

Efek Komposisi SiC Wisker dan Alumina pada Aluminium Matrix Composite (AMCw) terhadap Sifat Fisik Densitas dan Porositas Komposit

Ketut Suarsana¹⁾, Rudy Soenoko²⁾, Agus Suprpto²⁾, Anindito Purnowidodo²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Pasca Sarjana Teknik Mesin
Universitas Brawijaya

E-mail : ktsuarsana@yahoo.com

²⁾Dosen Program Doktor Teknik Mesin
Program Pasca Sarjana Universitas Brawijaya
Jl. MT Haryono Malang, Telepon (0341) 895287

Abstrak

Komposisi material pembuatan Aluminium matrik Composite (AMCw) sangat dipengaruhi oleh penguat Silicon Carbon Wisker dan bahan tambahan Alumina yang digunakan. Kemampuan komposit ditentukan dari kualitas ikatan antarmuka matrik dan penguat melalui satu proses kompaktibilitas. Ikatan antarmuka ditentukan dari karakteristik masing-masing material hasil kompaksi. Komponen yang berbasis komposit bermatrik Aluminium dengan penguat Silicon Carbon wisker disebut dengan Aluminium Matrik Composite (AMCw) banyak dikembangkan karena memiliki sifat ringan dan kuat. Pada penelitian ini menggunakan Aluminium fine powder sebagai matriks serta perpaduan penguat Silicon Carbon wisker (SiCw) dan Alumina dengan variasi komposisi berat (%wt). Perbedaan komposisi berat (%wt) penguat dengan Alumina melalui kompaksi dapat mempengaruhi densitas dan porositas komposit dengan efek penguatan. Komposisi berat penguat dengan penambahan Alumina dibuat komposisi Alumina : 0% wt, 3% wt, 6% wt dan 9% wt. Proses penekanan dilakukan dengan gaya tekan kompaksi 2,5 ton, waktu penahanan 15 menit pada masing-masing specimen uji tanpa dan dengan Alumina. Pengujian yang dilakukan adalah densitas dan porositas hasil kompaksi dari masing-masing komposisi komposit. Hasil yang didapat pada komposisi matrik Al dengan penguat SiCw dan Alumina terjadi peningkatan densitas komposit. Sedangkan untuk hasil porositas dari komposisi matrik Al dengan SiCw dan Alumina terjadi penurunan porositas/berpori. Hal ini terjadi semakin banyak komposisi alumina pada Aluminium akan terjadi ikatan antarmuka semakin meningkat atau densitas baik. Sedangkan porositas/pori berbanding terbalik dengan densitas/kerapatan yang terkandung dalam material komposit.

Kata kunci : Komposisi, Kompaksi, Densitas, Porositas dan Matrik Aluminium, SiCw./Al₂O₃

1. Pendahuluan

Perpaduan dari beberapa bahan yang dipilih berdasarkan kombinasi sifat fisik masing-masing material penyusunnya, untuk menghasilkan material baru dan unik dengan ikatan antara masing-masing material matrik dan penguat disebut dengan komposit [1]. Material pembentuk komposit ada dua yaitu, matriks dan penguat. Matriks merupakan bahan dasar yang berperan sebagai penyangga dan pengikat (*reinforced*). Matriks memiliki karakteristik lunak, ulet, berat persatuan volume yang rendah dengan modulus elastisitas yang rendah. Matriks harus memiliki kemampuan mengikat dan atau memberikan ikatan antar muka (*interface bonding*) yang kuat antara matriks dan penguatnya. Penguat berperan sebagai efek penguatan terhadap komposit. Penguat ini bersifat kurang ulet, tetapi rigid dan lebih kuat, karena modulus elastisitasnya lebih tinggi daripada matriks. Aluminium Matrix Composite (AMC) memiliki keunggulan dalam kekuatan dan ketahanan terhadap gesek. Selain itu dengan penguatan menggunakan bahan keramik SiC, maka akan memberikan densitas kuat pada komposisi %wt tertentu dan peningkatan kekuatan mekanik [2]. Seperti halnya densitas, porositas merupakan salah satu

karakteristik fisis yang diperlukan terutama untuk mengkarakterisasi bahan padatan hasil proses maupun yang akan diproses kembali. Sifat porositas bahan saling mempengaruhi dan dipengaruhi oleh besaran fisis yang lain maupun sifat thermalnya, misalnya bahan yang *porous* akan mempunyai nilai kerapatan yang rendah, luas permukaan yang lebih besar, konduktivitas panas yang rendah, dsb. Secara umum, porositas digambarkan sebagai perbandingan antara volume pori dengan volume teoritis. Volume teoritis ditentukan dari berat dan rapat teoritis. Adanya porositas muncul karena adanya pori terbuka, tertutup maupun ruang antar partikel [3]. Komposisi berat (%wt) penguat dapat mempengaruhi densitas komposit. Komposit Al-[SiCw./Al₂O₃] merupakan komposit isotropik, dimana efek penguatannya kesegala arah. Efek variabel komposisi berat (%wt) penguat yang berbeda tentunya akan memberikan penguatan yang berbeda pula. *Aluminium Matrix Composites (AMCw)* memiliki keuntungan dan kerugian. Keuntungannya adalah konduktivitas panas yang baik, penghantar listrik yang baik, tahan terhadap tegangan geser dan tahan terhadap temperatur tinggi sedangkan kerugiannya yaitu biaya mahal dan porositas yang tinggi. Komposit partikulat termasuk komposit isotropik karena partikel penguatnya tersebar merata pada matrik, sehingga distribusi penguatannya sama kesegala arah. Komposit partikulat pada umumnya keuletan (*ductility*) dan ketangguhannya (*failure toughness*) menurun dengan semakin tingginya fraksi volume penguatnya [4].

Komposit partikulat ketangguhan lebih rendah daripada komposit berserat panjang. Akan tetapi, komposit ini sering lebih unggul ketahanan aus (*wear resistant*). Metalurgi serbuk adalah metode yang dikembangkan dari proses manufaktur yang dapat mencapai bentuk komponen akhir dengan mencampurkan serbuk secara bersamaan dan dikompaksi dalam cetakan, dan selanjutnya disinter didalam dapur pemanas. Tahapan metalurgi serbuk meliputi pencampuran, penekanan dan sintering. Pencampuran adalah menggabungkan dua bahan serbuk atau lebih dengan syarat agar dapat paduan lebih homogen. Penekanan adalah salah satu cara untuk memadatkan serbuk menjadi bentuk tertentu yang sesuai dengan cetakannya. Sintering merupakan teknik untuk memproduksi material dengan densitas yang terkontrol dan komponen logam dan atau serbuk keramik dengan aplikasi panas. Selain itu sintering dapat mendesain kontrol mikrostruktural yaitu kontrol ukuran butir (*grain size*), densitas pasca sintering (*sinter density*), ukuran dan distribusi fase lain termasuk pori (*pores*) [5]

Karakteristik Aluminium (Al)

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai sifat mekanik, ketahanan korosi dan hantaran listrik yang baik. Logam ini dipergunakan secara luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga, tetapi juga dapat dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, otomotif, kapal laut, konstruksi dan lain-lainnya. Aluminium banyak digunakan sebagai material teknik karena bobotnya cukup ringan, konduktor listrik, penghantar panas yang baik, dan tidak mudah terjadi korosi. Aluminium mempunyai massa jenis sebesar 2,7 g/cm³ dan nilai kekuatannya rendah, tetapi melalui pepaduan dengan unsur-unsur tertentu (*alloying*) akan memberikan peningkatan kekuatan mekaniknya. Sifat mekanik paduan Al cenderung naik akibat adanya penambahan Mn sebanyak 12% massa. Pada komposisi tersebut Al alloy mempunyai *ultimate tensile strength* 31,58 kg/mm², *elongation* 7,54 %, kekerasan 90,74 VHN dan kuat impak 5,88 J/cm², di mana nilai tersebut telah memenuhi [6].

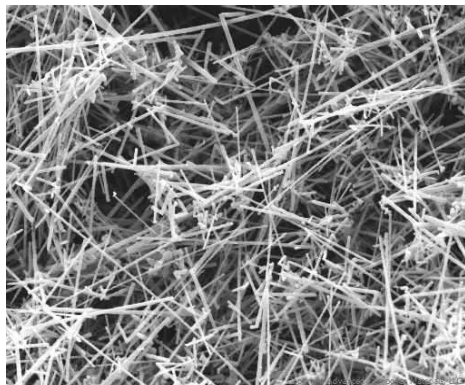
Alumina (Al₂O₃)

Alumina merupakan bahan baku di dalam proses elektrolisa dan digunakan sesuai dengan keseimbangan stoikiometri, yang banyaknya mencapai 1,89 kg dalam suatu massa. Alumina mempunyai morfologi bubuk berwarna putih dengan berat molekul 102, titik lelehnya pada suhu 2050⁰C dan specific gravity 3,5 - 4,0 gr/cm³. Alumina diproduksi dalam jumlah besar setiap tahun akan digunakan untuk membuat logam aluminium. Dalam tahun 1980, 90 % dari bahan bakunya, bauksit didatangkan ke Amerika Serikat, Republik Dominika, Suriname, Guyana, dan Australia. Konsumsi total meliputi 15,6 x 10⁶ ton, kira – kira 96 % diantaranya digunakan untuk produksi alumina. Pengguna lainnya adalah untuk abrasive, pembuatan bahan

kimia, dan serat keramik. Alumina (Al_2O_3) merupakan senyawa oksida dari aluminium yang diperoleh dari proses pemurnian bauksit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$) yang disebut sebagai *Proses Bayer*. Proses ini terbagi ke dalam 3 tahap yaitu : (1) Proses ekstraksi memakai sodium hidroksida (NaOH), (2) proses pengendapan (presipitasi) alumina trihidrat, (3) Proses kalsinasi pada temperatur 1200°C [4].

Karakteristik SiC Whisker

Whisker adalah kristal tunggal yang diperpanjang (*elongated single crystal*) dan memiliki kekuatan yang sangat tinggi karena bebas dari dislokasi. Penguatan dengan *whisker* (*whisker reinforcement*), adalah salah satu dari tiga cara penguatan dalam teknologi bahan komposit di samping penguatan dengan *paniculate* (*particulate reinforcement*) dan penguatan serat (*fibers reinforcement*). *Whisker* silikon karbid (SiC) merupakan keramik bukan oksid, yang mempunyai aplikasi yang penting dalam bidang elektronik, semikonduktor, pahat bubut, *abrasives*, energi nuklir, *seating rings*, *rocket* dan lain-lainnya [7]. Pada gambar 1 diperlihatkan struktur mikro wisker dan Tabel 1 adalah properties dari wisker.



Tabel 1 Properties dari *single crystal silicon carbide*

Typical Properties	
Crystal Type	Beta (Polytype)
Diameter, μm	0.45-0.65
Length, μm	5-80
Density, g/cm^3	3.2
Free carbon, wt %	0.05-0.30
Silica, wt %	0.35-0.75

Gambar 1 Foto mikro dari wisker silikon carbide dengan kristal tunggal. (*Silar O Silicon Carbide Whiskers, Single Crystal Technology for Composite Material Reinforcement and Advanced Application*) whisker (*Silar O Silicon Carbide Whiskers*)

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode metalurgi serbuk dalam pembuatan komposit isotropik Al-[SiCw/ Al_2O_3], dengan serbuk aluminium sebagai matriks dan SiCw/ Al_2O_3 sebagai penguat. Bahan yang digunakan sebagai berikut : Aluminium *fine powder* ($\geq 90\%$) p.a Merck dengan kemurnian diatas 90%, sebagai matriks (densitas $2,7 \text{ gram/cm}^3$, Modulus Elastisitas 70 GPa). Dan sebagai penguat serbuk SiC *whisker* komersial diameter ($d \approx 0.5 \mu\text{m}$), panjang ($l \approx 40 \mu\text{m}$), dengan aditif digunakan serbuk Al_2O_3 juga larutan Etanol 96% (CH_3COOH) sebagai media pencampur, sebagai bahan pelumas pada dinding cetak tekan adalah Vasiline.

Proses Pencampuran dan Kompaksi

Penguat SiC wisker dicampur aditif Al_2O_3 pada proses pencampuran basah dengan penambahan etanol sebanyak 5 ml untuk setiap kali proses dan diaduk dengan *magnetik stirrer* hingga seluruh etanol menguap. Pencampuran Aluminium *fine powder* dengan penguat SiCw yang dilapisi dengan Al_2O_3 dilakukan dengan *magnetic stirrer* pada suhu 50°C . Selanjutnya proses pengadukan dilakukan dalam *beaker glass* dengan menggunakan *magnetic stirrer* sebagai media pengaduknya. Pencampuran dilakukan dengan cara *wet mixing* artinya pada saat pencampuran digunakan larutan ethanol sebagai *mixing agent* agar serbuk matriks Al *fine powder* dan penguat SiC wisker dapat tercampur secara homogen. Perbandingan volume antara serbuk Al/SiCw yang ditambahkan alumina terhadap larutan ethanol adalah 1 : 2, dan

proses pengadukannya dilakukan selama 30 menit. Setelah tercampur merata, kemudian dikeringkan di dalam oven selama 1 jam pada temperatur 200°C sampai kering sempurna, untuk dapat campuran yang sempurna. Komposisi pencampuran bahan baku seperti ditunjukkan pada tabel 2 komposisi bahan. Pembuatan sampel uji dilakukan dengan cara *compaction* dengan menggunakan *hydraulic press* kapasitas mesin maks 10 ton. Sebelum sampel dimasukkan kedalam cetakan, dinding cetakan terlebih dahulu dilapisi/diolesi dengan pelumas agar mempermudah proses kompaksi/penekanan, mereduksi gesekan antara serbuk logam terhadap dinding cetakan, dan menghindari specimen Al-SiCw melekat pada dinding cetakan. Penambahan jumlah bahan pelicin adalah sebesar 1% berat dari jumlah total bahan baku. Campuran bahan baku matriks Al *fine powder* dan penguat SiCw dimasukkan ke dalam cetakan dan dilakukan penekanan sebesar 2,5 ton, Proses kompaksi ditahan selama 15 menit untuk memperoleh spesimen dengan kekuatan dan tekanan merata agar mudah dikeluarkan dari cetakan.

Penentuan Persen berat (% wt) antar Matrik dengan Penguat

Aluminium matriks Composite (AMCw) dibuat dari pencampuran matrik dengan penguat, dimana matrik adalah *Aluminium fine powder* dengan penguat SiCw yang diperkuat dengan bahan aditif. Proses pembuatan komposit ini dilakukan dengan metode metalurgi serbuk. Spesimen komposit *AMCw* yang dibuat berbentuk silendris dengan volume = 0.5 cm³. Sehingga volume total komposit yang harus dihasilkan ≥ 0.5 cm³. Bahan yang digunakan adalah Aluminium ($\rho_m = 2,7 \text{ gr/cm}^3$), SiCw ($\rho_f = 3.2 \text{ gr/cm}^3$), dan Al₂O₃ ($\rho = 3,8 \text{ gr/cm}^3$) dengan perbandingan persen berat (% wt). Kemudian pencampuran basah dengan menggunakan etanol sebagai pelarut polar dan *magnetic stirrer* dilengkapi dengan hot plate. Selanjutnya campuran serbuk ini dikeringkan dalam furnace T 200 °C selama 1 jam guna menguapkan sisa larutan etanol. Campuran tersebut dimasukkan dalam cetakan silinder yang telah diolesi dengan pelumas vasiline dan kemudian ditekan.

Penentuan Densitas

Densitas merupakan besaran fisis yaitu perbandingan massa (m) dengan volume benda (V). Densitas komposit hasil pengujian dapat dihitung dengan persamaan berikut ini [8] :

$$\rho = \frac{m_s}{m_b - (m_g - m_k)} \times \rho_{H_2O} \dots \dots \dots (1)$$

Penentuan Porositas

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah volume ruang kosong (rongga pori) yang dimiliki oleh zat padat terhadap jumlah dari volume zat padat itu sendiri. Porositas suatu bahan pada umumnya dinyatakan sebagai porositas terbuka atau *apparent porosity*, dan dapat dinyatakan dengan persamaan standar ASTM C 373 - 88. (*Birkeland, P. W., 1984*).[8]

$$P = \frac{mb - m_s}{m_b - (m_g - m_k)} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Pengukuran densitas dan porositas setelah kompaksi dilakukan dengan menggunakan prinsip archimedes, dimana volume benda yang dipindahkan sama dengan volume benda yang dimasukkan ke dalam fluida. Fluida yang digunakan adalah etanol.

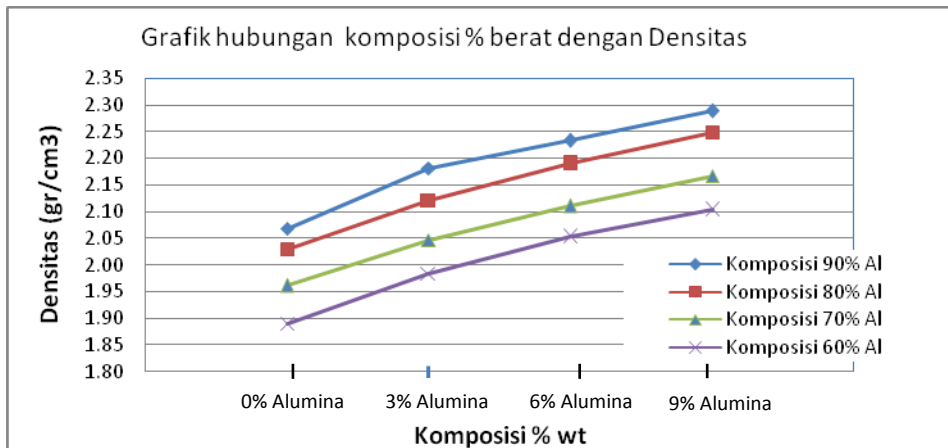
3. Hasil dan Pembahasan

Dari penelitian terhadap spesimen didapat data hasil pengukuran berat jenis dan porositas dengan data-data yaitu semakin rendah porositas, maka berat jenis menjadi meningkat. Jumlah peningkatan densitas terlihat dari grafik hubungan antara densitas dan komposisi penguat Alumina yang meningkat. Densitas bakalan (*green density*) naik seiring bertambahnya komposisi persen berat (%wt) penguat. Green density terjadi karena adanya gaya adhesi-koheisi antar partikel. Gaya ini dipengaruhi oleh penguncian antar permukaan partikel (*interlocking*), gaya van der Waals dan gaya elektostatik. Gaya tekan kompaksi sebesar 2.5 ton dengan asumsi

bahwa dengan tekanan tersebut, partikel diharapkan dapat membentuk model ikatan bola-bidang. Hal ini dikarenakan pada model ikatan ini porositas yang terbentuk relatif semakin kecil [9]. Pada proses penekanan, digunakan *die wall lubricant* yang berfungsi untuk mengurangi gesekan yang terjadi antara partikel dengan dinding cetakan. Semakin tinggi komposisi %wt penguat yang ditambah aditif digunakan, maka semakin tinggi pula densitas yang diperoleh. Pada gambar 2, grafik hubungan antara densitas dan komposisi %wt menunjukkan bahwa komposisi 90% Al dengan jumlah penguat 1% SiCw dan 9% Alumina, didapat densitas tertinggi dengan nilai densitas ($\rho = 2.288 \text{ gr/cm}^3$) dan terendah pada komposisi 60% Al dengan penguat 40% SiCw dan 0% Alumina dengan $\rho = 1.890 \text{ gr/cm}^3$.

Tabel 2 Hasil Pengujian Densitas Matrik Al diperkuat SiCw aditif Al O₂ 3

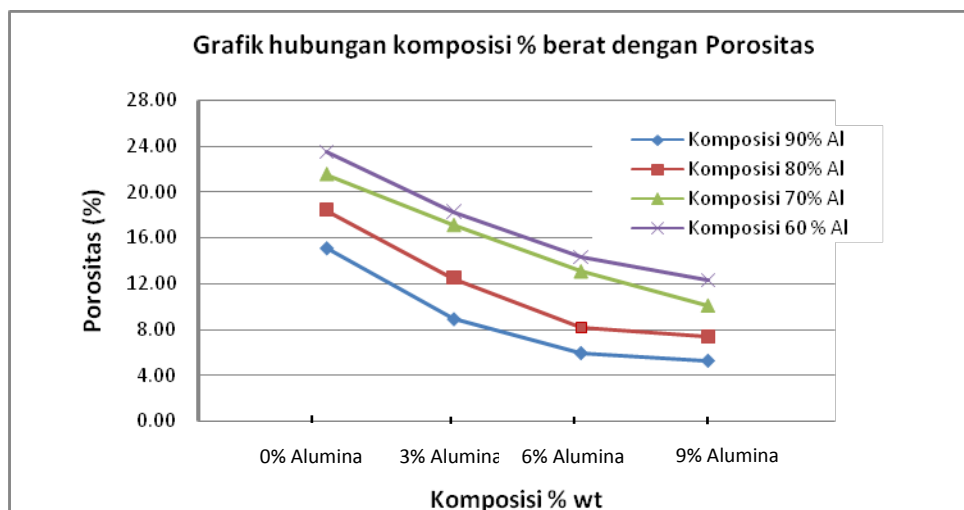
Al Fine Powder (%) wt	SiC wisker (%) wt	Pelapis Alumina (%) wt	Densitas ρ (gr/Cm ³)
90	10	0	2.069 ± 0.052854
	7	3	2.181 ± 0.101436
	4	6	2.233 ± 0.050343
	1	9	2.288 ± 0.073188
80	20	0	2.030 ± 0.039708
	17	3	2.121 ± 0.086077
	14	6	2.190 ± 0.054199
	11	9	2.249 ± 0.029954
70	30	0	1.962 ± 0.008433
	27	3	2.046 ± 0.112732
	24	6	2.110 ± 0.016627
	21	9	2.167 ± 0.049539
60	40	0	1.890 ± 0.055564
	37	3	1.985 ± 0.040889
	34	6	2.052 ± 0.066321
	31	9	2.103 ± 0.0591



Gambar 2 Grafik pengaruh komposisi % wt SiCw/Alumina pada Al terhadap Densitas (gr/cm³)

Tabel 3 Hasil Pengujian Porositas *Aluminium matrix composite (AMCw)* dengan Matrik Al diperkuat SiCw dan Alumina

Al FinePowder (%) wt	SiC wisker (%) wt	Pelapis Al ₂ O ₃ (%) wt	Porositas (%)	
90	10	0	15.095	± 1.618112
	7	3	8.883	± 1.814463
	4	6	5.309	± 3.076526
	1	9	5.235	± 2.615317
80	20	0	18.396	± 2.093395
	17	3	12.472	± 3.142114
	14	6	8.165	± 2.613573
	11	9	7.346	± 0.98417
70	30	0	21.546	± 3.034828
	27	3	17.120	± 4.183019
	24	6	13.087	± 2.367783
	21	9	10.108	± 3.425411
60	40	0	23.505	± 3.945284
	37	3	18.307	± 2.160908
	34	6	14.310	± 3.583131
	31	9	12.347	± 3.834663

Gambar 3 Grafik pengaruh komposisi SiCw/Al₂O₃ pada Aluminium terhadap Porositas (%)

Pada gambar 3 ditunjukkan bahwa secara keseluruhan porositas terjadi penurunan dengan penambahan komposisi Alumina dikarenakan ikatan antarmuka dapat terbentuk dengan baik pada saat proses penekanan dan juga dipengaruhi proses pencampuran yang mendekati homogen. Pada komposisi adakalanya bisa terjadi porositas dikarenakan adanya gas yang terperangkap pada pembentukan material dan dapat dinyatakan dengan persen penyusutan (*shrinkage*). Akibat menguapnya gas atau pelubrikan yang terjebak diantara partikel serbuk dan terjadi *bloating* dapat mengakibatkan fraktur pada komposit. Porositas menyatakan perbandingan antara jumlah volume ruang kosong (rongga pori) yang dimiliki oleh zat padat terhadap jumlah dari volume zat padat itu sendiri. Porositas suatu bahan pada umumnya dinyatakan sebagai porositas terbuka atau *apparent porosity*, dan dapat dicari dengan persamaan standar (pers 2). Pada grafik hubungan antara porositas dan komposisi %wt menunjukkan bahwa komposisi 90% Al dengan jumlah penguat 1% SiCw dan 9% Alumina, porositas rendah dengan $p = 5.235\%$ dan tertinggi pada komposisi 60% Al dengan penguat

40% SiCw dan 0% Alumina pada penelitian ini $p = 23.505\%$. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa komposisi SiCw dengan kandungan jumlah besar memberikan porositas yang besar atau pori-pori yang banyak tentunya sifat mekanik lemah terutama kekuatan dari komposit.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari hasil penelitian adalah sebagai berikut: 1) Densitas komposit sangat dipengaruhi oleh komposisi %wt, dengan penambahan Alumina densitas komposit terjadi kerapatan yang meningkat dikarenakan ikatan antarmuka dari masing-masing komposisi saling mengikat atau memberikan penguatan. 2) Porositas dikatakan memberikan penguatan apabila pori-pori akan berkurang atau semakin kecil jumlah pori-pori yang terjadi pada komposit. Jadi porositas yang kecil memberikan pengaruh pada sifat mekanik terutama kekuatan komposit baik. 3) Dari kedua sifat fisik komposit ini densitas dan porositas adalah berbanding terbalik, yang mana pada peningkatan penambahan penguat Alumina densitas tertinggi $\rho = 2.288 \text{ gr/cm}^3$ dan porositas rendah $p = 5.235 \%$. Jadi pada *Aluminium matrix composite (AMCw)* dengan matrik Al diperkuat SiCw dan Alumina $Al-[SiCw./Al_2O_3]$ efek komposisi sangat mempengaruhi densitas/kerapatan dan porositas/pori yang terbentuk pada komposit dimana kedua sifat ini berbanding terbalik.

Daftar Pustaka

- [1] F. Gibson, Ronald, (1994), *Principles of Composite Material Mechanics*. McGraw-Hill, Singapore.
- [2] J.B. Fogagnolo, F. Velasco, M.H.Robert, J.M. Torralbam, *Aluminium Matrix Composites Reinforced with Si3N4, AlN and ZrB2*, Produced by conventional powder Metallurgy and Mechanical Alloying, Avenue de la Universid, 2004, 30-28911
- [3] Hidayati, (1999), *Kerapatan, Luas Permukaan dan Porositas*, Pelatihan Sistem Kontrol Proses P3TM-UNIBRAW, P3TM-BATAN, 27-29 September. Yogyakarta.
- [4] L.Froyen, B. Verlinden, (1994), *Aluminium Powder Metallurgy*. Talat 1401. Belgium, European Aluminium Associations (EAA).
- [5] Kang, Suk-Joong, (2005), *Sintering : Densifikasi, Grain Growth and Microstructures*, Elseviere – Butterworth, Heinemenn.
- [6] K, Rafezi Ahmad, (2005), *The Influence of Alumina Particle Size on Sintered Density and Hardness of Discontinuous Reinforced Aluminum Metal Matrix Composites*, Jurnal Teknologi 42 (A), Universiti Teknologi Milewski.
- [7] N. E. Dowling, (1993), *Mechanical Behavior of Materials*, Prentice Hall, New Jersey, p. 85.
- [8] P. W. Birkeland, (1984), *Soil dan Geomorphologi*, Oxford, University Press New York, halaman 14-15.
- [9] K. Chawla, (1987), *Composite Material: Science and Engineering*. London Paris Tokyo: pringer-Verlag New York Berlin Heidelberg.