

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin meningkatnya kemajuan teknologi modern ini mengakibatkan kebutuhan akan penelitian dan pengembangan dalam segala bidang semakin meningkat pesat, terutama dalam bidang material. Hal yang mendasarkan kemajuan teknologi ini adalah semakin dibutuhkannya material baru guna menunjang bidang industri yang lain. Pengembangan material terfokus dalam komposit, karena dengan terbatasnya sumberdaya (*resources*), material komposit diharapkan dapat meningkatkan sifat material. Oleh sebab itu, tugas sarjana ini merupakan bentuk kesadaran masyarakat akademik untuk lebih serius mengembangkan material baru dengan komposit aluminium yang diperkuat *carbon nanotube* (CNT). Meskipun selama dekade terakhir ini dorongan untuk penelitian ini sudah berfokus pada penggunaan CNT untuk penguat matriks polimer dan keramik, bahkan beberapa kelompok telah meneliti tentang matrik logam dengan aluminium murni. Bahkan, ketertarikan pada peneliti komposit aluminium yang diperkuat CNT telah tumbuh jauh. Tujuan bersama dari berbagai kelompok adalah untuk menghasilkan komposit dengan sifat mekanik yang lebih tinggi. Komposit tersebut akan membuat material baru yang menarik, dengan aplikasi potensial pada bidang kedirgantaraan, otomotif, dan industri olahraga dimana berat yang ringan dikombinasikan dengan kekakuan tinggi dan kekuatan yang diinginkan [1].

Permintaan yang terus-menerus untuk pengurangan berat komponen struktural untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar mobil dan kendaraan kedirgantaraan telah menyebabkan perkembangan berbagai jenis logam berat ringan maju matriks komposit (MMCs) dengan kekuatan spesifik yang tinggi dan kekakuan, serta ketahanan yang mengesankan terhadap *creep* dan keausan. MMCs dirancang untuk menggabungkan karakteristik positif dari logam, seperti ketangguhan tinggi dan keuletan, dengan sifat yang menarik dari keramik, seperti kekuatan dan Modulus Young yang tinggi [2].

Metal matrix composites (MMC) telah mendapat perhatian yang cukup besar karena reputasi mereka sebagai bahan kuat, kaku dan ringan atas dasar alloy. Umumnya material matriks logam diperkuat dengan *high modulus continuous fibres*, serat pendek, serat irisan, *whiskers* atau partikel. Keausan terjadi ketika partikel keras atau *asperities* menembus permukaan lembut dan menggantikan materi dalam bentuk chip dan irisan memanjang. Keausan abrasif bahan dipengaruhi oleh banyak faktor seperti sifat bahan, kondisi operasi, geometri dari bentuk dan kondisi lingkungan. Selain itu, beberapa sifat mekanis seperti modulus elastisitas, kekuatan tarik, kekerasan, struktur mikro, pengerasan regangan dan regangan patah juga mempengaruhi keausan bahan. Telah diamati bahwa karakteristik geser atau abrasif bahan adalah sangat penting dalam sistem tribological seperti piston. Oleh karena itu, berbagai penelitian telah dilakukan pada perilaku keausan SiCp diperkuat MMC didasarkan pada karya eksperimental dan teoritis terhadap aus abrasif dari MMC. Dalam jurnal Deuisetal, menunjukkan bahwa faktor-faktor pengendali dalam komposit keausan adalah ukuran grit abrasif, kekerasan permukaan ada kaitannya dengan bahan abrasif dan penguat yang berarti mengarah pada MMC [3]. Contoh dari aplikasi komposit Al/CNT diantaranya frame raket yang akan jauh lebih kuat dan ringan. Ini dimungkinkan dengan menggunakan material nanoteknologi yang super kuat. Sifat *carbon nanotube* yang kekerasannya bahkan melebihi intan.

1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah mengetahui pengaruh kandungan *carbon nanotube* (CNT) dan SiC pada nilai densitas, keausan dan kekerasan dari komposit aluminium dengan penguat CNT dan SiC.

1.3 Batasan Masalah

Mengingat luasnya permasalahan yang ada, maka dalam pembahasan ini penulis merasa perlu untuk melakukan pembatasan masalah pada beberapa hal sebagai berikut:

1. Proses pembuatan dengan metalurgi serbuk.
2. Tiga variasi persentase berat yang dipilih 5, 10, dan 15% dari berat total.

3. Sintering yang dialiri argon, suhu 650°C, waktu penahanan 3 jam.
4. Tekanan kompaksi yang digunakan 200 Mpa.
5. Pengujian yang dilakukan, diantaranya, uji kekerasan, uji densitas, dan uji keausan.
6. Cara pengujian kekerasan dengan metode *Vickers*.
7. Cara pengujian densitas dengan metode archimedes.
8. Cara pengujian keausan dengan metode *Ogoshi*.
9. Tidak membahas ikatan kimia dari material komposit.

1.4 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang penulis lakukan dalam membuat tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Pustaka

Studi pustaka ini diperoleh dari beberapa literatur, baik berupa buku-buku, artikel-artikel, jurnal-jurnal yang ada kaitannya dengan tugas sarjana ini.

2. Asistensi dan Konsultasi

Konsultasi mengenai materi tugas akhir dan masalah-masalah yang timbul saat pengambilan data dengan dosen pembimbing.

3. Pengujian Laboratorium

Pengujian pada penelitian ini dilakukan Laboratorium Teknik Bahan JTMI Universitas Gajah Mada, Laboratorium Material Fakultas MIPA Fisika Universitas Diponegoro, dan Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

4. Pengolahan dan Analisis Data

Melakukan pengolahan data dan analisis berdasarkan data yang diperoleh serta menyajikan data hasil pengujian dalam bentuk grafik.

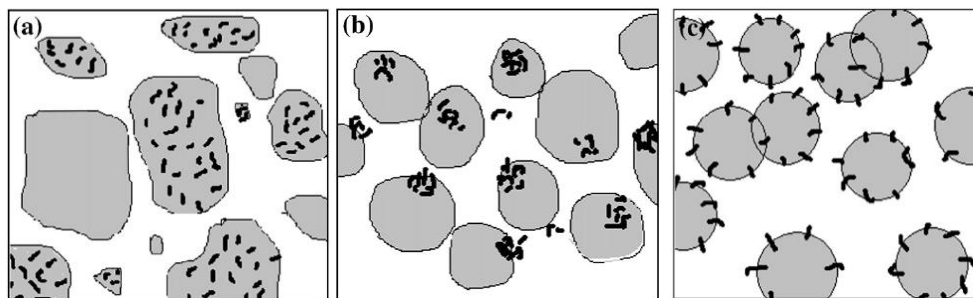
1.5 Sistematika Penulisan Laporan

Pada BAB I ini berisi mengenai latar belakang, tujuan, pembatasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan laporan. BAB II menjelaskan tentang komposit, sifat aluminium, sifat *carbon nanotube*, sifat silikon karbida, dan Aplikasi komposit Al/CNT dan Al/SiC. BAB III berisi tentang penjelasan pembuatan *carbon nanotube*, pembuatan spesimen mulai dari pencampuran sampai dengan perlakuan. BAB IV menjelaskan tentang hasil dari uji densitas, uji kekerasan, dan uji keausan. Pada bab ini pula akan dilakukan pembahasan terhadap hasil pengujian tersebut kemudian dibandingkan dengan teori yang ada. BAB V berisi kesimpulan dan saran sebagai tindak lanjut untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan penelitian tugas sarjana ini. Bagian yang terakhir berupa lampiran daftar pustaka merupakan sumber yang mendasari penulisan laporan ini serta terdapat lampiran-lampiran yang menunjang penelitian tersebut.

BAB II DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Sejak ditemukannya pada tahun 1991, *carbon nanotube* (CNT) telah menjadikan penguat yang menjanjikan untuk nano komposit, karena sifat mekanik dan fisik yang luar biasa dari nanotube, yaitu *high strength* yang luar biasa untuk rasio berat, aspek rasio yang tinggi, dan *high fracture strain* dan fleksibilitas yang tinggi. Penelitian ini mengamati kondisi dispersi CNT dalam serbuk logam. Serbuk aluminium dipilih sebagai matriks untuk campuran CNT. Terdapat tiga metode pencampuran yang berbeda, yaitu *high energy ball milling*, *low energy ball milling* and dengan teknik pencampuran *Polyester Binder Assisted* (PBA). Dalam penelitian Jinzhi Liao ini fraksi massa yang digunakan 0,5% dari CNT ditambahkan pada serbuk aluminium, dengan perbedaan metode *mixing*, yaitu *high energy ball milling*, *low energy ball milling* and dengan teknik pencampuran *Polyester Binder Assisted* (PBA). Didapat gambaran skema dari CNTs dan Serbuk aluminium setelah dimixing dengan teknik yang berbeda [4].



Gambar 2.1 Skema dari CNTs dan Serbuk aluminium setelah dimixing dengan teknik yang berbeda. (a) *high energy ball milling*, CNT efektif tersebar meskipun kurang merata pada serbuk Al; dan pada (b) *low energy ball milling*, CNT tersebar pada serbuk Al akan tetapi masih ada gumpalan; dan pada (c) dengan teknik pencampuran *Polyester Binder Assisted* (PBA), CNT melapisi serbuk aluminium akan tetapi masih terdapat gumpalan [4].

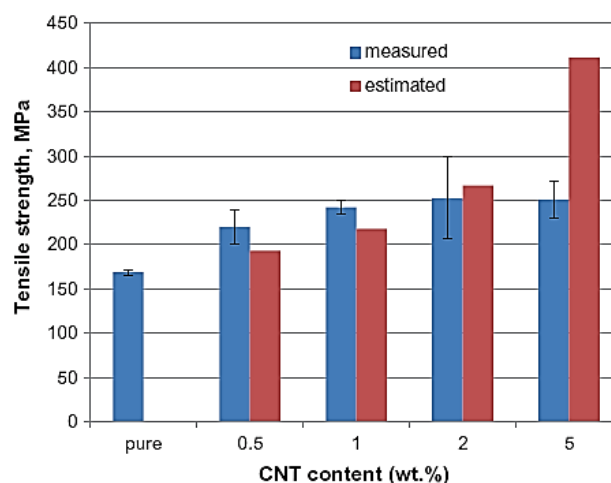
Sedangkan untuk perbandingan sifat mekanik dari teknik mixing yang berbeda didapatkan hasil sesuai Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan sifat mekanik dari konsolidifikasi Al dan komposit Al/CNT 0,5 wt% [4].

Material	Pure Al		Al-0.5 wt.% CNT	
	Tensile strength (MPa)	HV hardness	Tensile strength (MPa)	HV hardness
PBA	132	40	165 (↑ 25%)	48 (↑ 20%)
Low energy ball milling	153	45	174 (↑ 14%)	50 (↑ 11%)
High energy ball milling	166	48	206 (↑ 24%)	58 (↑ 21%)

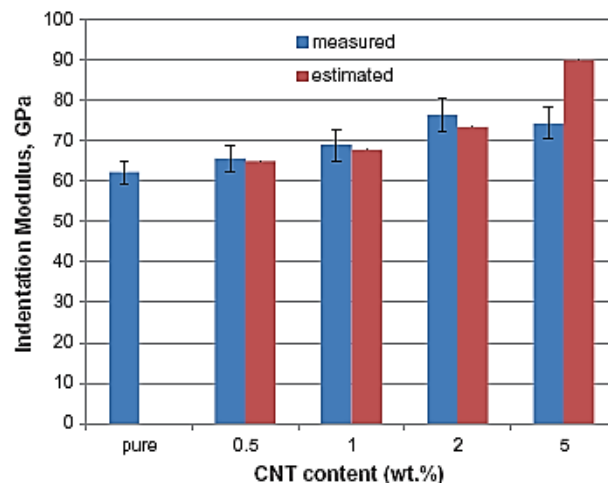
Hasil dari sifat mekanik menunjukkan bahwa mixing serbuk berhasil. Selain itu penambahan CNT yang sedikit (0,5% wt.), ternyata bisa meningkatkan kekuatan dan kekerasan komposit dibandingkan dengan matriks yang murni.

Dikutip dari jurnal yang ditulis Esawi A.M.K dkk, berisi tentang komposit matrik aluminium yang diperkuat CNT menghasilkan, komposit dengan persen berat CNT yang semakin banyak menunjukkan peningkatan kekuatan tariknya. Tren yang sama dapat diamati pada pengukuran *Young modulus* dengan peningkatan maksimum (+23%), pada sample 2%wt CNT. Tidak seperti pada kekuatan tarik, pada *Young modulus* terjadi penurunan sedikit sebesar 5%, akan tetapi masih melampaui kekakuan aluminium murni 20%, dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan 2.3.



Gambar 2.2 Efek dari kandungan CNT pada pengujian kekuatan tarik dari penelitian komposit [1].

Peningkatan yang signifikan terjadi pada komposit dengan 2%wt CNT. Kekuatan tarik yang diterima mencapai 250 Mpa dibandingkan dengan aluminium murni hanya 175 Mpa, akan tetapi tidak pada penambahan 5%wt CNT. Tidak terjadi kenaikan kekuatan tarik sesuai dengan estimasi.



Gambar 2.3 Efek dari kandungan CNT pada *indentation modulus* dari penelitian komposit [1].

Dari kutipan jurnal tersebut diketahui bahwa sifat mekanik yang dihasilkan meningkat secara signifikan dengan meningkatnya kandungan CNT dan baik melebihi atau yang dekat dengan nilai-nilai diprediksi berdasarkan teori komposit kecuali pada penambahan 5%wt [1].

Dalam jurnal yang ditulis Jishnu J.Bhattacharyya, mengenai pengaruh dari temperatur *hot rolling* dan siklus termal pada perilaku *creep* dan *damage* dari proses metalurgi serbuk komposit partikel Al/SiC. Kerusakan yang disebabkan oleh mikrostruktur *creep* telah diukur terhadap perubahan yang diamati dalam kepadatan dan kekerasan mikro komposit. Material yang digunakan dalam penelitian ini komposit Al-SiCp, memiliki kemurnian komersial (99,5%) aluminium sebagai matriks, dan partikel SiC 5vol% sebagai penguat. Metode yang digunakan *hot pressing*. Spesimen yang sudah dipadatkan kemudian diproses *hot pressing* lalu dipanaskan antara 400 atau 600 °C dalam furnace selama 2 jam dan kemudian menggunakan *hot rolled* dua atau lebih. Hasil pengujian didapatkan nilai densitas dan matriks *micro hardness* dari sampel

komposit yang diteliti diukur dalam *as-rolled* kondisi mereka dan setelah menguji untuk dua siklus termal ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Tabel menunjukkan matriks microhardness 400-HRC dan 600-HRC dalam kondisi *as-rolled* atau 2-TC [2].

Specimen identity		Density (g/cm ³)	% Decrease in density	Matrix microhardness (HV)	% Increase in microhardness
Rolling temperature (°C)	Condition				
400	As rolled	2.7441	1.08	49.9 ± 0.6	6.4
400	2 Thermal cycles	2.7144		53.1 ± 1.4	
600	As rolled	2.7070	0.2	41.9 ± 0.2	12
600	2 Thermal cycles	2.7016		46.9 ± 2.8	

Hasil yang ditunjukkan dalam tabel ini menunjukkan bahwa kepadatan komposit turun pada setiap siklus termal, karena nilai densitas yang turun pula pada setiap siklus termal. Namun, jumlah penurunan kepadatan lebih tinggi untuk 400-HRC dari itu untuk 600-HRC dari E5 kali, yang menunjukkan bahwa kerusakan akibat siklus termal lebih besar dalam komposit sebelumnya. Pada saat yang sama, sebuah studi terhadap mikrostruktur telah dijelaskan bahwa kerusakan tersebut terbatas hanya pada lokasi tersebut, di mana partikel SiC yang berkelompok.

Evaluasi parameter creep telah menunjukkan 400-HRC menjadi lebih tahan creep dari 600-HRC, yang dapat dijelaskan atas dasar kerapatan dislokasi tinggi dalam matriks komposit sebelumnya, seperti ditegaskan oleh pengukuran kekerasan mikro. Untuk masing-masing komposit, nilai eksponen baik tegangan dan energi aktivasi telah ditemukan lebih tinggi dari pada yang diharapkan, untuk *creep* yang dikendalikan oleh dislokasi *glide* atau *climb* pada matrix aluminium.

Analisis dari data *creep* telah menunjukkan adanya hubungan linier antara fungsi waktu untuk luluh dan *steady state* laju *creep* yang mengikuti hubungan Monkman-Grant, serta antara logaritma waktu untuk luluh dan stres. Hubungan empiris dan plot dari parameter Larson-Miller terhadap stres dapat secara efektif digunakan untuk memprediksi umur *creep* dari kedua penelitian komposit untuk kondisi yang tidak di ketahui dari tes [2].

Dalam jurnal yang ditulis Sahin Yusuf yang berjudul *Abrasive wear behaviour of SiC/2014 Aluminium composite*, menjelaskan matriks paduan aluminium yang diperkuat dengan partikel SiC 15%wt yang telah disiapkan, dengan metode metalurgi serbuk. Perilaku keausan komposit yang diteliti untuk mengetahui pengaruh variabel operasi dan kekerasan dalam hal pendekatan Taguchi, pada mesin *pin on disc* dan dibandingkan dengan pekerjaan sebelumnya pada komposit yang dihasilkan dengan metode metalurgi cair. Analisis varians (ANOVA) juga digunakan untuk menyelidiki dimana parameter desain secara signifikan mempengaruhi perilaku keausan komposit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran butir abrasif memberikan efek terbesar pada keausan, diikuti oleh kekerasan, yang mendukung pekerjaan sebelumnya, akan tetapi kontribusi persentasenya sangat berbeda. Kontribusi persentase dari ukuran butir dan kekerasan sekitar 81.57 dan 11.09. Hal ini mungkin karena metode produksi PM, ukuran partikel, model yang digunakan tidak mempertimbangkan efek interaksi, dan pengujian kondisi. Terlebih lagi, ukuran partikel yang lebih besar dari komposit menunjukkan ketahanan aus lebih dari yang lain. Adapun kasus sebelumnya kontribusi persentase dari ukuran butir dan jenis bahan (kekerasan) adalah sekitar 29.90, 17.90. Namun, kontribusi persentase interaksi ukuran kasar dan kekerasan adalah sekitar 30.90 [3].

2.2. Material Komposit

Komposit adalah material struktural yang terdiri dari dua gabungan atau lebih unsur, yang digabungkan pada tingkat makroskopik dan tidak larut antara satu dengan yang lain [5]. Berdasarkan definisi tersebut maka kondisi ikatan permukaan sangat berpengaruh terhadap kekuatan komposit. Persyaratan dasar kekuatan komposit terletak pada kekuatan antar muka matrik dan penguat. Ikatan antar muka inilah yang menjadi jembatan transmisi tegangan luar yang diberikan dari matrik menuju partikel penguat. Jika ikatan antarmuka terjadi dengan baik maka transmisi tegangan ini dapat berlangsung dengan baik pula. Material komposit tersusun atas 2 (dua) bagian yang berbeda yaitu matrik dan penguat. Matrik merupakan fasa utama dan kontinu, berfungsi menahan fasa penguat dan meneruskan beban. Sedangkan penguat merupakan fasa kedua dan diskontinu yang dimasukkan ke dalam matrik. Material penguat biasanya dalam bentuk serat, partikel, atau serpihan. Matrik memiliki sifat ulet, sementara itu

penguat umumnya memiliki kekuatan lebih tinggi dari pada matrik, sehingga disebut fasa penguat (*reinforcing phase*) [6].



Gambar 2.4 Beton yang diperkuat dengan baja [7].

Contoh dari sistem komposit diantaranya beton yang diperkuat dengan baja, beton memiliki sifat yang kuat terhadap tekanan, tetapi lemah dalam ketegangan. Baja tulangan memiliki kekuatan tarik yang sangat baik, tetapi harus diperhitungkan penempatannya untuk menjadi efektif. Dengan demikian, baja beton bertulang menyediakan bahan struktural kuat atau komposit yang dapat estetis, ekonomis, handal, dan tahan lama [7].

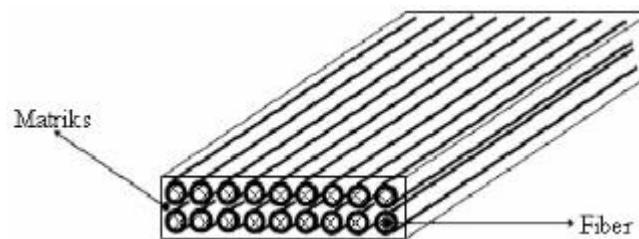
Komposit dapat digolongkan berdasarkan jenis matrik dan bentuk penguatnya.

Klasifikasi Komposit Berdasarkan Matrik

- *Metal matrix composites* (MMCs), yaitu komposit yang memiliki matrik berupa logam.
- *Ceramic Matrix Composites* (CMCs), yaitu komposit dengan matrik dari bahan keramik.
- *Polymer Matrix Composites* (PMCs), yaitu jenis komposit dengan matrik dari bahan polimer.

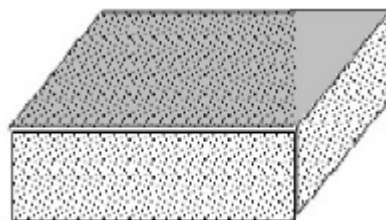
Klasifikasi Komposit Berdasarkan Penguat / *reinforcement*

- *Fibrous composite*, yaitu komposit yang hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapis dan berpenguat fiber. Kayu adalah komposit alam yang terdiri dari serat *hemiselulosa* dalam *matriks lignin*. Fiber yang digunakan untuk menguatkan matriks dapat pendek, panjang, atau kontinyu. Berdasarkan jenis seratnya dibedakan atas:
 - a. Serat Kontinyu, dengan orientasi serat yang bermacam-macam antara lain arah serat satu arah (*unidireksional*), dua arah (*biaksial*), tiga arah (*triaksial*).
 - b. Serat diskontinyu, serat menyebar dengan acak sehingga sifat mekaniknya tidak terlalu baik jika dibandingkan dengan serat kontinyu.



Gambar 2.5 *Fibrous composite* [6].

- *Particulate composite*, yaitu komposit dengan penguat berupa partikel/serbuk yang tersebar pada semua luasan dan segala arah dari komposit. *Particulate composite material* (material komposit partikel) terdiri dari satu atau lebih partikel yang tersuspensi di dalam matriks dari matriks lainnya. Partikel logam dan non-logam dapat digunakan sebagai matriks.



Gambar 2.6 *Particulate composite* [6].

Empat kombinasi yang dapat digunakan sebagai matriks komposit partikel:

- a. Material komposit partikel non-logam di dalam matriks non-logam, yaitu sistem material komposit partikel yang kedua atau lebih unsur pembentuknya (matriks dan penguat) tidak berupa material logam, misalnya berupa *ceramics matrix-glass particulate*.
 - b. Material komposit partikel logam di dalam matriks non-logam, yaitu sistem material komposit partikel yang memiliki matriks tidak berupa material logam, sementara partikel penguatnya berupa material logam, misalnya *aluminium powder* dalam matriks *polyurethane* atau *polysulfide rubber*.
 - c. Material komposit partikel non-logam di dalam matriks logam, yaitu sistem material komposit partikel yang baik matriks maupun partikel penguatnya berupa material logam, namun tidak sama seperti model paduan logam (*metal alloy*), sebab penguat partikel logam tidak melebur di dalam matriks logam.
 - d. Material komposit partikel logam di dalam matriks logam, yaitu sistem material komposit partikel yang matriksnya berupa material logam, namun material penguatnya tidak berupa material logam, melainkan dari jenis material nonlogam, misalnya *ceramics particulate* dalam matriks *stainless steel*.
- *Laminated composite*, yaitu komposit yang berlapis-lapis, paling sedikit terdiri dari dua lapis yang digabung menjadi satu, dimana setiap lapisan pembentuk memiliki karakteristik sifat tersendiri. Terdiri sekurang-kurangnya dua lapis material yang berbeda dan digabung secara bersama-sama. *Laminated composite* dibentuk dari dari berbagai lapisan-lapisan dengan berbagai macam arah penyusunan serat yang ditentukan yang disebut *laminat*.



Gambar 2.7 *Laminated composite* [6].

2.3. Komposit Matrik Logam / Metal Matrix Composites

2.3.1. Bahan Penyusun MMCs

Metal matrix composites (MMCs) adalah material yang terdiri dari matrik berupa logam dan paduannya yang diperkuat oleh bahan penguat dalam bentuk *continous fibre*, *whiskers*, atau *particulate*. Sifat komposit tergantung dari beberapa faktor yang mempengaruhinya diantaranya adalah jenis material komposit yang digunakan, fraksi volume penguat, dimensi dan bentuk penguat dan beberapa variabel proses lainnya. Bahan matrik umumnya adalah aluminium serta paduannya, magnesium dan paduannya serta titanium dan paduannya. Dalam penelitian ini penulis menggunakan aluminium murni. Karakteristik fisik dan mekanik matrik aluminium ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Sifat fisik dan mekanik logam aluminium [6].

Density,	2.7 g/cm ³
Modulus of elastisity, E	71 Gpa
Hardness	19 VHN
Yield strength, Y	25 Mpa
Thermal conductifity, C	237 W/mK
C.T.E	2,4.10-5 /°C

2.3.2. Karakteristik Mekanik MMCs

Kombinasi material matrik yang memiliki sifat keuletan tinggi, densitas rendah, titik lebur rendah dan penguat keramik yang keras dan getas ini akan menghasilkan karakteristik komposit MMCs yang mempunyai sifat lebih baik dari keduanya, yaitu kekuatan, modulus elastisitas, ketangguhan, ketahanan impact, konduktivitas listrik dan panas yang tinggi. Karakteristik mekanik dan termal MMCs secara umum dapat diperlihatkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Sifat Mekanik Komposit Matrik Logam [6].

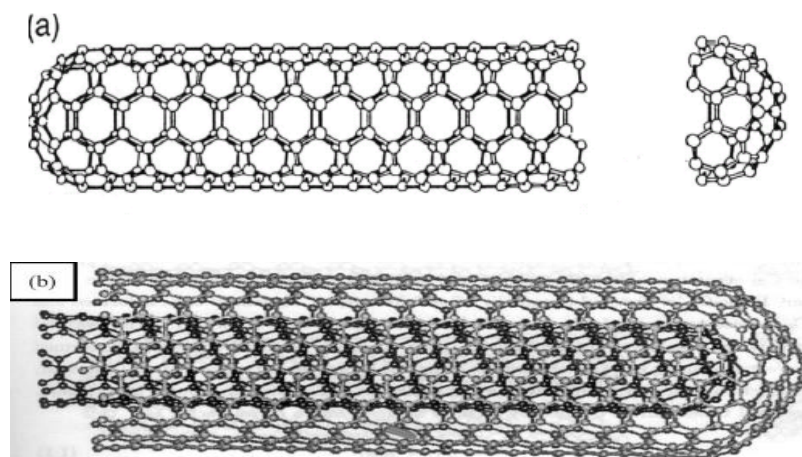
<i>Fiber</i>	<i>Matrix</i>	<i>Fiber Content (vol%)</i>	<i>Density (g/cm³)</i>	<i>Longitudinal Tensile Modulus (GPa)</i>	<i>Longitudinal Tensile Strength (MPa)</i>
Carbon	6061 Al	41	2.44	320	620
Boron	6061 Al	48	—	207	1515
SiC	6061 Al	50	2.93	230	1480
Alumina	380.0 Al	24	—	120	340
Carbon	AZ31 Mg	38	1.83	300	510
Borsic	Ti	45	3.68	220	1270

2.4. Carbon Nanotubes

Pada tahun 1985, Richard E. Smalley, Robert F. Curl Jr dan Sir Harold W. Kroto menemukan struktur karbon murni yang tersusun 60 atom (C_{60}) [8]. Penemuan *fullerene* ini kemudian memacu penemuan material baru bernama *Carbon Nanotubes*. Struktur *Carbon Nanotubes* mirip dengan *fullerene*, bedanya atom-atom karbon pada *fullerene* membentuk struktur bola sedangkan pada *Carbon Nanotubes* berbentuk tabung silinder yang pada tiap-tiap ujungnya tertutup oleh karbon-karbon yang berbentuk setengah struktur *fullerene* sehingga *Carbon Nanotubes* mempunyai ruang kosong di dalamnya [9].

2.4.1 Struktur Carbon Nanotubes

Struktur *Carbon Nanotubes* dapat dianggap sebagai lembaran *graphene* yang terbungkus panjang, sehingga *Carbon Nanotubes* dapat dianggap seperti struktur satu dimensi [10]. Berdasarkan jumlah dinding yang dibentuknya ada dua jenis *Carbon Nanotubes*, yaitu *Single-Walled Nanotubes* (SWNT) yang hanya membentuk satu dinding dan *Multi-Walled Nanotubes* (MWNT) yang membentuk lebih dari satu dinding berlapis-lapis. Struktur MWNT mempunyai karakteristik cukup unik; namun, penelitian secara teori mengindikasikan bahwa jenis *Carbon Nanotubes* berdinding satu lapis (SWNT) dan biasanya berdiameter lebih kecil (~2 nm) mempunyai karakteristik yang lebih menarik dan fantastis.



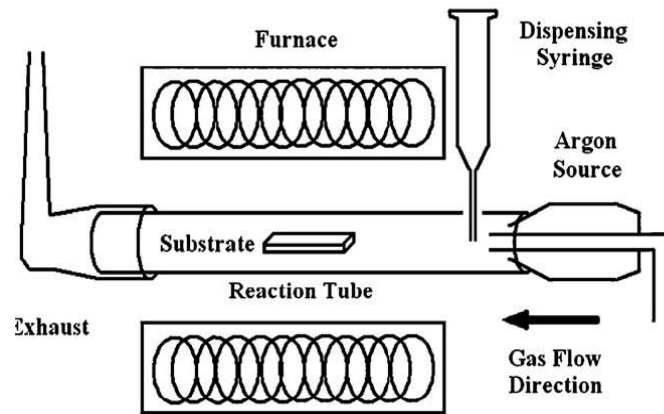
Gambar 2.8 Struktur *Carbon Nanotubes*, a) struktur SWNT, b) struktur MWNT [10].

2.4.2 Sintesis *Carbon Nanotubes* dengan Metode *Spray-Pyrolysis*

Carbon Nanotubes dapat ditumbuhkan menggunakan metode *spray-pyrolysis*. Berbagai penggunaan reaktan larutan telah dicoba, diantaranya adalah *benzene* jenis *metallocene* ($(C_5H_5)_2M$) yang digunakan sebagai sumber karbon dan katalisator. Dari hasil penelitian, logam yang bisa digunakan sebagai katalis *metallocene* adalah besi, kobalt, nikel, dan zink, atau katalis lainnya, yaitu *klorid metal* (MCl_x). *Benzene* secara langsung dapat larut membentuk campuran logam-*benzene*. Namun demikian, *kloridmetal* tidak dapat larut dalam *benzene*, sehingga sebagai gantinya digunakan metanol sebagai sumber karbon, hal ini tergantung pada logam yang digunakan.

Susunan alat *spray-pyrolysis* ditunjukkan pada Gambar 2.6, komponen campuran *benzene* dengan katalis telah disimpan di dalam suatu tempat semprotan yang akan diberikan suatu arus pembawa berupa gas argon yang sudah ditetapkan. Arus pembawa yang tinggi akan memungkinkan komponen larutan reaktan untuk langsung dipertemukan di dalam *furnace* sebagai cairan dan pada konsentrasi tertentu laju alir akan menurun sehingga memungkinkan *benzene* untuk menguap dan akan menyebabkan logam untuk keluar dari larutan. Disamping itu, laju alir arus pembawa yang tinggi menyebabkan sebagian besar komponen reaktan untuk menerobos daerah yang dipanaskan tanpa terjadi reaksi.

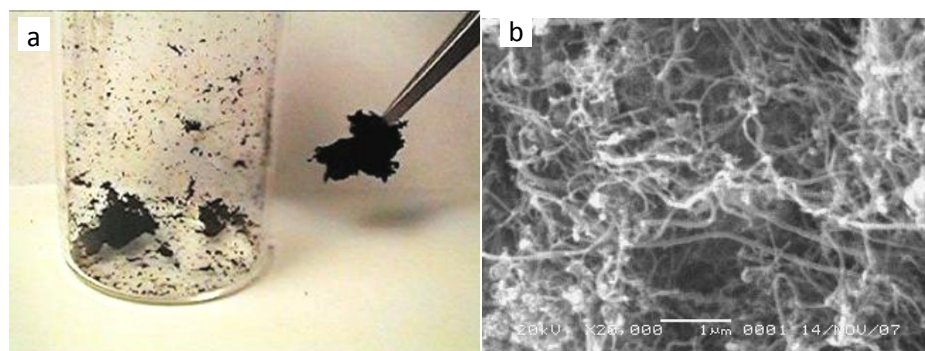
Ketika memasuki daerah pertumbuhan, gas dan campuran komponen reaktan akan cepat memanaskan dari $25^\circ C$ menuju suhu reaksinya, keduanya (*benzene* dan logam katalis) bercampur untuk menghasilkan atom logam tunggal dan jenis karbon yang berukuran nano dari inti (*Carbon Nanotubes*). *Carbon Nanotubes* dapat terbentuk karena adanya pengaruh dari katalisator yaitu karena pengaruh dari katalis *ferrocene* yang digunakan [11].



Gambar 2.9 Susunan alat *spray-pyrolysis* [11].

Ferrocene lebih banyak digunakan daripada *cobaltocene* dan *nickelocene* sebagai katalis dalam pembuatan *Carbon Nanotubes* yang menggunakan sumber karbon berupa *benzene* karena kelarutan *cobaltocene* dan *nickelocene* di dalam *benzene* rendah jika dibandingkan dengan *ferrocene*.

Hasil sintesis *Carbon Nanotubes* menggunakan metode *Spray-Pyrolysis* yang dilakukan oleh Rowi tahun 2008 dapat dilihat pada Gambar 2.10. *Carbon Nanotubes* berbentuk serbuk berwarna hitam Gambar 2.10 (a). Sedangkan pada Gambar 2.10 (b) memperlihatkan citra SEM material *Carbon Nanotubes* yang disintesis pada temperatur 900 °C dengan perbesaran 20.000 kali. Ukuran tabung *Carbon Nanotubes* 20-50 nm, sehingga pada proses *spray-pyrolysis* ini termasuk jenis MWNT *Carbon Nanotubes* [12].

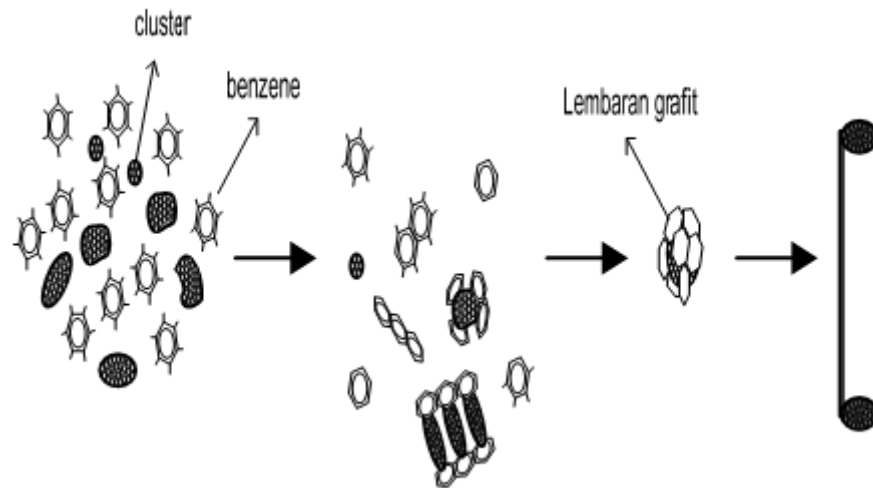


Gambar 2.10 (a) Material *Carbon Nanotubes* yang dihasilkan dari Metode *Spray-Pyrolysis*,
 (b) Citra SEM material *Carbon Nanotubes* yang disintesis pada temperatur 900 °C [13].

Pada metode *spray pyrolysis*, bahan dasar CNT dapat berupa hidrokarbon *benzene* dan katalis *ferrocene* maupun sumber katalis lainnya dalam bentuk *metallocenes* ((C₅H₅)₂M) dan *metal chloride* (MCl_x). Bahan-bahan ini tidak bersifat toksis sehingga cukup aman untuk digunakan di dalam sintesis. Selain itu metode ini juga tidak memerlukan pemvakuman sehingga merupakan metode yang sederhana untuk diterapkan. Dengan pertimbangan tersebut maka sintesis CNT dengan metode *spray pyrolysis* ini cukup diminati banyak peneliti karena diprediksi dapat menghasilkan material CNT dalam skala besar [13].

Dalam metode *spray pyrolysis*, CNT terbentuk dengan adanya proses dekomposisi senyawa hidrokarbon sebagai sumber karbon dengan bantuan metal transisi sebagai katalis. Senyawa hidrokarbon merupakan senyawa yang paling sering digunakan sebagai sumber karbon dalam metode ini. *Benzene* dengan struktur kimia berbentuk heksagonal menjadikan senyawa ini menjadi senyawa yang sering digunakan dalam membuat CNT dibandingkan dengan senyawa hidrokarbon lainnya. Kumpulan heksagon-heksagon ini nantinya akan membentuk lembaran grafit yang kemudian tergulung membentuk CNT. Dalam *spray pyrolysis*, larutan *benzene-ferrocene* masuk ke dalam tungku pemanas dalam fasa cair berupa droplet kemudian berubah menjadi fasa uap karena adanya proses pemanasan di dalam tungku. Selama larutan *benzene-ferrocene* dipanaskan di dalam tungku molekul-molekul *ferrocene* dan *benzene* akan putus secara termal kemudian akan terjadi beberapa reaksi diantaranya *dehidrogenasi*, kondensasi cincin *benzene* dan *cyclopentadiene*, pembukaan cincin *benzene* dan *cyclopentadiene*, agglomerasi atom Fe satu sama lain yang kemudian membentuk *cluster* yang ukurannya dapat bertambah selama proses penumbuhan. Ion Fe⁺² akan tereduksi menjadi logam Fe dimana akan mengkatalisasi proses dehidrogenasi *benzene*. Molekul-molekul *benzene* yang terdehidrogenasi tersebut akan berikatan dengan molekul *benzene* terdehidrogenasi lainnya membentuk lapisan grafit di permukaan *cluster* yang kemudian *cluster* akan bergerak membentuk formasi silinder dan berakhir di ujung silinder sampai diameter silinder yang terbentuk sama dengan diameter *cluster*. Kondisi ini berlangsung pada fasa uap. Ketika temperatur diturunkan terjadilah

perubahan fasa menjadi padat dalam bentuk CNT [14]. Mekanisme penumbuhan CNT tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Mekanisme penumbuhan CNT [14].

2.5. Material Keramik SiC

Keramik mempunyai ikatan ionik yang tinggi, keadaan sedemikian menyebabkan bahan ini dikategorikan sebagai bahan yang bersifat kuat dan rapuh. Selain material keramik bersifat rapuh, tetapi juga mempunyai kelebihan, antara lain: koefisien ekspansi termalnya rendah sehingga lebih tahan terhadap kejutan suhu. Ketahanannya pada suhu tinggi merupakan sifat penting dan menjadi faktor utama untuk dipertimbangkan dalam pemilihan bahan baru keramik yang berkekuatan tinggi. Kelemahan dari material keramik adalah sifat rapuhnya, sehingga bila terjadi retak mikro, maka akan mudah menjalar retakan tersebut dan dapat menyebabkan kerusakan (*failure*).

Silikon karbida dengan formula SiC tergolong salah satu jenis material keramik non oksida. Material ini tergolong material yang sangat keras dan tahan terhadap abrasi. Serbuk keramik SiC ada dua macam, dapat dibagi berdasarkan bentuknya, yaitu: serabut dan partikulat (*whiskers*).

Silikon karbida SiC memiliki densitas sekitar 3.2 g/cm^3 , memiliki temperatur sublimasi sekitar 2700°C sehingga banyak dipergunakan sebagai *bearings* dan *sparepart* untuk tungku. Silikon karbida tidak mudah melebur pada berbagai kondisi tekanan, dan relatif lebih tahan terhadap bahan kimia [15].

2.6. Metalurgi Serbuk

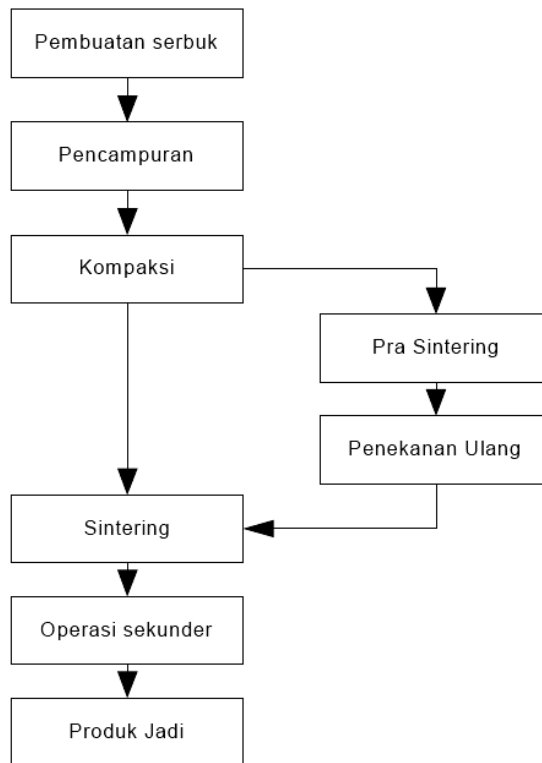
Metalurgi serbuk merupakan salah satu teknik produksi dengan menggunakan serbuk sebagai material awal sebelum proses pembentukan. Prinsip ini adalah memadatkan serbuk logam menjadi bentuk yang diinginkan dan kemudian memanaskannya di bawah temperatur leleh. Sehingga partikel-partikel logam memadu karena 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. Sebagai ukuran ditentukan oleh cetakan dan penyelesaian akhir (*finishing touch*).

Proses metalurgi serbuk adalah merupakan proses pembuatan produk dengan menggunakan bahan dasar dengan bentuk serbuk yang kemudian disinter yaitu proses konsolidasi serbuk pada temperatur tinggi yang di dalamnya termasuk juga proses penekanan atau kompaksi.

Proses metalurgi serbuk memiliki banyak keuntungan antara lain :

1. Efisiensi pemakaian bahan yang sangat tinggi dan hampir mencapai 100%
2. Tingkat terjadinya cacat seperti segregasi dan kontaminasi sangat rendah.
3. Stabilitas dimensi sangat tinggi.
4. Kemudahan dalam proses standarisasi dan otomatisasi
5. Tidak menimbulkan tekstur pada produk.
6. Besar butir mudah dikendalikan
7. Mudah dalam pembuatan produk beberapa paduan khusus yang susah didapatkan dengan proses pengecoran (*casting*).
8. Porositas produk mudah dikontrol .
9. Cocok untuk digunakan pada material dengan kemurnian tinggi.
10. Cocok untuk pembuatan material komposit dengan matriks logam.

Adapun tahapan dari proses metalurgi serbuk adalah seperti pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Skema proses metalurgi serbuk [16].

2.6.1 Sifat-Sifat Khusus Serbuk Logam

1. Ukuran Partikel

Metoda untuk menentukan ukuran partikel antara lain dengan pengayakan atau pengukuran mikroskopik. Kehalusan berkaitan erat dengan ukuran butir, faktor ini berhubungan dengan luas kontak antar permukaan, butir kecil mempunyai porositas yang kecil dan luas kontak antar permukaan besar sehingga difusi antar permukaan juga semakin besar dan kompaktibilitas juga tinggi.

2. Distribusi Ukuran Dan Mampu Alir

Dengan distribusi ukuran partikel ditentukan jumlah partikel dari ukuran standar dalam serbuk tersebut. Pengaruh distribusi terhadap mampu alir dan porositas produk cukup besar. Mampu alir merupakan karakteristik yang menggambarkan alir serbuk dan kemampuan memenuhi ruang cetak.

3. Sifat Kimia

Terutama menyangkut kemurnian serbuk, jumlah oksida yang diperbolehkan dan kadar elemen lainnya. Pada metalurgi serbuk diharapkan tidak terjadi reaksi kimia antara matrik dan penguat.

4. Kompresibilitas

Kompresibilitas adalah perbandingan volum serbuk dengan volum benda yang ditekan. Nilai ini berbeda-beda dan dipengaruhi oleh distribusi ukuran dan bentuk butir, kekuatan tekan tergantung pada kompresibilitas.

5. Kemampuan sinter

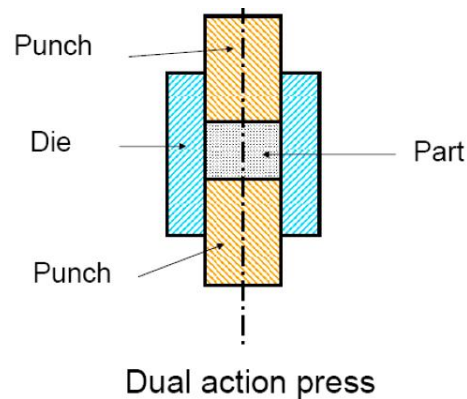
Sinter adalah proses pengikatan partikel melalui proses penekanan dengan cara dipanaskan dua per tiga dari titik lelehnya.

2.6.2. Proses Pencampuran Serbuk

Kualitas produk sangat dipengaruhi kehomogenan komponen penyusun bahan melalui proses pencampuran atau yang juga biasa disebut sebagai proses kalsinasi. Pencampuran dapat dilakukan dengan proses kering (*dry mixing*) dan proses basah (*wet mixing*). Cara pencampuran basah (*wet mixing*) adalah cara yang lebih banyak dipakai yaitu dengan menggunakan pelarut organik untuk mengurangi pengaruh atmosfer yang menyebabkan peristiwa oksida.

2.6.3. Proses Penekanan atau Kompaksi

Penekanan adalah salah satu cara untuk memadatkan serbuk menjadi bentuk yang diinginkan. Terdapat beberapa metode penekanan, diantaranya penekanan dingin (*cold compaction*) dan penekanan panas (*hot compaction*). Penekanan terhadap serbuk dilakukan agar serbuk dapat menempel satu dengan lainnya sebelum ditingkatkan ikatannya dengan proses sintering. Dalam proses pembuatan suatu paduan dengan metode metalurgi serbuk, terikatnya serbuk sebagai akibat adanya *interlocking* antar permukaan, interaksi adesi-koheksi, dan difusi antar permukaan. Untuk yang terakhir ini (difusi) dapat terjadi pada saat dilakukan proses sintering.



Gambar 2.13 Susunan penekan dan die untuk memadatkan serbuk logam [16].

Secara singkat penyebab ikatan bahan serbuk tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1. *Interbacking*, yaitu terjadi ikatan akibat kekerasan permukaan serbuk.
2. *Adhesi – kohesi*, yaitu suatu interaksi akibat adanya ikatan logam dan ikatan *vander walls* pada butiran serbuk.

Ikatan *vander walls* terjadi akibat adanya fluktuasi dipole pada atom dan butir-butir serbuk. Dan besarnya gaya *vander walls* ini dipengaruhi oleh bentuk butir serbuk akibat proses kompaksi. Bentuk benda yang dikeluarkan dari pressing disebut bahan kompak mentah, telah menyerupai produk akhir, akan tetapi kekuatannya masih rendah. Kekuatan akhir bahan diperoleh setelah proses sintering.

2.6.4. Sintering

Sintering adalah salah satu tahapan metodologi yang sangat penting dalam ilmu bahan, terutama untuk bahan keramik. Selama sintering terdapat dua fenomena utama yaitu : pertama adalah penyusutan (*shrinkage*) yaitu proses eliminasi porositas dan yang kedua adalah pertumbuhan butiran. Fenomena yang pertama dominan selama pepadatan belum mencapai kejenuhan, sedang kedua akan dominan setelah pepadatan mencapai kejenuhan. Parameter sintering diantaranya adalah: temperatur, waktu penahanan, kecepatan pendinginan, kecepatan pemanasan dan atmosfer.

Dari segi cairan, sintering dapat menjadi dua yaitu : sintering fasa padat dan sintering fasa cair. Sintering dengan fasa padat adalah sintering yang dilaksanakan pada

suatu temperatur yang telah ditentukan, dimana dalam bahan semuanya tetap dalam fasa padat. Proses penghilangan porositas dilakukan melalui transport massa. Jika dua partikel digabung dan dipanaskan pada suhu tertentu, dua partikel ini akan berikatan bersama-sama dan akan membentuk *neck*. Pertumbuhan disebabkan oleh transport yang meliputi evaporasi, kondensasi, difusi [16].

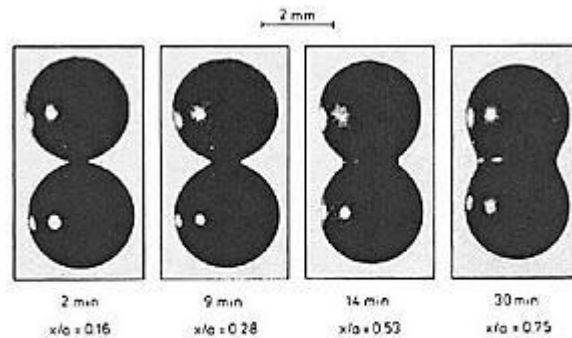


FIGURE 8.2 Two-particle model made of glass spheres (3 mm diameter) sintered at 1000°C. (x and a represent the radius of the neck and the sphere, respectively.). (from Ref. 66.)

Gambar 2.14 Skema terjadinya proses sintering serbuk logam [17].

Setelah dilakukan proses sintering terhadap sampel yang sebelumnya telah dilakukan proses kompaksi maka ikatan antar serbuk akan semakin kuat. Meningkatnya ikatan setelah proses sintering ini disebabkan timbulnya *liquid bridge (necking)* sehingga porositas berkurang dan bahan menjadi lebih kompak. Dalam hal ini ukuran serbuk juga berpengaruh terhadap kompaktibilitas bahan, semakin kecil ukuran serbuk maka porositas kecil dan luas kontak permukaan antar butir semakin luas [17].

2.7. Aplikasi Komposit Al/CNT dan Al/SiC

Sudah cukup banyak penelitian yang telah dilakukan untuk komposit Al/CNT sejak awal keberadaannya dan dalam kebanyakan kasus, peningkatan yang signifikan dalam sifat mekanik atas logam murni telah ditemukan. Jumlah terbatas dari penelitian yang telah dilakukan untuk menggabungkan nanotube terhadap logam lain seperti titanium dan magnesium.

Seperti yang telah disebutkan di atas sebelumnya, nanotube telah digunakan untuk meningkatkan sifat anti statis dari komponen *fuel-handling* dan panel bodi mobil.

Hyperion Katalisis International of Cambridge, Massachusetts adalah pelopor tentang masalah ini. The Nanoledge perusahaan Perancis telah bekerjasama dalam produksi peralatan olahraga yang mengandung nanotube seperti raket tenis, sementara sepeda Swiss produsen BMC, dalam kemitraan dengan perusahaan AS Easton, telah memasukkan nanotube dalam *frame* sepeda balap dengan kinerja tinggi (Gambar 2.15). Biaya produk ini menempatkan mereka baik di luar kisaran harga dari konsumen biasa [18].

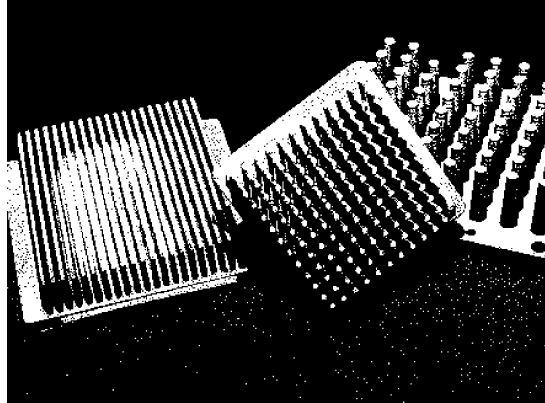


Gambar 2.15 Sepeda balap BMC Pro Machine SLC01 dengan frame mengandung *carbon nanotubes* [18].

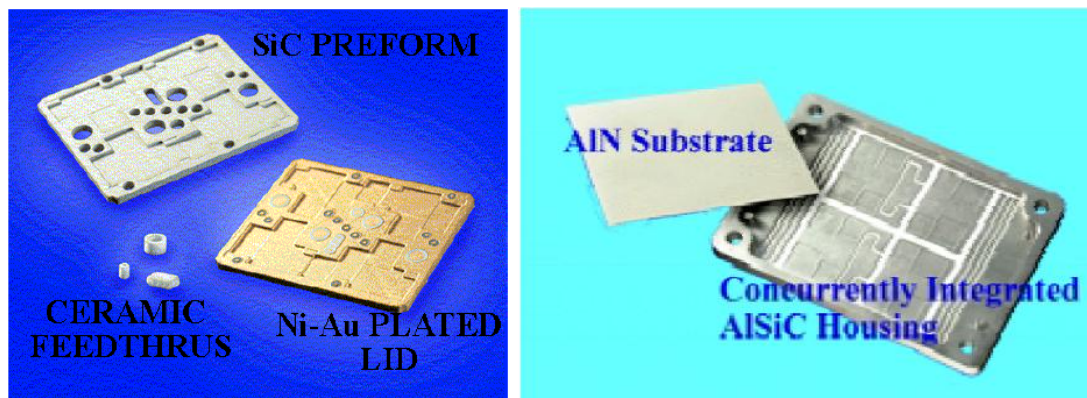
Komposit *aluminium silicon carbide* (Al/SiC) metal matriks komposit (MMC) material yang memiliki sifat unik, cocok untuk semua aplikasi kemasan elektronik yang memerlukan manajemen termal. Al/SiC memiliki konduktivitas panas yang tinggi dan CTE yang cocok memungkinkan dapat digunakan untuk perangkat IC. Selain itu, densitas material Al/SiC yang rendah membuatnya cocok untuk aplikasi perangkat portable yang sensitif berat.

Kekuatan dan kekakuan Al/SiC adalah lebih baik jika dibandingkan dengan bahan kemasan biasa. Kekuatan lentur utama Al/SiC adalah dua sampai tiga kali lebih besar dari logam aluminium. Modulus Young Al/SiC merupakan ukuran kekakuan suatu material bernilai tiga kali lebih besar dari logam aluminium, dan dua kali lebih besar dari logam tembaga. Kekakuan tinggi untuk rasio kepadatan rendah secara struktural diinginkan untuk bagian yang lebih besar dengan penampang tipis. Atribut ini

memungkinkan desain untuk menggabungkan fitur seperti sirip untuk memaksimalkan luas permukaan pendinginan. Gambar 2.16 menunjukkan heat sink Al/SiC dan tutup dengan BGA terpisahkan pendinginan sirip dan sirip pin [19].



Gambar 2.16 Al/SiC BGA Lid dengan *Integral Heat Sink Fins* [19].



Gambar 2.17 (a). *Concurrently Integrated™* Al/SiC Housing dengan *coaxial feedthrus*.
(b). *Concurrently Integrated™* Al/SiC Housing dengan *AlN substrate* [19].

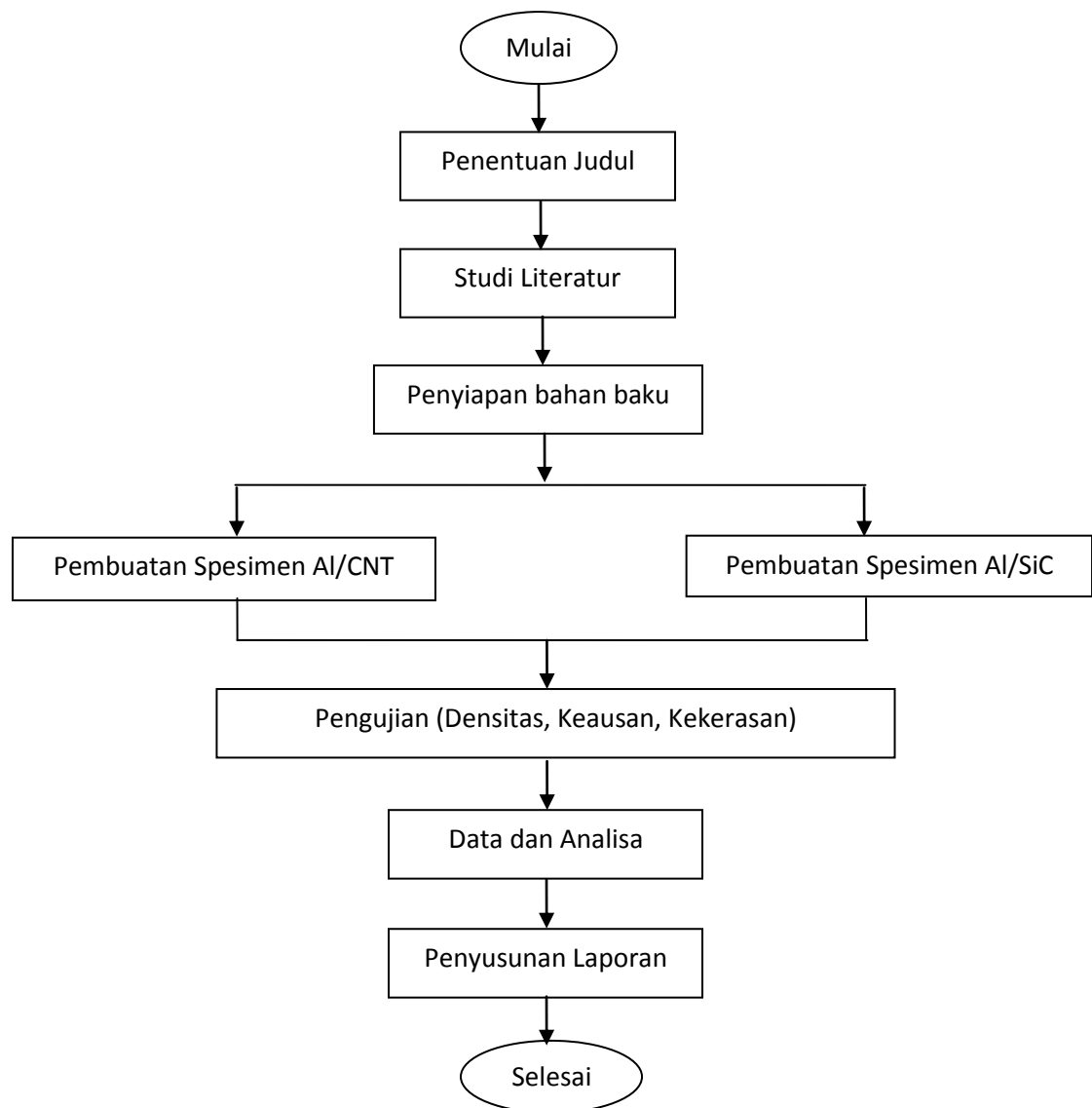
Gambar 2.17 (a) menunjukkan *microwave housing* AlSiC dengan *feedthrus coaxial* yang merupakan *Concurrently Integrated™*, ferrules keramik dan *preform* juga ditampilkan. Produk ini dirakit dengan infiltrasi net-bentuk SiC preform dan ferrules keramik bersama-sama dalam cetakan infiltrasi. Ferrules keramik diberikan dan dengan disegel untuk cetakan selama proses infiltrasi oleh logam aluminium. Gambar 2.17 (b) merupakan cetakan IC dari material Al/SiC dengan *substrate* AlN, menggunakan cetakan dari Al/SiC karena material ini memiliki konduktifitas yang tinggi untuk aluminium nitrida [19].

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini langkah-langkah penelitian mengacu pada diagram alir pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.

Keterangan:

1. Penentuan judul

Penentuan judul dilakukan untuk menentukan topik dan materi apa yang akan dibahas dalam penelitian ini.

2. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari materi dan teori yang berhubungan dengan penelitian ini dan memudahkan dalam menentukan proses yang akan dilakukan selama penelitian. Materi yang dibutuhkan antara lain uji densitas, uji keausan dan uji kekerasan.

3. Penyiapan bahan baku

Penyiapan bahan baku disini adalah mempersiapkan bahan baku serbuk aluminium dengan tingkat kemurnian 98%, produksi Jerman dan *carbon nanotubes* (CNT) yang proses pembuatannya dilakukan di Laboratorium Fisika Material MIPA UNDIP serta SiC yang dibeli di Bratachem Bandung.

4. Pembuatan spesimen

Pembuatan spesimen dilakukan dengan menggunakan cetakan yang terbuat dari logam yang berbentuk silinder dengan ukuran 15x70 mm. Perbedaan komposisi yang digunakan 5%, 10%, dan 15% wt dari tiap penguat (CNT/SiC). Metode yang digunakan ialah Metalurgi Serbuk. Prinsip dari metode ini ialah pencampuran antara serbuk aluminium dengan penguatnya yang kemudian dipadatkan menjadi bentuk yang diinginkan selanjutnya dipanaskan mendekati temperatur leleh.

5. Pengujian (Densitas, Keausan, Kekerasan)

Uji densitas digunakan untuk mengetahui densitas dari *bulk* material komposit.

Uji keausan digunakan untuk mengetahui nilai laju keausan dari material komposit. Uji kekerasan (*Vickers Hardness Test*) untuk mengetahui nilai kekerasan dari material komposit.

6. Data dan analisa

Mengolah data-data yang sudah didapatkan dengan mengacu pada materi yang terdapat pada referensi dan menampilkan data-data tersebut dalam bentuk grafik dan tabel yang dibuat dalam penulisan laporan.

7. Kesimpulan dan saran

Menarik kesimpulan dari hasil pengolahan data dan analisa. Dan memberi saran untuk lanjutan dari penelitian ini.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei sampai Agustus 2012, dan untuk tempatnya:

1. Untuk pembuatan material *Carbon Nanotubes* (CNT) dilakukan di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Universitas Diponegoro.
2. Untuk Pembuatan dan Pengujian Material Komposit Al/CNT dan Al/SiC dilakukan di Laboratorium Teknik Bahan Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Cetakan

Cetakan yang digunakan untuk membuat spesimen adalah cetakan logam yang berbentuk silinder yang berukuran 15 x 70 mm. Cetakan digunakan untuk membentuk spesimen yang diinginkan kemudian dipadatkan yang selanjutnya material tersebut dipanaskan.



Gambar 3.2 Cetakan logam silinder.

2. Timbangan Digital

Timbangan yang digunakan merupakan timbangan digital yang mempunyai ketelitian tinggi sampai dengan 0,001 gram. Karena memiliki ketelitian tinggi penggunaan timbangan ini memerlukan waktu pemanasan sebelum dipakai untuk menimbang spesimen uji. Timbangan ini juga dilengkapi kaca tertutup yang berguna untuk menjaga kepresisian pengukuran berat dari kotoran yang dapat mengganggu pengukuran.



Gambar 3.3 Timbangan Digital.

3. Dongkrak Hidrolik

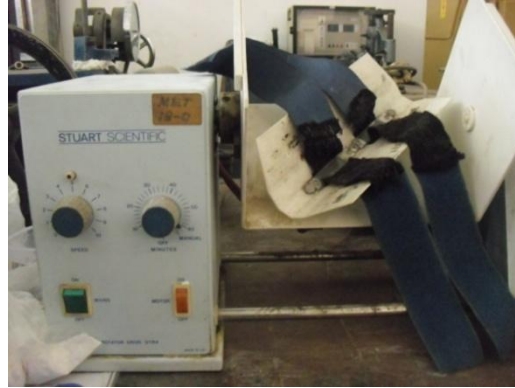
Dongkrak Hidrolik digunakan untuk menekan cetakan yang didalamnya berisi campuran serbuk sesuai dengan tekanan yang dibutuhkan.



Gambar 3.4 Dongkrak Hidrolik.

4. Mesin Pencampur

Digunakan untuk meratakan campuran antara serbuk aluminium dengan penguatnya sesuai dengan waktu dan kecepatan yang dibutuhkan.



Gambar 3.5 Mesin Pencampur.

5. Mesin amplas dan poles

Mesin ini digunakan untuk proses pembuatan spesimen untuk pengujian struktur mikro.



Gambar 3.6 Mesin Amplas Dan Poles.

6. *Rotating disk on plate*

Digunakan untuk mengevaluasi sifat keausan dari permukaan material



Gambar 3.7 *Rotating disk on plate.*

7. Mikroskop optik dan kamera

Digunakan untuk mengamati struktur mikro dari spesimen dan mengambil foto setelah mendapatkan gambar yang diinginkan menggunakan kamera.



Gambar 3.8 (a) Mikroskop Optik dan (b) Kamera.

8. *Mikro hardness tester*

Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan material pada *Vickers hardness*.



Gambar 3.9 *Mikro hardness tester*.

3.3.2 Sintesis Carbon Nanotube

Proses Sintesis CNT dilakukan di Laboratorium Fisika Material MIPA UNDIP. Sistem pemanas untuk sintesis CNT dirancang dengan memanfaatkan tabung quartz yang digunakan sebagai tempat sintesis berdiameter 3,5 cm dan panjang 1 meter. Tabung quartz tidak dipasang secara permanen di dalam pemanas (*furnace*) dengan tujuan mempermudah di dalam pengambilan hasil material CNT yang terdapat di dalamnya. Sintesis dilakukan dengan mencampurkan 0,6 gram ferrocene ke dalam 10 ml benzene.

Sebelum sintesis, terlebih dahulu dilakukan termal cleaning dengan mengalirkan gas argon ke dalam tabung quartz sambil menaikkan temperatur pemanas dari temperatur kamar ke temperatur sintesis yang diharapkan. Setelah temperatur sintesis yang diharapkan tercapai, selanjutnya campuran ferrocene dan benzene disemprotkan ke dalam tabung. Proses sintesis dilakukan selama 30 menit, setelah sintesis dilakukan, selanjutnya dilakukan penimbangan terhadap hasil CNT. Gambar 3.10 menunjukkan beberapa proses sintesis dan hasil CNT yang dilakukan di Laboratorium Fisika Material, jurusan Fisika, Universitas Diponegoro Semarang [13].



Gambar 3.10 Proses sintesis CNT dengan metode spray pyrolysis: a) Sistem peralatan yang digunakan; b) Proses sintesis sedang dijalankan; c) Hasil material CNT yang terdapat di dalam tabung quartz; d) Pengambilan material CNT dari tabung quartz [13].

3.3.3 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

a. Serbuk Aluminium

Serbuk aluminium digunakan sebagai matriks dalam material komposit Al/CNT dan Al/SiC. Dengan tingkat kemurnian 98% merk Merck produksi Jerman.

b. *Carbon Nanotubes* (CNT)

Carbon Nanotubes merupakan material penguat yang digunakan dalam pembuatan komposit Al/CNT. Metode yang digunakan dalam pembuatan CNT ialah *spray pyrolysis* dengan temperature penumbuhannya 900°C.

c. *Silikon Karbida* (SiC)

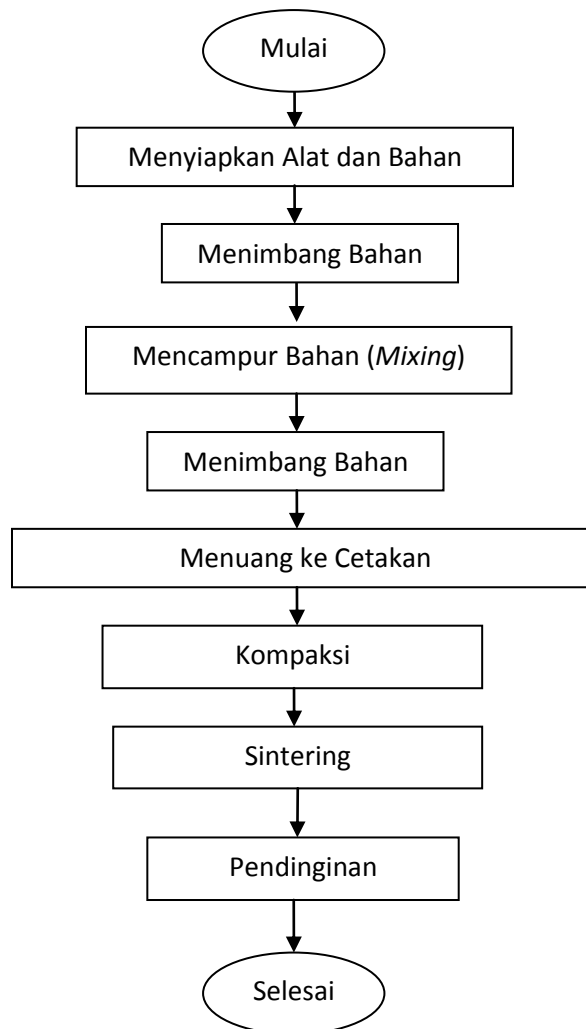
Silikon karbida material penguat yang digunakan dalam pembuatan komposit Al/SiC. *Silikon karbida* ini diperoleh di Bratachem, Bandung.

d. Resin

Digunakan untuk mempermudah spesimen dalam proses polishing sebelum pengujian kekerasan dan keausan.

3.4 Pembuatan Spesimen Uji

Pada penelitian ini langkah-langkah pembuatan spesimen komposit Al/CNT dan Al/SiC mengacu pada diagram alir pada gambar 3.10 berikut:



Gambar 3.11 Diagram alir pembuatan spesimen.

Keterangan:

1. Menyiapkan alat dan bahan

Penyiapan alat dan bahan disini adalah menyiapkan alat-alat dan bahan-bahan yang digunakan untuk membuat spesimen komposit Al/CNT dan Al/SiC.

2. Menimbang bahan

Material-material yang akan digunakan ditimbang dengan massa total terlebih dahulu berdasarkan persentase yang telah direncanakan.

3. Mencampur bahan (*Mixing*)

Mencampur bahan-bahan yang akan digunakan yaitu serbuk aluminium dengan CNT dan serbuk aluminium dengan SiC sesuai dengan komposisi yang

direncanakan. Campuran tersebut dimasukan ke dalam botol plastik yang kemudian dimixing selama 8 jam dengan kecepatan 50-60 rpm.

4. Menimbang bahan

Campuran serbuk Al/CNT dan Al/SiC yang telah dimixing ditimbang kembali untuk dituangkan kedalam cetakan, variasi dari tiap penguat 5, 10 dan 15%. Untuk tiap mixing variasi persen total didapat 3 spesimen.

5. Menuang ke cetakan

Setelah selesai dicampur material tersebut kemudian dimasukkan kedalam cetakan logam yang berbentuk silinder dengan ukuran 15x70 mm.

6. Kompaksi

Penekanan digunakan untuk memadatkan serbuk menjadi bentuk yang diinginkan. Penekanan menggunakan dongkrak hidrolis dengan tekanan yang dibutuhkan 200 Mpa yang kemudian ditahan 5 menit untuk memastikan serbuk benar-benar memadat.

7. Sintering

Proses pemanasan material mendekati temperatur leleh dari matriks komposit. Dalam penelitian ini matriks yang digunakan ialah aluminium dengan temperature lelehnya 660°C, maka temperatur sintering dalam proses pembuatan komposit Al/CNT dan Al/SiC sebesar 650°C dengan laju pemanasan 5°C/menit dan ditahan selama 3 jam, serta dialiri gas argon diawal selama 15 menit agar pemanasannya merata.

8. Pendinginan

Setelah dipanaskan kemudian material didiamkan di dalam furnace setidaknya 16 jam kemudian siap dilakukan proses karakterisasi untuk spesimen.

3.5 Pengujian Material Komposit

3.5.1 Pengujian Massa Jenis (*Density*)

Pengujian Massa jenis dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Gajah Mada Yogyakarta. Metode yang digunakan ialah metode Archimedes, metode ini menerangkan bahwa berat sebuah benda adalah sama dengan berat air yang dipindahkan.

$$\rho = \frac{W_u}{W_u - W_f} \times \rho_{\text{Hg}} \dots\dots\dots(\text{pers 3.1})$$

- Dimana :
- ρ = Massa Jenis suatu benda (g/cm^3)
 - W_u = Berat sampel saat kering (gram)
 - W_f = Massa benda saat di dalam air raksa (gram)
 - ρ_{Hg} = Massa Jenis air raksa (13.6 g/cm^3).

Pengukuran densitas material komposit Al/CNT dan Al/SiC adalah merupakan benda uji yang telah mengalami proses pembakaran (sintering). Prosedur pengukuran densitas material komposit Al/CNT dan Al/SiC dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Sampel ditimbang massanya dengan neraca digital, disebut massa kering (W_u).
- b. Timbang massa sampel berikut penggantungnya (menggunakan kawat) di dalam air raksa dengan menggunakan neraca digital, (W_f)

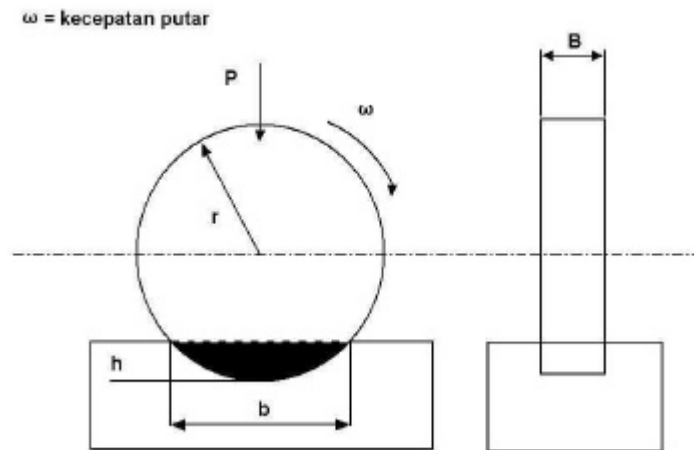
Dengan mengetahui besaran-besaran tersebut, maka densitas material komposit Al/CNT dan Al/SiC dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (3.1)

3.5.2 Pengujian Keausan

Keausan dapat didefinisikan sebagai rusaknya permukaan padatan, umumnya melibatkan kehilangan material yang progresif akibat adanya gesekan (*friksi*) antar permukaan padatan. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Keausan merupakan hal yang biasa terjadi pada setiap material yang mengalami gesekan dengan material lain. Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan oleh mekanisme yang beragam.

Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah Metode Ogoshi dimana benda uji memperoleh beban gesek dari cincin 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 permukaan dari material tergesek itulah yang

dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam jejak keausan, maka semakin tinggi volume material yang terkelupas dari benda uji. Ilustrasi skematis dari kontak permukaan antara *revolving disc* dan benda uji diberikan oleh Gambar 3.11 berikut ini.

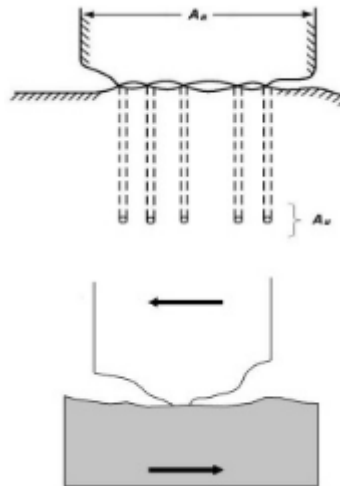


Gambar 3.12 Pengujian keausan dengan metode Ogoshi [21].

Sebagaimana telah disebutkan pada bagian awal, material jenis apapun akan mengalami keausan dengan mekanisme yang beragam, yaitu keausan *adhesive*, keausan *abrasive*, keausan fatik, dan keausan oksidasi. Dibawah ini diberikan penjelasan ringkas dari mekanisme-mekanisme tersebut. Mekanisme keausan terdiri dari :

1. Keausan adhesive (*Adhesive wear*)

Terjadi bila kontak permukaan dari dua material atau lebih mengakibatkan adanya perlekatan satu sama lainnya (*adhesif*) serta deformasi plastis dan pada akhirnya terjadi pelepasan/pengoyakan salah satu material, seperti diperlihatkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 3.13 Keausan metode adhesive [21].

Faktor yang menyebabkan *adhesive wear* :

1. Kecenderungan dari material yang berbeda untuk membentuk larutan padat atau senyawa intermetalik.
2. Kebersihan permukaan.

Jumlah *wear debris* akibat terjadinya aus melalui mechanism adhesif ini dapat dikurangi dengan cara, antara lain :

1. Menggunakan material keras.
2. Material dengan jenis yang berbeda, misal berbeda struktur kristalnya.

2. Keausan Abrasif (*Abrasive wear*)

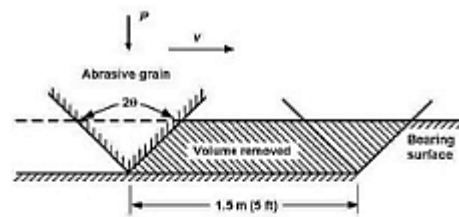
Terjadi bila suatu partikel keras (*asperity*) dari material tertentu meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak, seperti diperlihatkan pada Gambar 3.13 di bawah ini. Tingkat keausan pada mekanisme ini ditentukan oleh derajat kebebasan (*degree of freedom*) partikel keras atau *asperity* tersebut. Sebagai contoh partikel pasir silika akan menghasilkan keausan yang lebih tinggi ketika diikat pada suatu permukaan seperti pada kertas amplas, dibandingkan bila partikel tersebut berada di dalam sistem slurry. Pada kasus pertama, partikel tersebut kemungkinan akan tertarik sepanjang permukaan dan akhirnya mengakibatkan pengoyakan. Sementara pada kasus terakhir, partikel tersebut

mungkin hanya berputar (*rolling*) tanpa efek abrasi. Faktor yang berperan dalam kaitannya dengan ketahanan material terhadap *abrasive wear* antara lain:

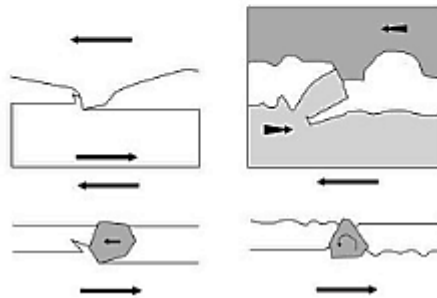
1. Material hardness
2. Kondisi struktur mikro
3. Ukuran abrasif
4. Bentuk abrasif

Bentuk kerusakan permukaan akibat *abrasive wear*, antara lain :

1. *Scratching*
2. *Scoring*
3. *Gouging*



Gambar 4.4. Ilustrasi skematis Keausan abrasif

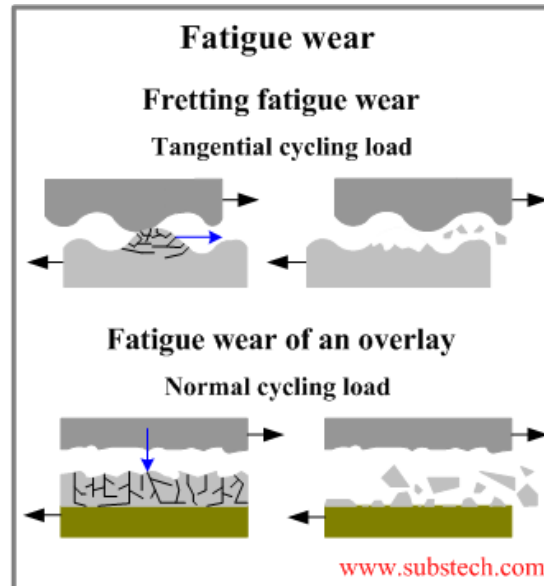


Gambar 3.14 Keausan metode abrasif [21].

3. Keausan Lelah (*Fatigue wear*)

Merupakan mekanisme yang relatif berbeda dibandingkan dengan dua mekanisme sebelumnya, yaitu dalam hal interaksi permukaan. Baik keausan *adhesive* maupun *abrasif* melibatkan hanya satu interaksi, sementara pada keausan fatik dibutuhkan interaksi multi. Keausan ini terjadi akibat interaksi permukaan dimana permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah pada pembentukan retak-retak mikro. Retak-retak mikro tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan material. Tingkat keausan sangat

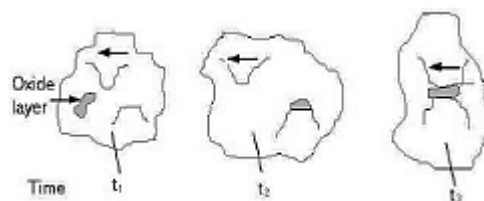
bergantung pada tingkat pembebanan. Gambar 3.14 memberikan skematis mekanisme keausan lelah :



Gambar 3.15 Mekanisme keausan lelah [21].

4. Keausan Oksidasi/Korosif (*Corrosive wear*)

Proses kerusakan dimulai dengan adanya perubahan kimiawi material di permukaan oleh faktor lingkungan. Kontak dengan lingkungan ini menghasilkan pembentukan lapisan pada permukaan dengan sifat yang berbeda dengan material induk. Sebagai konsekuensinya, material akan mengarah kepada perpatahan *interface* antara lapisan permukaan dan material induk dan akhirnya seluruh lapisan permukaan itu akan tercabut.

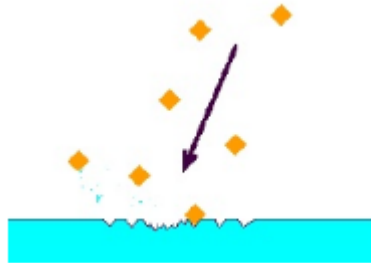


Gambar 3.16 Mekanisme keausan oksidasi [21].

5. Keausan Erosi (*Erosion wear*)

Proses erosi disebabkan oleh gas dan cairan yang membawa partikel padatan yang membentur permukaan material. Jika sudut benturannya kecil,

keausan yang dihasilkan analog dengan abrasive. Namun, jika sudut benturannya membentuk sudut gaya normal (90°), maka keausan yang terjadi akan mengakibatkan *brittle failure* pada permukaannya, skematis pengujiannya seperti terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 3.17 Mekanisme keausan erosi [21].

Volume yang hilang dapat dihitung sesuai dengan persamaan (3.2). Besarnya keausan adhesive dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.3) dari *Manual Instruction Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine*.

$$W_o = \frac{B \cdot b^3}{12 \cdot r} \dots\dots\dots(\text{Pers 3.2})$$

$$W_s = \frac{B \cdot b^3}{8 \cdot r \cdot P \cdot l} = \frac{1.5 \cdot W_o}{P \cdot l} \dots\dots\dots(\text{Pers 3.3})$$

Dimana :

W_o = Volume yang hilang (mm^3)

W_s = Keausan Spesifik (mm^3/kgm)

B = Lebar *revolving disk* (mm)

b = Panjang goresan (mm)

r = Jari-jari *revolving disk* (mm)

P = Beban (2.12 kg)

l = Jarak tempuh pengausan (66.6m)

Langkah-langkah yang dilakukan selama proses uji keausan ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapan pengujian
 - a. Menyiapkan sampel uji yang sudah cetak dengan resin.

- b. Menghaluskan permukaan sampel benda uji dengan menggunakan amplas dan kain bludru yang diberi autosol.
2. Pengoperasian
 - a. Menempatkan spesimen pada mesin rotating disk on plate.
 - b. Mengatur gear rasio yang diinginkan untuk menentukan panjang langkah (mm) dan beban (kg).
 - c. Menghidupkan Mesin dan dengan waktu yang bersamaan timer diaktifkan untuk menyesuaikan waktu yang kita butuhkan.
 - d. Mematikan mesin dan ganti spesimen dengan yang spesimen yang selanjutnya yang akan diuji.
 - e. Mengulangi langkah (a) sampai langkah (d) sampai dengan semua spesimen yang akan diuji.

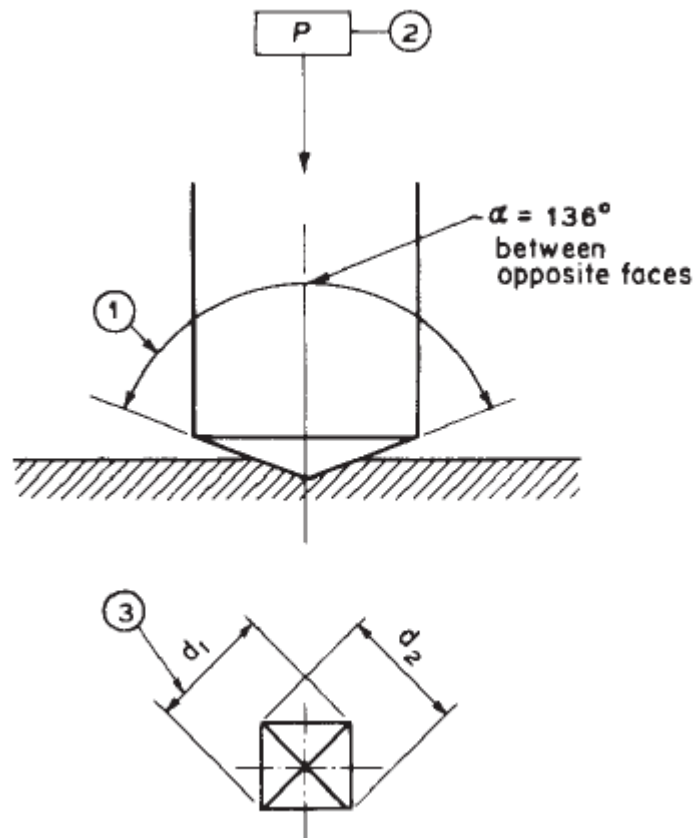


Gambar 3.18 *Rotating disk on plate.*

3.5.3 Pengujian Kekerasan

Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan bahan terhadap penetrasi atau terhadap deformasi dari permukaan bahan. Ada tiga tipe pengujian terhadap ketahanan, yaitu: cara tekukan, pantulan (*rebound*), dan goresan (*scratch*). Untuk pengujian bahan dengan cara tekukan biasanya digunakan adalah *Brinell*, *Rockwell* dan *Vickers*. Pengujian kekerasan dengan menggunakan *vickers hardness*, umumnya menggunakan

alat *micro hardness tester* dengan yang terbuat dari intan (*diamond*) dan berbentuk *pyramid*. Sudut antara permukaan pyramid adalah $\alpha = 136^\circ$. Pengujian kekerasan ini mengacu pada [22-23].



Gambar 3.19 Vickers Hardness Indenter [23].

Kedalaman penetrasi adalah h dan d adalah panjang diagonal, sehingga Vickers Hardness Number (VHN) memenuhi persamaan berikut.

$$VHN = \frac{2P}{d^2} \sin \frac{\alpha}{2} \quad ; \quad VHN = 1,8564 \frac{P}{d^2} \quad \dots\dots\dots(\text{pers 3.6})$$

Dimana:

VHN = Vickers Hardness Number (kgf/mm^2)

P = Beban penekanan (kgf)

d = Rata-rata panjang diagonal (μm)

α = Sudut antara permukaan diamond (136°)

Bentuk *pyramid* disebabkan oleh penekanan secara geometris yang mirip dengan *pyramid*. Geometri tersebut sangat tergantung pada besarnya beban yang digunakan dan dapat dikonversi menjadi nilai Vickers hardness yang diperoleh. Besarnya penekanan standar yang digunakan adalah mulai dari 10 gf hingga 1 kgf. Dalam penelitian ini beban yang digunakan sebesar 10 gf.

Langkah-langkah yang dilakukan selama proses uji kekerasan ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapan pengujian
 - a. Menyiapkan sampel uji yang sudah cetak dengan resin.
 - b. Menghaluskan permukaan sampel benda uji dengan menggunakan amplas dan kain bludru yang diberi autosol.
2. Pengoperasian
 - a. Menghidupkan power.
 - b. Menaruh benda uji pada kedudukannya.
 - c. Mengatur mikroskop sampai dengan tampak jelas permukaan yang akan diuji.
 - d. Mengatur beban yang dibutuhkan, yaitu 10 gram.
 - e. Mengatur waktu penekanan, 10 sekon.
 - f. Mengatur pembebanan dan tekan START agar indentor otomatis menekan specimen selama 10 sekon.
 - g. Mengatur kembali ke mikroskop hitung diagonal x dan y .
 - h. Mengulang dari langkah (c) sampai dengan (g) sampai dengan 5 titik untuk setiap spesimen.