

EFEK GETARAN PADA PENGELASAN ALUMINUM 5083 H112 MENGGUNAKAN PROSES LAS GAS METAL ARC WELDING (GMAW) TERHADAP POROSITAS DAN SIFAT MEKANIK

Imam Khoirul Rohmat¹, Winarto²

¹Program Studi Teknik Pengelasan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111
²Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia
Kampus UI Depok 16424 Jawa Barat – Indonesia
¹imamkhoirulrohmat@ppns.ac.id, ²winarto@metal.ui.ac.id

Abstrak

Aluminum magnesium seri 5083 banyak diaplikasikan untuk industri perkapalan. Hal tersebut dikarenakan aluminum memiliki kekuatan spesifik yang tinggi serta ketahanan korosi yang baik. Namun pada proses penyambungan berupa pengelasan banyak terjadi permasalahan berupa porositas serta menurunnya sifat mekanis terutama daerah HAZ (*Heat Affected Zone*). Pada pengecoran aluminum salah satu cara untuk mengurangi porositas yaitu dengan memberikan getaran saat pengecoran dilakukan, hal tersebut dicoba diaplikasikan pada pengelasan aluminum 5083 mengingat bahwa pengelasan merupakan miniatur dari proses pengecoran. Untuk melihat efek tersebut dilakukan pengujian tarik, keras, metalografi serta uji image analysis. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa penggetaran tidak banyak berpengaruh terhadap jumlah porositas yang terjadi, namun pada sifat mekanik getaran berpengaruh terhadap nilai kekerasan terutama pada filler ER 4043 dimana spesimen yang digetarkan memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi. Nilai uji tarik rata-rata tertinggi pada ER 5356 terdapat pada spesimen yang tidak digetarkan dengan nilai sebesar 231 MPa dan untuk ER 4043 nilai uji tarik rata-rata tertinggi dimiliki spesimen yang digetarkan dengan nilai sebesar 226 MPa.

Kata Kunci: Aluminum 5083, GMAW, Filler ER 4043, Filler ER 5356

Abstract

5083 series aluminum magnesium is widely used for marine industrial. It is caused aluminum has high specific strength and good corrosion resistance. However, at process of welding many of porosity occurred in the aluminum and it decrease the mechanical properties especially in HAZ (Heat Affected Zone). At casting process of aluminum, porosity could reduce by giving vibration. So, this method is tried to be applicated for welding of aluminum due to welding is a miniature of casting. Tensile test, hardness test, metallography test, and image analysis are technique to characterize the effect. As a result, vibration is not really affected the amount of porosity that occurred. But for hardness it is influenced especially for ER 4043 filler where the vibrated specimens have a higher hardness. The higher average result of tensile test for ER 5356 filler obtained at unvibrated specimens with the value is 231 MPa and for ER 4043 filler the higher average result obtained at vibrated specimen, the value is 226 MPa.

Keywords: Aluminum 5083, GMAW, Filler ER 4043, Filler ER 5356

I. PENDAHULUAN

Jenis aluminum yang sering digunakan dalam industri perkapalan yakni seri 5083. Seri ini merupakan aluminum yang dilakukan pengerasan regangan (*strain hardening*) sehingga memiliki kekuatan mekanik yang cukup tinggi (Kaufman, J.G., 2002). Namun dengan perlakuan *strain hardening* tersebut akan menimbulkan permasalahan berupa penurunan sifat mekanik setelah dilakukan proses pengelasan (*welding*)

(Mathers, G., 2002). Penurunan sifat tersebut terjadi pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) yang mengalami pertumbuhan butir (*grain growth*) sehingga sifat mekaniknya mengalami penurunan. Selain permasalahan tersebut, permasalahan lain yang ditimbulkan aluminum seri 5083 ketika dilakukan pengelasan adalah adanya porositas yang relatif banyak (Mathers, G., 2002).. Porositas tersebut terjadi akibat dari tingginya kelarutan gas hidrogen

saat pengelasan berlangsung (*solubility of hydrogen*) yang cukup tinggi.

Dalam pengecoran logam terutama aluminium salah satu teknik untuk menghilangkan porositas yang terjadi dan juga untuk memperbaiki sifat mekanik yakni dengan cara menggetarkan cetakan saat pengecoran dilakukan (Chirita, G. dkk, 2009; Kocatepe, K., 2007; Limmaneevichitr, C. dkk, 2009; Taghavi, F. dkk, 2009). Hal tersebut bisa mengurangi porositas yang terjadi serta memperbaiki bentuk struktur dari coran sehingga sifat mekaniknya jadi lebih baik.

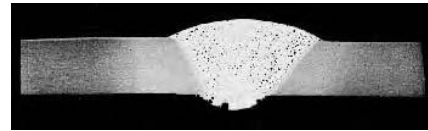
Dengan beberapa permasalahan pengelasan aluminium 5083 berupa porositas yang tinggi serta menurunnya sifat mekanik maka pengelasan dengan menggetarkan spesimen benda kerja menjadi salah satu cara yang mungkin bisa diaplikasikan untuk mengurangi permasalahan dalam mengelas aluminium 5083. Hal tersebut sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa pengelasan merupakan miniatur dari proses pengecoran (*casting*).

Kekuatan yang relatif tinggi dari aluminium seri 5083 dikarenakan adanya perlakuan pengerasan regang (*strain hardening*) serta adanya perlakuan khusus yang memberikan efek perbedaan nilai pada sifat mekanik. Tabel 1. memperlihatkan nilai kekuatan Tarik serta elongasi pada beberapa jenis aluminium 5083 yang telah mengalami perlakuan pengerasan regang.

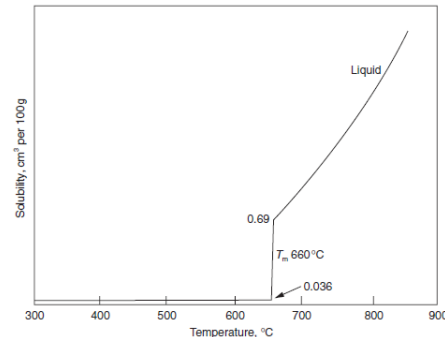
Tabel 1. Nilai kekuatan tarik beberapa jenis aluminium 5083 [7]

Grade	Temper Condition	Kekuatan Luluh (MPa)	Kekuatan Tarik (MPa)	Elongasi (%)
5083	H112	125	275	12
	H116	215	305	10
	H321	215-295	305-385	12

Penggunaan aluminium pada industri perkapalan banyak menimbulkan permasalahan ketika dilakukan proses pengelasan. Permasalahan ketika aluminium 5083 dilakukan pengelasan adalah berupa adanya porositas di daerah *weld metal* (Mathers, G., 2002; Cueca, F. dkk, 2012; Romhanji, E., 2003). Hal tersebut terkait dengan kelarutan hidrogen yang tinggi di aluminium pada temperatur lebur aluminium (Mathers, G., 2009). Gambar 1. menunjukkan contoh adanya porositas yang terjadi pada *weld metal* yang dilakukan dengan proses las TIG. Porositas yang terjadi bisa dalam bentuk *micro-porosity* maupun *coarse porosity*. Kelarutan hidrogen akan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu terutama saat aluminium melebur hal tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pada pengelasan terjadi peleburan dan saat itulah banyak gas hidrogen yang terperangkap pada *weld metal*.



Gambar 1. Porositas di *weld metal* aluminium pada proses las TIG (Mathers, G., 2002)

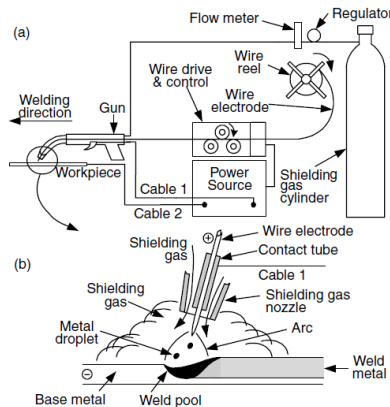


Gambar 2. Kelarutan hidrogen pada aluminium (Mathers, G., 2002)

Menurut Brúna dan Sládek (Bruna, M. dan Sládek A., 2011) kelarutan gas hidrogen banyak terjadi pada logam paduan ringan yang cenderung mengadsorpsi gas ketika dalam keadaan cair. Gas-gas yang diserap permukaan tersebut mampu menyebar ke dalam logam dalam skala atomik. Hidrogen muncul sebagai satu-satunya gas yang dapat terlarut di dalam aluminium dan paduannya. Volume atom yang kecil membuat hidrogen mampu berdifusi lebih cepat ke dalam logam cair dibandingkan gas-gas lainnya. Keadaan tersebut menurut Ferreira *et al* (Ferreira, P.J., dkk., 1999) akan berdampak pada turunnya sifat mekanik yakni menurunnya kekuatan sehingga berpengaruh pada mode perpatahan ketika terjadi kegagalan fatik. Hal tersebut juga diperkuat dengan penelitian Gang lu *et al* (Lu, G. dkk., 2002) kelarutan hidrogen sangat berpengaruh pada sifat mekanis dari aluminium, semakin banyak jumlah hidrogen yang terlarut maka sifat mekanis dari aluminium akan semakin turun.

Gas Metal Arc Welding (GMAW) merupakan salah satu proses pengelasan busur listrik dengan menggunakan pelindung (*shielding*) berupa gas *inert* seperti argon dan helium serta elektroda yang digunakan tergulung sehingga dapat digunakan secara terus menerus tanpa perlu mengganti elektroda (Sindo Kou, 2003). Gambar 3. memperlihatkan konfigurasi dari proses las GMAW dimana elektroda yang digunakan tergulung serta ada tabung untuk *shielding gas*. Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam pengelasan yakni mengenai pelindung (*shielding*) yang ada pada proses las yang dipilih. Porositas yang terjadi salah satu sebabnya adalah kurangnya perlindungan logam las dari udara luar saat proses pengelasan berlangsung. Proses las yang umum digunakan dan memiliki perlindungan bagus untuk pengelasan aluminium adalah dengan las *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) dan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) (Mathers, G., 2002; Sindo Kou, 2003). Dari kedua

proses tersebut yang banyak digunakan untuk pengelasan aluminium adalah GMAW karena memiliki produktifitas yang lebih tinggi dibanding dengan proses GTAW.

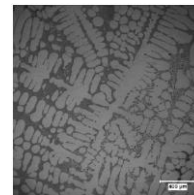


Gambar 3. GMAW (a) overall process; (b) welding area enlarged (Sindo Kou, 2003)

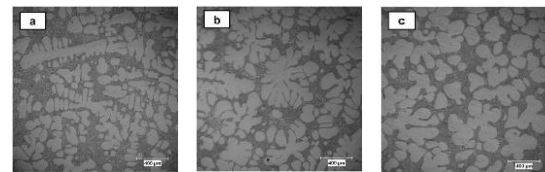
Dalam pemilihan *filler metal* aluminium 5083 hampir semua referensi menunjukkan rekomendasi untuk memakai seri filler ER 5XXX. Hal tersebut sesuai dengan teori dasar pengelasan bahwa logam pengisi harus memiliki kemiripan dengan *base metal*. Namun dalam penelitian ini dicoba untuk melihat adanya perbedaan struktur mikro dan sifat mekanik dengan menggunakan *filler metal* selain dari seri 5XXX. Dalam beberapa referensi, diantaranya penelitian dari Cuenca *et al* (Cueca, F. dkk., 2012) serta penelitian dari Kalenda dan Madeleine (Kalenda, M. dan Madeleine, D.T., 2011) menunjukkan bahwa mereka menggunakan *filler metal* seri ER 4043 untuk mengelas aluminium seri 5083. Dari hasil penelitian mereka memperlihatkan bahwa dengan menggunakan *filler metal* tersebut pengelasan aluminium 5083 tidak mengalami permasalahan yang serius seperti terjadi *crack*. Selain atas dasar penelitian tersebut, pemilihan ER 4043 juga didasarkan atas perbedaan berupa proses *grain refinement* yang ada pada ER 5356 dan ER 4043. Dari kedua jenis *filler metal* tersebut sama-sama memiliki titanium dengan prosentase yang tidak jauh berbeda. Namun pada ER 4043 merupakan paduan aluminium silikon sehingga memiliki unsur silikon yang cukup tinggi yakni 4,5-6%. Dengan adanya unsur silikon diatas 2% maka terjadi *poisoning effect*, dimana hal tersebut akan mempengaruhi proses *grain refinement* menjadi terhambat (Chakraborty, M. dkk., 2005; Shahrooz, N., 2006).

Pengelasan merupakan miniatur dalam proses pengecoran, sebab didalam proses pengelasan terjadi peleburan dan semua unsur-unsur bercampur untuk membentuk sebuah paduan logam baru yakni *weld metal*. Pada pengecoran aluminium salah satu upaya yang dilakukan untuk mengurangi porositas dan memperbaiki sifat mekanik yaitu dengan cara memberikan getaran pada aluminium saat dilakukan pengecoran. Dari beberapa hasil penelitian yang

dilakukan terlihat bahwa dengan memberikan getaran pada aluminium saat pengecoran memberikan efek berupa berkurangnya porositas yang terjadi serta kekuatan mekanik juga memperlihatkan hasil yang lebih baik (Chirita, G., dkk., 2009; Kocatepe, K., 2007; Limmaneevichitr, C. dkk., 2009; taghavi, F. dkk., 2009; Wu, W., 2000. Farshid *et al* (Taghavi, F. dkk., 2009) dalam hasil penelitiannya menjelaskan bahwa dengan adanya getaran saat pengecoran akan memperhalus butiran serta dapat mengurangi porositas. Gambar 4. memperlihatkan bentuk struktur mikro awal saat aluminium *casting* tanpa getaran, dimana pada gambar tersebut mikro struktur berbentuk *dendrite* memanjang. Berbeda dengan bentuk struktur mikro pada aluminium yang digetarkan memiliki bentuk struktur mikro yang lebih halus hal itu terlihat pada Gambar 5.

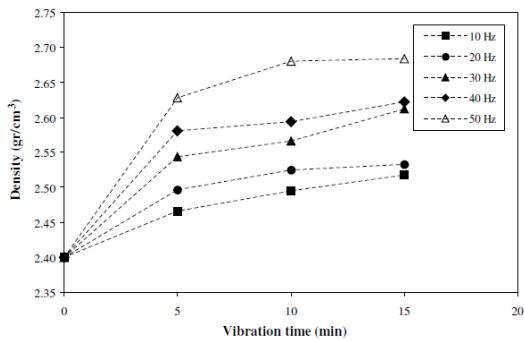


Gambar 4. Struktur mikro awal tanpa getaran (Taghavi, F. dkk., 2009)



Gambar 5. Struktur mikro dengan getaran 30 Hz: (a) 5 menit, (b) 10 menit, (c) 15 menit waktu penggetaran. (Taghavi, F. dkk., 2009)

Dari penelitian Fershid *et al* getaran (Taghavi, F. dkk., 2009) juga disebutkan pengurangan jumlah porositas yang terjadi. Pengurangan tersebut diperlihatkan dengan meningkatnya densitas hasil *casting*. Sama seperti halnya pada bentuk struktur mikro yang memperlihatkan adanya peningkatan kehalusan bentuk butiran seiring dengan lamanya waktu penggetaran, maka pada densitas yang terjadi juga berbanding lurus dengan waktu penggetaran. Peningkatan densitas mengindikasikan adanya pengurangan jumlah porositas yang terjadi. Peningkatan densitas pada *casting* aluminium yang digetarkan digambarkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Densitas berdasarkan waktu penggetaran (Taghavi, F. dkk., 2009)

II. METODE

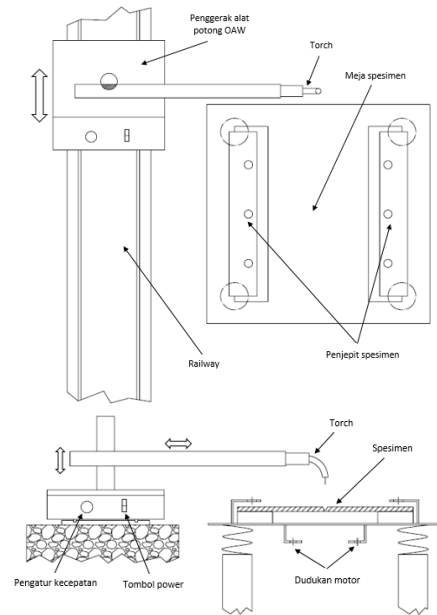
Pembuatan Alat penggetar

Alat penggetar dibuat dengan desain merujuk pada penelitian sebelumnya yang pernah ada (Wu, W., 2000) dan dapat dilihat seperti pada Gambar 7. Pada alat penggetar dipasang sebuah motor yang diletakkan dibawah meja, di motor tersebut terdapat sebuah tombol untuk mengatur kecepatan motor. Pengaturan kecepatan tersebut bertujuan untuk memperoleh kecepatan tertentu sehingga mendapatkan frekuensi tertentu sesuai yang diinginkan.



Gambar 7. Alat penggetar

Dalam penelitian ini selain variabel frekuensi juga terdapat variasi kecepatan pengelasan. Untuk mendapatkan kecepatan yang konstan antara proses pengelasan yang satu dengan yang lainnya maka digunakan mesin potong OAW (*Oxy Acetylene Welding*) semi otomatis sebagai alat bantu. Pada mesin potong OAW kecepatan mesin saat berjalan bisa disesuaikan dengan kecepatan yang akan digunakan. Gambar 8. memberikan gambaran skema pengelasan dalam penelitian ini.



Gambar 8. Skema pengelasan dengan meja penggetar

Pengelasan

Sebelum dilakukan pengelasan terlebih dahulu dilakukan pemberian kode spesimen untuk mempermudah mengingat variabel-variabel dalam penelitian ini. Tabel 2. memperlihatkan penamaan atau kode yang diberikan untuk setiap spesimen. Dari Tabel 2. memperlihatkan bahwa pengelasan dilakukan dengan dua frekuensi getaran serta dari masing-masing getaran tersebut diberikan dua variasi kecepatan pengelasan dan tiap variabel dilakukan pengulangan (*repetition*) dua kali. Pengelasan dilakukan pada spesimen plat dengan ketebalan 8 mm dan dengan ukuran spesimen 300x300 mm.

Tabel 2. Parameter pengelasan dan kode untuk spesimen

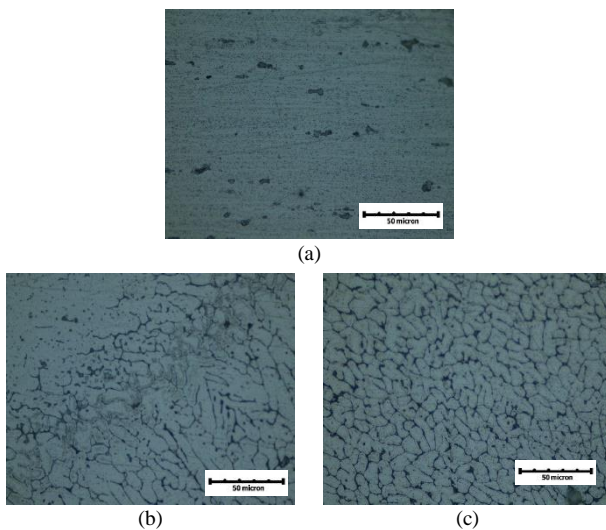
Base Metal/Filler Metal	frekuensi getaran	kecepatan pengelasan	Penamaan/ Kode
5083 H112/ ER 5356	Tanpa Getar 0 Hz	300mm/menit	T5V1a
			T5V1b
		400mm/menit	T5V2a
			T5V2b
	Dengan Getar 30 Hz	300mm/menit	G5V1a
			G5V1b
400mm/menit		G5V2a	
		G5V2b	
5083 H112/ ER 4043	Tanpa Getar 0 Hz	300mm/menit	T4V1a
			T4V1b
		400mm/menit	T4V2a
			T4V2b
	Dengan Getar 30 Hz	300mm/menit	G4V1a
			G4V1b
		400mm/menit	G4V2a
			G4V2b

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengamatan Metalografi dan SEM

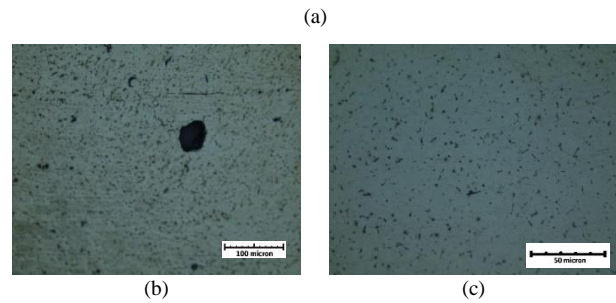
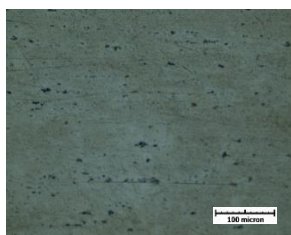
Uji metalografi bertujuan untuk melihat struktur mikro pada lasan, dimana ada tiga area yang diamati yakni *weld metal*, *heat affected zone (HAZ)* dan *base metal*. Gambar 9. merupakan hasil pengamatan *microscope optic* spesimen kode T4V2b dengan perbesaran 500X pada masing-masing daerah.

Dari Gambar 9. Di bawah terlihat perbedaan yang mencolok antara tiga daerah BM, HAZ dan WM. Dimana terjadi perbedaan bentuk butiran dari ketiga daerah tersebut. Pada daerah WM terlihat butir yang memanjang dan penyebaran presipitat yang memanjang juga, hal tersebut dikarenakan adanya *strain hardening* sesuai dengan landasan teori. Sedangkan untuk daerah HAZ terlihat adanya pertumbuhan butir akibat adanya panas yang diterima. Pada WM terlihat perbedaan yang jauh dimana bentuk butirannya *spherical* hal tersebut dikarenakan adanya unsur titanium dan sesuai dengan struktur mikro yang ada pada coran aluminium silikon dimana unsur silikon memiliki kandungan yang cukup tinggi pada ER 4043.



Gambar 9. Foto dari *microscope optic* perbesaran 500X spesimen T4V2b
(a) *Base metal (BM)* (b) *Heat Affected Zone (HAZ)* (c) *Weld metal (WM)*

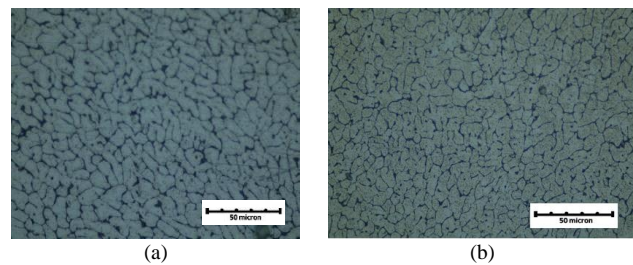
Untuk spesimen dengan menggunakan *filler metal* ER 5356 dapat dilihat pada Gambar 10. dimana spesimen pada gambar tersebut memiliki kode T5V1a. Pada gambar tersebut struktur mikro tidak jauh berbeda antara ketiga daerah tersebut.



Gambar 10. Foto dari *microscope optic* spesimen T5V1a (a) *Base metal (BM)* 200X (b) *Heat Affected Zone (HAZ)* 200X (c) *Weld metal (WM)* 500X

Gambar 10. diatas memperlihatkan bentuk butiran yang tidak jauh berbeda antara BM, HAZ dan WM. Perbedaan hanya terlihat persebaran presipitat yang ada. Pada *weld metal*, terlihat bentuk matrik yang lebih lebar dibandingkan dengan *base metal* hal tersebut dikarenakan pada *weld metal* seolah membentuk paduan aluminium magnesium baru sehingga presipitat lebih menyebar dan tidak seperti presipitat pada *base metal* yang terlihat mengumpul segaris akibat adanya pengerasan regang yang diberikan pada aluminium 5083 H112.

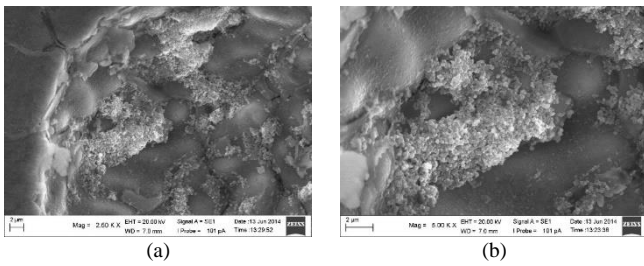
Dari beberapa hasil foto mikro didapatkan bahwa adanya getaran pada pengelasan tidak berpengaruh begitu besar terhadap struktur mikro kawat las ER 5356 namun pada kawat las ER 4043 memiliki pengaruh adanya pengecilan butir akibat adanya getaran, Gambar 11. memperlihatkan perbedaan ukuran butir pada *weld metal* kawat las ER 4043 dengan getaran dan tanpa getaran.



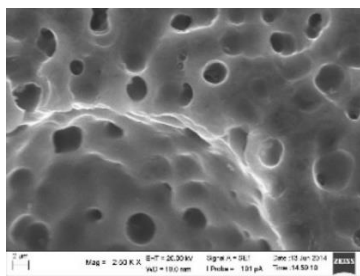
Gambar 11. Perbedaan bentuk dan ukuran butir pada ER 4043 500X (a) T4V2b (b) G4V2b

Dari hasil pengamatan metalografi terlihat adanya porositas yang cukup banyak dengan tingkat ukuran porositas yang bervariasi. Selain dari foto mikroskop optik, porositas juga dapat diperlihatkan pada hasil pengujian radiografi dimana porositas yang terjadi hampir merata diseluruh spesimen lasan dan disepanjang daerah lasan. Untuk melihat secara detail bentuk porositas dan topografi dari porositas dilakukan pengamatan dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Gambar 12. dan Gambar 13. memperlihatkan bentuk porositas yang ada pada daerah lasan. Dari kedua gambar tersebut terlihat adanya perbedaan antara menggunakan *filler metal* ER 5356 dan ER 4043 dimana pada ER 4043 terdapat endapan pada permukaan porositas

sedangkan ER 5356 terdapat *micro porous* yang relatif banyak pada permukaannya.



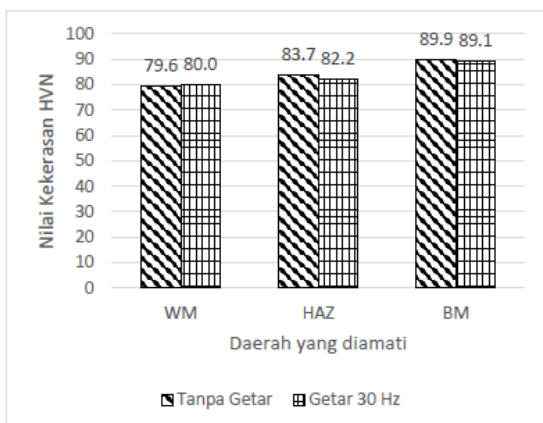
Gambar 12. Bentuk porositas pada ER 4043 menggunakan foto SEM dengan perbesaran (a) 2500X (b) 5000X



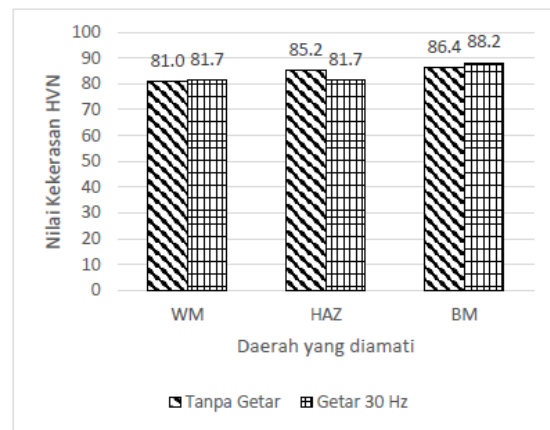
Gambar 13. Permukaan porositas pada ER 5356 menggunakan foto SEM

Hasil Uji Keras

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan mikro *hardness*, hal tersebut dilakukan karena pada spesimen hasil uji mikro diketahui daerah HAZ sangat kecil jadi diperlukan uji kekerasan mikro untuk identasinya. Gambar 15. menunjukkan nilai kekerasan pada kecepatan mengelas 300 mm/min sedangkan Gambar 16. menunjukkan nilai kekerasan pada kecepatan pengelasan 400 mm/min. kedua gambar tersebut dapat dilihat bahwa dengan kecepatan yang berbeda serta dengan pengaplikasian adanya getaran serta tidak adanya getaran memberikan dampak perbedaan nilai kekerasan yang tidak besar.

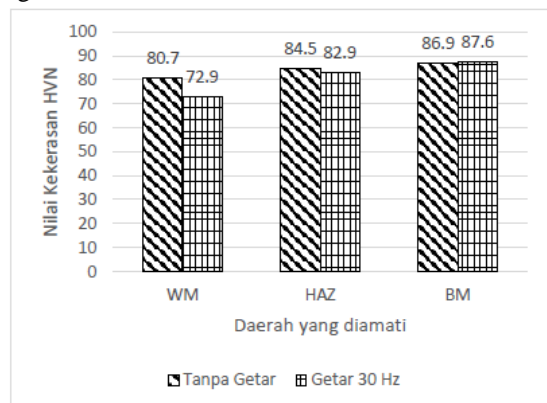


Gambar 15. Nilai kekerasan pada kecepatan 300 mm/min

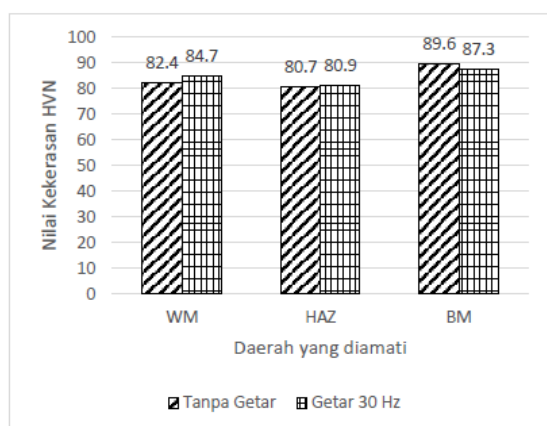


Gambar 16. Nilai kekerasan pada kecepatan 400 mm/min

Untuk *filler* dengan ER 4043 memberikan dampak kekerasan yang berbeda. *Weld metal* memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah dari *base metal*, hal tersebut juga dapat dilihat dari struktur mikro memiliki butiran-butiran yang lebih besar sehingga memiliki nilai kekerasan yang cukup rendah bila dibanding dengan *base metal*. Gambar 17 dan Gambar 18 menunjukkan nilai kekerasan berdasarkan kecepatan pengelasan pada masing-masing daerah.



Gambar 18. Nilai kekerasan pada kecepatan 300 mm/min



Gambar 18. Nilai kekerasan pada kecepatan 400 mm/min

Hasil Uji Image Analysis

Uji *Image analysis* menggunakan *software ImageJ* menggunakan foto mikrostruktur dengan

perbesaran 50X untuk setiap sampelnya, diperoleh data seperti yang terlihat pada Tabel 3. dan Tabel 4. Hasil ini menunjukkan bearan porositas yang terjadi pada daerah lasan.

Tabel 3. Data hasil uji *image analysis* ER 5356

Kode Spesimen	Area Porositas (%)	Rata-rata Area Porositas (%)
T5V1a	3,01	3,59
T5V1b	4,17	
T5V2a	4,01	6,01
T5V2b	8,01	
G5V1a	5,61	4,62
G5V1b	3,62	
G5V2a	4,23	3,32
G5V2b	2,41	

Tabel 4. Data hasil uji *image analysis* ER 4043

Kode Spesimen	Area Porositas (%)	Rata-rata Area Porositas (%)
T4V1a	6,07	3,90
T4V1b	1,74	
T4V2a	4,46	4,33
T4V2b	4,21	
G4V1a	4,18	3,26
G4V1b	2,35	
G4V2a	7,48	5,16
G4V2b	2,85	

Hasil Uji Tarik

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa semua spesimen patah pada daerah *weld metal*. Hal tersebut kemungkinan terjadi akibat adanya porositas pada daerah lasan yang relatif banyak. Selain itu nilai elongasi juga cenderung kecil dan hanya ada dua spesimen yang memiliki elongasi diatas 10%. Tabel 5. dan Tabel 6. memperlihatkan nilai hasil uji tarik serta elongasi.

Tabel 5. Nilai kuat tarik dan elongasi Menggunakan ER 5356

Kode	Nilai Kuat Tarik (MPa)	Elongasi (%)	Rata-rata Kuat Tarik (MPa)
T5V1a	179.20	2.47	230
T5V1b	279.47	15.00	
T5V2a	173.91	2.23	231
T5V2b	287.27	13.32	
G5V1a	158.08	1.73	180
G5V1b	201.22	2.23	
G5V2a	120.74	1.24	187
G5V2b	252.32	9.08	

Tabel 6. Nilai kuat tarik dan elongasi Menggunakan ER 4043

Kode	Nilai Kuat Tarik (MPa)	Elongasi (%)	Rata-rata Kuat Tarik (MPa)
T4V1a	218.14	5.59	195
T4V1b	171.13	2.23	
T4V2a	199.54	3.92	204
T4V2b	208.38	3.92	
G4V1a	202.23	3.68	208
G4V1b	213.28	3.92	
G4V2a	236.49	4.40	226
G4V2b	215.75	4.64	

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang didapatkan serta pembahasan maka dalam penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain:

- 1) Dari perhitungan porositas menggunakan *image analysis*, porositas terjadi memiliki nilai yang hampir sama, baik yang digetarkan maupun yang tidak digetarkan.
- 2) Pada struktur mikro yang terbentuk, pemberian getaran saat dilakukan pengelasan tidak berpengaruh pada filler ER 5356, namun pada filler ER 4043 memberikan pengaruh terhadap penghalusan butir.
- 3) Adanya pengaruh penghalusan butir mengakibatkan nilai kekerasan yang relatif lebih tinggi pada filler ER 4043 dengan getaran dibanding dengan tanpa getaran, namun pada filler ER 5356 nilai kekerasan cenderung sama.
- 4) Pada filler ER 5356 terdapat banyak *micro porous*, sedangkan pada ER 4043 terdapat endapan pada permukaan lubang *porous*.
- 5) Pengelasan dengan menggunakan filler ER 5356, secara rata-rata nilai kuat tarik tertinggi dimiliki oleh spesimen yang tidak digetarkan dengan nilai kuat tarik sebesar 231 MPa, dan untuk yang menggunakan filler ER 4043 nilai kuat tarik tertinggi dimiliki oleh spesimen yang digetarkan dengan nilai kuat tarik sebesar 226 MPa.

V. DAFTAR PUSTAKA

Kaufman, J.G. (2002). *Aluminum Alloy Casting Properties, Processes, and Applications*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Mathers, Gene. (2002). *The welding of aluminium and its alloys*. Cambridge England: Woodhead Publishing Limited.

Chirita, G., Stefanescu, I., Soares, D., Silva, F.S. (2009). Influence of vibration on the solidification behaviour and tensile properties of an Al-18 wt%Si alloy. *Journal of Materials and Design*, vol.30, 1575-1580.

- Kocatepe, Kadir. (2007). Effect of low frequency vibration on porosity of LM25 and LM6 alloys. *Journal of Materials and Design*, vol.28, 1767–1775.
- Limmaneevichitr, C., Pongananpanya, S., Kajornchaiyakul, J. (2009). Metallurgical structure of A356 aluminum alloy solidified under mechanical vibration: An investigation of alternative semi-solid casting routes. *Journal of Materials and Design*, vol.30, 3925–3930.
- Taghavi, F., Saghafian, H., Kharrazi, Y.H.K. (2009). Study on the effect of prolonged mechanical vibration on the grain refinement and density of A356 aluminum alloy. *Journal of Materials and Design*, vol.30, 1604–1611.
- Cueca, F., Patarroyo, A., Rojas, F., Solano, E., Morales, A., Muñoz, R. (2012). Study of the weld ability of Aluminum Alloy 5083 H116 with Pulsed Arc GMAW (GMAW-P). Cartagena (Colombia): *Journal of Ship Science & Technology*, vol.6, 43-56.
- Romhanji, E., Popovic, M. (2003). Problems and Prospect of Al-Mg Alloys Application in Marine Constructions. *Association of Metallurgical Engineers of Serbia: Journal of Metallurgy*, 297-307.
- Brůna M, and Sládek A. (2011). “Hydrogen Analysis and Effect of Filtration on Final Quality of Castings from Aluminium Alloy AlSi7Mg0.3”. *Archives of Foundry Engineering*, vol.11, pp.5-1.
- Ferreira P. J., Robertson I. M., and Birnbaum H. K. (1999). Hydrogen Effects on the Character of Dislocations in High-Purity Aluminum. *Acta mater*, vol.47, pp. 2991-2998.
- Lu, G., Orlikowski, D., Park, I., Politano, O., and Kaxiras, E. (2002). Energetics of Hydrogen Impurities in Aluminum and Their Effect on Mechanical Properties. *The American Physical Society, Physical Review B*, vol. 65.
- Kou, Sindo. (2003). *Welding Metallurgy, Second Edition*. Hoboken (New Jersey): John Wiley & Sons, Inc.
- Kalenda, M., Madeleine, D.T. (2011). *Corrosion Fatigue Behaviour of Aluminium 5083-H111 Welded Using Gas Metal Arc Welding Method*. Shanghai, China: InThech.
- Chakraborty M., Vinod Kumar G.S. and Murty B.S. (2005). Poisoning and Fading Phenomena in the Grain Refinement of Al And its Alloys. *Trans. Indian Inst. Met*, vol.58 pp.661-670.
- Liu Yuan, Ding Chao, Li Yan Xiang. Grain Refining Mechanism of Al-3B Master Alloy on Hypoeutectic Al-Si Alloys. *Transactions of Nonferrous Metal Society of China*, vol.21 pp.1435-1440.
- Shahrooz, Nafisi. (2006). *Effects of Grain Refining and Modification on the Microstructural Evolution of Semi-Solid 356 Alloy*. Dissertation, University of Quebec at Chicoutimi.
- Weite Wu. (2000). Influence of Vibration Frequency on Solidification of Weldments. *Scripta Mater*, vol.42, 661–665.