

SKRIPSI

**PENGARUH TEMPERATUR SINTERING TERHADAP
SIFAT FISIS, MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO
PADUAN Al-Cu-Mg BERPENGUAT ALUMINA
MELALUI PROSES METALURGI SERBUK**

Disusun dan diajukan oleh:

**FAHRUL SATYA RAMBA
D021 18 1342**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**PENGARUH TEMPERATUR SINTERING TERHADAP SIFAT FISIS,
MEKANIS, DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN Al-Cu-Mg
BERPENGUAT ALUMINA MELALUI PROSES METALURGI
SERBUK**

Disusun dan diajukan oleh


FAHRUL SATYA RAMBA

D021 18 1342

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal *28 November 2023*
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan


Menyetujui,

Pembimbing Utama




Dr. Ir. Hairul Arsyad, S.T., M.T.
NIP. 197503222002121001

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. Muhammad Syahid, S.T., M.T.
NIP. 197707072005111001

Ketua Program Studi,


Prof. Dr. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T.
NIP. 197208252000031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;
Nama : Fahrul Satya Ramba
NIM : D021181342
Program Studi : Teknik Mesin
Jcnjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Sifat Fisis, Mekanis, Dan Struktur
Mikro Paduan Al-Cu-Mg Berpenguat Alumina Melalui Proses Metalurgi Serbuk}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 29 November 2023

Menyatakan

Fahrul Satya Ramba

ABSTRAK

FAHRUL. *Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Sifat Fisis, Mekanis Dan Struktur Mikro Paduan Al-Cu-Mg Berpenguat Alumina Melalui Proses Metalurgi Serbuk* (dibimbing oleh Dr. Ir. Hairul Arsyad, ST., MT dan Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT)

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh dari temperatur sintering dan komposisi penguat terhadap sifat fisis, mekanis, dan struktur mikro dari paduan komposit Al-Cu-Mg berpenguat Alumina dengan menggunakan metode metalurgi serbuk. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan serbuk penguat Alumina sebesar 1% dan peningkatan suhu sintering 50°C dapat meningkatkan sifat fisis dan mekanis sampel. Hasil pengujian densitas pada sampel menunjukkan peningkatan nilai densitas yang signifikan, nilai terendah yang didapat yaitu 2,318g/cm³ pada temperatur sinter 500°C dengan variasi penambahan serbuk penguat 1% dan nilai densitas tertinggi didapat pada temperatur sinter 600°C dengan penambahan serbuk penguat 2% yaitu sebesar 2,726g/cm³. Pada pengujian porositas terjadi penurunan nilai porositas yang dimana porositas tertinggi didapat pada sampel dengan fraksi volume Al₂O₃ 1% dengan suhu sinter 500°C yaitu sebesar 9,46%, sedangkan nilai porositas terendah didapat pada sampel dengan fraksi volume Al₂O₃ 2% dengan suhu sinter 600°C yaitu sebesar 7,04%. Pada pengujian kekerasan terjadi peningkatan nilai yang signifikan pada tiap sampel, nilai kekerasan terendah yang diperoleh yaitu sebesar 50,6HV pada sampel dengan fraksi volume Al₂O₃ 1% dan suhu sinter 500°C, sedangkan nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada sampel dengan fraksi volume Al₂O₃ 2% dan suhu sinter 600°C yaitu sebesar 62,9HV. Hasil uji keausan menunjukkan nilai laju aus tertinggi terjadi pada sampel dengan fraksi volume Al₂O₃ 1% dengan suhu sinter 500°C yaitu sebesar 0,597mm³/m dan nilai laju aus terendah terjadi pada sampel dengan fraksi volume Al₂O₃ 2% dan suhu sinter 600°C yaitu sebesar 0,235mm³/m. Dari pengujian mikrostruktur dapat dilihat hasil dari struktur mikro material komposit paduan Al-Cu-Mg berpenguat Alumina masih terdapat banyak porositas pada suhu sintering 500°C, dan pori semakin mengecil seiring dengan meningkatnya suhu sintering, terlihat pula bentuk partikel yang membesar akibat terjadinya penyatuan butir dan penyusutan pori.

Kata Kunci: Metalurgi Serbuk, Komposit, Al-Cu-Mg, Alumina

ABSTRACT

FAHRUL. *Effect of Sintering Temperature on Physical, Mechanical and Microstructure Properties of Aluminum Oxide Reinforced Al-Cu-Mg Alloy Through Powder Metallurgy Process (supervised by Dr. Ir. Hairul Arsyad, ST., MT and Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT)*

This study aims to analyze the effect of sintering temperature and reinforcement composition on the physical, mechanical, and microstructure properties of Aluminum Oxide-reinforced Al-Cu-Mg composite alloys using the powder metallurgy method. The research method used is the experimental method.

The results of this study indicate that the addition of Alumina reinforcing powder of 1% and an increase in sintering temperature of 50 °C can improve the physical and mechanical properties of the sample. The results of density testing on the sample show a significant increase in density value, the lowest value obtained is 2.318g/cm³ at a sinter temperature of 500 °C with a variation of 1% reinforcing powder addition and the highest density value obtained at a sinter temperature of 600 °C with the addition of 2% reinforcing powder which is 2.726g/cm³. In porosity testing, there is a decrease in porosity value where the highest porosity is obtained in samples with 1% Al₂O₃ volume fraction with a sinter temperature of 500 °C, which is 9.46%, while the lowest porosity value is obtained in samples with 2% Al₂O₃ volume fraction with a sinter temperature of 600 °C, which is 7.04%. In the hardness test, there was a significant increase in the value of each sample, the lowest hardness value obtained was 50.6HV in the sample with 1% Al₂O₃ volume fraction and 500 °C sinter temperature, while the highest hardness value was obtained in the sample with 2% Al₂O₃ volume fraction and 600 °C sinter temperature, which amounted to 62.9HV. The wear test results show that the highest wear rate value occurs in the sample with 1% Al₂O₃ volume fraction and 500 °C sinter temperature, which is 0.597mm³/m and the lowest wear rate value occurs in the sample with 2% Al₂O₃ volume fraction and 600 °C sinter temperature, which is 0.235mm³/m. From the microstructure testing, it can be seen that the results of the microstructure of Alumina-reinforced Al-Cu-Mg alloy composite materials still have a lot of porosity at a sintering temperature of 500 °C, and the pores are getting smaller as the sintering temperature increases, it can also be seen that the particle shape is enlarged due to grain coalescence and pore shrinkage.

Keywords: Powder Metallurgy, Composite, Al-Cu-Mg, Aluminum Oxide

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
KATA PENGANTAR	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan penelitian.....	7
1.4 Manfaat Penelitian.....	7
1.5 Batasan Masalah.....	8
1.6 Sistematika Penulisan.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Komposit	10
2.1.1 Penguat (Reinforcement).....	11
2.1.2 Matriks.....	11
2.2 Metal Matrix Composite (MMC).....	14
2.3 Aluminium Matrix Composite (AMC)	16
2.3.1 Aluminium.....	17
2.3.2 Unsur-unsur Paduan Aluminium	18
2.3.3 Paduan Aluminium – Tembaga (Seri 2xxx).....	19
2.3.4 Paduan Aluminium – Magnesium (Seri 5xxx).....	19
2.4 Metalurgi Serbuk.....	21
2.4.1 Temperatur Sinter	26
2.4.2 Waktu Tahan Sinter	27
2.4.3 Perhitungan Fraksi Komposisi dan Fraksi Massa.....	27

2.5 Uji Sifat Fisis, Sifat Mekanis dan Struktur Mikro	29
2.5.1 Sifat Fisis	29
2.5.2 Sifat Mekanis.....	30
2.5.3 Analisa Struktur Mikro.....	32
BAB III METODE PENELITIAN.....	35
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	35
3.2 Alat dan Bahan	35
3.2.1 Alat	35
3.2.2 Bahan.....	39
3.3 Cara Kerja	41
3.3.1 Persiapan Alat dan Bahan.....	41
3.3.2 Penentuan Fraksi Komposisi dan Fraksi Massa	41
3.3.3 Pencampuran (Mixing).....	42
3.3.4 Pencetakan Sampel.....	42
3.3.5 Sintering.....	43
3.4 Pengujian Sampel.....	44
3.4.1 Pengujian Densitas dan Porositas	44
3.4.2 Pengujian Kekerasan (Vickers)	46
3.4.3 Pengujian Laju Keausan	46
3.4.4 Pengujian Struktur Mikro	47
3.4.5 Pengujian SEM.....	47
3.5 Diagram Alir Penelitian	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	50
4.1 Pengaruh Komposisi dan Temperatur Sintering Terhadap Sifat Fisis Paduan Al-Cu-Mg Berpenguat Al_2O_3	50
4.1.1 Densitas	50
4.1.2 Porositas.....	52
4.2 Pengaruh Komposisi dan Temperatur Sintering Terhadap Sifat Mekanis Paduan Al-Cu-Mg Berpenguat Al_2O_3	55
4.2.1 Kekerasan (Hardness).....	55
4.2.2 Laju Keausan	58
4.3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro.....	60

4.3.1 Pengujian Metalografi	60
4.3.2 Pengujian SEM	62
BAB V PENUTUP	64
5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Ilustrasi reinforcement (Van Vlack,1985).....	11
Gambar 2 Matriks dari beberapa tipe komposit	13
Gambar 3 Klasifikasi komposit berdasarkan bentuk dari matriks	13
Gambar 4 Skematis proses pembuatan MMC (Clyne, 2001)	15
Gambar 5 Klasifikasi MMC berdasarkan metode Preparasi MMC (Kumar et al., 2020)	16
Gambar 6 Diagram Fasa Al-Mg (Kaya, 2009).....	20
Gambar 7 Tiga tahapan utama dalam metalurgi serbuk (German,1994)	21
Gambar 8 Penekan (<i>punch</i>) (Samlawi & Siswanto, 2016)	23
Gambar 9 Ilustrasi pertumbuhan ikatan antar partikel sampel selama proses sinter (German, 1994)	25
Gambar 10 Contoh-contoh produk powder metallurgy, (a) Brake Rotor untuk Kereta Kecepatan Tinggi, (b) AutomotiveBraking Sistem, (c) Automotive pushrods dan (d) Cores untuk Kawat Listrik High Voltag (Suk-Joong, 2005).....	26
Gambar 11 Prinsip pengujian keausan.....	32
Gambar 12 Mikroskop optic logam (Lab, Metalurgi Fisik UNHAS)	33
Gambar 13 Skema Prinsip Dasar SEM (Leng, 2008)	34
Gambar 14 Neraca Digital	35
Gambar 15 Wadah, spatula dan plastik.....	36
Gambar 16 Cetakan Spesimen	36
Gambar 17 Blender	36
Gambar 18 Pompa penekan hidrolik.....	37
Gambar 19 Furnace	37
Gambar 20 Kertas gosok.....	37
Gambar 21 Jangka sorong.....	38
Gambar 22 Vickers hardness tester.....	38
Gambar 23 Mesin uji aus pin on disc.....	38
Gambar 24 Beaker glass.....	39
Gambar 25 Mikroskop optic	39
Gambar 26 Alat Scanning Electron Microscope (Fakultas Teknik Sipil UMI).....	39
Gambar 27 Al powder (Aluminium).....	40

Gambar 28 Cu powder (Tembaga).....	40
Gambar 29 Mg powder (Magnesium).....	40
Gambar 30 Al ₂ O ₃ powder (Alumina).....	41
Gambar 31 Asam stearat	41
Gambar 32 Flowchart penelitian.....	49
Gambar 33 Grafik Nilai Densitas.....	52
Gambar 34 Grafik Nilai Porositas.....	54
Gambar 35 Grafik Nilai Kekerasan.....	57
Gambar 36 Grafik Nilai Laju Keausan	59
Gambar 37 Mikrostruktur Paduan 92,5%Al-4,5%Cu-1%Mg-2%Al ₂ O ₃ (a) Green Compact (b) Sintered Compact 500°C (c) Sintered Compact 550°C (d) Sintered Compact 600°C	61
Gambar 38 Struktur mikro komposit paduan 93.5%Al-4.5%Cu-1%Mg-1%Al ₂ O ₃ temperatur 500°C (a) perbesaran 100 μm (b) perbesaran 20 μm.....	62
Gambar 39 Struktur mikro komposit paduan 93.5%Al-4.5%Cu-1%Mg-1%Al ₂ O ₃ temperatur 600°C (a) perbesaran 100 μm (b) perbesaran 20 μm.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jenis Aluminium Paduan dan Seri Penamaan (Cantor,2004)	19
Tabel 2. Jumlah Fraksi Komposisi dan Massa Material Bahan Baku.....	42
Tabel 3. Tabulasi Nilai Densitas	51
Tabel 4. Tabulasi Nilai Porositas	53
Tabel 5. Tabulasi Nilai Kekerasan	56
Tabel 6. Tabulasi Nilai Laju Aus	58

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
Al	Aluminium
Mg	Magnesium
Cu	<i>Copper</i> (Tembaga)
Al ₂ O ₃	<i>Aluminium Oxide</i> (Alumina)
HV	<i>Hardness Vickers</i>
gr	<i>Gram</i>
wt%	<i>Weight percent</i>
°C	Derajat Celsius
cm ³	<i>cubic centimeter</i>
SP	Spesimen
mm ³	<i>cubic millimeter</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel data pengujian.....	72
Lampiran 2 Dokumentasi kegiatan penelitian.....	74

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, serta kesempatan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“PENGARUH TEMPERATUR SINTERING TERHADAP SIFAT FISIS, MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN AL-Cu-Mg BERPENGUAT ALUMINA MELALUI PROSES METALURGI SERBUK”** yang mana merupakan salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) bagi mahasiswa Program S1 di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Selama proses pengerjaan skripsi ini penulis menerima begitu banyak bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, ayahanda Amran Hasan dan ibunda Asriyanti Biantong, juga kepada saudara Aditya Amran dan Nuranti Adelia Amran yang selalu mendukung baik dengan materil juga dengan doa dan semangat.
2. Bapak Dr. Ir. Hairul Arsyad, ST., MT selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membantu baik dalam penulisan maupun pemikiran pada skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT dan kepada Bapak Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT selaku Ketua Departemen dan Sekertaris Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta staff dalam membantu administrasi dalam pengurusan tugas akhir ini.
4. Yth. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membimbing dan membagikan ilmu kepada penulis.
5. Kak Tomi, ST., MT yang membantu penulis dalam pengambilan data penelitian dan konsultasi langsung jika terdapat masalah di dalam saat penelitian berlangsung.
6. Teman-teman Teknik Mesin 2018 (REACTOR'18) seperjuangan kader dari maba botak-botak hingga melewati masa gondrong dan sekarang udah mahasiswa tingkat akhir, dimana telah memberi bantuan dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir penulis.

7. Aqilah Syahraturun Nisa yang telah berkontribusi banyak dalam membantu dan mendukung serta memberikan dorongan kepada penulis, meluangkan banyak tenaga, pikiran, dan waktu dalam menyelesaikan skripsi ini. Terimakasih telah menjadi bagian hidup dari penulis hingga saat ini.
8. Teman-teman asisten dan mahasiswa S2 di Laboratorium Metalurgi Fisik yang telah banyak membantu dan mendukung penulis dalam penelitian ini.
9. Teman-teman TEKNIK 2018 yang dengan lawakan, candaan yang selalu memberikan hati yang ceria hingga stress mengerjakan skripsi terobati
10. Teman-teman PONSUR, ETUS, DAN OTIG yang selalu memberikan dukungan dan doa pada pengerjaan penelitian ini dan bahkan memberikan makanan saat perut keroncongan pada saat pengerjaan revisi.
11. Adik Nodul yang selalu memberikan dukungan pada pengerjaan penelitian ini.
12. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan walaupun telah menerima bantuan dari berbagai pihak, apabila terdapat kesalahan baik dalam penulisan maupun dalam pengambilan data sepenuhnya adalah tanggung jawab penulis. Karena itu, penulis memohon saran dan kritikan yang sifatnya membangun demi menyempurnakan skripsi ini.

Gowa, 05 November 2023

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Belakangan ini penggunaan dan pemanfaatan material komposit semakin berkembang seiring dengan meluas dan meningkatnya penggunaan bahan tersebut mulai dari penggunaan yang sederhana seperti peralatan rumah tangga sampai industri berskala besar. Komposit mempunyai keunggulan tersendiri dibandingkan dengan bahan teknik alternatif lain seperti kuat, ringan, tahan korosi, ekonomis dan sebagainya.

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Komposit dengan matriks logam aluminium merupakan salah satu material komposit yang banyak dikembangkan di industri (BS Hadilaksa. 2019).

Perkembangan komposit khususnya pada *metal matrix composite* (MMC) saat ini banyak dilakukan riset dan dikembangkan di bidang otomotif maupun industri manufaktur. Dalam pembentukannya, MMC dapat diperoleh melalui berbagai metode, salah satunya adalah metalurgi serbuk. Proses metalurgi serbuk dikelompokkan dalam empat tahapan dasar proses, yaitu identifikasi serbuk, blending, compresing dan sintering. Meningkatnya kebutuhan komponen yang ringan, kuat dan memiliki ketangguhan, maka diperlukan material baru. Salah satunya adalah MMC. MMC adalah komposit dengan matrik logam aluminium yang diperoleh melalui proses metalurgi serbuk. Komposisi penyusun MMC adalah matrix, penguat dan wetting agent. Negara maju seperti India dan Cina banyak menggunakan proses metalurgi serbuk untuk aplikasi komponen otomotif, seperti brake, drum brake, engine piston dan cylinder liner. Aluminium sebagai matrik memiliki sifat yang ringan, ketahanan korosi dan konduktifitas termal yang tinggi. Sedangkan sebagai penguat digunakan alumina (Al_2O_3). Alumina memiliki sifat keras, tahan aus, kekakuan tinggi dan mempunyai ketahanan termal yang tinggi,. Apabila dua material yang mempunyai keunggulan masing-masing digabungkan, maka akan didapatkan komposit yang memiliki ketahanan korosi tinggi, ringan

serta machinability yang baik (Fahmi Azis.dkk. 2012).

MMC (*Metal matrix composites*) adalah logam yang diperkuat dengan logam lain, keramik atau senyawa organik. Mereka dibuat dengan menyebarkan bala bantuan dalam matriks logam. Penguatan biasanya dilakukan untuk meningkatkan sifat-sifat logam dasar seperti kekuatan, kekakuan, konduktivitas, dll. Aluminium dan paduannya telah menarik perhatian paling besar sebagai logam dasar dalam komposit matriks logam (McDanel. 1985).

Seiring dengan perkembangan zaman material semakin banyak digunakan dalam industri. Ketersediaan material konvensional berbasis logam yang kuantitas dan kualitasnya masih terbatas memunculkan pemikiran untuk pengembangan material baru yang memiliki kualitas tinggi. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah pembuatan material melalui proses metalurgi serbuk (Rusianto. 2009).

Metalurgi serbuk merupakan salah satu teknik produksi dengan menggunakan serbuk sebagai material awal sebelum proses pembentukan kemudian di sinter yaitu proses konsolidasi serbuk pada temperatur tinggi yang di dalamnya termasuk juga proses penekanan atau kompaksi, sehingga partikel-partikel logam memadu karena mekanisme transportasi massa akibat difusi atom antar permukaan partikel (Olahanmi et al. 2015). Proses metalurgi serbuk relatif lebih baru dan memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan proses pengecoran logam.

Beberapa peneliti telah mengembangkan teknik tersebut untuk menyelidiki sifat-sifat dari produk logam menggunakan bahan baku berbeda. Cristofilini dkk. (2018) telah melaporkan bahwa sifat fisik dan mekanik dari baja paduan rendah (low alloy steel) hasil metalurgi serbuk meningkat, dikarenakan pengikatan partikel yang halus pada baja terjadi pada suhu di bawah temperatur kritis. Montes dkk. (2018) melaporkan bahwa produk logam campuran cobalt (Co) dan tungsten (W) dengan penambahan grafit melalui proses metalurgi serbuk dapat meningkatkan ikatan partikel dan kualitas bantalan logam. Safrudin dkk. (2014) telah menyelidiki efek temperatur dan waktu tahan sintering terhadap sifat kekerasan metal matrix composite dari tungsten (W)-cuprum (Cu) melalui proses metalurgi serbuk. Mereka melaporkan bahwa kekerasan tertinggi sebesar 34,7 HBN diperoleh pada temperatur dan waktu sintering masing-masing 900°C dan 2 jam, serta kekuatan tekan paling tinggi sebesar 156,71 MPa pada temperatur dan waktu sintering

masing-masing 800°C dan 3 jam. Sedangkan, Mustika dkk. (2011) telah membuat komposit dari serpihan AC8A cor sebagai matrik dan partikel keramik SiC sebagai penguat dengan metode metalurgi serbuk dengan hot pressing. Mereka melaporkan bahwa kekerasan dan kuat tekan dari ACS8/SiCp lebih tinggi dibandingkan ingot AC8A hasil cor.

Boland et al., (2013) meneliti pengaruh dari suhu sintering, waktu sintering dan tekanan kompaksi serta penambahan unsur timah ke dalam logam paduan terhadap struktur mikro dari paduan Aluminium-tembaga-magnesium yang dikerjakan dengan metode metalurgi serbuk. C.D. Boland menggunakan variasi temperatur sintering antara 560°C hingga 630°C serta waktu sintering antara 1 hingga 100 menit dengan tekanan kompaksi 100 MPa hingga 500 MPa. Material dicampur selama 30 menit dengan ukuran sampel 31.7 x 12.7 x 10 mm. Hasil terbaik setelah pengujian densitas terjadi pada saat tekanan kompaksi 400 Mpa dan suhu sintering 600°C selama 20 menit dengan penambahan Timah (Sn) pada paduan Al-Cu-Mg. Rodríguez-Cabriales et al., (2020) juga melakukan penelitian yang hampir sama yaitu dengan meneliti paduan Al-Cu-Mg yang berpenguat Tungsten Karbida yang diberikan variasi waktu pengadukan dan suhu sintering terhadap struktur mikro dengan menggunakan pengujian XRD, SEM dan mesin pengujian kekerasan Vickers. Waktu pengadukan di set selama 3 dan 5 jam serta temperatur sintering pada 450°C, 500°C, dan 550°C. Hasilnya yang diperoleh adalah terdapat pengaruh yang kuat antara lama pencampuran sampel dan temperatur sintering terhadap distribusi partikel, morfologi fasa serta densitas. Sampel dengan kualitas terbaik yang digiling selama 3 jam dan disinter pada suhu 450°C dengan menunjukkan hasil porositas paling rendah, material reinforcement tersebar secara homogen, serta terbentuk ikatan yang kuat pada interface dan matriks Al-Cu-Mg. Suwanda, (2006) juga melakukan penelitian dengan metalurgi serbuk terhadap matriks aluminium dengan memvariasikan tekanan kompaksi, temperatur sintering dan waktu sintering. Hasilnya dengan variabel tekanan kompaksi, temperatur sintering dan waktu sintering dapat berpengaruh secara simultan terhadap kekerasan aluminium metalurgi serbuk. Tercatat untuk matriks aluminium memiliki kekerasan tertinggi pada tekanan kompaksi 162 – 170 MPa, temperatur sintering sebesar 500°C serta waktu sinter paling optimum antara 40 hingga 50 menit.

Alumina (Al_2O_3) berbentuk kristal berwarna putih adalah salah satu material penyusun bumi, alumina murni dapat diperoleh dengan memurnikan bauxit dengan proses kalsinasi. Alumina merupakan salah satu jenis keramik yang mempunyai sifat fisik stabil, tahan panas dan tahan korosi. Keunggulan sifat-sifat alumina lainnya adalah keras, ketahanan kimia dan ketahanan listrik yang baik. Alumina diproduksi dalam skala besar dan dengan harga relatif murah. Dengan keunggulan sifat - sifat tersebut alumina banyak digunakan pada komponen permesinan seperti alat potong, pompa, turbin gas, katup-katup dan digunakan dalam berbagai bidang, diantaranya pada industri metalurgi (bahan refraktori, batu tahan api, isolasi penguat) serta komponen elektronika yaitu sebagai isolator rangkaian sirkuit (Barsoum, 1997). Aluminium Oksida atau biasa dikenal dengan nama Alumina (Al_2O_3) adalah penguat utama dalam penelitian ini. Alumina juga salah satu jenis penguat yang cukup banyak digunakan dalam aplikasi di industri. Alumina mempunyai stabilitas thermal yang lebih baik pada suhu tinggi. Selain itu, Aluminium oksida adalah salah satu jenis penguat yang banyak digunakan dalam komposit matriks aluminium (AMC) dikarenakan aluminium oksida yang bersifat keras, sangat tahan terhadap sifat basa dan asam, memungkinkan diaplikasi dalam suhu yang sangat tinggi dan memiliki ketahanan aus yang sangat baik (Tok et al., 2006). Abbass & Sultan, (2019) melakukan penelitian terhadap paduan Aluminium (Al-4.5wt% Cu-1.5wt% Mg) dengan menggunakan variasi berat Al_2O_3 yaitu sebanyak 1, 3, dan 5% berat nanopartikel dengan metode metalurgi serbuk. Abbass & Sultan membandingkan kekerasan dan ketahanan korosi dari variasi penambahan Alumina (1,3, dan 5 wt%) dengan penambahan alumina. Hasilnya menunjukkan semakin banyak jumlah volume komposisi alumina maka akan semakin bertambah kekerasan dan ketahanan korosi dari paduan komposit. Pitchayyapillai et al., (2016) juga melakukan dengan menambahkan variasi penguat alumina sebesar 4, 8, dan 12 % dan molybdenum disulphide sebanyak 2, 4, dan 6 % menggunakan metode *Stir Casting*. Hasil yang sama pun ditunjukkan dengan meningkatnya sifat mekanis yaitu kekerasan dan kekuatan tarik komposit paduan seiring dengan meningkatnya fraksi berat alumina. Dan terakhir, ada juga Zabihi et al., (2013) juga memvariasikan fraksi berat Alumina yaitu 2, 4, 6, dan 10% ke dalam komposit matriks aluminium menggunakan kombinasi metode Metalurgi serbuk,

Mechanical Milling dan *Vacuum Hot Pressing*. Hasil yang sama pun terjadi yaitu dengan meningkatnya nilai kekerasan serta kekuatan tarik dari komposit.

Rahimian et al., (2009) juga telah melakukan penelitian terhadap Alumunium berpenguat alumina dengan menggunakan variasi ukuran partikel Alumina yaitu 3, 12, dan 48 μm , temperatur sintering (500°C - 600°C) dan waktu sintering (30 – 90 menit). Berdasarkan penelitiannya, ditemukan sebuah korelasi antara struktur mikro serta sifat mekanik terhadap variabel yang diteliti. Kemudian disimpulkan bahwa dengan semakin kecil ukuran partikel alumina maka densitas material akan meningkat serta tingkat porositas akan semakin rendah dan tingkat kekerasan paling tinggi. Akan tetapi hasil penelitian dari ukuran partikel berbanding terbalik dengan waktu sintering, dimana pada waktu sintering selama 90 menit, terjadi pengkasaran butir dan pengurangan densitas dibandingkan dengan sampel dengan waktu sintering selama 45 menit dan temperatur sintering sebesar 600°C yang menghasilkan kekerasan tertinggi. Pengaruh fraksi volume Alumina (Al_2O_3) dan beban pemadatan terhadap sifat fisis Alumunium berpenguat Alumina juga telah diteliti oleh peneliti lainnya. Nuruzzaman et al., (2015) melakukan percobaan dengan membuat tiga sampel matriks alumunium-alumina dengan variasi kandungan Al_2O_3 sebesar 10%, 20%, dan 30% serta variasi tekanan pemadatan sebesar 15 dan 20 ton. Hasilnya, dengan peningkatan beban pemadatan dari 15 ton menjadi 20 ton, terjadi peningkatan densitas. Pada peningkatan fraksi fraksi volume Alumina, densitas juga mengalami peningkatan tetapi setelah mengalami proses sintering, densitas sampel dengan beban kompaksi 20 ton lebih kecil daripada dengan beban 15 ton. Hal yang berbeda ditunjukkan pada saat pengujian kekerasan dengan alat uji kekerasan Rockwell. Terlihat sampel dengan beban kompaksi 20 ton memiliki kekerasan rata-rata lebih tinggi daripada sampel dengan beban kompaksi 15 ton.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang dilakukan sebelumnya, cukup banyak peneliti yang melakukan eksperimen tentang efek temperatur sintering serta variasi komposisi penguat yaitu Alumina terhadap serbuk logam Alumunium yang menjadi sampel matriks dengan metode fabrikasi metalurgi serbuk. Hanya saja, masih jarang peneliti yang melakukan penelitian terhadap paduan Al-Cu-Mg dengan berpenguat Alumina. Padahal menurut Rodríguez-Cabrales et al., (2020) dan Zlaticanin et al.,

(2004), paduan Al-Cu-Mg telah banyak digunakan dalam industri kedirgantaraan dan juga fabrikasi bagian struktur dalam industri transportasi. Namun pengembangan dari material ini merupakan tantangan dalam ilmu material yang cukup menjanjikan untuk saat ini. Komposit matriks aluminium (AMC) telah banyak digunakan dipelajari karena kepadatannya yang rendah, fisiknya yang baik dan sifat mekanik, ketahanan korosi yang baik, konduktivitas termal dan listrik yang tinggi (Khichadi, Lande & Pathan, 2016). Penambahan penguat ke dalam Komposit matriks aluminium (AMC) dapat meningkatkan kekakuan, kekuatan spesifik, sifat keausan, mulur dan kelelahan dibandingkan dengan bahan rekayasa konvensional (Ramnath et al., 2014).

Dari beberapa referensi penelitian yang dilakukan peneliti-peneliti sebelumnya, maka penelitian mengenai efek temperatur sintering dan variasi tekanan kompaksi pada komposit matriks aluminium (AMC) dengan berpenguat Aluminium Oksida memiliki potensi yang cukup menjanjikan serta memiliki peluang yang sangat besar untuk diaplikasikan dalam dunia industri. Maka hal ini mendasari peneliti untuk melakukan penelitian yang berjudul **“PENGARUH TEMPERATUR SINTERING TERHADAP SIFAT FISIS, MEKANIS, DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN Al-Cu-Mg BERPENGUAT ALUMINA MELALUI PROSES METALURGI SERBUK”**. Penulis berharap proposal penelitian ini dapat menjadi pertimbangan dalam meneliti teknologi fabrikasi dengan menggunakan metode metalurgi serbuk.

1.2 Rumusan Masalah

Dari analisis di atas maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan terkait dengan penelitian yang akan dilakukan:

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur sintering dan komposisi penguat terhadap sifat fisis (densitas dan porositas) dari komposit Al-Cu-Mg berpenguat Alumina (Al_2O_3) menggunakan metode metalurgi serbuk ?
2. Bagaimana hubungan antara variasi temperatur sintering dan komposisi penguat terhadap kekerasan dan ketahanan aus komposit ?
3. Bagaimana struktur mikro hasil variasi temperatur sintering dan komposisi penguat terhadap produk akhir ?

1.3 Tujuan penelitian

Setelah mengetahui latar belakang dan rumusan masalah diatas, adapun tujuan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh dari temperatur sintering dan komposisi penguat terhadap sifat fisis (densitas dan porositas) dari paduan komposit Al-Cu-Mg berpenguat Alumina menggunakan metode metalurgi serbuk.
2. Menganalisa hubungan antara variasi temperatur sintering dan komposisi penguat dengan kekerasan dan ketahanan aus komposit.
3. Menganalisa struktur mikro hasil dari variasi temperatur sintering dan komposisi penguat terhadap produk akhir.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat berkontribusi dalam perkembangan ilmu dan teknologi manufaktur bidang rekayasa material khususnya komposit.
2. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan pertimbangan ataupun acuan dalam memilih temperatur sintering dan komposisi penguat alumina (Al_2O_3) dalam proses metalurgi serbuk.

1.5 Batasan Masalah

Agar tujuan yang diinginkan dapat dicapai dengan maksimal, maka penelitian ini dibatasi beberapa hal yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian hanya menggunakan variasi temperatur sintering dan komposisi penguat sebesar 1% dan 2% terhadap material komposit.
2. Serbuk uji yang digunakan adalah Alumunium, Tembaga, Magnesium, dan Alumina.
3. Ukuran butir Alumunium, Tembaga, Magnesium dan Alumina dianggap konstan.
4. Temperatur pre-sinter konstan yaitu 200°C dengan waktu penahanan 30 menit.
5. Waktu Sintering yang diaplikasikan selama 60 menit dengan variasi temperatur 500°C, 550°C, 600°C.
6. Tekanan kompaksi yang digunakan adalah 4,5 ton metric.
7. Pengujian sifat fisis hanya dibatasi pada pengujian densitas dan pengujian porositas.
8. Pengujian sifat mekanis hanya dibatasi pada pengujian kekerasan (Vickers) dan pengujian keausan (*Abrasive Test*).
9. Karakterisasi metalografi dengan Mikroskop optic *Olympus LEXT 3D Measuring Laser Microscope OLS4100* dan *Scanning Electron Microscope*.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I : Pendahuluan

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisikan tentang landasan teori dan tinjauan pustaka dari penelitian-penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya yang berhubungan dengan tema penelitian dan dasar-dasar teori yang mendukung penelitian.

BAB III : Metode Penelitian

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tempat, metode pengumpulan data, alat dan bahan yang digunakan, diagram alir penelitian serta prosedur penelitian.

BAB IV : Hasil dan Pembahasan

Dalam bab ini berisikan tentang pembahasan dari hasil penelitian disertai dengan tabel dan grafik yang didapat selama melakukan pengambilan data.

BAB V : Penutup

Pada bab ini berisi mengenai kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan serta saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

Material komposit adalah material yang terbuat dari dua bahan atau lebih yang tetap terpisah dan berbeda dalam level makroskopik selagi membentuk komponen tunggal sehingga dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Komposit bersifat heterogen dalam skala makroskopik. Bahan penyusun komposit tersebut masing-masing memiliki sifat yang berbeda dan ketika digabungkan dalam komposisi tertentu terbentuk sifat-sifat baru yang disesuaikan dengan keinginan (Krevelen, 1994). Komposit pada dunia industri merupakan campuran antara polimer (bahan makromolekul dengan ukuran besar yang diturunkan dari minyak bumi ataupun bahan alam lainnya seperti karet dan serat). Dapat dikatakan bahwa komposit adalah gabungan antara bahan matrik atau pengikat yang diperkuat. Bahan material terdiri dari dua bahan penyusun, yaitu bahan utama sebagai pengikat dan bahan pendukung sebagai penguat. Bahan penguat dapat dibentuk serat, partikel, serpihan atau dapat berbentuk yang lain (Surdia, 1992). Bentuk (dimensi) dan struktur penyusun komposit akan mempengaruhi karakteristik komposit, begitu pula jika terjadi interaksi antara penyusun akan meningkatkan sifat dari komposit. Material komposit terdiri lebih dari satu tipe material dan dirancang untuk mendapatkan kombinasi karakteristik terbaik dari setiap komponen penyusunnya. Dibanding dengan material konvensional, bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya memiliki kekuatan yang dapat diatur, berat yang lebih ringan, kekuatan dan ketahanan yang lebih tinggi, tahan korosi, dan tahan terhadap keausan (Bishop dan Smallman, 2000). 6 Institut Teknologi Nasional Pada umumnya dalam proses pembuatannya melalui pencampuran yang homogen, sehingga kita leluasa merencanakan kekuatan material komposit yang kita inginkan dengan mengatur komposisi dari material pembentuknya.. Komposit merupakan gabungan antara bahan matriks atau pengikat dengan penguat (Mehta, 1986).

2.1.1 Penguat (Reinforcement)

Reinforcement (penguat) adalah salah satu bagian utama dari komposit yang berperan untuk menahan beban yang diterima oleh material komposit sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari penguat yang digunakan. Bahan penguat biasanya kaku dan tangguh. Bahan penguat yang umum digunakan adalah jenis partikel, serat serat alam, serat karbon, serat gelas dan keramik. Ilustrasi penguat (reinforcement) seperti gambar 1.



Gambar 1 Ilustrasi reinforcement (Van Vlack,1985)

Jenis-jenis material komposit berdasarkan penguatnya dibagi menjadi 3 yaitu:

- a. Komposit serat merupakan komposit yang terdiri dari serat dan bahan dasar yang difabrikasi, misalnya serat dan resin sebagai perekat.
- b. Komposit berlapis (laminated composite) merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabungkan menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakteristik khusus. Contohnya polywood, laminated glass yang sering digunakan sebagai bahan bangunan dan kelengkapannya.
- c. Komposit partikel (particulate composite) merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriks. Komposit yang terdiri dari partikel dan matriks seperti butiran (batu dan pasir). Partikel seharusnya berukuran kecil dan terdistribusi merata agar dapat menghasilkan kekuatan lebih seragam (Van Vlack, 1985).

2.1.2 Matriks

Matriks dalam struktur komposit berasal dari bahan polimer atau logam. Syarat pokok matriks yang digunakan dalam komposit adalah harus bisa

meneruskan beban, sehingga serat bisa melekat pada matriks dan kompatibel antara serat dan matriks. Matriks dalam susunan komposit bertugas melindungi dan mengikat serat agar bekerja dengan baik. Matriks juga berfungsi sebagai pelapis serat. Umumnya matriks terbuat dari bahan-bahan lunak dan liat. Pemilihan bahan matriks dan serat memainkan peranan penting dalam menentukan sifat mekanik dan sifat komposit. Gabungan matriks dan serat menghasilkan komposit yang mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi (Gibson, 1994). Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar. Matriks mempunyai fungsi sebagai berikut :

1. Mentransfer tegangan ke serat secara merata.
2. Melindungi serat dari gesekan mekanik.
3. Memegang dan mempertahankan serat pada posisinya.
4. Melindungi dari lingkungan yang merugikan.
5. Tetap stabil setelah proses manufaktur.

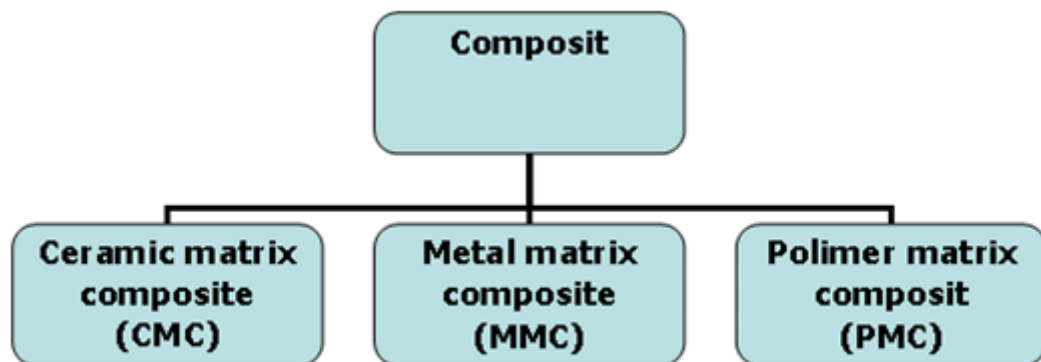
Komposit matriks mempunyai kegunaan yaitu sebagai berikut:

1. Matriks memegang dan mempertahankan serat pada posisinya.
2. Pada pembebanan dapat merubah bentuk dan mendistribusikan tegangan ke unsur utamanya yaitu serat.
3. Memberikan sifat: *ductility*, *toughnes* dan *electrical insulation*.

Komposit dapat digolongkan berdasarkan bahan matriks yang digunakan yaitu:

- a. Komposit matriks logam (*Metal Matrix Composite / MMC*), yaitu mempunyai matriks dari logam (aluminium, magnesium, besi, kobalt, tembaga) dan keramik tersebar (oksida, karbida) .
- b. Komposit matriks polimer (*Polimer Matrix Composite /PMC*), yaitu jenis komposit dengan matrik dari bahan polimer, termoplastik (PVC , nylon , polysterene) dan kaca tertanam, karbon, baja atau serat kevlar.

- c. Komposit matriks keramik (*Ceramics Matrix Composite / CMC*), yaitu komposit dengan matrik dari bahan keramik. MMC berasal dari gabungan material berbahan dasar logam dengan keramik. MMC bisa disebut juga material yang terdiri dari matrik berupa logam dan paduannya yang diperkuat oleh bahan penguat dalam bentuk *continous fibre, whiskers*, atau *particulate*. Pembuatan *metal matrix-composite* dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain, *powder metallurgy, diffusion bonding, liquid phase sintering, squeeze infiltration* dan *stir casting* (Clyne, T.W., 2001).



Gambar 3 Klasifikasi komposit berdasarkan bentuk dari matriks

Matrix phase/Reinforcement Phase	Metal	Ceramic	Polymer
Metal	Power metallurgy parts - containing intermetallic matrix	Carbon (ceramic-metal composite)	Brake pads
Ceramic	Cerams, TiC, TiCN, Cermetals oxides - used in tools, Fibre-reinforced metals	SiC reinforced, AlN, TiCN materials	Fiberglass
Polymer			Kevlar fibres in an epoxy matrix
Elemental (Carbon, Boron, etc.)	Fibres reinforced matrix, Also parts aerospace		Rubber with carbon (black), Boron, Carbon reinforced plastics
	↓ MMC's Metal Matrix Composites	↓ CMC's Ceramic Matrix Composites	↓ PMC's Polymer Matrix Composites

Gambar 2 Matriks dari beberapa tipe komposit

Matriks berfungsi untuk mendistribusikan beban kedalam seluruh bagian penguat komposit dan sebagai pengikat bahan penguat dalam pembuatan sebuah komposit dan juga sebagai pelindung partikel dari kerusakan oleh faktor lingkungan (Schwartz, 1984).

Berdasarkan jenis penguatnya, maka material komposit dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. *Particulate composite*, penguatnya berbentuk partikel.
- b. *Fibre composite*, penguatnya berbentuk serat.
- c. *Structural composite*, dengan cara penggabungan material komposit.

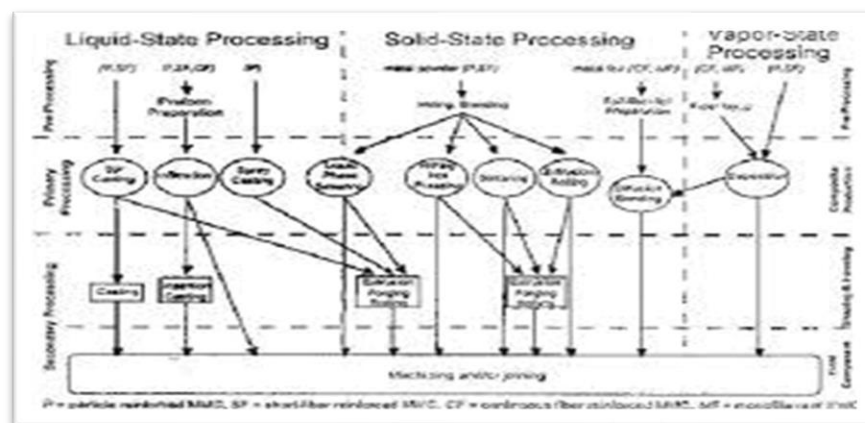
2.2 Metal Matrix Composite (MMC)

Material komposit dengan matriks logam atau MMC (*Metal Matrix Composite*) merupakan material baru yang dihasilkan dari rekayasa di bidang material. MMC sebagaimana halnya komposit terdiri dari matriks sebagai pengikat yang berupa logam, dan partikel sebagai penguat berupa partikel keramik berkekuatan tinggi. Diproduksinya MMC diharapkan sifat mekanik dari material matriks dapat meningkat.

Peningkatan sifat mekanik yang diinginkan adalah kekuatan, kekakuan spesifik, ketahanan aus, ketahanan korosi yang baik, dan modulus elastisitas yang tinggi Sahin dan Murphy, (1996). MMC memadukan sifat mekanik matriks paduan (ulet dan tangguh) dengan sifat keramik sebagai penguat (kekuatan dan modulus elastisitas yang tinggi). Hasil paduan sifat tersebut menghasilkan komposit yang lebih kuat ketika menerima beban geser dan beban tekan, serta kemampuan yang baik untuk digunakan pada suhu tinggi.

Suarsana dkk. (2015) menyatakan bahwa pada bahan SiC, Al₂O₃, dan serat karbon dapat bereaksi dengan matrik paduan aluminium, dan juga ada resiko bahwa proses pengerjaan sekunder akan merusak serat. Umumnya dengan metode pembuatan serat kontinu biayanya mahal, laju produksi rendah, serta ukuran dan bentuk untuk produk metal matrix composite (MMC) terbatas. Metode tipikal untuk memproduksi MMC serat kontinu adalah (1). pengikatan difusi (*diffusion bonding*), (2). cetak linyak (*squeeze-casting*) dan (3). pembentukkan tekan cairan.

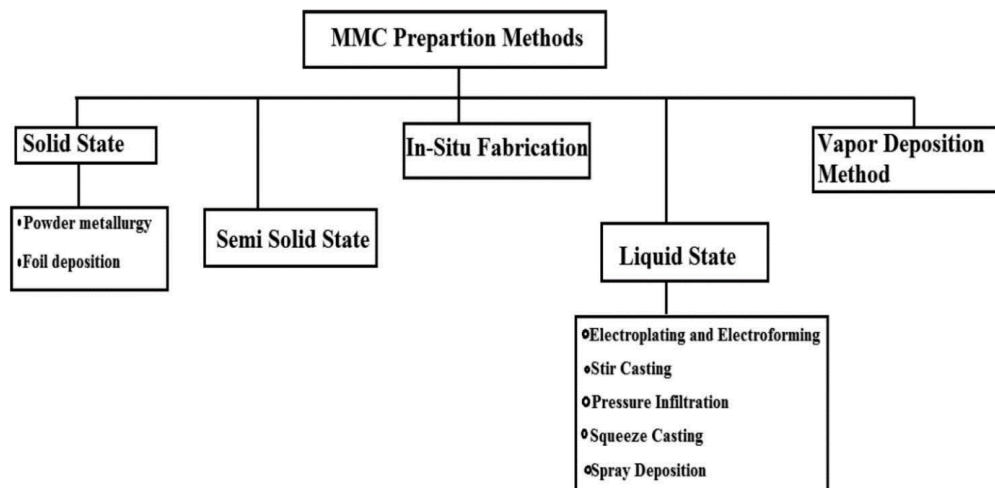
Adapun jenis proses pembuatan komposit pada fase-fase tertentu dapat dilihat pada gambar 4



Gambar 4 Skematis proses pembuatan MMC (Clyne, 2001)

Paduan berbobot rendah yang diproduksi menggunakan komposit matriks logam (MMC) menemukan banyak aplikasi dalam dunia industri saat ini (apakah bidangnya struktural atau non-struktural karena karakteristik mekanis, termal, permukaan, dan lainnya yang sangat baik) (Rohatgi, 1991). Telah diamati bahwa sebagian besar MMC memiliki sifat yang sangat baik dibandingkan dengan matriks logam tunggal. MMC ini dapat dirancang khusus untuk menunjukkan daya tahan tinggi, keuletan, modulus tarik, konduktivitas termal, dll., (Rawal & Al, 2001). Dengan demikian, fitur khusus yang dapat ditanamkan dalam MMC membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi seperti elektronik, pesawat terbang, robotika, dan banyak lagi (P. M. Ajayan et al., 1993). Pada era 1960-an, serat karbon pertama kali dikembangkan dan kekuatannya yang tinggi menyebabkan penggunaannya dalam ujung kerucut rudal, bagian keluar berbentuk kerucut dari roket, pelindung panas, dll. Dengan demikian, pertama kali dunia memperhatikan komponen ringan yang menunjukkan kekuatan tinggi yang mengarah pada pengembangan matriks komposit yang diperkuat serat karbon yang pada akhirnya mengarah pada konvensi penggunaan material berkekuatan tinggi yang ringan pada rem pesawat, bagian pesawat yang canggih, komposit untuk aplikasi struktural dan non-struktural (Bacon, 1960). Serat nano seperti karbon hitam, nanotube karbon dan banyak lainnya diperkuat ke dalam matriks MMC untuk memberikan sifat yang tepat dan dengan demikian dikenal sebagai nanokomposit matriks logam. Penambahan serat nano ke dalam matriks MMC membuat matriks lebih terdengar dan cocok untuk aplikasi kekuatan tinggi. MMC dapat dibuat dengan metode yang

berbeda seperti metode padat-padat, metode cair-padat, metode semi padatan dan teknik fabrikasi in-situ. Gambar 5 menunjukkan klasifikasi metode persiapan MMC.



Gambar 5 Klasifikasi MMC berdasarkan metode Preparasi MMC (Kumar et al., 2020)

2.3 Aluminium Matrix Composite (AMC)

Aluminium Matrix Composite adalah salah satu material komposit berbasis logam yang menggunakan aluminium sebagai bahan matriksnya. Keunggulan dari aluminium adalah memiliki nilai kekakuan yang tinggi, ketahanan leleh yang tinggi, dan proses pembuatan yang relatif rendah. Komposit aluminium telah dikembangkan selama beberapa tahun dan memiliki variasi yang berbeda – beda dan telah dicoba dengan beberapa variasi tepat. Penguat itu termasuk continuous fibre, monofilamen dan multifilamen, short fiber, whiskers, dan partikulat (Basuki dan Anang, 2019).

Aluminium Matrix Composite merupakan komposit matriks logam dengan jenis material yang banyak digunakan pada saat ini, untuk jenis aluminium yang umum digunakan sebagai matrik adalah paduan Al-Mg, Al-Cu, dan lain-lain. Komposit dengan matrik aluminium biasanya menggunakan booster Al_2O_3 , C, WC dan lain-lain. Pada umumnya, matriks yang sering digunakan adalah paduan Al-Cu, Al-Cu-Mg dan Al-Si. Tipe penguat yang dipergunakan adalah:

1. Alumina (Al_2O_3) atau Silicon Carbide (SiC) dalam bentuk partikel (*Particulate Composite*)
2. Serat menerus dari Alumina, Grafit, Silikon Karbida (*Long Fibre Reinforced Composite*)
3. Serat terputus dari Alumina (*Short-Fibre Reinforced Composite*)

Komposit bermatriks alumunium (AMC) adalah salah satu jenis bahan material yang dalam perkembangannya, komposit bermatriks alumunium umum digunakan dalam industri kendaraan, kedirgantaraan, persenjataan, dan lain sebagainya. Komposit matriks alumunium juga digunakan pada produk yang membutuhkan performa kinerja tinggi, seperti dalam permesinan pesawat terbang, juga aplikasi dalam industri kendaraan seperti piston, *pushrods*, serta komponen pengereman (Surappa, 2003).

2.3.1 Aluminium

Aluminium (Al) adalah salah satu jenis material yang banyak dibutuhkan dan digunakan dalam berbagai bidang yaitu bidang penerbangan, otomotif, dan konstruksi. Aluminium mempunyai densitas yang rendah dibandingkan dengan baja, konduktivitas termal dan listrik yang tinggi, ulet dan tahan korosi (Callister dan Rethwisch, 2009). Namun demikian, aluminium memiliki keterbatasan yaitu suhu leleh rendah ($660^{\circ}C$), tingkat kekerasan dan ketahanan aus yang relatif rendah. Kekuatan mekanis dari aluminium dapat ditingkatkan dengan cara pepaduan antara aluminium murni dengan unsur - unsur lain. Unsur tersebut meliputi tembaga, magnesium, silikon, mangan, dan seng (Callister dan Rethwisch, 2009).

Aluminium merupakan logam ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Sebagai tambahan terhadap, kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb, secara satu persatu atau bersama-sama, memberikan juga sifat-sifat baik lainnya seperti ketahan korosi, ketahan aus, koefisien pemuaian rendah, dsb. Material ini dipergunakan di dalam bidang yang luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi, dsb. (Tata Surdia,1999). Aluminium juga merupakan logam yang berharga mahal karena pengolahannya

yang sulit. Aluminium adalah unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon (Romadhonal, 2010).

2.3.2 Unsur-unsur Paduan Aluminium

Aluminium dalam bentuk murni masih sangat lunak, memiliki kekuatan yang rendah serta tidak dapat digunakan secara optimal dalam berbagai keperluan. Dengan memadukannya dengan unsur-unsur lainnya, sifat fisis aluminium murni dapat ditingkatkan. Namun penambahan unsur-unsur logam lain terhadap aluminium akan mengakibatkan berkurangnya keuletan serta berkurangnya sifat tahan korosi dari aluminium tersebut. Misalnya dengan adanya penambahan magnesium, tembaga, atau titanium memang dapat meningkatkan kekuatan, ketahanan aus, dan lain-lain, namun akan sangat berpengaruh terhadap sifat ketahanan korosinya.

- a. Copper (Cu), dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan, namun dapat menurunkan sifat elongasi (pertambahan panjang saat ditarik);
- b. Magnesium (Mg), mampu meningkatkan kekuatan tetapi menurunkan nilai ductibilitas. Kemampuan tahan terhadap korosi dan weldability juga akan meningkat;
- c. Silikon (Si), dapat membuat paduan aluminium jika diberi perlakuan panas maka akan meningkatkan kekerasannya;
- d. Mangan (Mn), dapat meningkatkan kekuatan dalam temperatur yang cukup tinggi;
- e. Zink/Seng (Zn), dapat menaikkan nilai tensile;
- f. Lithium (Li), jika ditambahkan ke dalam paduan aluminium maka akan memperbaiki sifat tahan oksidasinya.

Tabel 1. Jenis Aluminium Paduan dan Seri Penamaan (Cantor,2004)

Paduan	Seri Penamaan
Aluminium dengan kemurnian 99%	1xxx
Aluminium – Tembaga (Al-Cu)	2xxx
Aluminium – Mangan (Al-Mn)	3xxx
Aluminium – Silikon (Al-Si)	4xxx
Aluminium – Magnesium (Al-Mg)	5xxx
Aluminium – Magnesium – Silikon	6xxx
Aluminium – Seng	7xxx
Aluminium – Paduan lainnya	8xxx

2.3.3 Paduan Aluminium – Tembaga (Seri 2xxx)

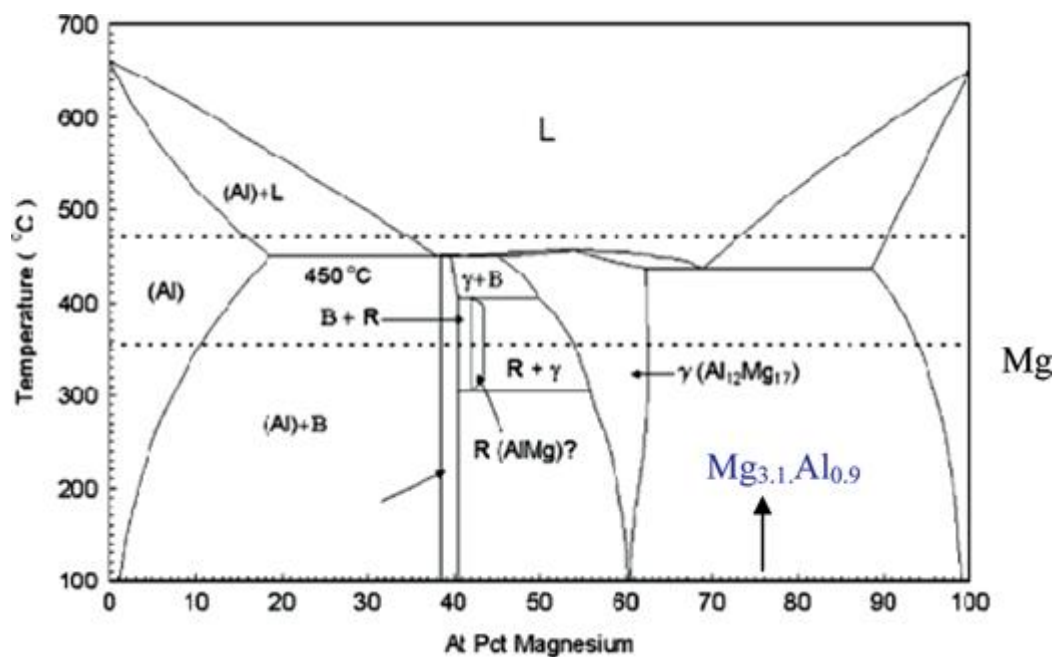
Unsur paduan yang utama pada seri 2xxx adalah tembaga, tetapi magnesium dan sejumlah kecil elemen lain juga dapat ditambahkan ke dalam paduan jenis ini. Tipe paduan Al-Cu adalah jenis yang mampu diberikan perlakuan panas. Sifat mekanik paduan ini dapat menyerupai sifat dari baja lunak, tetapi kemampuan daya tahan korosinya rendah bila dibandingkan dengan jenis paduan yang lainnya. Sifat kemampuan untuk proses pengelasan juga kurang baik, karena itu paduan jenis ini biasanya digunakan dalam produksi rivet atau paku keling dan sering sekali digunakan dalam konstruksi *body* pesawat terbang.

Penambahan Aluminium Oksida atau lebih sering dengan alumina ke dalam paduan Aluminium – Tembaga diharapkan dapat menambah ketahanan aluminium paduan terhadap pelapukan atau korosi. Alumina dapat melindungi paduan aluminium oksidasi lanjut serta dapat menjadi sebagai insulator termal dan listrik yang baik.

2.3.4 Paduan Aluminium – Magnesium (Seri 5xxx)

Paduan Aluminium Magnesium (Al-Mg) merupakan salah satu paduan aluminium yang sering digunakan untuk aplikasi teknik dalam bidang industri. Paduan ini banyak digunakan karena mempunyai ketahanan dan mampu tuang yang baik. Paduan aluminium magnesium dapat ditingkatkan kemampuan mekanisnya

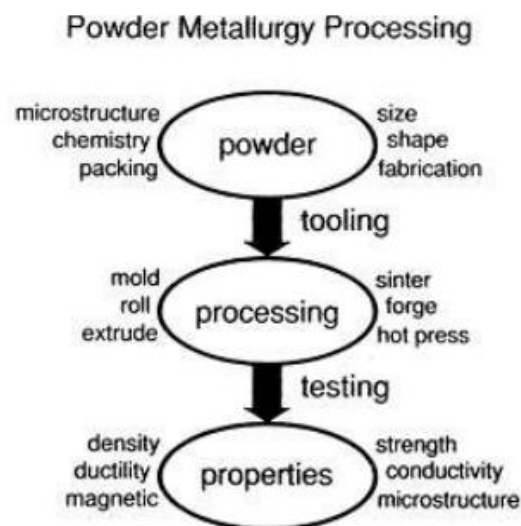
dengan cara memberikan penambahan unsur Mg dan Fe juga unsur penghalus butir. Penambahan kadar Magnesium (Mg) dalam jumlah yang besar dapat menaikkan kekerasan dan kekuatan tarik pada paduan tetapi menurunkan regangan. Paduan Al – Mg sering disebut hidronalium, yang merupakan paduan dengan tingkat ketahanan korosi yang paling baik dibandingkan dengan pada aluminium lainnya. Diagram fasa adalah grafik yang digunakan untuk menunjukkan kondisi kesetimbangan antara fase-fase yang berbeda dari suatu zat yang sama. Komponen-komponen umum diagram fasa adalah garis kesetimbangan atau sempadan fase, yang merujuk pada garis yang menandakan terjadinya transisi fase. Titik tripel adalah titik potong dari garis-garis kesetimbangan antara tiga fase benda, (padat, cair, dan gas). Solidus adalah temperatur di mana zat tersebut stabil dalam keadaan padat. Likuidus adalah temperatur di mana zat tersebut stabil dalam keadaan cair. Diagram fasa paduan Al-Mg ditunjukkan sebagaimana gambar 6.



Gambar 6 Diagram Fasa Al-Mg (Kaya, 2009)

2.4 Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk merupakan proses pembentukan benda kerja komersial dari logam dimana logam dihancurkan dahulu berupa tepung, kemudian tepung tersebut ditekan di dalam cetakan (*mold*) dan dipanaskan di bawah temperatur leleh serbuk sehingga terbentuk benda kerja. Partikel-partikel logam memadu karena mekanisme transportasi massa akibat difusi atom antar permukaan partikel. Metode metalurgi serbuk memberikan kontrol yang teliti terhadap komposisi dan penggunaan campuran yang tidak dapat difabrikasi dengan proses lain. Ukuran ditentukan oleh cetakan dan penyelesaian akhir (*finishing touch*). kualitas bahan yang dihasilkan sangat dipengaruhi saat pencampuran yang ditentukan oleh kehomogenan serbuk penyusunnya. Ada dua macam proses pencampuran yaitu proses kering (*dry mixing*) dan proses basah (*wet mixing*). Cara pencampuran basah lebih sering digunakan dengan menambahkan media pelarut organik (alkohol/etanol/N-butanol). Menurut German (1994) metalurgi serbuk memiliki kelebihan yaitu menghasilkan produk yang presisi, kualitas produk yang baik, pepadatan serbuk yang baik sehingga menghasilkan densitas yang baik dan struktur mikro yang homogen. Tahapan dalam metalurgi serbuk seperti pada gambar 7.



Gambar 7 Tiga tahapan utama dalam metalurgi serbuk (German,1994)

Langkah-langkah dalam proses kerja metalurgi serbuk, antara lain:

1. Pembuatan Serbuk

Terdapat beberapa teknik dalam pembuatan serbuk yaitu :

- a. *Decomposition*, diterapkan pada material bahan yang memiliki elemen logam. Material akan memisahkan atau menguraikan elemen-elemennya jika dipanaskan pada temperatur yang relatif tinggi (*pre-heating*). Proses ini melibatkan dua jenis reaktan yaitu senyawa metal dan *reducing agent*. Kedua reaktan dapat berwujud padatan, cair atau gas.
- b. *Atomization of Liquid Metals*, material yang berbentuk cair dapat dijadikan *powder* (serbuk) yaitu dengan menuangkan material cair tadi menggunakan *nozzel* yang dialiri air bertekanan, sehingga akan terbentuk butiran-butiran kecil.
- c. *Electrolytic Deposition*, pembuatan serbuk dengan menggunakan proses elektrolisis yang umumnya menghasilkan serbuk yang reaktif dan rapuh. Untuk itu, material hasil *electrolytic deposits* perlu diberikan perlakuan pemanasan khusus. Bentuk butiran yang dihasilkan oleh *electrolytic deposits* biasanya berbentuk dendritik.
- d. *Mechanical Processing of Solid Materials*, adalah pembuatan serbuk dengan cara menghancurkan material menggunakan *ball milling*. Material yang dibuat dengan teknik ini, harus material yang mudah retak seperti logam murni, paduan logam yang relatif keras dan rapuh, serta dari jenis keramik.

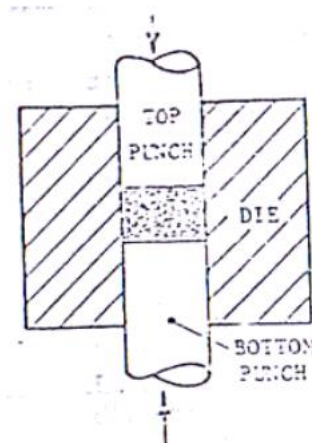
Dari beberapa proses pembuatan serbuk, proses yang paling sering dipakai adalah proses atomisasi. Proses pembuatan serbuk dapat dibedakan melalui tiga jenis cara yaitu : secara fisik, mekanik, dan kimiawi. Pembuatan serbuk secara fisik dapat diibaratkan sebagai proses atomisasi yaitu proses perusakan arus logam cair yang disemprot dengan bahan pendingin dalam hal ini dapat berupa cairan atau gas sehingga logam berubah menjadi butiran padat. Pembuatan serbuk secara mekanik dilakukan pada logam yang bersifat getas dengan memberikan gaya tekan dan kemudain menjadikannya serbuk. Sedangkan pembuatan serbuk dengan cara kimia melibatkan banyak reaksi dekomposisi kimia dari senyawa logam.

2. Pencampuran (*Mixing*)

Pencampuran serbuk dilakukan dengan mencampurkan logam yang berbeda jenis seperti material-material lain untuk memberikan tambahan sifat fisis dan mekanis yang lebih baik. Serbuk logam atau pun bahan lain yang berbeda jenis dapat dicampur dengan tujuan untuk memberikan sifat fisis dan mekanis khusus terhadap produk akhir. Campuran yang tepat adalah mementingkan untuk memastikan keseragaman sifat mekanis di seluruh bagian. Pencampuran dapat dilakukan dengan proses kering (*dry mixing*) dan proses basah (*wet mixing*).

3. Penekanan (*Compaction*)

Proses penekanan atau biasa juga proses kompaksi merupakan sebuah proses pembentukan logam dari serbuk logam dimasukkan ke dalam cetakan (*die*) hingga mengalami mekanisme penekanan. Jenis produk yang dihasilkan pada proses metalurgi serbuk sangat ditentukan oleh proses kompaksi dalam membentuk serbuk dengan kekuatan yang optimal. Proses kompaksi umumnya dilakukan dengan melakukan penekanan satu arah atau dua arah. Pada penekan satu arah, penekan atas bergerak ke bawah. Sedangkan pada dua arah, penekan atas dan penekan bawah saling menekan secara bersamaan.



Gambar 8 Penekan (*punch*) (Samlawi & Siswanto, 2016)

Bahan material dengan kekerasan tinggi seperti besi, baja, dan nikel paduan memerlukan tekanan pepadatan yang tinggi. Sebaliknya, bahan dengan kekerasan rendah, seperti aluminium, kuningan, dan perunggu hanya memerlukan tekanan pepadatan yang rendah. Semakin tinggi tekanan pepadatan akan menaikkan berat

jenis. Di atas dari tekanan optimum tersebut, peningkatan tekanan tidak akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap jenis kenaikan massa.

Kompaksi terhadap serbuk perlu dilakukan sebelum serbuk dapat menempel satu dengan lainnya melalui proses sintering. Dalam proses pembuatan suatu paduan dengan metode metalurgi serbuk, penerapannya serbuk sebagai akibat adanya interlocking antar permukaan, interaksi adesi-koheksi, dan difusi antar permukaan. Untuk difusi antar permukaan, dapat terjadi pada saat dilakukan proses sintering. Bentuk produk yang diejeksikan dari proses kompaksi disebut *green compact*, telah menyerupai produk akhir, tetapi dengan kekuatannya masih rendah. kekuatan akhir produk kerja akan diperoleh setelah proses sintering.

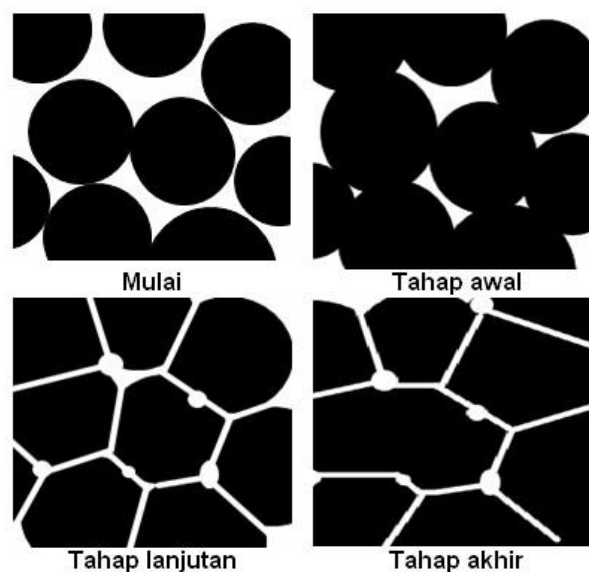
4. Pemanasan (Sintering)

Sintering merupakan salah satu tahap yang sangat penting dalam proses metalurgi serbuk. Selama proses sintering, biasanya ditemukan dua fenomena yang sering terjadi pada sampel yaitu yang pertama adalah terjadinya penyusutan (*shrinkage*). Penyusutan atau *shrinkage* adalah proses eliminasi terhadap pori dan yang kedua adalah terjadinya pertumbuhan butir. Fenomena yang pertama dominan terjadi selama pemadatan sebelum sampel mencapai titik jenuh, sedangkan pertumbuhan butir akan dominan terjadi setelah proses pemadatan melewati titik jenuh dari sampel. Parameter sintering di antaranya adalah : temperatur sintering, waktu sintering, kecepatan pendinginan, kecepatan pemanasan dan jenis atmosfer.

Dalam istilah keteknikan, kata sintering digunakan untuk mengartikan fenomena yang terjadi pada produk sampel padat yang dibuat dari bubuk, baik logam / non logam. Sebuah kumpulan partikel dengan ukuran tertentu (biasanya diameter beberapa mikro atau lebih kecil) dilihat perlakuannya sampai pada suhu diantara sebelum titik leleh.

Dari jenis cairan, sintering dibagi menjadi dua yaitu : sintering fasa padatan dan sintering fasa cairan. Sintering pada fasa padatan adalah sintering yang dilakukan pada satu temperatur yang telah ditentukan sebelumnya, dan semua bahan tetap dalam fasa padatan. Proses eliminasi terhadap porositas dilakukan melalui transport massa. Jika dua partikel digabung dan pada suhu tertentu, dua partikel ini akan berikatan bersama dan akan membentuk yang dinamakan leher. Pertumbuhan leher

yang disebabkan oleh proses transport massa yang meliputi tahap evaporasi, tahap kondensasi, dan tahap difusi. Setelah dilakukannya proses sintering terhadap sampel yang telah dilakukan proses kompaksi sebelumnya, maka ikatan antar serbuk akan semakin kuat. Setelah proses sintering terjadi peningkatan ikatan yang menyebabkan terbentuknya *liquid bridge* (necking) sehingga jumlah pori-pori akan berkurang dan material produk menjadi lebih padat. Dalam hal ini ukuran partikel serbuk akan sangat berpengaruh terhadap kepadatan material sampel, semakin kecil ukuran partikel serbuk maka porositas yang terbentuk akan semakin kecil dan luas kontak antar permukaan butiran akan semakin luas.



Gambar 9 Ilustrasi pertumbuhan ikatan antar partikel sampel selama proses sintier (German, 1994)

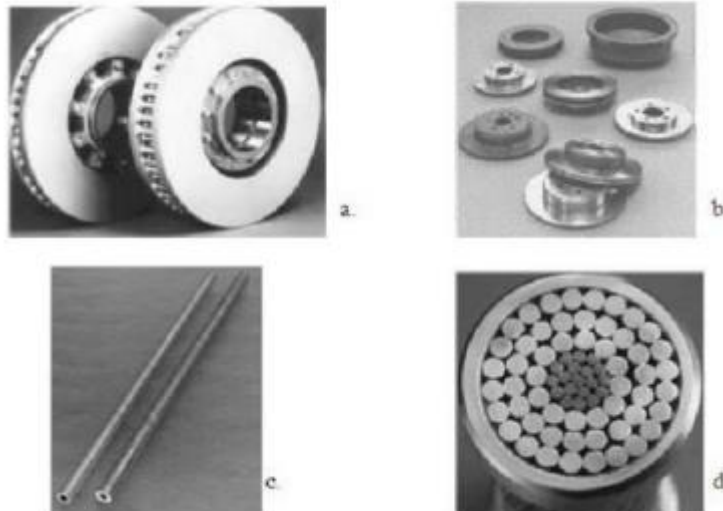
Kelebihan *powder metallurgy*:

- Kontrol kuantitatif yang baik, presisi yang tinggi, tidak diperlukan banyak penyelesaian akhir.
- Proses *powder metallurgy* dapat menghasilkan karbida senter, bantalan proses yang terdiri dari lapisan serbuk logam yang berbeda.
- Produk yang dihasilkan dapat sekecil mungkin dengan teloransi yang ketat dan permukaan yang halus.

Menurut Birkeland, P.W. (1984) Kekurangan *powder metallurgy*:

- Diperlukan biaya yang tinggi dan terbatas untuk produk yang ukurannya kecil.

- b. Peralatan yang digunakan relatif mahal, dan bentuk-bentuk produk yang kecil tidak bisa dibuat, karena selama proses penekanan, serbuk logam tidak mampu mengalir mengisi rongga cetakan.



Gambar 10 Contoh-contoh produk powder metallurgy, (a) Brake Rotor untuk Kereta Kecepatan Tinggi, (b) Automotive Braking Sistem, (c) Automotive pushrods dan (d) Cores untuk Kawat Listrik High Voltag (Suk-Joong, 2005).

2.4.1 Temperatur Sinter

Salah satu faktor yang mempengaruhi perpindahan massa pada proses sinter yaitu temperatur. Dengan peningkatan temperatur sinter, maka sifat mekanis bahan yang telah dilakukan proses sinter akan meningkat pula. Sifat mekanisme tersebut antara lain kekerasan, kekuatan, dan ketahanan aus.

Hal ini disebabkan karena semakin meningkatnya temperatur sinter, maka akan mendorong terjadinya *interdiffusion* dari serbuk hasil kompaksi (*green compact*) dan meningkatkan kepadatan produk hasil proses sinter. Akan tetapi, peningkatan temperatur sinter yang lebih tinggi dapat menimbulkan kerugian, seperti penyusutan (*shrinkage*), keakuratan dimensi berkurang, terjadinya pertumbuhan butir, biaya energi proses dan desain furnace lebih mahal.

Untuk material komposit, temperatur sinter yang digunakan adalah temperatur sinter dari matriks. *Green compact* yang dihasilkan dari proses pemadatan pada suhu ruangan belum memiliki atom yang mencukupi. *Green compact* ini perlu diperhatikan terlebih dahulu hingga mencapai suhu antara 70%

hingga 90% dari titik lebur bahan. Untuk bahan aluminium dengan titik lebur 660°C, suhu sinternya berkisar antara 460°C hingga 590°C.

2.4.2 Waktu Tahan Sinter

Peningkatan waktu tahan sinter memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik yang hampir sama dengan kenaikan temperatur sinter, tetapi tidak sebesar pengaruh yang dihasilkan oleh peningkatan temperatur sinter. Semakin tinggi waktu tahan sinter, temperatur sinter, dan *green density* maka densitas produk hasil proses sinter akan semakin tinggi pula. Namun, kerugian akibat waktu tahan sinter ialah meningkatnya persentase penyusutan, pertumbuhan butir, dan juga meningkatnya biaya proses. Untuk material komposit, waktu tahan sinter yang digunakan adalah waktu tahan sinter dari matriks. Kisaran waktu tahan sinter untuk material komposit aluminium adalah 30-90 menit (Prasetyo, 2004).

Pemilihan waktu sangat berpengaruh terhadap karakteristik suatu komposit (Suyanto, 2007) melakukan kajian eksperimental, pengaruh waktu sintering terhadap sifat fisik dan mekanik komposit plastik (HDPE, PET). Hasil penelitian disimpulkan bahwa dengan penambahan waktu sintering dari 5, 10, 15, dan 20 menit terjadi peningkatan sifat fisik (densitas, penyusutan) dan mekanik (kekuatan impak, kekuatan lentur) dimana peningkatan maksimum terjadi pada penambahan waktu 10 menit.

2.4.3 Perhitungan Fraksi Komposisi dan Fraksi Massa

Untuk mengetahui sifat komposit selain dengan pengambilan data pada eksperimen, juga bisa didapatkan secara teori. Dengan menggunakan *Rule of Mixture* (ROM) yang dinyatakan dengan persamaan :

$$\rho_c = \rho_m \cdot V_m + \rho_f \cdot V_f \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

ρ_c = Densitas komposit

ρ_m = Densitas matriks

ρ_f = Densitas penguat

V_m = fraksi berat matriks

V_f = fraksi berat penguat

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

ρ = densitas

m = massa

v = volume

Dengan menggunakan rumus densitas (2.2) dan maka akan diperoleh fraksi massa, dengan perumusan berikut :

$$m_m = a \cdot m_c \text{ dan } m_f = b \cdot m_c \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

m_m = massa matriks

m_f = massa penguat

m_c = massa komposit

a = fraksi massa matrik

b = fraksi massa penguat

Massa serbuk yang terdiri dari massa matriks dan massa reinforcement dibutuhkan untuk pembuatan komposit dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut

- Massa matriks

$$m_m = a \cdot \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_m + b \cdot \rho_f} \cdot v_c \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

- Massa reinforcement

$$m_m = b \cdot \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_m + b \cdot \rho_f} \cdot v_c \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana v_c = Volume komposit

Bentuk dan ukuran partikel juga memegang peranan penting dalam menentukan kualitas komposit. Semakin kecil ukuran partikel yang terikat maka kualitas kontakannya semakin baik, karena semakin luas permukaan antar partikel. Ikatan antar partikel dalam material komposit salah satunya disebabkan karena adanya *interlocking* antar partikel yang dipengaruhi oleh bentuk partikel yang digunakan.

2.5 Uji Sifat Fisis, Sifat Mekanis dan Struktur Mikro

Beberapa jenis pengujian dan analisis yang dibahas untuk keperluan penelitian ini antara lain pengujian sifat fisis dan mekanis (densitas, porositas, kekerasan dan keausan) serta analisis struktur mikro dengan menggunakan alat uji SEM (*Scanning Electron Microscope*).

2.5.1 Sifat Fisis

A. Densitas

Densitas merupakan besaran fisis yaitu perbandingan massa (m) dengan volume benda (V). Pengukuran densitas yang materialnya berbentuk padatan atau bulk digunakan metode Archimedes. Untuk menghitung nilai densitas aktual dan teoritis digunakan persamaan :

1. Densitas Aktual:

$$\rho_m = \frac{w_u}{(w_u - w_a)} \times \rho_{H_2O} \dots\dots\dots (2.6)$$

2. Densitas teoritis

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

ρ : densitas (gr/cm^3)

m : massa sampel (gram)

v : volume sampel (cm^3)

B. Porositas

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah volume ruang kosong yang dimiliki oleh zat padat terhadap jumlah dari volume zat padat itu sendiri. Porositas suatu bahan dinyatakan dengan persamaan:

$$\emptyset = \frac{m_b - m_k}{m_k} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

\emptyset : porositas (%)

m_k : massa sampel setelah dikeringkan di dalam oven (gram)

m_b : massa sampel setelah direndam di dalam air (gram)

2.5.2 Sifat Mekanis

A. Pengujian Kekerasan

Kekerasan logam dapat diartikan sebagai ketahanan suatu bahan logam terhadap penetrasi, dan memberikan indikasi cepat mengenai perilaku deformasi (Murtiono, 2012). Harga kekerasan bahan tersebut dapat dianalisis dari besarnya beban yang diberikan terhadap luasan bidang yang menerima pembebanan. Kekerasan juga dapat didefinisikan sebagai ketahanan sebuah benda (benda kerja) terhadap penekanan atau daya tembus dari bahan lain yang lebih keras (*penetrator*) (Purwanto H, 2011). Penekanan terhadap suatu bahan tersebut dapat berupa mekanisme penggoresan (*stretching*), pelanggaran ataupun indentasi dari material terhadap suatu permukaan benda uji. Berdasarkan penekanan tersebut, maka dibagi menjadi tiga metode kekerasan yaitu :

1. Metode Gores

Metode ini dikenal oleh Fredrich Mohs yang membagi kekerasan material di dunia ini berdasarkan skala Mohs. Skala ini bervariasi dari nilai 1 untuk kekerasan yang paling rendah, sebagaimana dimiliki oleh material talk, hingga skala 10 sebagai kekerasan tertinggi, sebagaimana dimiliki oleh intan.

2. Metode elastis/pantul (pantulan)

Kekerasan suatu material ditentukan oleh alat Scleroscope yang mengukur tinggi pantulan suatu pemukul (*hammer*) dengan berat tertentu yang dijatuhkan dari suatu ketinggian terhadap benda uji. Tinggi pantulan (rebound) yang ditunjukkan mewakili kekerasan benda uji. Semakin tinggi pantulan tersebut, yang ditunjukkan oleh dial pada alat pengukur, maka kekerasan benda uji dinilai semakin tinggi.

3. Metode Indentasi

Tipe pengetasan kekerasan material atau logam ini adalah dengan mengukur tahanan plastis dari permukaan suatu material konstruksi mesin dengan spesimen standar terhadap *penetrator*. Pada penelitian ini akan menggunakan pengujian kekerasan vickers. Pengujian kekerasan dengan metode Vickers bertujuan menentukan kekerasan suatu materi dalam bentuk daya tahan material terhadap intan berbentuk piramida dengan sudut puncak 136° yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut. Angka kekerasan Vickers

(*Vickers hardness number*, VHN) didefinisikan sebagai beban dibagi dengan luas permukaan lekukan. VHN ditentukan oleh persamaan berikut,

$$\mathbf{HV} = 1,854 \frac{P}{d_1 \times d_2} \dots\dots (2.9)$$

Dimana :

HV = Nilai kekerasan skala Vickers

P = Beban yang digunakan (kg)

d_1, d_2 = Panjang diagonal rata rata (mm)

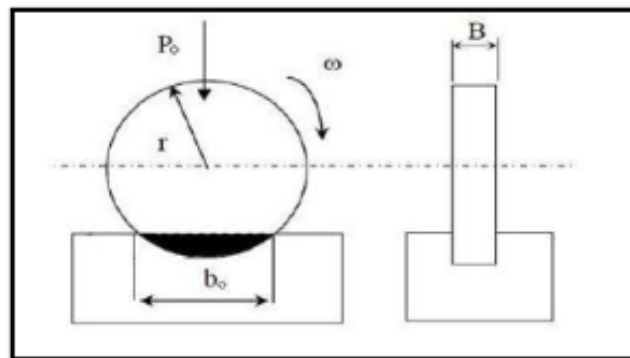
B. Pengujian Keausan

Uji keausan merupakan suatu uji karakteristik fisik yang digunakan untuk mengetahui seberapa besar tingkat keausan benda (permukaan benda) terhadap gesekan atau goresan. Keausan merupakan bahan dari suatu permukaan atau perpindahan bahan dari permukaannya ke bagian yang lain atau Bergeraknya bahan pada suatu permukaan. Keausan yang terjadi pada suatu material disebabkan oleh adanya beberapa mekanisme yang berbeda dan terbentuk oleh beberapa parameter yang bervariasi meliputi, bahan, lingkungan, kondisi operasi, dan geometri permukaan yang terjadi keausan.

Mekanisme keausan menurut Koji Kato, dikelompokkan menjadi tiga macam, yaitu keausan yang disebabkan perilaku mekanis (*mechanical*), keausan yang disebabkan perilaku kimia (*chemical*), dan keausan yang disebabkan perilaku panas (*thermal wear*). Keausan yang disebabkan perilaku tersebut digolongkan lagi menjadi *abrasive*, *adhesive*, *flow*, dan *fatigue wear*.

Pengujian keausan pada penelitian ini, tipe keausan yang terjadi adalah *abrasive wear*. Keausan *abrasive* terjadi jika partikel keras atau permukaan keras yang kasar menggerus dan memotong permukaan sehingga mengakibatkan hilangnya material yang ada di permukaan tersebut (*earth moving equipment*).

Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah dengan metode Ogoshi dimana benda uji memperoleh beban gesek dari *disk* yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak dari material yang tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam jejak keausan maka semakin tinggi volume material yang terlepas dari benda uji. Ilustrasi skematis dari kontak permukaan antara revolving disc dan benda uji yang diberikan oleh gambar 11



Gambar 11 Prinsip pengujian keausan

$$\text{Rumus Laju Keausan } (mm^3/m) = \frac{(m_1 - m_2)}{2\pi R N t \rho} \times 1000 \dots (2.10)$$

Dimana :

m_1 = massa awal sebelum pengujian (gram)

m_2 = massa akhir setelah pengujian (gram)

R = radius lintasan pengujian

N = kecepatan putar (rpm)

t = periode pengujian keausan (menit)

ρ = massa jenis spesimen uji (g/cm^3)

Untuk pengujian keausan dilakukan dengan menggunakan alat uji *pin on disc*.

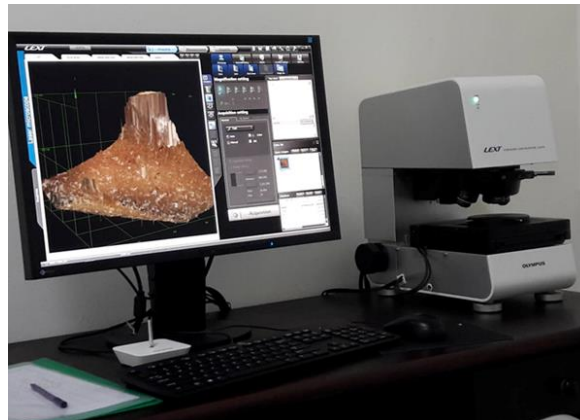
2.5.3 Analisa Struktur Mikro

A. Mikroskop Optic

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui dan mempelajari bentuk struktur mikro dari logam, termasuk didalamnya besar butiran dan arah struktur. Struktur

mikro sangat menentukan sifat mekanis logam yang diuji (Saputra dan Tyastomo, 2016).

Pengujian Mikro bertujuan untuk memperoleh gambar yang menunjukkan struktur mikro sebuah material. Melalui proses ini kita dapat mengetahui struktur dari suatu bahan dengan memperjelas batas-batas butir bahan sehingga dapat langsung dilihat dengan menggunakan mikroskop dan diambil gambarnya. Pengujian mikrografi dimaksudkan untuk melihat perubahan struktur pada bahan (Murtiono, 2012).



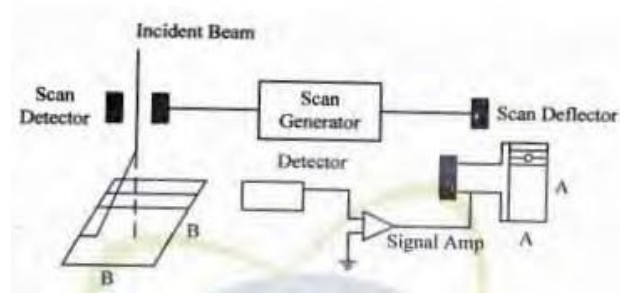
Gambar 12 Mikroskop optic logam (Lab, Metalurgi Fisik UNHAS)

B. SEM

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan mikroskop elektron yang banyak digunakan untuk analisa bahan permukaan. SEM juga dapat digunakan untuk menganalisis data kristalografi, sehingga dapat dikembangkan untuk menentukan elemen atau senyawa. Prinsip kerja SEM dapat dilihat pada gambar 2.12, dimana dua sinar elektron digunakan secara bersamaan. Satu *strike specimen* digunakan untuk menguji dan *strike* yang lain adalah *Cathode Ray Tube (CRT)* memberi tampilan gambar.

SEM menggunakan prinsip scanning, maksudnya berkas elektron diarahkan dari titik ke titik pada objek. Gerakan berkas elektron dari satu titik ke titik yang lain pada suatu daerah objek menyerupai gerakan membaca. Gerakan membaca ini disebut dengan *scanning*. Komponen utama SEM terdiri dari dua unit, yaitu *elektron column* (B) dan *display console* (A). *Elektron column* merupakan model *electron beam scanning* sedangkan *display console* merupakan elektron sekunder

yang didalamnya terdapat CRT. Energi elektron pancaran tinggi yang dihasilkan oleh *electron gun* yang kedua tipenya berdasar pada pemanfaatan arus.



Gambar 13 Skema Prinsip Dasar SEM (Leng, 2008)