

PENGUJIAN KEAUSAN ALUMINIUM MATRIX KOMPOSIT DIPERKUAT DENGAN KARBON *NANOTUBE*

¹Eriko Bakti Perkasa, ²Dhimas Wicaksono, ³Ferry Setiawan

¹Jurusan Teknik Dirgantara
Sekolah Tinggi Teknologi
Kedirgantaraan
20020921@students.sttkd.ac.id

²Jurusan Teknik Dirgantara
Sekolah Tinggi Teknologi
Kedirgantaraan
dhimas.wicaksono@sttkd.ac.id

³Jurusan Teknik Dirgantara
Sekolah Tinggi Teknologi
Kedirgantaraan
ferry.setiawan@sttkd.ac.id

Article history:

Received 2th of February, 2024

Revised 10th of March, 2024

Accepted 14th of March, 2024

Abstract

Wear testing of engineering materials is an important aspect in evaluating their performance and durability. This study aims to investigate the wear-resistant ability of aluminum composites reinforced with carbon nanotubes (CNTs). The composite manufacturing process was carried out by infiltrating CNTs into the aluminum matrix through powder metallurgy method. Tests were conducted using two methods, namely pressing and sintering with temperature variations of 0°C (non sintering), 400°C, 500°C, 600°C and 700°C. The results showed that the specific wear value on the specimen obtained the best value at a sintering temperature of 400°C with a value of 0.003632850 mm³/kg.m and the highest value at a sintering temperature of 700°C with a value of 0.042771207 mm³/kg.m. And the wear rate on the specimen obtained the best value at a sintering temperature of 400°C with a value of 0.447887285 mm³/s and the highest value at a sintering temperature of 700°C with a value of 1.155387594 mm³/s. This shows that the addition of temperatures greater than 400°C has a major influence on the specific wear value and wear rate of sintering products. In addition, this method is also a reference for further researchers in developing aluminum carbon nanotube technology to obtain optimal results.

Keywords: *Aluminium, Carbon Nanotube, Powder Metallurgy, Wear and tear*

Pendahuluan

Dalam dunia industri dan teknik, pemilihan material yang tepat merupakan faktor kunci dalam mendukung keberhasilan berbagai aplikasi dan produk. Aluminium, dengan kelebihan berat jenis rendah dan kekuatan yang cukup baik, telah menjadi bahan yang sangat diandalkan dalam banyak aplikasi, termasuk industri otomotif, penerbangan, dan manufaktur umum. Namun, untuk memenuhi tuntutan performa yang semakin meningkat, inovasi material menjadi suatu keharusan. Salah satu pendekatan inovatif yang telah diperkenalkan adalah penggunaan komposit aluminium yang diperkuat dengan karbon *nanotube* (CNT). [1]

Aluminium memiliki massa jenis yang ringan yaitu 2,7 g/cm³ dan titik cair sebesar 600°C. Koefisien konduktivitas termal aluminium lebih besar enam kali dari konduktivitas termal baja, sehingga masukan panas (*heat input*) pada pengelasan logam *non-ferrous* ini harus lebih tinggi dan terkonsentrasi dibandingkan pengelasan baja. Aluminium merupakan logam yang memiliki afinitas kimia yang kuat terhadap oksigen sehingga akan cepat teroksidasi dan membentuk lapisan oksida Al₂O₃ (Alumina) pada permukaannya ketika berinteraksi ke udara bebas. Aluminium dalam bentuk murni memiliki kekuatan yang rendah dengan kekuatan luluh dan kekuatan tarik masing-masing sebesar 34,5 N/mm² dan 90 N/mm². Aluminium memiliki kemurnian 99,0 hingga 99,9%. Selain sifat anti korosinya yang baik, konduktivitas listrik dan termalnya juga tinggi. Kelemahan dari aluminium jenis ini adalah daya tahannya yang rendah, oleh karena itu diperlukan perkuatan logam seperti pengerasan material untuk meningkatkan daya tahannya. Unsur paduan utama yang terdapat pada aluminium jenis ini adalah Besi (Fe) dan Si (Silikon). Aluminium jenis ini biasa digunakan pada reflektor, peralatan kimia, penukar panas, konduktor listrik, dan kapasitor. [2][3][4]

Carbon nanotube (CNT) adalah serat karbon ultra tipis dengan diameter beberapa nanometer dan panjang beberapa mikrometer. CNT pertama kali ditemukan oleh ilmuwan Jepang Sumio Iijima pada katoda karbon yang digunakan untuk pelepasan busur guna menyiapkan gugus karbon kecil yang disebut *fullerene*. CNT memiliki sifat unik dan beragam aplikasi, menjadikannya salah satu material yang paling aktif dieksplorasi dalam beberapa tahun terakhir. Produksi CNT skala besar yang

ekonomis sangat penting untuk mewujudkan penerapan ini. CNT telah menarik banyak penelitian dan menjadi salah satu material nano paling terkenal berkat sifat unggul dan aplikasi potensialnya. [5]. *Carbon nanotube* memiliki sifat mekanik dan termal yang luar biasa. Mereka menjanjikan untuk meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan ketahanan aus dari aluminium ketika digunakan sebagai matriks dalam komposit. Namun, sebelum komposit aluminium-CNT ini dapat diadopsi secara luas dalam aplikasi nyata, perlu dilakukan pengujian yang mendalam, terutama pengujian keausan, untuk memahami perilaku material tersebut dalam situasi keausan yang berulang. [6][7][8]

Metalurgi serbuk merupakan suatu seni produksi benda dari serbuk logam dengan atau tanpa penambahan konstituen non-logam. Serbuk yang sudah diproduksi dilakukan tahapan penekanan kebentuk yang diinginkan, dan dapat dilakukan secara bersamaan atau sesudahnya dipanaskan untuk menghasilkan produk yang solid. Salah satu proses yang ekonomis dalam sebuah komponen dengan kepresisian yang baik adalah dengan metalurgi serbuk. Di negara Indonesia metalurgi serbuk masih sangat awam baik dari ketersediaan teknologi maupun dari segi ketersediaan bahan baku serbuk logam. Perkembangan sebuah teknologi yang semakin maju setiap hari nya menimbulkan keharusan atau tuntutan baru dalam sebuah kehidupan, salah satunya yaitu industri komponen mesin yang menginginkan suatu proses yang lebih ekonomis namun tetap dengan hasil yang terbaik. Faktor kesulitan untuk mencari bahan baku serbuk dikarenakan belum menguasai dengan baik ilmu metalurgi serbuk (*powder metallurgy*) serta teknolog yang tidak mendukung sehingga pembuatan serbuk sangatlah sulit dan mengakibatkan adanya ketergantungan terhadap pasokan bahan baku dari luar negeri. Oleh karena itu, ini merupakan tantangan baru bagi industri metalurgi serbuk. Atomisasi adalah metode terkenal atau komersial untuk menghasilkan bubuk logam yang cukup halus. [9]

Pengujian keausan pada komposit *aluminium-CNT* memiliki implikasi yang sangat penting dalam pengembangan material dan rekayasa. Hasil pengujian ini dapat memberikan wawasan tentang sejauh mana penambahan CNT dapat meningkatkan tahanan aus material dan bagaimana material ini akan berkinerja dalam kondisi praktis, seperti beban statis atau dinamis. Selain itu, pemahaman yang lebih mendalam tentang keausan komposit ini juga akan mendukung pengembangan teknologi yang lebih berkelanjutan. Bahan yang lebih ramah lingkungan cenderung mengurangi limbah dan konsumsi sumber daya alam, sejalan dengan tujuan keberlanjutan. dalam kondisi praktis, seperti beban statis atau dinamis. Selain itu, pemahaman yang lebih mendalam tentang keausan komposit ini juga akan mendukung pengembangan teknologi yang lebih berkelanjutan. Bahan yang lebih ramah lingkungan cenderung mengurangi limbah dan konsumsi sumber daya alam, sejalan dengan tujuan keberlanjutan. [10]

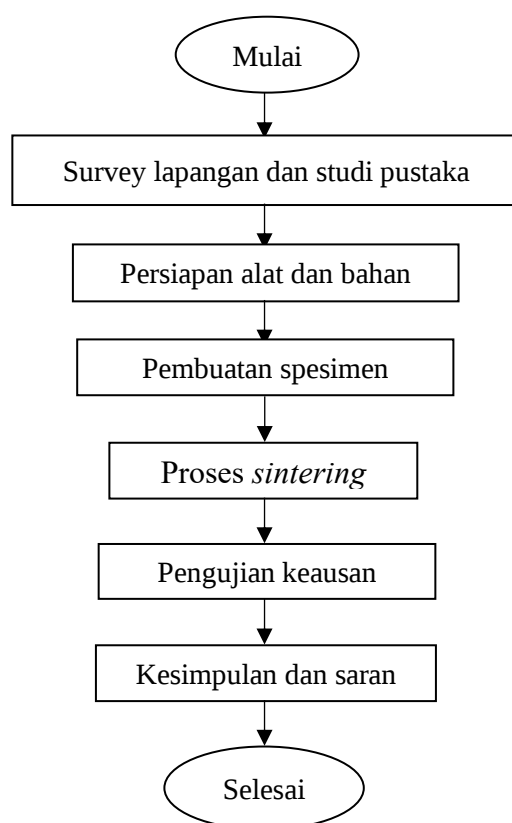
Karena karbon *nanotube* merupakan material yang tergolong baru menjadikan penulis ingin menciptakan inovasi yang baru terkait penggunaan *aluminium-CNT*, yang dimana suatu material tidak hanya tahan panas dan ringan saja, tetapi juga kuat untuk diaplikasikan di dalam bidang industri otomotif, penerbangan, dan manufaktur umum. [11]

Penulis mengangkat permasalahan seputar nilai keausan spesifik dan laju keausan pada material aluminium diperkuat dengan karbon *nanotube* pada metode metalurgi *powder*. Batasan masalah meliputi penggunaan aluminium dan karbon *nanotube*, metode pembuatan material serta variasi suhu pada proses *sintering*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai keausan spesifik dan nilai laju keausan hasil spesimen terbaik dan terendah pada variasi suhu *sintering*. Manfaat dari penelitian ini meliputi referensi tambahan bagi Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan (STTKD), bahan materi belajar bagi penulis selanjutnya, referensi bagi peneliti mendatang, dan pengetahuan bagi pembaca tentang karakteristik keausan material aluminium yang diperkuat dengan karbon *nanotube*.

Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode pengepresan dan *sintering*, dimana peneliti membuat suatu

spesimen berbentuk tablet dengan proses metalurgi *powder*. Proses pertama yang dilakukan adalah *mixing* serbuk aluminium *powder* dengan total takaran masing-masing aluminium 29,7 gram dan karbon *nanotube* 0,3 gram (1 wt%) dengan total keseluruhan material adalah 30 gram. Serbuk di *mixing* dengan kecepatan 5 rpm dengan durasi waktu 30 menit. Dalam proses pengepresan, serbuk material aluminium *powder* yang diperkuat dengan karbon *nanotube* dibagi menjadi 4 gram. Kemudian, dimasukkan ke dalam *dies* untuk dilakukan pengepresan menggunakan alat *press* hidrolik yang bertekanan 30 ton. Kemudian, setelah spesimen berhasil dipress akan membentuk sebuah tablet dan dihitung densitasnya. Sedangkan dalam proses *sintering* dilakukan dengan 5 variasi suhu yaitu 0°C (tanpa *sintering*), 400°C, 500°C, 600°C dan 700°C dengan masing-masing durasi selama 1 jam yang kemudian dihitung kembali densitasnya apakah ada perubahan pada densitasnya atau tidak. Lalu diuji keausannya menggunakan mesin *Ogoshi Wear Testing* (Type OAT-U) untuk mempelajari nilai keausan spesifik dan nilai laju keausan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Hasil Penelitian:

Perhitungan Densitas:

Pada perhitungan densitas terhadap spesimen sebelum dan sesudah dilakukan *sintering*, rumus yang digunakan dalam menghitung densitas ditentukan pada **Persamaan 1** [12] sebagai berikut:

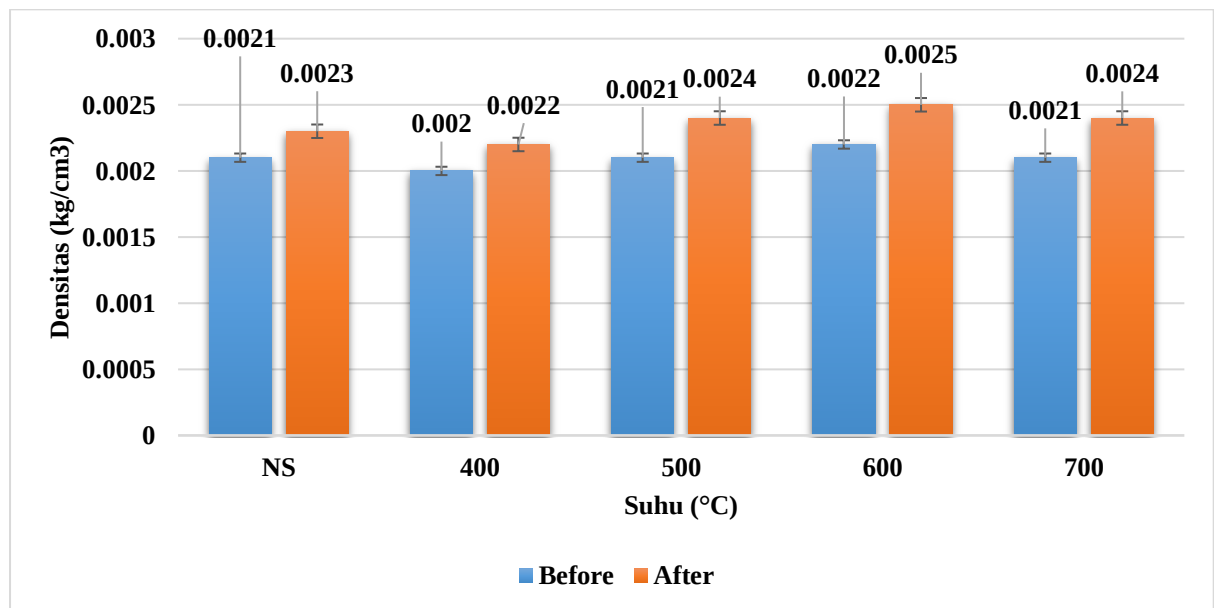
$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan ρ = densitas (kg/cm³), m = massa spesimen (kg) dan v = volume spesimen (cm³). Diketahui data dan hasil perhitungan densitas ditunjukkan pada **Tabel 1** dibawah ini.

Tabel 1. Densitas Spesimen

	Densitas (kg/cm ³)						
	Spesimen (°C)	m (kg)	D (cm)	r (cm)	T (cm)	v (cm ³)	ρ (kg/cm ³)
<i>Before</i>	400	0,00389	2,025	1,0125	0,59	1,899204469	0,00204823
	500	0,00372	2,025	1,0125	0,54	1,738254938	0,00214008
	600	0,0039	2,025	1,0125	0,545	1,754349891	0,00222305
	700	0,00387	2,025	1,0125	0,575	1,850919609	0,00209085
	NS	0,00369	2,025	1,0125	0,55	1,770444844	0,00208422
<i>After</i>	400	0,00389	2,025	1,0125	0,6	1,931394375	0,00201409
	500	0,00372	2,025	1,0125	0,56	1,80263475	0,00206365
	600	0,00388	2,025	1,0125	0,55	1,770444844	0,00219154
	700	0,00386	2,025	1,0125	0,54	1,738254938	0,00222062
	NS	0,00369	2,025	1,0125	0,55	1,770444844	0,00208422

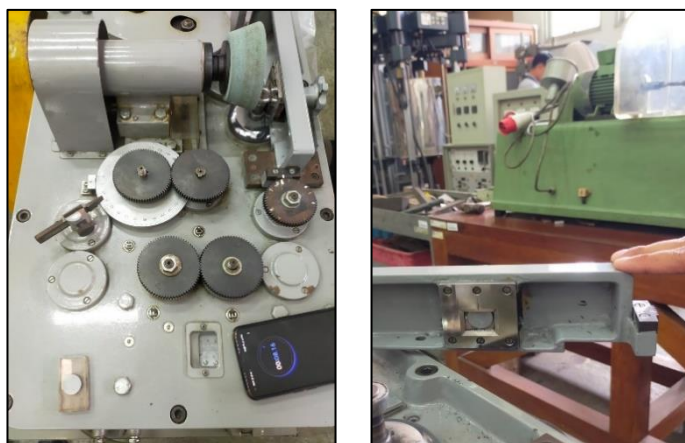
Berdasarkan hasil data dan perhitungan densitas pada tabel diatas, maka dapat dilihat hasilnya lebih detail pada grafik dibawah ini yang ditunjukkan pada **Gambar 2**.

**Gambar 2. Grafik Densitas Spesimen**

Pada grafik diatas dijelaskan bahwa spesimen *aluminium-CNT* pada saat di *sintering* akan mengalami peningkatan nilai densitasnya. Hal ini dikarenakan peningkatan densitas pada spesimen *aluminium-CNT* saat di *sintering* dapat disebabkan oleh redistribusi partikel dan deformasi plastis yang terjadi selama proses tersebut. *Sintering* dapat mengurangi porositas dan meningkatkan integrasi antara aluminium dan karbon *nanotube*, sehingga meningkatkan kepadatan material secara keseluruhan.

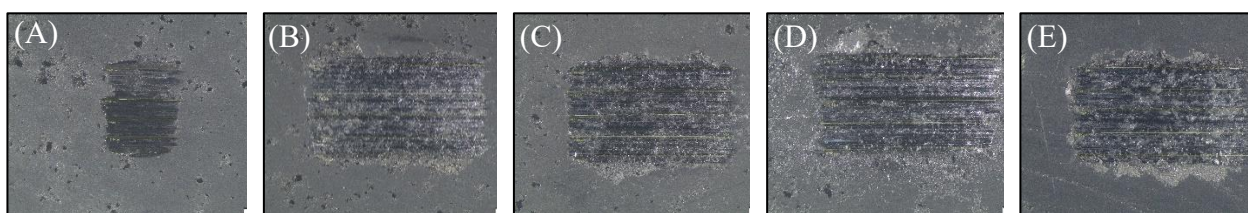
Pengujian Keausan Terhadap Spesimen:

Berdasarkan dari spesimen yang telah di *sintering*, maka berikutnya adalah pengujian keausan dengan menggunakan alat uji keausan *Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine* (Type OAT-U) yang dilakukan di Laboratorium DTMI Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Berikut ini adalah proses pengerjaan pengujian keausan dengan alat uji keausan *Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine* (Type OAT-U) yang ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Pengujian Keausan Terhadap Spesimen

Pada pengujian keausan terhadap spesimen juga dicantumkan hasil foto mikro spesimen hasil pengujian yang ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Foto Mikro NS (A), 400°C (B), 500°C (C), 600°C (D) dan 700°C (E)

Pada pengambilan foto mikro, diketahui b_0 = lebar keausan pada benda uji (mm) yang ditarik sebanyak 5 garisan. Berdasarkan dari pengujian keausan yang telah dilakukan dan hasil foto mikro yang diperoleh, maka nilai keausan spesifik dan laju keausan terhadap spesimen dapat diketahui dari data dan grafik sebagai berikut:

Keausan Spesifik:

Pada keausan spesifik digunakan rumus pada **Persamaan 2** [13] berikut ini:

$$W_s = \frac{B \cdot b_0^3}{8 \cdot r \cdot P_0 \cdot L_0} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan W_s = keausan spesifik ($mm^3/kg.m$), B = lebar piringan pengaus (mm), b_0 = lebar keausan pada benda uji (mm), r = jari-jari piringan pengaus (mm), P_0 = gaya tekan pada proses keausan (kg) dan L_0 = jarak tempuh proses pengausan (mm). Dibawah ini merupakan tabel nilai lebar keausan (b_0) yang ditunjukkan pada **Tabel 4** dan hasil nilai keausan spesifik spesimen pada variasi suhu yang ditunjukkan pada **Tabel 5**.

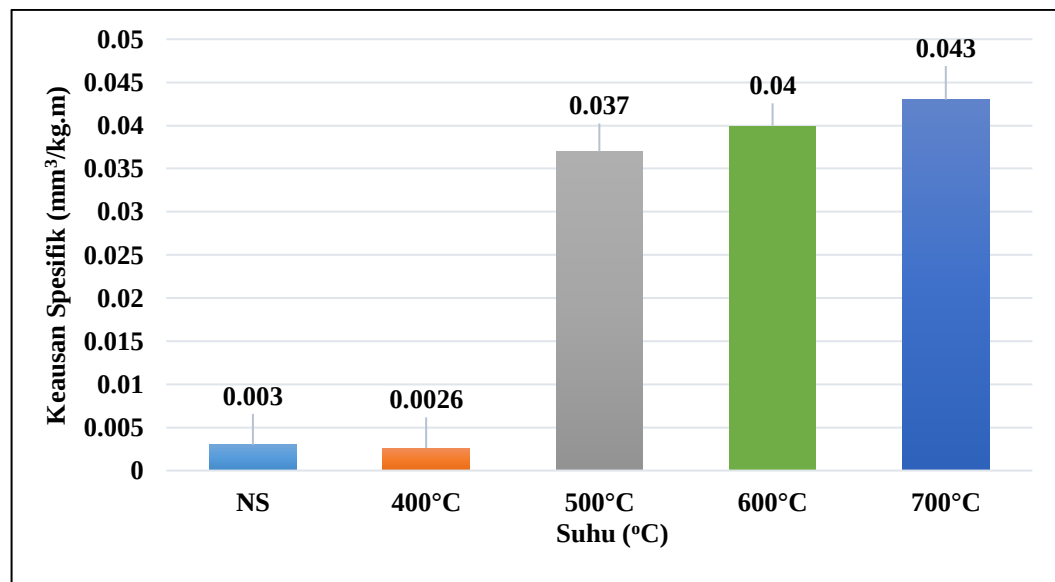
Tabel 4. Nilai Lebar Keausan (b_0)

Kode Spesimen		b_0				
400	2340	1980	1936	2052	1972	
500	4992	4996	4960	4980	4832	
600	4812	5084	5112	5292	5228	
700	5432	5260	5272	5100	5008	
NS	2260	2388	2144	2156	1840	

Tabel 5. Hasil Keausan Spesifik Spesimen pada Variasi Suhu

No	Spesimen (°C)	t	Nilai b ₀ (mm)	B (mm)	r (mm)	P ₀ (kg)	L ₀ (m)	Keausan Spesifik (Ws) (mm ³ /kg.m)
1	400	60	2,0560	3	13,03	6,36	15	0,002621850
2	500	60	4,9520	3	13,03	6,36	15	0,036633666
3	600	60	5,1056	3	13,03	6,36	15	0,040149380
4	700	60	5,2144	3	13,03	6,36	15	0,042771207
5	NS	60	2,0560	3	13,03	6,36	15	0,003030060

Sedangkan dibawah ini merupakan grafik perbandingan hasil uji keausan spesifik pada spesimen yang ditunjukkan pada **Gambar 5**.

**Gambar 5. Grafik Keausan Spesimen pada Variasi Suhu**

Pada grafik diatas, menjelaskan perbandingan nilai keausan spesifik pada 5 spesimen yang telah dilakukan variasi suhu *sintering*, yang dimana nilai keausan spesifik terendah diperoleh pada spesimen dengan suhu *sintering* 400°C yaitu 0,003632850 mm³/kg.m dan tertinggi diperoleh pada spesimen dengan suhu *sintering* 700°C yaitu 0,042771207 mm³/kg.m. Hal tersebut dikarenakan kandungan oksigen pada variasi suhu *sintering* 400°C terlihat paling kecil, hal ini disebabkan pada pemanasan suhu *sintering* 400°C kandungan oksigen terdorong keluar dari sela-sela material yang mengalami proses aglomerasi butiran *powder*. Namun, pada variasi pemanasan suhu *sintering* 700°C ternyata kandungan oksigen mengalami kenaikan sehingga nilai keausan spesifik mengalami penurunan, hal ini dimungkinkan terjadinya oksidasi karena pemanasan suhu mendekati titik didih aluminium.

Laju Keausan:

Pada perhitungan laju keausan, digunakan rumus pada **Persamaan 3** dan **4** [14] sebagai berikut:

$$V = B \left[r^2 \sin^{-1} \left(\frac{b}{2r} \right) - \frac{b}{2} \sqrt{r^2 - \frac{b^2}{4}} \right] \dots\dots\dots(3)$$

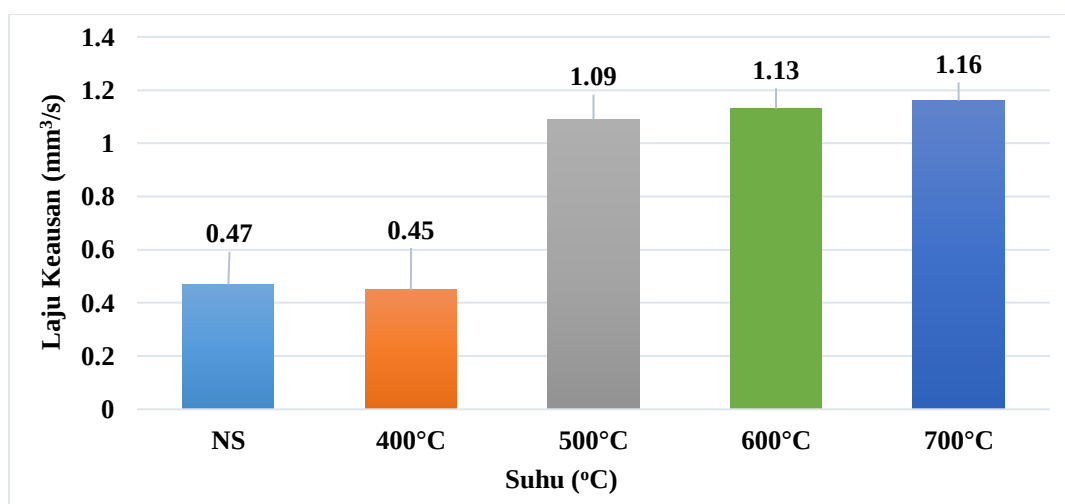
$$W = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(4)$$

Dengan **B** = tebal disk (mm), **r** = radius disk (mm) dan **b** = lebar keausan yang diperoleh dari pengamatan melalui mikroskop pada belas gerusan atau alur, **W** = laju keausan (mm^3/s), **V** = volume gerusan hilang pada spesimen (mm^3) dan **t** = waktu keausan berlangsung (s). Berikutnya juga telah diketahui nilai laju keausan terhadap spesimen yang diperoleh oleh perhitungan menggunakan rumus dari jurnal yang diperoleh yang ditunjukkan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Nilai Laju Keausan pada Spesimen

No	Kode Spesimen	t	V	Laju Keausan (w) (mm^3/s)
1	AICNT 400	60	26,8732371	0,447887285
2	AICNT 500	60	65,704539	1,09507565
3	AICNT 600	60	67,82024958	1,130337493
4	AICNT 700	60	69,32325563	1,155387594
5	AICNT NON SINTERING	60	28,21011599	0,4701686

Dibawah ini merupakan grafik pada hasil laju keausan yang ditunjukkan pada **Gambar 6**.



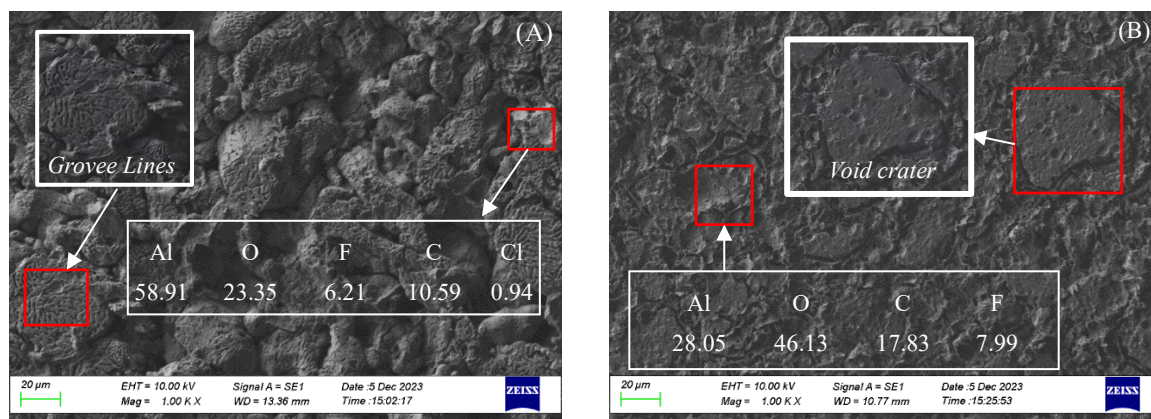
Gambar 6. Grafik Laju Keausan Spesimen pada Variasi Suhu

Pada grafik diatas, menjelaskan perbandingan nilai laju keausan pada 5 spesimen yang telah dilakukan variasi suhu *sintering*, yang dimana nilai laju keausan terendah diperoleh pada spesimen dengan suhu *sintering* 400°C yaitu 0,447887285 mm^3/s dan tertinggi diperoleh pada spesimen dengan suhu *sintering* 700°C yaitu 1,155387594 mm^3/s . Hal ini disebabkan pada sebelumnya diketahui nilai terendah pada keausan spesifik adalah pada spesimen suhu *sintering* 400°C, jadi untuk laju keausan terbaik juga berada pada spesimen suhu *sintering* 400°C yang dimana nilai laju keausan dihitung dengan membagikan **V** = volume gerusan hilang pada spesimen (mm^3) dan **t** = waktu keausan berlangsung (s). Jadi, semakin rendah nilai laju keausannya, maka semakin kecil kemungkinan kecepatan atau tingkat pengikisan sebuah spesimen terjadi.

Pembahasan Hasil

Pada hasil uji keausan spesimen dengan menggunakan mesin *Ogoshi Wear Testing* (Type OAT-U) menunjukkan bahwa nilai keausan spesifik terendah ada pada suhu *sintering* 400°C yaitu 0,003632850 $\text{mm}^3/\text{kg.m}$ dan tertinggi ada pada suhu 700°C yaitu 0,042771207 $\text{mm}^3/\text{kg.m}$. Hal tersebut dikarenakan kandungan oksigen pada variasi suhu *sintering* 400°C terlihat paling kecil, hal ini disebabkan pada pemanasan suhu *sintering* 400°C kandungan oksigen terdorong keluar dari sela-sela material yang mengalami proses aglomerasi butiran *powder*. Namun, pada variasi pemanasan

suhu *sintering* 700°C ternyata kandungan oksigen mengalami kenaikan sehingga nilai keausan spesifik mengalami penurunan, hal ini dimungkinkan terjadinya oksidasi karena pemanasan suhu mendekati titik didih aluminium seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Foto Scanning Elektron pada Spesimen Sintesis yang Dibuat dengan Sistem Al-CNT dengan Variasi 400°C (A) dan 700°C (B)

Fenomena ini juga terjadi pada variasi *sintering* pada suhu 500°C dan 600°C yang menyebabkan turunnya nilai keausan spesifik dibanding dengan variasi suhu *sintering* yang lain. Hal ini juga berpengaruh pada nilai laju keausannya, rendah atau tingginya nilai laju keausan disebabkan oleh suhu *sintering* yang terjadi. Karena peningkatan suhu mengakibatkan penurunan tingkat keausan. Spesimen yang dibuat menggunakan suhu 500°C dan 600°C menunjukkan nilai tingkat keausan yang hampir serupa dengan 700°C. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan suhu lebih besar dari 400°C mempunyai pengaruh besar terhadap nilai keausan spesifik dan laju keausan produk hasil *sintering*.

Kesimpulan

Dalam penelitian ini, kami mempelajari pengaruh berbagai kondisi terhadap perbedaan suhu sifat fisik nanokomposit Al/CNT. Kami berhasil membuat 5 jenis sample termasuk Al-CNT tanpa *sintering*, AL CNT dengan variasi suhu 400°C, 500°C, 600°C dan 700°C. *Sintering* berhasil digunakan untuk menghasilkan beberapa fase intermetalik yang dibuat oleh komposit Al-CNT dengan berbagai kandungan. Fasa yang terbentuk didominasi oleh fasa Al-CNT, Al-O₂ dan CNT-O₂. Penambahan CNT dari 1% dengan variasi suhu 400°C meningkatkan keausan spesifik dan laju keausan produk. Namun pada spesimen dengan variasi *sintering* diatas suhu 400°C, hasil pengamatan SEM ikatan spesimen banyak mengalami keretakan dan terbukti ada banyak kawah kawah void di permukaan material yang di amplas, hasil pengamatan EDS map Sum Spectrum variasi suhu 700°C dan Variasi *Non Sintering* terlihat banyak kandungan Oksigen. Oleh karena itu optimalisasi suhu *sintering* untuk mendapatkan perbaikan sifat kekersan dan laju keausan material adalah sebesar 400°C.

Daftar Pustaka

- [1] H. Apriantoni, G. Marausna, dan F. Setiawan, "Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Kekuatan Mekanika Pada Aluminium 7075-T6 Dengan Metode Elektroplating," *Teknikasttkd:Jurnalteknik, Elektronik, Engine*, Vol. 9, P. 28, 2023.
- [2] Azwinur, Marzuki, Usman, J. Syarif, dan Zuhaimi, "Pengaruh Arus Terhadap Sifat Mekanik Aluminium Pada Pengelasan Gtaw," *Proceeding Semin. Nas. Politek. Negeri Lhokseumawe*, Vol. 4, P. 186, 2020.
- [3] G. Mathers, *The Welding Of Aluminium And Its Alloy*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2002.
- [4] A. Naafila, A. Purnowidodo, dan P. H. Setyarini, "Pengaruh Waktu Solution Treatment Terhadap Kekuatan Tarik Aluminium Paduan Aa 7075-T6," *Pros. Seniati*, Vol. 5, P. 219, 2019.
- [5] P. A. Anggoro dan T. E. Saraswati, "Sintesis Carbon Nanotube (Cnt) Menggunakan Prekursor Bahan Alam Serta Modifikasi Cnt Sebagai Komposit Cnt/Resin Epoksi: Review," *Proceeding Chem. Conf.*, Vol. 6, P. 1, 2021.
- [6] Y. Risdianto, N. Andajani, A. Widjaya, K. D. Handayani, dan M. Wulandari, "Abu Sekam Padi Dan Carbon Nanotube Sebagai Material Alternatif Penyusun Beton Ringan Seluler," *Publ. Ris. Orientasi Tek. Sipil*, Vol. 4, P.

- 15, 2022.
- [7] H. Sato dan M. Sano, "Characteristics Of Ultrasonic Dispersion Of Carbon Nanotubes Aided By Antifoam," *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, Vol. 322, P. 1, 2008.
- [8] K. Raji, S. Thomas, dan C. B. Sobhan, "A Chemical Kinetic Model For Chemical Vapor Deposition Of Carbon Nanotubes," *Appl. Surf. Sci.*, Vol. 257, P. 1562, 2011.
- [9] R. N. Rafiq, B. T. Karmiati, dan A. N. Parawangsa, "Rancang Bangun Alat Dan Uji Coba Pembuatan Serbuk Dengan Cara `Proses Atomisasi Gas Dengan Menggunakan Close-Couple `," *J. Tek. Amata*, Vol. 3, P. 51, 2022.
- [10] R. Cahyadi, H. Oktadinata, dan R. Sadiana, "Analisis Laju Keausan Baja Suj2 Hasil Variasi Temperatur Tempering Untuk Aplikasi Ball Bearing," *J. Ilm. Tek. Mesin*, Vol. 7, P. 80, 2019.
- [11] W. Nurfitriani, G. R. Deksino, dan Jupriyanto, "Kinerja Dan Keandalan Material : Tinjauanliteratur Dalam Industri Penerbangan," *J. Ilmu Pengetah. Sos.*, Vol. 10, P. 3937, 2023.
- [12] K. M. Utama, Warji, W. Rahmawati, dan S. Suharyatun, "Pemanfaatan Limbah Plastik Polyethylene Terephthalate (Pet) Dan Batok Kelapa Sebagai Bahan Baku Paving Block," *J. Agric. Biosyst. Eng.*, Vol. 2, P. 265, 2023.
- [13] M. N. Ihsan, D. Wicaksono, dan Shono, "Uji Keausan Kampas Rem Berbahan Limbah Organik Menggunakan Metode Ogoshi," *Tek. Sttkd J. Tek. Elektron. Engine*, Vol. 8, P. 95, 2022.
- [14] V. Malau dan Khasani, "Karakterisasi Laju Keausan Dan Kekerasan Dari Pack Carburizing Pada Baja Karbon Aisi 1020," *Media Tek.*, Vol. 1, P. 369, 2008.