

PENGARUH VARIASI SUHU SINTERING ALUMINIUM Matrik yang DIPERKUAT KARBON NANOTUBE TERHADAP NILAI KEKERASAN

¹Irvan Chandra Kabiyo, ²Dhimas Wicaksono, ³Ferry Setiawan

¹Jurusan Teknik Dirgantara
Sekolah Tinggi Teknologi
Kedirgantaraan
20020421@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 20th of February, 2024

Revised 8th of March, 2024

Accepted 14th of March, 2024

Abstract

This study examines the effect of sintering temperature variations on density values and Vickers hardness values on Aluminum Carbon Nanotubes. Tests were conducted using five temperature variations, namely sintering 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, and unsintered. The results showed that the 400°C sintering temperature variation produced higher hardness values than the 500°C, 600°C, 700°C, and unsintered sintering temperature variations. AICNT specimens at a sintering temperature of 400°C have an average hardness value of 46.92 VHN, while at a sintering temperature of 500°C have an average hardness value of 30.48 VHN, while at a sintering temperature of 600°C have an average hardness value of 29.04 VHN, while at a sintering temperature of 700°C have an average hardness value of 26.17 VHN, while at a sintering temperature of 0°C have an average hardness value of 39.79 VHN. Therefore, it is found that the best sintering temperature variation for AICNT specimens is 400°C for the application of sintering to aluminum carbon nanotubes. In addition, this research can be a reference for further researchers in developing manufacturing methods and characterization of aluminum reinforced with carbon nanotubes to obtain optimal results.

Keywords: Alumunium, Carbon Nanotube, Powder Metallurgy, Sintering, Hardness

Pendahuluan

Salah satu jenis logam yang dikenal karena keunggulan ketahanan terhadap korosi dan konduktivitas listrik yang baik adalah aluminium. Untuk meningkatkan kualitas aluminium, digunakan teknik tertentu karena titik lelehnya yang relatif rendah, sehingga tidak cocok untuk aplikasi dengan suhu tinggi. Sementara untuk karbon nanotube sendiri seperti struktur tabung yang sangat kecil terbuat dari atom karbon. Keistimewaan karbon nanotube termasuk kekuatan yang tinggi, fleksibilitas, konduktivitas listrik yang baik, dan kemampuan untuk menyalurkan panas dengan sangat baik. Maka dari itu penelitian ini dilakukan dengan menggabungkan dua material, yaitu aluminium dan karbon Nanotube. Aluminium adalah jenis logam yang ringan dan terkenal karena keunggulan ketahanan korosinya serta konduktivitas listriknya yang baik. Selain digunakan secara luas di berbagai industri, aluminium juga menjadi bahan utama dalam pembuatan pesawat terbang, mobil, kapal laut, dan proyek konstruksi. Untuk mengatasi kelemahan tersebut, aluminium seringkali digunakan dalam bentuk paduan dengan unsur-unsur lain seperti tembaga, magnesium, dan silikon. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kualitas aluminium karena titik lelehnya yang relatif rendah sehingga tidak cocok untuk aplikasi yang melibatkan suhu tinggi [1].

Alumunium *Powder* merupakan serbuk berwarna keperakan yang terbuat dari logam aluminium dengan ukuran halus. Sifat-sifat serbuk aluminium seperti kinetika reaksi dan perilaku oksidasi telah banyak diteliti. Produksi sistem produksi serbuk aluminium yang efisien juga telah terekam secara dokumentasi. Alumunium *powder* digunakan dalam industri seperti metalurgi, dirgantara, kembang api, serta sebagai tambahan dalam bahan bakar [2], [3].

Karbon nanotube adalah struktur tabung yang sangat kecil yang terbuat dari atom karbon. Kelebihan dari karbon nanotube termasuk kekuatan yang tinggi, fleksibilitas, konduktivitas listrik yang baik, dan kemampuan untuk menghantarkan panas dengan luar biasa. Diindustri dirgantara dan otomotif, khususnya karbon nanotube digunakan sebagai penguat untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan material komposit. Karbon nanotube digunakan untuk mengurangi berat pesawat terbang sehingga

dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar [4], [5].

karbon nanotube adalah tabung yang terbuat dari karbon dengan diameter dalam skala nanometer. Karbon nanotube termasuk salah satu varian karbon dan memiliki sifat mekanik, listrik, dan termal yang luar biasa. Karbon nanotube dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti dicampurkan dengan material komposit dalam industri otomotif, digunakan sebagai elektroda, transistor, sensor, mikroskop elektronik, dan perangkat nanoelektronik dalam bidang kelistrikan [6], [7].

Di era modern ini, kita telah memasuki zaman revolusi industri 4.0 yang membawa banyak kemajuan teknologi, salah satunya adalah metalurgi serbuk. Metalurgi serbuk memiliki sifat-sifat unik, termasuk luas permukaan spesifiknya dan kemampuannya untuk membentuk padatan tanpa melalui fase cair. Sifat-sifat tersebut sangat penting dalam proses-proses metalurgi serbuk. Proses ini melibatkan pemanasan serbuk pada suhu tinggi sehingga partikel-partikel serbuk menyatu menjadi benda padat. Melalui proses *sintering*, kepadatan dan kekuatan mekanis benda tersebut dapat ditingkatkan [8], [9].

Penguatan pada material komposit adalah ketika bahan tambahan dimasukkan ke dalam matrik untuk memberikan sifat mekanik tambahan, seperti peningkatan kekuatan, kekakuan, ketahanan keausan, dan lain sebagainya. Salah satu yang paling umum adalah penggunaan serat atau partikel yang ditempatkan secara teratur atau acak di dalam matrik [10].

Penguat pada *metal matrix* komposit bisa menggunakan serat maupun partikel, penggunaan penguat berupa partikel khususnya pelapisan nikel pada aluminium 7075 dengan proses *electroplating* untuk meningkat kekuatan tarik ataupun kekerasan pada material [11].

Teknik produksi metalurgi serbuk melibatkan penggunaan serbuk sebagai bahan dasar sebelum proses pembentukan. Dalam metode ini, serbuk logam dikompres menjadi bentuk yang diinginkan dan dipanaskan hingga suhu leleh. Metalurgi serbuk memiliki penerapan luas di industri seperti otomotif, penerbangan, manufaktur presisi, dan lainnya. Metalurgi serbuk memiliki beberapa keunggulan, termasuk kemampuan untuk menghasilkan komponen dengan toleransi tinggi, sifat mekanik yang unggul, dan kemampuan untuk menciptakan bentuk yang rumit. Terus dilakukan penelitian dan inovasi dalam bidang metalurgi serbuk untuk menghasilkan material-material yang lebih kuat, tahan lama, dan ringan untuk berbagai aplikasi [12], [13].

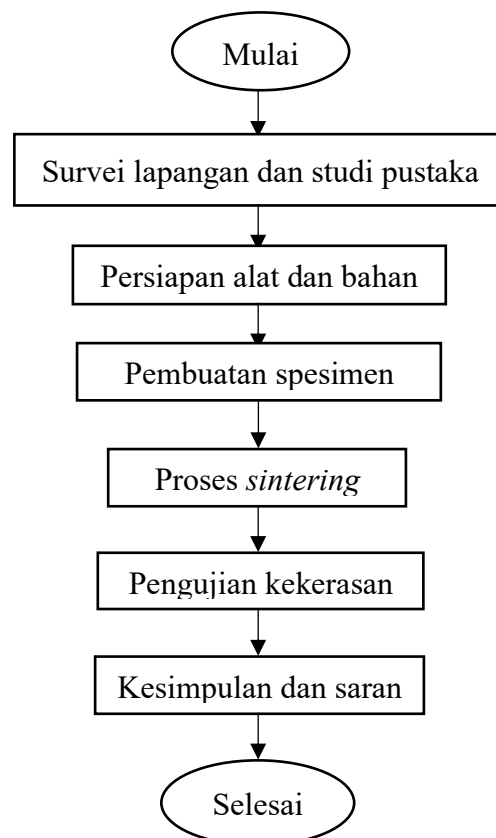
Industri penerbangan dirgantara adalah industri yang mendukung, membangun, dan memproduksi komponen pesawat terbang. Sampai saat ini, industri dirgantara dianggap sebagai industri dengan teknologi tinggi. Pesawat terbang digunakan sebagai sarana transportasi udara untuk melayani kebutuhan publik, logistik, dan militer karena efisiensinya dalam hal waktu. Gaya angkat pada sayap pesawat terbang dihasilkan oleh perbedaan tekanan antara permukaan atas dan bawah sayap ketika tekanan di bagian atas sayap lebih rendah daripada bagian bawahnya. Aluminium memiliki kekuatan yang kuat namun tetap ringan, sehingga sering digunakan dalam pembuatan pesawat terbang. Selain itu, aluminium juga memiliki kemampuan yang baik dalam menghantarkan panas secara efisien. Hal ini sangat penting untuk menjaga suhu di dalam pesawat terbang, khususnya di sekitar mesin dan sistem lainnya yang menghasilkan panas [14], [15].

Penulis melakukan penelitian nilai kekerasan *vickers* pada material aluminium karbon nanotube dengan variasi suhu, yaitu *sintering* 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan tidak *disintering*. Batasan masalah meliputi tentang kekerasan material yang menggunakan campuran karbon nanotube, metode pembuatan material serta variasi suhu pada proses *sintering*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan *vickers* pada material aluminium karbon nanotube dengan variasi suhu, yaitu *sintering* 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan tidak *disintering*. 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 pengembangan metode manufaktur dan karakterisasi aluminium 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 *dimixing* 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 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 0°C (tanpa *sintering*) dengan masing-masing durasi selama 1 jam yang kemudian dihitung kembali densitasnya apakah ada perubahan pada densitasnya. Lalu diuji kekerasannya dengan uji kekerasan *vickers* untuk mempelajari nilai kekerasannya.



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** [16] sebagai berikut:

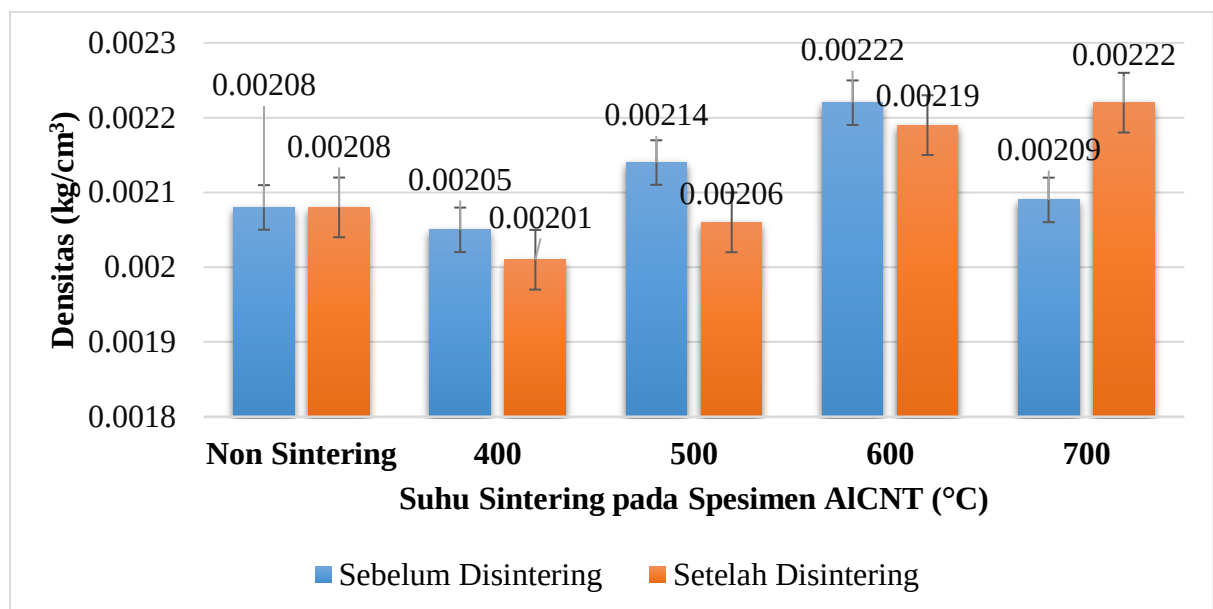
$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan ρ = densitas (kg/cm^3), m = massa spesimen (kg) dan v = volume spesimen (cm^3). Diketahui data dan hasil perhitungan densitas ditunjukkan pada **Tabel 1** dibawah ini.

Tabel 1. Densitas Spesimen

	Densitas (kg/cm^3)						
	Spesimen ($^{\circ}\text{C}$)	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 di atas setelah proses *sintering* terlihat spesimen AICNT terjadi penyusutan dan pemuaihan yang disebabkan oleh terjadinya difusi atom antar partikel-partikel material dan juga terjadinya perubahan porositas.

Pengujian Kekerasan Terhadap Spesimen:

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan lima spesimen maka dapat diketahui hasil nilai kekerasan *vickers* dari masing–masing variasi perlakuan suhu sintering spesimen. Untuk analisis data maka mengambil nilai rata-rata *vickers* dari setiap variasi yang digunakan. Berikut ini adalah alat uji *vickers* ditunjukkan pada **Gambar 3**.

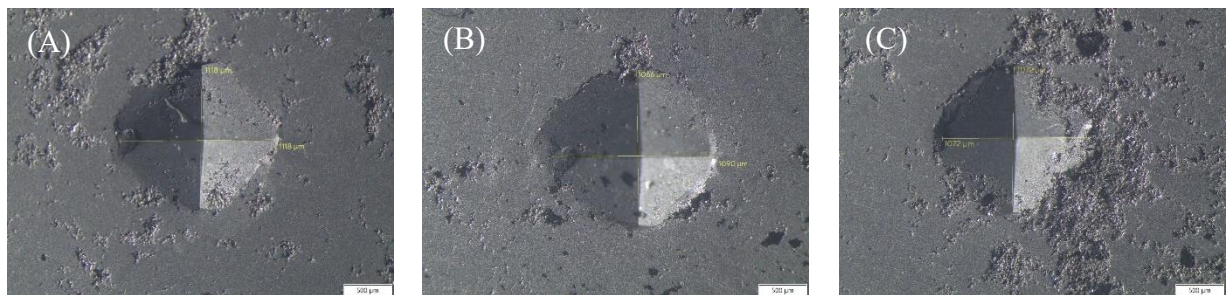


Gambar 3. Pengujian Kekerasan Terhadap Spesimen

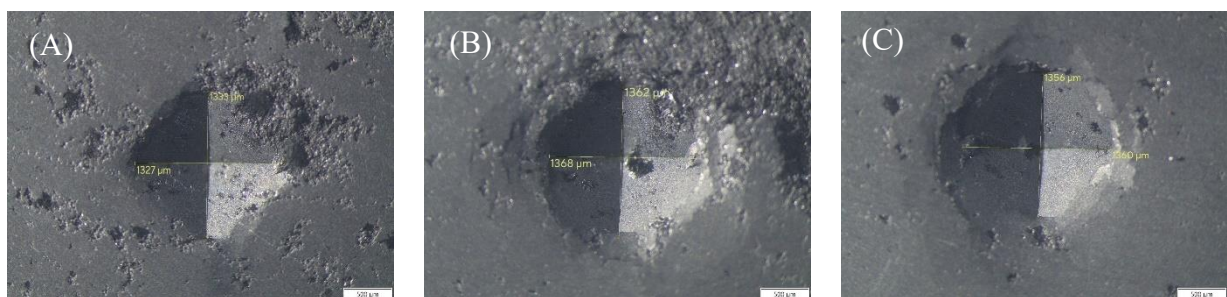
Pada pengujian kekerasan terhadap spesimen juga dicantumkan hasil foto mikro spesimen hasil pengujian yang ditunjukkan pada **Gambar 4.**, **Gambar 5.**, **Gambar 6.**, **Gambar 7.**, dan **Gambar 8.**



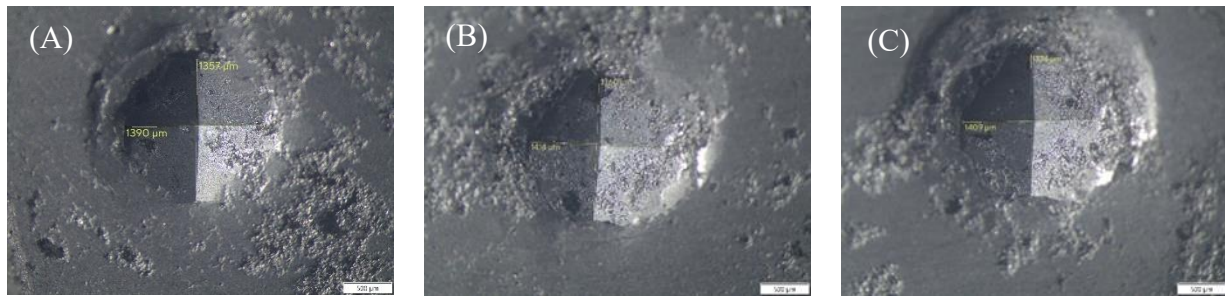
Gambar 4. Foto Mikro Spesimen AICNT *Non Sintering* (A) Titik 1, (B) Titik 2, dan (C) Titik 3



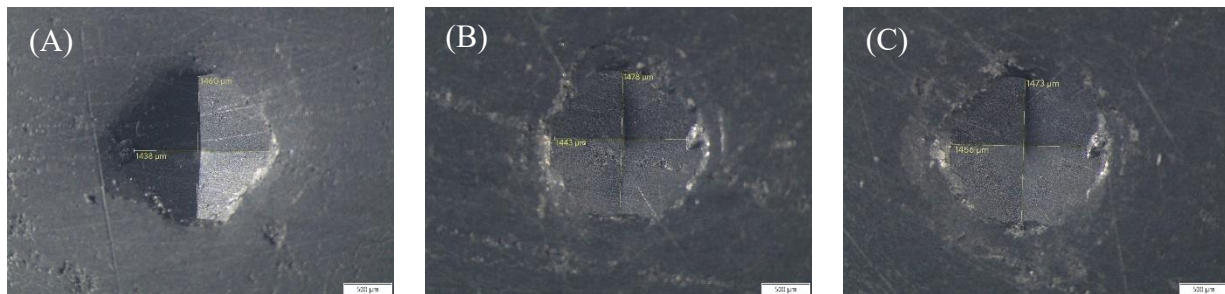
Gambar 5. Foto Mikro Spesimen AICNT 400°C (A) Titik 1, (B) Titik 2, dan (C) Titik 3



Gambar 6. Foto Mikro Spesimen AICNT 500°C (A) Titik 1, (B) Titik 2, dan (C) Titik 3



Gambar 7. Foto Mikro Spesimen AlCNT 600°C (A) Titik 1, (B) Titik 2, dan (C) Titik 3



Gambar 8. Foto Mikro Spesimen AlCNT 700°C (A) Titik 1, (B) Titik 2, dan (C) Titik 3

Berdasarkan pengujian kekerasan yang telah dilakukan dan hasil foto mikro yang diperoleh, diketahui **d1** dan **d2** adalah diagonal uji kekerasan pada spesimen yang dapat diketahui dari data dan grafik sebagai berikut:

Kekerasan *Vickers*:

Pada Kekerasan *Vickers* digunakan rumus pada **Persamaan 2** [17] berikut ini:

$$Hv = 1,8544 \frac{F}{d^2} \dots (2)$$

Dengan **Hv** = Angka Kekerasan *Vicker* (HVN), **F** = Beban (kg), **d** = Diagonal rata rata (1/1000 mm).

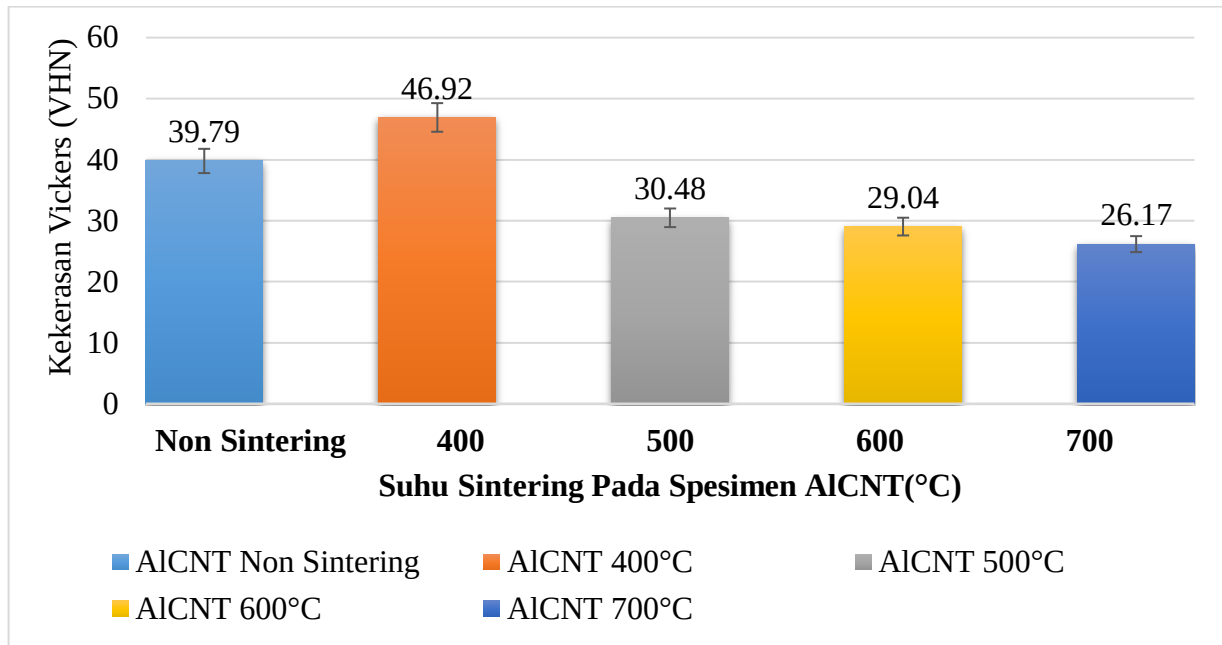
Dibawah ini merupakan tabel nilai kekerasan *vickers* (VHN) spesimen pada variasi suhu yang ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Nilai Kekerasan *Vickers*

Kode Spesimen Al-CNT		d1 (μm)	d2 (μm)	d (μm)	d (mm)	VHN	Kekerasan <i>Vickers</i> Rata-Rata (VHN)
Non Sintering	1	1188	1198	1193	1,1930	39,08	39,79
	2	1164	1194	1179	1,1790	40,01	
	3	1164	1186	1175	1,1750	40,29	
400°C	1	1118	1118	1118	1,1180	44,50	46,92
	2	1066	1090	1078	1,0780	47,86	
	3	1072	1072	1072	1,0720	48,40	
500°C	1	1333	1327	1330	1,3300	31,44	30,48
	2	1362	1368	1365	1,3650	29,85	
	3	1356	1360	1358	1,3580	30,16	
600°C	1	1357	1390	1373,5	1,3735	29,48	29,04
	2	1360	1414	1387	1,3870	28,91	
	3	1374	1409	1391,5	1,3915	28,73	

Kode Spesimen Al-CNT		d1 (μm)	d2 (μm)	d (μm)	d (mm)	VHN	Kekerasan <i>Vickers</i> Rata-Rata (VHN)
700°C	1	1460	1438	1449	1,4490	26,49	26,17
	2	1478	1443	1460,5	1,4605	26,08	
	3	1473	1456	1464,5	1,4645	25,93	

Dibawah ini merupakan grafik perbandingan hasil uji kekerasan *vickers* pada spesimen yang ditunjukkan pada **Gambar 9**.

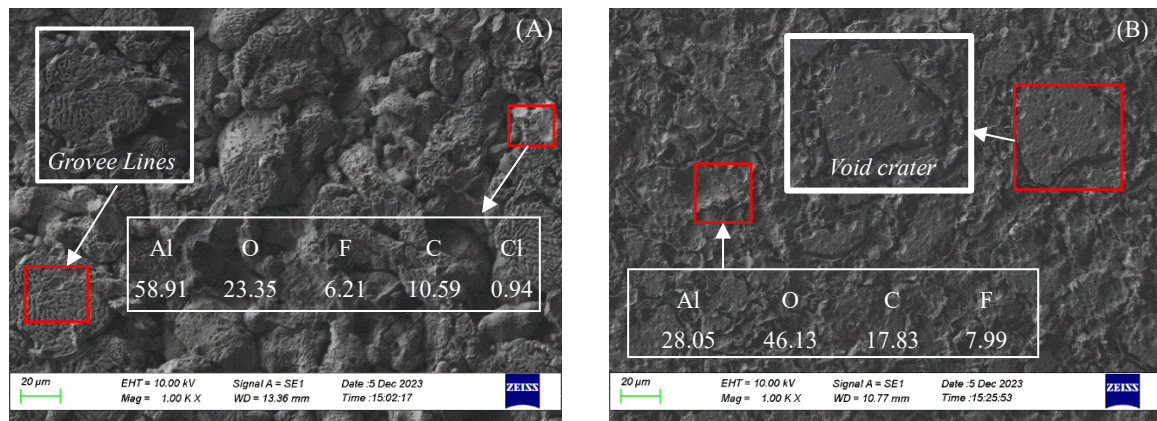


Gambar 9. Grafik Kekerasan Spesimen pada Variasi Suhu

Pada grafik diatas, menjelaskan perbandingan nilai kekerasan *vickers* pada lima spesimen yang telah dilakukan variasi suhu *sintering*, yang dimana nilai kekerasan *vickers* tertinggi diperoleh pada spesimen dengan suhu *sintering* 400°C yaitu 46,92 VHN dan terendah diperoleh pada spesimen dengan suhu *sintering* 700°C yaitu 26,17 VHN. Ini bisa terjadi dikarenakan pada pemanasan *sintering* suhu 400°C kandungan Oksigen terdorong keluar dari sela-sela material yang mengalami proses aglomerasi butiran serbuk. Spesimen yang dibuat dengan Suhu 700°C memiliki jumlah *void* yang lebih banyak.

Pembahasan Hasil

Pada hasil uji kekerasan *vickers* spesimen yang diuji dengan beban indentor sebesar 30 kg pada tiga titik berbeda menunjukkan bahwa nilai kekerasan *Vickers* tertinggi ada pada suhu *sintering* 400°C, yaitu 46,92 VHN dan terendah ada pada suhu 700°C, yaitu 26,17 VHN. Hal ini dikarenakan kandungan oksigen pada variasi suhu *sintering* 400°C terlihat paling kecil, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Foto Scanning Elektron pada Spesimen Sintesis yang Dibuuk dengan Sistem AICNT dengan Variasi 400°C (A) dan 700°C (B)

Hal didapat kandungan oksigen pada variasi *sintering* pada suhu 400°C terlihat paling kecil, hal ini disebabkan pada pemanasan *sintering* suhu 400°C kandungan oksigen terdorong keluar dari sela-sela material yang mengalami proses aglomerasi butiran serbuk. Spesimen yang dibuat dengan suhu 700°C memiliki jumlah *void* yang lebih banyak. Pembentukan Al-O₂ tidak dapat dihindari karena proses pengepresan terjadi di lingkungan atmosfer yang banyak kandungan oksigennya. Hal ini juga terjadi pada variasi suhu *sintering* pada 500°C dan 600°C yang menyebabkan turunnya nilai kekerasan dibanding dengan variasi suhu *sintering* yang lain.

Kesimpulan

Didapatkan kesimpulan dari data tabel dan grafik nilai kekerasan diperoleh hasil spesimen yang memiliki nilai kekerasan terbaik adalah dengan suhu *sintering* 400°C yang memiliki kekerasan tertinggi dari *sintering* suhu yang lain yaitu sebesar 46,92 VHN. Hal ini dikarenakan bahwa kandungan oksigen pada variasi suhu *sintering* 400°C terlihat paling kecil, karena pada *sintering* suhu 400°C kandungan oksigen terdorong keluar dari sela-sela material yang mengalami proses aglomerasi butiran serbuk. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan suhu lebih besar dari 400°C akan membuat nilai kekerasan menjadi semakin rendah dan mempunyai pengaruh besar terhadap produk hasil *sintering*.

Daftar Pustaka

- [1] Teuku Haikal Derniawan, Nurdin, Fakhriza, And Mawardi, "Analisa Pengaruh Putaran Spindel Pada Friction Welding Terhadap Tensile Strength Aluminium 6061," *Jurnal Mesin Sains Terapan*, Vol. 5, Pp. 46–51, 2021.
- [2] Azwinur, Marzuki, Usman, Jenne Syarif, And Zuhaimi, "Pengaruh Arus Terhadap Sifat Mekanik Aluminium Pada Pengelasan Gtaw," *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, Vol. 4, Pp. 185–190, 2020.
- [3] Gene Mathers, *The Welding Of Aluminium And Its Alloy*. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 2002.
- [4] Yogie Risdianto, Nur Andajani, Andang Widjaya, Krisna Dwi Handayani, And Meity Wulandari, "Abu Sekam Padi Dan Carbon Nanotube Sebagai Material Alternatif Penyusun Beton Ringan Seluler," *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, Vol. 4, Pp. 14–20, 2022.
- [5] Alireza Safari Tarbozagh, Omid Rezaifar, Majid Gholhaki, And Iman Abavisani, "Magnetic Enhancement Of Carbon Nanotube Concrete Compressive Behavior," *Constr Build Mater*, Vol. 262, Pp. 1–13, 2020.
- [6] A. I. Y. Q. Nassereldeen Ahmed Kabbashi, Firdaus Abd-Wahab, Warqaa Muhammed Bahaaddin, Lubna Muhamed Musa, Abdurahman Nour Hamid, "Potential Of Low Carbon Nanotubes Dosage On Chromium Removal From Water," *Iium Engineering Journal*, Vol. 23, No. 2, Pp. 10–19, 2022.
- [7] Sumio Iijima, "Helical Microtubules Of Graphitic Carbon," *Nature*, Vol. 354, Pp. 56–58, 1991.
- [8] A.A.Alit. Triadi, K.G.K. Wangi, And P.D. Setyawan, "Efek Suhu Sintering Dan Komposisi Bahan Terhadap Karakteristik Mekanik Komposit Berbahan Limbah Aluminium Dan Kaca Menggunakan Metode Metalurgi Serbuk," *Jurnal Keilmuan Dan Terapan Teknik Mesin*, Vol. 12 No. 1, Pp. 19–28, 2022.

- [9] Ig Tawan, Ik Suarsana, And In Santiharsa, “Pengaruh Waktupenahanan Dan Temperatur Sintering Komposit Al Matrik Dengan Penguat Al203 + Sicw Terhadap Sifat Densitas Dan Kekerasan,” *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika*, Vol. 8 No 2, Pp. 512–516, 2019.
- [10] Hossein Mohammadi *Et Al.*, “An Insight From Nature: Honeycomb Pattern In Advanced Structural Design For Impact Energy Absorption,” *Journal Of Materials Research And Technology*, Vol. 22, Pp. 2862–2887, 2022.
- [11] Ferry Setiawan, D. Walikram, Sehono, T. Ariebowo, And I. Rizki Putra, “Analysis Of The Effect Of Time On Tensile Strength And Hardness Of Electroplating Method Using Nickel On Aluminum 7075,” *Key Eng Mater*, Vol. 935, Pp. 17–23, 2022.
- [12] Mahadi And Sultan Achmad Dodo, “Pengaruh Variasi Tekanan Dan Suhu Pada Pengadukan Serbuk Aluminium (Al), Magnesium (Mg), Dan Seng (Zn) Terhadap Sifat Mekanik Logam Dengan Metode Metalurgi Serbuk,” *Jurnal Dinamis*, Vol. 8, Pp. 41–49, 2020.
- [13] Jhon A Schey, *Introduction To Manufacturing Processes 3rd Edition*. New York: Mcgraw-Hill Education, 1999.
- [14] U. Shallu Fidhah Ariyanti, Michael Setiyanto Silambi, Febrian Zulmi, “Penerapan Paduan Bahan Paramagnetik Aluminium-Litium (Al-Li Alloy) Generasi Ketiga Sebagai Bahan Baku Struktural Sayap Pesawat Terbang: Sebuah Kajian,” *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, Vol. 11, Pp. 125–134, 2023.
- [15] Ibrahim Hanif, Gaguk Jatisukamto, And Asdin Amroe An Nafi, “Pengaruh Sudut Tekuk (Cant) Winglet Menggunakan Airfoil Naca 2215 Pada Aerodinamika Sayap Pesawat,” *Rotor*, Vol. 3, Pp. 41–45, 2017.
- [16] K. M. Utama, Warji, W. Rahmawati, And S. Suharyatun, “Pemanfaatan Limbah Plastik Polyethylene Terephthalate (Pet) Dan Batok Kelapa Sebagai Bahan Baku Paving Block,” *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*, Vol. 2, P. 265, 2023.
- [17] Ariyani Faizah And Fatima Ika Pratiwi, “Pengaruh Jumlah Aplikasi Silane Terhadap Kekerasan Fiber Reinforced Composite,” *Jurnal Ilmu Kedokteran Gigi*, Vol. 5, Pp. 1–6, 2022.