	Face Weld	Underfill	P = 1 mm	ACC
	Root Weld	Porosity	d = 1 mm	
A3/Pre heat 120°C	Face Weld	Porosity	d = 0,5 mm d = 1 mm	ACC
	Root Weld	Porosity	d = 0,5 mm	

Analisa hasil inspeksi visual diatas mengacu pada BKI Vol. VI lampiran G terkait syarat keberterimaan tingkat mutu B sambungan las aluminium. Dari hasil pengelasan variasi temperatur *preheat* ditemukan beberapa defect

diantaranya porosity, undercut, dan underfill. Dari semua defect yang muncul pada permukaan hasil las semua spesimen dimensinya masih dibawah nilai maksimal dari ketentuan BKI, maka dari hasil inspeksi visual untuk semua variasi pengelasan dapat diterima.

3.2 Hasil Radiography Test

Pada penelitian ini dilakukan radiography test untuk mendeteksi adanya defect ataupun diskontinuitas pada area pengelasan. Radiography test dilakukan dengan memaparkan sinar radiasi yang dihasilkan oleh sinar gamma pada spesimen uji. Hasil film RT dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Hasil Radiography Test (a) Spesimen A1, (b) Spesimen A2, (c) Spesimen A3

Pada pengujian ini, code yang digunakan sebagai acceptance criteria adalah ISO 10675-2. Lokasi area interpretasi pada spesimen adalah A-B. Pada spesimen A1/non-preheat ditemukan adanya diskontinuitas berupa porosity sebesar 1 mm dan undercut sebesar 1 mm. Pada spesimen A2/preheat 80°C ditemukan diskontinuitas berupa porosity sebesar 1,5 mm dan 1 mm. Pada spesimen A3/preheat 120°C ditemukan diskontinuitas berupa porosity sebesar 1mm. Namun, sesuai dengan code yang diaplikasikan pada pengujian radiografi diskontinuitas tersebut masih dapat diterima. Hasil pengujian RT dapat dilihat melalui tabel berikut.

Tabel 3. Hasil Radiography Test

Mark/ Variasi	IQI Type		Densitas		Defect				Result	Dimensi
	Wire Set	Wire ID	Min	Max	IP	P	UC	Crk		
A1/Non-Preheat	1B	6	2,6	3,3	-	✓	✓	-	ACC	Por 1 mm UC 1 mm
	1B	6	2,3	2,9	-	✓	-	-		
A2/Prehe at 80°C	1B	6	2,3	2,9	-	✓	-	-	ACC	Por 1,5 mm Por 1 mm
	1B	6	2,4	3,1	-	✓	-	-		
A3/Prehe at 120°C	1B	6	2,4	3,1	-	✓	-	-	ACC	Por 1 mm
	1B	6	2,4	3,1	-	✓	-	-		

Hidrogen menjadi penyebab utama terbentuknya porositas pada pengelasan paduan aluminium. Udara sekitar yang memiliki kelembaban yang tinggi mengandung banyak uap air, senyawa H₂O dapat menjadi sumber unsur hidrogen. Kelarutan hidrogen pada aluminium bergantung pada temperatur dan fase aluminium. Kelarutan hidrogen akan tinggi apabila temperatur aluminium semakin tinggi dan fasenya cair atau leleh. Hal ini dapat menyebabkan hidrogen terlarut pada saat proses pengelasan kemudian membentuk porositas pada saat proses pemadatan atau pendinginan [4].

3.3 Hasil Pengujian Tarik

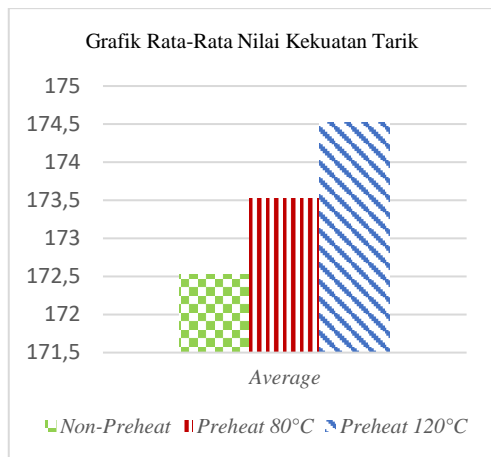
Hasil dari pengujian tarik dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Hasil Uji Tarik

Variasi	Kode	Failure Location	Area (mm ²)	Max. Force (kN)	Max. Stress (MPa)
Non-Preheat	A1-1	Weld Metal	154,33	26,41	171,13
	A1-2	Weld Metal	154,33	26,83	173,91
Preheat 80°C	A2-1	Weld Metal	153,72	27,74	180,46
	A2-2	Weld Metal	153,72	27,53	179,11
Preheat 120°C	A3-1	Base metal	156,24	29,07	186,09
	A3-2	Base metal	154,33	29,18	189,08

Berdasarkan tabel di atas dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian pada tarik pada semua specimen dinyatakan memenuhi syarat keberterimaan pada kuat tarik minimum aluminium 6061 sesuai BKI Vol. VI yaitu sebesar 170 MPa. Ditemukan lokasi patahan pada spesimen A1 dan A2 berada pada bagian *weld metal*, hasil tersebut masih dapat diterima jika lebih dari *specified minimum tensile strength of the base metal*. Maka, spesimen A1 dan A2 dapat diterima karena nilai *ultimate tensile strength* sebesar 171,13 MPa dan 173,91 MPa serta 180,46 MPa dan 179,11 MPa. Pada spesimen A3 lokasi patahan terjadi pada bagian *base metal* dengan nilai *ultimate tensile strength* sebesar 186,09 MPa dan 189,08 MPa sehingga hasil ini dapat diterima sesuai dengan syarat dari BKI Vol. VI. Sama seperti pada penelitian sebelumnya, penambahan suhu *preheat* dapat mempengaruhi nilai kekuatan tarik menjadi lebih tinggi [3].

Data rata-rata dari hasil pengujian tarik dan nilai kekuatan tarik dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. Grafik Rata-Rata Nilai Kekuatan Tarik

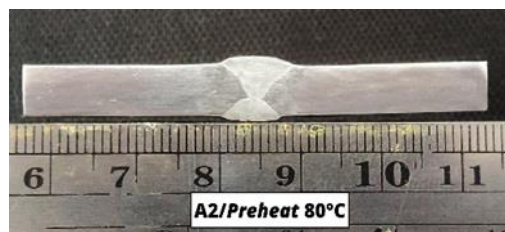
Dari grafik diatas, dapat dilihat bahwa semakin tinggi suhu *preheat* maka kekuatan tarik juga semakin meningkat. Hasil kekuatan tarik pada pengelasan aluminium 6061 cenderung meningkat seiring bertambahnya temperatur *preheat* [5]. Alasan utama dilakukan *preheat* adalah memperlambat laju pendinginan pada logam las dan logam dasar yang memungkinkan hidrogen dapat terdifusi keluar sehingga mengurangi potensi retak dan meningkatkan sifat mekanik pada logam [6].

3.4 Hasil Pengujian Struktur Makro

Pengujian tersebut dilakukan untuk mengetahui hasil dari proses pengelasan dengan variasi temperatur *preheat*. Sehingga dapat ditemukan hasil pengelasan untuk kemudian dibandingkan. Hasil pengujian makro tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.



(a)



(b)



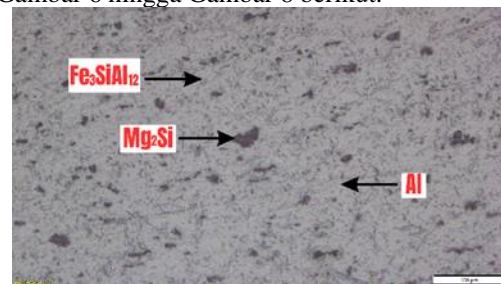
(c)

Gambar 3. Hasil Pengujian Struktur Makro (a) Variasi A1, (b) Variasi A2, (c) Variasi A3

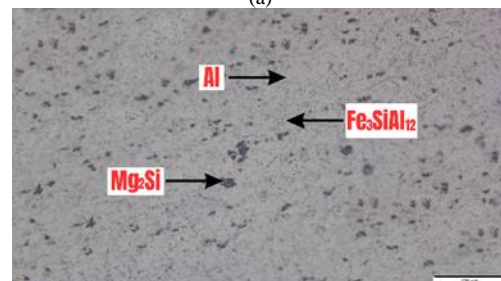
Berdasarkan BKI Vol. VI terkait pemeriksaan makro spesimen uji harus menampakkan dengan jelas garis fusi, HAZ, dan susunan lajur serta logam dasar yang tidak berpengaruh. Pemeriksaan harus menampakkan profil lasan umum, fusi menyeluruh antara lapisan lasan yang berdekatan dengan logam dasar serta tidak adanya cacat seperti retak dan kurangnya fusi. Dari gambar 4.12 diatas dapat diamati bahwa hasil pemeriksaan makro pada semua spesimen dapat diterima sesuai dengan syarat keberterimaan dari BKI Vol. VI.

3.5 Hasil Pengujian Struktur Mikro

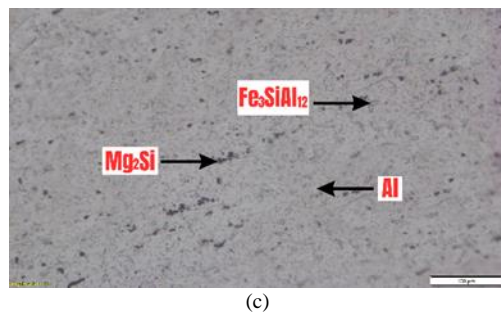
Pengujian struktur mikro dilakukan untuk melihat perubahan struktur mikro pada material Aluminium 6061 T4 akibat proses pengelasan dengan variasi yang berbeda pada setiap spesimen. Dilakukan pengujian struktur mikro dengan perbesaran 500X. Berdasarkan hasil dari pengujian struktur mikro, didapatkan hasil berupa foto struktur mikro dari masing masing spesimen. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 6 hingga Gambar 8 berikut.



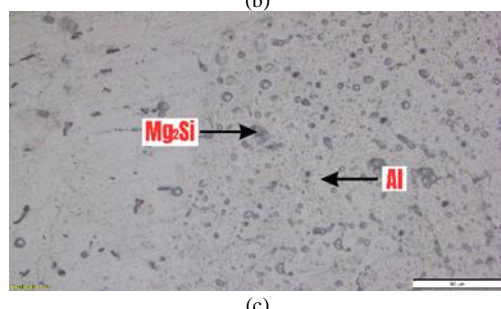
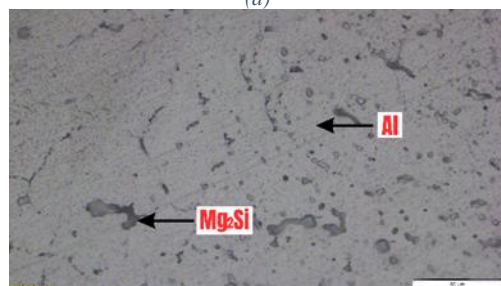
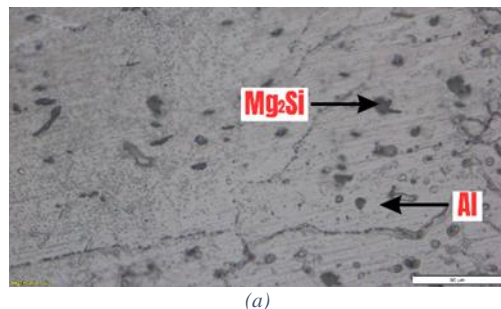
(a)



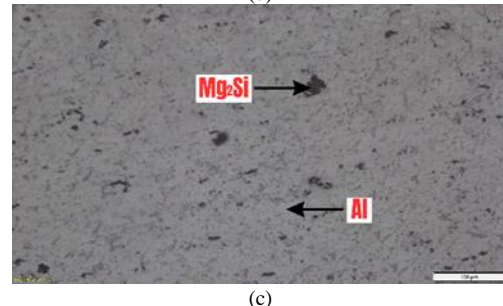
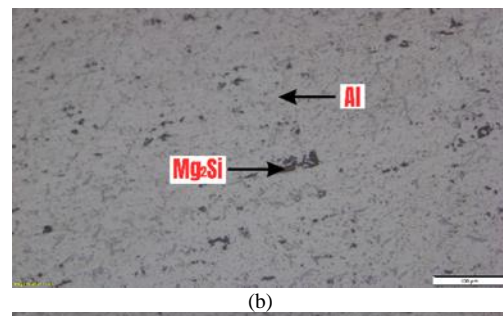
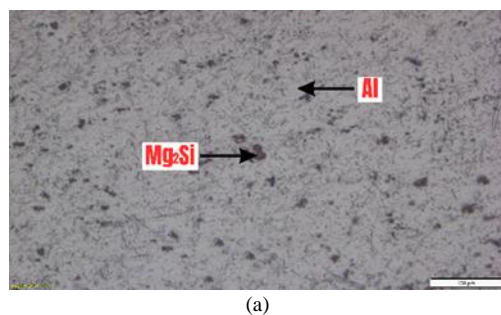
(b)



Gambar 4. Hasil Pengujian Struktur Mikro Perbesaran 500X pada *Base Metal* (a) Variasi A1, (b) Variasi A2, (c) Variasi A3,



Gambar 5. Hasil Pengujian Struktur Mikro Perbesaran 500X pada *HAZ* (a) Variasi A1, (b) Variasi A2, (c) Variasi A3



Gambar 6. Hasil Pengujian Mikro Perbesaran 500X pada *Weld Metal* (a) Variasi A1, (b) Variasi A2, (c) Variasi A3

Menurut *ASM Hand Book Metallography* pada *base metal* struktur mikro yang terbentuk adalah Mg_2Si dan Fe_3SiAl_{12} . Mikrostruktur Mg_2Si pada *base metal* berupa titik-titik berwarna hitam sedangkan Fe_3SiAl_{12} berupa partikel berwarna abu-abu. Fe_3SiAl_{12} adalah fasa yang terbentuk karena terdapat unsur Fe dan Si yang berkaitan dengan aluminium. Mg_2Si adalah suatu senyawa yang terbentuk ketika magnesium bereaksi dengan mengikat silicon yang mengandung presipitat Mg_2Si , Mg_2Si cenderung memiliki sifat yang keras dan kuat. Maka, semakin banyak kandungan Mg_2Si dapat meningkatkan sifat mekanik pada material tersebut [7]. Struktur butir juga memiliki batas-batas butir dan batas butir merupakan rintangan bagi pergerakan dislokasi. Butir semakin halus cenderung akan semakin memperbanyak butir. Batas butir yang banyak akan mengakibatkan gerakan dislokasi semakin sulit yang mengakibatkan sifat mekanik dari material meningkat. Dari gambar struktur mikro pada *base metal* diatas, luasan orientasi butir yang membesar dikarenakan proses *preheat* yang dapat mempengaruhi kekerasan material pada *base metal* karena presipitat dari Mg_2Si semakin sedikit.

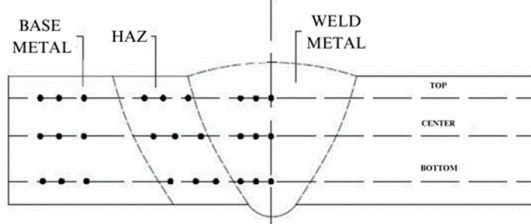
Pada gambar struktur mikro HAZ untuk semua variasi tidak terlalu nampak perbedaan yang cukup signifikan pada batas butirnya. Semakin kasar butir maka semakin kecil area batas butirnya [8]. *Base metal* yang memiliki butir kasar maka akan lebih rentan terhadap *liquation crack* di daerah HAZ, dan hal ini dibuktikan dengan penelitian dengan *varestraint testing* dan semakin kasar butir maka semakin parah terjadi *crack* [9].

Struktur mikro yang terbentuk pada *weld metal* merupakan $Al+Mg_2Si$ dan aluminium

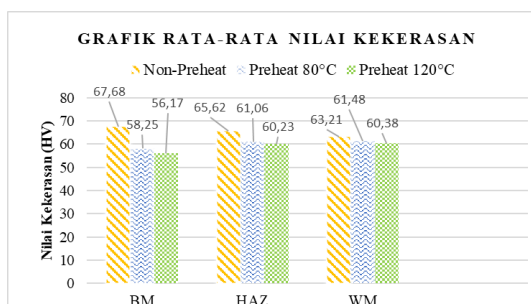
silicon eutectic [7]. Presipitat Mg_2Si juga ditemukan pada *weld metal*. Si dan Mg sebagian besar didistribusikan dalam *eutectic* sepanjang batas butir dan ada patrikel yang jumlahnya kecil pada butir-butir, keduanya terdiri dari *aluminium silicon eutectic* dan Mg_2Si . Partikel Mg_2Si agak bulat dan lebih banyak lagi banyak pada awal presipitasi (suhu lebih rendah) tetapi menjadi lebih memanjang dan lebih sedikit pada suhu tinggi. Dapat dilihat pada gambar struktur mikro *weld metal* pada diatas bahwa semakin tinggi temperatur *preheat* maka presipitat dari Mg_2Si lebih sedikit walaupun tidak begitu signifikan pengurangannya.

3.6 Hasil Pengujian Hardness

Pengujian *micro hardness* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memperoleh nilai kekerasan yang dimiliki oleh sebuah material. Kekerasan adalah kemampuan material untuk menerima beban tanpa mengalami deformasi plastis. Pengujian ini menggunakan indentor berupa vickers dengan pembebanan sebesar 200 kgf. Pengujian dilakukan pada 9 titik di setiap bagian *base metal*, *fusion line*, dan *weld metal*. Sehingga terdapat 27 titik identasi pada sebuah spesimen. Titik identasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 12. Kemudian, didapatkan rata-rata nilai kekerasan pada Gambar 13.



Gambar 9. Titik Pengujian Kekerasan



Gambar10. Grafik Rata-Rata Nilai Kekerasan

Berdasarkan rata-rata dari nilai kekerasan pada Tabel 4.5 di atas, didapat hasil bahwa nilai rata-rata kekerasan tertinggi terdapat pada daerah *base metal* sebesar 67,68 HV untuk variasi *non-preheat*, sedangkan pada variasi *preheat* 80°C dan *preheat* 120°C didapat nilai rata-rata kekerasan tertinggi terdapat pada daerah *weld metal* yaitu sebesar 61,48 HV dan 60,38 HV. Nilai kekerasan terendah terdapat pada daerah *weld metal* sebesar 63,21 HV untuk variasi *non-preheat*, sedangkan pada variasi *preheat* 80°C dan *preheat* 120°C

didapat nilai rata-rata kekerasan terendah terdapat pada daerah *base metal* yaitu sebesar 58,25 HV dan 56,17 HV.

Semakin besar masukan panas yang berasal dari *preheating* atau *homogenization annealing* maka akan menurunkan nilai kekerasannya karena adanya proses *preheating* termasuk dalam proses *softening* material yang menyebabkan material aluminium mengalami penurunan sifat mekaniknya [7]. Hal tersebut juga dapat dibuktikan pada gambar struktur mikro, presipitasi Mg_2Si cenderung berkurang pada material seiring bertambahnya temperatur *preheat*. Namun, pada proses pengelasan dengan *preheat* 80°C dan *preheat* 120°C terlihat nilai kekerasan pada *weld metal* mengalami kenaikan melebihi kekerasan di daerah *base metal*. Nilai kekerasan pada *weld metal* lebih besar dibandingkan *base metal* pada hasil pengelasan aluminium 6061 dapat disebabkan oleh adanya pengerasan endapan (*precipitation hardening*) [10].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian spesimen dan analisis data dalam penelitian ini, dapat diambil kesimpulan antara lain:

1. Berdasarkan hasil pengujian tarik, nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 189,08 MPa pada variasi *preheat* 120°C. Maka dapat diambil kesimpulan bahwa pengaruh temperatur *preheat* semakin tinggi dapat menyebabkan nilai kekuatan tarik pada material semakin meningkat.
2. Berdasarkan hasil pengujian makro menunjukkan bahwa pada semua spesimen pengelasan telah menampakkan dengan jelas garis fusi, daerah HAZ dan tidak ditemukan adanya indikasi cacat las berupa *crack*. Maka dapat diambil kesimpulan bahwa pengaruh perlakuan *preheat* pada material dapat mengurangi resiko terjadinya cacat las berupa *crack*.
3. Berdasarkan hasil pengujian mikro, perlakuan *preheat* menyebabkan perubahan pada struktur mikro. Pada daerah *base metal* luasan orientasi butir semakin membesar seiring meningkatnya temperatur *preheat* sehingga presipitat dari Mg_2Si semakin sedikit. Pada daerah HAZ dan *weld metal* juga terjadi penurunan presipitat dari Mg_2Si tetapi tidak terlalu signifikan. Maka dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur *preheat* akan menyebabkan presipitat terdispresi, sehingga dapat menurunkan kandungan presipitat yang dapat mempengaruhi sifat mekanik dari material tersebut.
4. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan, hasil rata-rata nilai kekerasan tertinggi pada *base metal* variasi *non-preheat* sebesar 67,68 HV sedangkan hasil rata-rata nilai kekerasan

terendah pada *base metal* variasi *preheat* 120°C sebesar 56,17 HV. Semakin tinggi temperatur *preheat* dapat mengakibatkan kekerasan pada material menurun.

5. PUSTAKA

- [1] AWS. (2014). AWS D1.2/D1.2M:2014. “*Structural Welding Code – Aluminium*”. USA: American Welding Society.
- [2] Wiryosumarto, H. and Okumura, T. (2000). “*Teknologi Pengelasan Logam*”. Jakarta: Pradnya Paramita, 2000.
- [3] Rachmatullah, T., Pratikno, H. and Ikhwani, H. (2020). “*Analisa Pengaruh Variasi Pre-Weld Heat Treatment dan Aging Post Weld Heat Treatment pada Sambungan Las Aluminium 6061 terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Makro*”. Jurnal Teknik ITS Vol. 9, No. 2, (2020). Surabaya: Departemen Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- [4] Setyawan, P.E., Irawan, Y.S., and Suprpto, W., “*Kekuatan Tarik Dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek Aluminium 6061 Dengan Berbagai Suhu Aging*”, *Rekayasa Mesin*, v. 5, n. 2, pp.141- 148, 2014. doi: 10.21776/ub.jrm..
- [5] Sitorus, T. B. and Sinaga, R. K. (2019). “*Effect of Preheat and Post Heat On Mechanical Properties of 6061 Aluminium Tungsten Inert Gas Welded Joints*”. IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- [6] Meng, C. (2010). “*Effect of preheating condition on strength of AA6060 aluminium alloy for extrusion*”. Auckland University of Technology, 2010.
- [7] ASM Internasional. (1990). ASM Handbook Volume 2. “*Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*”. Ohio: ASM International Handbook Committee.
- [8] Kou, Sindo (2003). “*Solidification and Liquation Cracking Issues in Welding*”. John Wiley & Sons, Inc: Canada.
- [9] Gittos, N. F. and Scott, M. H. (1981). “*Heat-Affected Zone Cracking of Al-Mg-Si Alloys*”. Welding Research Council : America.
- [10] Henny S. N. dan Fauzan. N. A. (2019). “*Perbandingan Suhu Preheat 200°C dan 300°C terhadap Perambatan Retak Fatik Proses Las Gesek Sambungan Aluminium 6061-T6*”. Seminar Nasional Teknologi Terapan Inovasi dan Rekayasa (SNT2IR) 2019. Bandung: Program Studi D3-Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung.