

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH PEMANASAN AWAL *CARBON NANOTUBE*
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KEAUSAN ALUMINIUM
KOMPOSIT DALAM PROSES *STIR CASTING***



OLEH :

KASPAR YOBERNICOES SARANGNGA'

D211 15 507

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2020

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH PEMANASAN AWAL *CARBON NANOTUBE*
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KEAUSAN ALUMINIUM
KOMPOSIT DALAM PROSES *STIR CASTING***

OLEH :

KASPAR YOBERNICOES SARANGNGA'

D211 15 507

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2020

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan Mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Judul:

**ANALISIS PENGARUH PEMANASAN AWAL *CARBON NANOTUBE*
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KEAUSAN ALUMINIUM
KOMPOSIT DALAM PROSES *STIR CASTING***

OLEH :

KASPAR YOBERNICOES SARANGNGA'

D211 15 507

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I



Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT.

NIP. 19740415 199903 1 001

Dosen Pembimbing II



Dr. Muhammad Syahid, ST., MT.

NIP. 19770707 200501 1 001

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Mesin
Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT.

NIP. 19720825 200003 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Kaspar Yobernicoes Sarangnga'

NIM : D211 15 507

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Pemanasan Awal *Carbon Nanotube* Terhadap Sifat Mekanik Dan Keausan Aluminium Komposit Dalam Proses *Stir Casting*

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Makassar, 26 November 2020

Yang membuat pernyataan,



Kaspar Yobernicoes Sarangnga'

CURICULUM VITAE



I. DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Kaspar Yobernicoes Sarangnga'
Nomor Pokok : D211 15 507
Tempat / Tanggal Lahir : Palu / 29 Mei 1997
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Katolik
Alamat : Perumahan F. Teknik Blok D10
Telepon /No.Hp : 082190095537
E-Mail : yobernicoeskaspar@gmail.com
Nama Orang Tua
Ayah : Yosep Biti Sarangnga'
Ibu : Bertha Lumembang
Pekerjaan Orang Tua
Ayah : Wiraswasta
Ibu : Ibu Rumah Tangga (Pensiunan Pns)

II. RIWAYAT PENDIDIKAN

- SD KRISTEN 1 MAKALE (2003-2009)
- SMP NEGERI 1 MAKALE (2009-2012)
- SMA NEGERI 1 MAKALE (2012-2015)

KATA PENGANTAR

Segala Puji Syukur hanya bagi Tuhan Yesus Kristus, oleh karena Anugerah-Nya yang melimpah, kemurahan, berkat, serta pertolongan-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Maka berbagai hal telah ditempuh dalam usaha menyelesaikan penulisan tugas akhir ini yang berjudul, **“ANALISIS PENGARUH PEMANASAN AWAL CARBON NANOTUBE TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KEAUSAN ALUMINIUM KOMPOSIT DALAM PROSES STIR CASTING”**. Penelitian dilakukan di Laboratorium Pengecoran Logam untuk membuat spesimen dan di Laboratorium Metalurgi Fisik untuk mengumpulkan data pengujian. Dalam penulisan tugas akhir ini tentunya terdapat kekurangan yang mungkin tidak disadari oleh penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan masukan yang membangun dari berbagai pihak.

Penghargaan dan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada kedua orang tua (Bapak Yosep Biti Saranga' dan Ibu Bertha Lumembang) dan saudara-saudara saya (Albertus Hansten Berti Sarangnga' dan Rupiana Undi), serta keluarga besar yang selalu memberikan motivasi, dukungan, dan kasih sayangnya, serta doa restunya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Tak lupa pula penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST., MT., selaku Sekretaris Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, sekaligus dosen pembimbing II tugas akhir ini atas segala bimbingan, arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir.

4. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT., selaku dosen pembimbing I tugas akhir ini atas segala bimbingan, arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir.
5. Bapak Dr. Hairul Arsyad, ST.,MT., selaku dosen penguji atas segala arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir ini.
6. Bapak Fauzan, ST.,MT.,Ph.D selaku dosen penguji atas segala arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir ini.
7. Seluruh Dosen Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin yang telah memberikan banyak ilmu yang bermanfaat.
8. Bapak Edi Iskandar selaku Laboran Laboratorium Metalurgi Fisik yang telah membantu dalam proses pengujian spesimen dan memberikan masukan selama pengambilan data.
9. Seluruh staff Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin yang telah membantu menyelesaikan kelengkapan administrasi.
10. Teman-teman HYDRAULIC 2015 yang selalu menemani penulis sebagai mahasiswa dari semester 1 hingga akhir penulisan skripsi.
11. Teman-teman KMKT-UH, terkhusus saudara-saudari saya angkatan 2015 yang senantiasa menemani dalam berproses di KMKT-UH.
12. Teman-teman KMKO TEKNIK, terkhusus saudara-saudari PERSEKUTUAN SEHAT dan yang selalu menemani saya dalam berproses di lingkup KMKO TEKNIK dan di kampus.
13. Teman-teman KMKO MESIN, terkhusus saudara-saudari LANTANG yang selalu menemani saya dalam berproses di lingkup KMKO MESIN dan di kampus.
14. Adik-adik Perumahan Teknik Blok D10, Kaleb, Berlian, Otto, dan Samuel yang telah membantu penulis.
15. Teman-teman Laboratorium Metalurgi Fisik, terkhusus kepada kanda Indar, kanda Pian, kanda Rahman, Nurhudaedah, Asruddin, Imam, Wiwik, Reynaldi, Khalid, Aditya, Cahyadi, Revansi, Try, Mukhlis, Gaffar, Aswan, Yusdiana, dan Andrew yang selalu membantu penulis di laboratorium.
16. Teman-teman KKN 102 Awolagading yang telah menemani kurang lebih 30

hari, terima kasih atas segala kebaikan dan rasa kekeluargaannya.

17. Priscillia Ingrid Tanditasik yang senantiasa menemani dan memberikan dukungan.
18. Seluruh teman, kerabat yang tidak sempat penulis sebut satu persatu, yang telah banyak membantu penulis dalam penyelesaian studi penulis, terutama yang senantiasa memberikan motivasi kepada penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.

Selain itu, penulis juga mengucapkan permohonan maaf jika penulis telah banyak melakukan kesalahan, baik dalam bentuk ucapan maupun tingkah laku, semenjak penulis menginjakkan kaki pertama kali di Universitas Hasanuddin hingga selesainya studi penulis.

Akhirnya, penulis berharap bahwa apa yang disajikan dalam skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan. Sekian dan terimakasih.

Gowa, November 2020

Penulis

ABSTRAK

Komposit matriks aluminium (AMC) merupakan jenis material yang paling banyak digunakan dalam bidang industri. AMC memiliki sifat yang unggul, seperti ringan, tahan korosi, dan konduktivitas yang baik, tetapi kekuatan yang dimiliki rendah sehingga harus ditingkatkan dengan unsur paduan berupa nanomaterial. Oleh sebab itu, penambahan *Carbon Nanotube* (CNT) merupakan fokus pada penelitian ini, dengan tujuan mengetahui pengaruh penambahan CNT terhadap sifat mekanik dari Al6061. Penelitian ini menggunakan metode *stir casting* dalam pencampuran matriks, yaitu Al6061 dan unsur penguatnya, yaitu 1% wt CNT dengan putaran 350 rpm selama 10 menit dan temperatur penuangan 700°C. Untuk variasi yang digunakan, yaitu aluminium tanpa CNT, aluminium tanpa pemanasan awal CNT, aluminium dengan pemanasan awal CNT 500°C, 600°C, dan 700°C. Pengujian yang dilakukan berupa uji tarik, uji kekerasan, uji laju keausan, uji kekasaran, dan struktur mikro. Hasil pengujian tarik pada aluminium dengan pemanasan awal CNT 500°C menunjukkan adanya kenaikan nilai kekuatan tarik yang terbesar, yaitu 8,67% atau 18,266 MPa jika dibandingkan dengan aluminium tanpa pemanasan awal CNT. Dari hasil pengujian kekerasan, aluminium dengan pemanasan awal CNT 500°C menunjukkan nilai rata-rata kekerasan tertinggi sebesar 50,53 VHN. Dari hasil pengujian laju keausan, aluminium dengan pemanasan awal CNT 700°C menunjukkan nilai rata-rata laju keausan terendah sebesar 0,000298 gr/s. Dari hasil pengujian kekasaran, aluminium dengan pemanasan awal CNT 500°C menunjukkan nilai rata-rata kekasaran terendah sebesar 1,5780 µm. Dari hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa penambahan CNT menyebabkan jarak antar butir semakin rapat yang dapat mempengaruhi struktur mikro aluminium dan meningkatkan kekuatan mekanik aluminium.

Kata Kunci: Pemanasan Awal CNT, *Carbon Nanotube* (CNT), *Stir Casting*, Laju Keausan

ABSTRACT

Aluminum matrix composite (AMC) is the most widely used type of material in the industry. That is because AMC has superior properties, such as lightweight, corrosion resistant, and good conductivity. However, its strength is low so it should be enhanced with alloy elements in the form of nano materials. Therefore, the addition of Carbon Nanotubes (CNTs) is the focus of this research aiming to find the effect of CNT to the mechanical properties of Al6061. This study used stir casting method to mix the 1%wt CNTs as reinforcement element with the aluminum melt, using 350 rpm for 10 minutes with pouring temperature of 700°C. Before mixing, the CNTs were treated with initial heating 500°C, 600°C, and 700°C. It is also prepared aluminum without CNT and aluminum without initial heating of CNT as compared samples. Tensile and hardness tests were conducted followed by wear rate and roughness tests, and metallography. The results showed that the largest strength is in the composite with initial heating (500°C) of CNT reaching 8.67% or 18,266 MPa compared to aluminum without initial heating. The results for hardness test of aluminum with initial heating (500°C) of CNT indicate the highest average hardness value of 50.53 VHN. The wear rate test of aluminum with initial heating CNT 700°C indicate the lowest average wear rate of 0.000298 gr/s. The results of roughness testing of aluminum with an initial heating of CNT 500°C indicate the lowest average roughness value of 1.5780 μm . The microstructures observations revealed that the addition of CNT causes tighter distances among grains that can affect the microstructures of aluminum and increases the mechanical properties of aluminum.

Keywords: *Initial Heating of CNTs, Carbon Nanotube (CNT), Stir Casting, Wear Rate*

DAFTAR ISI

SAMPUL DEPAN	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
CURICULUM VITAE.....	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN	4
1.4 BATASAN MASALAH	4
1.5 MANFAAT PENELITIAN.....	4
1.5.1 Manfaat bagi Peneliti.....	4
1.5.2 Manfaat bagi Universitas.....	5
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 <i>CARBON NANOTUBE</i>	7
2.1.1 Karakteristik <i>Carbon Nanotube</i>	7
2.1.2 Pengelompokan Carbon Nanotube	9
2.1.3 Pembentukan Carbon Nanotube	11
2.1.4 Aplikasi Carbon Nanotube	12
2.2 ALUMINIUM.....	12
2.2.1 Pengaplikasian Aluminium.....	15
2.3 KOMPOSIT	16
2.3.1 Pengertian Komposit	16
2.3.2 Penyusun Komposit.....	17

2.3.3	Sifat Komposit.....	20
2.3.4	Komposit Matrik Logam / Metal Matrix Composites.....	20
2.3.5	Tujuan Pembuatan Material Komposit	22
2.3.6	Perilaku Tegangan – Regangan A-MMCs.....	22
2.3.7	Penelitian Mengenai Aluminium Berpenguat CNT	23
2.4	PENGECORAN LOGAM.....	26
2.4.1	Proses Pengecoran	28
2.4.2	Keuntungan Dan Kerugian Pengecoran Logam.....	29
2.5	<i>STIR CASTING</i>	29
2.6	PENGUJIAN SIFAT MEKANIK	33
2.6.1	Uji Kekerasan	33
2.6.2	Uji Tarik (<i>Tensile Test</i>)	35
2.6.3	Uji Gesek (Keausan).....	36
2.6.4	Uji Struktur Mikro.....	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		44
3.1	WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN.....	44
3.2	ALAT DAN BAHAN	44
3.2.1	Alat yang Digunakan.....	44
3.2.2	Bahan yang Digunakan.....	53
3.3	PROSEDUR PENELITIAN	57
3.4	DIAGRAM ALIR PENELITIAN.....	63
3.5	DIAGRAM ALIR PEMBUATAN SPESIMEN	64
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		65
4.1	PENGUJIAN TARIK.....	65
4.2	PENGUJIAN KEKERASAN	69
4.3	PENGUJIAN KEAUSAN	71
4.4	PENGUJIAN KEKASARAN.....	73
4.5	PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO	75
BAB V PENUTUP		79
5.1	KESIMPULAN	79
5.2	SARAN.....	79
DAFTAR PUSTAKA		80
LAMPIRAN I.....		84

DATA TABEL PERHITUNGAN UJI TARIK	85
GRAFIK HUBUNGAN TEGANGAN-REGANGAN	86
LAMPIRAN II	87
PROSES PENGECORAN	88
HASIL PENGECORAN	90
LAMPIRAN III	91
HASIL PROSES PERMESINAN	92
PROSES PENGAMBILAN DATA	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Single Walled Nanotubes (SWNT)</i>	9
Gambar 2. 2 <i>Multi Walled Nanotubes (MWNT)</i>	10
Gambar 2. 3 KRL Tokyo Metro Seri 6000	15
Gambar 2. 4 Material Komposit (Onny, 2017).....	17
Gambar 2. 5 Ilustrasi Matriks pada Komposit	18
Gambar 2. 6 Ilustrasi <i>Reinforcement</i> pada Komposit	18
Gambar 2. 7 Komposit	19
Gambar 2. 8 Perilaku Tegangan – Regangan Bahan Komposit.....	22
Gambar 2. 9 Efek Dari Kandungan CNT Pada Pengujian Kekuatan Tarik Dari Penelitian Komposit	23
Gambar 2. 10 Efek Dari Kandungan CNT Pada <i>Indentation Modulus</i> Dari Penelitian Komposit	24
Gambar 2. 11 Dua Macam Bentuk Cetakan (a) Cetakan Terbuka, (b) Cetakan Tertutup.....	28
Gambar 2. 12 <i>Stir Casting</i>	31
Gambar 2. 13 Pengujian <i>Rockwell</i> (Kumayasari, 2017)	34
Gambar 2. 14 Prinsip Kerja Metode Pengukuran Kekerasan <i>Rockwell</i> (Kumayasari, 2017).....	34
Gambar 2. 15 Pembebanan Tarik	35
Gambar 2. 16 Ilustrasi Skematis Keausan Abrasif.....	37
Gambar 2. 17 Keausan Metode <i>Abrasive</i>	38
Gambar 2. 18 Mekanisme Alat Uji Keausan Abrasif	39
Gambar 2. 19 Pengujian mikrostruktur (Djodi, 2012)	40
Gambar 2. 20 Tahapan Proses Metalografi (Djodi, 2012).....	41
Gambar 2. 21 Mesin Pemotong Sampel Presisi Metkon a) Piringan <i>Diamond</i> b) Piringan CNB (<i>Cubic Boron Nitride</i>)	41
Gambar 2. 22 Mesin <i>Mounting</i> Metkon dan Hasil <i>Mounting</i> (Djodi, 2012)	42
Gambar 2. 23 Mesin Gerinda dan Poles Metkon dan Permukaan Sampel (Djodi, 2012)	42

Gambar 3. 1 Alat Uji Kekerasan	44
Gambar 3. 2 Alat Uji Tarik	45
Gambar 3. 3 Alat Uji Keausan	45
Gambar 3. 4 Alat Uji Metalografi	46
Gambar 3. 5 <i>Furnace</i>	46
Gambar 3. 6 Alat Pemotong.....	47
Gambar 3. 7 Cawan Keramik.....	47
Gambar 3. 8 Cetakan.....	48
Gambar 3. 9 Pengaduk (<i>Stir Cast</i>)	48
Gambar 3. 10 Tungku	49
Gambar 3. 11 <i>Electronic Balance</i>	49
Gambar 3. 12 <i>Thermogun</i>	50
Gambar 3. 13 Gelas <i>Beaker</i>	50
Gambar 3. 14 Sarung Tangan dan Kelengkapan K3 (Apron).....	51
Gambar 3. 15 Ragum	51
Gambar 3. 16 Jangka Sorong	52
Gambar 3. 17 Kikir	52
Gambar 3. 18 <i>Ultrasonic Washing Machine</i>	53
Gambar 3. 19 Mesin Bubut	53
Gambar 3. 20 Aluminium 6061	54
Gambar 3. 21 CNT (<i>Carbon Nanotube</i>)	54
Gambar 3. 22 Gas Argon	55
Gambar 3. 23 Tabung Gas LPG.....	55
Gambar 3. 24 Kertas Abrasif (Amplas)	56
Gambar 3. 25 Cairan Aseton.....	56
Gambar 3. 26 Kelengkapan Cairan Etsa <i>Keller Reagent</i>	57
Gambar 3. 27 <i>Main Display Screen</i>	60
Gambar 3. 28 Spesimen Sesuai Standar ASTM E8	60
Gambar 4. 1 Nilai Tegangan Maksimum Rata-rata setiap Spesimen	67
Gambar 4. 2 Nilai Regangan setiap Spesimen	68
Gambar 4. 3 Nilai Kekerasan Rata-Rata	70

Gambar 4. 4 Laju Keausan Spesimen	72
Gambar 4. 6 Struktur Mikro Spesimen (A) Aluminium Tanpa CNT (B) Aluminium Tanpa Pemanasan Awal CNT (C) Aluminium Dengan Pemanasan CNT 500°C (D) Aluminium Dengan Pemanasan CNT 600°C (E) Aluminium Dengan Pemanasan CNT 700°C.....	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Properti Carbon Nanotube</i>	9
Tabel 2. 2 Karakteristik Alumunium (Yudi Surya Irawan, 2013).	14
Tabel 2. 3 Macam-macam Alumunium dan Paduannya serta Kode Penamaan (Yudi Surya Irwan, 2013).	14
Tabel 2. 4 Sifat Fisik dan Mekanik Logam Aluminium (Hari Utama, 2009).	21
Tabel 2. 5 Sifat Mekanik Komposit Matrik Logam (Hari Utama, 2009).	21
Tabel 4. 1 Nilai Rata-Rata Tegangan, Regangan, dan Modulus Elastisitas dari Setiap Variasi Spesimen.....	67
Tabel 4. 2 Hasil Pengambilan Data Kekerasan Spesimen	70
Tabel 4. 3 Berat Spesimen yang Hilang Akibat Gesekan	72
Tabel 4. 4 Laju Keausan Spesimen	72
Tabel 4. 5 Hasil Pengambilan Data Kekasaran Spesimen	74

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Semakin berkembangnya kualitas teknologi di bumi ini, maka akan membutuhkan teknik pengolahan bahan dengan campuran atau kombinasi bahan juga, sehingga teknologi yang dihasilkan akan semakin baik pula. Beberapa tahun belakangan ini perkembangan material menjadi bahan perbincangan industri di dunia, contohnya aluminium matriks komposit atau paduan-paduan lainnya. Sebagai contoh, diperlukannya salah satu bahan material yang memiliki sifat yang keras, kuat, tangguh, ulet, ringan, tahan terhadap temperatur tinggi dan berbagai kemampuan lain dalam penggunaannya. Oleh sebab itu, banyak dikembangkan material-material komposit atau paduan-paduan lainnya untuk mengatasi masalah tersebut.

Rekayasa material dalam skala nano dapat menghasilkan perilaku yang sangat berbeda dan beragam dari yang umumnya diketahui. Salah satu material nano yang banyak diteliti dalam beberapa tahun terakhir adalah *Carbon Nanotubes* (CNT). Struktur CNT yang unik memungkinkannya memiliki sifat kenyal, daya regang, dan stabil dibandingkan struktur karbon lainnya, sehingga kelebihan ini dapat dimanfaatkan dalam pengembangan struktur bangunan yang kuat, struktur kendaraan yang aman, dan lain sebagainya. Adapun yang diharapkan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan komposit dengan sifat mekanik yang lebih tinggi. Komposit tersebut akan membuat material baru yang menarik, dengan pengaplikasiannya pada bidang kedirgantaraan, otomotif, dan lain sebagainya dimana berat yang ringan dikombinasikan dengan kekakuan tinggi dan kekuatan yang diinginkan.

Permintaan yang terus-menerus untuk pengurangan berat komponen struktural untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar mobil dan kendaraan kedirgantaraan telah menyebabkan perkembangan berbagai jenis komposit bermatriks logam atau *Metal Matrix Composites* (MMCs) dengan kekuatan

spesifik yang tinggi dan kekakuan, serta ketahanan terhadap *creep* dan keausan. MMCs dirancang untuk menggabungkan karakteristik positif dari logam, seperti ketangguhan tinggi dan keuletan, dengan sifat yang menarik dari CNT, seperti kekuatan dan *Modulus Young* yang tinggi (Jishnu dkk, 2012). MMC telah mendapat perhatian yang cukup besar karena sebagai bahan kuat, kaku dan ringan. Umumnya material matriks logam diperkuat dengan *high modulus continuous fibres*, serat pendek, serat irisan, *whiskers* atau partikel.

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian terhadap keausan material dengan metode pengujian keausan abrasif. 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. Keausan terjadi ketika partikel keras atau *asperities* menembus permukaan lembut dan menggantikan materi dalam bentuk chip dan irisan memanjang. Telah diamati bahwa karakteristik gesek atau abrasif bahan sangat penting dalam sistem tribological seperti piston. Oleh karena itu, berbagai penelitian telah dilakukan pada perilaku keausan *Silikon Carbida* (SiCp) diperkuat MMC didasarkan pada karya eksperimental dan teoritis terhadap aus abrasif dari MMC. Dalam jurnal Deuisetal, menunjukkan bahwa faktor-faktor pengendali dalam keausan komposit adalah ukuran grit abrasif. Kekerasan permukaan ada kaitannya dengan bahan abrasif dan penguat yang berarti mengarah pada MMC (Sahin Y., 2010). Adapun dalam penelitian ini CNT yang digunakan terlebih dahulu diberikan perlakuan panas sebelum ditambahkan ke dalam aluminium cair. Perlakuan panas yang diberikan terhadap CNT diharapkan dapat mempererat dan memperkecil *interface* antara CNT sebagai penguat dan aluminium 6061 sebagai matriks. Peneliti tertarik untuk meneliti efek CNT yang telah dipanaskan ini dalam matriks aluminium terhadap keausan komposit ini.

Penelitian mengenai komposit Al-CNT juga telah dilakukan oleh Alif Maulana pada tahun 2012 yang telah membuktikan bahwa hasil uji dari komposit ini memiliki sifat mekanik yang baik serta spesifikasi nilai keausan material komposit Al-CNT meningkat seiring dengan penambahan fraksi berat total.

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 untuk lebih serius mengembangkan material baru dengan komposit aluminium yang diperkuat CNT. Bahkan, ketertarikan pada penelitian komposit aluminium yang diperkuat CNT telah tumbuh jauh.

Berdasarkan uraian di atas, penulis tertarik untuk mengadakan penelitian sebagai tugas akhir dengan judul **“ANALISIS PENGARUH PEMANASAN AWAL CNT TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KEAUSAN ALUMINIUM KOMPOSIT DALAM PROSES *STIR CASTING*”**.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka penulis merumuskan pokok masalah yang akan dijadikan sebagai objek pembahasan dalam proposal ini, yaitu :

1. Bagaimana pengaruh variasi pemanasan awal CNT terhadap nilai tegangan tarik maksimum, kekerasan, laju keausan, dan kekasaran dari aluminium 6061 berpenguat CNT?
2. Bagaimana pengaruh variasi pemanasan awal CNT terhadap struktur mikro aluminium 6061 berpenguat CNT?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini, yaitu :

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi pemanasan awal CNT terhadap nilai tegangan tarik maksimum, kekerasan, laju keausan, dan kekasaran dari aluminium 6061 berpenguat CNT.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi pemanasan awal CNT terhadap struktur mikro aluminium 6061 berpenguat CNT.

1.4 BATASAN MASALAH

1. Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah Aluminium 6061.
2. Unsur yang ditambahkan sebagai bahan penguat, yaitu *carbon nanotube* dengan komposisi 1%.
3. CNT dipanaskan terlebih dahulu dengan temperatur, yaitu 500°C, 600°C, dan 700°C dengan penahanan selama 5 menit.
4. Pemberian argon selama 5 menit.
5. Temperatur tuang aluminium, yaitu 700°C.
6. Temperatur cetakan, yaitu 400°C.
7. Proses pengecoran menggunakan metode *stir casting* (pengadukan) selama 10 menit dengan kecepatan putaran 350 rpm.
8. Proses pengujian yang digunakan, yaitu uji kekuatan tarik, kekerasan, laju keausan, kekasaran, dan pengujian terhadap struktur mikro.

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Penulisan penelitian mengenai pengaruh penambahan kandungan *carbon nanotube* terhadap sifat mekanik sebagai penguat aluminium komposit ini akan memberikan manfaat, diantaranya :

1.5.1 Manfaat bagi Peneliti

Sebagai wadah untuk menerapkan pengetahuan tentang teori yang didapatkan selama perkuliahan, sehingga dapat membandingkan antara teori yang ada dengan kondisi yang ada di lapangan.

1.5.2 Manfaat bagi Universitas

Sebagai referensi untuk melakukan penelitian serupa mengenai pengaruh penambahan *carbon nanotube* terhadap sifat-sifat material lainnya.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Adapun sistematika yang digunakan dalam penulisan ini, yaitu sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Dimaksudkan untuk mengarahkan penulis. Berisi latar belakang penulisan dan penelitian, rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan tentang dasar-dasar teori yang didasarkan dari hasil studi literatur dan jurnal. Pada bab ini akan dijelaskan secara singkat beberapa hal yang terkait dalam penelitian ini. Diantaranya dijelaskan mengenai aluminium, komposit, *carbon nanotube*, *stir casting*, dan sifat-sifat material.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang diagram alir penelitian, prosedur pelaksanaan, peralatan yang digunakan, spesimen uji, dan proses-proses lain yang terkait dengan penelitian sampai dengan pengujian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang data-data yang diperoleh selama penelitian dan pembahasan mengenai hasil penelitian dan pengaruh komposit aluminium yang berpenguat *carbon nanotube* dengan

komposisi 1% dan variasi pemanasan awal CNT 500°C, 600°C, dan 700°C dengan diberi perlakuan panas, serta melakukan analisa data terkait hasil pengujian.

BAB V : PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan yang merupakan jawaban dari tujuan dalam penelitian yang telah dilakukan dan saran yang mungkin dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 CARBON NANOTUBE

Carbon Nanotube diidentifikasi untuk pertama kalinya pada tahun 1991 oleh Sumio Iijima di Laboratorium Penelitian NEC, menggunakan mikroskop elektron beresolusi tinggi dan menemukan hubungan antara *fullerence* dengan model *carbon nanotube* hingga akhirnya Iijima menemukan *carbon nanotube* dan berhasil mengemukakan penelitiannya dengan lengkap mengenai struktur dan sifat-sifat *carbon nanotube*. Karakterisasi yang dilakukan Iijima menunjukkan inilah fiber terkuat yang pernah dibuat, tetapi sebelumnya CNT sebenarnya bukanlah barang baru dalam dunia material elektronik, mengingat filamen karbon berdiameter 7 nanometer telah ditemukan pada tahun 1970 oleh Morinobu Endo, seorang mahasiswa PhD dari Jepang yang bersekolah di Orleans University, Perancis. Meskipun begitu, temuan yang dituangkan dalam disertasi doktornya tersebut belum menarik banyak perhatian saat itu.

Ilmu nano adalah studi fenomena dan manipulasi bahan pada skala atom, molekul dan makro molekul, dimana sifat-sifat bahan sangat berbeda dibandingkan bahan tersebut pada skala yang lebih besar, molekulnya yang berukuran antara 1 hingga 100 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), Bahan berstruktur nano merupakan bahan yang memiliki paling tidak salah satu dimensinya (panjang, lebar, atau tinggi). *Carbon nanotube* merupakan salah satu bidang penelitian yang menarik dalam ilmu pengetahuan modern.

2.1.1 Karakteristik *Carbon Nanotube*

Pada jurnal Adrian Nur dkk, tahun 2007 mengenai Sifat elektrik, molekul dan struktur *carbon nanotube* ditentukan struktur dimensinya. Beberapa sifat penting *carbon nanotube* adalah :

1. Reaktifitas Kimia

Reaktifitas kimia *carbon nanotube* akan meningkat sebanding dengan hasil kenaikan arah kurvatur permukaan *carbon nanotube*. Oleh karena itu, reaktifitas kimia pada bagian dinding *carbon nanotube* akan

sangat berbeda dengan bagian ujungnya. Diameter *carbon nanotube* yang lebih kecil akan meningkatkan reaktivitas.

2. Konduktivitas Elektrik dan Panas

Carbon nanotube dengan diameter yang lebih kecil dapat menjadi semi konduktor atau menjadi metalik tergantung pada vektor khiral. Perbedaan konduktivitas ini disebabkan oleh struktur molekul. Ketika nanotube bersifat sebagai konduktor, *nanotube* memiliki konduktivitas yang sangat tinggi. Diperkirakan pada saat *nanotube* bersifat sebagai konduktor maka ia mempunyai konduktivitas listrik sebesar 1 milyar Ampere per 1 cm². Hal ini tidak mungkin terjadi pada bahan tembaga karena akan terjadi panas yang dapat melelehkan tembaga. Pada nanotube tidak akan terjadi panas yang tinggi karena hambatan yang rendah. *Nanotube* juga memiliki konduktivitas panas yang baik. Hal ini yang kemudian nanotube diberi sebutan *ballistic conduction*. *Nanotube* memiliki kemampuan untuk mentransmisikan 6000 W/m.K di suhu ruangan (pada tembaga hanya 385 W/m.K). Selain itu nanotube tetap stabil hingga suhu 2800 °C di ruang hampa udara dan sekitar 750 °C di udara bebas (Thostenson, Erik. dkk, 2005).

3. Kekuatan Mekanik

Carbon nanotube mempunyai modulus Young yang sangat besar pada arah aksialnya. *Nanotube* menjadi sangat fleksibel karena ukurannya yang panjang. *Carbon nanotube* sangat potensial untuk aplikasi material komposit sesuai dengan kebutuhan.

4. Sifat CNT (*Carbon Nanotube*)

Sifat CNT (*Carbon nanotube*) dijelaskan pada Tabel 2.1 dibawah ini :

Tabel 2. 1 Properti Carbon Nanotube

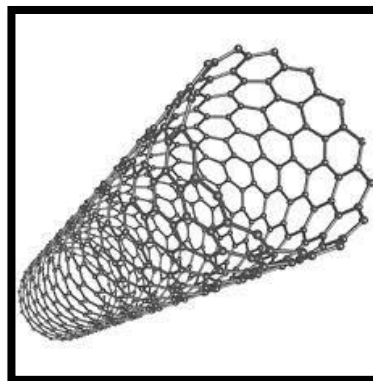
Material	Modulus Young (TPa)	Kekuatan Tarik (GPa)	Perpanjangan saat patah (%)
SWNT ^E	1 (dari 1 ke 5)	13 – 53	16
Armchair SWNT ^T	0.94	126.2	23.1
Zigzag SWNT ^T	0.94	94.5	15.6 – 17.5
Chiral SWNT	0.92	-	-
MWNT ^E	0.2-0.8-0.95	11 – 63 – 150	-
Stainless steel ^E	0.186-0.214	0.38 – 1.55	15 – 50

Nanoteknologi merupakan salah satu teknologi yang baru dan banyak menarik perhatian para ilmuwan di berbagai negara di dunia. CNT adalah Susunan satu rantai atom karbon yang berikatan secara heksagonal berbentuk silinder yang berdiameter nanometer. *Carbon nanotube* merupakan salah satu aplikasi nanoteknologi yang paling terkenal.

2.1.2 Pengelompokan Carbon Nanotube

CNT secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu CNT berdinding tunggal (*single-walled* CNT atau SWNT) dan CNT berdinding banyak (*multi-walled* CNT atau MWNT).

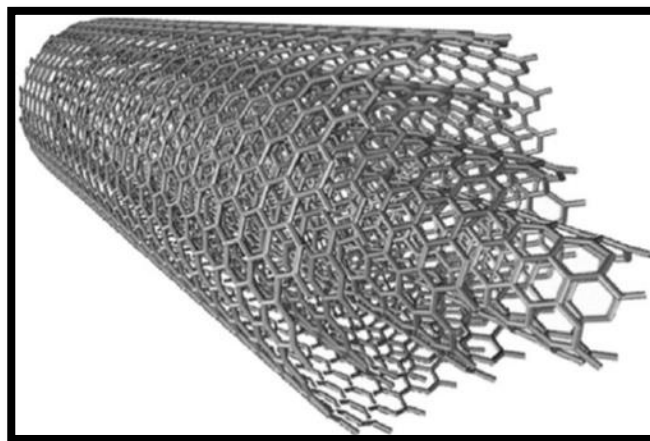
1. *Single Walled Nanotubes (SWNT)*



Gambar 2. 1 *Single Walled Nanotubes (SWNT)*

Struktur ini memiliki diameter kurang lebih 1 nanometer dan memiliki panjang hingga ribuan kali dari diameternya. Struktur SWNT dapat dideskripsikan menyerupai sebuah lembaran panjang struktur grafit (disebut *graphene*) yang tergulung. Umumnya SWNT terdiri dari dua bagian dengan properti fisik dan kimia yang berbeda. Bagian pertama adalah bagian sisi dan bagian kedua adalah bagian kepala. SWNT memiliki beberapa bentuk struktur berbeda yang dapat dilihat bilamana struktur *tube* dibuka. SWNT memiliki sifat keelektrikan yang tidak dimiliki oleh struktur MWNT. Hal ini memungkinkan pengembangan struktur SWNT menjadi *nanowire* karena SWNT dapat menjadi konduktor yang baik. Selain itu SWNT telah dikembangkan sebagai pengganti dari *field effect transistors* (FET) dalam skala nano. Hal ini karena sifat SWNT yang dapat bersifat sebagai n-FET juga p-FET ketika bereaksi terhadap oksigen. Karena dapat memiliki sifat sebagai n-FET dan p-FET maka SWNT dapat difungsikan sebagai *logic gate*.

2. Multi Walled Nanotubes (MWNT)



Gambar 2. 2 Multi Walled Nanotubes (MWNT)

MWNT dibentuk dari beberapa lapisan struktur grafit yang digulung membentuk silinder. Atau dapat juga dikatakan MWNT tersusun oleh beberapa SWNT dengan berbeda diameter. MWNT terbentuk dari 2 sampai 30 lapisan struktur grafit (*graphene*) yang

tergulung membentuk silinder dengan diameter 10-5- nm dan panjang lebih dari 10 mikrometer (Tanaka dkk, 1999:2). MWNT jelas memiliki sifat yang berbeda dengan SWNT. Pada MWNT yang hanya memiliki 2 lapis dinding (*Double-Walled Carbon Nanotubes-DWNT*) memiliki sifat yang penting karena memiliki sifat yang menyerupai SWNT dengan *chemical resistance* yang lebih baik. Hal ini dikarenakan pada SWNT hanya memiliki 1 lapis dinding sehingga bilamana terdapat ikatan C=C yang rusak maka akan menghasilkan lubang di SWNT dan hal ini akan mengubah sifat mekanik dan elektrik dari ikatan SWNT tersebut. Sedangkan pada DWNT masih terdapat 1 lapisan lagi di dalam yang akan mempertahankan sifatnya.

2.1.3 Pembentukan Carbon Nanotube

Terdapat beberapa cara dalam pembentukan nanotube, namun secara umum yang banyak digunakan adalah metode pelepasan bunga api (*arc discharge*), CVD (*Chemical Vapour Deposition*), dan *laser ablation*.

1. Metode Arc Discharge

Metode ini menggunakan 2 buah batang *carbon* yang diletakkan saling berhadapan pada ujungnya dan dipisahkan sejarak kurang lebih 1 mm. Ruang yang terpisah ini kemudian dialiri gas seperti Helium dan Argon pada tekanan rendah (50-700 mbar). Kemudian arus listrik sebesar 50-100 A dan tegangan 20 volt diberikan sehingga menciptakan perubahan suhu yang tinggi diantara ujung elektroda sehingga akan terjadi penguapan di ujung batang tersebut. Kemudian proses ini akan dilanjutkan dengan pembentukan lapisan oleh uap dari penguapan batang tersebut pada ujung batang lainnya.

2. Metode CVD (*Chemical Vapour Deposition*)

Metode ini telah ada sejak tahun 1959 namun baru dipakai sejak tahun 1993 untuk proses pembentukan nanotube. Pada proses ini carbon disiapkan dengan lapisan partikel logam katalis, seperti nikel, kobalt, besi, atau kombinasinya dan dikondisikan pada suhu sekitar 700 °C

Sementara itu 2 jenis gas, yaitu gas untuk proses seperti ammonia, nitrogen, hydrogen dan sebagainya serta gas yang mengandung carbon seperti acetylene, ethylene, ethanol, methane, dan sebagainya, dialirkan ke dalam proses.

3. Metode *Laser Ablation*

Metode ini menggunakan laser untuk menguapkan grafit pada suhu 1200°C Ruangan tempat berlangsungnya proses ini akan diisi dengan gas helium atau argon dan dijaga tetap pada tekanan 500 Torr. Pada keadaan ini maka akan terbentuk uap yang kemudian dengan cepat akan kembali dingin. Keadaan ini akan menyebabkan terbentuknya atom dan molekul carbon dan akan terbentuk kelompok yang besar. Kelompok- kelompok ini kemudian akan tumbuh menjadi *single-wall carbon nanotube*.

2.1.4 Aplikasi Carbon Nanotube

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, *carbon nanotube* telah digunakan untuk meningkatkan sifat anti statis dari *komponen fuel-handling* dan panel bodi mobil. *Carbon nanotube* juga diaplikasikan dalam pembuatan frame sepeda serta raket tennis pada *nanoledge* perusahaan perancis.

2.2 ALUMINIUM

Aluminium adalah jenis logam yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik serta sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Aluminium mempunyai manfaat dan kelebihan terdiri dari

ringan, tahan terhadap korosi, kuat, tahan terhadap suhu rendah, mudah diolah, penghantar panas yang baik, non-magnetik, konduktor panas yang baik, mudah di daur ulang, perawatan yang mudah, non-sparking (tidak menimbulkan percikan api ketika material saling digosokkan (Surdia T., 1999).

Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy dalam tahun 1809 sebagai suatu unsur dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H . C. Oersted, tahun 1825. Secara industri tahun 1886, Paul Heroult di Perancis dan C . M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisis dari garam yang terfusi. Sampai sekarang proses Heroult Hall masih dipakai untuk memproduksi aluminium. Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah urutan yang kedua setelah besi dan baja, yang tertinggi di antara logam *non ferro*.

Aluminium merupakan unsur *non ferrous* yang paling banyak terdapat di bumi yang merupakan logam ringan yang mempunyai sifat yang ringan, ketahanan korosi yang baik serta hantaran listrik dan panas yang baik, mudah dibentuk baik melalui proses pembentukan maupun permesinan, dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Di alam, aluminium berupa oksida yang stabil sehingga tidak dapat direduksi dengan cara seperti mereduksi logam lainnya. Pereduksian aluminium hanya dapat dilakukan dengan cara elektrolisis. Sebagai tambahan terhadap kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya, secara satu persatu atau bersama-sama, memberikan juga sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah dan sebagainya. Paduan aluminium dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu aluminium *wrought alloy* (lembaran) dan aluminium *casting alloy* (batang cor). Aluminium (99,99%) memiliki berat jenis sebesar 2,7 g/cm³, densitas 2,685 kg/m³, dan titik leburnya pada suhu 660°C, aluminium memiliki strength to weight ratio yang lebih tinggi dari baja. Sifat tahan korosi aluminium diperoleh dari terbentuknya lapisan oksida aluminium dari

permukaan aluminium. Lapisan oksida ini melekat kuat dan rapat pada permukaan, serta stabil (tidak bereaksi dengan lingkungan sekitarnya) sehingga melindungi bagian dalam. Unsur- unsur paduan dalam aluminium antara lain:

1. Copper (Cu), menaikkan kekuatan dan kekerasan, namun menurunkan elongasi (pertambahan panjang pangsangan saat ditarik). Kandungan Cu dalam aluminium yang paling optimal adalah antara 4-6%.
2. Zink atau Seng (Zn), menaikkan nilai tensile.
3. Mangan (Mn), menaikkan kekuatan dalam temperature tinggi.
4. Magnesium (Mg), menaikkan kekuatan aluminium dan menurunkan nilai *ductility*-nya. Ketahanan korosi dan *weldability* juga baik.
5. Silikon (Si), menyebabkan paduan aluminium tersebut bisa diperlakukan panas untuk menaikkan kekerasannya.
6. Lithium (Li), ditambahkan untuk memperbaiki sifat tahan oksidasinya.

Tabel 2. 2 Karakteristik Aluminium (Yudi Surya Irawan, 2013).

Sifat-sifat	Aluminium murni tinggi
Struktur kristal	FCC
Densitas pada 20°C (sat. 10 ³ kg/m ³)	2.698
Titik cair (°C)	660.1
Koefisien mulur panas kawat 20°~100°C (10 ⁻⁶ /K)	23.9
Konduktifitas panas 20°~400°C (W/(m·K))	238
Tahanan listrik 20°C (10 ⁻⁸ KΩ·m)	2.69
Modulus elastisitas (GPa)	70.5
Modulus kekakuan (GPa)	26.0

Tabel 2. 3 Macam-macam Aluminium dan Paduannya serta Kode Penamaan (Yudi Surya Irawan, 2013).

Al paduan untuk dimesin	Paduan jenis tidak dapat di perlakuan panas (non-heat-treatable)	Al murni (seri 1000) Paduan Al-Mn (seri 3000) Paduan Al-Si (seri 4000) Paduan Al-Mg (seri 5000)
	Paduan jenis dapat perlakuan panas (heat-treatable)	Paduan Al-Cu (seri 2000) Paduan Al-Mg-Si (seri 6000) Paduan Al-Zn (seri 7000)
Al paduan untuk coran	<i>Non-heat-treatable alloy</i>	Paduan Al-Si (Silumin) Paduan Al-Mg (Hydronarium)
	<i>Heat-treatable alloy</i>	Paduan Al-Cu (Lautal) Paduan Al-Si-Mg (Silumin, Lo-ex)

2.2.1 Pengaplikasian Aluminium

Aluminium adalah logam non-besi yang paling banyak digunakan di seluruh dunia. Produksi global dunia pada tahun 2005 mencapai 31,9 juta ton, melebihi produksi semua logam non-besi lainnya (Hetherington et. all, 2007). Ada beberapa kegunaan umum dari aluminium yaitu sebagai berikut:

- a. Aluminium *alloy* digunakan pada bodi gerbong Kereta Rel Listrik (KRL) Tokyo Metro Seri 6000.



Gambar 2. 3 KRL Tokyo Metro Seri 6000

- b. Pada kereta api terdapat *Rigid Overhead Conductor*, mempunyai kawat kontak yang ditopang pada sebuah batangan kaku yang disebut “*rigid bar*“, dan bukannya oleh sebuah kawat penggantung. *Rigid bar* ini umumnya terbuat dari aluminium *alloy* 6063 dengan tinggi 110 mm dan luas permukaan 2.220 mm persegi.
- c. Aluminium memiliki rasio kekuatan terhadap massa yang paling tinggi, sehingga banyak digunakan sebagai bahan pembuat pesawat dan roket. Aluminium juga dapat menjadi reflektor yang baik; lapisan aluminium murni dapat memantulkan 92% cahaya.
- d. Aluminium murni, saat ini jarang digunakan karena terlalu lunak. Penggunaan aluminium murni yang paling luas adalah aluminium foil (92-99% aluminium).

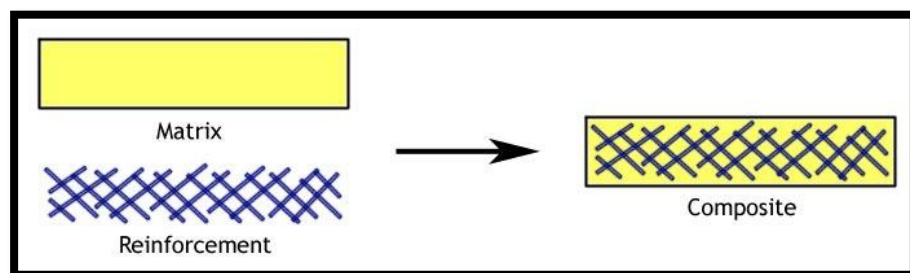
- e. Paduan aluminium-magnesium umumnya digunakan sebagai bahan pembuat badan kapal. Paduan lainnya akan mudah mengalami korosi ketika berhadapan dengan larutan alkali seperti air laut.
- f. Paduan aluminium-tembaga- lithium digunakan sebagai bahan pembuat tangki bahan bakar pada pesawat ulang-alik milik NASA.
- g. Uang logam juga terbuat dari aluminium yang diperkeras. Hingga saat ini, sulit dicari apa bahan paduan uang pembuat uang logam berwarna putih keperakan ini, kemungkinan dirahasiakan untuk mencegah pemalsuan uang logam.
- h. Velg mobil juga menggunakan bahan aluminium yang dipadu dengan magnesium, silicon, atau keduanya, dan dibuat dengan cara ekstrusi atau dicor.
- i. Beberapa jenis roda gigi menggunakan paduan Al-Cu. Penggunaan paduan Cu untuk mendapatkan tingkat kekerasan yang cukup dan memperpanjang usia benda akibat fatigue.
- j. Sektor pembangunan perumahan; untuk kusen pintu dan jendela.
- k. Sektor industri makanan , untuk kemasan berbagai jenis produk.
- l. Sektor lain, misal untuk kabel listrik, perabotan rumah tangga dan barang kerajinan.
- m. Membuat termit, yaitu campuran serbuk aluminium dengan serbuk besi (III) oksida, digunakan untuk mengelas baja ditempat, misalnya untuk menyambung rel kereta api.
- n. Pembuatan Aluminium Sulfat ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) digunakan untuk industri kertas dan karton, pewarna pada industri tekstil, dan pemadam kebakaran jenis busa. (bila dicampur dengan $NaHCO_3$ dan zat pengemulsi).

2.3 KOMPOSIT

2.3.1 Pengertian Komposit

Komposit terbentuk dari dua atau lebih komponen (bahan penguat dan matriks) memiliki karakteristik yang berbeda dengan bahan-bahan

pembentuknya dan secara makroskopis dicampur dengan tetap memiliki batas fasa yang jelas dan teridentifikasi (Bhagwan, 1990). Salah satu contoh paling mudah dari material komposit adalah beton cor yang tersusun atas campuran dari pasir, batu koral, semen, besi, serta air. Nampak bahwa material-material penyusun tersebut memiliki sifat-sifat yang berbeda-beda, namun ketika dicampurkan dengan perbandingan serta teknik tertentu akan menghasilkan beton yang sangat kuat, keras, dan tahan terhadap berbagai cuaca. Material komposit tersusun atas dua tipe material penyusun yakni pengikat (matriks) dan penguat (reinforcement). Keduanya memiliki fungsi yang berbeda, penguat berfungsi sebagai material rangka yang menyusun komposit, sedangkan matriks berfungsi untuk merekatkan penguat dan menjaganya agar tidak berubah posisi. Campuran keduanya akan menghasilkan material yang keras, kuat, namun ringan. Berikut gambaran material komposit :



Gambar 2. 4 Material Komposit (Onny, 2017)

Salah satu keuntungan material komposit adalah berat yang lebih ringan, kekuatan yang lebih tinggi, tahan korosi, memiliki biaya perakitan yang lebih murah, kemampuan material dapat diarahkan sehingga kekuatannya diatur hanya pada arah tertentu yang kita kehendaki, hal ini dinamakan “*tailoring properties*” (Sinarep dkk, 2011).

2.3.2 Penyusun Komposit

Komposit pada umumnya terdiri dari 2 fasa:

1. Matriks

Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau

fraksi volume terbesar (dominan). Matriks mempunyai fungsi sebagai berikut:

- a. Mentransfer tegangan ke serat.
- b. Membentuk ikatan koheren, permukaan matrik/serat.
- c. Melindungi serat.
- d. Memisahkan serat.
- e. Melepas ikatan.
- f. Tetap stabil setelah proses manufaktur.



Gambar 2. 5 Ilustrasi Matriks pada Komposit

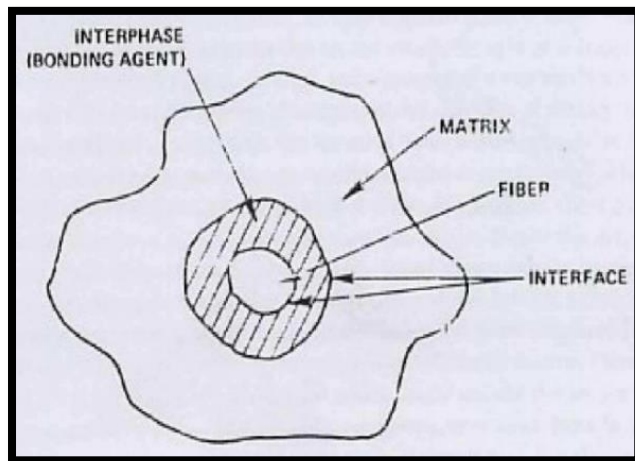
2. Reinforcement atau Filler atau Fiber

Salah satu bagian utama dari komposit adalah *reinforcement* (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit.



Gambar 2. 6 Ilustrasi *Reinforcement* pada Komposit

Adanya dua penyusun komposit atau lebih menimbulkan beberapa daerah dan istilah penyebutannya; Matrik (penyusun dengan fraksi volume terbesar), Penguat (Penahan beban utama), *Interphase* (pelekat antar dua penyusun), *Interface* (permukaan *phase* yang berbatasan dengan *phase* lain).



Gambar 2. 7 Komposit

Secara struktur mikro material komposit tidak merubah material pembentuknya (dalam orde kristalin), tetapi secara keseluruhan material komposit berbeda dengan material pembentuknya karena terjadi ikatan antar permukaan antara matriks dan filler. Syarat terbentuknya komposit: adanya ikatan permukaan antara matriks dan filler. Ikatan antar permukaan ini terjadi karena adanya gaya adhesi dan kohesi. Dalam material komposit gaya adhesi-kohesi terjadi melalui 3 cara utama:

- ❖ *Interlocking* antar permukaan → ikatan yang terjadi karena kekerasan bentuk permukaan partikel.
- ❖ Gaya elektrostatis → ikatan yang terjadi karena adanya gaya tarik-menarik antara atom yang bermuatan (ion).
- ❖ Gaya vanderwalls → ikatan yang terjadi karena adanya pengutupan antar partikel.

Kualitas ikatan antara matriks dan filler dipengaruhi oleh beberapa variabel antara lain:

- ❖ Ukuran partikel
- ❖ Rapat jenis bahan yang digunakan
- ❖ Fraksi volume material
- ❖ Komposisi material
- ❖ Bentuk partikel
- ❖ Kecepatan dan waktu pencampuran
- ❖ Penekanan (kompaksi)
- ❖ Pemanasan (sintering)

2.3.3 Sifat Komposit

Sifat maupun karakteristik dari komposit ditentukan oleh:

1. Material yang menjadi penyusun komposit

Karakteristik komposit ditentukan berdasarkan karakteristik material penyusun menurut rule of mixture sehingga akan berbanding secara proporsional.

2. Bentuk dan penyusunan struktural dari penyusun

Bentuk dan cara penyusunan komposit akan mempengaruhi karakteristik komposit.

3. Interaksi antar penyusun

Bila terjadi interaksi antar penyusun akan meningkatkan sifat dari komposit (Nurun Nayiroh, 2013).

2.3.4 Komposit Matrik Logam / Metal Matrix Composites

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 continuous 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 2.4.

Tabel 2. 4 Sifat Fisik dan Mekanik Logam Aluminium (Hari Utama, 2009).

Density,	2.7 g/cm ³
Modulus of elasticity, 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. 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 impak, konduktivitas listrik dan panas yang tinggi. Karakteristik mekanik dan termal MMCs secara umum dapat diperlihatkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Sifat Mekanik Komposit Matrik Logam (Hari Utama, 2009).

<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

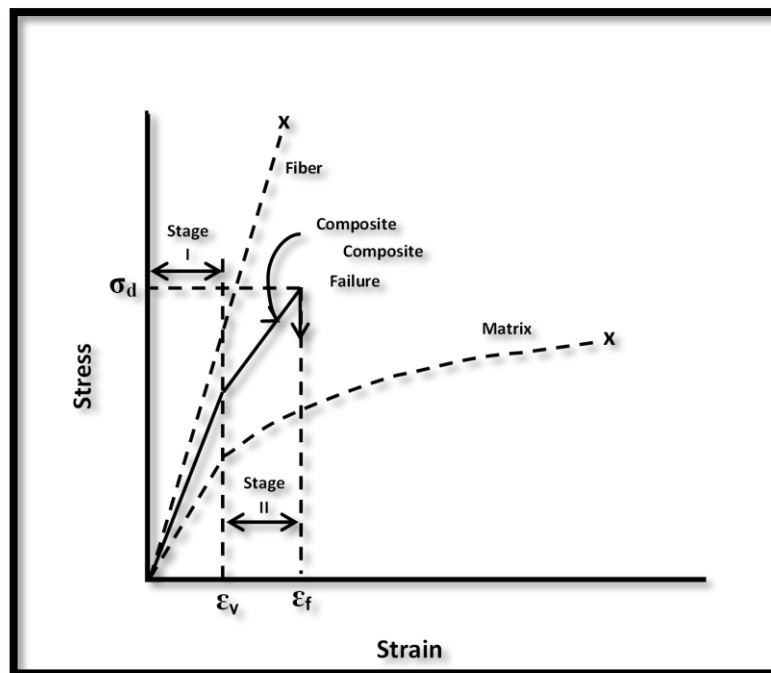
2.3.5 Tujuan Pembuatan Material Komposit

Berikut ini adalah tujuan dari dibentuknya komposit, yaitu sebagai berikut:

1. Memperbaiki sifat mekanik atau sifat spesifik tertentu.
2. Mempermudah design yang sulit pada manufaktur.
3. Keleluasaan dalam bentuk/design yang dapat menghemat biaya.
4. Menjadikan bahan lebih ringan.

2.3.6 Perilaku Tegangan – Regangan A-MMCs

Perilaku tegangan - regangan ideal A-MMCs untuk penguat fiber unidireksional ditunjukkan pada Gambar 2.8. Umumnya perilaku tegangan - regangan komposit terdiri dari 2 (dua) tahap. Pada tahap I, fiber dan matriks mengalami deformasi elastis secara bersamaan, kemudian pada tahap II, matriks mengalami deformasi plastis sementara fiber masih deformasi elastis. Dalam tahap III, baik matriks maupun fiber mengalami deformasi plastis akan tetapi umumnya fiber akan patah atau putus sebelum deformasi plastis.

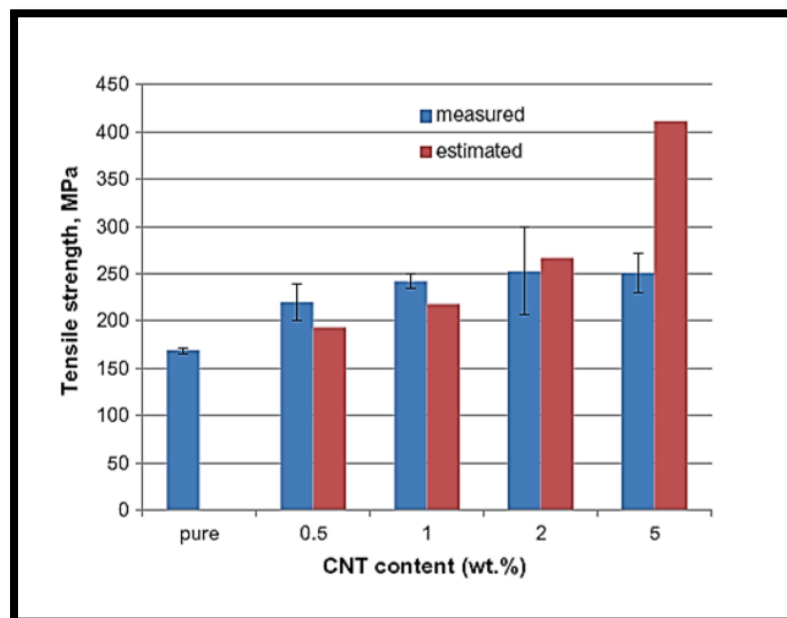


Gambar 2. 8 Perilaku Tegangan – Regangan Bahan Komposit

Gambar kurva tegangan regangan diatas juga memperlihatkan karakteristik mekanik komposit dibanding bahan penguatnya. Komposit memiliki kekuatan tarik (UTS) lebih tinggi dan elongasi lebih rendah dibanding matriksnya. Kekuatan tarik tinggi dan elongasi rendah menyebabkan komposit cenderung mengalami perpatahan getas/*brittle fracture*.

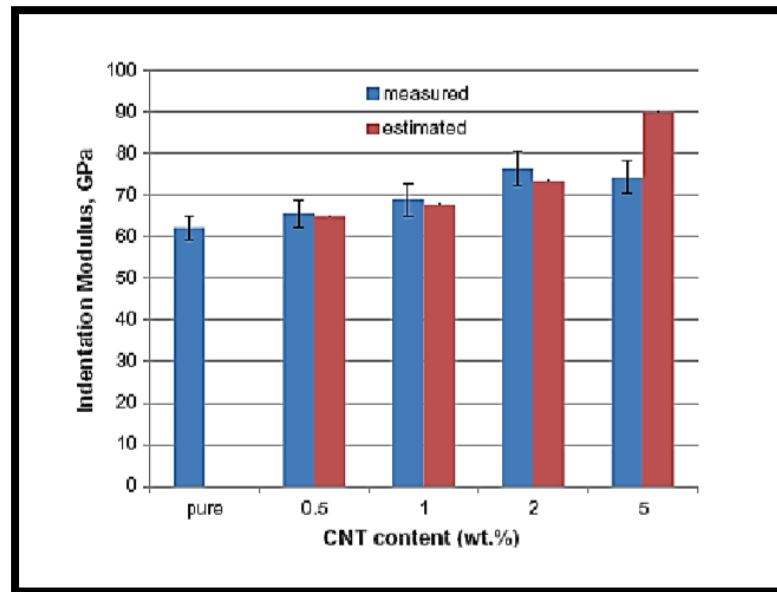
2.3.7 Penelitian Mengenai Aluminium Berpenguat CNT

Dikutip dari jurnal yang ditulis Esawi A.M.K dkk, berisi tentang komposit matriks 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 2.9 dan 2.10.



Gambar 2. 9 Efek Dari Kandungan CNT Pada Pengujian Kekuatan Tarik Dari Penelitian Komposit (Esawi, 2010)

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. 10 Efek Dari Kandungan CNT Pada *Indentation Modulus* Dari Penelitian Komposit (Esawi,2010)

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 CNT (Esawi dkk, 2010).

Penelitian mengenai komposit Al-CNT juga telah dilakukan oleh Alif Maulana pada tahun 2012 yang telah membuktikan bahwa hasil uji dari komposit ini memiliki sifat mekanik yang baik serta spesifikasi nilai keausan material komposit Al-CNT meningkat seiring dengan penambahan fraksi berat total. Hasil dari uji kekerasan pada komposit Al/CNT untuk 5% kekerasannya 25,82VHN, 10% nilai kekerasannya 20,14 VHN dan untuk komposit Al/SiC, variasi 5% nilai kekerasannya

39,83VHN, 10% nilai kekerasannya 36,25VHN, dan untuk 15% nilai kekerasannya 45,11VHN (Maulana, 2012).

Penelitian yang dilakukan oleh Zulfikar pada tahun 2019 yang bertujuan untuk menganalisa pengaruh variasi temperatur tuang terhadap kekuatan mekanis dan struktur mikro dari aluminium 6061 dengan penambahan *Carbon nanotube (CNT)* sebesar 0,1%wt dan variasi temperatur tuang 700 °C, 730 °C dan 760 °C. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian, seperti pengujian tarik, uji kekerasan, dan uji impak. Proses penambahan *CNT* ke dalam aluminium menggunakan metode *stir casting*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *CNT* dapat meningkatkan sifat mekanis aluminium pada suhu tuang 700 °C. dan 760 °C. Dari hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa penambahan *CNT* menyebabkan ukuran silikon dan butir aluminium akan menjadi kecil yang akan meningkatkan kekuatan mekanik aluminium (Zulfikar, 2019).

Dari penelitian yang dilakukan Evan Wahyu Kristiyanto pada tahun 2019, Aluminium dengan penambahan *CNT* merupakan fokus pada penelitian ini, dengan tujuan meningkatkan kekuatan fatik dari Al6061. Tahap pertama pada penelitian dimulai dengan menggabungkan antara matriks dan *CNT* menggunakan metode *stir casting* (350 rpm, temperatur penuangan 750°C). Setelah itu, material dibentuk dengan standarisasi tiap pengujian. Pengujian-pengujian yang akan dilakukan adalah pengujian kekerasan, kekuatan tarik, struktur mikro dan fraktografi. Selanjutnya, menentukan standarisasi pembebanan pengujian fatik menggunakan nilai tegangan 25%, 40%, 60%, 80% pada nilai rata-rata kekuatan tarik Al6061 yang adalah 150 MPa. Dari hasil pengujian kekerasan diperoleh adanya kesamaan nilai kekerasan antara Al6061 dan Al+0,1%wt *CNT*, yang hanya meningkat sebesar 0,872%. Pada hasil pengujian kekuatan tarik diperoleh adanya kenaikan dari 152 MPa menjadi 171 MPa, kenaikan sebesar 11,18%, namun menurunkan regangan sebesar 11,37%, hal tersebut dibuktikan dengan ukuran butir semakin besar dan rapat antar tiap butir $Al\alpha$, sehingga mengakibatkan silikon eutektik semakin halus. Dari hasil

kurva fatik menunjukkan adanya kenaikan untuk tegangan 40, 60, 90 dan 120 MPa secara berturut-turut 25%, 41%, 69% dan 61%. Dalam hal ini, Al6061 yang diperkuat CNT memiliki kemampuan yang baik dalam menahan beban dinamis. Hal tersebut dibuktikan dengan luasnya daerah permukaan halus dan semakin sedikitnya *striation* pada fraktografi fatik. CNT memiliki ketangguhan yang tinggi terhadap fatik dan diperlihatkan dengan besarnya nilai persentase pengujian fatik pada tegangan tinggi (Evan, 2019).

Selanjutnya, dari penelitian yang dilakukan oleh Gustiana pada tahun 2019, menggunakan metode Stir casting dalam pencampuran matriks dan unsur penguatnya dengan temperatur penuangan 700°C dan putaran 500 rpm untuk variasi 0,1%, 0,15% dan 0,2% (wt.CNT). Pengujian yang dilakukan berupa uji kekerasan, uji tarik, uji dampak, dan struktur mikro. Dari hasil pengujian kekerasan, menunjukkan peningkatan setiap penambahan CNT. Untuk variasi 0,2 % CNT memiliki nilai kekerasan sebesar 73,75 HRF. Pada pengujian tarik diperoleh nilai tegangan tarik tertinggi pada penambahan 0,2% CNT sebesar 293,46 MPa dan untuk nilai uji dampak tertinggi pada penambahan 0,2% CNT sebesar 0,125 Joule/mm². Dari hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa penambahan CNT menyebabkan ukuran butir menjadi semakin rapat dan halus sehingga kekuatan mekanik dari AL6061 meningkat (Gustiana, 2019).

2.4 PENGECORAN LOGAM

Pengecoran logam adalah proses pembuatan benda dengan mencairkan logam dan menuangkan cairan logam tersebut ke dalam rongga cetakan. Proses ini dapat digunakan untuk membuat benda-benda dengan bentuk rumit. Benda berlubang yang sangat besar dan sangat sulit atau sangat mahal jika dibuat dengan metode lain, dapat diproduksi massal secara ekonomis menggunakan teknik pengecoran yang tepat.

Pengecoran logam dapat dilakukan untuk bermacam-macam logam seperti, besi, baja paduan tembaga (perunggu, kuningan, perunggu alumunium dan lain sebagainya), paduan ringan (paduan alumunium, paduan magnesium, dan sebagainya), serta paduan lain, misalnya paduan seng, monel (paduan nikel dengan sedikit tembaga), hasteloy (paduan yang mengandung molibdenum, chrom, dan silikon), dan sebagainya.

Untuk membuat coran harus melalui proses pembuatan model pencairan logam, penuangan cairan logam ke model, membongkar, membersihkan dan memeriksa coran. Pencairan logam dapat dilakukan dengan bermacam-macam cara, misal dengan tanur induksi (tungku listrik di mana panas diterapkan dengan pemanasan induksi logam), tanur kupola (tanur pelebur dalam pengecoran logam untuk melebur besi tuang kelabu), atau lainnya. Cetakan biasanya dibuat dengan memadatkan pasir yang diperoleh dari alam atau pasir buatan yang mengandung tanah lempung. Cetakan pasir mudah dibuat dan tidak mahal. Cetakan dapat juga terbuat dari logam, biasanya besi dan digunakan untuk mengecor logam-logam yang titik leburnya di bawah titik lebur besi.

Pada pengecoran logam, dibutuhkan pola yang merupakan tiruan dari benda yang hendak dibuat dengan pengecoran. Pola dapat terbuat dari logam, kayu, stereofom, lilin, dan sebagainya. Pola mempunyai ukuran sedikit lebih besar dari ukuran benda yang akan dibuat dengan maksud untuk mengantisipasi penyusutan selama pendinginan dan pengerjaan finishing setelah pengecoran. Selain itu, pada pola juga dibuat kemiringan pada sisinya supaya memudahkan pengangkatan pola dari pasir cetak.

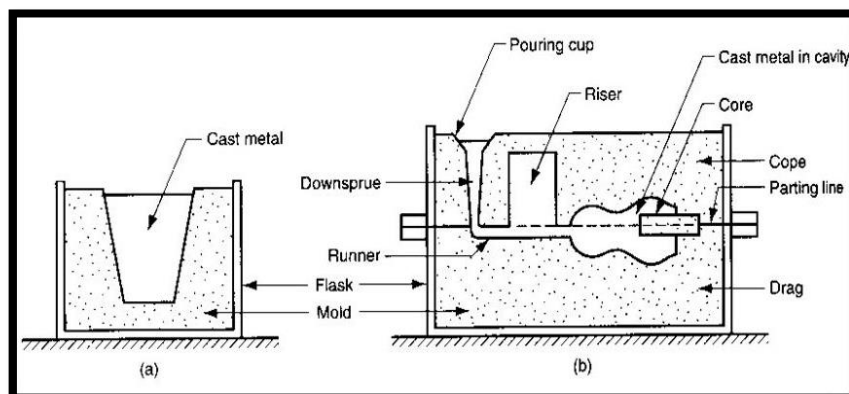
Cetakan adalah rongga atau ruang di dalam pasir cetak yang akan diisi dengan logam cair. Pembuatan cetakan dari pasir cetak dilakukan pada sebuah rangka cetak. Cetakan terdiri dari kup dan drag. Kup adalah cetakan yang terletak di atas, dan drag cetakan yang terletak di bawah. Hal yang perlu diperhatikan pada kup dan drag adalah penentuan permukaan pisah yang tepat.

Rangka cetak yang dapat terbuat dari kayu ataupun logam adalah tempat untuk memadatkan pasir cetak yang sebelumnya telah diletakkan pola di dalamnya. Pada proses pengecoran dibutuhkan dua buah rangka cetak yaitu rangka cetak untuk kup dan rangka cetak untuk drag. Proses pembuatan cetakan dari pasir dengan tangan.

2.4.1 Proses Pengecoran

Ada beberapa tahapan pada proses pengecoran sebagai berikut:

1. Pembuatan cetakan.
2. Persiapan dan peleburan logam.
3. Penuangan logam cair ke dalam cetakan dibagi dua, yaitu:
 - a. Untuk cetakan terbuka (lihat gambar 2.11.a) logam cair hanya dituang hingga memenuhi rongga yang terbuka.
 - b. Untuk cetakan tertutup (lihat gambar 2.11.b) logam cair dituang hingga memenuhi sistem saluran masuk.



Gambar 2. 11 Dua Macam Bentuk Cetakan (a) Cetakan Terbuka, (b) Cetakan Tertutup

4. Setelah dingin benda cor dilepaskan dari cetakannya.
5. Untuk beberapa metode pengecoran diperlukan proses pengerjaan lanjut:
 - a. Memotong logam yang berlebihan,
 - b. Membersihkan permukaan,
 - c. Memeriksa produk cor,

- d. Memperbaiki sifat mekanik dengan perlakuan panas (heat treatment),
- e. Menyesuaikan ukuran dengan proses pemesinan.

2.4.2 Keuntungan Dan Kerugian Pengecoran Logam

1. Keuntungan pembentukan dengan pengecoran, yaitu:
 - a. Dapat mencetak bentuk kompleks, baik bentuk bagian luar maupun bentuk bagian dalam.
 - b. Beberapa proses dapat membuat bagian (*part*) dalam bentuk jaringan.
 - c. Dapat mencetak produk yang sangat besar, lebih berat dari 100 ton.
 - d. Dapat digunakan untuk berbagai macam logam.
 - e. Beberapa metode pencetakan sangat sesuai untuk keperluan produksi massal.
2. Kerugian Pembentukan dengan pengecoran, yaitu:
 - a. Keterbatasan sifat mekanik.
 - b. Sering terjadi porositas.
 - c. Dimensi benda cetak kurang akurat.
 - d. Permukaan benda cetak kurang halus.
 - e. Bahaya pada saat penuangan logam panas.
 - f. Masalah lingkungan.

2.5 STIR CASTING

Metode *stir casting* pada logam cair atau metode *vortex* sangat menguntungkan untuk digunakan, karena bentuk *casting* yang dihasilkan hampir sama dengan produk akhir yang diinginkan, dan biaya-biaya produksi yang relatif rendah. Pada proses *stir casting*, partikel penguat yang biasanya berbentuk serbuk dimasukkan ke dalam aluminium cair, kemudian diaduk secara mekanik. Penggunaan *stir casting* untuk pembuatan MMC pertama kali diperkenalkan oleh S. Ray pada tahun 1968. Proses utama yang ditonjolkan berupa pengadukan secara mekanik yang dikenakan terhadap logam cair di dalam tungku. Matriks berupa aluminium cair yang sudah

bercampur dengan partikel penguat kemudian dituang ke dalam cetakan. Jenis cetakan yang bisa dipakai adalah cetak tekan (*die casting*), cetakan pasir, atau cetakan permanen.

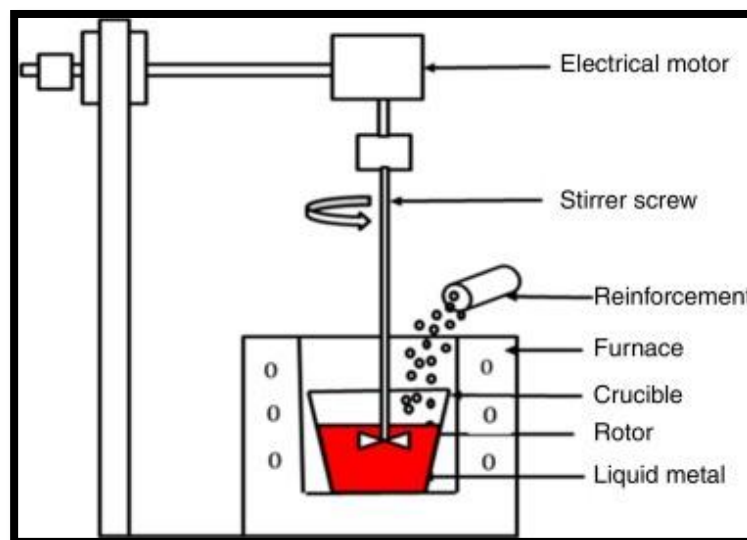
Pada metode *stir casting* parameter yang berpengaruh terhadap hasil coran adalah ukuran serbuk atau partikel keramik, kemampuan dan ukuran impeler pengaduk, temperatur logam cair, waktu pengadukan, kecepatan pengadukan, kecepatan pemakanan partikel ke dalam campuran secara kontinyu dan dengan laju yang seragam, serta suhu cetakan (Seo dan Kang, 1995). Pada proses *stir casting* porosity harus dihindari. Cara yang bisa dilakukan adalah dengan pembuatan cetakan yang tepat, cara penuangan yang baik, dan pemanasan awal pada cetakan.

Pada proses *stir casting* yang perlu dipelajari adalah pertama, yaitu pengadukan dimana pengadukan harus sampai berbentuk pusaran. Semua ini dilakukan agar penyebaran material penguat menyebar dalam cairan logam, ikatan antar material sempurna dan menghindari pengelompokan. Kedua, kecepatan pengadukan merupakan hal yang penting untuk mencapai *wettability* antara matriks dan penguat. Kecepatan pengadukan menentukan penyebaran dari partikel logam cair. Ketika temperatur pengadukan ditingkatkan maka porositas juga meningkat hal ini disebabkan saat temperatur meningkat maka timbul gas hidrogen, sehingga gas tersebut terperangkap dalam coran sehingga membentuk rongga-rongga yang disebut porositas. Untuk mendapatkan hasil spesimen yang baik dengan porositas rendah temperatur penuangan berada di 675°C-700°C (Adat RV. dkk., 2015).

Ada beberapa keuntungan dari proses *stir casting*, diantaranya adalah :

1. Dapat memperoleh suatu material tertentu yang sulit dan tidak mungkin didapatkan dengan proses lain (memadukan suatu logam dengan suatu bahan penguat).
2. Proses *stir casting* mempunyai prospek yang sangat baik dalam bidang pekerjaan karena produk dari *stir casting* tersebut relatif lebih baik sifat mekaniknya bila dibandingkan dengan hasil-hasil *casting* yang lain.

3. Proses *stir casting* lebih ekonomis karena material paduan yang ditambahkan merupakan material sisa-sisa dari suatu produksi yang pada umumnya sudah tidak dipakai lagi.
4. Dengan adanya proses pengadukan dalam *stir casting* maka hasil produk coran akan menjadi lebih baik. Karena memungkinkan gelembung-gelembung udara yang terperangkap dalam logam cair selama proses penuangan untuk naik ke permukaan logam cair, sehingga cacat akibat terjebaknya udara dalam produk cor dapat berkurang (Shinde. S. S. dkk, 2015).



Gambar 2. 12 *Stir Casting*

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Amir Arifin, yang bertujuan untuk menganalisa pengaruh perubahan parameter proses terhadap kekerasan, tarik, impak dan struktur mikro aluminium dengan komposisi 12% fly ash dan 8% alumina setelah melalui proses perubahan temperatur, perubahan waktu dan kecepatan stir. Perlakuan perubahan waktu yang dilakukan terbagi menjadi 3 bagian yaitu 180 detik, 300 detik, 480 detik. Temperatur pengadukan juga terbagi menjadi 3 bagian yaitu 700°C, 750°C, dan 800°C serta kecepatan stir 300, 350, dan 400 rpm. Setelah melalui proses pengujian maka didapatkan nilai kekerasan tertinggi pada waktu 480 detik yaitu 53,051 BHN, nilai impak 11,398 joule, dan nilai tegangan yaitu 11,861 kgf/mm².

Nilai uji kekerasan untuk temperatur terbaik yaitu 700°C sebesar 52,287 BHN, untuk impak yaitu 11,396 joule, dan nilai tegangan yaitu 10,550 kgf/mm². Dan untuk kecepatan stir nilai kekerasan tertinggi di dapat pada kecepatan 350 rpm yaitu 54,645 BHN, nilai impak sebesar 12,262 joule dan untuk uji tarik nilai tegangan sebesar 12,782 kgf/mm². Dari perubahan nilai kekerasan, impak dan tarik tersebut membuktikan bahwa terdapat pengaruh parameter proses perubahan temperatur, waktu dan kecepatan stir pada saat pengecoran menggunakan metode *stir casting* (Amir Arifin, 2017).

Pengaruh kecepatan putar pengadukan pada kekuatan tarik komposit AlSiC menunjukkan bahwa kekuatan tarik rata-rata komposit Al-SiC menurun dari 119,07 menjadi 114,45 MPa jika kecepatan putar dinaikkan dari 100 menjadi 200 rpm, tetapi kekuatan tarik rata-ratanya naik kembali menjadi 122,66 MPa ketika kecepatan putar pengadukan 300 rpm. Pada kecepatan putar pengadukan 400 rpm kekuatan tariknya menurun kembali menjadi 101,38 MPa. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Sadi, ketika kecepatan putar pengadukan dinaikkan dari 100 menjadi 300 rpm, kekuatan tarik rata-rata komposit Al-SiC naik sebesar 3,02 %, yaitu naik dari 119,07 MPa menjadi 122,66 MPa. Penelitian ini menunjukkan bahwa sinyal tertinggi terjadi pada variasi ke tiga dengan S/N ratio sebesar 40,90 dB, maka kecepatan putar optimum adalah 300 rpm (Sadi, 2014).

Proses penelitian yang telah dilakukan oleh S. Wilastri tentang pengaruh sebaran partikel SiC dengan aluminium 7075 dalam komposit matriks logam. Dalam eksperimennya, Al 7075 (0.06% berat Si) dipadu SiC dengan variasi persentase berat 5%, 10% dan 15%. Metode *stir casting* dengan temperatur yang dijaga pada kisaran 750°C sampai 800°C selama satu jam ini, diputar selama 10 menit masing-masing pada putaran 500, 650, dan 750 rpm. Hasil eksperimen ini menunjukkan kekuatan tarik tertinggi dicapai pada 10% berat SiC (106.30 MPa), sedangkan kekerasan tertinggi pada 15% SiC yaitu sebesar 137 BHN. Pada *stirring* dengan putaran 500 rpm, hasil *metallographic* memperlihatkan distribusi struktur butirannya seragam dengan batas butir terlihat sangat jelas (S. Wilastari, dkk. 2011).

2.6 PENGUJIAN SIFAT MEKANIK

Berbagai metode karakterisasi material komposit pada saat ini telah banyak dikembangkan. Metode-metode ini diklasifikasikan dalam :

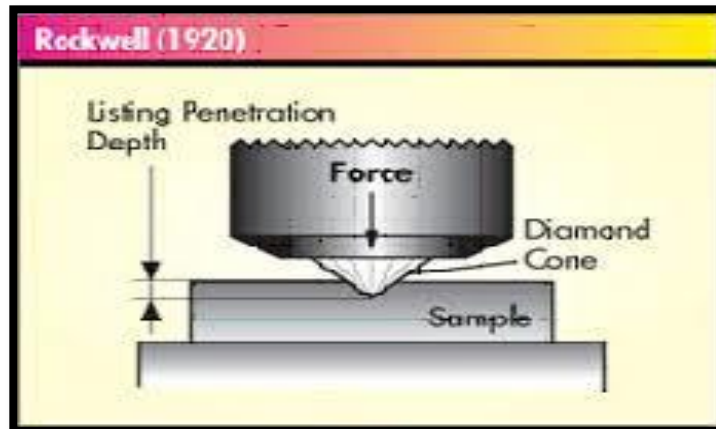
1. Observasi morfologi digunakan untuk mengetahui dimensi, distribusi, susunan serat pada suatu material.
2. Observasi sifat mekanik digunakan untuk mengetahui tingkat kekuatan mekanik dari material komposit tersebut.

Untuk melihat pengaruh *Carbon Nanotube* terhadap aluminium komposit, maka dilakukan uji mekanik dengan menggunakan Uji Tarik (*tensile test*), Uji Kekerasan, dan Uji Gaya Gesek.

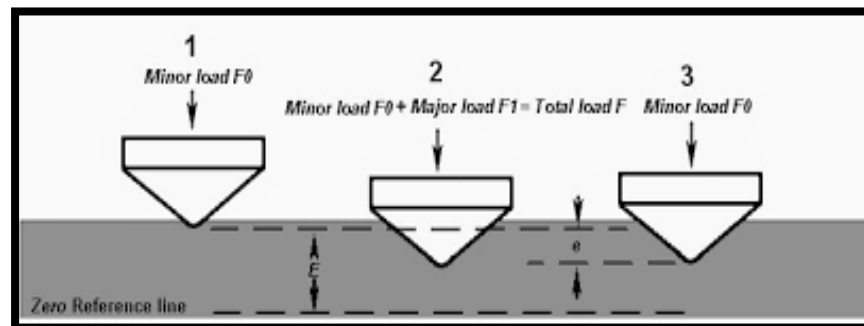
2.6.1 Uji Kekerasan

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen (Dieter, 1987). Untuk para insinyur perancang, kekerasan sering diartikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan sesuatu mengenai kekuatan dan perlakuan panas dari suatu logam. Terdapat tiga jenis ukuran kekerasan, tergantung pada cara melakukan pengujian, yaitu: (1) Kekerasan goresan (*scratch hardness*); (2) Kekerasan lekukan (*indentation hardness*); (3) Kekerasan pantulan (*rebound*). Untuk logam, hanya kekerasan lekukan yang banyak menarik perhatian dalam kaitannya dengan bidang rekayasa. Terdapat berbagai macam uji kekerasan lekukan, antara lain: Uji kekerasan *Brinell*, *Vickers*, *Rockwell*.

Pengujian kekerasan dengan metode *rockwell* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indentor berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut. Untuk mencari besarnya nilai kekerasan dengan menggunakan metode *rockwell* dijelaskan pada gambar, yaitu:



Gambar 2. 13 Pengujian *Rockwell* (Kumayasari, 2017)
 Langkah 1 benda uji ditekan oleh indenter dengan beban minor (*Minor Load* F_0).
 Langkah 2, ditekan dengan beban mayor (*major Load* F_1).
 Langkah 3 beban mayor diambil sehingga yang tersisa adalah *minor load* dimana pada kondisi 3 ini indenter ditahan seperti kondisi pada saat total *load* F yang terlihat pada Gambar 2.14.



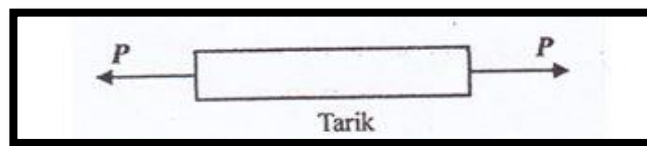
Gambar 2. 14 Prinsip Kerja Metode Pengukuran Kekerasan *Rockwell* (Kumayasari, 2017)

Hasil uji kekerasan pada komposit aluminium yang diperkuat SiC menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi pada komposit dengan penguat SiC 7,5% berat sebesar 64,8 HRB. Nilai terkecil ditunjukkan pada variasi berat SiC 0% sebesar 53,8 HRB. Dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan yang semakin meningkat seiring semakin banyaknya % berat SiC (Sulardjaka, Sri Nugroho, dan Deri Dagi Wacono, 2015).

2.6.2 Uji Tarik (*Tensile Test*)

Uji tarik mungkin adalah cara pengujian bahan yang paling mendasar. Pengujian ini sangat sederhana, tidak mahal dan sudah mengalami standarisasi di seluruh dunia, misalnya di Amerika dengan ASTM E8 dan Jepang dengan JIS 2241. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*).

Proses pengujian tarik mempunyai tujuan utama untuk mengetahui kekuatan tarik bahan uji. Bahan uji adalah bahan yang akan digunakan sebagai konstruksi, agar siap menerima pembebanan dalam bentuk tarikan. Pembebanan tarik adalah pembebanan yang diberikan pada benda dengan memberikan gaya yang berlawanan pada benda dengan arah menjauh dari titik tengah atau dengan memberikan gaya tarik pada salah satu ujung benda dan ujung benda yang lain diikat.



Gambar 2. 15 Pembebanan Tarik

Penarikan gaya terhadap bahan akan mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (*deformasi*) bahan tersebut. Kemungkinan ini akan diketahui melalui proses pengujian tarik. Proses terjadinya deformasi pada bahan uji adalah proses pergeseran butiran-butiran kristal logam yang mengakibatkan melemahnya gaya elektromagnetik setiap atom logam hingga terlepasnya ikatan tersebut oleh penarikan gaya maksimum. Penyusunan butiran kristal logam yang diakibatkan oleh adanya penambahan volume ruang gerak dari setiap butiran dan ikatan atom yang masih memiliki gaya elektromagnetik, secara otomatis bisa memperpanjang bahan tersebut.

Hasil yang diperoleh dari proses pengujian tarik adalah grafik tegangan regangan, parameter kekuatan dan keliatan material pengujian dalam prosen perpanjangan, kontraksi atau reduksi penampang patah, dan bentuk permukaan patahannya.

Tegangan dapat diperoleh dengan membagi beban dengan luas penampang mula-mula benda uji (George E. Dieter, 1993) :

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

Dimana: σ = Tegangan nominal (kg/mm^2)
 P = Gaya tarik aksial (kg)
 A_0 = Luas penampang normal (mm^2)

2.6.3 Uji Gesek (Keausan)

Keausan merupakan hilangnya 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 mekanis digolongkan lagi menjadi *abrasive*, *adhesive*, *flow* dan *fatigue wear*.

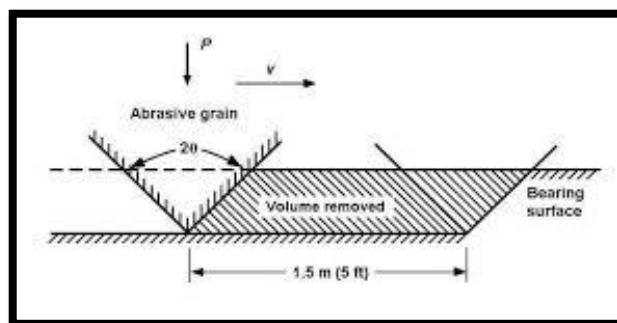
Penelitian ini difokuskan masalah pada keausan abrasif, dengan metode pengujian yang digunakan mengikuti metode yang diajukan oleh Bataev (1996) yaitu interaksi antara material padat (block) sebagai benda uji yang digesekkan pada disk berputar yang dilapisi kertas abrasif. Keausan Abrasif (*Abrasive 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 2.17 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:

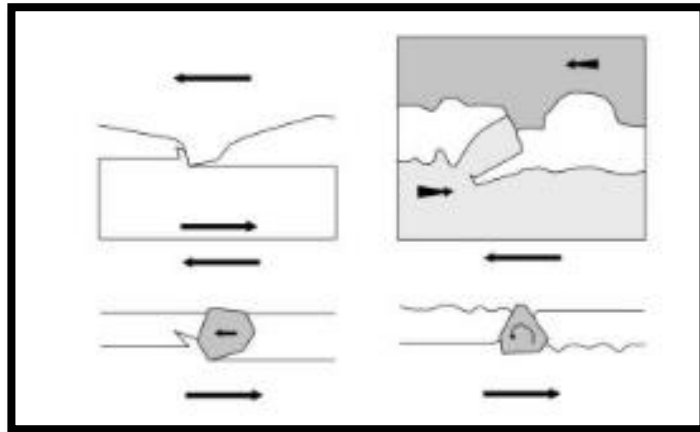
- a. Kekerasan material
- b. Kondisi struktur mikro
- c. Ukuran abrasif
- d. Bentuk abrasif

Bentuk kerusakan permukaan akibat abrasive wear, antara lain :

- a. *Scratching*
- b. *Scoring*
- c. *Gouging*



Gambar 2. 16 Ilustrasi Skematis Keausan Abrasif



Gambar 2. 17 Keausan Metode *Abrasive*

Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Laju keausan pada pengujian ini dinyatakan sebagai berkurangnya massa atau volume benda uji setelah mengalami penggesekan (penggerusan akibat kontak antara disk yang berputar dan benda uji) tiap satuan waktu, yang dinyatakan dengan:

$$W = \frac{w}{s} \text{ (mg/detik)}$$

dengan:

W = laju keausan (mg/detik)

w = berat material yang hilang (mg)

s = waktu total pengujian (detik)

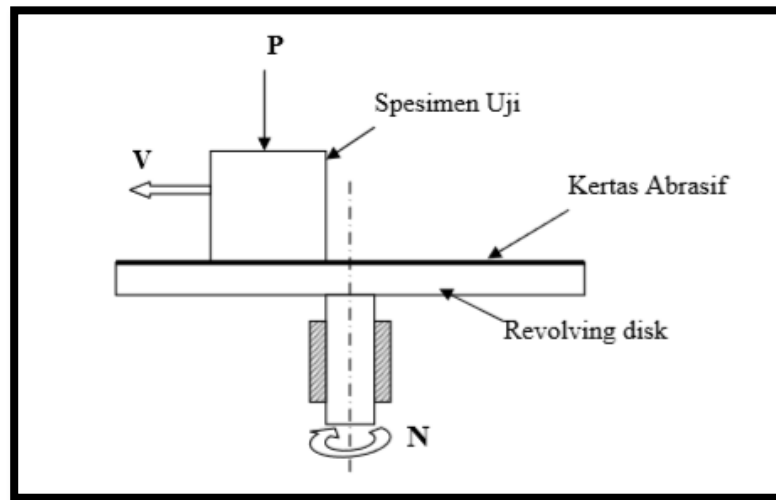
Sedangkan intensitas keausan dinyatakan dengan (Sofanov and Aleksenko, 1998):

$$I = \frac{h_1}{L} \text{ (mg/meter)}$$

dengan:

h1 = keausan linier yang ditentukan dari perubahan massa spesimen setelah pengujian keausan (mg)

$L =$ jalur lintasan gesek (meter)

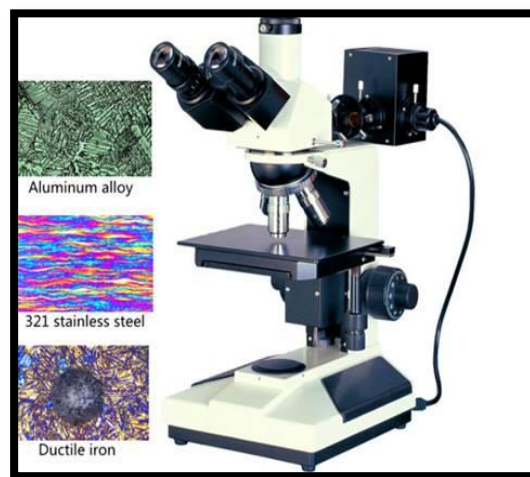


Gambar 2. 18 Mekanisme Alat Uji Keausan Abrasif

2.6.4 Uji Struktur Mikro

Analisa mikro adalah suatu analisa mengenai struktur logam melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus *metallography*. Dengan ana lisa mikro struktur, kita dapat mengamati bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas, dan perbedaan komposisi. Sifat-sifat logam terutama sifat mekanis dan sifat teknologis sangat dipengaruhi dari mikro struktur logam dan paduannya. Struktur mikro dari logam dapat diubah dengan jalan perlakuan panas ataupun dengan proses perubahan bentuk (deformasi) dari logam yang akan diuji. Pengamatan *metallography* dengan mikroskop optik dapat dibagi dua, yaitu *metallography* makro yaitu pengamatan struktur dengan perbesaran 10-100 kali dan *metallography* mikro yaitu pengamatan struktur dengan perbesaran diatas 100 kali.

Pengamatan struktur mikro terhadap material yang akan dilakukan uji mekanis dengan menggunakan alat seperti pada gambar 2.15 dapat dijadikan sebagai data pendukung bahwa material secara mikro memang telah sesuai dengan spesifikasi yang tertera dalam sertifikat manufaktur (*mill certificate*) atau dengan kata lain sebagai proses identifikasi material. Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2. bahwa hasil pengamatan logam uji oleh mikroskop adalah berbeda-beda untuk paduan aluminium, baja dan besi tuang nodular. Masing-masing jenis material ini memiliki sifat mekanis yang juga berbeda-beda.

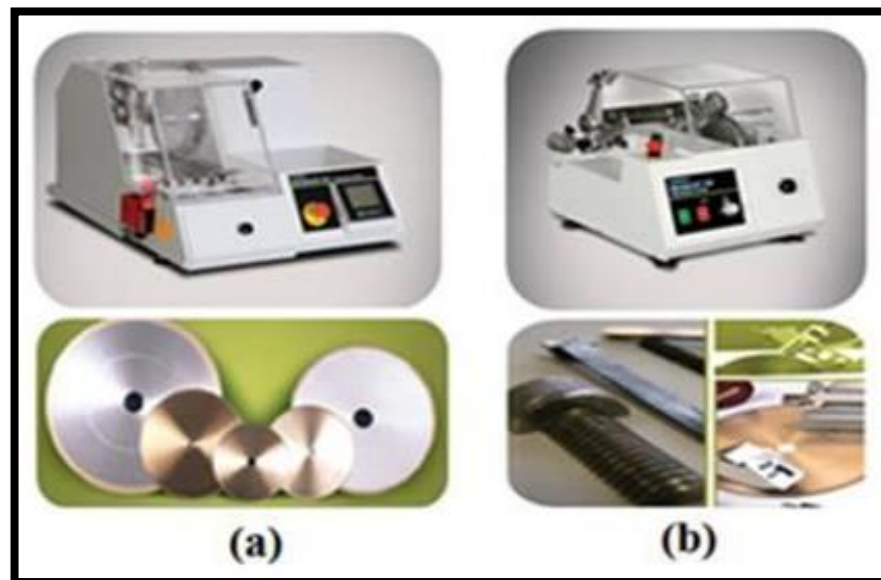


Gambar 2. 19 Pengujian mikrostruktur (Djodi, 2012)

Tahapan proses metalografi dapat dilihat pada Gambar 2.20, proses pemotongan benda uji harus mempertimbangkan kekerasan dan lunaknya bahan material tersebut, agar material uji tidak mengalami deformasi dan perubahan struktur yang akan berakibat terhadap keakuratan dan kejelasan objek hasil pencitraan lensa mikroskop. Oleh karena itu, sangat disarankan untuk memilih tipe piringan (*disc*) pemotong yang benar, ketebalan piringan pemotong, bahan material dari piringan pemotong, bahan pendingin, tekanan, dan kecepatan pemotongan. Alat potong metkon yang tersedia antara lain, seperti mesin potong presisi yang diperlihatkan pada Gambar 2.21.



Gambar 2. 20 Tahapan Proses Metalografi (Djodi, 2012)



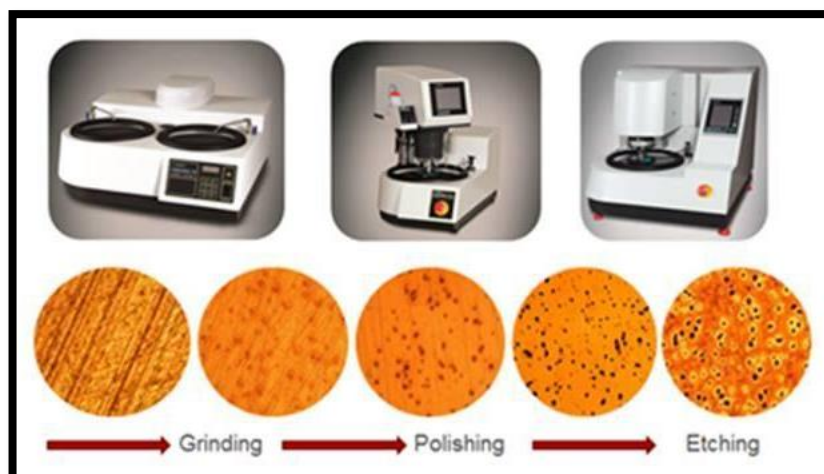
Gambar 2. 21 Mesin Pemotong Sampel Presisi Metkon a) Piringan *Diamond* b) Piringan CNB (*Cubic Boron Nitride*)

Sampel yang telah dipotong dengan dimensi yang akurat dan presisi kemudian dilakukan proses mounting, agar mudah diletakkan di meja pengamatan lensa mikroskop. Proses mounting yang disediakan oleh metkon dapat dilakukan pada temperatur tinggi (*hot mounting*) dan rendah (*cold mounting*). Gambar 2.22 memperlihatkan mesin *mounting* metkon dan hasil sampel yang telah selesai di *mounting*.



Gambar 2. 22 Mesin *Mounting* Metkon dan Hasil *Mounting* (Djodi, 2012)

Hasil *mounting* sampel, selanjutnya dilakukan proses penghalusan gerinda dan pemolesan dengan menggunakan mesin gerinda dan poles seperti yang terlihat pada gambar 2.23. Tujuan dari proses gerinda dan poles, agar permukaan sampel menjadi halus secara merata dan ketika diberi etsa sesuai dengan jenis materialnya dapat menghasilkan gambar yang jelas saat diamati menggunakan lensa mikroskop.



Gambar 2. 23 Mesin Gerinda dan Poles Metkon dan Permukaan Sampel (Djodi, 2012)

Penggunaan alat-alat potong, *mounting*, gerinda dan poles produksi metkon tersebut akan menghasilkan kualitas sampel yang baik dengan proses pengerjaan yang cepat sehingga secara mengurangi biaya produksi yang tinggi karena waktu tunggu (*idle time*) dapat diminimalisir.

Pengamatan material yang telah dihaluskan dan diberi etsa pada permukaannya yang menggunakan mikroskop. Lalu struktur mikro yang terlihat dari alat pembesar kemudian direkam.