

Pengaruh Komposisi dan Sintering Pada Komposit Al/(SiCw+Al₂O₃) Terhadap Densitas, Porositas dan Keausan

Ketut Suarsana, I Wayan Lega Suprpto

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Pertumbuhan material komposit berbasis logam pada dunia industri cukup potensial untuk memenuhi akan komponen-komponen permesinan. Dengan adanya perkembangan bahan yang sangat pesat, maka dituntut untuk menghasilkan bahan ringan dan murah yang merupakan persyaratan utama dalam dunia industri pembuatan komponen-komponen mesin. Hal ini memunculkan inovasi baru dalam pembuatan Aluminium Matrix Composite (AMC) yang berbasis matrik Aluminium dengan penguat Silicon Carbon dan Al₂O₃ partikel. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah dengan proses powder metallurgy dan variasi komposisi penguat komposit. Awal proses komposit dibuat dengan variasi komposisi matrik Aluminium dengan penguat SiC+Al₂O₃ dalam komposit. Komposisi Aluminium : 80% wt dengan variasi penguat 20% wt. Pembuatan material uji dilakukan dengan proses metallurgy serbuk dimana gaya tekan 25 N, waktu penahanan 15 menit. Pengujian karakteristik dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik komposit. Jadi hasil penelitian adalah penambahan komposisi persen berat SiC dan Alumina (Al₂O₃) memberikan pengaruh pada sifat fisik dan mekanik komposit. Dimana densitas dan keausan meningkat terjadi pada setiap penambahan Alumina (Al₂O₃) itu sendiri. Sebaliknya porositas menurun dengan meningkatnya komposisi penguat. Hubungan antara sifat dari masing-masing komposisi penguat SiCw dan Al₂O₃ pembentuk komposit yang dibuat dengan menganalisa struktur mikro yang terbentuk.

Kata Kunci: Matrik Aluminium, SiC dan Al₂O₃ partikel.

Abstract

The development of metal-based composite materials in the industrial world is sufficiently potential to meet the machining components. With the rapid development of materials, it is demanded to produce light and cheap materials which are the main requirements in the world of manufacture of machine components. This led to new innovations in the manufacture of Aluminum Matrix Composite (AMC) based Aluminum matrix with Silicon Carbon and Al₂O₃ particle reinforcement. The method used in this research is the process of powder metallurgy and variation of composite reinforcement composition. Initial composite process was made with variation of Aluminum matrix composition with SiC + Al₂O₃ hardness in composite. Aluminium Composition: 80% wt with variation of 20% wt. The preparation of the test material was carried out by a powder metallurgy process in which the compressive force was 25 N, holding time was 15 minutes. Characteristic testing is performed to determine the physical and mechanical properties of the composite. So the result of the research is the addition of percent weight composition of SiC and Alumina (Al₂O₃) give effect on physical and mechanical properties of composite. Where density and wear occurs, increases occur in each addition of Alumina (Al₂O₃) itself. Conversely porosity decreases with increasing reinforcement composition. The relationship between the properties of each of the SiCw and Al₂O₃ composite compositing compositions prepared by analyzing the formed microstructure.

Keywords: Aluminum matrix, SiC and Al₂O₃ particles.

1. Pendahuluan

Peradaban kehidupan manusia semakin berkembang maka kebutuhan akan teknologi bahan juga semakin meningkat dan beragam dalam berbagai aplikasi penggunaannya. Ketersediaan material konvensional yang kuantitas dan kualitasnya terbatas memunculkan pemikiran untuk pengembangan bahan melalui pengembangan proses pembuatan material dengan cara perlakuan permukaan, penambahan penguat material lain maupun rekayasa strukturalnya. Pengembangan komposit matriks aluminium dalam skala besar sudah banyak dilakukan dalam penelitian. Dimana didukung oleh tersedianya serat karbon, boron dan wisker. Bahan dari *Aluminium Matrix Composites (AMC)* mempunyai prospek karena menjanjikan karakteristik kekuatan dan ketahanan deformasi termal yang baik. Penguat serat kontinu satu arah menghasilkan perbaikan sifat mekanik yang

menonjol dibandingkan dengan material matrik tanpa penguatan maupun yang diskontinu [1]. Komposit adalah 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 penyusun sebagai matrik dan penguat. Material Al alloy digabungkan dengan keramik SiCw tergolong dalam jenis material komposit *Aluminium Matrix Composite (AMC)*. Pada proses perekayasaan material *Aluminium Matrix Composites (AMC)* dapat menggunakan logam aluminium alloy sebagai matrik dengan keramik SiC dan alumina sebagai bahan penguat/pengisi. Perbedaan dari material penyusun komposit, antara matrik dan pengisi (*filler*), agar berikatan dengan kuat, maka perlu penambahan aditif atau penguat [2]. Model penguatan dengan menggunakan jenis penguat merupakan pengembangan dari perlakuan permukaan pada

material dasar, tapi sebelumnya umum dilakukan dengan rekayasa perlakuan panas (*heat treatment*) pada permukaan material komposit.

Penggabungan aditif atau penguat yang berbeda karakteristiknya, selama ini dilakukan dengan metode bonding diffusion yaitu penggabungan dilakukan dengan pemanasan temperatur tinggi dengan tegangan mekanik yang besar. Metode ini juga mempunyai kelemahan yaitu bentuk produk yang terbatas dan biaya produksi tinggi. Penggabungan aditif pada temperatur dingin dengan rekayasa permukaan lapisan melalui proses manufaktur metalurgi serbuk, merupakan alternatif yang dapat dikembangkan [3]. Salah satu metoda pembentukan logam yang memungkinkan adanya kontrol terhadap setiap variabel prosesnya dapat dilakukan dalam proses fase padat. Ketelitian dalam kontrol dan rekayasa variabel proses merupakan hal yang menjadi penentu kualitas hasil produk. Pencampuran serbuk logam dengan partikel keramik untuk membuat *Metal Matrix Composites (MMC)* perlu adanya variabel yang jelas. Setelah proses pencampuran ini biasanya diikuti dengan *cold compaction*, *degassing* dan perlakuan panas seperti *hot isostatic pressing (HIP)* maupun sintering. Proses penekanan adalah memadatkan serbuk atau konsolidasi dari serbuk kedalam bentuk yang diinginkan, agar diperoleh dimensi presisi, serta material tidak mudah hancur. Kajian yang telah dilakukan sebelumnya dalam bidang *Metal Matrix Composites (MMC)* terutama aluminium sebagai matrik dan Silikon carbon sebagai penguat, adalah bertujuan untuk meningkatkan karakteristik fisik dan mekaniknya. Pelapisan alumina (Al_2O_3) pada permukaan SiC partikel cenderung meningkatkan karakteristik karena lebih merata dan menyebabkan ikatan interfasial antara penguat SiC dengan matrik Aluminium menjadi lebih baik [4]. Dalam penelitian sebelumnya komposit berbasis matrik Al diperkuat oleh SiC itu sendiri atau alumina (Al_2O_3) telah banyak diteliti. Namun penguat gabungan SiC bersama alumina partikulat (Al_2O_3) pada aluminium matrik disebut komposit Al/(SiC+ Al_2O_3), dan dengan variasi persentase berat belum ada meneliti. Dalam hal ini dipandang perlu untuk membuat material baru dengan komposisi tertentu untuk mendapatkan sifat material yang kekuatannya tinggi serta sebagai bahan alternatif untuk aplikasi penggunaannya. Oleh karena itu fokus penelitian adalah pengaruh komposisi penguat gabungan SiC ditambah alumina partikulat (Al_2O_3) dengan Aluminium sebagai matrik terhadap karakteristik komposit terutama kekuatan, densitas, porositas dan kekerasan yang dimiliki komposit baru.

2. Dasar Teori

Penentuan Densitas

Densitas merupakan besaran fisis yaitu perbandingan massa (m) dengan volume benda (V), (Birkeland, P.W., 1984) [5]

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

dengan : Densitas bulk (ρ) (gram/cm³), massa sampel setelah dikeringkan di dalam oven (m_s) (gr), massa sampel yang digantung di dalam air (m_g)(gram), massa kawat penggantung sampel (m_k)(gram), massa sampel setelah direndam didalam air / jenuh (m_b)(gr), massa jenis air (ρ_{H_2O})=1 gram/cm³

Penentuan Porositas

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) [5].

$$p = \frac{m_b - m_s}{m_b - (m_g - m_k)} \times 100 \% \quad (2)$$

Penentuan Keausan

Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah metode Ogoshi dimana benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak permukaan dari material tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam jejak keausan, maka semakin tinggi volume material yang terkelupas dari benda uji dengan pembebanan 10 N [6].

3. Metode Penelitian

Aluminium matrix Composite (AMC) dibuat dari pencampuran matrik dengan penguat, dimana matrik adalah Aluminium *fine powder* dengan penguat SiC yang diperkuat dengan bahan aditif. Proses pembuatan komposit ini dilakukan dengan proses metalurgi serbuk. Sampel komposit *AMC* yang dibuat berbentuk silindris dengan diameter 0,8 cm dan tinggi 1 cm. Sehingga, volume total komposit yang harus dihasilkan $\pm 0,5$ cm³ [7]. Bahan yang digunakan adalah Aluminium ($\rho_m = 2,7$ gr/cm³), SiC ($\rho_{pf} = 3,2$ gr/cm³) dan Al_2O_3 ($\rho_{pf} = 3,8$ gr/cm³) dengan perbandingan persen berat (% wt) masing-masing sebagai berikut. Tabel 1. Komposisi Matriks Al dan penguat (SiC+ Al_2O_3).

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian berupa serbuk dan serat dari Aluminium Matrik, Al_2O_3 partikel serta SiC *whisker*. Pembuatan dengan

teknik metalurgi serbuk menggunakan bahan baku yaitu Al *fine powder* ($\geq 90\%$) p.a Merck dan serat SiC *whisker* komersial diameter ($d \approx 0.5 \mu\text{m}$), panjang ($l \approx 40 \mu\text{m}$). Sebagai bahan tambahan digunakan serbuk Al_2O_3 partikel dan Etanol 96% (CH_3COOH) sebagai media pencampur [8]. Untuk grafit (C) dari arang dan Vasiline sebagai pelumas pada dinding cetak tekan.

Alat Penelitian

Timbangan Digital, berfungsi untuk penimbangan massa bahan.

- Alat Uji Microhardness Tester
- Mortar, wadah untuk proses pencampuran
- Beker glass dan gelas ukur
- Magnetik Stirrer sebagai alat untuk pencampur serbuk dari bahan.
- Alat kompaksi CARVER dengan kapasitas 10 ton
- Mesin magnetic stirrer, mesin ini berfungsi untuk mencampur dan mengaduk Al dengan SiC dan bahan wetting agen.
- Furnace , sebagai alat pemanas
- Cetakan/die, alat yang digunakan untuk mencetak Al dengan SiC dan bahan wetting agen
- Alat uji Scanning Electron Microscope (SEM)

4. Hasil dan Pembahasan

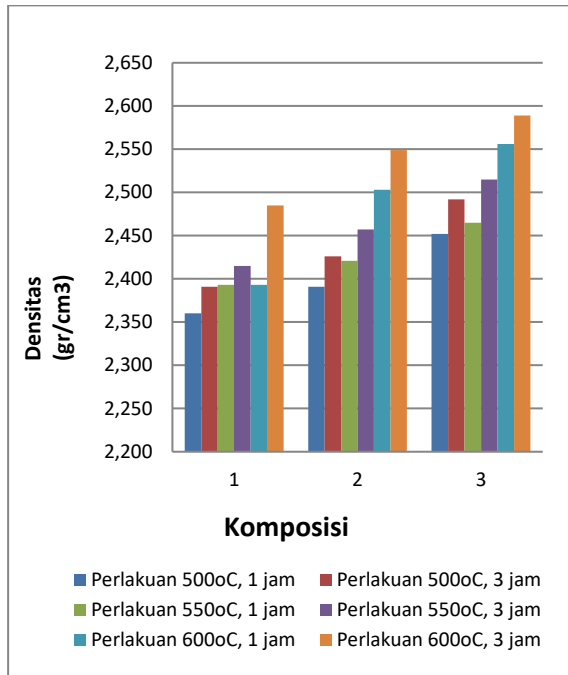
4.1. Densitas Komposit

Sifat fisik densitas dari komposit sangat dipengaruhi oleh temperatur maupun waktu tahan sinter. Ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap proses sinter adalah ukuran partikel, bentuk, struktur, densitas, temperatur dan waktu. Penurunan ukuran partikel akan meningkatkan difusi, hal ini disebabkan peningkatan perbandingan luas area terhadap volume akan menyebabkan peningkatan gaya penggerak yang lebih tinggi, sedangkan bentuk partikel akan meningkatkan luas kontak antar partikel, sehingga meningkatkan kecepatan difusi. Permukaan partikel yang kasar, mempunyai luas kontak yang rendah dibandingkan partikel yang halus. Struktur kristalin pada serbuk sangat signifikan pengaruhnya terhadap proses sinter. Nilai densitas bakalan yang tinggi menyebabkan sifat akhir komposit lebih baik seperti ketahanan aus, penghantar panas dan kerapatan komposit. Peningkatan nilai densitas bakalan mempengaruhi luas kontak permukaan antar partikel. Peningkatan temperatur dan waktu pada proses sinter akan dapat meningkatkan kecepatan sinter, yang berhubungan secara signifikan. Struktur polikristalin cenderung mempunyai ukuran butir yang lebih kecil, dan memiliki sifat mekanik seperti tegangan tarik, ukuran butiran dan dimensi yang lebih stabil. Struktur butir yang lebih halus memiliki transpor material yang lebih baik, sehingga menyebabkan kecepatan difusi tinggi. Setelah proses sinter, ukuran butir cenderung

menghilangkan butir kecil karena terjadi pertumbuhan butir. Struktur kristalin serbuk pada saat proses sinter lebih stabil, selama gaya penggerak utama untuk terjadinya rekristalisasi (penurunan dislokasi), tidak terjadi di dalam serbuk. Struktur yang mempunyai cacat yang cukup besar, seperti dislokasi akan meningkatkan proses difusi. Komposisi partikel seperti oksidasi pada permukaan partikel akan menurunkan energi permukaan dan dapat menghalangi terjadinya mekanisme transpor permukaan, sehingga dapat menurunkan keefektifan dari proses difusi sepanjang proses sinter. Sepanjang proses sinter temperatur akan menjadi gaya dorong difusi antarmuka partikel. Sehingga semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu tahan sinter, densitas komposit akan semakin meningkat.

Tabel 1 Data hasil pengujian Densitas Aluminium matrix composite (AMC) dengan Al matrik diperkuat SiC dan Al_2O_3

Al (%)	SiC (%)	Al_2O_3 (%)	500°C	
			1 Jam	3 Jam
			$\rho(\text{gr}/\text{cm}^3)$	$\rho(\text{gr}/\text{cm}^3)$
			2.360 ± 0.02023	2.391 ± 0.05686
	17	3	2.391 ± 0.01012	2.426 ± 0.02156
	14	6	2.452 ± 0.07520	2.492 ± 0.05761
	11	9		
			550°C	
			1 Jam	3 Jam
			$\rho(\text{gr}/\text{cm}^3)$	$\rho(\text{gr}/\text{cm}^3)$
			2.393 ± 0.02245	2.415 ± 0.04301
	80	3	2.421 ± 0.02043	2.457 ± 0.01400
	14	6	2.465 ± 0.03095	2.515 ± 0.04180
	11	9		
			600°C	
			1 Jam	3 Jam
			$\rho(\text{gr}/\text{cm}^3)$	$\rho(\text{gr}/\text{cm}^3)$
			2.464 ± 0.0320	2.485 ± 0.0525
	17	3	2.503 ± 0.0135	2.549 ± 0.0657
	14	6	2.556 ± 0.0909	2.589 ± 0.0449
	11	9		



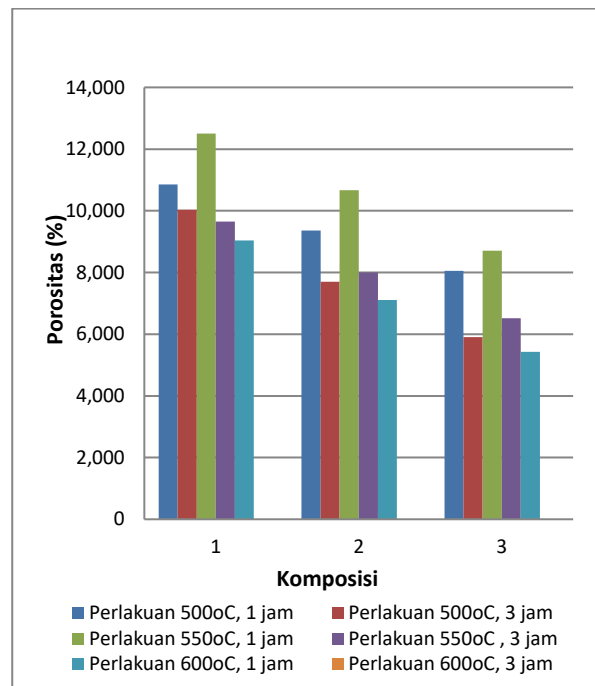
Gambar 1. Grafik hubungan komposisi dengan densitas

Porositas Komposit

Secara ekperimental pengaruh temperatur dan waktu tahan (*holding time*) sintering terhadap porositas dapat diketahui dari pengamatan data penelitian pada tabel 5.2 dan gambar 5.3. Pada Tabel 5.2 ditunjukkan data hasil pengujian porositas *Aluminium matrix composite (AMC)* dengan *Al fine powder* sebagai matrik diperkuat SiC dan Al_2O_3 setelah perlakuan sintering. Perlakuan sintering yang dikenakan pada komposit $\text{Al}-(\text{SiC}+\text{Al}_2\text{O}_3)$ adalah dengan variasi temperatur dan *holding time*, pada temperatur sintering : 500°C , 550°C dan 600°C , dengan *holding time* berturut-turut : 1 jam dan 3 jam. Untuk perhitungan dan pengujian penentuan porositas.

Tabel 2 Data hasil pengujian porositas *aluminium matrix composite (AMC)* dengan *Al* sebagai matrik diperkuat SiC dan Al_2O_3 , setelah proses sinter.

Komposisi			500°C	
Al (%)	SiC (%)	Al ₂ O ₃ (%)	1 Jam	3 Jam
			p(%)	p(%)
	17	3	10.851 ± 0.87732	10.029 ± 1.76810
	14	6	9.356 ± 1.01289	7.696 ± 1.06899
	11	9	8.049 ± 2.45656	5.902 ± 0.86203
			550°C	
			1 Jam	3 Jam
			p(%)	p(%)
80	17	3	12.508 ± 1.21037	9.655 ± 0.91232
	14	6	10.668 ± 0.86439	7.997 ± 0.95604
	11	9	8.711 ± 1.66446	6.517 ± 1.09402
			600°C	
			1 Jam	3 Jam
			p(%)	p(%)
	17	3	9.036 ± 0.09372	6.998 ± 1.63185
	14	6	7.111 ± 1.83290	6.020 ± 2.07385
	11	9	5.426 ± 0.20759	4.311 ± 1.16856



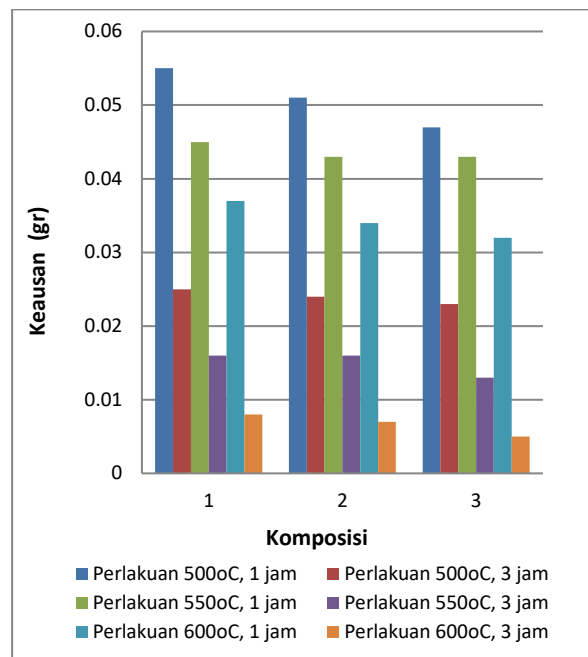
Gambar 2 Grafik hubungan komposisi dengan porositas

Keausan Komposit

Komposisi			Suhu					
Al Powder (%wt)	SiC Whisker (%)	Al ₂ O ₃ (%)	500 °C		550 °C		600 °C	
			waktu sintering		waktu sintering		waktu sintering	
			1 jam	3 Jam	1 jam	3 Jam	1 jam	3 Jam
80	17	3	0,055	0,025	0,045	0,016	0,037	0,008
	14	6	0,051	0,024	0,043	0,016	0,034	0,007
	11	9	0,047	0,023	0,043	0,013	0,032	0,005

Tabel 4 Data hasil pengujian keausan komposit aluminium matrix diperkuat SiC dan Al₂O₃

Pada gambar 3 menunjukkan hubungan antara komposisi persentase berat dari komposit Al-(SiC+Al₂O₃) dengan keausan. Hal ini dapat dilihat bahwa setiap peningkatan komposisi gabungan penguat SiC dan Al₂O₃ dengan komposisi matriks Aluminium, menyebabkan peningkatan sifat fisik. Temuan ini mirip dengan penelitian sebelumnya (Widyastuti, et al. 2008). Hipotesa penelitian menyatakan peningkatan perlakuan komposisi persentase berat (%wt) pada komposit Al+(SiC+Al₂O₃), menjadikan semakin meningkat sifat mekanik dari komposit. Pada penelitian ini untuk setiap komposisi matrik dan peningkatan persentase berat penguat Al₂O₃ sendiri, menyebabkan meningkatnya ketahanan aus dan konduktivitas termal komposit. Hal ini terjadi karena partikel Al₂O₃ yang memiliki ukuran lebih kecil daripada matriks aluminium itu sendiri, memungkinkan mereka untuk menyebar secara merata. Partikel Al₂O₃ itu sendiri mempunyai nilai kekerasan lebih tinggi dari aluminium matrik, bila ditingkatkan penambahan Al₂O₃ sehingga menyebabkan kekerasan meningkat. Selanjutnya, setiap pengurangan SiC dari gabungan penguatan (SiC+Al₂O₃) juga menyebabkan ketahanan aus. Ini bisa terjadi karena serat SiC acak, lebih kecil dari partikel serbuk aluminium matriks dan kekerasannya tinggi. Dengan orientasi serat acak dari SiC dapat meningkatkan pembentukan jumlah pori-pori pada komposit. Pada penelitian sebelumnya matrik paduan aluminium diperkuat dengan partikel silikon karbida dengan dan tanpa dilapisi menunjukkan bahwa lapisan partikel dan ukuran partikel memberikan efek secara signifikan terhadap sifat-sifat mekanis pada permukaan komposit.



Gambar 3 Grafik hubungan komposisi dengan keausan

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian komposit Al/(SiC+Al₂O₃) yang terdiri dari aluminium *fine powder* sebagai matrik dengan *Silicon Carbon whisker* (SiC) digabung alumina partikel (Al₂O₃) sebagai penguat, juga berdasarkan analisa dan pengamatan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan:

1. Komposisi persentase berat (%wt) penguat pada komposit Al+(SiC+Al₂O₃) memberikan pengaruh terhadap densitas meningkat dan porositas menurun dengan peningkatan penguat dari alumina, dimana densitas tertinggi adalah ($\rho = 2,589 \text{ gr/cm}^3$) dan porositas terendah didapat pada $p = 4,311 \%$.
2. Porositas menurun dengan peningkatan penguat dari alumina, dimana porositas tertinggi adalah $p = 21,546 \%$ dan porositas terendah didapat $p = 4,311 \%$. Sedangkan sifat mekanik dimana nilai densitas berbanding terbalik dengan nilai porositas.
3. Sifat mekanik yaitu keausan meningkat pada komposit Al+(SiC+ Al₂O₃) disetiap peningkatan persentase berat dari alumina partikel (3%wt Al₂O₃, 6% wt Al₂O₃ dan 9% wt Al₂O₃).

Daftar Pustaka

- [1] Beatty, R. L. and Wyman, F. H., 1987, *Continuous Silicon Carbide Whisker* Production, United state Patent, No. 4,637, 924.
- [2]. Sciti, D., and Bellosi, A., 2002. *Microstructure and Properties of Alumina-SiC nanocomposites Prepared from Ultrafine Powders*, *Journal of Material Science* 37, Kluwer Academic Publishers.
- [3] Widyastuti, Eddy, S., Siradj, Dedi Priadi, and Anne Zulfia., 2008. *Compactibility Al/Al₂O₃ Composites with Variable Hold Time Sintering*, Makara, Sains, Vol.12, No. 2, November (2008), 113-119.
- [4] Zainuri, M., Siradj, E. S., Priadi, D., dan Zulfia, A., 2008. *Pengaruh Pelapisan Permukaan Partikel SiC dengan Oksida Metal terhadap Modulus Elastisitas Komposit Al/SiC*. Matrix, 12 (2), 126- 133.
- [5] Birkeland, P. W., 1984. *Soil dan Geomorphologi*, Oxford, University Press New York,halaman 14-15.
- [6] Sulardjaka dkk 2015. *Karakteristik laju keausan komposit AlSiB/SiC dan AlSiMg/SiC*. Jurusan Teknik Mesin, FT-UNDIP, Kampus UNDIP Tembalang-Semarang. Indonesia
- [7] Widyastuti, et al. 2008. *Kompaktibilitas Komposit Isotropik Al/Al₂O₃ dengan Variabel Waktu Tahan Sinter*. Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia.
- [8] Ketut Suarsana, dkk., 2015 *Studi Eksperimen Pembuatan Komposit Metal Matrik Aluminium Penguat Sic Wisker Dan Al₂O₃ Partikel Sebagai Material Alaternatif*, ISBN: 2302-4542, Jurnal Teknik Mesin (SNTTM) XIV Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar Bali, Indonesia.