

PEMBUATAN KOMPOSIT AC8A/SICP DENGAN METODE HOT PRESS METALURGI SERBUK

T. Mustika¹, B. Soegiyono² Dan I.N. Jujur³

¹Material Science Program, Physics Departement, UI, Indonesia,

²Material Science Program, Physics Departement, UI, Indonesia,

³The Agency for the Assessment and Application Technology, Indonesia,

Intisari

Perencanaan suatu proses produksi sederhana yang mudah diaplikasikan pada industri menengah merupakan latar belakang dari riset ini. Pada riset ini dipelajari sejauh mana mekanisme pembentukan bahan dengan proses *hot press* metalurgi serbuk di lingkungan udara yang tidak dikondisikan, akan berpengaruh terhadap karakteristik dari *Aluminium Matrix Composites (AMCs)*. Komposit terbuat dari serpihan AC8A cor yang di haluskan sebagai matrik dan ditambah kan partikel keramik SiC sebanyak 20% volume sebagai penguat. Proses hotpress dilakukan pada temperatur 380°C dengan tekanan sebesar 425 MPa selama 5 menit dalam lingkungan udara yang tidak dikondisikan. Dilakukan perbandingan karakteristik dari material yang dibuat dengan cara *hot press* serbuk Aluminium paduan AC8A dengan dan tanpa partikel penguat SiC, serta material AC8A hasil cor. Hasil pengamatan terhadap komposit AC8A/SiCp memperlihatkan mikrostruktur yang padat. Pada beberapa tempat terdapat bagian partikel SiC yang retak dan terlepas dari SiC lainnya di permukaan AC8A. Hasil Uji tekan serta SEM dari retakan hasil uji tekan yang terjadi menunjukkan bahwa tercapai ikatan permukaan yang baik antara aluminium paduan dengan SiC. Hasil XRD menunjukkan fase dominan yang terbentuk sebelum dan setelah proses hotpres AC8A/SiCp adalah Al, Si dan SiC. Hasil uji mekanis menunjukkan bahwa kekerasan serta kuat tekan (*compression strength*) dari AC8A hasil *hot press* metalurgi serbuk lebih tinggi dibandingkan ingot AC8A hasil cor, namun kuat luluh (*yield strength*) AC8A hasil *hot press* metalurgi serbuk jauh lebih rendah dibandingkan ingot AC8A hasil cor.

Kata kunci : Komposit matrik aluminium, Hot press tanpa pengkondisian udara

Abstract

Formulated a simple process to become easier in application in medium scale industries was the main background of this research. In this research, we investigate how far hot forming mechanism in an unconditional air is affecting to the microstructure and properties of Aluminium Matrix Composites (AMCs). Composites made using AC8A flakes that have been reduced into particle size as a matrix, which added 20% volume SiC particles as reinforcement, hot pressed at 380°C with pressure of 425 MPa for 5 minutes under unconditional air. The comparison between the characteristics of material made by hot pressing of AC8A powder with and without reinforcing SiC particles, and cast ingots AC8A have been done. The observation of AC8A/SiCp composite showed a dense microstructure. In some places there is SiC particles which are fragmented and separated from other SiC particles on AC8A surface. The results of compression test and SEM observation of fractography occurred and indicates that a good interface diffusion bonding between AC8A with SiC have been reached. XRD results indicate that the dominant phase formed in AC8A/SiCp before and after hotpress was Al, Si and SiC. The results of mechanical tests showed hardness and compression strength of hot pressed AC8A had a higher results than the cast AC8A, but the yield strength of hot pressed AC8A is much lower than cast AC8A.

Keywords: Aluminium metal composites, Unconditioned air hot press

PENDAHULUAN

Komposit Matrik Logam (*Metal Matrix Composites -MMCs*) telah banyak digunakan pada berbagai macam bidang

kehidupan. Kemampuan menggabungkan berbagai bahan (logam-keramik-bukan logam) memberikan kesempatan untuk membuat variasi yang tak terbatas. Hal ini menjadikan MMCs menarik diaplikasikan

dalam bidang konstruksi maupun fungsional manakala spesifikasi material dari bahan konvensional tidak dapat memenuhi tuntutan spesifikasi tertentu. Keunggulan dari material komposit hanya dapat dirasakan apabila hubungan antara biaya produksi dengan kinerja material adalah sesuai.

Komposit Matrik Aluminium (Aluminium Matrix Composites-AMCs) adalah jenis komposit yang paling banyak diminati karena Aluminium memiliki kelebihan antara lain berat jenis yang rendah, kemampuan penguatan melalui presipitasi, ketahanan korosi, konduktivitas termal dan elektrik yang tinggi, serta kapasitas redaman tinggi^[1].

Material MMCs dapat diproduksi menggunakan berbagai macam teknik. Dengan mengubah metoda manufaktur, seperti pemrosesan dan *finishing* begitupula dari bentuk komponen penguat, memungkinkan diperolehnya karakteristik yang berbeda meskipun berasal komposisi dan jumlah komponen pembentuk yang sama. Permasalahan utama pada pembuatan material komposit berbasis serbuk metalurgi yang diperkuat keramik adalah tingkat kebasahan (*wettability*) yang rendah antar bahan penyusun. Riset perlakuan pelapisan permukaan partikel SiC dengan oksida metal Al_2O_3 , CuO, MgO, $MgAl_2O_4$, SiO_2 menunjukkan bahwa pelapisan oksida metal dapat meningkatkan tingkat kebasahan permukaan penguat dan berpengaruh terhadap ikatan permukaan penguat dan matrik pada proses pembuatan pada kondisi padat dengan teknik sintering konvensional^[2-4]. Riset perlakuan pelapisan permukaan partikel penguat SiC pada pembuatan komposit AC8A/SiCp menggunakan teknik *hot press* tanpa pengkondisian lingkungan udara menunjukkan bahwa tanpa ataupun dengan memberikan material pelapis jenis $MgAl_2O_4$ dan Sn, diperoleh ikatan permukaan yang baik antara matrik dan penguat, dan komposit dengan SiC tanpa material pelapis menghasilkan kekerasan

dan kuat tekan yang paling tinggi^[5]. Pada metoda *pressureless infiltration*, ukuran partikel dan kandungan Mg berpengaruh sangat besar terhadap derajat infiltrasi pembuatan komposit Al-Si-Mg/SiCp^[6].

MMCs Isotropik yang diproduksi dengan proses metalurgi serbuk, menggunakan prinsip deformasi yang diperkuat oleh komponen partikel penguat. Metode produksi komposit ini semakin berkembang, sejalan dengan keuntungan dari proses metalurgi serbuk, seperti tingkat presisi yang tinggi terhadap dimensi produk. Proses ini dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu penekanan dingin (*cold pressing*) dan dilanjutkan dengan proses sintering. Pada proses sintering dapat dilakukan secara simultan dengan kompaksi (*hot pressing or hot isostatic pressing*).

Hot Isostatic Pressing (HIP) dapat meningkatkan hasil cor, meningkatkan densitas komponen pra-sinter, serta meningkatkan ikatan (*bonding*) permukaan. *HIP* menggabungkan tekanan tinggi dan suhu tinggi secara simultan di dalam wadah yang khusus. Di bawah panas dan tekanan, internal pori ataupun cacat didalam *material padat akan berdifusi berikatan*^[7]. Beberapa riset yang menggunakan mekanisme pembentukan dibawah temperatur dan tekanan tinggi seperti *Hot Forging*, *Hot Press* serta teknik Ekstrusi memberikan hasil komposit dengan kepadatan serta kekuatan mekanis yang lebih tinggi dibandingkan *conventional sintering*, dimana terjadi penurunan porositas dan kenaikan densitas serta kekuatan ikatan permukaan^[8-10]. Parameter proses yang perlu diperhatikan pada *hot press* metalurgi serbuk antara lain temperatur, ukuran partikel dan fraksi volume material penguat. Temperatur hotpress yang rendah dapat menghindari terjadinya aglomerasi dari partikel SiC serta reaksi antara Aluminium dengan SiC^[11]. Peningkatan temperatur hot press akan menghasilkan kekerasan yang semakin tinggi dan keausan yang semakin rendah^[12-13].

Densitas relatif komposit meningkat cepat seiring dengan peningkatan temperatur *hot press*. Pada temperatur 620 °C $MgAl_2O_4$ dan Al_4C_3 terbentuk di permukaan SiCp/2009Al dan retakan terjadi di sepanjang $MgAl_2O_4$ dan Al_4C_3 . Mekanisme fraktur pada komposit adalah fraktur karena sifat ductile dari matrik, fraktur pada permukaan dan fraktur partikel^[14]. Pengaruh temperatur dan gaya geser yang tinggi pada proses ekstrusi dapat mengakibatkan terjadinya pengecilan butir SiC akibat keretakan dari partikel serta sifat tidak mampu berdeformasi dari keramik^[15]. Pengaturan ukuran partikel SiC dan Al dapat meningkatkan *ultimate tensile* dan *yield strenghts* dari komposit^[16]. Peningkatan fraksi volume dari partikel SiC dapat meningkatkan kekuatan namun menurunkan sifat plastis dari komposit^[9,17].

Manufaktur komponen dari material MMCs dengan kualitas serta spesifikasi teknis yang sesuai permintaan, serta biaya produksi rendah adalah hal penting yang sangat diperhatikan pada sektor industri. Banyak riset penghematan energi, pemilihan bahan baku, serta penyederhanaan proses dan peralatan yang dilakukan dalam upaya penekanan biaya produksi. Upaya penekan biaya produksi pada produksi komposit aluminium paduan menggunakan metoda *hot press* metalurgi serbuk, dapat dilakukan melalui penyederhanaan peralatan seperti eliminasi peralatan vakum ataupun pengondisian udara, mekanisme proses dengan temperatur yang rendah serta waktu proses yang pendek.

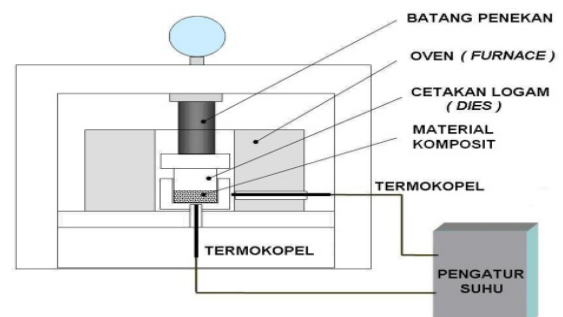
Pada riset ini dipelajari seberapa jauh mekanisme pembentukan bahan dengan proses *hot press* metalurgi serbuk pada lingkungan udara yang tidak dikondisikan berpengaruh terhadap karakteristik dari Komposit Matrik Aluminium (*Aluminium Matrix Composites- AMC*). Telah difahami bahwa oksida yang terbentuk pada permukaan Aluminium akan menurunkan energi permukaan dan dapat menghalangi terjadinya mekanisme

transportasi permukaan yang hingga saat ini terus menjadi tantangan untuk diteliti^[1]. Di lain pihak proses *Hot Press* dapat meningkatkan hasil cor dengan meningkatkan densitas serta meningkatkan ikatan permukaan bahan pembentuk^[7-10]. Menjadi pertanyaan sejauh mana kedua fenomena ini akan berpengaruh terhadap komposit aluminium paduan hasil proses *hot press* metalurgi serbuk tanpa pengondisian udara. Dilakukan observasi mikrostruktur, analisa fasa terbentuk, analisa sifat mekanis serta observasi fraktografi setelah uji tekan pada komposit.

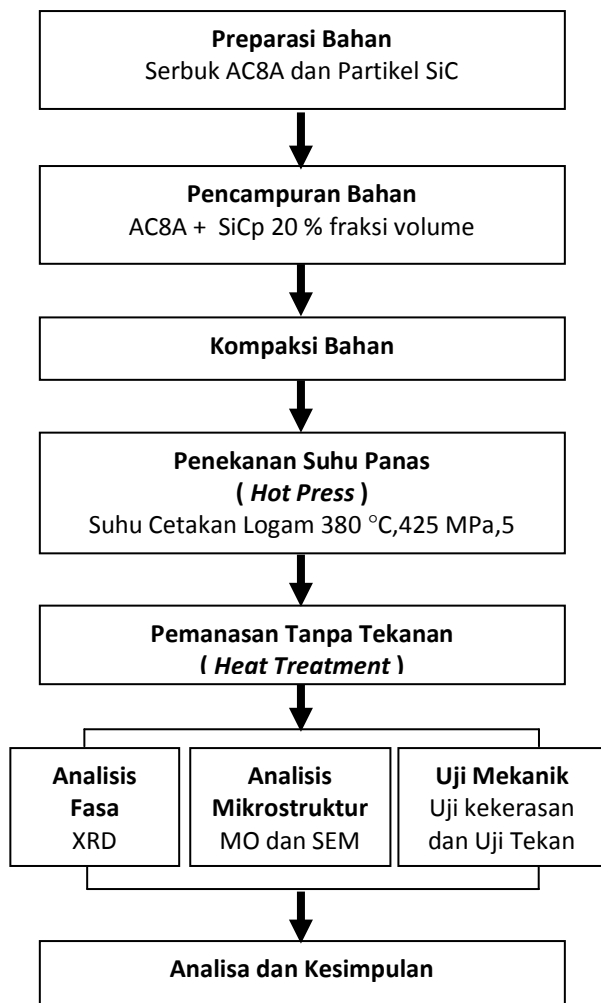
PROSEDUR PERCOBAAN

Komposit dibuat menggunakan bahan baku serbuk AC8A cor yang di haluskan sebagai matrik dan partikel keramik SiC sebanyak 20% volume sebagai penguat. Hasil pencampuran kedua partikel ini dipadatkan di dalam cetakan logam dengan diberi tekanan satu arah (*single compaction*) sebesar 85 MPa pada suhu kamar. Cetakan logam berisi bahan komposit dipanaskan didalam furnace terbuka hingga suhu cetakan logam mencapai 380 °C, selanjutnya dilakukan penekanan sebesar 425 MPa selama 5 menit. pada lingkungan udara yang tidak dikondisikan. dan dilanjutkan pemanasan 5 menit berikutnya tanpa diberikan tekanan.

Proses serupa dilakukan pula terhadap serbuk AC8A tanpa tambahan penguat SiC. Dilakukan uji kekerasan vicker (HV), uji tekan , pengamatan struktur mikro, SEM dan XRD. Skema sistem peralatan *hot press* diperlihatkan pada Gambar 1 dan skema tahapan riset diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Skema sistem peralatan *hot press*



Gambar 2. Skema diagram alir pembuatan komposit AC8A/SiCp

HASIL DAN PEMBAHASAN

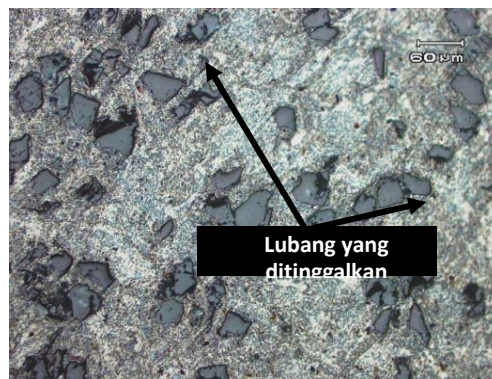
Komposit AC8A/SiCp

Bahan baku serbuk AC8A hasil penghalusan gram dari ingot AC8A menggunakan *planetary ballmill* memiliki ukuran diameter ataupun gugus partikel AC8A berkisar 0,2 μm sampai dengan 100 μm dengan rata-rata diameter partikel 5,5 μm . Komposisi kimia dari ingot AC8A diperlihatkan pada Tabel 1.

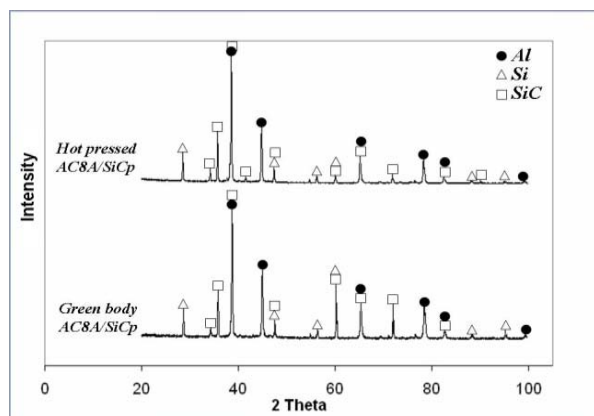
Tabel 1. Komposisi kimia ingot AC8A

Al	Si	Cu	Mg	Ni	Fe	Ti	Mn
84,93	10,96	1,19	0,80	0,90	0,46	0,04	0,07

Hasil hot press metalurgi serbuk dari bahan baku serbuk AC8A ditambahkan 20% volume partikel SiC membentuk komposit AC8A/SiCp. Struktur mikro setelah proses *hot press* diperlihatkan pada Gambar 3, dan data hasil X-Ray Difrraction sebelum dan setelah proses *hot press* diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Mikrostruktur AC8A/SiCp hasil hotpress



Gambar 4. Grafik data hasil XRD komposit AC8A/SiCp

Dari foto struktur mikro dapat dilihat bahwa terbentuk struktur yang padat dari komposit AC8A/SiCp, dengan penyebaran partikel SiC yang kurang merata membentuk kelompok mengelilingi area yang besar dan kecil. Formasi dari partikel SiC diduga terbentuk berkeliling sesuai besar butir serbuk AC8A yang memiliki ukuran partikel bervariasi. Proses pencampuran yang kurang optimal juga dapat menyebabkan penyebaran partikel SiC yang kurang merata. Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa partikel yang lepas

adalah bagian dari partikel SiC yang retak dan terlepas dari bagian SiC lainnya diatas permukaan AC8A. Retak dapat terjadi akibat beban tekanan sebesar 85 Mpa pada suhu kamar sebelum proses *hot press*, ataupun tekanan sebesar 425 Mpa pada suhu 380 °C pada proses hot press. Hal ini memungkinkan partikel SiC yang bersifat brittle mengalami retak.

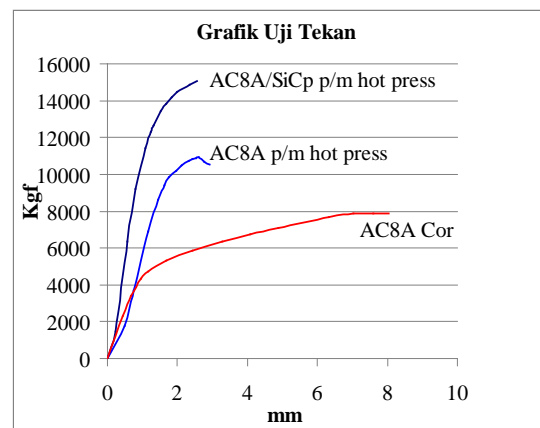
Temperatur serta gaya geser yang tinggi juga dapat mengakibatkan keretakan partikel keramik karena sifatnya yang tidak mampu untuk berdeformasi^[14]. Hasil difraksi sinar X menunjukkan fasa-fasa yang terdapat pada komposit. Pada jumlah kandungan yang terdeteksi oleh difraksi sinar-X diketahui bahwa fasa dominan yang terdapat sebelum maupun setelah proses hotpress adalah Al, Si dan SiC. Dapat dilihat terdapat penurunan yang signifikan dari intensitas fasa SiC setelah proses hot press. Penurunan intensitas SiC mungkin terjadi apabila SiC terdisosiasi dan bereaksi dengan unsur lain membentuk fasa baru. Namun karena pada data hasil XRD tidak terdapat fasa baru dari SiC, maka diduga perbedaan intensitas fasa SiC sebelum dan setelah proses hotpress disebabkan kandungan SiC yang berbeda pada area pengambilan data XRD akibat tidak meratanya penyebaran partikel SiC pada komposit.

Sifat Mekanik komposit AC8A/SiCp

Tabel 2 memperlihatkan nilai hasil uji tekan dan uji kekerasan spesimen komposit AC8A/SiCp dan AC8A hasil *hot press* metalurgi serbuk, serta AC8A hasil cor. Grafik uji tekan dari ketiga spesimen diperlihatkan pada Gambar 5 dan bentuk fisik spesimen setelah uji tekan diperlihatkan pada Gambar 6.

Dari data pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan sifat kekerasan, kuat tekan (*Compression Strength*) dan kuat luluh (*Yield Strength*) dari material AC8A *hot press* metalurgi serbuk apabila dikuatkan dengan 20% volume SiCp menjadi komposit AC8A/SiCp. Dimana

sifat kekerasan AC8A sebesar 92 MPa menjadi 105 MPa pada AC8A/SiCp, kuat tekan AC8A sebesar 309 MPa menjadi 427 MPa pada AC8A/SiCp, dan kuat luluh AC8A 244 MPa menjadi 324 MPa pada AC8A/SiCp. Peningkatan sifat kekerasan ini disebabkan adanya SiC yang memiliki kekerasan dan kuat tekan yang tinggi dan disertai ikatan permukaan yang baik antar partikel pembentuk di dalam komposit AC8A/SiCp.



Gambar 5. Hasil Uji Tekan Spesimen



Gambar 6. Spesimen setelah Uji Tekan (a) AC8A hot press (b) AC8A/SiCp hot press

Tabel 2. Sifat mekanik komposit AC8A/SiCp

Jenis Material	Kuat Luluh (Yield Strength) (MPa)	Kuat Tekan (Compression Strength) (MPa)	Kekerasan (Hardness) (HV)
AC8A Ingot	383	230	73
Serbuk AC8A hasil Hot Press	244	309	92
Komposit AC8A/SiCp hasil Hot Press	324	427	105

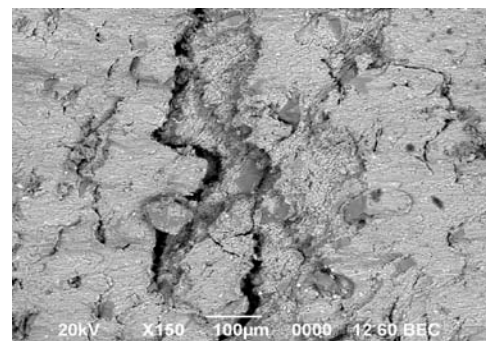
Sifat mekanik material komposit mengikuti *Rule of Mixture* dimana sifat mekanik komposit merupakan gabungan dari sifat mekanik matrik dan penguatnya sesuai perbandingan fraksi volume keduanya^[18]. Adanya sifat kuat luluh yang lebih tinggi pada komposit AC8A/SiC dibandingkan AC8A *hot press* metalurgi serbuk, dapat terlihat pula dari bentuk fisik spesimen setelah uji tekan dimana komposit AC8A/SiCp pada Gambar 6.b memiliki bagian retak yang relatif jauh lebih sedikit dari AC8A pada Gambar 6.a, bahkan retakan yang terjadi masih sulit untuk dipisahkan tanpa dilakukannya penekanan lebih lanjut. Terbentuknya sifat mekanis demikian diduga merupakan pengaruh dari *deformation strengthening* yang terjadi pada partikel AC8A dan SiC pada proses *hot press* yang berpengaruh terhadap berkurangnya sifat brittle AC8A sehingga meningkatkan sifat kuat luluh komposit AC8A/SiCp. Berdasarkan grafik hasil uji tekan pada Gambar 5 terlihat regangan antara AC8A dan komposit AC8A/SiCp tidak ada perbedaan, berarti selain terjadi peningkatan kekuatan juga terjadi peningkatan ketangguhan matrik setelah menjadi komposit AC8A/SiCp. Perlu penelitian lebih lanjut untuk melihat pengaruh proses *hot press* terhadap peningkatan ketangguhan pada material komposit tersebut.

Perbandingan sifat mekanis AC8A hasil *hot press* metalurgi serbuk dengan AC8A hasil cor menunjukkan bahwa baik kekerasan maupun kuat tekan AC8A hasil *hot press* metalurgi serbuk sebesar 92 HV dan 309 MPa adalah lebih tinggi dibandingkan AC8A hasil cor sebesar 73 HV dan 230 MPa, namun kuat luluh AC8A *hot press* metalurgi serbuk sebesar 244 MPa jauh lebih rendah dibandingkan AC8A cor sebesar 383 MPa. Sifat material demikian mengikuti sifat material pada umumnya dimana material dengan sifat kekuatan yang tinggi cenderung memiliki sifat keuletan yang rendah, demikian pula sebaliknya.

Hasil perbandingan diatas menunjukkan bahwa struktur material hasil dari mekanisme sinter partikel pada proses metalurgi serbuk memberikan kekerasan dan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan struktur material dengan mekanisme pertumbuhan butir pada proses cor. Fraktografi menggunakan SEM dari retakan setelah dilakukan uji tekan terhadap komposit AC8A/SiCp diperlihatkan pada Gambar 7 dan 8.

Pada Gambar 7 dapat dilihat penjalaran retakan terdapat pada bagian aluminium serta pada jalur yang melintasi bagian partikel SiC yang retak. Pada Gambar 8 terlihat bahwa retakan-retakan yang terjadi tidak melewati sisi permukaan ikatan aluminium dengan keramik. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi ikatan permukaan yang baik antara logam aluminium dengan keramik SiC. Ikatan permukaan tersebut mempunyai peran dalam meningkatkan kekuatan komposit AC8A/SiCp.

Secara umum metoda *hot press* metalurgi serbuk tanpa pengkondisian udara dengan bahan baku AC8A hasil penghalusan gram dari ingot AC8A cor, dapat menghasilkan komposit AC8A/SiCp dengan ikatan permukaan matrik dengan penguat yang baik, serta menghasilkan material yang lebih tangguh dimana memiliki kekerasan dan kuat tekan dan kuat luluh yang lebih tinggi dibandingkan material AC8A tanpa penguat SiC dari hasil *hot press* metalurgi serbuk.



Gambar 7. Alur retakan pada komposit AC8A/SiCp



Gambar 8. Alur retakan pada komposit AC8A/SiCp

Pada Gambar 7 dapat dilihat penjalaran retakan terdapat pada bagian aluminium serta pada jalur yang melintasi bagian partikel SiC yang retak. Pada Gambar 8 terlihat bahwa retakan-retakan yang terjadi tidak melewati sisi permukaan ikatan aluminium dengan keramik. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi ikatan permukaan yang baik antara logam aluminium dengan keramik SiC. Ikatan permukaan tersebut mempunyai peran dalam meningkatkan kekuatan komposit AC8A/SiCp.

Secara umum metoda hot press metalurgi serbuk tanpa pengkondisian udara dengan bahan baku AC8A hasil penghalusan gram dari ingot AC8A cor, dapat menghasilkan komposit AC8A/SiCp dengan ikatan permukaan matrik dengan penguat yang baik, serta menghasilkan material yang lebih tangguh dimana memiliki kekerasan dan kuat tekan dan kuat luluh yang lebih tinggi dibandingkan material AC8A tanpa penguat SiC dari hasil hot press metalurgi serbuk.

KESIMPULAN

1. Proses hot press metalurgi serbuk pada lingkungan udara yang tidak dikondisikan, menggunakan bahan baku serbuk dari penghalusan gram ingot AC8A diperkuat 20% volume partikel SiC, mampu menghasilkan komposit AC8A/SiCp yang mempunyai struktur mikro yang padat.

2. Sifat mekanis komposit AC8A/SiCp adalah : Kuat Tekan (*Compression Strength*) 427 MPa, Kuat Luluh (*Yield Strength*) 324 MPa dan Kekerasan Vickers 105 HV.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K.U. Kainer. 2006. *Basic Of Metal Matrix Composites: Metal matrix composites custom-mate materials for automotive and aerospace engineering*. Weinheim : WILEY VCH & CO. KgaA.
- [2] M. Zainuri, Eddy S. Siradj, dkk. 2008. *Pengaruh Pelapisan Permukaan SiC dengan oksida Metal terhadap Modulus Elastisitas Komposit Al/SiC*. Makara Sains Volume 12. Indonesia : UI.
- [3] M. Zainuri. 2009. *Pengaruh Pelapisan Tipis Metal oksida pada Permukaan Partikel SiC terhadap Interaksi Interfacial Komposit Al-SiCp dengan proses pembuatan Cold Compacting*. Disertasi Ph.D. Dept. Metalurgy and Material University of Indonesia.
- [4] M. Saleh, M. Zainuri. 2009. *Pengaruh Pelapisan Oksida SiO₂ pada permukaan partikel SiC terhadap kualitas ikatan antar muka komposit Al-SiC*. Seminar Nasional Pascasarjana IX ITS. Surabaya.
- [5] T. Mustika, B. Soegiyono dkk. 2011. *Investigation of Mechanical Properties of Hot pressed Aluminium Alloy Composites (AC8A/SiCp) Affected by Reinforcement Coating*. International Seminar on Applied Technology, Science, and Art. (3rd APTECS 2011). Surabaya.
- [6] J.A. Aguilar-Martinez, M.B. Hernandez, dkk. 2007. *Effect of particle size and Mg content on the processing parameters of Al-Si-Mg/SiCp composites processed by pressureless infiltration*. Revista Mexicana De Fisica 53 (3). Mexico.
- [7] H.V. Atkinson, S. Davies. 2000. *Fundamental Aspects of Hot Isotatic*

- Pressing : An Overview, *Metalurgical and Material Transactions A.* **31A.**
- [8] Sayed Moustafa, Walid Daoush dkk. 2011. *Hot forging and Hot Pressing of lSi Powder Compared to Conventional Powder Metallurgy Route.* Materials Science and Application. Egypt : SciRes.
- [9] Hasan Callioglu, Ismail Ozdemir dkk. 2011. *Effects of cold pressing and extrusion on the microstructures and mechanical properties of SiC and B4C reinforced Alumix-231 alloys.* Scientific Research and Essays Vol 6(6). Turkey : Academic Journals.
- [10] Min Song, Yue-hui He. 2010. *Effects of Di-pressing pressure and extrusion on the microstructures and mechanical properties of SiC reinforced pure aluminium composites.* Materials and Design 31. Elsevier Ltd.
- [11] Gu Wan Li. 2006. *Bulk Al/SiC nanocomposite prepared by ball milling and hot pressing method.* Transaction of Nonferrous Metals Society of China. China: Science Press.
- [12] Toto Rusianto. 2009. *Hot Pressing Metalurgi Serbuk Aluminium dengan Variasi Suhu Pemanasan.* Jurnal Teknologi Volume 2 No.1.
- [13] T. Mustika, B. Soegiyono dkk.. 2011. *Microstructure and Properties of Open Air Hot Pressed Al/SiCp Composites.* Proceeding of the 1st International Conference on Materials Engineering (ICME and 3rd AUN/SEED-Net Regional Conference on Materials (RCM). Yogyakarta.
- [14] Jin Peng, Xiao Bolu dkk. 2011. *Efect of Hot Pressing Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of SiC Particle Reinforced Aluminium Matrix Composites.* China: Acta Metallurgica Sinica.
- [15] Amir Pakdel, R. Rahmanifard dkk. 2007. *Effect of Hot Extrusion Temperature on Particle Breakage and Fractography of Silicon Carbide Reinforced Al-6061 Alloy Composite Materials.* Proceedings of 8th International Fracture Conference. Turkey.
- [16] Jonathan E. Spowart, Benji maruyama dkk. 2005. *Method for Improving Tensile Properties ocl/SiC Composites.* USA.
- [17] Song Min. 2009. *Effects of volume fraction of SiC particles on Mechanical properties of SiC/Al composites.* China : Trans. Nonferrous met. Soc.
- [18] Hyoung Seop Kim, Sun Ig Hong dkk. 2001. *On the rule of mixtures for predicting the mechanical properties of composites with homogeneously distributed soft and hard particles.* Journal of Material Processing Technology 112.

RIWAYAT PENULIS

Tika Mustika, lahir pada tanggal 15 Januari 1968. Sarjana S1 Teknik Mesin, Waseda University, Jepang dan melanjutkan S2 Manajemen Industri , Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saat ini bekerja sebagai peneliti pada Badan Pengkajian Pusat Teknologi Material BPPT