

## **Pengaruh Variasi Temperatur Sintering Terhadap Sifat Mekanik Pada Metallurgi Serbuk Aluminium (Al)-Carbon Nanotube (CNT)-Magnesium (Mg)**

### ***Effect of Sintering Temperature Variation on the Mechanical Properties of Aluminum (Al)-Carbon Nanotube (CNT)-Magnesium (Mg) Powder Metallurgy***

**Avhiansyah Patta Pratama, Salma Salu, Karel Tikupadang**

**Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar**

Email : [viansyauser@gmail.com](mailto:viansyauser@gmail.com)

#### **Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan, porositas dan struktur makro pada serbuk Aluminium (Al), Carbon Nanotube (CNT) dan Magnesium (Mg). Kegiatan ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Program Studi Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Laboratorium Proses Produksi Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia Paulus dan Laboratorium. Metode yang digunakan merupakan metode metalurgi serbuk dengan menekan campuran serbuk ke dalam cetakan, dengan komposisi serbuk aluminium 5,96 gr, carbon nanotube 0,02 gr, magnesium 0,02 gr dan dilakukan perlakuan panas dengan variasi temperatur sintering 350 °C, 450 °C, 500 °C. Dari hasil penelitian menunjukkan nilai kekerasan tertinggi terjadi pada spesimen temperatur sintering 500 °C dengan nilai 106,8 HR, dan nilai kekerasan terendah terjadi pada spesimen temperatur 27 °C (suhu ruangan) dengan nilai 93,7 HR, pada pengujian porositas dengan nilai porositas tertinggi terjadi pada spesimen temperatur sintering 27 °C (suhu ruangan) dengan nilai 7,9 % dan nilai kekerasan terendah terjadi pada spesimen temperatur sintering 500 °C dengan nilai 5,2 %, pada pengujian struktur makro yaitu semakin tinggi temperatur sintering maka partikel akan mengalami ukuran yang seragam dan kurangnya porositas yang terjadi sehingga nilai kekerasan meningkat

**Kata Kunci:** Kekerasan ,Metalurgi serbuk Al-CNT-Mg, Porositas, Struktur Makro

#### **Abstract**

This research aims to determine the hardness, porosity and macro structure values of Aluminum (Al), Carbon Nanotube (CNT) and Magnesium (Mg) powders. This activity was carried out at the Physical Metallurgy Laboratory of the Ujung Pandang State Polytechnic Mechanical Engineering Study Program, the Production Process Laboratory of the Mechanical Engineering Study Program of the Indonesian Christian University Paulus and the Laboratory. The method used is a powder metallurgy method by pressing the powder mixture into a mold, with a composition of 5.96 gr aluminum powder, 0.02 gr carbon nanotubes, 0.02 gr magnesium and heat treatment with varying sintering temperatures of 350 °C, 450 °C, 500 °C. The research results show that the highest hardness value occurred in the specimen at a sintering temperature of 500 °C with a value of 106.8 HR, and the lowest hardness value occurred in the specimen at a temperature of 27 °C (room temperature) with a value of 93.7 HR, in the porosity test with a porosity value The highest occurred in the specimen with a sintering temperature of 27 °C (room temperature) with a value of 7.9% and the lowest hardness value occurred in the specimen with a sintering temperature of 500 °C with a value of 5.2%. experiencing uniform size and a lack of porosity that occurs so that the hardness value increases.

**Keywords:** Hardness, Powder Metallurgy Al-CNT-Mg, Porosity, Macro Structure

#### **Pendahuluan**

Saat ini teknologi dan ilmu pengetahuan berkembang dengan sangat cepat. Pemanfaatan pada penggunaan logam akan terus berkembang maju dalam berbagai sektor, khususnya dalam bidang industri komponen otomotif. Salah satu pemanfaatan pembuatan komponen otomotif adalah dengan teknologi metode metalurgi serbuk dalam bentuk pengolahan logam. Metode metalurgi serbuk merupakan proses pembentukan produk yang memanfaatkan serbuk logam, selanjutnya ditekan dalam cetakan dan dipanaskan (*sintering*) dibawah titik leleh serbuk untuk membentuk sebuah benda kerja. Produksi metalurgi serbuk ini sangat banyak digunakan pada industri berskala besar, termasuk untuk suku cadang kendaraan seperti pembuatan roda gigi, bearing, blok mesin dan lainnya. Kualitas dari produk akhir yang dihasilkan sangat bergantung pada karakteristik bahan serbuk dan proses pengerjaannya dengan mempertimbangkan sifat mekanik (A.Triadi, dkk, 2022).

Proses komposit merupakan proses yang menggunakan dua kombinasi material atau lebih, dimana pada sifat mekanik dari tiap material pembentuknya berbeda. Komposit bertujuan untuk dapat mengubah karakterisasi sifat dan efisiensi struktur menjadi material yang unggul. Penambahan magnesium terhadap aluminium dan carbon nanotube dalam pembuatan komposit merupakan pendekatan untuk memanfaatkan sifat sifat unik tiap bahan untuk mendapatkan material dengan kinerja yang baik (Agiel S. Prabowo, dkk., 2016).

Aluminium adalah elemen yang paling melimpah di kerak bumi. Aluminium yang murni mempunyai banyak keuntungan untuk digunakan dengan luas pada bidang industri seperti densitas yang lebih rendah, plastisitas yang lebih tinggi, konduktivitas panas dan konduktivitas listrik yang baik. Untuk meningkatkan hasil yang efektif terhadap sifat mekanik dan fisik dari aluminium, maka dibutuhkan unsur lain sebagai pengubah karakteristik yang lebih baik (Andi Kurniawan, 2017). Pada Carbon nanotube (CNT) merupakan struktur nano yang berbentuk tabung dan terbuat dari karbon. Carbon nanotube mempunyai modulus elastisitas yang tinggi, kekuatan yang sangat tinggi serta konduktivitas listrik dan termal yang baik. Penambahan carbon nanotube pada komposit dapat menghasilkan perkembangan signifikan dalam

kekakuan, kekuatan dan konduktivitas termal dan listrik. CNT juga dapat bertindak sebagai penghalang untuk mencegah korosi pada material serta dapat meningkatkan ketahanan korosi komposit (Zhang Wei dkk., 2015).

Serbuk magnesium merupakan material yang paling ringan diantara logam-logam lainnya, karena mempunyai kepadatan rendah, kekuatan spesifik yang tinggi dan sifat termal magnesium yang baik sebagai heat sink sehingga penambahan magnesium terhadap sifat mekanik akan meningkatkan kekerasan dan kekuatan pada material tanpa terlalu mengurangi keuletannya (Rohkana D.P. Permadani, 2018).

### **Prosedur Penelitian**

#### ***Pengukuran Serbuk***

Mengukur masing-masing serbuk menggunakan timbangan digital, yaitu aluminium (Al) dengan massa 5,96 gr, carbon nanotube (CNT) dengan massa 0,02 gr dan magnesium (Mg) dengan massa 0,02 gr.

#### ***Pencampuran (Mixing)***

Setelah melakukan penimbangan selanjutnya serbuk aluminium, carbon nanotube dan magnesium dicampur dengan metode pencampuran kering (*dry mixing*) yang membutuhkan waktu 2 jam menggunakan putaran mesin bubut 56 rpm, dengan komposisi aluminium 99,34 %, carbon nanotube 0,33 %, dan magnesium 0,33 %.

#### ***Penekanan (Compaction)***

Proses kompaksi dilakukan dengan cara pemadatan kering (*dry compaction*) menggunakan bantuan alat hidrolik press. Pemadatan ini memberikan tekanan pada serbuk dan dapat menaikkan ikatan antar butir dan massa jenis dari bahan tersebut, sehingga material lebih memiliki kepadatan yang tinggi. Berikut merupakan tahapan dalam proses pencetakan material, yaitu : 1) Menyiapkan alat dan bahan campuran yang dibutuhkan untuk proses pencetakan; 2) Pastikan hidrolik press berfungsi dengan baik; 3) Bersihkan bagian dalam cetakan menggunakan cairan lilin dan tissu agar terhindar dari kotoran; 4) Bahan yang sudah dicampur dengan massa 6 gram kemudian dimasukkan kedalam cetakan (*die*); 5)Kemudian cetakan diberi tekanan 8 metrik ton menggunakan hidrolik press dengan waktu tahan 1

menit; 6) Setelah mencapai 1 menit hidrolik press dikurangi tekanannya dengan cara membuka katup angin; 7) Kemudian bahan yang sudah ditekan dikeluarkan.



**Gambar 1.** Proses Penekanan (Kompaksi) Spesimen

### **Proses Pemanasan (Sintering)**

Proses pemanasan bertujuan untuk meningkatkan ikatan antar partikel serbuk. Berikut ini adalah tahapan dalam proses *sintering* sebagai berikut : 1) Menyiapkan alat dan spesimen yang ditentukan saat proses sintering; 2) Menyiapkan wadah sebagai tempat specimen; 3) Menyalakan furnace selanjutnya memasukkan spesimen kedalam *furnace*; 4) Mengatur waktu pada furnace yaitu dengan variasi temperatur 350 °C, 450 °C, 500 °C.



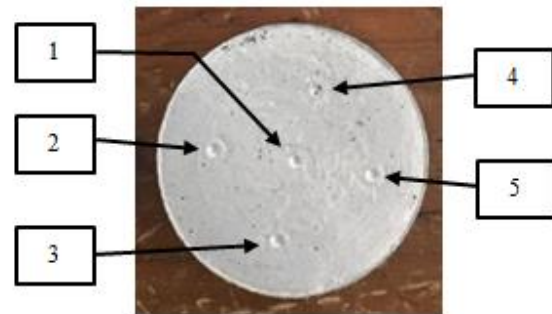
**Gambar 2.** Proses Sintering

### **Prosedur Pengujian**

#### **Pengujian Kekerasan (Rockwell)**

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui hubungan antara temperatur sinter dengan nilai kekerasan material komposit Al-CNT-Mg, serta perbandingan dari beberapa perlakuan spesimen terhadap nilai kekerasan yang dihasilkan. Pengujian ini menggunakan metode rockwell dengan diameter indenter bola baja sebesar 1/16 mm. Standar pengujian yang digunakan adalah *American Society for Testing and Material* (ASTM E-10). Adapun

tahapan dari pengujian kekerasan rockwell antara lain : 1) Mempersiapkan spesimen yang akan di uji; 2) Mempersiapkan alat uji rockwell; 3) Meletakkan benda uji pada landasan, bidang yang akan di uji dipastikan tegak lurus terhadap sumbu memanjang indenter; 4) Tuas pemutar diputar searah jarum jam dan landasan dinaikkan sampai indenter hampir menyentuh benda uji; 5) Diputar secara perlahan sampai lampu indikator alat uji rockwell menyala dengan warna hijau; 6) Untuk memberikan deformasi yang tepat maka beban dibiarkan sekitar 5 detik pada bidang yang di uji; 7) Mencatat angka yang ditunjukkan pada alat uji rockwell; 8) Menurunkan landasan dengan cara memutar handle berlawanan arah jarum jam; 9) Pengambilan data kekerasan dilakukan penitikan sebanyak 5 kali untuk masing-masing spesimen yaitu pada penitikan 1 dilakukan pada bagian tengah spesimen, untuk penitikan 2,3,4,5 dilakukan secara acak dibagian ujung spesimen yang membentuk plus (+) agar diketahui variasi nilai kekerasannya.



**Gambar 3.** Contoh Penitikan pada Spesimen

#### **Prosedur Pengujian Porositas**

Pengujian porositas dilakukan untuk menghasilkan tingkat keporosan dari spesimen. Pengukuran porositas ini digunakan setelah proses *sintering*, dengan langkah-langkah seperti : 1) Spesimen dibersihkan dan dikeringkan, selanjutnya ditimbang untuk mendapatkan massa kering ( $m_1$ ); 2) Spesimen direndam dalam gelas beaker berisi air murni (aquades) selama 24 jam pada suhu ruang agar air dapat mengisi pori pori spesimen; 3) Setelah proses perendaman selesai, selanjutnya spesimen ditimbang untuk mengetahui massa basah ( $m_2$ ).

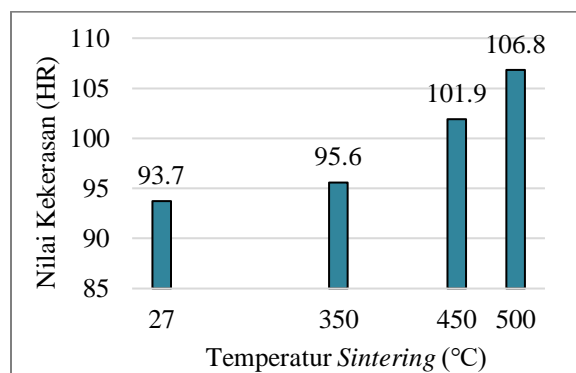
#### **Prosedur Pengujian Makro**

Pengamatan ini bertujuan untuk melihat bentuk dari serbuk yang didapatkan dengan metode mekanik

serta melihat porositas yang terdapat dalam susunan serbuk setelah mengalami proses kompaksi dan sintering. Sebelum dilakukan pengamatan ada beberapa tahap yang harus dilakukan, antara lain : 1) Menyiapkan spesimen yang akan diamati; 2) Mengamplas permukaan spesimen menggunakan amplas 1000 dan 2000 dari kasar sampai halus dengan menggunakan air sehingga menghasilkan permukaan rata dan halus; 3) Membilas permukaan spesimen dengan mengeringkannya; 4) Mengamati permukaan spesimen dan mengambil foto struktur makro yang representative; 5) Mengamati struktur makro dengan komposisi yang terbentuk.

## Hasil dan Pembahasan

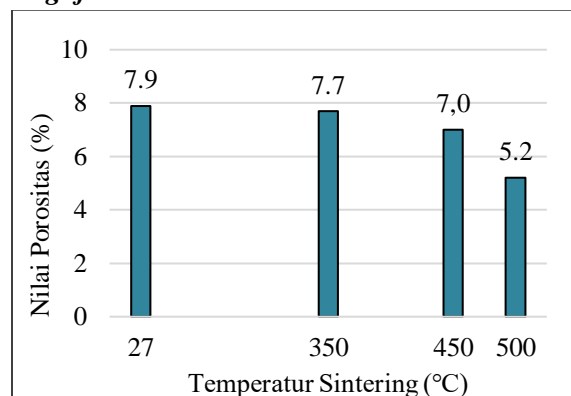
### Pengujian Kekerasan



**Gambar 4.** Grafik Hubungan antara Nilai Kekerasan dan Temperatur Sintering

Dapat dilihat dengan grafik hubungan antara nilai kekerasan dan temperatur sintering, pada spesimen 27 °C (suhu ruangan) memiliki nilai kekerasan 93,7 HR. Pada spesimen kedua dengan temperatur 350 °C memiliki nilai kekerasan 95,6 HR. Pada spesimen ketiga dengan temperatur 450 °C memiliki nilai kekerasan 101,9 HR. Pada spesimen keempat dengan temperatur 500 °C memiliki nilai kekerasan 106,8 HR. Dari gambar 4.1 terlihat bahwa nilai kekerasan yang paling rendah terjadi pada spesimen dengan temperatur 27 °C sebesar 93,7 HR dan nilai kekerasan yang paling tinggi dihasilkan pada spesimen dengan temperatur 500 °C sebesar 106,8 HR. Kekerasan meningkat karena ikatan antar partikel saling mengikat dan efisiensi reaksi tegangan yang tinggi, menyebabkan partikel mengalami pertumbuhan butir dan saling berikatan sehingga terjadi kepadatan yang meningkat.

### Pengujian Porositas

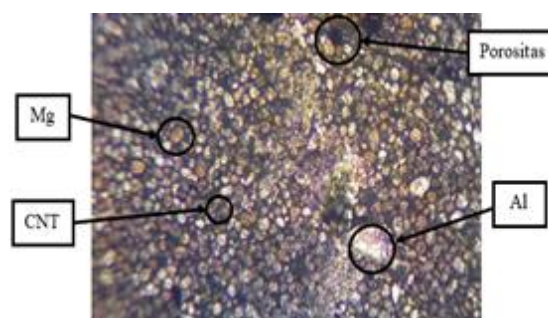


**Gambar 5.** Grafik Hubungan antara Nilai Porositas dan Temperatur Sintering Spesimen

Dapat dilihat dengan grafik hubungan antara nilai porositas dan temperatur sintering, pada spesimen pertama dengan temperatur 27 °C (suhu ruangan) memiliki nilai porositas 7,9 %. Pada spesimen kedua dengan temperatur 350 °C memiliki nilai porositas 7,7 %. Pada spesimen ketiga dengan temperatur 450 °C memiliki nilai porositas 7,0 %. Pada spesimen keempat dengan temperatur 500 °C memiliki nilai porositas 5,2 %. Pada suhu yang cukup tinggi, partikel-partikel logam akan melebur dan mengikat satu sama lain dengan baik dan mengurangi jumlah pori. Dari gambar 4.2 terlihat bahwa nilai porositas tertinggi terjadi pada temperatur 27 °C sebesar 7,9 % dan nilai porositas terendah terjadi pada temperatur 500 °C sebesar 5,2 %.

### Pengujian Struktur Makro

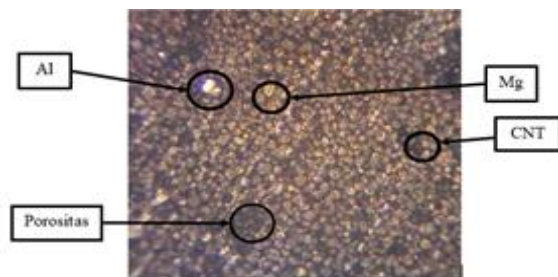
Pada penelitian ini dengan pengujian struktur makro menggunakan lensa 0,25 mm dan pembesaran 200 kali, diketahui bentuk struktur makro pada spesimen normal dapat dilihat pada gambar dibawah ini sebagai berikut :



**Gambar 6.** Foto Struktur Makro Pembesaran 200 x pada Spesimen 27 °C (Suhu Ruangan)

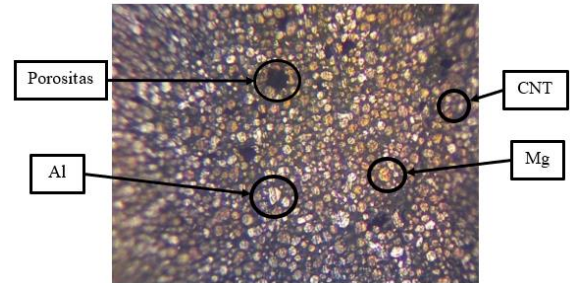


Pada gambar 6 dengan spesimen normal yang menunjukkan, dimana yang berwarna terang adalah Aluminium yang berwarna kekuningan adalah Magnesium dan yang berwarna hitam (menggumpal) adalah *Carbon Nanotube* yang berada diantara celah partikel Al dan Mg. Berdasarkan pengamatan terlihat adanya ukuran partikel aluminium dan magnesium yang berbeda-beda sehingga partikel tidak tersebar secara merata dan berpengaruh pada tingginya nilai porositas dan nilai kekerasan yang rendah. Porositas yang tinggi disebabkan spesimen 27 °C tidak mengalami pemanasan atau (*sintering*), dan juga berpengaruh pada nilai kekerasan yang rendah. Hasil struktur makro menunjukkan banyaknya porositas (ruang kosong) dimana partikel tidak saling mengikat dan belum terbentuk partikel yang homogen.



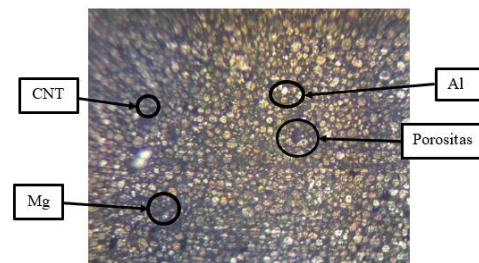
**Gambar 7.** spesimen dengan temperatur *sintering* 350<sup>0</sup>C

Pada spesimen dengan temperatur *sintering* 350 °C terlihat dari struktur makro masih banyak terjadi porositas, kemudian ukuran antar partikel belum mengalami keseragaman yang dapat berpengaruh pada nilai kekerasan yang semakin menurun, ini disebabkan karena spesimen masih mengalami temperatur awal *sintering*. Dimana pada tahap awal proses *sintering* terbentuk ikatan atomik, kontak antara partikel membentuk leher yang tumbuh menjadi batas butir antar partikel. Pertumbuhan akan menjadi semakin cepat dengan adanya kenaikan temperatur *sintering* dan akan membentuk keseragaman ukuran partikel.



**Gambar 7.** Foto Struktur Makro Pembesaran 200 x pada Spesimen dengan Temperatur Sintering 450 °C

Pada spesimen dengan temperatur *sintering* 450°C terlihat proses *sintering* terjadi desifikasi dan pertumbuhan partikel butir kecil mulai larut dan berkumpul dengan butir besar, akomodasi yang menghasilkan pemadatan yang lebih baik. Hasil dari struktur makro menunjukkan pertumbuhan partikel mulai seragam meskipun masih ada beberapa partikel yang menunjukkan ukuran yang lebih besar dan terlihat porositas yang terjadi mulai berkurang, sehingga berpengaruh pada nilai kekerasan yang meningkat.



**Gambar 8.** Foto Struktur Makro dengan Pembesaran 200 x pada Spesimen dengan Temperatur Sintering 500 °C

Pada spesimen dengan temperatur 500 °C proses *sintering* pertumbuhan butir terus berlangsung dengan laju yang lebih rendah. Kemudian pergeseran batas butir terus berlanjut sehingga proses pengurangan porositas akan terjadi. Hasil dari struktu makro menunjukkan bahwa partikel lebih mendekati keseragaman ukuran, meskipun masih terlihat beberapa partikel yang memiliki ukuran yang besar dan hasil dari struktur makro menunjukkan porositas yang semakin menurun sehingga dapat dikategorikan bahwa porositas mencapai ukuran porositas yang semakin kecil, ini disebabkan temperatur *sintering*

yang semakin meningkat. Sehingga akan meningkatkan nilai pada kekerasan material yang semakin tinggi.

### Kesimpulan

Berdasarkan pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa hasil pengaruh variasi temperatur *sintering* terhadap sifat mekanik pada metalurgi serbuk Al-CNT-Mg, yaitu : Temperatur *sintering* terhadap kekerasan material Al-CNT-Mg yaitu pada spesimen 27 °C (suhu ruangan) dengan nilai kekerasan 101,0 HR, pada temperatur *sintering* 350 °C dengan nilai kekerasan tertinggi yaitu 95,6 HR, saat temperatur *sintering* 450 °C dengan nilai kekerasan tertinggi yaitu 101,9 HR, dan pada saat temperatur *sintering* 500 °C dengan nilai kekerasan tertinggi yaitu 106,8 HR. Dari data yang dihasilkan bahwa semakin tinggi temperatur *sintering* maka semakin tinggi nilai kekerasannya.

Temperatur *sintering* berpengaruh terhadap porositas material Al-CNT yaitu pada spesimen 27 °C (suhu ruangan) dengan nilai porositas 6,2 %, pada suhu temperatur *sintering* 350 °C dengan nilai porositas yaitu 7,7 %, saat suhu temperatur *sintering* 450 °C dengan nilai porositas yaitu 7,0 %, dan pada saat suhu temperatur *sintering* 500 °C dengan nilai porositas yaitu 5,2 %. Dari data yang dihasilkan bahwa semakin tinggi temperatur *sintering* maka semakin rendah nilai porositasnya.

Temperatur *sintering* berpengaruh terhadap struktur makro material Al-CNT-Mg, pada spesimen normal terlihat adanya ukuran partikel Aluminium dan Magnesium yang berbeda-beda sehingga partikel tidak tersebar secara merata dan banyaknya porositas (ruang kosong) dimana partikel tidak saling mengikat dan belum terbentuk partikel yang homogen. Pada spesimen temperatur *sintering* 350 °C terlihat dari struktur makro masih banyak terjadi porositas, kemudian ukuran antar partikel belum mengalami keseragaman yang dapat berpengaruh pada nilai kekerasan yang semakin menurun. Pada spesimen temperatur *sintering* 450 °C terlihat proses *sintering* terjadi desifikasi dan pertumbuhan partikel butir kecil mulai larut dan bergabung dengan butir besar, akomodasi yang menghasilkan pemadatan yang lebih baik. Pada spesimen temperatur *sintering* 500 °C

menunjukkan bahwa partikel lebih mendekati keseragaman ukuran, meskipun masih terlihat beberapa partikel yang memiliki ukuran yang besar dan hasil dari struktur makro menunjukkan porositas yang semakin menurun sehingga dapat dikategorikan bahwa porositas mencapai ukuran tertentu.

### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya ditujukan kepada orang tua, saudara, serta semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam proses penelitian ini. Tanpa dukungan kalian, penelitian ini tidak akan dapat diselesaikan dengan baik. Dukungan, doa, dan dorongan yang diberikan sangat berarti. Kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih banyak atas kontribusi dan bantuannya.

### Daftar Pustaka

- Kurniawan, A. (2017). Pengaruh Solution Treatment Terhadap Karakterisasi Komposit ADC12-Mg-Sr/nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- Permadani, R. D. P. (2018). Pengaruh Penambahan Magnesium Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Aluminium 7075 Dengan Metode Gravity Casting.
- Prabowo, A. S., Triyono, T., & Yaningsih, I. (2016). Analisa Pengaruh Penambahan Mg Pada Komposit Matrik Aluminium *Remelting* Piston Berpenguat SiO<sub>2</sub> Menggunakan Metode Stir Casting Terhadap Kekerasan Dan Densitas. *Mekanika*, 15(1).
- Triadi, A. A., Fathony, M. D., & Pandiatmi, P. (2022). Efek Waktu Tahan Sintering dan Komposisi Bahan Terhadap Kekerasan dan Struktur Makro Produk Metalurgi Serbuk. *Energy, Materials and Product Design*, 1(2), 39-45.
- Zhang, W., Xiong, H., Wang, S., Li, M., & Gu, Y. (2015). Electromagnetic characteristics of carbon nanotube film materials. *Chinese Journal of Aeronautics*, 28(4), 1245-1254.