

KARAKTERISASI KONDUKTIVITAS TERMAL DAN KEKERASAN KOMPOSIT ALUMINIUM Matrik PENGUAT HIBRID SiCw/Al₂O₃

Ketut Suarsana¹⁾, I Made Astika²⁾, Lega Suprpto³⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana Denpasar Bali

Email: ktsuarsana@yahoo.com

²⁾Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana Denpasar Bali

Email: imdastika@yahoo.com

³⁾Jurusan Teknik Mesin, Program Magister, Universitas Udayana Denpasar Bali

Email: legasuprpto71@gmail.com

ABSTRAK

Sifat komponen mesin kuat, ringan dan murah merupakan persyaratan utama dalam dunia industri mesin. Persyaratan ini memunculkan inovasi dalam pembuatan komposit menggunakan matrik berbasis Aluminium diperkuat Silicon Carbon whisker dan alumina partikel (Al₂O₃p). Karakteristik komposit dipengaruhi oleh komposisi bahan matrik dengan penguatnya, serta pengaruh temperatur dan perlakuan sintering. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan karakteristik komposit baru aluminium matrik composite (AMC) dari bahan Al fine powder sebagai matrik diperkuat dengan gabungan hibrid silicon carbon whiskers (SiCw) dan alumina partikel (Al₂O₃p), melalui metode powder metalurgi pada perlakuan setelah sintering. Metode pembuatan komposit dengan cara metalurgi serbuk (powder metallurgy) yaitu ketiga variasi bahan dimasukkan dalam cetakan kemudian diberi gaya tekan 2,5 ton dengan waktu penahanan 15 menit. Variasi komposisi bahan adalah Al : (SiCw/Al₂O₃) pada komposisi I, komposisi II dan komposisi III. Setelah terbentuk spesimen material komposit dikenakan perlakuan sintering dengan variasi suhu adalah: 500°C, 550°C dan 600°C dan holding time : 1 jam, 3 jam dan 6 jam. Specimen uji dibuat sebanyak 81 buah dengan masing-masing 3 buah spesimen untuk setiap kombinasi perlakuan temperatur dan holding time. Dari penelitian konduktivitas termal yang dilakukan didapat hasil tertinggi adalah 455.111 k(W/m.°C) pada temperatur 600°C dengan waktu 6 jam dan terendah didapat 34.874 k(W/m.°C) pada perlakuan sintering 500°C dengan holding time 1 jam. Begitu juga kekerasan tertinggi terjadi pada 141.046 VHN dan yang terendah dari penelitian didapat 128.750 VHN, jadi komposisi mempengaruhi konduktivitas termal dan kekerasan komposit.

Kata kunci : Karakteristik termal, kekerasan, hibrid SiCw dan Al₂O₃.

1. PENDAHULUAN

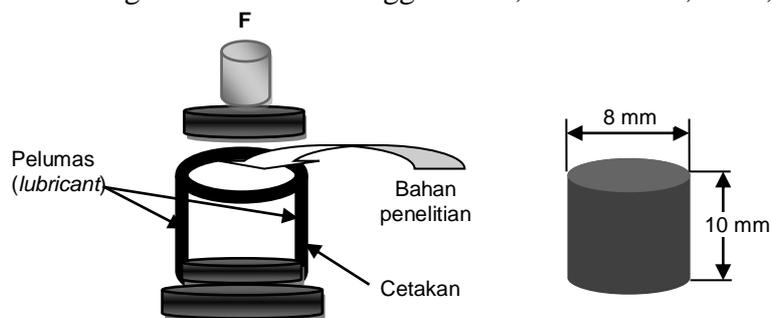
Perkembangan teknologi yang begitu pesat memerlukan material teknik dan cara produksi yang tepat untuk mewujudkan sebuah produk berkualitas, harga relatif murah. Material teknik yang memiliki sifat-sifat seperti ringan, tahan aus, kuat, keras, murah dan mudah diproduksi, sangat memungkinkan sebagai material alternatif untuk menggantikan fungsi material logam berat seperti besi atau baja. Salah satu bahan yang memenuhi sebagian sifat-sifat tersebut adalah material berbahan matrik aluminium, karena aluminium merupakan logam yang ringan, murah dan mudah diproduksi. Untuk mendapatkan material yang kuat, sifat keras, densitas rendah, ketahanan abrasi, ketahanan aus, tahan korosi dan penghantar panas yang baik, bisa didapat dengan mengkombinasikan beberapa jenis material konvensional dengan logam untuk dikembangkan menjadi material komposit. Material komposit dikembangkan untuk meningkatkan kualitas sifat mekanik, fisik, maupun ketahanan aus serta muai termal yang baik. *Silicon carbide* (SiC) memiliki sifat-sifat seperti kekerasan tinggi dan tahan terhadap temperatur tinggi serta mampu dibasahi cukup baik oleh Al sehingga memungkinkan untuk dipadukan. Persentase berat Al-SiC yang diperkuat 20% partikel SiC lebih ringan 57% dibanding berat baja, serta ketahanan aus dan konduktivitas termalnya tinggi (Zainuri, et.,al 2009). Kompaktibilitas komposit Isotropik Al/Al₂O₃ yang dibuat dari aluminium sebagai matrik dan Al/Al₂O₃ sebagai penguat dengan variabel fraksi volume penguat yang digunakan adalah 10%, 20%, 30% dan 40%. Temperatur sintering 600°C dan gaya tekan kompaksi 15 kN. Hasil yang diperoleh adalah kompaktibilitas komposit Al/Al₂O₃ mencapai nilai optimum saat waktu tahan sintering 2 jam. Sepanjang proses sintering, fasa baru yang terbentuk adalah alumina tidak stabil. Fraksi volum penguat terbaik adalah 40% dan waktu tahan sintering optimum adalah 2 jam (Widyastuti, et al.

2008). Mengacu dari hasil-hasil penelitian sebelumnya, terlihat disini belum ada yang meneliti karakteristik konduktivitas termal pada material komposit Al/(SiCw+Al₂O₃), hal ini perlu selain material kuat juga bagaimana kemampuan sifat penghantar panas.

2. METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Aluminium *fine powder* dipilih sebagai bahan matriks dengan kemurnian di atas 90% ($\geq 90\%$ p.a Merck), densitas (ρ) = 2,7 gr/cm³ dan kekerasan 75-95 Hv, dengan ukuran butir 32 sampai 45 μm . Serat SiCw komersial dengan diameter (d) = 0,45-0,65 μm , panjang (l) = 5-80 μm , kerapatan (ρ) = 3,2 gr/cm³, kekerasan = 2400 Hv. Bahan serbuk Al₂O₃p dengan densitas (ρ) = 3,8 gr/cm³, ukuran butir 1 sampai 5 μm , kekerasan = 1800 Hv digunakan sebagai penguat. Selain itu larutan 96% Ethanol (CH₃COOH) digunakan sebagai media pencampur serta Vaseline sebagai pelumas pada dinding cetak tekan. Material komposit dari aluminium matrik komposit dibuat dengan teknik metalurgi serbuk menggunakan bahan baku serbuk yaitu Al *fine powder*, serat SiC whisker komersial dan alumina partikel (Al₂O₃). Proses pencampuran aluminium matrik dengan penguat SiCw dan Al₂O₃ dilakukan pencampuran basah (*wet mixing*). Bahan aluminium serbuk halus dengan penguat (SiC+Al₂O₃) dimasukkan ke dalam gelas *beaker* dengan menambahkan pelarut polar berupa ethanol. Perbandingan volume antara serbuk Al-SiC/Al₂O₃ terhadap larutan ethanol adalah 1 : 2. Kemudian pengadukan dilakukan dengan alat *magnetic stirrer* dilengkapi dengan *hot plate* pada suhu 50°C, selama 30 menit sampai tercampur merata. Selanjutnya campuran serbuk ini dikeringkan dalam *furnace* pada suhu 100°C selama 60 menit guna menguapkan sisa larutan ethanol sampai kering sempurna (Ryuichiro, 2013). Kemudian campuran tersebut dimasukkan kedalam cetakan bentuk silinder yang sebelumnya dinding cetakan telah diolesi vaselin sebagai pelumas. Proses penekanan dilakukan dengan alat *hydraulic press* "Carver" pada temperatur kamar yaitu *cold compactions*. Tekanan yang digunakan sebesar 25 N dan ditahan selama 5 menit agar distribusi tegangan merata dan menghindari terbentuknya oksidasi pada komposit matrik aluminium. Cetakan berbentuk silendris, sehingga spesimen didapat berbentuk silinder dengan dimensi : tinggi 1 cm, diameter 0,8 cm, volume total komposit $\pm 0,5 \text{ cm}^3$.



Gambar 1 Spesimen Uji

Penentuan Porositas.

Pengukuran porositas material komposit Al/(SiCw+Al₂O₃) mengacu pada ASTM C. 373-88. Prosedur pengukuran porositas dari material komposit Al+(SiCw+Al₂O₃) dilakukan dengan tahapan sebagai berikut (Ahmad, K. R, 2005) :

1. Sampel dikeringkan di dalam dapur pemanas dengan suhu 100°C dengan waktu pengeringan selama 2 jam, kemudian timbang massanya dengan neraca digital, disebut massa kering (m_s).
2. Timbang massa kawat penggantung menggunakan neraca digital (m_k).
3. Timbang massa sampel dan penggantungnya (menggunakan kawat) didalam air dengan

menggunakan neraca digital (m_g).

4. Sampel dicelupkan dalam air hingga massa benda dalam keadaan jenuh, kemudian lap permukaannya dengan kain, dan timbang massanya dengan menggunakan neraca digital (m_b).

Data porositas material komposit Al/(SiCw+Al₂O₃) dinyatakan sebagai porositas terbuka atau *apparent porosity*, dan dapat d dengan persamaan (Birkeland, 1984).

$$p = \frac{m_b - m_s}{m_b - (m_g - m_k)} \times 100 \% \quad (1)$$

dengan : p= porositas bahan (%), m_s= massa sampel setelah dikeringkan di dalam oven, m_b= massa sampel setelah direndam didalam air sampai jenuh, m_g= massa sampel yang digantung di dalam air m_k= massa kawat penggantung sampel.

Konduktivitas Termal

Nilai konduktivitas termal suatu bahan menunjukkan laju perpindahan panas yang mengalir dalam suatu bahan. Konduktivitas thermal kebanyakan bahan merupakan fungsi suhu, dan bertambah sedikit kalau suhu naik, akan tetapi variasinya kecil dan sering kali diabaikan. Jika nilai konduktivitas termal suatu bahan makin besar, maka makin besar juga panas yang mengalir melalui benda tersebut. Karena itu, bahan yang harga k -nya besar adalah penghantar panas yang baik, sedangkan bila k -nya kecil bahan itu kurang menghantar atau merupakan isolator (Garnier, at, al. 2005).



Gambar 2. Alat uji konduktivitas termal
Sumber : lab. Universitas brawijaya malang

Untuk menentukan konduktivitas termal melalui rumus :

$$\lambda = \frac{L_b L_a}{L_b' L_a'} \quad \lambda_a = \frac{\Delta t R}{\Delta t a} \cdot \frac{L_a}{L R} \cdot \lambda R \quad \lambda_b = \frac{\Delta t R}{\Delta t b} \cdot \frac{L_b}{L R} \cdot \lambda R \quad (2)$$

dimana La = tebal sampel/spesimen yang diuji, dan Lb = tebal tembaga uji

Penentuan Kekerasan (*Vickers Hardness Test*)

Kekerasan material komposit Al/(SiC+Al₂O₃p) diuji dengan menggunakan *Microhardness Tester* (*Matsuzawa, tipe MXT-50*), dan pengujiannya mengacu pada standar ASTM E 18-02 (Dowling,E.N.,1999).

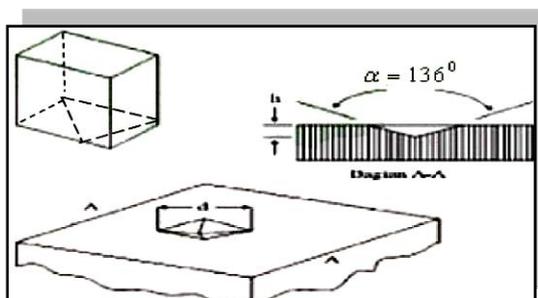
Prosedur uji kekerasan adalah sebagai berikut:

1. Permukaan benda uji terlebih dahulu dipoles hingga rata dan halus dengan menggunakan alat poles.
2. Amplas yang digunakan mulai dari ukuran kasar sampai yang paling halus. Permukaan yang

baik dan halus akan memantulkan cahaya seperti cermin, karena prinsip pengamatannya berdasarkan pemantulan cahaya.

3. Tempatkan sampel pada *holdernya*, atur beban dan seting waktu indentasinya 20 detik. Pada pengujian beban yang diberikan sebesar 5 kg.
4. Setelah penekanan, amati indentasi yang dihasilkan, seperti *diamond* dengan mengatur fokusnya hingga bentuk yang diamati cukup jelas.
5. Ukur panjang masing-masing diagonal dari hasil penekanan tersebut, yang dapat langsung dibaca pada monitor *microhardness tester*, lakukan minimal 3 kali pengulangan untuk setiap sampel yang diuji.

Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan bahan terhadap penetrasi atau terhadap deformasi dari permukaan bahan. Ada tiga tipe pengujian terhadap ketahanan, yaitu: cara indentasi, pantulan, dan goresan (*scratch*). Untuk pengujian bahan dengan cara indentasi biasanya menggunakan *Brinell*, *Rockwell* dan *Vickers*. Pengujian kekerasan dengan menggunakan *Vickers hardness*, Umumnya menggunakan alat *micro hardness tester* yang terbuat dari intan (*diamond*) dan berbentuk *pyramid*. Sudut antara permukaan *pyramid* adalah $\alpha = 136^\circ$:



Gambar 3 Skematik Pengujian Kekerasan

Metode pengukuran kekerasan dilakukan dengan uji Vickers, dengan mengacu pada standar ASTM (E 92-82, 2003), angka kekerasan Vickers dengan persamaan :

$$HV = 1,8544 \frac{P}{d^2} \quad (3)$$

Dengan HV = Kekerasan, P = Beban, d= diagonal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Penguat (SiCw + Al₂O₃p) pada Aluminium terhadap Porositas

Porositas dapat terjadi akibat terjebaknya lubrikan, gas dan terjadinya proses perlakuan partikel yang tidak terjadi secara sempurna. Prediksi secara tepat kekuatan mekanik material porus dapat dilakukan dengan mempertimbangkan bentuk, orientasi dan volume porositas. Analisa porositas pada umumnya hanya mempertimbangkan efek fraksi volume porositas dalam kaitannya dengan kekuatan komposit porus (Gibson, 1994). Persyaratan dasar kekuatan komposit terletak pada kualitas kekuatan antarmuka matrik dan penguat. Ikatan antarmuka inilah yang menjadi jembatan transmisi tegangan luar yang diberikan dari matrik menuju partikel penguat. Jika ikatan yang terjadi antara matrik dengan penguat dengan baik maka transmisi tegangan ini dapat berlangsung dengan baik dan kuat. Keberadaan porus yang terletak pada daerah antarmuka antar serbuk matrik dan penguat menyebabkan terhalangnya pembentukan ikatan antar partikel penguat sepanjang proses kompaksi maupun pembentukan sepanjang proses sintering. Porositas

juga merupakan pusat konsentrasi tegangan eksternal yang dapat menurunkan kemampuan material dalam menahan beban eksternal.

Pada komposit Al/(SiC+Al₂O₃p) porositas terjadi pada daerah antar muka matrik dan penguat. Keberadaan porositas menyebabkan penurunan sifat mekanik komposit. Pada umumnya total porositas banyak dipengaruhi oleh serat SiCw yang orientasinya secara acak atau random pada komposit. Hal ini berakibat ikatan antarmuka serbuk aluminium dengan serat SiCw menimbulkan pori lebih banyak dibandingkan dengan serbuk Al dipadukan dengan alumina partikel. Selain itu porositas sangat berhubungan erat dengan kompaktibilitas, semakin kecil ukuran serbuk maka luas kontak permukaan antar butir semakin luas (Suarsana & Sunu, 2015). Bila porositas semakin kecil maka sifat kompaktibilitas bahan semakin tinggi. Porositas bahan dapat ditentukan dengan pengukuran densitas bahan, semakin tinggi densitas sintering maka porositas menurun.

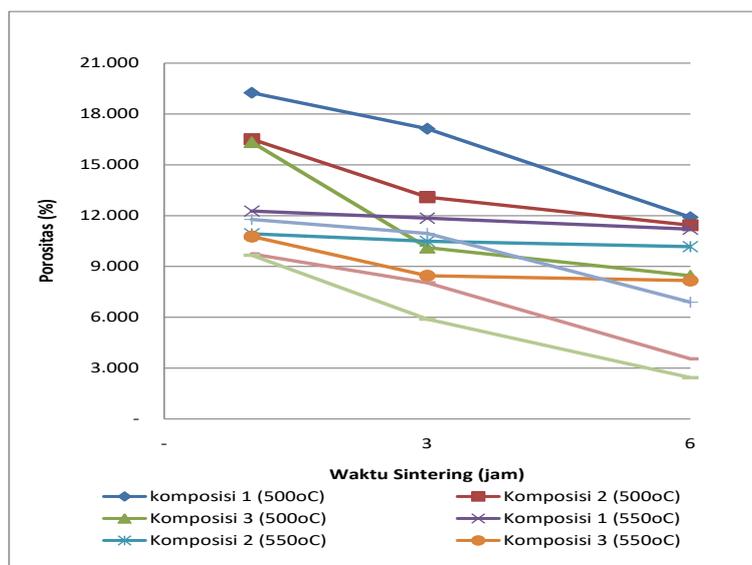
Tabel 1. Data hasil uji porositas

Komposisi			500 oC		
Al (%)	SiC (%)	Al ₂ O ₃ (%)	1 Jam (%)	3 Jam (%)	6 Jam (%)
	17	3	19.246	17.120	11.901
	14	6	16.508	13.087	11.434
	11	9	16.335	10.108	8.448
			550 oC		
			1 Jam (%)	3 Jam (%)	6 Jam (%)
80	17	3	12.266	11.842	11.198
	14	6	10.922	10.488	10.165
	11	9	10.766	8.448	8.168
			600 oC		
			1 Jam (%)	3 Jam (%)	6 Jam (%)
	17	3	11.775	10.942	6.892
	14	6	9.740	8.034	3.551
	11	9	9.657	5.885	2.439

Dari tabel 1 terlihat bahwa hasil pengujian porositas Aluminium matrix composite (AMC) dengan matrik Al diperkuat SiCw aditif Al₂O₃. Keberadaan porositas yang terletak pada daerah antarmuka antara serbuk matrik dan penguat menyebabkan terhalangnya pembentukan ikatan antar partikel penguat sepanjang proses kompaksi maupun pembentukan sepanjang proses sintering terlihat pada tabel 1 semakin naiknya Al₂O₃ yang bersifat sebagai pengisi yang halus sehingga bisa mengisi rongga-rongga dari komposit sehingga porositas semakin mengecil.

Tabel 2. Komposisi komposit Al/(SiC+Al₂O₃p)

Proses Pencampuran			
Komposisi	Al Powder	SiCw	Al ₂ O ₃
1	80%	17%	3%
2	80%	14%	6%
3	80%	11%	9%



Gambar 4 Grafik hubungan antara porositas dengan waktu sintering

Pada gambar 4 dapat dilihat semakin tinggi prosentase SiCw semakin tinggi pula porositas dari komposit, dan semakin naiknya suhu dan waktu tahan sintering semakin menurunkan sifat porositas. Porositas tertinggi terdapat pada 80% Al + (17%SiCw +3%Al₂O₃) dengan 1 jam.

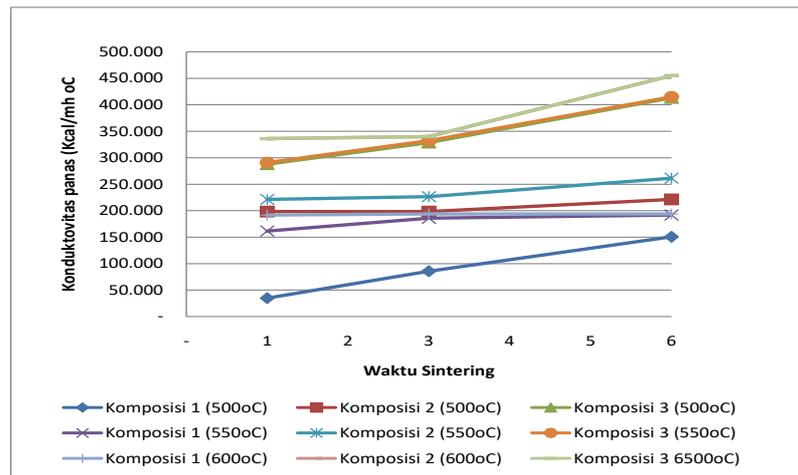
Pengujian Konduktivitas Termal

Dari data-data pengujian dan analisis data, menunjukkan distribusi nilai pada setiap temperatur dan waktu yang berbeda mendapatkan nilai yang berbeda pula. Dari tabel ditunjukkan dari prosentase, suhu dan waktu sintering yang berbeda dari pengukuran T1, - T11. Pada pengujian konduktivitas termal dengan pemberian sumber kalor 100 Watt yang menjadi pusat penelitian yaitu dari T4 ke T5 yaitu letak dari benda uji, berapa tinggi pengantar panas dari pada komposit. Dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Data hasil uji Konduktivitas panas

Komposisi			500 oC		
Al (%)	SIC (%)	Al ₂ O ₃ (%)	1 Jam	3 Jam	6 Jam
			Kcal/mh oC	Kcal/mh oC	Kcal/mh oC
	17	3	34.874	85.495	150.528
	14	6	198.396	198.397	221.426
	11	9	287.675	328.407	412.971
			550 oC		
			1 Jam	3 Jam	6 Jam
			Kcal/mh oC	Kcal/mh oC	Kcal/mh oC
80	17	3	161.389	185.597	191.783
	14	6	221.426	226.575	261.386
	11	9	290.907	332.139	414.887
			600 oC		
			1 Jam	3 Jam	6 Jam
			Kcal/mh oC	Kcal/mh oC	Kcal/mh oC
	17	3	191.783	193.937	193.939
	14	6	232.199	237.628	282.239
	11	9	335.956	339.863	455.111

Nilai konduktivitas termal pada masing-masing spesimen dengan variasi yang berbeda sesuai gambar 5, dimana semakin meningkatnya temperatur suhu sintering dan prosentase Al₂O₃ nilai konduktivitas termalnya semakin meningkat pula pada peningkatan waktu (1 jam, 3 jam dan 6 jam) dengan nilai tertinggi pada Al 80%, SiC 11%, Al₂O₃ 9% yaitu berturut-turut (500°C) adalah 412.971 kcal/mh °C, (550°C) adalah 414.887 kcal/mh °C dan tertinggi di temperatur (600°C) adalah 455.111 kcal/mh °C. Hubungan antara konduktivitas termal dengan waktu sintering yang diteliti tampak jelas kelihatan peningkatan konduktivitas panas dengan meningkatnya perlakuan temperatur dan waktu tahan sintering.



Gambar 5 Grafik hubungan antara konduktivitas termal dengan waktu sintering

Pengaruh Penguat SiCw dan Al₂O₃ terhadap Kekerasan

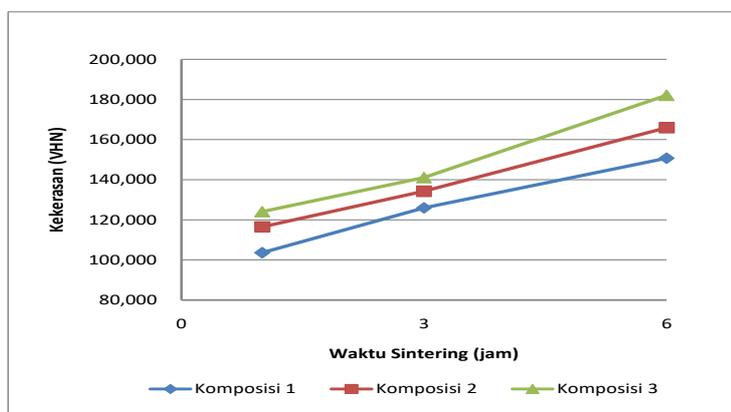
Gambar 6 menunjukkan hubungan antara komposisi persentase berat dari komposit Al/(SiCw+Al₂O₃p) dengan kekerasan. Hal ini dapat dilihat bahwa setiap peningkatan komposisi gabungan penguat SiCw dan Al₂O₃ dengan komposisi matriks Aluminium, menyebabkan peningkatan dalam kekerasan. Temuan ini mirip dengan penelitian sebelumnya (Froyen, 1994 dan Widyastuti, et al. 2008) bahwa semakin besar jumlah komposisi penguat yang digunakan, semakin tinggi nilai kekerasan yang diperoleh dan terjadi peningkatan ikatan antar partikel. Umumnya setiap penambahan penguatan pada aluminium matriks menyebabkan peningkatan kekerasan komposit. Dalam hal ini, efek penambahan Al₂O₃ sendiri berdampak pada kekerasan komposit. Pada tabel 4 ditampilkan data pengaruh komposisi persentase berat penguat SiCw dan Al₂O₃ pada aluminium matrik terhadap kekerasan komposit. Nilai kekerasan komposit penguat (SiCw+Al₂O₃p) pada 80% Al dengan penguat berturut-turut : (17% SiCw+3%Al₂O₃), (14% SiCw+6%Al₂O₃), dan (11% SiCw+9%Al₂O₃) menunjukkan adanya peningkatan kekerasan pada temperatur sintering 600°C. Hal ini juga terjadi karena peningkatan dari penguat persentase berat Al₂O₃. Salah satu sifat dari Al₂O₃ adalah keras (*brittle*) dan keuletan yang rendah. Disisi lain, nilai kekerasan komposit meningkat dengan penurunan persentase berat penguatan gabungan SiCw. Jadi nilai kekerasan meningkat dengan penguatan : Al₂O₃ dari 3%wt, 6%wt dan 9%wt, untuk masing-masing komposit matriks aluminium.

Pada gambar 6 terlihat jelas kekerasan meningkat karena Al₂O₃ sendiri, partikel kecil dapat masuk sendiri dengan mudah dan merata antara partikel matriks aluminium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase yang lebih tinggi pada berat gabungan dari SiCw dan Al₂O₃ penguat dalam matriks aluminium dapat meningkatkan nilai kekerasan. Penguatan komposit mempengaruhi sifat mekanik yang dibuktikan dengan peningkatan nilai kekerasan komposit.

Nilai kekerasan komposit tertinggi pada penelitian ini (11%SiCw+9%Al₂O₃) menunjukkan adanya peningkatan kekerasan pada temperatur sintering 600°C dengan nilai 182,090 VHN.

Tabel 4 Data hasil uji kekerasan

Komposisi			600 oC		
Al (%)	SiC (%)	Al ₂ O ₃ (%)	1 Jam VHN	3 Jam VHN	6 Jam VHN
	17	3	103,602	125,978	150,722
80	14	6	116,497	134,264	165,959
	11	9	124,100	141,046	182,090



Gambar 6 Grafik hubungan antara kekerasan dengan waktu sintering

4. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Karakteristik komposisi persentase berat (%wt) penguat pada komposit Al+(SiC+Al₂O₃) memberikan efek terhadap sifat fisik porositas menurun dengan peningkatan penguat dari alumina, porositas terendah didapat ($\rho=3.155 \text{ gr/cm}^3$). Sifat porositas menurun disetiap peningkatan Al₂O₃.
2. Sifat konduktivitas termal pada komposit Al/(SiC+Al₂O₃) terjadi peningkatan dengan meningkatnya komposisi penguat Al₂O₃ pada temperatur dan waktu sintering dimana paling baik terdapat pada Al/(11%SiC+9%Al₂O₃) pada waktu sintering 6 jam dan di suhu 600°C dengan hasil adalah 455.111 kcal/mh °C.
3. Perlakuan komposisi persentase berat (%wt), temperatur dan waktu tahan memberikan pengaruh terhadap kekerasan dari Al/(SiC+Al₂O₃) yaitu semakin bertambahnya Al₂O₃, waktu tahan dan temperatur semakin meningkat sifat kekerasan.

Ucapan Terima Kasih (Acknowledgement)

Terimakasih kepada LPPM Unud yang mendanai penelitian ini, Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kepala Laboratorium Metalurgi Institut Teknologi (ITN) Malang dan Kepala Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.

REFERENSI

- Ahmad, K. R. 2005. The Influence of Alumina Particle Size on Sintered Density and Hardness of Discontinuous Reinforced Aluminum Metal Matrix Composites, *Jurnal Teknologi* 42 (A), University Teknologi Malaysia.
- Brandt, N.G.L. and Senesan, Z. D., 1995, Ceramic Cutting Tool Reinforced by Whiskers, United State Patent, No. RE35,090.
- Froyen, B. Verlinden 1994. Aluminium Matrix Composites Materials. Talat 1402. Belgium. European Aluminium Associations (EAA).
- Garnier, V., Fantozzi, G., Nguyen, D., Dubois, J. and Thollet, G. 2005. Influence of SiC whisker Morphology and Nature of SiC / Al₂O₃ Interface on Thermo Mechanical Properties of SiC Reinforced Al₂O₃ Composites. *Journal of the European Ceramic Society*, 25, 3485-3493. doi : 10.1016/j.jeurceramsoc.2004.09.026
- Gibson Ronald, F. 1994. Principles of Composite Material Mechanics. Singapore : McGraw-Hill.
- Goto, Ryuichiro, (2013). Powder Metallurgy Growth in The Automotive Market. American Powder Metals Industries International.
- Suarsana, Putu Wijaya Sunu, (2015). Studi Eksperimen Pembuatan Komposit Metal MatriK Aluminium Penguat SiC Wisker dan Al₂O₃ Partikel sebagai Material Alaternatif. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana Bukit Jimbaran Bali, Indonesia.
- 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
- Zainuri, N.A., Nopiah, Z.M., Razali, N., Asshaari, I. & Othman, H. (2009). The study on the weaknesses of mathematical foundation in the first year engineering students, UKM, *Prosiding Seminar Pendidikan Kejuruteraan & Alam Bina (PeKA09)*, 226-233.