

Peningkatan Sifat Mekanik Hybrid Keramik Komposit dengan Penambahan Partikel Magnesium dan Serat Silica Carbon

I Ketut Suarsana^{1)*}, D N K Putra Negara²⁾, I M. Astika³⁾

^{1)2,3)}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362

Email: suarsana@unud.ac.id, devputranegara@gmail.com, imdastika@yahoo.com

doi: <https://doi.org/10.24843/METTEK.2023.v09.i01.p04>

Abstrak

Pada penelitian ini Aluminium powder digunakan sebagai matriks dan Silicon Carbon whisker (SiCw) serta Alumina partikel (Al₂O₃p) digunakan sebagai penguat. Pembuatan material uji dengan proses metalurgi powder pada variasi gaya tekan 15, 20 dan 25 kN, temperatur sintering 350oC, waktu penahanan 15 menit pada masing-masing specimen uji. Pengujian yang dilakukan meliputi densitas, porositas dan kekerasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan komposisi SiCw dan aditif Alumina pada persen berat berpengaruh secara signifikan terhadap sifat fisik dan mekanik komposit. Dimana peningkatan densitas dan kekerasan terjadi karena semakin kuat atau semakin rapatnya ikatan antarmuka matrik dan penguat, sedangkan porositas menurun berbanding terbalik dengan densitas yang terjadi dalam material hybrid keramik matrik komposit.

Kata Kunci: Aluminium, Al₂O₃p, Karakteristik, SiCw, Sifat Mekanik

Abstract

In this study, Aluminum powder was used as a matrix, and Silicon Carbon whisker (SiCw) and Alumina particle additives (Al₂O₃p) were used as reinforcement. Manufacture of test material with powder metallurgy process with variations in the compressive force of 15, 20, and 25 kN, sintering temperature of 350oC, and holding time of 15 minutes for each test specimen. Tests carried out include density, porosity, and hardness. The results showed that the addition of SiCw composition and Alumina additives in weight percent had an effect on the physical and mechanical properties of the composite. There was an increase in density and hardness due to the stronger or tighter interfacial bonds between the matrix and reinforcement, while porosity decreased inversely with the density that occurred in the hybrid material. composite matrix ceramics.

Keywords: Aluminum, Al₂O₃p, Characteristics, SiCw, Mechanical Properties

1. PENDAHULUAN

Aluminium sebagai matriks dengan penguatan Carbon Silicon serat whisker disebut dengan hybrid Aluminium Matrix Composite. Secara luas telah dikembangkan karena ringan, konduktivitas termal yang baik serta karakteristik ketahanan korosi yang baik juga. Alumina adalah salah satu penguat dalam komposit, dengan kekerasan, ketahanan aus, tahan panas dan kekakuan yang tinggi. Jika Alumina (Al₂O₃) dan SiCw digabungkan, maka akan diperoleh kekuatan tinggi, ringan dan sifat mekanik yang baik [1].

Pada dasarnya, penguatan serat whisker mencegah kerapuhan, kegagalan kepatahan dengan menyerap energi selama proses kegagalan terjadi. Ketangguhan seperti defleksi, perambatan retak, penambahan serat, akan sebagian besar mempengaruhi sifat dari interface serat pada matriks [2]. Ketangguhan patah tinggi disebabkan adanya kelebihan karbon di

Penulis korespondensi,
Email: suarsana@unud.ac.id

permukaan, sedangkan ketangguhan patah rendah yang disebabkan kelebihan oksigen [2,3,4]. Kekuatan lendutan dipengaruhi oleh presen karbida pada nilai-nilai kekerasan menunjukkan bahwa kekerasan meningkat dengan persentase peningkatan penambahan silikon karbida dalam paduan dan berkurang dengan penambahan waktu penuaan [5,6,7]. Kekuatan ikatan permukaan ditentukan oleh temperatur pengolahan dan pembentukan senyawa antarmuka. Nilai-nilai kekerasan meningkat di daerah matriks karena adanya Si dan C. Dengan efek peningkatan temperatur dari penguatan serat unidirectionally berorientasi SiC meningkat, tetapi efek dari ukuran butir, tingkat keausan dan koefisien gesekan linear menurun [8,9]. Sifat mekanik dipengaruhi secara signifikan oleh ukuran partikel karbida yang dilapisi dan non-dilapisi silikon [8,10]. Sifat mekanik alumina silikat-karbon monolitik meningkat dengan penambahan logam silikon atau ferosilikon. Tiga aditif silika fume, karbon hitam dan sulfur tidak begitu efektif dibandingkan dengan logam silikon dan ferosilikon [8,11].

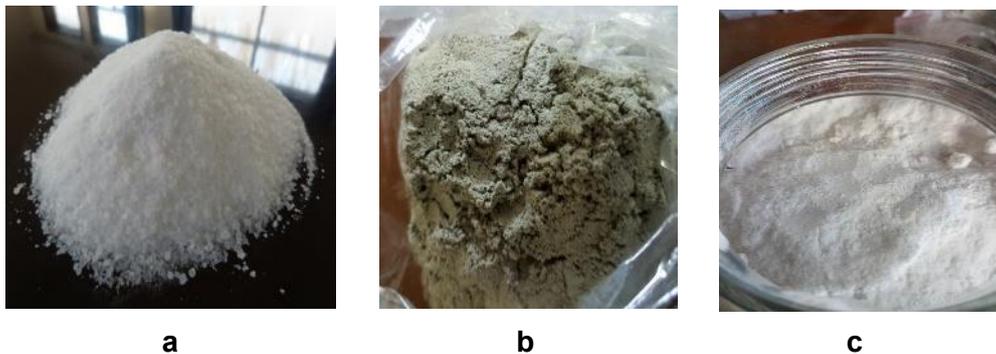
Penelitian tentang hybrid laminasi komposit menunjukkan bahwa kepadatan tertinggi diperoleh pada saat penahanan laminasi hibrida komposit 6 jam dan porositas terendah didapat bila fraksi volume 40%. Penyusutan terendah dicapai pada waktu penahanan 6 jam pada fraksi volume 30% [12]. Perilaku hot deformasi komposit menunjukkan bahwa penambahan serta SiC memberikan peningkatan tegangan alir suhu tinggi tetapi menurunkan strain kegagalan [13]. Perilaku karakteristik hot-deformasi AA2124 komposit diperkuat dengan kedua serat dan partikel silikon karbida 15% (SiCw + SiCp) menunjukkan bahwa aliran tegangan komposit hibrida meningkat dengan meningkatnya konten SiCw. Dan SiCw adalah lebih efektif dalam meningkatkan kekuatan dibandingkan SiCp [13,14]. Sifat mekanik Al 2004 T3 dan Al 6061 komposit serbuk paduan berbasis metalurgi yang diperkuat dengan SiC baik dalam partikel atau serat menghasilkan modulus elastisitas, kekuatan tarik utama tinggi dan persentase elongasi rendah. Sifat mekanik Al-Mg-Si paduan matriks komposit diperkuat dengan alumina (Al_2O_3) yang telah diproses dengan cara metalurgi serbuk, memiliki sifat mekanik yang sangat tinggi pada suhu kamar [15]. Penelitian tentang efek komposisi dan perlakuan sintering pada komposit Al/(SiCw+ Al_2O_3) terhadap sifat fisik, dan keausan menjelaskan bahwa penambahan komposisi persen berat SiC dan Alumina (Al_2O_3) memberikan pengaruh pada sifat fisik dan mekanik komposit. Dimana densitas dan keausan meningkat terjadi pada setiap penambahan Alumina (Al_2O_3) itu sendiri [16].

Penggunaan metode metalurgi serbuk mengalami peningkatan dibandingkan dengan metode deposisi, stir casting, diffusion bonding dan infiltrasi. Keunggulan dari metode metalurgi serbuk dapat memproduksi bentuk yang tidak terbatas dibandingkan dengan metode yang lainnya, efisien dalam pemakaian bahan, cacat segregasi dan kontaminasi sangat rendah, kecepatan produksi tinggi, efektif dari segi biaya, cocok untuk material serbuk dengan kemurnian tinggi, cocok untuk pembuatan komposit dengan matriks logam dan ketahanan aus yang baik. Metode metalurgi serbuk pada temperatur kamar, digunakan untuk membuat komposit matrik Aluminium fine powder dengan penguat Silikon Carbon whisker dan Alumina partikel, alternatif metode ini dapat dikembangkan. Metode powder metalurgi digunakan untuk mendapatkan ikatan interface kuat antar matrik dan penguat dalam komposit, sehingga sifat mekanik akan meningkat. Penelitian ini secara khusus tentang Aluminium fine powder sebagai matriks dengan parameter komposisi SiCw+ Al_2O_3 , sebagai penguat dengan proses metalurgi powder temperatur kamar. Penguat SiCw dan Al_2O_3 partikel pada Aluminium fine powder sebagai matrik digunakan untuk mendapatkan karakteristik dan sifat mekanik terutama densitas, porositas dan kekerasan. Penelitian ini berfokus pada persentase peningkatan kompaksi pada proses pembuatan komposit dengan variasi komposisi serta gaya tekan yang dilakukan pada hibrid keramik komposit.

2. METODE

2.1 Material Penelitian

Bahan untuk matrik digunakan adalah Aluminium fine powder p.a Merck dengan kemurnian diatas 90% ($\geq 90\%$). Sebagai bahan penguat serat digunakan SiC whisker komersial diameter ($d \approx 0.5 \mu\text{m}$), panjang ($l \approx 40 \mu\text{m}$), densitas ($\rho_f = 3.2 \text{ gr/cm}^3$) dan aditif serbuk Al_2O_3 , densitas ($\rho = 3,8 \text{ gr/cm}^3$). Larutan Ethanol 96% (CH_3COOH) digunakan sebagai media pencampur. Pada gambar 1 terlihat foto raw material masing-masing bahan komposit Al-(SiCw/ Al_2O_3).



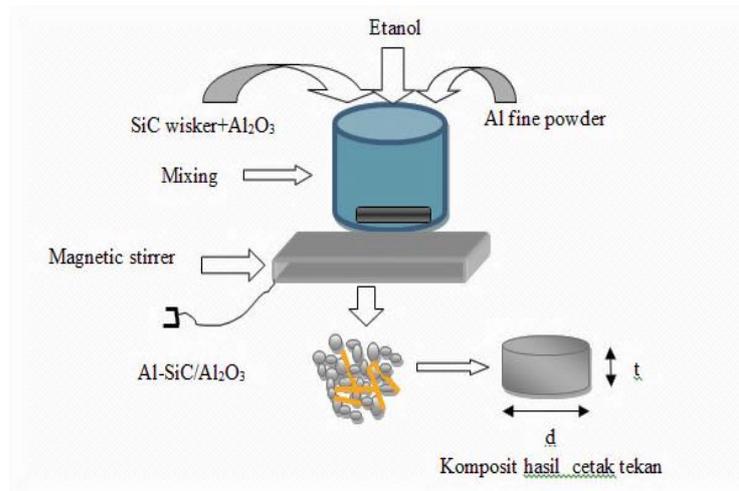
Gambar 1 Raw material [a] Aluminium fine powder, [b] serat SiCw, [c] serbuk Alumina (Al_2O_3)

Sumber: Dokumen Pribadi

2.2 Prosedur penelitian

Penguat SiCw dicampur dengan Al_2O_3 p melalui proses pencampuran dengan penambahan ethanol sebanyak 5 ml untuk setiap kali proses dan diaduk dengan *magnetik stirrer* hingga seluruh ethanol menguap. Pencampuran Aluminium *fine powder* dengan penguat SiCw/ Al_2O_3 p yang telah tercampur, dimasukkan dalam *breaker glass*. Komposisi campuran matrik dengan penguat dalam prosentase berat (wt%), dimana komposisi I : 80% Al + (15%SiCw /5% Al_2O_3), komposisi II : 80% Al + (10%SiCw /10% Al_2O_3) dan komposisi III : 80% Al + (5%SiCw /15% Al_2O_3). Proses ini kemudian dilakukan dalam gelas breaker dengan menggunakan pengaduk magnet pada suhu 50°C . Proses dilakukan dengan metode pencampuran basah, digunakan larutan etanol sebagai agen pencampuran untuk matriks serbuk Al halus dan penguatan SiCw/ Al_2O_3 p agar dapat dicampur secara merata. Perbandingan volume antara bahan *Al-SiCw/ Al_2O_3 p* terhadap larutan ethanol adalah 1:2, selama 30 menit. Kemudian dikeringkan di dalam oven selama 15 menit pada temperatur 200°C sampai kering. Setelah itu pembuatan sampel uji dengan variasi tekanan 15, 20 dan 25 kN menggunakan *hydraulic press*. Cetakan yang digunakan terlebih dahulu diolesi pelumasan 1% berat dari jumlah total bahan komposit. Sampel dibuat dalam bentuk silendris dengan ukuran diameter 30 mm dan tinggi 20 mm. Spesimen hasil cetak diuji sifat densitas, porositas dan kekerasan

Proses pembuatan spesimen



Gambar 2 Mekanisme pembuatan spesimen

Sumber: Dokumen Pribadi



Gambar 3 Hasil bentuk spesimen uji

Sumber: Dokumen Pribadi

2.3 Alat dan Analisa penelitian

Penentuan pengujian karakteristik komposit mengikuti standar ASTM C373 – 88 [17]. Densitas merupakan besaran fisis yaitu perbandingan massa (D) dengan volume benda (V). Densitas komposit hasil pengujian dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$B = \frac{D}{V} \times \rho_{\text{air}} \dots\dots\dots (1)$$

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 (*apparent porosity*) dan dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$P = \frac{M - D}{V} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

Dimana : Densitas [B], massa kering [D], volume [V], Porositas [P] dan massa jenuh [M].

Metode pengukuran kekerasan dilakukan dengan uji Vickers, dengan mengacu pada standar ASTM E 92-82 [18], angka kekerasan Vickers dengan persamaan :

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

Dengan : P = Beban (kg), d = diameter rata-rata (mm)

2.4 Alat Uji

Magnetic stirrer

Magnetic stirrer berfungsi sebagai alat pencampuran suatu larutan dengan proses pengadukan. Pelat (plate) yang terdapat dalam alat ini dapat dipanaskan sehingga mampu mempercepat proses pencampuran.



Gambar 4 Alat Magnetic Stirrer
Sumber : Dokumen Pribadi

Alat kompaksi

Alat kompaksi dengan kapasitas 10 ton. Alat kompaksi digunakan untuk memadatkan serbuk menjadi sampel dengan bentuk tertentu sesuai dengan cetaknya.



Gambar 5 Alat Press kapasitas 10 ton
Sumber: Dokumen Pribadi

Oven untuk pengeringan

Oven digunakan untuk memanaskan dan mengurangi kadar air yang ada pada spesimen uji sebelum dilakukan kompaksi.



Gambar 6 Oven pengering
Sumber: Dokumen Pribadi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Hasil Pengujian

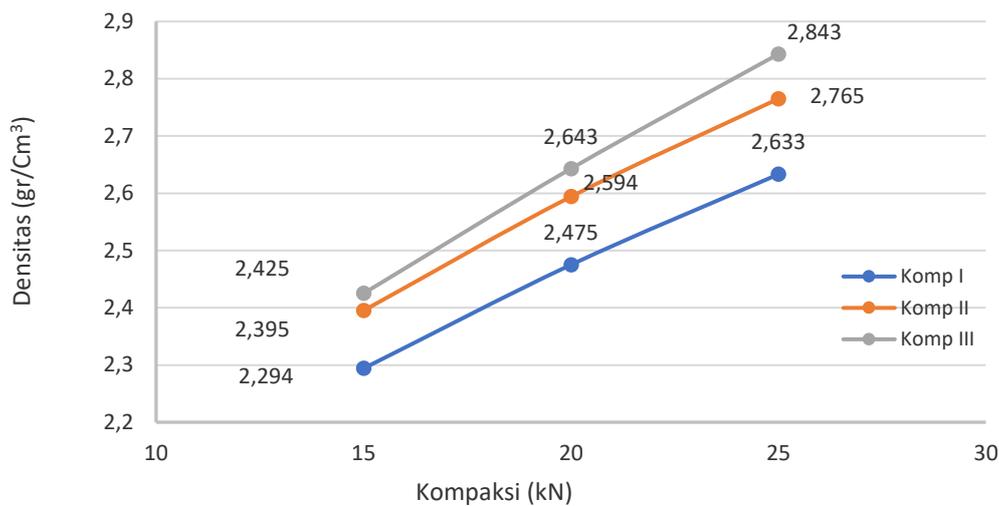
Hasil pengujian dari proses variasi penekanan dan komposisi pada specimen yang dilakukan pada Laboratorium dengan hasil data ditunjukkan pada Tabel 1. Perhitungan data pada tabel 1 dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (1), (2) dan (3) :

Tabel 1. Hasil Uji Densitas, Porositas dan Kekerasan

Kompaksi (kN)	Komposisi (%)	Densitas (gr/cm ³)	Porositas (%)	Kekerasan (HVN)
15	I	2,294	17,463	34,986
	II	2,395	18,264	37,338
	III	2,425	19,355	39,111
20	I	2,475	14,408	35,981
	II	2,594	15,748	39,427
	III	2,643	16,912	41,871
25	I	2,633	12,299	36,939
	II	2,765	13,913	41,225
	III	2,843	15,108	43,968

3.2 Hasil Pengujian Densitas

Hasil pengujian densitas berdasarkan data Tabel 1 dan ditunjukkan grafik pada gambar 8, terlihat adanya pengaruh hasil penekan dan komposisi pembuatan komposit terhadap nilai densitas.

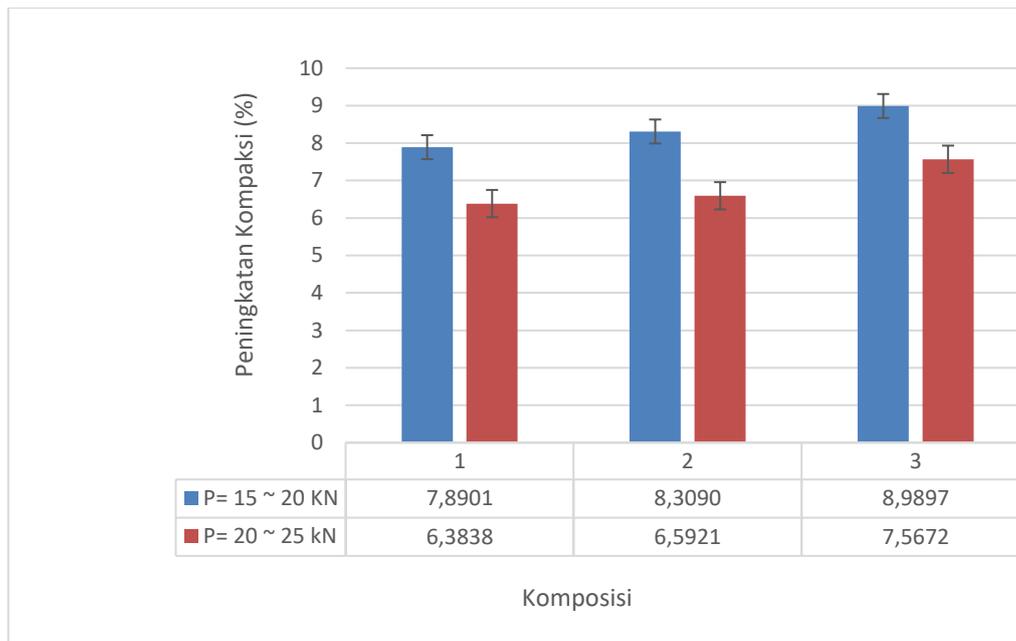


Gambar 7 Grafik uji densitas
Sumber: Dokumen Pribadi

Pada gambar 7 gaya tekan 25 kN pada komposisi I, II dan III memberikan densitas tertinggi dibandingkan dengan gaya tekan 15 kN maupun gaya tekan 20 kN. Nilai densitas tertinggi pada gaya tekan 25 kN dan komposisi III sebesar 2,843 gr/cm³ pada penahan 15 meni. Dalam hal ini bahwa gaya tekan 25 kN memberikan efek yang paling baik untuk peningkatan densitas komposit baik pada komposisi I, II dan III. Densitas tinggi terjadi akibat adanya ikatan antar partikel, ikatan partikel ini memberikan pengaruh terhadap distribusi pori pada spesimen. Seperti pada saat komposisi III yang diberikan gaya tekan 15 kN, 20 kN dan 25 kN, nilai densitas berturut-turut sebesar (2,425 gr/cm³, 2,643 gr/cm³ dan 2,843 gr/cm³). Jadi perbedaan kompaksi yang diberikan sangat berpengaruh terhadap densitas pada setiap spesimen. Dapat disimpulkan bahwa gaya tekan 25 kN dan komposisi III dapat memberikan nilai densitas tertinggi. Berdasarkan penelitian sebelumnya, hasil yang diperoleh kompaktibilitas komposit Al/Al₂O₃ mencapai nilai optimum saat waktu tahan sintering 2 jam dan kompaksi 25 kN. Sepanjang proses sintering, fasa baru yang terbentuk adalah alumina tidak stabil [19].

Prosentase Peningkatan Tekanan pada Densitas

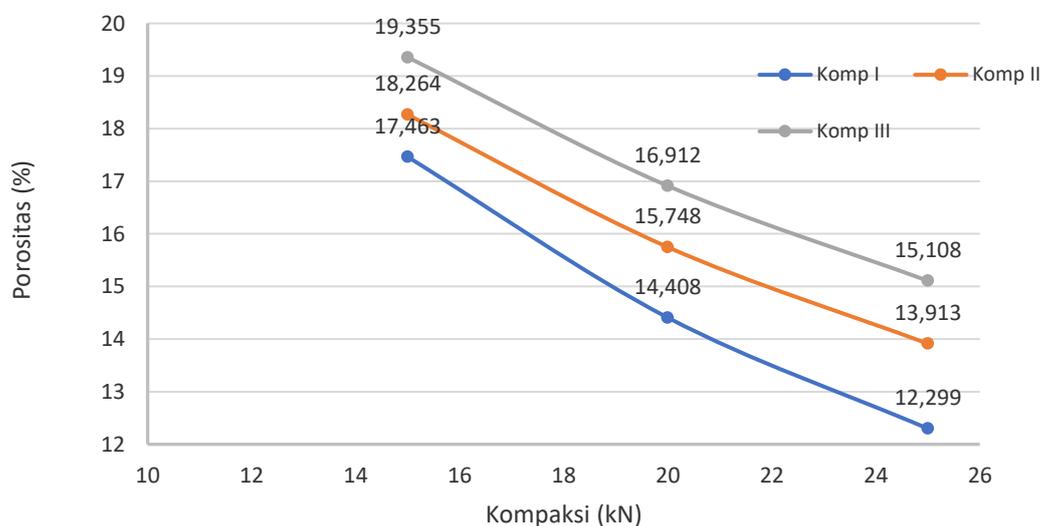
Pada gambar 8 ditunjukkan persentase peningkatan tekanan dari 15 ~ 20 kN pada komposisi I, II dan III terjadi peningkatan berturut-turut sebesar 7,890%; 8,308% dan 8,989 %. Pada peningkatan tekanan dari 20 ~ 25 kN dengan komposisi I, II dan III didapat peningkatan berturut-turut sebesar 6,383%; 6,982% dan 7,567%. Berarti secara signifikan peningkatan persentase memberikan pengaruh pada setiap komposisi, begitu juga peningkatan gaya tekan mempengaruhi densitas dari material komposit.



Gambar 8 Grafik persentase peningkatan penekanan pada uji densitas.
 Sumber: Dokumen Pribadi

3.3 Hasil Pengujian Porositas

Hasil pengujian porositas pada spesimen yang telah melalui proses variasi kompaksi dan komposisi dapat dihitung dengan persamaan (2) dan hasil uji ditunjukkan dalam bentuk grafik pada gambar 9.

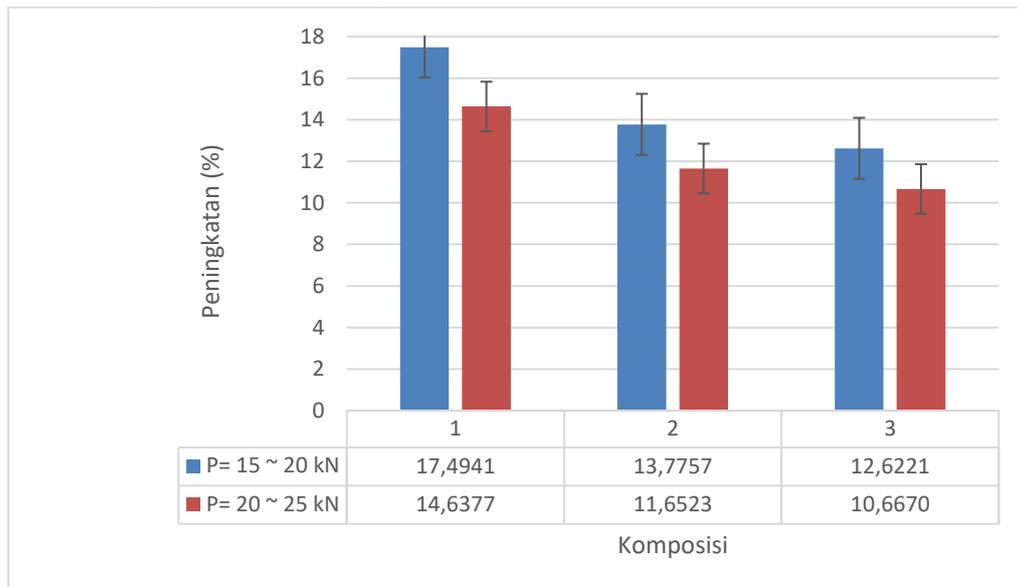


Gambar 9 Grafik hasil uji porositas
 Sumber: Dokumen Pribadi

Pada gambar 9 dapat dilihat bahwa grafik prosentase porositas menurun pada gaya tekan yang diberikan 25 kN paling rendah 15,108% berbanding terbalik dengan hasil uji densitas pada gaya tekan 25 kN yang tertinggi. Nilai porositas pada gaya tekan 15 kN sebesar 17,463%, menurun menjadi 12,299% pada gaya tekan 25 kN. Jadi pengaruh hasil nilai porositas dari variasi

tekan dari tekanan awal porositas tinggi dan menurun pada tekan 25 kN, maka dapat disimpulkan tekanan yang baik pada komposit sebesar 25 kN. Ini dikarenakan tekanan tersebut memberikan hasil pori dengan prosentase kecil. Kesimpulan ini didukung oleh penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa porositas merupakan pusat konsentrasi tegangan eksternal yang dapat menurunkan kemampuan material komposit dalam menahan beban akibat dari terbentuknya porositas [20].

Prosentase Peningkatan Tekanan pada Porositas



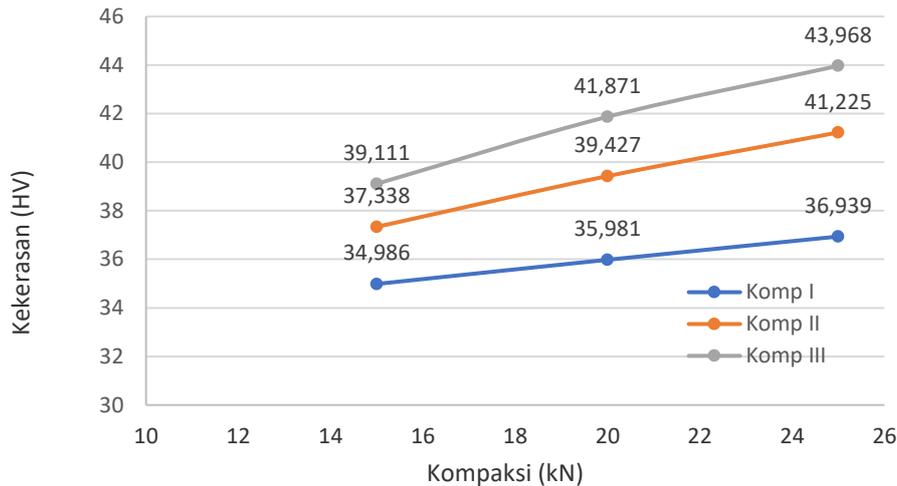
Gambar 10 Grafik persentase peningkatan penekanan pada uji porositas

Sumber: Dokumen Pribadi

Pada gambar 10 ditunjukkan persentase peningkatan tekanan pada 15 ~ 20 kN pada komposisi I, II dan III terjadi porositas didapat berturut-turut sebesar 17,494%; 13,775% dan 12,622 %. Dan pada gaya tekan 20 ~ 25 kN pada komposisi I, II dan III didapat berturut-turut sebesar 14,637; 11,652 dan 10,666 %. Berarti secara signifikan terjadi penurunan porositas dengan peningkatan gaya tekan yang diberikan pada proses pembuatan hybrid komposit.

3.4 Hasil Pengujian Sifat Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan yang telah melalui proses penekan dan variasi komposisi ditunjukkan pada gambar 11 grafik hubungan variasi kompaksi terhadap nilai kekerasan.

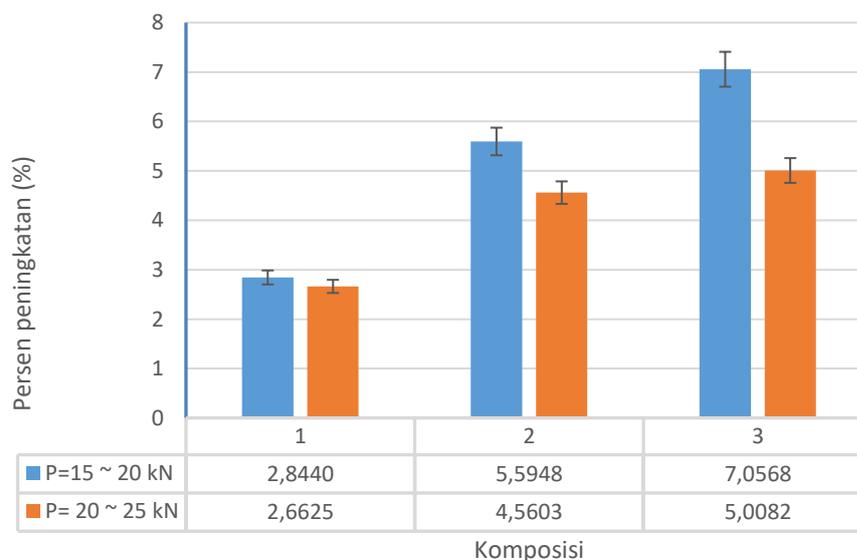


Gambar 11 Grafik Hubungan antara gaya tekan dengan Kekerasan

Sumber: Dokumen Pribadi

Pada Gambar 11, dapat dilihat bahwa grafik kekerasan semakin tinggi dengan semakin meningkatnya gaya tekan/kompaksi yang diberikan pada proses pembuatan material komposit. Dari hasil pengujian tersebut didapat kekerasan terendah pada tekanan 15 kN nilai kekerasan 34,986 kg/mm² dan terus meningkat seiring dengan peningkatan kompaksi yang berturut-turut pada 15 kN (34,986 kg/mm², 35,981 kg/mm² dan 36,939 kg/mm²), pada 20 kN (37,338 kg/mm², 39,427 kg/mm² dan 41,225 kg/mm²), pada 25 kN (39,111 kg/mm², 41,871 kg/mm² dan 43,968 kg/mm²). Pada penelitian ini semakin besar gaya tekan maka kekerasan komposit yang dihasilkan semakin keras terjadi akibat pematatan.

Prosentase Peningkatan Tekanan pada Kekerasan



Gambar 12 Grafik persentase peningkatan penekanan pada uji kekerasan

Sumber: Dokumen Pribadi

Pada gambar 12 ditunjukkan persentase peningkatan tekanan pada 15 ~ 20 kN pada komposisi I, II dan III terjadi peningkatan kekerasan berturut-turut sebesar 2,844%; 5,595% dan 7,057 %. Pada gaya tekan 20 ~ 25 kN dengan komposisi I, II dan III didapat berturut-turut sebesar 2,663%; 4,560% dan 5,008 %. Dimana secara signifikan dengan peningkatan gaya tekan dapat mempengaruhi nilai kekerasan dari material komposit.

4. SIMPULAN

1. Nilai densitas dari komposit dapat dipengaruhi oleh perlakuan komposisi dan kompaksi pada pembuatan spesimen uji. Dimana nilai densitas meningkat dengan peningkatan kompaksi komposit dan sifat mekanik meningkat juga secara signifikan. Dimana hasil penelitian didapat densitas tertinggi pada komposisi III dengan kompaksi 25 kN sebesar $\rho=2,843 \text{ gr/cm}^3$.
2. Nilai porositas dari komposit dapat dipengaruhi oleh perlakuan komposisi dan kompaksi. Dimana nilai porositas menurun dengan peningkatan kompaksi komposit dan komposisi secara signifikan. Hasil penelitian didapat porositas terendah pada komposisi III dengan kompaksi 25 kN sebesar $p=12,299 \%$.
3. Nilai kekuatan dari komposit dapat dipengaruhi oleh perlakuan komposisi dan kompaksi pada proses pembuatan spesimen uji. Dimana nilai kekerasan meningkat dengan peningkatan kompaksi dan komposisi komposit secara signifikan. Hasil penelitian didapat kekerasan tertinggi pada komposisi III dengan kompaksi 25 kN sebesar 43,968 HVN.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Kepala Laboratorium Metalurgi dan Laboratorium Proses Produksi serta Laboratorium Fenomena Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kepala Laboratorium Metalurgi Institut Teknologi (ITN) Malang dan Kepala Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang atas fasilitas yang diberikan.

Daftar Pustaka

- [1] R. F. Gibson, *Principles of Composite Material Mechanics*. 2016.
- [2] Widyastuti, E. S. Siradj, D. Priadi, and Z. Anne, "Kompaktibilitas Komposit Isotropik Al/Al₂O₃ dengan Variabel Waktu Tahan Sinter," *Makara Sains*, vol. 12, no. 2, pp. 113–119, 2008.
- [3] L. Froyen and B. Verlinden, "Aluminium matrix composites materials," *Univ. Leuven*, no. TALAT Lecture 1402, pp. 1–28, 1994.
- [4] V. Garnier, G. Fantozzi, D. Nguyen, J. Dubois, and G. Thollet, "Influence of SiC whisker morphology and nature of SiC/Al₂O₃ interface on thermomechanical properties of SiC reinforced Al₂O₃ composites," *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 25, no. 15, pp. 3485–3493, 2005, doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2004.09.026.
- [5] W. Chang-An, H. Yong, and Z. Hongxiang, "The effect of whisker orientation in SiC whisker-reinforced Si₃N₄ ceramic matrix composites," *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 19, no. 10, pp. 1903–1909, 1999, doi: 10.1016/S0955-2219(98)00289-1.
- [6] R. N. Marigoudar and K. Sadashivappa, "Dry Sliding Wear Behaviour of SiC Particles Reinforced Zinc-Aluminium (ZA43) Alloy Metal Matrix Composites," *J. Miner. Mater. Charact. Eng.*, vol. 10, no. 5, pp. 419–425, 2011, doi: 10.4236/jmmce.2011.105031.
- [7] K. Suarsana, "Pemanfaatan serat silicon carbon dan partikel alumina pada matrik aluminium untuk meningkatkan sifat mekanis material komposit," *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 9, no. 2, pp. 193–198, 2017.
- [8] D. S. Lim, D. S. Park, B. D. Han, T. S. Kan, and H. Jang, "Temperature effects on the

- tribological behavior of alumina reinforced with unidirectionally oriented SiC whiskers,” *Wear*, vol. 250, no. 251, pp. 1452–1458, 2001, doi: 10.1016/S0043-1648(01)00784-0.
- [9] Widyastuti, A. Zulfia, D. Priadi, E. S. Siradj, and Sulistijono, “Struktur Mikro Daerah Laminasi Komposit Laminat Hibrid Al/Al₂O₃-Al/SiC Dengan Variasi Waktu Tahan Sinter,” in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008*, 2008, no. November, pp. 978–979.
- [10] Y. Cui *et al.*, “Microstructure and ablation mechanism of C/C-SiC composites,” *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 34, no. 2, pp. 171–177, 2014, doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2013.08.026.
- [11] K. Yamaguchi and I. Horaguci, *Development of Directionally Aligned SiC Whisker Wheel*. 1995.
- [12] K. Suarsana, R. Soenoko, A. Suprpto, and A. Purnowidodo, “Efek Komposisi SiC Wisker dan Alumina pada Aluminium Matrix Composite (AMCw) Terhadap Sifat Fisik Densitas dan Porositas Komposit,” in *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI (SNTTM XI) & Thermofluid IV*, 2012, pp. 16–17.
- [13] S. J. Kang, *Sintetering: Densification, grain Growth, and Microstructure*. Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005.
- [14] K. B M, G. M C, S. Sharma, P. Hiremath, M. Shettar, and N. Shetty, “Coated and uncoated reinforcements metal matrix composites characteristics and applications—A critical review,” *Cogent Eng.*, vol. 7, no. 1, 2020, doi: 10.1080/23311916.2020.1856758.
- [15] M. Zainuri, E. S. Siradj, D. Priadi, A. Zulfia, and Darminto, “Pengaruh Pelapisan Permukaan Partikel SiC dengan Oksida Metal Terhadap Modulus Elastisitas Komposit Al / SiC,” *Makara, Sci.*, vol. 12, no. 2, pp. 126–133, 2008.
- [16] I. W. L. Suprpto, K. Suarsana, and N. Santhiarsa, “EFEK KOMPOSISI DAN PERLAKUAN SINTERING PADA KOMPOSIT Al/(SiCw+Al₂O₃) TERHADAP SIFAT FISIK DAN KEAUSAN,” *J. METTEK*, vol. 3, no. 1, pp. 36–43, 2017, doi: 10.24912/jmstkik.v1i1.423.
- [17] ASTM, *ASTM C373-88 Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products*, vol. 88, no. Reapproved. 1999.
- [18] ASTM Standard E92-82, *ASTM E92-82 Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*, vol. 82, no. Reapproved. 1997.
- [19] Widyastuti, D. Priadi, and E. Siradj, “Compactibility of Al / Al₂O₃ Isotropic Composite with Variation of Holding Time Sintering,” *Makara, Sci.*, vol. 12, no. November, pp. 113–119, 2008.
- [20] P. Ferdian, K. Suarsana, and I. Putri K, “Pengaruh Variasi Komposisi Komposit Matrik Aluminium Berpenguat Sicw / Al₂O₃ Dengan Wetting Agent Terhadap Densitas , Porositas Dan Kekerasan,” *J. Ilm. Tek. Desain Mek.*, vol. 7, no. 1, pp. 7–12, 2018.