



Pengaruh Proses Penuaan untuk Meningkatkan Kekerasan Material Komposit Matriks Aluminium

Hendri Sukma^{1*}, Dwi Rahmalina¹, Erlanda Augupta Pane¹, Aditya Gantina¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Srengseng Sawah, Jagakarsa-Jakarta, 12640, Indonesia

*Email Penulis: hendrisukma@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 24/03/2018
Naskah Direvisi 08/05/2018
Naskah Disetujui 17/05/2018
Naskah Online 17/05/2018

ABSTRAK

Komposit matriks aluminium berpenguat partikel keramik telah banyak dikembangkan untuk berbagai aplikasi komponen, karena ringan dan mempunyai sifat mekanis yang baik. Peningkatan sifat mekanis komposit, khususnya kekerasan, dapat dilakukan dengan proses perlakuan panas dengan pengaturan parameter proses penuaan yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh parameter proses penuaan yang tepat sehingga dapat menghasilkan peningkatan kekerasan pada material komposit matriks aluminium berpenguat alumina (Al_2O_3). Komposit dibuat dalam bentuk plat melalui proses pengecoran squeeze casting, dengan material matriks Al-3Si-9Zn-6Mg berpenguat partikel alumina (Al_2O_3) dengan fraksi volume alumina 10 %. Proses perlakuan panas diawali dengan proses laku pelarutan dan dilanjutkan dengan proses penuaan (*aging*) dengan memvariasikan temperatur dan waktu. Proses penuaan dilakukan pada temperatur 140°C, 180°C dan 200°C, selama 2 jam, 4 jam dan 6 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan komposit matriks aluminium berpenguat alumina sangat tergantung pada temperatur dan waktu *aging*. Temperatur *aging* 180°C dan waktu *aging* 6 jam menghasilkan nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu sebesar 74 HRB.

Kata kunci: *kekerasan, komposit matriks aluminium, proses penuaan, squeeze casting.*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri transportasi di Indonesia mengalami perkembangan yang cukup signifikan, baik dari segi pertumbuhan produksi maupun peningkatan teknologi. Akan tetapi para pelaku industri masih mengalami beberapa kendala diantaranya adalah belum seluruhnya industri pendukung seperti bahan baku dan komponen dibuat di dalam negeri. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan material bahan baku komponen yang dapat diproduksi secara mandiri di dalam negeri. Material tersebut harus memiliki persyaratan yang memadai seperti kualitas yang baik, biaya produksi yang lebih murah, serta material yang lebih ringan agar penggunaan bahan bakar lebih efisien. Penggunaan material baja pada beberapa komponen tertentu sudah tidak efisien lagi, mengingat bobot material baja yang relatif berat. Penurunan berat kendaraan dapat dilakukan melalui beberapa alternatif, seperti (1) perubahan rancang

bangun, atau (2) pengembangan material yang lebih ringan.

Dengan berkembangnya teknologi material persyaratan untuk beberapa komponen ini dapat dipenuhi melalui penggunaan material komposit matriks aluminium. Komposit matriks aluminium juga memiliki densitas yang rendah, tahan korosi serta mempunyai elastisitas yang lebih baik. Selain itu, komposit matriks aluminium memiliki kekuatan atau kekerasan yang dapat dirubah atau disesuaikan menurut kebutuhan (*tailorability*), sehingga sifat mekanis yang diinginkan dapat dimodifikasi tergantung dari kombinasi matriks, penguat serta kondisi pada daerah antar mukanya (ASM Handbook, 1992; F.L. Matthews dan Rawlijns, R.D, 1994). Keunggulan ini yang menjadi dasar para periset untuk mengembangkan komposit matriks aluminium sebagai alternatif pengganti material konvensional.

Proses manufaktur komposit menjadi suatu faktor penting yang menentukan karakteristik komposit. Salah satu metode yang digunakan adalah dengan proses

pengecoran khusus, yaitu dengan teknologi squeeze casting. Proses squeeze casting merupakan teknik pengecoran khusus yang menggabungkan keunggulan dari High Pressure Die Casting dan teknologi forging (T.R. Vijayarayam, et.al. 2006). Keunggulan yang dihasilkan adalah mengeliminasi jumlah gas yang terperangkap dalam hasil cor dan mengurangi jumlah penyusutan akibat solidifikasi.

Pada penelitian sebelumnya telah berhasil dikembangkan proses manufaktur komposit berpenguat partikel alumina untuk menghasilkan komposit dalam bentuk pelat (D. Rahmalina, dkk, 2014), dengan matrik aluminium Al- Si-Zn-Mg berpenguat 10% fraksi volume alumina, dan dilakukan proses pengerasan pengendapan. Dari penelitian tersebut didapat hasil kekerasan maksimum sebesar 86 HRB pada Zn 9 wt%. Teknologi yang digunakan pada penelitian tersebut masih memiliki beberapa kelemahan dari hal kestabilan temperatur pada saat pemberian tekanan dan pemberian gaya tekan, sehingga masih membutuhkan pengembangan dari modifikasi dan desain cetakan dan pemberian heater pada cetakan. Disamping itu, kondisi cetakan sangat tergantung dari bentuk dan dimensi produk cor yang akan dihasilkan. Penelitian lain untuk komposit matriks aluminium dengan penguat 10% alumina juga pernah dilakukan dilakukan, namun tanpa dilakukan proses pengerasan pengendapan (Hendri Sukma, dkk, 2015). Dari hasil penelitian ini didapatkan nilai kekerasan maksimum dari pelat komposit adalah 60.28 HRB.

Untuk meningkatkan kekerasan material komposit matriks aluminium dapat dilakukan salah satunya melalui proses age hardening atau proses *aging* (penuaan). Mulyanti pada tahun 2011, telah melakukan penelitian mengenai pengaruh temperatur proses age hardening terhadap karakteristik kekerasan material aluminium komposit. Hasil penelitian pada paduan Al-7,14 % Si-1 % Mg/ 30 % SiC melalui proses *aging* pada temperatur 100°C dengan waktu *aging* 2 jam, nilai kekerasannya mencapai 147,76 HB dengan bertambahnya temperatur *aging* nilai kekerasannya mencapai 151,10 HB. Sedangkan material yang tanpa proses perlakuan panas nilai kekerasannya di bawah 100 HB. H. Sukma, dkk, pada tahun 2016 telah melakukan penelitian untuk meningkatkan kekerasan permukaan material komposit matriks aluminium Al-3Si-9Zn-6Mg berpenguat 10% alumina (Al₂O₃), melalui proses thermal spray coating dengan metode High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) dengan variasi komposisi material coating yaitu 88WC-12Co, 83WC-17Co dan 86WC-10Co4Cr. Hasil pengujian menunjukkan terjadi peningkatan kekerasan dari kondisi awal tanpa coating sebesar 39 HRB menjadi 71 HRB untuk material coating 88WC-12Co, 57 HRB untuk material coating 83WC-17Co dan 87 HRB untuk material coating 86WC-10Co4Cr.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh temperatur dan waktu proses *aging* yang paling optimal yang dapat menghasilkan nilai kekerasan yang paling tinggi pada material komposit matriks aluminium berpenguat alumina (Al₂O₃). Komposit dibuat dalam bentuk pelat melalui proses pengecoran *squeeze casting*,

dengan material matriks paduan Al-Si dengan penambahan unsur paduan Zn dan Mg, dengan komposisi unsur paduan mengacu pada penelitian sebelumnya yaitu Al-3Si-9Zn-6Mg, dengan kandungan unsur paduan Si 3% wt, Zn 9 % wt, Mg 6% wt (B.T. Sofyan, dkk, 2008 ; D. Rahmalina, dkk, 2010), dengan penguat partikel alumina 10 %. Proses perlakuan panas diawali dengan proses *solution treatment* dan dilanjutkan dengan proses *age hardening* atau proses *aging* (penuaan) dengan memvariasikan temperatur dan waktu *aging*.

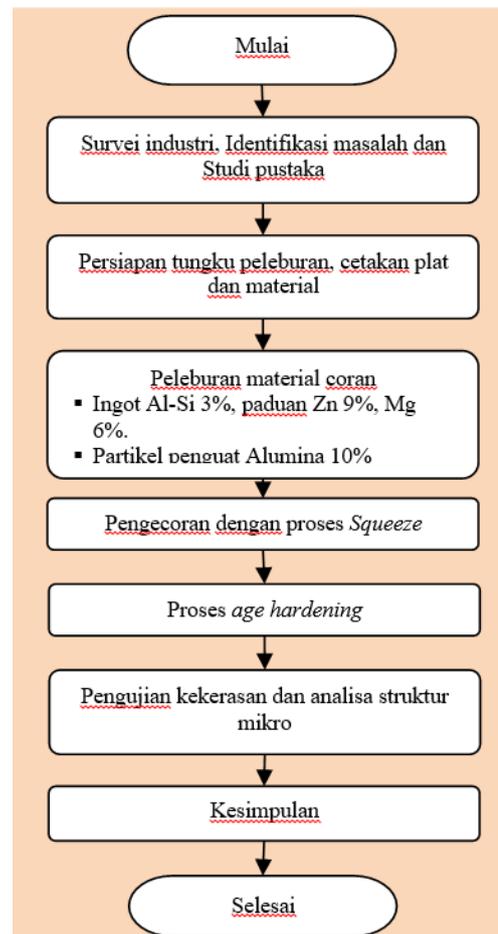
2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Material awal yang digunakan adalah ingot paduan Aluminium seri 4XXX dengan paduan Al-3wt%Si. Untuk memperkuat sifat mekanis, paduan ini selanjutnya ditambahkan unsur paduan Zn 9 % wt, Mg 6% wt (Al-3Si-9Zn-6Mg). Bahan penguat komposit adalah alumina serbuk berukuran 10µm.

2.2 Metode Penelitian

Untuk menentukan temperatur dan waktu proses *aging* yang paling optimal terhadap material komposit matriks aluminium berpenguat alumina dengan kekerasan yang tinggi, maka penelitian dirancang mengikuti diagram alir seperti terlihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada riset ini adalah :

1. Survei industri, identifikasi masalah, studi pustaka
2. Persiapan tungku peleburan, cetakan plat, dan material bahan baku coran
3. Proses pembuatan aluminium matriks komposit dengan penguat alumina, dengan tahapan sebagai berikut :
 - Proses peleburan paduan aluminium dan partikel penguat alumina dilakukan dalam dapur lebur listrik dengan temperatur lebur 850°C.
 - Proses pengecoran *squeeze casting* dengan besar tekanan 20 kg/cm².
4. Proses *solution treatment*, dengan memanaskan material pada temperatur 510°C dengan waktu penahanan selama 60 menit, dan selanjutnya didinginkan dengan air.
5. Proses pengerasan melalui metode *age hardening* atau proses *aging* (penuaan) dengan variasi temperatur *aging* sebesar 140°C, 180°C, dan 200°C, dan waktu *aging* selama 2 jam, 4 jam, dan 6 jam.
6. Karakterisasi komposit matriks aluminium :
 - Pengujian kekerasan
 - Analisis struktur mikro

3. Hasil dan Pembahasan

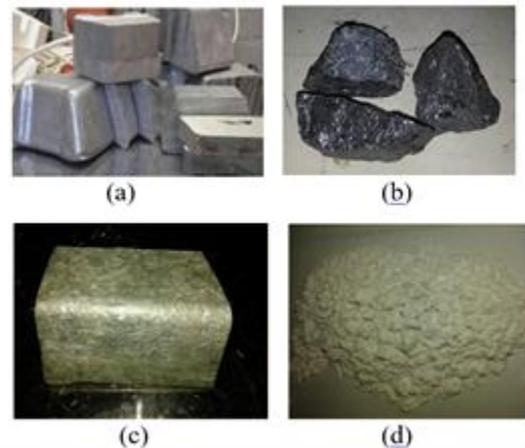
3.1 Proses Peleburan dan Pengecoran

Bahan baku material untuk proses peleburan ditimbang sesuai dengan fraksi volume yang ditentukan dan disesuaikan dengan kapasitas atau volume tungku peleburan. Proses perhitungan dimulai dari perhitungan volume cetakan kemudian dilanjutkan dengan perhitungan dari volume dan berat komposit matriks aluminium. Cetakan yang digunakan memiliki volume sebesar 0,000765 m³.

Material matriks berbahan dasar ingot Al-3Si ditambah dengan unsur paduan Zn 9 % wt, Mg 6% wt, sedangkan partikel penguat adalah alumina (Al₂O₃) dengan fraksi volume 10% (lihat **Gambar 2**). Untuk satu kali proses peleburan dibutuhkan material matriks sebesar 1,8589 kg dengan unsur paduan Zn (9%) sebesar 0,1673 kg, dan unsur paduan Mg (6%) sebesar 0,1115 kg, dan untuk partikel penguat dibutuhkan sebesar 0,3044 kg.

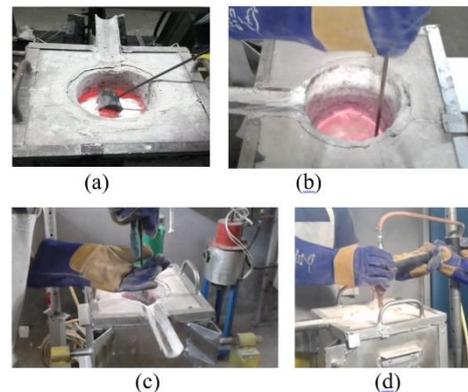
Proses peleburan menggunakan dapur lebur tipe crucible dengan filamen sebagai sumber panas untuk mencairkan logam aluminium. Aluminium ingot dipotong menjadi potongan-potongan kecil untuk mempercepat waktu peleburan logam. Proses peleburan aluminium dilakukan pada temperatur 850°C. Setelah aluminium mencair dilakukan proses degassing dengan argon sehingga kotoran yang mengendap pada cairan aluminium timbul ke permukaan dan kemudian dikeluarkan dengan menggunakan ladle. Setelah itu dilakukan pencampuran bahan paduan magnesium, silicon, dan zinc. Setelah bahan paduan mencair,

selanjutnya dimasukkan alumina yang berfungsi sebagai penguat dari komposit matriks aluminium.



Gambar 2. (a) Aluminium (b) Magnesium (c) Zinc (d) Alumina

Bahan yang sudah dicampurkan kedalam tungku peleburan tersebut kemudian diaduk (*stirring*) dengan menggunakan poros pengaduk yang digerakkan menggunakan tenaga angin dari kompresor dan dapat menghasilkan putaran hingga 5000 rpm. Pengadukan berfungsi agar bahan material cair dapat tercampur merata (**Gambar 3**).



Gambar 3. (a) Proses peleburan (b) Proses *degassing* menggunakan argon (c) Pembuangan kotoran (d) Proses *stirring*

Selanjutnya dilakukan proses pengecoran dan penekanan. Sebelum dilakukan proses pengecoran, dilakukan pemanasan cetakan dengan heater yang bertujuan agar logam cair tidak membeku pada saluran masuk dan tidak terjadi pendinginan awal pada saat logam cair masuk kedalam cetakan. Proses pemanasan cetakan ini dilakukan pada temperatur 300°C. Proses penuangan dilakukan secara perlahan untuk menghindari turbulensi aliran material coran di dalam cetakan.

Pemberian tekanan menggunakan sistem hidrolik dengan kekuatan tekan sebesar 20 kg/cm². Proses penekanan ini dilakukan agar logam cair tersebut dapat mengisi penuh seluruh rongga cetakan, sehingga tidak ada rongga kosong serta untuk meminimalkan terjadinya cacat void dan porositas gas akibat proses peleburan. Pemberian tekanan ini dilakukan setelah cairan komposit berada pada kondisi semi solid

sehingga memudahkan proses penekanannya. Penekanan ini dilakukan hingga logam mengalami freezing secara sempurna. Pada **Gambar 4** terlihat proses pengecoran dan penekanan logam cair di dalam cetakan



Gambar 4. Proses penuangan dan penekanan material coran

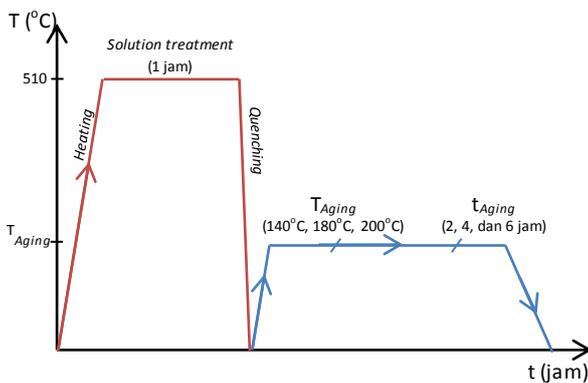
Pelat komposit hasil cetakan selanjutnya dipotong untuk dijadikan sample untuk pengujian (**Gambar 5**).



Gambar 5. Potongan pelat komposit

3.2 Proses Age Hardening

Potongan pelat komposit ini selanjutnya akan dijadikan benda uji untuk proses *age hardening*. Skema proses *age hardening* dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Skema proses *age hardening*

Proses ini terdiri atas tiga tahapan, yang pertama yaitu proses *solution treatment* menggunakan tungku *muffle furnace* (**Gambar 7**), yang meliputi proses pemanasan pada temperatur 510°C dan dilakukan penahanan selama 60 menit untuk proses homogenisasi paduan.



Gambar 7. Tungku *muffle furnace*

Tahap kedua yaitu proses *quenching* menggunakan media air yang bertujuan untuk mendapatkan kondisi larutan padat lewat jenuh yang bersifat tidak stabil (**Gambar 8**). Tahap ketiga yaitu proses *artificial aging* dengan cara pemanasan kembali pada temperatur yang bervariasi, yaitu 140°C, 180°C dan 200°C, dan waktu *aging* selama 2 jam, 4 jam dan 6 jam. Penomoran sampel uji untuk temperatur dan waktu *aging* dapat dilihat pada **Tabel 1**.



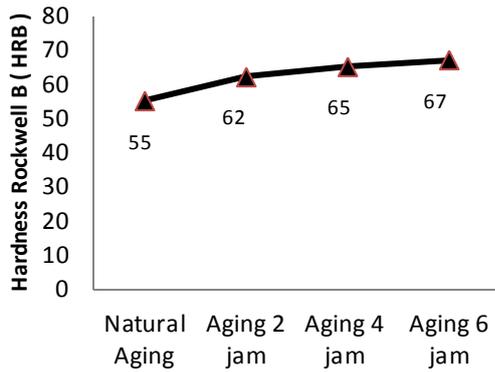
Gambar 8. Proses *quenching* menggunakan air

Tabel 1. Pengujian sampel material

Sampel material	Temperatur <i>aging</i>	Waktu Penahan		
		2 jam	4 jam	6 jam
Spesimen A		Natural <i>aging</i>		
Spesimen B	140°C	B1	B2	B3
Spesimen C	180°C	C1	C2	C3
Spesimen D	200°C	D1	D2	D3

3.3 Hasil Pengujian Kekerasan

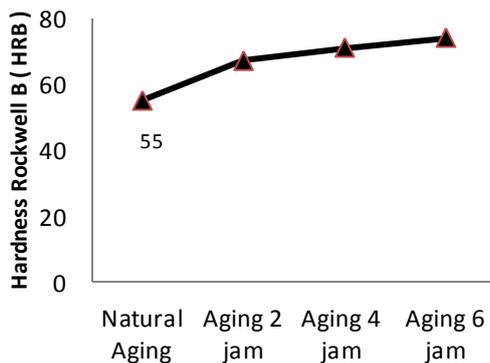
Setelah proses *age hardening* selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan dengan menggunakan metode Rockwell. Dari hasil pengujian kekerasan untuk spesimen dengan temperatur *aging* 140°C didapatkan hasil bahwa semakin lama waktu *aging* maka nilai kekerasannya semakin tinggi. Nilai kekerasan untuk spesimen natural *aging* adalah sebesar 55 HRB. Nilai kekerasan ini semakin tinggi setelah dilakukan *aging* dengan kekerasan 62 HRB untuk waktu *aging* 2 jam, 65 HRB untuk waktu *aging* 4 jam dan 67 HRB untuk waktu *aging* selama 6 jam (lihat **Gambar 9**).



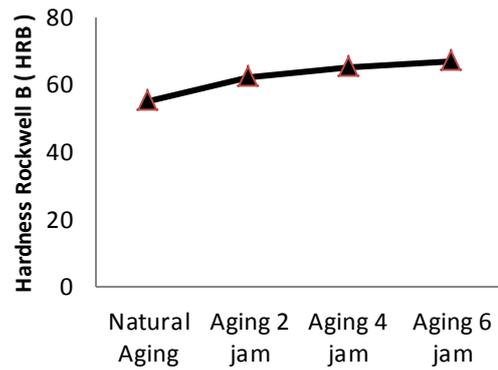
Gambar 9. Grafik hasil pengujian kekerasan untuk temperatur *aging* 140°C

Pada proses *age hardening* dengan temperatur *aging* 180°C, didapat kecenderungan yang sama dengan temperatur *aging* 140°C, yaitu terjadi peningkatan kekerasan akibat dari penambahan waktu *aging*. Namun untuk temperatur *aging* 180°C ini nilai kekerasan yang dihasilkan jauh lebih tinggi, yaitu 67 HRB untuk waktu *aging* 2 jam, 71 HRB untuk waktu *aging* 4 jam dan 74 HRB untuk waktu *aging* 6 jam, seperti terlihat pada grafik hasil pengujian pada **Gambar 10**.

Terjadinya peningkatan nilai kekerasan dengan semakin tingginya temperatur dan lamanya waktu *aging*, tidak terjadi pada temperatur *aging* 200°C. Nilai kekerasan yang dihasilkan lebih rendah dari nilai kekerasan pada temperatur *aging* 180°C dan relatif sama dengan kekerasan pada temperatur *aging* 140°C. Nilai kekerasan yang didapat pada temperatur *aging* 200°C adalah 62 HRB untuk waktu *aging* 2 jam, 65 HRB untuk waktu *aging* 4 jam dan 67 HRB untuk waktu *aging* selama 6 jam. Grafik hasil pengujian terlihat pada **Gambar 11**.



Gambar 10. Grafik hasil pengujian kekerasan untuk temperatur *aging* 180°C



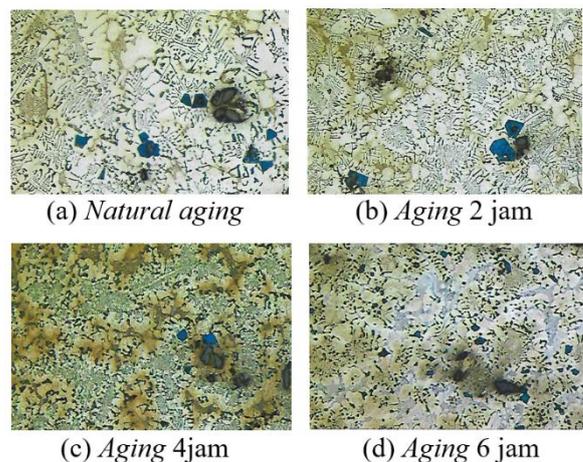
Gambar 11. Grafik hasil pengujian kekerasan untuk temperatur *aging* 200°C

Dari hasil pengujian kekerasan ini didapatkan hasil bahwa temperatur *aging* yang lebih tinggi juga tidak selalu menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi. Kekerasan yang paling tinggi didapat pada temperatur *aging* 180°C dengan waktu *aging* 6 jam, dengan nilai kekerasan 74 HRB.

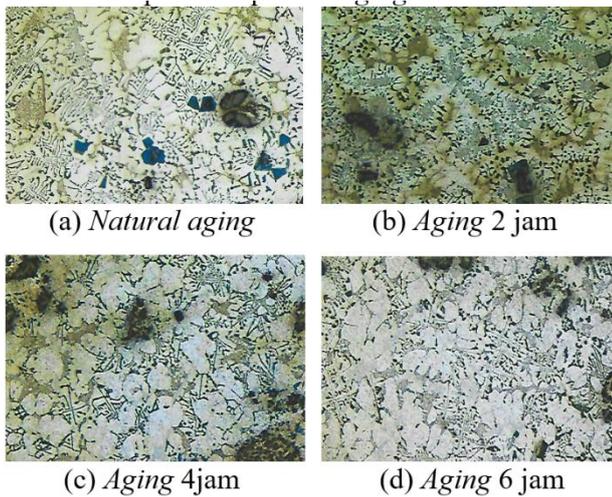
3.4 Pengamatan Struktur Mikro

Pengujian metalografi dimaksudkan untuk mendapatkan gambaran struktur makro dan mikro permukaan dari spesimen aluminium komposit hasil pengujian *aging* dengan variasi temperatur 140°C, 180°C, 200°C dan variasi waktu 2 jam, 4 jam dan 6 jam. Dari **Gambar 12** dapat dilihat struktur mikro dari komposit aluminium dengan temperatur *aging* 140°C. Pada temperatur ini memperlihatkan masih terdapatnya porositas dan juga struktur dendritik dari aluminium komposit, karena pada temperatur ini struktur dendritik belum larut dan belum berdifusi ke dalam matriks α -Al.

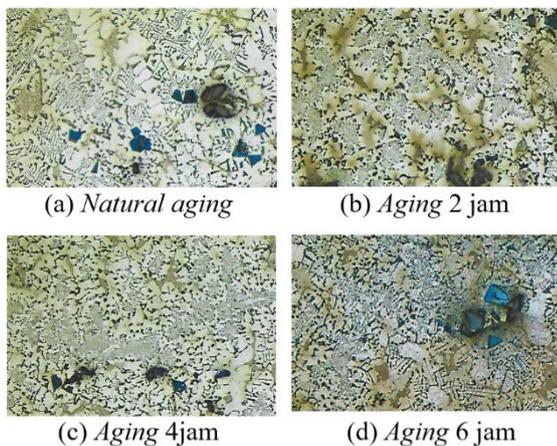
Gambar 13 dan **Gambar 14** memperlihatkan struktur mikro dari komposit aluminium dengan temperatur *aging* 180°C dan 200°C, dimana terlihat perbedaan struktur mikro yang signifikan dengan bertambahnya waktu *aging*.



Gambar 12. Struktur mikro aluminium komposit pada temperatur *aging* 140°C



Gambar 13. Struktur mikro aluminium komposit pada temperatur aging 180°C



Gambar 14. Struktur mikro aluminium komposit pada temperatur aging 200°C

Perubahan struktur mikro komposit selama proses penuaan sangat berperan terhadap kekerasannya komposit. Efek peningkatan kekerasan dari paduan Al-Si-Mg dari matriks adalah akibat adanya fasa Mg_2Si yang terjadi selama solidifikasi. Proses laku pelarutan akan melarutkan Mg_2Si kembali kedalam matriks Al dan juga fase Si berubah dari bentuk dendritik ke bentuk bulat yang meningkatkan keuletan dari paduan. Pada proses penuaan, unsur-unsur paduan dalam larutan padat secara bertahap keluar dan membentuk endapan yang dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan matriks. Mekanisme penguatan terjadi akibat hambatan pergerakan dislokasi pada saat bertemu dengan endapan, yang akan memiliki nilai kekerasan tertinggi pada saat mencapai ukuran endapan yang optimum. Penambahan unsur Zn pada paduan aluminium memberikan respons terhadap perlakuan panas paduan AlSiMg dengan terbentuknya endapan $MgZn_2$ yang selanjutnya memberikan efek peningkatan kekerasan dari paduan (Rahmalina, 2012). Diperlukan pengamatan lebih jauh untuk menganalisis endapan yang terbentuk akibat proses aging dengan menggunakan teknologi mikroskop elektron.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan perbandingan nilai kekerasan pada material komposit matriks Aluminium 3%Si, 9%Mg, 6 %Zn dan berpenguat 10% Alumina yang telah dilakukan proses *age hardening* (*aging*) dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada proses dengan temperatur *aging* 140°C didapatkan nilai kekerasan rata-rata 62 HRB pada waktu *aging* 2 jam, 65 HRB pada waktu *aging* 4 jam dan 67 HRB pada waktu *aging* 6 jam.
2. Pada proses dengan temperatur *aging* 180°C didapatkan nilai kekerasan rata-rata 67 HRB pada waktu penahanan 2 jam, 71 HRB pada waktu penahanan 4 jam dan 74 HRB pada waktu penahanan 6 jam.
3. Pada proses dengan temperatur *aging* 200°C didapatkan nilai kekerasan rata-rata 62 HRB pada waktu penahanan 2 jam, 65 HRB pada waktu penahanan 4 jam dan 67 HRB pada waktu penahanan 6 jam.
4. Dari hasil pengujian kekerasan ini didapatkan hasil bahwa temperatur *aging* yang lebih tinggi juga tidak selalu menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi. Kekerasan yang paling tinggi didapat pada temperatur *aging* 180°C dengan waktu *aging* 6 jam, dengan nilai kekerasan 74 HRB.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada tim asisten dan teknisi laboratorium pengecoran logam Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasila.

6. DAFTAR PUSTAKA

- _____, 1992. ASM Handbook, 21: Composites. ASM International, The Materials Information Company.
- BT Sofyan, S Susanti, RR Yusfranto., 2008. Peran 1 dan 9 w.t% Zn dalam proses pengerasan presipitasi paduan aluminium AA319. Jurnal Makara Teknologi Vol. 12, No. 1, pp. 48 – 54.
- D Rahmalina, BT Sofyan, N Askarningsih, S Rizkyardiani. 2012. Effect of treatment process on hardness of Al7Si-Mg-Zn matrix composite reinforced with silicon karbida particulate. Proceeding of the 2012 International Conference on Advanced Material and Manufacturing Science (ICAMMS 2012), Beijing, China, 20-21 Desember 2012.
- D Rahmalina, I Kusuma, B Suharno, BT Sofyan, ES Siradj. 2010. Pengaruh penambahan unsur Cu dan Mg pada daerah antarmuka komposit matriks aluminium berpenguat kawat tali baja untuk aplikasi material armor melalui proses *squeeze casting*. Prosiding Seminar Nasional SENAMM IV : Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten.
- D Rahmalina, Hendri S., IG Eka Lesmana, A Halim. 2014. Effect of solution treatment on hardness of alumina reinforced Al-9Zn composite produced by *squeeze casting*. International Journal on Smart Material and Mechatronics, Vol.1, pp. 25-35.
- FL Matthews., Rawlijns RD. 1994. Composite Material. Engineering & Science. Chapman & Hall London.
- H Sukma, Rini P, D Rahmalina, Rizal I. 2015. Peran penguat partikel alumina dan silikon karbida terhadap kekerasan material komposit matriks aluminium. Prosiding Seminar Nasional Teknologi : Universitas Muhammadiyah, Jakarta.

Josep AP., Antonio F., Ramiro R., Enric M. 2005. HVOF thermal sprayed coating on aluminium alloys and matrix composite. *Journal of Surface & Coating Technology*, Vol.200, pp. 1178-1181.

Mulyanti J. 2011. Pengaruh temperatur proses aging terhadap karakteristik material komposit logam Al-Sic hasil stir casting. *Jurnal Kompetensi Teknik*, Vol.2, No.2, pp. 95-104.

N Souissi, S Souissi, CL Nivinen, MB Amar., C Bradai., F. Elhaloulani. 2014. Optimization of squeeze casting parameters for 2017 a wrought Al alloy using Taguchi method. *Journal of Metals*, Vol.4, pp. 141-154.

O Beffort., S Long., C Crayon., J Kuebler., P Buffat. 2007. Alloying effects on microstructure and mechanical properties of high volume fraction SiC-particle reinforced Al-MMCs made by squeeze casting infiltration. *Journal of Composite Science and Technology*, Vol.67, pp. 737-745.

Serope K., Steven RS. 2009. *Manufacturing engineering & technology*. 6thEd. Pearson Education Inc, Singapore.

TR Vijayarajam., *et al.* 2006 Fabrication of fiber reinforced metal matrix composite by squeeze casting technology. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.178, pp. 34-3

RESUME: Penulisan sudah bagus dan rapi mengikuti kaidah penulisan Jurnal.

Ada beberapa yang perlu dikonfirmasi terkait dengan presipitat hasil pembuatan komposit al/alumina

1. Terdapat 2 presipitat $MgZn_2$ dan Mg_2Si yang mana 2 jenis presipitat ini ada di seri 6XXX dan 7XXX dalam beberapa produk Aluminium jarang terdapat 2 jenis presipitat ini, mungkin bisa disertai hasil uji XRD atau ada pendekatan referensi.
2. Dalam deskripsi teori komposit akan menghasilkan reaksi produk antara matriks, reinforced dan Mg/Zn, reaksi produk dalam bentuk senyawa baru hasil Al dan alumina perlu diklarifikasi.

Namun dari pada itu artikel ini sudah layak publish dengan perbaikan U1-U7