

**SKRIPSI**

**PENGECORAN ALUMINIUM KOMPOSIT  
BERPENGUAT *CARBON NANOTUBE* (CNT) DENGAN  
VARIASI PENAMBAHAN SERBUK MAGNESIUM (Mg)**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**ELYESER  
D021 18 1015**



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

# LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

## PENGECORAN ALUMINIUM KOMPOSIT BERPENGUAT CARBON NANOTUBE (CNT) DENGAN VARIASI PENAMBAHAN SERBUK MAGNESIUM

Disusun dan diajukan oleh

**ELYESER**  
**D021181015**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 08 Agustus 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Muhammad Syahid, S.T., MT.  
NIP. 19770707 200511 1 001



Azwar Hayat, S.T., M.Sc., Ph.D  
NIP. 19840126 201212 1 002

Ketua Program Studi



Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT.  
NIP. 19720825 200003 1 001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Elyeser  
NIM : D021181015  
Program Studi : Teknik Mesin  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Pengecoran Aluminium Komposit Berpenguat *Carbon Nanotube (CNT)* Dengan Variasi Penambahan Serbuk Magnesium (Mg)}

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

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

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

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

Gowa, 08.. Agustus 2023

Yang Menyatakan

  
Elyeser

## ABSTRAK

**ELYESER.** *Pengecoran Aluminium Komposit Berpenguat Carbon Nanotube (CNT) Dengan Variasi Penambahan Serbuk Magnesium (Mg)* (dibimbing oleh Dr. Muhammad Syahid, ST., MT dan Azwar Hayat, ST., M.Sc.,Ph.D)

Aluminium 1100 adalah paduan aluminium dengan komposisi yang memiliki tingkat kemurnian yang tinggi. Dalam penelitian ini, peleburan Aluminium 1100 berpenguat Carbon Nanotube (1% CNT) dengan variasi penambahan serbuk Magnesium dilakukan dengan metode Slurry Based, dimana Aluminium dileburkan pada suhu 720<sup>0</sup>C selama 1 jam. Setelah Aluminium melebur, didiamkan pada suhu ruang hingga tekstur Aluminium menjadi seperti bubur, sedang bersamaan itu serbuk Mg dan CNT dipanaskan pada suhu sekitar 60<sup>0</sup>C mengharapkan struktur molekul serbuk Mg dan CNT saling mengikat. Kemudian serbuk Mg dan CNT dicampurkan kedalam coran. Setelah itu coran dimasukkan lagi kedalam Furnace pada suhu 720<sup>0</sup>C selama 30 menit, lalu diberikan gas Argon serta perlakuan Stir Casting kemudian dicetak. Sampel kemudian dilakukan analisis sifat mekanik dan pengamatan mikrostruktur.

Hasil pengujian kekerasan Vickers sebelum adanya penambahan serbuk Mg dan CNT yaitu sebesar 36,7 HV. Sedangkan setelah diadakan variasi penambahan 1% serbuk Mg kekerasan dari spesimen meningkat sebesar 44,5 HV, variasi penambahan 3% serbuk Mg sebesar 45,3 HV, dan pada variasi penambahan 5% serbuk Mg mencapai nilai kekerasan sebesar 46 HV. Hasil pengujian tarik pada variasi penambahan 1% serbuk Mg sebesar 203,3 Mpa, variasi penambahan 3% serbuk Mg kekuatan tarik meningkat sebesar 241,6 Mpa, dan pada penambahan 5% serbuk Mg kekuatan Tarik menurun 190 Mpa. Hasil uji keausan menunjukkan nilai laju keausan untuk variasi 1% Mg sebesar 0,146 mg/s, variasi 3% Mg sebesar 0,106 mg/s, dan pada variasi 5% Mg dengan nilai laju keausan 0,093 mg/s. Fasa  $\alpha$ -Al merupakan fasa yang dominan terbentuk, dimana ukuran butir dan batas butir pada variasi 3% Mg memiliki ukuran yang relatif kecil dan penyebaran CNT merata dalam paduan, sehingga adanya penambahan Mg pada paduan dapat membantu penyebaran CNT dalam paduan Aluminium.

Kata Kunci: Aluminium 1100, *Carbon Nanotube (CNT)*, Serbuk Magnesium

## ABSTRACT

**ELYESER.** *Casting of Aluminum Composite Reinforced Carbon Nanotube (CNT) with Variation of Magnesium (Mg) Powder Addition (supervised by Dr. Muhammad Syahid, ST., MT and Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D)*

*Aluminum 1100 is an aluminum alloy with a composition that has a high level of purity. In this study, the melting of Aluminum 1100 reinforced Carbon Nanotube (1% CNT) with variations in the addition of Magnesium powder was carried out by the Slurry Based method, where Aluminum was melted at 720<sup>0</sup>C for 1 hour. After Aluminum melts, it is allowed to stand at room temperature until the texture of Aluminum becomes like porridge, while at the same time Mg and CNT powders are heated at a temperature of about 60<sup>0</sup>C expecting the molecular structure of Mg and CNT powders to bind together. Then Mg and CNT powders are mixed into castings. After that, the castings are put back into the furnace at a temperature of 720<sup>0</sup>C for 30 minutes, then given Argon gas and Stir Casting treatment and then molded. The samples were then analyzed for mechanical properties and microstructure observations.*

*The results of the Vickers hardness test before the addition of Mg powder and CNT were 36.7 HV. While after the variation of adding 1% Mg powder, the hardness of the specimen increased to 44.5 HV, the variation of adding 3% Mg powder was 45.3 HV, and the variation of adding 5% Mg powder reached a hardness value of 46 HV. The tensile test results on the variation of adding 1% Mg powder amounted to 203.3 Mpa, the variation of adding 3% Mg powder increased the tensile strength by 241.6 Mpa, and the addition of 5% Mg powder decreased the tensile strength by 190 Mpa. The wear test results show the wear rate value for the 1% Mg variation of 0.146 mg/s, the 3% Mg variation of 0.106 mg/s, and the 5% Mg variation with a wear rate value of 0.093 mg/s. The  $\alpha$ -Al phase is the dominant phase formed, where the grain size and grain boundaries in the 3% Mg variation have a relatively small size and the spread of CNT is evenly distributed in the alloy, so the addition of Mg to the alloy can help spread CNT in Aluminum alloys.*

**Kata Kunci:** *Aluminium 1100, CNT, Magnesium powder*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
KATA PENGANTAR .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan penelitian .....	3
1.4 Batasan masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Aluminium .....	5
2.1.1 Aluminium dan paduannya.....	6
2.1.2 Aluminium 1100 .....	7
2.2 Carbon.....	8
2.2.1 Macam-macam bentuk Carbon .....	9
2.2.2 Kegunaan carbon.....	9
2.3 CNT ( <i>Carbon Nanotube</i> ) .....	10
2.3.1 Bentuk struktur CNT ( <i>Carbon Nanotube</i> ).....	10
2.3.2 Metode pencampuran CNT ( <i>Carbon Nanotube</i> ) .....	12
2.3.3 Kelebihan CNT ( <i>Carbon Nanotube</i> ) .....	14
2.4 Magnesium ( <i>Mg</i> ) .....	15
2.5 Pengecoran Aluminium berpenguat CNT.....	18
2.5.1 Cetakan logam dan cetakan pasir .....	21

2.5.2 Kekerasan produk cor aluminium .....	22
2.6 Uji Mekanik ( <i>Mechanical Test</i> ).....	23
2.6.1 Pengujian kekerasan atau <i>hardness test</i> .....	23
2.6.2 Uji tarik ( <i>tensile test</i> ).....	26
2.6.3 Pengujian Keausan .....	29
2.7 Pengamatan Struktur Mikro .....	32
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>34</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	34
3.2 Alat dan Bahan .....	34
3.2.1 Alat .....	34
3.2.2 Bahan .....	38
3.3 Flowchart penelitian .....	41
3.4 Prosedur Penelitian .....	42
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>47</b>
4.1 Data Produk Pengecoran.....	47
4.2 Hasil Pengujian Kekerasan ( <i>Hardness Test Vickers</i> ) .....	48
4.3 Spesimen Pengujian Tarik ( <i>Tensile Test</i> ).....	51
4.4 Hasil Pengujian Keausan .....	53
4.5 Hasil Pengamatan Struktur Mikro .....	55
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>59</b>
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran .....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>61</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>64</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur SWNT.....	11
Gambar 2. Struktur MWCNT .....	12
Gambar 3. (A) High energy ball milling (B) Low energy ball milling (C) polyester binder assisted (PBA).....	13
Gambar 4. (a) Perbandingan sifat mekanik dari carbon dan grafit fiber (b) perbandingan langsung sifat mekanik untuk kekuatan tinggi dan serat modulus tinggi, modulus rendah (MD Resselhaus, 2003). .....	15
Gambar 5. Efek dari kandungan cnt pada pengujian kekuatan tarik dari penelitian komposit .....	18
Gambar 6. Efek dari kandungan cnt pada indentation modulus dari penelitian komposit .....	19
Gambar 7. Efek penambahan CNT terhadap kekerasan .....	20
Gambar 8. (a) Hasil coran cetakan pasir (b) Hasil coran cetakan logam .....	21
Gambar 9. Grafik hasil pengujian kekerasan coran aluminium menggunakan cetakan logam dengan menggunakan metode brinell .....	22
Gambar 10. Grafik hasil pengujian kekerasan coran aluminium menggunakan cetakan pasir dengan menggunakan metode brinell .....	23
Gambar 11. Geometri Indentor.....	24
Gambar 12. Geometri indentor Vickers .....	25
Gambar 13. Jejak hasil penekanan indentor.....	25
Gambar 14. Indentor rockwell.....	26
Gambar 15. Contoh kurva uji tarik .....	27
Gambar 16. Skema peralatan yang digunakan dalam uji tarik .....	27
Gambar 17. Ilustrasi pengujian tarik.....	28
Gambar 18. (a) Mesin uji tarik, (b) plot pertambahan beban vs pertambahan panjang yang direkam oleh mesin uji tarik .....	28
Gambar 19. Spesimen Uji Tarik Bentuk Round Bar Berdasarkan ASTM E8 (ASTM) .....	29
Gambar 20. Spesifikasi dari pesimen Uji Tarik Bentuk Round Bar Berdasarkan ASTM e466 .....	29

Gambar 21. Keausan metode adhesive .....	30
Gambar 22. Mekanisme keausan: (a) Keausan abrasif: two body abrassion, (b) Keausan abrasif: three body abrassion.....	31
Gambar 23. Mekanisme alat uji keausan abrasif keterangan: P = Beban pengausan, V = Kecepatan perpindahan spesimen, N = Putaran disk .....	32
Gambar 24. Mekanisme keausan oksidasi .....	32
Gambar 25. Cetakan logam.....	34
Gambar 26. Pengaduk dan dapur peleburan.....	35
Gambar 27. Tachometer .....	35
Gambar 28. Timbangan Digital .....	36
Gambar 29. Gelas beaker dengan volume 50 MI .....	36
Gambar 30. Sarung tangan .....	36
Gambar 31. Jangka sorong .....	37
Gambar 32. Gergaji tangan .....	37
Gambar 33. Alat uji kekerasan .....	37
Gambar 34. Mikroskop optic LEXT OLYMPUS-OLS4100 .....	38
Gambar 35. Alat Uji Tarik .....	38
Gambar 36. Aluminium .....	39
Gambar 37. Carbon nanotube.....	39
Gambar 38. Gas argon .....	39
Gambar 39. Tabung gas LPG .....	40
Gambar 40. Serbuk Magnesium .....	40
Gambar 41. Flowchart penelitian .....	41
Gambar 42. a). Produk hasil coran spesimen uji kekerasan, keausan dan metalografi .....	47
Gambar 43. a). Spesimen uji kekerasan b). Titik pengujian kekerasan .....	49
Gambar 44. Nilai kekerasan aluminium komposit berpenguat CNT (1%) dengan variasi penambahan serbuk magnesium.....	50
Gambar 45. Standar spesimen uji Tarik ASTM e466.....	51
Gambar 46. Spesimen uji tarik .....	51
Gambar 47. Nilai uji tarik aluminium komposit berpenguat CNT (1%) dengan variasi penambahan serbuk magnesium.....	52

Gambar 48. Spesimen uji keausan.....	53
Gambar 49. Nilai laju keausan aluminium komposit berpenguat CNT (1%) dengan variasi penambahan serbuk magnesium.....	54
Gambar 50. Hasil uji struktur mikro (100 $\mu$ m) Al + 1% CNT (a) <i>raw material</i> Al 1100 (b) Al/CNT + 0%Mg (c) Al/CNT + 1%Mg (d) Al/CNT + 3%Mg.....	57

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Urutan penggunaan berbagai jenis logam.....	5
Tabel 2. Daftar seri paduan aluminium tempa .....	6
Tabel 3. Perbandingan sifat mekanik dari konsolidifikasi Al dan komposit Al/CNT 0,5 %wt.....	13
Tabel 4. Komposisi Aluminium 6061 berdasarkan fraksi berat (wt.%) .....	47
Tabel 5. Hasil uji komposisi material setelah variasi penambahan serbuk Magnesium .....	48
Tabel 6. Nilai kekerasan <i>hardness vickers</i> .....	49
Tabel 7. Nilai pengujian tarik ( <i>tensile test</i> ) .....	51
Tabel 8. Nilai pengujian keausan.....	54

## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
Al	Aluminium
Mg	Magnesium
CNT	<i>Carbon nanotube</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Material</i>
W	Laju keausan ( <i>Mg/s</i> )
HV	<i>Hardness Vickers</i>
Mpa	Megapascal
UTS	<i>Ultimate Tensile Strength</i>
gr	<i>Gram</i>
wt%	<i>Weight percent</i>
°C	Derajat Celsius
HF	Asam Fluorida
HCL	Asam Klorida
HNO <sub>3</sub>	Asam Nitrat

**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1	Tabel grafik pengujian Tarik .....	64
Lampiran 2	Dokumentasi kegiatan penelitian .....	68

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yesus Kristus, atas kasih dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“PENGECORAN ALUMINIUM KOMPOSIT BERPENGUAT *CARBON NANOTUBE* (CNT) DENGAN VARIASI PENAMBAHAN SERBUK MAGNESIUM (Mg)”** yang mana merupakan salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) bagi mahasiswa Program S1 di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Selama proses pengerjaan skripsi ini penulis menerima begitu banyak bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, ayahanda Yulianus Pakiding dan ibunda Ribka Sura', juga kepada saudari Priska Sura', Sri Melvi dan Vonicha yang selalu mendukung baik dengan materil juga dengan doa dan semangat.
2. Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST., MT selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Azwar Hayat, ST., M.Sc.,Ph.D selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membantu baik dalam penulisan maupun pemikiran pada skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT dan kepada Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST., MT selaku Ketua Departemen dan Sekertaris Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta staff dalam membantu administrasi dalam pengurusan tugas akhir ini.
4. Yth. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membimbing dan membagikan ilmu kepada penulis.
5. Kak Rudi, ST., MT yang membantu penulis dalam pengambilan data penelitian dan konsultasi langsung jika terdapat masalah di dalam Laboratorium Pengecoran saat penelitian berlangsung.
6. Teman-teman Teknik Mesin 2018 (REACTOR'18) seperjuangan kader dari maba botak-botak hingga melewati masa gondrong dan sekarang udah mahasiswa tingkat akhir, dimana telah memberi bantuan dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir penulis.

7. NIM D071201042 yang telah banyak membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, baik secara materi maupun pikiran sehingga membuat membangkitkan semangat penulis mengerjakan penelitian ini.
8. Teman-teman asisten dan mahasiswa S2 di Laboratorium Pengecoran yang telah banyak membantu dan mendukung penulis dalam penelitian ini.
9. Teman-teman LEVEL UP yang dengan lawakan, candaan yang selalu memberikan hati yang ceria hingga stress mengerjakan skripsi terobati
10. Teman-teman REVOLUTION yang selalu memberikan dukungan dan doa pada pengerjaan penelitian ini dan bahkan memberikan makanan saat perut keroncongan pada saat pengerjaan revisi.
11. Adik-adik dan teman-teman RUKIBERZ'09 yang dibanggakan selalu memberikan dukungan pada pengerjaan penelitian ini.
12. Master-master seperjuangan fitness di JAYA GYM GOWA yang memberikan dukungan serta support ketika saya mulai hilang semangat saat latihan dikarenakan waktu yang padat dan lelah saat begadang.
13. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

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

Gowa, 05 Juli 2023

Penulis

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Aluminium merupakan salah satu logam yang paling banyak kita jumpai dalam kehidupan kita sehari-hari. Bukan hanya karena memiliki harga yang murah namun juga karena logam aluminium memiliki massa yang ringan dan bahkan tahan korosi, memiliki kekuatan tahan aus, kekakuan dan stabilitas dimensi yang baik. Aluminium memiliki ketahanan korosi yang tinggi, karena logam ini sangat reaktif dan terbentuk lapisan oksida tipis pada permukaannya, salah satu keuntungan yang paling signifikan dari aluminium adalah penerapan ekstrusi berongga besar yang kaku secara internal dibandingkan dengan baja konvensional, jenis ini memungkinkan dibuat dengan bagian yang lebih kecil, mengurangi tingkat pengelasan yang diperlukan, dan secara signifikan lebih ringan, yang memiliki keuntungan lebih lanjut bahwa lapisan dapat dimanipulasi oleh satu pekerja, sehingga menghemat tenaga kerja. Namun walaupun demikian, aluminium pun memiliki kekurangan yaitu sifatnya yang lunak. Untuk itu, aluminium sering dipadukan dengan campuran logam penguat (Rochmad Eko Prasetyaning Utomo, 2016).

Dengan kekurangan yang dimiliki aluminium tersebut, berbagai upaya dilakukan oleh para peneliti untuk meningkatkan kekuatan aluminium, yaitu diantaranya memadukan dengan berbagai logam penguat, salah satunya *Carbon Nanotube* (CNT). Dari penelitian yang dilakukan oleh F. Rikhtegar, dkk (2017) mencoba menerapkan metode semi basah (SW) dan Slurry Based (SB) untuk mensintesis serbuk *Carbon Nanotube* (CNT) ke dalam aluminium dimana berhasil meningkatkan sifat mekanik aluminium sebanyak 18%. Selain itu, penelitian tentang aluminium komposit diperkuat CNT juga pernah dilakukan oleh Muh. Mansoor dan Muh. Shahid (2016), dengan menggunakan pendekatan metode peleburan induksi. Metode ini mampu meningkatkan kekuatan luluh secara simultan (~77%), kekuatan tarik (~52%), keuletan (~44%) dan kekerasan (~45%).

Perkembangan *Carbon Nanotube* (CNT) dalam beberapa tahun terakhir ini menjadi salah satu material nano yang banyak diteliti. Hal itu dikarenakan CNT memiliki struktur yang unik dan memungkinkannya memiliki daya regang dan stabil

jika dibandingkan struktur karbon lainnya serta memiliki kekuatan yang sangat luar biasa. Sehingga jika dipadukan bersama logam lainnya seperti aluminium, maka sifat mekanik aluminium akan meningkat secara signifikan. Namun dibalik kelebihan yang dimiliki oleh CNT, juga terdapat masalah mengenai sifat CNT yang cenderung menggumpal dan mengalami aglomerasi saat dipadukan bersama aluminium, sehingga dispersi serbuk CNT menjadi tidak merata dengan baik. Dalam hal ini, yang menjadi perhatian utama ialah masalah keterbasahan atau kemampuan basah (*wettability*) antara partikel yang diperkuat didalam matriks paduan. Oleh karena itu, H. Hanizam, dkk (2019) mencoba meneliti mengenai *wettability Carbon Nanotube* (CNT) dalam paduan aluminium dengan menambahkan surfaktan Magnesium murni. Hasilnya menunjukkan bahwa adanya tambahan magnesium ke dalam matriks paduan memiliki pengaruh yang positif terhadap kekuatan mekanik komposit. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Van Trinh Pham, dkk (2013) namun dengan metode metalurgy serbuk yaitu menyajikan pendekatan dalam pencampuran CNT secara merata dalam paduan aluminium komposit. Dalam penelitian ini, digunakan metode baru dengan bantuan pengikat poliester (PBA) dalam mencapai dispersi CNT yang seragam dan teknik Power Metalurgy (PM), hasilnya mampu mencapai dispersi CNT secara merata dan mengatasi penggumpalan serbuk CNT yang sering terjadi dalam pengecoran aluminium komposit. Tidak hanya itu, peneliti lainnya juga meneliti mengenai *Carbon Nanotube* (CNT) dalam paduan aluminium komposit seperti A.V. Alekseev, dkk (2018), serta Srinivasa R. Bakshi dan Arvind Agarwal (2011), dan masih banyak lagi penelitian mengenai Aluminium komposit dengan berbagai macam paduan logam berpenguat lainnya.

Berdasarkan uraian diatas dan literatur yang sudah di baca sebelumnya, penulis tertarik untuk melakukan penelitian serupa namun menggunakan metode pengecoran logam, yaitu dengan mencampurkan serbuk Magnesium+CNT sebelum dicampurkan kedalam aluminium cair dengan harapan paduan ini dapat terdispersi secara merata dan menjadi metode baru dalam pendistribusian CNT dalam paduan aluminium komposit. Untuk itu, penulis mengangkat judul **“Pengecoran Aluminium Komposit Berpenguat *Carbon Nanotube* (CNT) Dengan Variasi Penambahan Bubuk Magnesium (Mg)”**.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perubahan nilai kekerasan spesimen hasil pengecoran Al/CNT dengan variasi penambahan 1%, 3% dan 5% serbuk Magnesium.
2. Bagaimana perubahan nilai uji tarik (*tensile*) spesimen hasil pengecoran Al/CNT dengan variasi penambahan 1%, 3% dan 5% serbuk Magnesium.
3. Bagaimana perbandingan laju keausan pada setiap variasi penambahan serbuk Magnesium
4. Bagaimana pengaruh variasi penambahan serbuk Magnesium terhadap penyebaran CNT dalam Aluminium hasil uji mikro.

## 1.3 Tujuan penelitian

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

1. Menganalisa pengaruh variasi penambahan serbuk Magnesium terhadap nilai kekerasan dari hasil pengecoran Al/CNT
2. Menganalisa pengaruh variasi penambahan serbuk Magnesium terhadap nilai uji tarik hasil pengecoran Al/CNT
3. Menganalisa pengaruh variasi penambahan serbuk Magnesium terhadap laju keausan dari hasil pengecoran Al/CNT
4. Menganalisis struktur mikro spesimen hasil pengecoran Al/CNT dengan variasi penambahan serbuk magnesium.

## 1.4 Batasan masalah

Berikut batasan-batasan masalah dalam penyusunan tugas akhir ini:

1. Aluminium yang di pakai ialah aluminium 1100
2. Variasi penambahan bubuk magnesium 1%, 3% dan 5%
3. Konsentrasi 1% CNT
4. Menggunakan cetakan logam
5. Pengujian tarik menggunakan 3 spesimen untuk setiap variasi
6. Suhu cetakan 400°C
7. Suhu peleburan Aluminium 720°C

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui sifat mekanik dan kualitas bahan disetiap variasi
2. Mengembangkan metode baru dalam mensintesis logam aluminium komposit berpenguat CNT
3. Dapat diaplikasikan untuk praktikum sintesis logam dalam skala laboratorium.
4. Diharapkan dapat bermanfaat sebagai bahan kajian atau informasi bagi dunia kerja khususnya dalam mensintesis aluminium komposit berpenguat CNT
5. Sebagai bahan referensi untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

### **BAB I : Pendahuluan**

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

### **BAB II : Tinjauan Pustaka**

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

### **BAB III : Metode Penelitian**

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

### **BAB IV : Hasil dan Pembahasan**

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

### **BAB V : Penutup**

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

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Aluminium

Aluminium ditemukan pada tahun 1825 oleh Hans Christian Oersted. Baru diakui secara pasti oleh F. Wohler pada tahun 1827. Sumber unsur ini tidak terdapat bebas, bijih utamanya adalah Bauksit. Penggunaan aluminium antara lain untuk pembuatan kabel, kerangka kapal terbang, mobil dan berbagai produk peralatan rumah tangga. Senyawanya dapat digunakan sebagai obat, penjernih air, fotografi serta sebagai ramuan cat, bahan pewarna, ampelas dan permata sintesis.

Aluminium adalah logam yang memiliki kekuatan yang relatif rendah dan lunak. Aluminium merupakan logam yang ringan dan memiliki ketahanan korosi yang baik, hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat lainnya. Umumnya aluminium dicampur dengan logam lainnya sehingga membentuk aluminium paduan. Material ini dimanfaatkan bukan saja untuk peralatan rumah tangga, tetapi juga dipakai untuk keperluan industri, konstruksi, dan lain sebagainya (Surdia,1992).

Pada Tabel 1 Menunjukkan berbagai jenis unsur logam dan jumlah pada masing - masing unsur logam tersebut.

**Tabel 1.** Urutan penggunaan berbagai jenis logam

Unsur logam	Jumlah (ton)
Fe	700.000
Al	18.000
Cu	85.000
Zn	6.000
Pb	4.500
Ni	600
Sn	250
Mg	250
Ti	40
Plastik	65.000

Sumber: Sonawan dkk (2003)

Aluminium murni sangat lunak, kekuatan rendah dan tidak dapat digunakan pada berbagai keperluan. Dengan memadukan unsur-unsur lainnya, sifat murni aluminium dapat diperbaiki. Adanya penambahan unsur-unsur logam lain akan

mengakibatkan berkurangnya sifat tahan korosi dan berkurangnya keuletan dari aluminium tersebut. Dengan penambahan sedikit mangan, besi, timah putih dan tembaga sangat berpengaruh terhadap sifat tahan korosinya.

Aluminium merupakan bahan logam yang proses penambangan dan ekskresinya cukup sulit bila dibandingkan dengan besi. Hal ini menjadi salah satu penyebab mengapa besi jauh lebih banyak dipakai dibandingkan aluminium. Selama 50 tahun terakhir, Aluminium telah menjadi logam yang luas penggunaannya setelah baja. Perkembangan ini didasarkan pada sifatnya yang ringan, tahan korosi kekuatan dan Ductility yang cukup baik (Mirnawati Dewi, 2007).

### 2.1.1 Aluminium dan paduannya

Berdasarkan metode peleburannya, paduan aluminium dikelompokkan menjadi dua kelompok utama yaitu paduan tempa (*wrought*) dan paduan tuang (*casting*). Jenis paduan aluminium saat ini sangat banyak dan tidak menutup kemungkinan ditemukannya lagi jenis paduan aluminium baru, oleh karena itu dibuat sistem penamaan sesuai dengan komposisi dan karakteristik paduan aluminium tersebut untuk memudahkan pengklasifikasinya.

Paduan tempa yang dapat diperkuat lewat perlakuan panas adalah kelas 2xxx, 6xxx, 7xxx, dan beberapa jenis dari kelas 8xxx. Beberapa kombinasi penambahan unsur pepadu, mekanisme penguatannya, serta perkiraan nilai kekuatan yang dapat dicapai (Hatch, 1984).

**Tabel 2.** Daftar seri paduan aluminium tempa

<b>Paduan Tuang</b>	<b>Penandaan</b>
Aluminium (min.) 99.00%	1XX.X
Tembaga	2XX.X
Silikon, Tembaga dan Magnesium	3XX.X
Silikon	4XX.X
Magnesium	5XX.X
Seng	7XX.X
Timah Putih	8XX.X

Paduan aluminium dalam seri 6xxx (6061 dan 6063) mengandung silikon dan magnesium sekitar dalam proporsi yang diperlukan untuk pembentukan magnesium

silisida ( $Mg_2Si$ ), sehingga membuat paduan ini memiliki mampu perlakuan panas yang baik. Meskipun tidak sekuat pada paduan 2xxx dan 7xxx, paduan aluminium seri 6xxx memiliki sifat mampu bentuk yang baik, mampu las, mampu mesin, dan ketahanan korosi yang relatif baik dengan kekuatan sedang.

Untuk paduan aluminium seri 6xxx yang memiliki unsur paduan utama Al-Mg-Si, dalam sistem klasifikasi AA dapat diperoleh paduan Al 6063 dan Al 6061. Paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan–paduan lainnya, tetapi sangat liat, sangat baik mampu bentuknya untuk penempaan, ekstrusi dan sebagainya. Paduan 6063 dipergunakan untuk rangka–rangka konstruksi, maka selain dipergunakan untuk rangka konstruksi. Sedangkan paduan aluminium seri 6061 adalah salah satu jenis material yang banyak penerapannya pada industri maju karena memiliki keunggulan dari berbagai sisi yaitu seperti kemampuan permesinan yang baik, penyelesaian permukaan sempurna, kekuatan yang tinggi dan ringan, serta tahan terhadap korosi.

Aluminium telah digunakan secara luas untuk komponen yang membutuhkan bobot ringan dan ketahanan korosi baik, termasuk dalam komponen industri pesawat terbang. Aluminium telah menjadi material pilihan untuk industri pesawat terbang sejak 1930. Umumnya, industri pesawat terbang menggunakan Al seri 2xxx dan 7xxx sebagai material untuk komponen pesawat terbang (Subagyo, 2017).

### **2.1.2 Aluminium 1100**

Aluminium 1100 adalah paduan aluminium dengan komposisi yang memiliki tingkat kemurnian yang tinggi. Aluminium 1100 menjadi sebuah alternatif material untuk komponen pesawat terbang, dalam hal ini bagian yang cocok adalah skin pesawat terbang. Tetapi, kelemahan dari Al 1100 dibandingkan dengan Al seri 2xxx dan 7xxx adalah kekuatan yang jauh lebih rendah. Untuk itu, diperlukan prosedur untuk meningkatkan sifat mekanik Al 1100.

Al 1100 memiliki sifat mekanik yang unggul antara lain bobot ringan, mampu las baik, ketahanan korosi baik serta harga yang murah, tetapi memiliki kelemahan dalam hal kekuatannya. Untuk dapat memenuhi kriteria sebagai komponen pesawat terbang, Al 1100 harus ditingkatkan kekuatannya. Salah satu metode efektif untuk meningkatkan kekuatan adalah dengan canai dingin dan aging, sehingga memenuhi

kriteria sebagai komponen pesawat, dalam hal ini bagian yang cocok adalah skin sayap pesawat terbang. Al 1100 dilakukan proses canai dingin dengan reduksi 50%, 60%, dan 70% kemudian dilanjutkan dengan aging pada temperatur 2000C selama 1800, 3600, 5400, 7200 dan 10.800 detik. Sifat mekanik dan mikrostruktur setelah proses canai dingin dan aging dipelajari. Perubahan morfologi mikrostruktur terjadi pada Al 1100 dari mulai as-received, setelah proses canai dingin dan setelah aging. Aluminium 1100 setelah proses canai dingin menghasilkan elongated grains, semakin pipih pada reduksi tertinggi 70%, dan mikrostruktur berubah menjadi equiaxial setelah proses aging. Pengujian X- Ray Diffraction (XRD) menunjukkan peak fasa  $Mg_2Si$  dan  $Al_2FeSi$  pada Al 1100 hasil canai dingin dan aging. Fasa  $Mg_2Si$  dan  $Al_2FeSi$  merupakan fasa kedua (presipitat) pada Al 1100. Sifat mekanik diukur dengan uji kekerasan Brinell dan ketahanan aus. Kekerasan dan ketahanan ausnya meningkat. Nilai kekerasan tertinggi dicapai pada sampel dengan reduksi 70% dengan waktu aging 5400 detik yaitu sebesar 121 HBN dari nilai kekerasan as-received sebesar 65 HBN. Ketahanan aus meningkat dari semula  $6,209951 \times 10^{-6}$  mm<sup>3</sup>/mm pada kondisi as-received menjadi  $4,775436 \times 10^{-6}$  mm<sup>3</sup>/mm setelah aging. Peningkatan sifat mekanik ini disebabkan oleh strain hardening akibat proses canai dingin dan fasa kedua (presipitat) yang dihasilkan setelah aging. Di sisi lain, fasa kedua (presipitat) berperan sebagai penghalang pergerakan dislokasi, sehingga menyebabkan meningkatnya sifat mekanik (Mirnawati Dewi, 2016).

## 2.2 Carbon

Karbon, suatu unsur yang telah ditemukan sejak jaman pra-sejarah sangat banyak ditemukan di alam. Karbon juga banyak terkandung di matahari, bintang-bintang, komet dan amosfir kebanyakan planet. Karbon dalam bentuk berlian mikroskopik telah ditemukan di dalam beberapa meteor yang jatuh ke bumi. Berlian alami juga ditemukan di kimberlite pipa gunung berapi, di Afrika Selatan, Arkansas dan beberapa tempat lainnya. Berlian sekarang ini diambil dari dasar samudera di lepas pantai Cape of Good Hope. Sekitar 30% berlian industri yang dipakai di AS sekarang ini merupakan hasil sintesis.

Karbon merupakan zat yang telah ada semenjak proses terbentuknya bumi. Karbon terdapat pada semua benda mati dan makhluk hidup. Karbon terdapat di

udara dalam bentuk gas karbondioksida. Pada tumbuhan, karbon terdapat pada batang, daun, akar, buah, juga pada daun-daun kering yang telah berguguran. Sebagian karbon pada tumbuhan membentuk suatu zat yang disebut hidrat arang atau karbohidrat. Hidrat arang merupakan zat yang sangat dibutuhkan oleh manusia maupun hewan sebagai sumber tenaga dan pertumbuhan. Karbon dari tumbuhan berpindah ke tubuh manusia dan hewan ketika mereka memakannya. Maka karbon pun menyebar ke seluruh bagian tubuh menjadi bagian-bagian dari tulang, kuku, daging dan kulit. Karbon juga tersimpan dalam perut bumi sebagai batu kapur, grafit, intan, minyak bumi, gas alam, batu bara dan tanah gambut (Tugas Suprianto, dkk. 2012).

### **2.2.1 Macam-macam bentuk Carbon**

Karbon ditemukan di alam dalam tiga bentuk alotropik: amorphous, grafit dan berlian. Diperkirakan ada bentuk keempat. Ceraphite (serafit) merupakan bahan terlunak, sedangkan belian bahan yang terkeras. Grafit ditemukan dalam dua bentuk: alfa dan beta. Mereka memiliki sifat identik., kecuali struktur kristal mereka. Grafit alami dilaporkan mengandung sebanyak 30% bentuk beta, sedangkan bahan sintesis memiliki bentuk alfa. Bentuk alfa hexagonal dapat dikonversi ke beta melalui proses mekanikal, dan bentuk beta kembali menjadi bentuk alfa dengan cara memanaskannya pada suhu di atas 1000 derajat Celcius. Pada tahun 1969, ada bentuk alotropik baru karbon yang diproduksi pada saat sublimasi grafit pirolitik (pyrolytic graphite) pada tekanan rendah (Tugas Suprianto, dkk. 2012).

### **2.2.2 Kegunaan carbon**

Manfaat Kegunaan Senyawa karbon ada beberapa jenis molekul yang terbentuk hanya dari dari unsur karbon saja yakni :

- Grafit ini adalah bentuk senyawa karbon yang amorf dengan sifat kekerasan tergolong lunak Kegunaan : isi pencil, elektroda
- Intan ini adalah bentuk senyawa karbon yang kristalin dengan sifat kekerasan tergolong paling keras  
Kegunaan perhiasan batu mulia, alat pemotong kaca, alat pengebor
- Carbon nanotube

Kegunaan adsorben, molekul aktif untuk elektroda dan sensor

- Senyawa-senyawa fullerene (bucky ball)

Elemen bebas memiliki banyak kegunaan, termasuk tujuan dekorasi berlian dalam perhiasan atau pigmen hitam pada pelek mobil dan tinta printer. Bentuk karbon lain, grafit, digunakan untuk cawan lebur suhu tinggi, sel kering dan elektroda lengkung ringan, untuk tip pensil dan sebagai pelumas. Karbon vegetatif, bentuk amorf karbon, digunakan sebagai penyerap gas dan zat pemutih

Senyawa karbon memiliki banyak kegunaan. Karbon dioksida digunakan dalam minuman carbonation, dalam alat pemadam kebakaran dan, dalam keadaan padat, sebagai pendingin (es kering). Karbon monoksida digunakan sebagai zat reduksi dalam banyak proses metalurgi. Karbon tetraklorida dan disulfida karbon adalah pelarut industri yang penting. Freon digunakan dalam sistem pendingin. Kalsium karbida digunakan untuk menyiapkan asetilena; Ini digunakan untuk pengelasan dan pemotongan logam, serta untuk persiapan senyawa organik lainnya. Karbida metalik lainnya memiliki kegunaan penting sebagai penghambat panas dan pemotong logam. (Tugas Suprianto ,dkk., 2012).

### 2.3 CNT (*Carbon Nanotube*)

CNT (*Carbon Nanotube*) merupakan salah satu jenis karbon yang bentuk strukturnya berskala nanometer dan mempunyai karakteristik mekanik dan dielektrik yang baik. Sejak ditemukannya pada tahun 1991, *Carbon Nanotube* (CNT) telah menjadi 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.

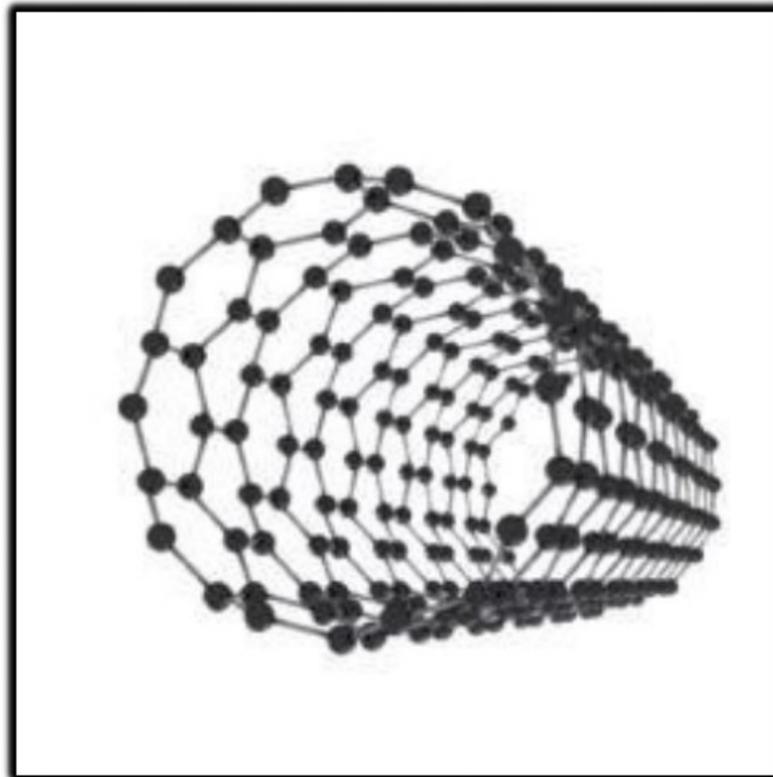
#### 2.3.1 Bentuk struktur CNT (*Carbon Nanotube*)

CNT adalah salah satu struktur carbon yang berbentuk seperti silinder engan diameter dalam orde nanometer. Salah satu keunikan dalam struktur ini adalah kelebihanannya dalam hal kekuatan, sifat keelektrikannya, dan juga sifat dalam penghantaran panas yang baik. Struktur ini memiliki bermacam bentuk turunan yang masing-masing memiliki sifatnya tersendiri. Keistimewaan *carbon nanotube* membuatnya menjadi harapan baru dalam perkembangan teknologi nano.

Berdasarkan jumlah dindingnya, CNT dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu *Single walled Carbon Nanotube* (SWNT) dan *Multiwalled Carbon Nanotube* (MWNT).

a. *Single walled Carbon Nanotube* (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.

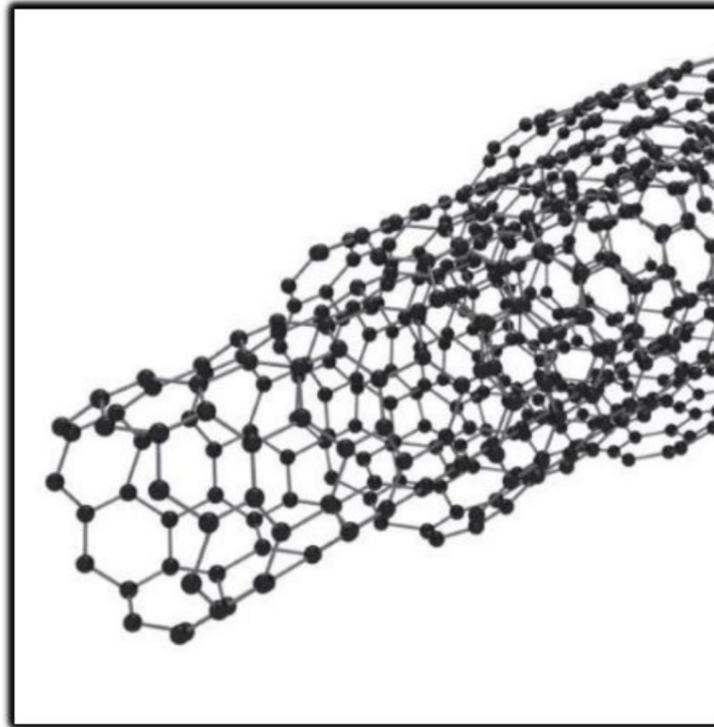


**Gambar 1.** Struktur SWNT

b. *Multiwalled Carbon Nanotube* (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 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.



**Gambar 2.** Struktur MWCNT

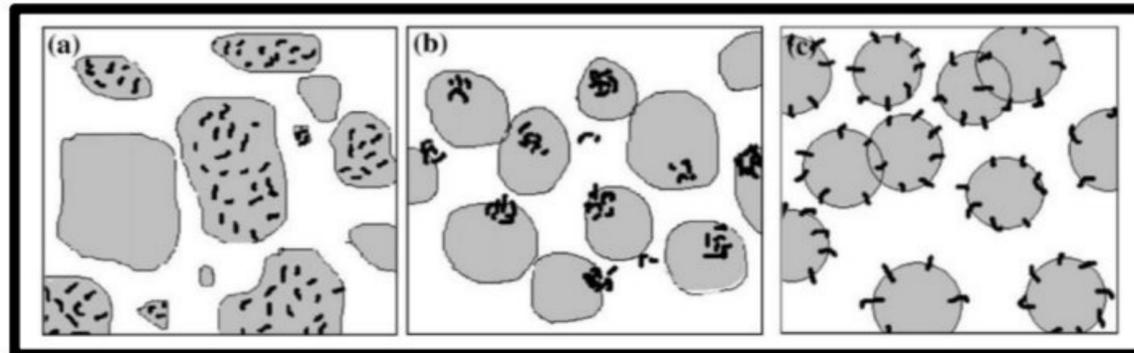
CNT merupakan turunan dari struktur carbon yang dideskripsikan sebagai lembaran grafit setebal 1 atom yang digulung menyerupai silinder dan memiliki diameter dengan orde nanometer. Lembaran ini memiliki struktur seperti sarang lebah (*honeycomb*) yang terdiri dari ikatan-ikatan atom carbon.

Struktur CNT yang unik memungkinkannya memiliki sifat kenyal, daya regang, dan stabil dibandingkan struktur carbon lainnya. Kelebihannya ini dapat dimanfaatkan dalam pengembangan struktur bangunan yang kuat, struktur kendaraan yang aman, dan lainnya. Hal ini dikarenakan CNT memiliki ikatan sp<sup>3</sup> menyerupai struktur di grafit. Ikatan ini lebih kuat dibandingkan dengan struktur ikatan sp<sup>2</sup> yang dimiliki oleh intan. Dengan demikian secara alami *carbon nanotube* akan membentuk ikatan yang sangat kuat (Tugas Suprianto, dkk. 2012).

### 2.3.2 Metode pencampuran CNT (*Carbon Nanotube*)

Terdapat tiga metode pencampuran yang berbeda, yaitu *high energy ball milling*, *low energy ball milling* dan dengan teknik pencampuran *Polyester Binder Assisted*

(PBA). *high energy ball milling*, CNT efektif tersebar meskipun kurang merata pada serbuk Al; dan pada *low energy ball milling*, CNT tersebar pada serbuk Al akan tetapi masih ada gumpalan; dan pada dengan teknik pencampuran *Polyester Binder Assisted* (PBA), CNT melapisi serbuk aluminium akan tetapi masih terdapat gumpalan.



**Gambar 3.** (A) High energy ball milling (B) Low energy ball milling (C) polyester binder assisted (PBA)

Sedangkan untuk perbandingan sifat mekanik dari teknik mixing yang berbeda didapatkan hasil sesuai Tabel 3.

**Tabel 3.** Perbandingan sifat mekanik dari konsolidifikasi Al dan komposit Al/CNT 0,5 % wt

	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 artikel 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. Kemajuan 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%.

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.

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.

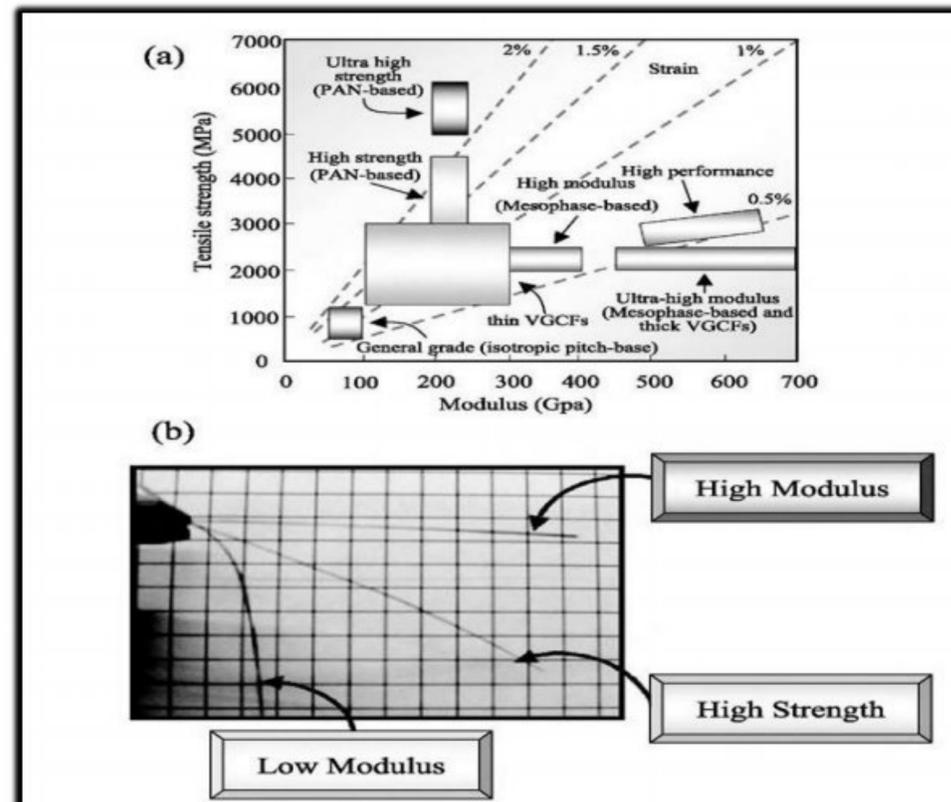
### 2.3.3 Kelebihan CNT (*Carbon Nanotube*)

#### a. Konduktivitas Listrik dan Panas

*Carbon nanotube* memiliki konduktivitas yang sangat tinggi. Diperkirakan pada saat *Carbon nanotube* bersifat sebagai konduktor maka ia mempunyai konduktivitas listrik sebesar 1 milyar Ampere per  $1 \text{ cm}^2$ . 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  $6000 \text{ W/m/K}$  di suhu ruangan (pada tembaga hanya  $385 \text{ W/m/K}$ ). Selain itu nanotube tetap stabil hingga suhu  $2800^\circ\text{C}$  di ruang hampa udara dan sekitar  $750^\circ\text{C}$  di udara bebas.

#### b. Kekuatan Mekanik

Nanotube memiliki modulus elastik dan sifat peregangan yang sangat baik. Sifat ini karena ikatan  $sp^2$  yang dimiliki oleh *carbon nanotube* ini. Pada gambar 2.10 nampak bahwa tipe MWNT dapat menangani hingga 63 GPa regangan yang diberikan padanya (pada baja karbon terbaik saat ini hanya mampu menahan peregangan hingga 1.2 GPa). Sedangkan modulus elastik yang dimiliki oleh *nanotube* dapat mencapai 1 TPa. Saat ini telah diketahui pula nanotube memiliki kekuatan hingga  $48462 \text{ kN.m/kg}$  (dibandingkan baja carbon terbaik hanya  $154 \text{ kN.m/kg}$ ).



**Gambar 4.** (a) Perbandingan sifat mekanik dari carbon dan grafit fiber (b) perbandingan langsung sifat mekanik untuk kekuatan tinggi dan serat modulus tinggi, modulus rendah (MD Resselhaus, 2003).

### c. Sifat Vibrasi

Atom memiliki pola getaran yang kontinue dan periodik. Pada MWNT, dimana beberapa nanotube saling terpola satu di dalam yang lain, memperlihatkan bahwa pada lapisan yang di dalam akan bergetar sedemikian hingga mendekati pola gerakan yang berputar sempurna tanpa adanya gesekan dengan lapisan di atasnya. Pendekatan ini kemudian dapat dikembangkan menjadi motor dalam skala nanometer. Pergetaran ini sangat ditentukan oleh diameter dari *Nanotube* (Mc Kelvey, 1986).

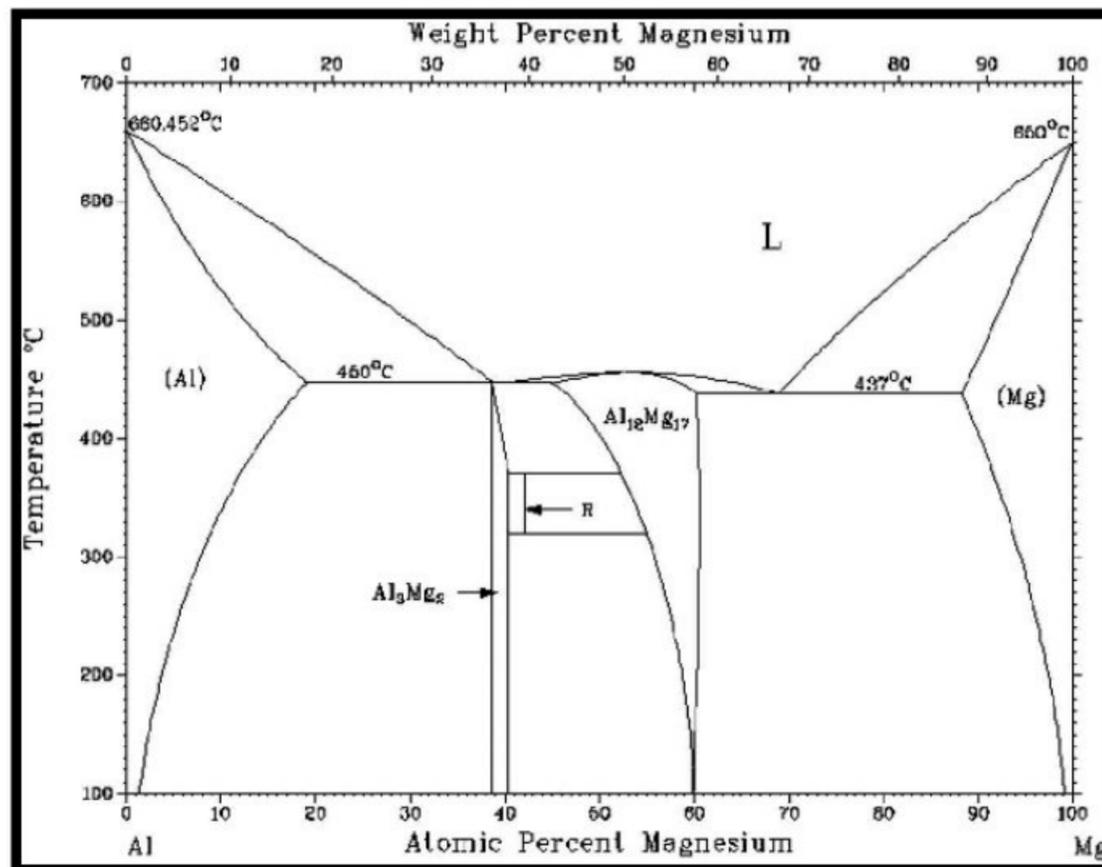
## 2.4 Magnesium (Mg)

Magnesium adalah logam yang kuat, putih keperakan, ringan (satu pertiga lebih ringan daripada aluminium) dan akan menjadi kusam jika dibiarkan pada udara. Dalam bentuk serbuk, logam ini sangat reaktif dan bisa terbakar dengan nyala putih apabila udaranya lembab. Apabila pita logam magnesium dibakar lalu direndam dalam air, maka akan tetap terbakar hingga pita magnesiumnya habis. Magnesium, ketika dibakar dalam udara, menghasilkan cahaya putih yang terang. Ini digunakan pada zaman awal fotografi sebagai sumber pencahayaan (serbuk kilat). Rapat massa magnesium adalah 1,738 gram/cm<sup>3</sup>. Massa atom relatifnya adalah 24, dan nomor

atomnya 12. Magnesium meleleh pada suhu  $111^{\circ}\text{C}$ . Rapat massa magnesium adalah  $1,738 \text{ gram/cm}^3$ . Magnesium murni memiliki kekuatan tarik sebesar  $110 \text{ N/mm}^2$  dalam bentuk hasil pengecoran (*Casting*).

Paduan magnesium khusus digunakan didalam pesawat terbang dan komponen rudal, peralatan penanganan material, perkakas listrik portabel, tangga, koper, sepeda, barang olahraga, dan komponen ringan umum. Paduan ini tersedia sebagai produk cor/tuang (seperti bingkai kamera) atau sebagai produk tempa (seperti konstruksi dan bentuk balok/batangan, benda tempa, dan gulungan dan lembar plat). Paduan magnesium juga digunakan dalam percetakan dan mesin tekstil untuk meminimalkan gaya inersia dalam komponen berkecepatan tinggi. Karena tidak cukup kuat dalam bentuk yang murni, magnesium dipadukan dengan berbagai elemen untuk mendapatkan sifat khusus tertentu, terutama kekuatan untuk rasio berat yang tinggi. Berbagai paduan magnesium memiliki pengecoran, pembentukan, dan karakteristik permesinan yang baik. Karena magnesium mengoksidasi dengan cepat (pyrophoric), ada resiko/bahaya kebakaran, dan tindakan pencegahan yang harus diambil ketika proses permesinan, grinding, atau pengecoran pasir magnesium. Meskipun demikian produk yang terbuat dari magnesium dan paduannya tidak menimbulkan bahaya kebakaran selama penggunaannya normal. Sifat-sifat mekanik magnesium terutama memiliki kekuatan tarik yang sangat rendah. Oleh karena itu magnesium murni tidak dibuat dalam teknik. Paduan magnesium memiliki sifat-sifat mekanik yang lebih baik serta banyak digunakan unsur-unsur paduan dasar magnesium adalah aluminium, seng dan mangan (Januar, Cakra 2017).

### 2.4.1 Fasa Al-Mg



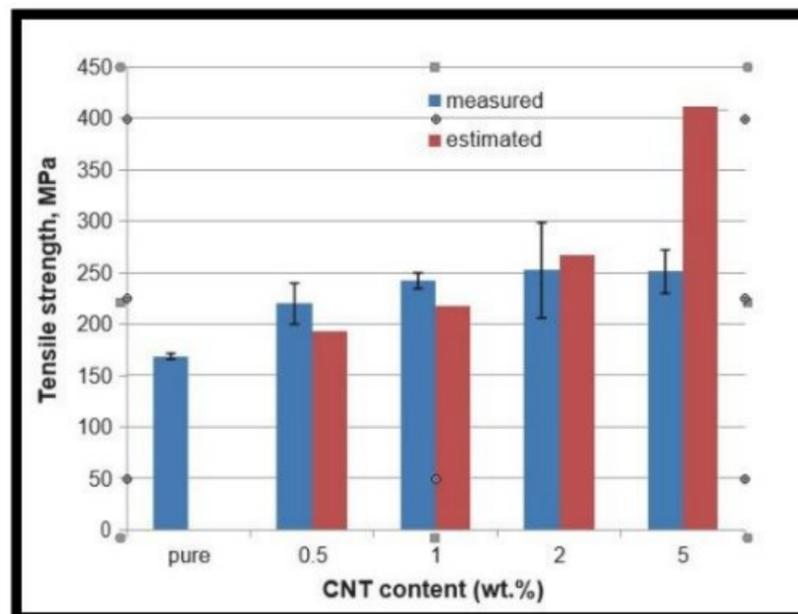
Gambar 5. Diagram Fasa Al-Mg

Paduan magnesium yang paling banyak digunakan didasarkan pada sistem Mg-Al. Aluminium memiliki keuntungan dikarenakan harganya yang relatif murah dan meningkatkan kekuatan serta kemampuan cor. Aluminium juga merupakan elemen dengan kepadatan rendah yang hanya menyebabkan peningkatan kecil pada kepadatan dari paduan magnesium. Diagram fase Al-Mg ditunjukkan pada Gambar diatas, dimana paduan komersial berada dalam kisaran 2-9 wt% Al. Di ujung bawah kisaran komposisi ini, pengecoran menjadi sulit, sementara di luar 9 wt% Al, paduan menjadi semakin rapuh karena fraksi yang tinggi  $\beta$ - $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$  fasa intermetalik. Ada lima fase padat kesetimbangan, yaitu larutan padat fcc ( $\alpha$ -Al), larutan padat hcp ( $\alpha$ -Mg), senyawa  $\beta$  dari perkiraan stoikiometri  $\text{Al}_3\text{Mg}_2$ , senyawa  $\gamma$  senyawa stoikiometri  $\text{Al}_{12}\text{Mg}_{17}$ , dan garis senyawa R. Oleh karena itu, ketika mendinginkan secara perlahan dari lelehan  $\text{Al}_{90}\text{Mg}_{10}$ , Al dipisahkan terlebih dahulu dari cairan pada suhu 620°C, kemudian semua lelehan berubah menjadi padatan utuh pada suhu 520°C. Dengan selanjutnya penurunan suhu, larutan padat  $\alpha$ -Al jenuh mudah diperoleh, dan dekomposisi dilanjutkan dengan pembentukan zona GP bulat. Sebuah mekanisme pengaturan spinodal yang mungkin telah diusulkan untuk transformasi tersebut. Dekomposisi lanjutan dari larutan jenuh terjadi dengan

pembentukan fase tak setimbang yang dilambangkan dengan  $\beta'$  dan larutan padat dengan kandungan Mg yang lebih sedikit dari kesetimbangan, dan kemudian pembentukan fasa kesetimbangan  $\beta$ . Sebagai untuk paduan  $\text{Al}_{80}\text{Mg}_{20}$  dan  $\text{Al}_{70}\text{Mg}_{30}$ , setelah pengendapan  $\alpha$ -Al dan fase eutektik ( $\alpha + \beta$ ), itu berubah menjadi fase hipoeutektik ( $\alpha + \beta$ ) di bawah  $450^\circ\text{C}$ . Seharusnya ada fasa  $\beta$  murni dalam  $\text{Al}_{60}\text{Mg}_{40}$ , bagaimanapun, sebenarnya adalah fase hipereutektik ( $\alpha + \beta$ ) atau fase hipoeutektik ( $\beta + \gamma$ ) karena karena adanya minizone dari fasa  $\beta$  murni dan pegangan komposisi Mg yang tidak terkendali. Sementara ada fasa hipereutektik ( $\beta + \gamma$ ) pada paduan  $\text{Al}_{50}\text{Mg}_{50}$  di bawah  $320^\circ\text{C}$ .

## 2.5 Pengecoran Aluminium berpenguat CNT

Pengecoran Aluminium komposit yang diperkuat CNT dapat dilihat dalam jurnal yang ditulis oleh Esawi A.M.K dkk (2010) yang menyajikan tentang komposit matriks aluminium yang diperkuat CNT menghasilkan komposit dengan persen berat CNT yang semakin banyak menunjukkan peningkatan kekuatan tariknya.

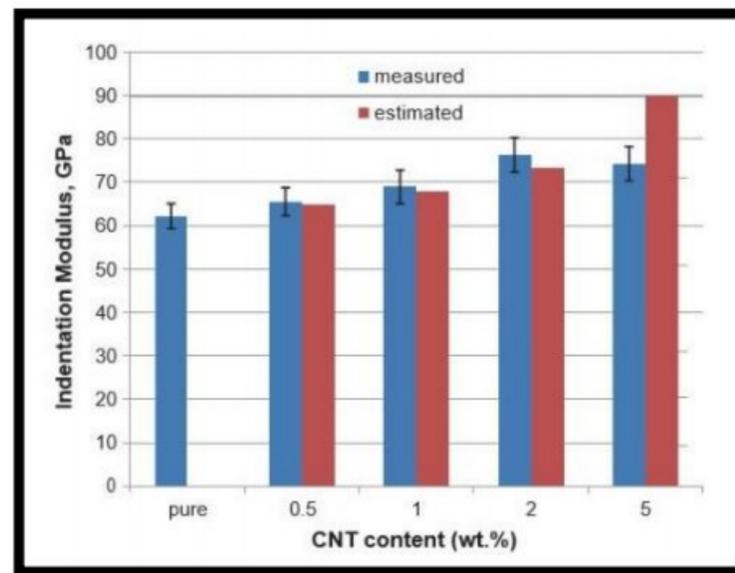


**Gambar 6.** Efek dari kandungan cnt pada pengujian kekuatan tarik dari penelitian komposit

Sumber: Esawi (2010)

Dari gambar 5 diatas dapat dilihat pada pengukuran Young modulus dengan peningkatan maksimum (+23%), pada sampel 2%wt CNT. Tidak seperti pada kekuatan tarik, pada Young modulus terjadi penurunan sedikit sebesar 5%, akan tetapi masih melampaui kekakuan aluminium murni 20%. 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.



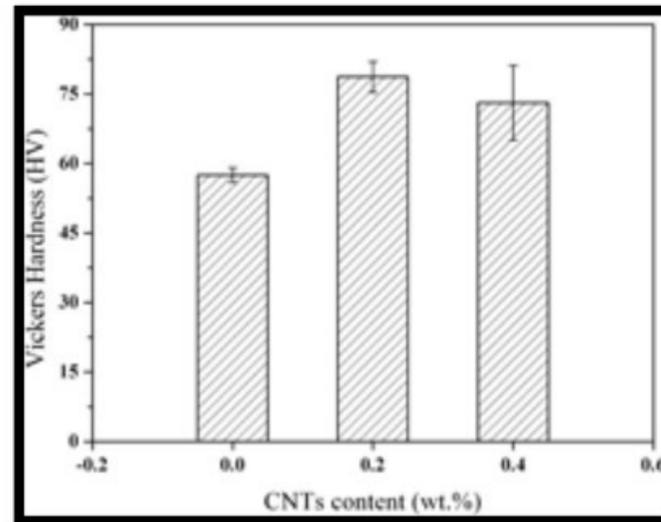
**Gambar 7.** Efek dari kandungan cnt pada indentation modulus dari penelitian komposit  
 Sumber: Esawi (2010)

Dari kutipan jurnal tersebut dapat 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).

Komposit aluminium yang diperkuat *Carbon Nanotube* (CNT) dapat diproduksi dengan menggunakan metode peleburan induksi (*Induction Melting*). Studi SEM dan TEM menguraikan distribusi nanotube yang homogen dan tidak ditemukan adanya pemisahan, yang kemudian didukung dengan peningkatan kekuatan, kekerasan dan keuletan secara bersamaan. Peningkatan kekuatan dan keuletan secara bersamaan dapat terjadi dikaitkan dengan aktivasi lebih banyak sistem selipan karena kehadiran CNT. Oleh karena itu, peleburan induksi tetap kuat menjanjikan pada pembuatan komposit Al/CNT, khususnya karena kemampuan peningkatannya (Muh. Mansoor & Muh. Shahid, 2016).

Penelitian mengenai *Aluminium Matrix Composite* dengan menggunakan metode *Friction Stir Processing*. Dimana pembentukan Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> terbukti meningkatkan kemampuan basah (*wettability*) dari CNT selama peleburan Aluminium berlangsung. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa CNT (<0,4% wt) terdistribusi dengan baik dalam nanokomposit CNTs/A356 dan menyempurnakan struktur mikro paduan A356. Sehingga sifat mekanik dari nanokomposit CNTs/A356 pun mengalami peningkatan dengan penambahan CNT (Hong Yan dan

Hongxu Qiu, 2016).



**Gambar 8.** Efek penambahan CNT terhadap kekerasan

Penelitian mengenai komposit Al-CNT juga telah dilakukan oleh Alif Maulana (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. Dari penelitian yang dilakukan Evan Wahyu Kristiyanto (2019), aluminium dengan penambahan CNT merupakan fokus pada penelitian ini, dengan tujuan meningkatkan kekuatan fatik dari Al6061. Pada penelitian ini menggabungkan antara matriks dan CNT menggunakan metode *stir casting* (350 rpm, temperatur penuangan 750°C). Dalam hal ini, Al 6061 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.

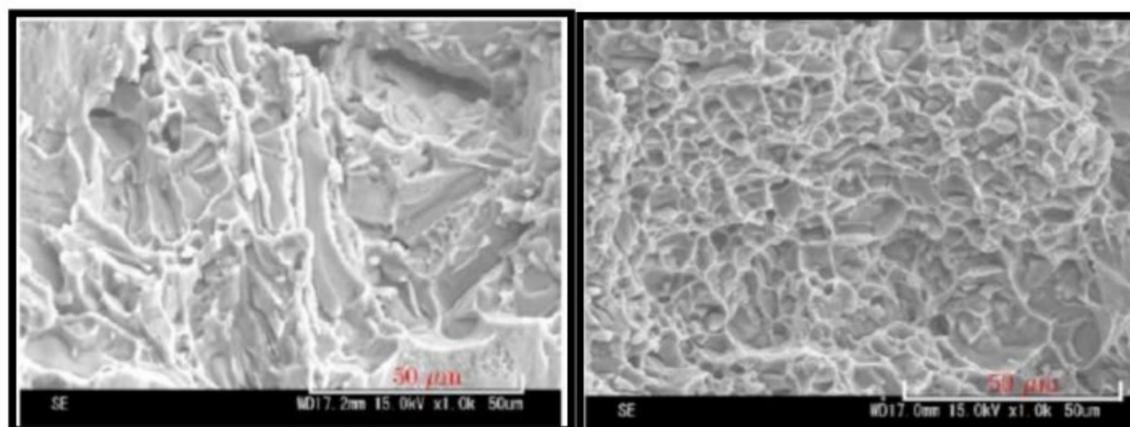
Pengaruh kandungan *Carbon Nanotube* (CNT) terhadap sifat mekanik dari aluminium komposit pernah diteliti oleh A.V. Alekseev, dkk (2018). Material komposit tersebut dibuat dengan cara *Sand Casting*, yaitu *Carbon Nanotube* (CNT) ditambahkan kedalam lelehan aluminium dalam bentuk bubuk yang sebelumnya diproduksi menggunakan *AGO2S Planetary Ball Mill*. Metode ini menunjukkan bahwa penambahan CNT dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan luluh paduan aluminium komposit masing-masing sebesar 9% dan 32%. Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi penguatan aluminium komposit berpenguat *Carbon Nanotube* yang diteliti oleh Srinivasa R. Bakshi dan Arvind Agarwal (2011)

menunjukkan bahwa penguatan CNT tertinggi berada kurang dari 2%wt penambahan CNT.

### 2.5.1 Cetakan logam dan cetakan pasir

Bahan cetakan bervariasi. Beberapa diantaranya dibuat dari bahan pasir, semen, keramik, dan logam. Masing-masing bahan cetakan ini akan memberikan pengaruh terhadap kualitas logam cair. Kualitas ini terutama mengenai sifat mekanik dan cacat yang terbentuk selama proses penuangan dan pembekuan. Hal ini berpengaruh sangat penting terutama pada komponen-komponen mesin yang bergerak dan memerlukan keamanan yang tinggi.

Cetakan logam dan cetakan pasir sering digunakan karena untuk mengontrol kecepatan pembekuan logam cair. Pada cetakan logam, proses pembekuan berlangsung cepat sehingga meningkatkan kekuatan dan kekerasan logam. Sedangkan pada cetakan pasir, proses pembekuan lebih lambat, sehingga meningkatkan keuletan logam. Kecepatan pembekuan ini amat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan besar butir. Pada Gambar 8 ditunjukkan perbedaan besar butir dan yang mengalami patah transgranular aluminium coran yang dicetak dengan menggunakan cetakan pasir dan cetakan logam.



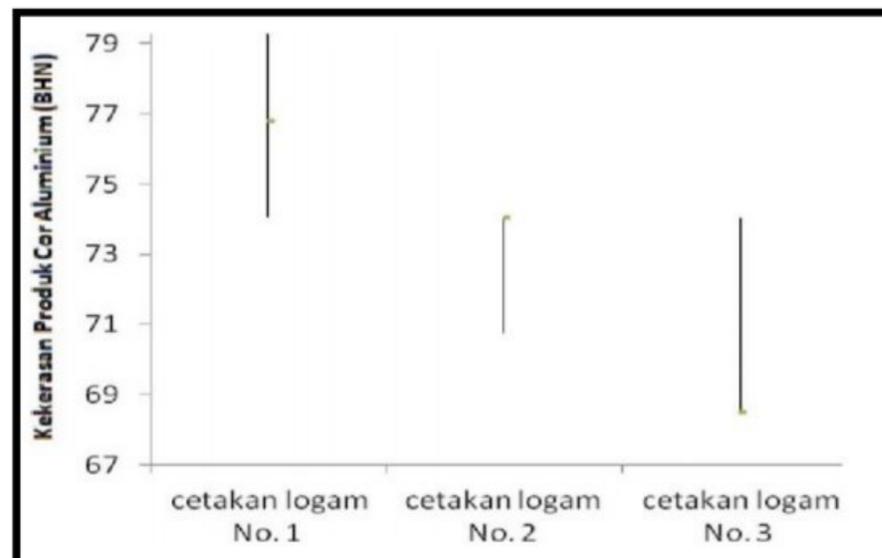
**Gambar 9.** (a) Hasil coran cetakan pasir (b) Hasil coran cetakan logam

Gambar 9 permukaan patahan aluminium coran yang dikenai kombinasi tegangan tarik dan tegangan geser pada spesimen *butterfly* pada sudut  $\alpha+20^\circ$ . Hasil menunjukkan bahwa kekerasan dan porositas produk cor yang menggunakan cetakan pasir dan cetakan logam bervariasi. Porositas ini terjadi karena pengaruh proses penuangan dan jenis cetakan yang digunakan. Porositas ini berasal dari gelembung-gelembung gas yang larut dan terperangkap selama proses pencairan dan penuangan. Bagian permukaan aluminium cair akan mereduksi uap air yang terdapat dalam

atmosfir (Diah Kusuma Pratiwi, 2012).

### 2.5.2 Kekerasan produk cor aluminium

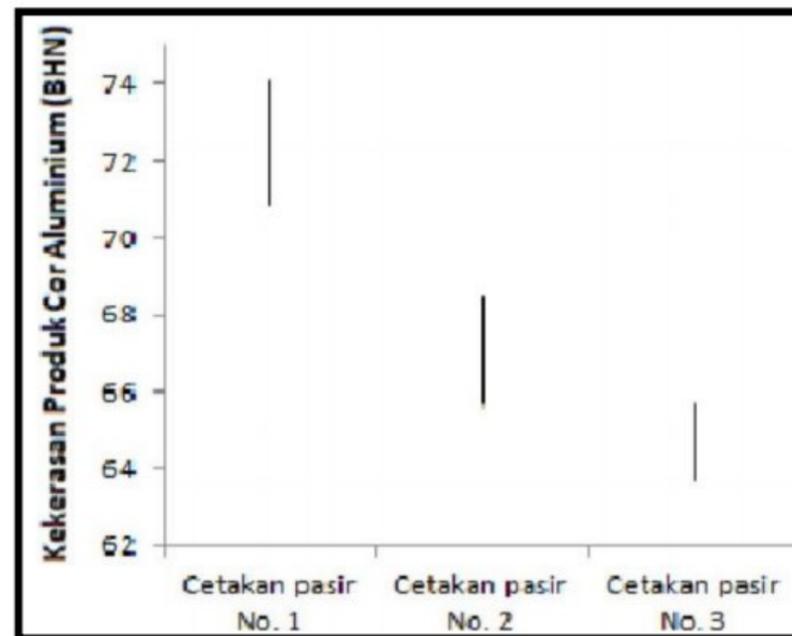
Pengujian kekerasan untuk produk cor aluminium yang menggunakan cetakan logam menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran cetakan kekerasan semakin tinggi. Grafik hasil pengujian kekerasan ini di tujukkan pada gambar 2.9 berikut ini.



**Gambar 10.** Grafik hasil pengujian kekerasan coran aluminium menggunakan cetakan logam dengan menggunakan metode brinell  
*Sumber: Diah Kusuma Pratiwi (2012)*

Semakin besar ukuran spesimen, kekerasan menurun. Hal ini berhubungan dengan besar butir. Pada spesimen yang lebih kecil proses pembekuan berlangsung cepat, sehingga pembesaran butir sangat lambat. Sedangkan pada spesimen yang lebih besar mengalami pembesaran butir yang cepat, sehingga ukuran butir menjadi lebih besar. Pada butir yang berukuran kecil, luas permukaan yang menghalangi deformasi plastis akibat gaya dari luar lebih besar. Sehingga kekerasan menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan butir yang masih sempat tumbuh pada spesimen nomor 2 dan nomor 3 yang lebih besar. Kekerasan produk cor aluminium yang menggunakan cetakan logam berkisar antara 79,61–68,49 BHN.

Grafik hasil uji keras pada produk cor aluminium yang menggunakan cetakan pasir menunjukkan bahwa angka kekerasan yang paling tinggi adalah 74,67 BHN dan yang paling rendah adalah 63,69 BHN. Hal ini disebabkan karena konduktivitas panas pasir yang hanya 1,93–2,90 W/m.K menyebabkan proses pembekuan lebih lambat dibandingkan dengan cetakan baja yang mempunyai konduktivitas panas 36–55W/m.K. Selain itu, semakin besar ukuran cetakan maka proses perpindahan kalor selama pembekuan menjadi lebih lambat lagi. Sehingga semakin besar ukuran



**Gambar 11.** Grafik hasil pengujian kekerasan coran aluminium menggu cetakan pasir dengan menggunakan metode brinell

*Sumber: Diah Kusuma Pratiwi (2012)*

spesimen, kekerasan semakin menurun. Hal ini ditunjukkan pada gambar 10 berikut ini.

Pada penelitian ini kami akan menggunakan cetakan logam karena mengacu pada uraian di atas dan penelitian yang telah ada sebelumnya.

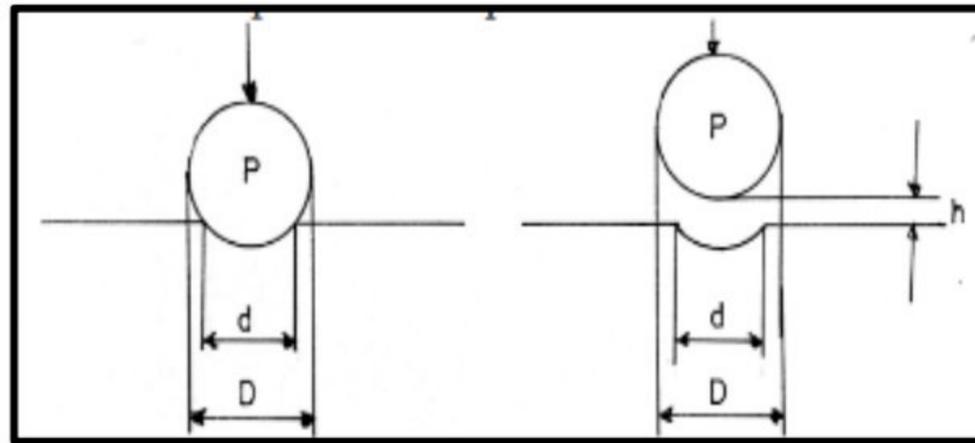
## 2.6 Uji Mekanik (*Mechanical Test*)

### 2.6.1 Pengujian kekerasan atau *hardness test*

Pengujian kekerasan adalah jenis pengujian mekanik yang penting untuk logam *ferrous* dan *non ferrous*. Tujuan pengujian kekerasan adalah untuk mengetahui ketahanan dari deformasi plastis, bila diberikan beban/gaya dari luar. Prinsip pengujian kekerasan terhadap spesimen uji yang permukaannya telah dipreparasi dilakukan penekanan dengan indentor. Beban yang digunakan untuk setiap jenis logam adalah berbeda, tergantung terhadap metode pengujian dan pengukuran yang digunakan. Ada tiga metode pengujian yang paling sering digunakan untuk logam yaitu, Metode *Brinell*, Metode *Vickers* dan Metode *Rockwell*.

#### a. Metode *Brinell*

Pengujian dengan metode ini dilakukan dengan indentor yang berbentuk bola dengan beban dan waktu tertentu, seperti terlihat pada Gambar 2.21. Harga kekerasan diperoleh dari persamaan berikut ini :



Gambar 12. Geometri Indentor

$$H = \frac{2P}{[\pi D(-\sqrt{D^2 - d^2})]} = \frac{P}{D \cdot h} \dots \dots \dots (1)$$

dengan:

P= Beban bola penekanan yang diberikan (Kgf),

D= Diameter bola penekanan (mm),

d= Diameter jejak (mm).

Pemilihan diameter bola dan besar beban tergantung pada jenis logam serta ketebalannya. Perubahan indentor akan diikuti dengan perubahan beban akan didapatkan Hb yang sama.

$$\frac{P_1}{D_1^2} = \frac{P_2}{D_2^2} = \frac{P_3}{D_3^2} \dots \dots \dots (2)$$

Jika D terlalu besar dan P terlalu kecil, maka bekas lekukan akan terlalu kecil sehingga sukar diukur dan akan memberi informasi yang keliru. Jika D terlalu kecil dan P terlalu besar dapat berakibat amblasnya bola, sehingga memberikan harga kekerasan yang keliru.

Beberapa parameter penting yang mempengaruhi harga kekerasan *Brinell*:

- 1) Kekerasan permukaan.
- 2) Posisi spesimen saat pengujian.
- 3) Kebersihan permukaan spesimen.

b. Metode *Vickers*

Pengujian dengan metode ini prosesnya sama dengan metode *Brinell* yang berbeda hanya pada bentuk indentor yaitu berbentuk piramida bujur sangkar dengan sudut puncak 136 derajat terbuat dari intan, seperti terlihat pada

Gambar 2.9

Harga kekerasan *Vickers* diperoleh dengan rumus:

$$H_v = \frac{2P \sin\left(\frac{O}{2}\right)}{L^2} = \frac{1,854 \cdot P}{L^2} \dots \dots \dots (3)$$

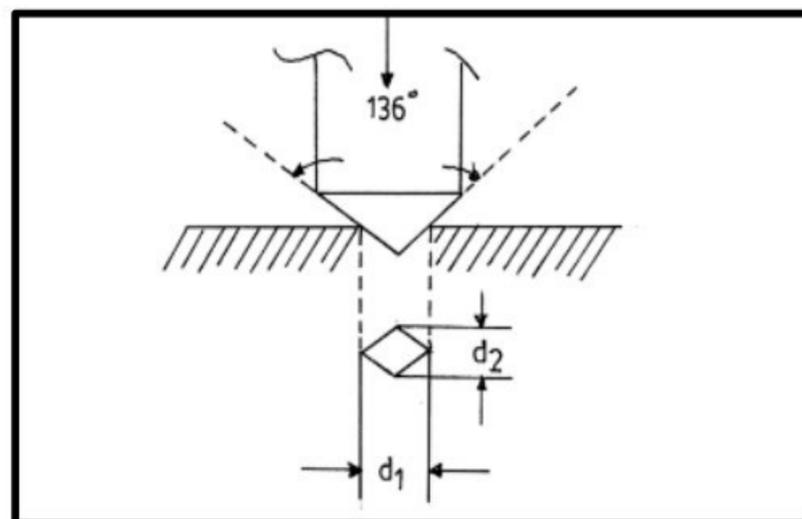
dengan :

P = Beban yang diberikan (kg),

L = Diagonal rata-rata (mm) =  $(d_1 + d_2)/2$ ,

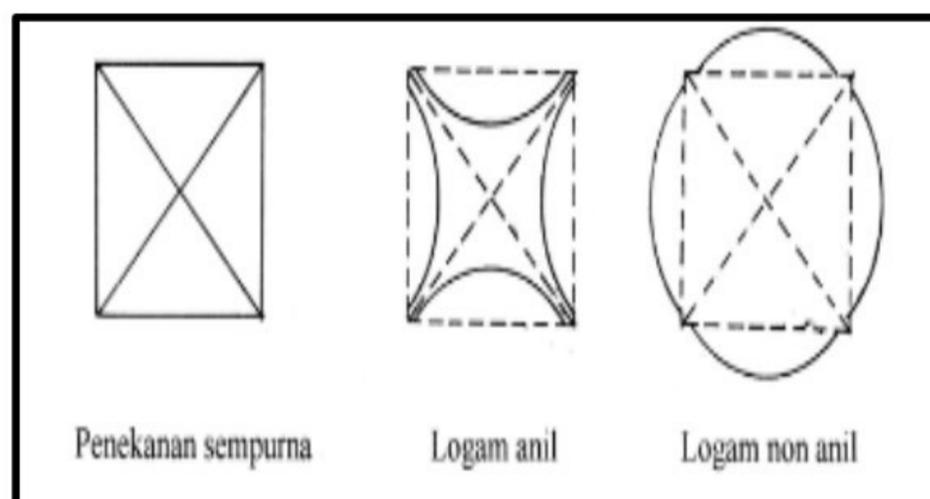
O = Sudut puncak 136 .

Uji kekerasan *Vickers* mempunyai kelebihan dalam jangkauan pemeriksaan yang luas dengan pemakaiannya beban tunggal (HV5–HV1500). Beban yang dipakai biasanya antara 1 (satu)–120 kg.



**Gambar 13.** Geometri indentor Vickers

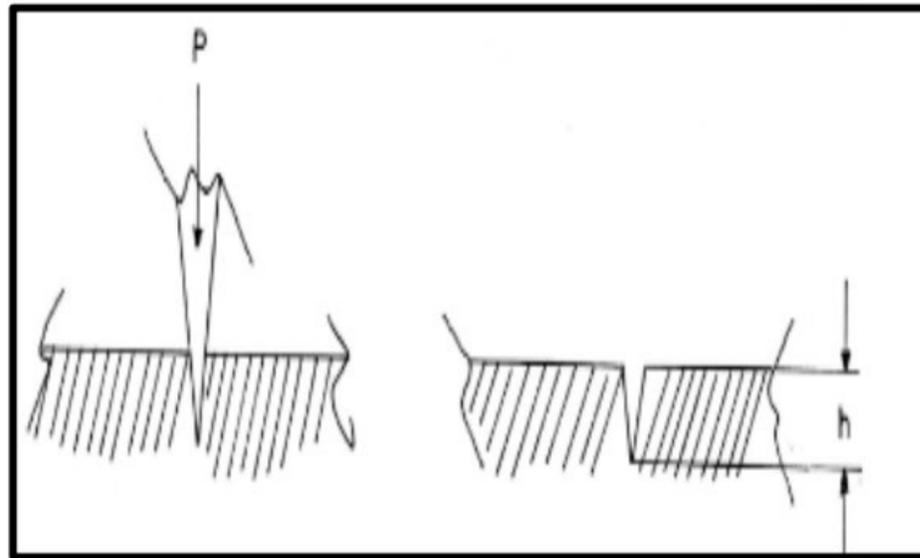
Hasil penekanan akan berbentuk bujur sangkar dengan diagonal yang akan diukur dengan mikroskop, seperti dalam Gambar 2.13.



**Gambar 14.** Jejak hasil penekanan indentor

### c. Metode *Rockwell*

Pada metode ini digunakan identor intan yang berbentuk kerucut, seperti terlihat pada Gambar 2.14. Kerucut akan menekan permukaan logam sedalam “h” dari permukaan. Jarak “h” menentukan kekerasan dari logam uji.



**Gambar 15.** Identor rockwell

Harga kekerasan diperoleh dari pembacaan langsung pada skala alat pengujian *Rockwell* antara lain:

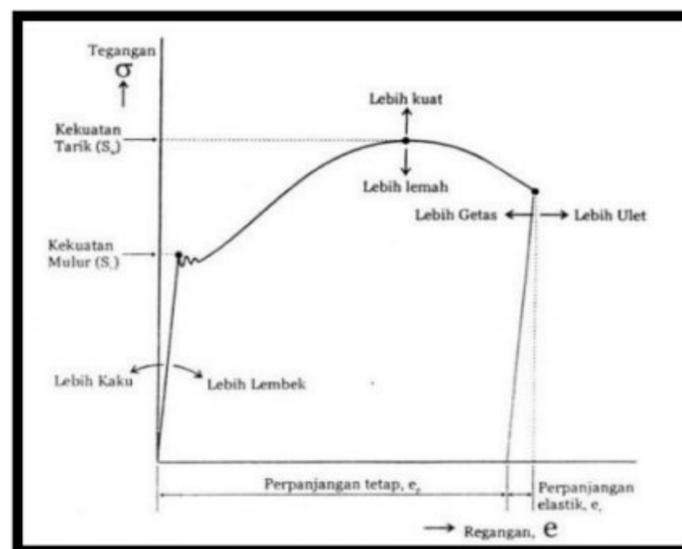
- a. Metode *Rockwell C* (HRC), menggunakan identor kerucut intan sudut 120 dengan diameter ujung 0,2 mm. Beban yang dipakai 150 kg dengan pre-load 10 kg. Pengujian untuk *steel* dan *hardened steel* dengan  $h > (0,6-0,7)$  mm.
- b. Metode *Rockwell A* (HRA), Menggunakan identor sama dengan *Rockwell C* dan beban yang sama pula 150 kg. pengujian untuk material  $h < (0,4-6)$  mm.
- c. Metode *Rockwell B* (HRB), Menggunakan identor baja bentuk bola dengan diameter 1/16” dan beban 100 kg dipakai untuk material *unhardened steel* dan *non ferrous*.

### 2.6.2 Uji tarik (*tensile test*)

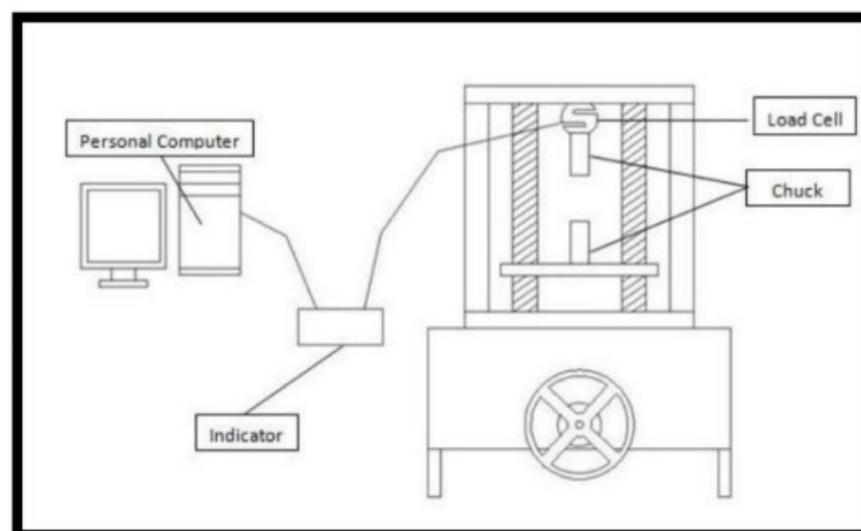
Pengujian tarik merupakan salah satu pengujian material yang paling banyak dilakukan di dunia industri. Karena pengujian ini terbilang yang paling mudah dan banyak data yang bias diambil dari pengujian ini. Diantaranya yang bisa didapat dari pengujian tarik ini adalah Kekuatan tarik (*Ultimate Tensile Strenght*), Kekuatan mulur (*Yield Strenght or Yield Point*), Elongasi (*Elongation*), Elastisitas (*Elasticity*) dan Pengurangan luas penampang (*Reduction of Area*). Seiring dengan

berkembangnya teknologi, maka pada saat ini mesin uji tarik dilengkapi dengan perangkat-perangkat elektronik untuk memudahkan dalam menganalisa data yang diperoleh. Load Cell merupakan salah satu perangkat elektronik yang digunakan sebagai perangkat tambahan pada mesin uji tarik. Load Cell menggunakan system perangkat pengolahan data. Karena bagaimanapun juga faktor manusia sangat dominan untuk memperoleh hasil dari pengujian ini.

Kekuatan material biasa diperoleh dari sebuah pengujian yang dikenal dengan nama uji tarik. Dari pengujian itu selain diperoleh spesimen kerja yang putus karena proses penarikan, juga dihasilkan sebuah kurva uji tarik. Kurva ini merupakan gambaran dari proses pembebanan pada spesimen kerja mulai dari awal penarikan hingga spesimen kerja itu putus.



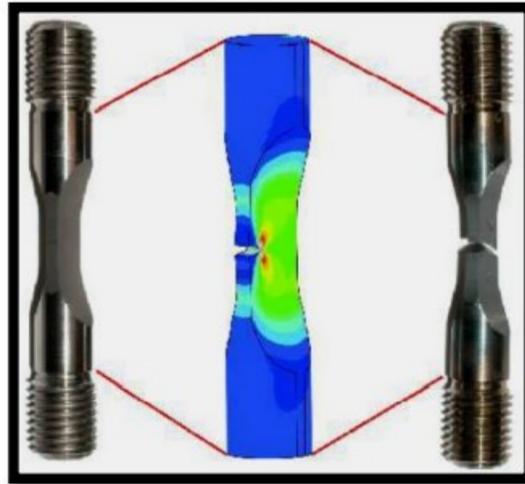
**Gambar 16.** Contoh kurva uji tarik



**Gambar 17.** Skema peralatan yang digunakan dalam uji tarik

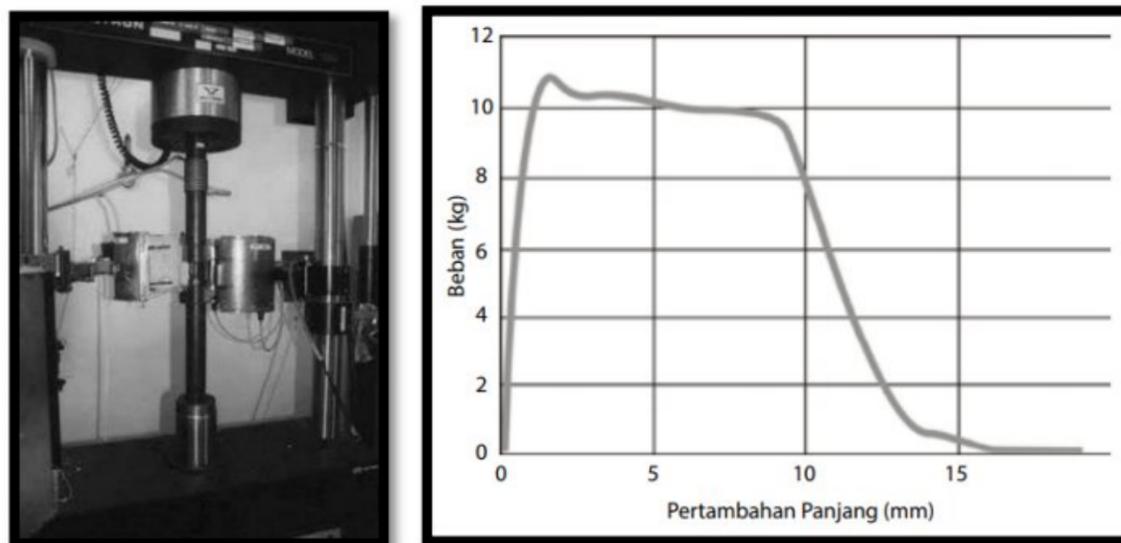
Dari gambar 17 dapat dilihat beberapa komponen utama yang terdapat pada mesin uji tarik. Komponen utama tersebut terdiri dari alat pencatat gaya (load cell), alat pencatat pertambahan panjang spesimen (extensometer), batang penarik

(moving crosshead), dan spesimen. Load cell digunakan untuk mencatat besarnya pembebanan ( $F$ ) yang dialami oleh spesimen, sedangkan extensometer digunakan untuk mencatat besarnya pertambahan panjang ( $\Delta L$ ) yang terjadi pada spesimen. Hubungan antara gaya ( $F$ ) terhadap pertambahan panjang ( $\Delta L$ ) inilah yang nantinya akan dikonversikan ke dalam kurva tegangan ( $\sigma$ ) terhadap regangan teknik ( $\epsilon$ ) (Haris Budiman, 2016).



**Gambar 18.** Ilustrasi pengujian tarik  
*Sumber: Hendri nurdin (2019)*

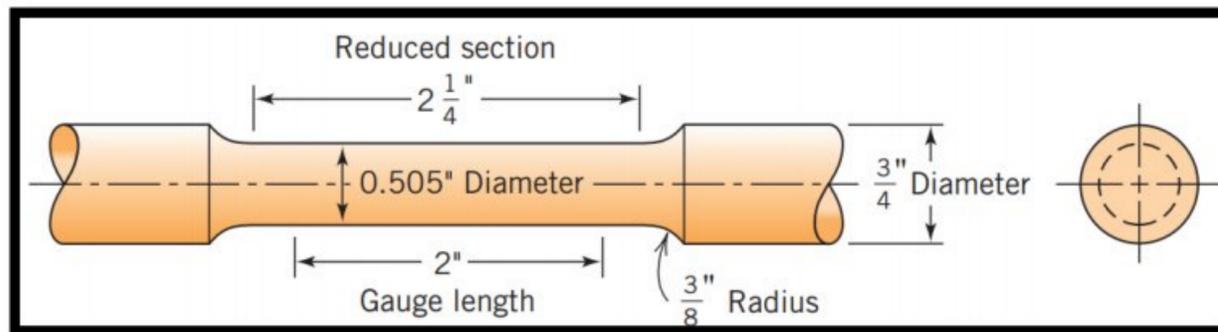
Cara umum untuk mengetahui sifat mekanik dari material adalah dengan melakukan pengujian tarik, menggunakan bentuk spesimen seperti tulang (lihat Gambar 18) dengan ukuran sesuai standar (ASTM, JIS, BS, dan lain-lain). Spesimen kemudian dipasang dalam mesin uji tarik (lihat Gambar 18a dan diberi beban statik yang meningkat secara perlahan sampai spesimen akhirnya patah. Selama pembebanan, mesin merekam pertambahan beban dan perpanjangan spesimen dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 18b (Bondan Tiara Sofian, 2021).



**Gambar 19.** (a) Mesin uji tarik, (b) plot pertambahan beban vs pertambahan panjang yang direkam oleh mesin uji tarik

Sumber: Bondan Tiara Sofyan (2021)

Uji tarik banyak digunakan untuk mengukur kekakuan, kekuatan dan keuletan suatu bahan.



Gambar 20. Spesimen Uji Tarik Bentuk Round Bar Berdasarkan ASTM E8 (ASTM)

Dimensions, mm [in.]					
For Test Specimens with Gauge Length Four times the Diameter [E8]					
	Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard			
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gauge length	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	36.0 ± 0.1 [1.400 ± 0.005]	24.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.005]	16.0 ± 0.1 [0.640 ± 0.005]	10.0 ± 0.1 [0.450 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	9.0 ± 0.1 [0.350 ± 0.007]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]	4.0 ± 0.1 [0.160 ± 0.003]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]
A—Length of reduced section, min (Note 2)	56 [2.25]	45 [1.75]	30 [1.25]	20 [0.75]	16 [0.625]

Dimensions, mm [in.]					
For Test Specimens with Gauge Length Five times the Diameter [E8M]					
	Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard			
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gauge length	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	45.0 ± 0.1 [1.750 ± 0.005]	30.0 ± 0.1 [1.250 ± 0.005]	20.0 ± 0.1 [0.800 ± 0.005]	12.5 ± 0.1 [0.565 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	9.0 ± 0.1 [0.350 ± 0.007]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]	4.0 ± 0.1 [0.160 ± 0.003]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]
A—Length of reduced section, min (Note 2)	75 [3.0]	54 [2.0]	36 [1.4]	24 [1.0]	20 [0.75]

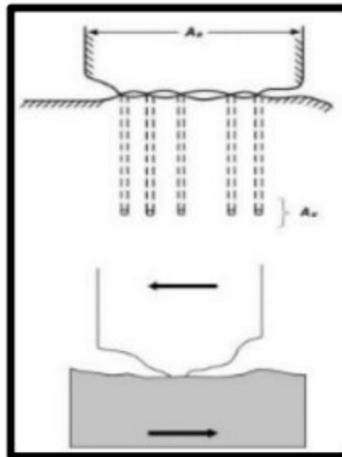
Gambar 21. Spesifikasi dari pesimen Uji Tarik Bentuk Round Bar Berdasarkan ASTM E8 (ASTM)

### 2.6.3 Pengujian Keausan

Keausan merupakan suatu kondisi dimana material mengalami kerusakan permukaan secara permanen. Kerusakan permukaan mengakibatkan hilangnya material akibat dari gesekan (friksi) antara permukaan satu dengan permukaan lain yang merupakan, permukaan yang dimaksud merupakan permukaan padatan. Keausan bukanlah sifat dasar dari material, melainkan sebuah respon yang diberikan material terhadap sistem yang ada disekitarnya ketika mengalmai kontak permukaan. Terdapat beberapa cara untuk melakukan pengujian keausan pada material, semua cara atau teknik pengujian bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan actual. Keausan secara garis besar dikelompokkan menjadi keausan adesif, keausan abrasif, keausan korosif dan surface fatigue (Rabinowicz, 1995).

#### a. 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 22.** Keausan metode adhesive

Faktor yang menyebabkan *adhesive wear*:

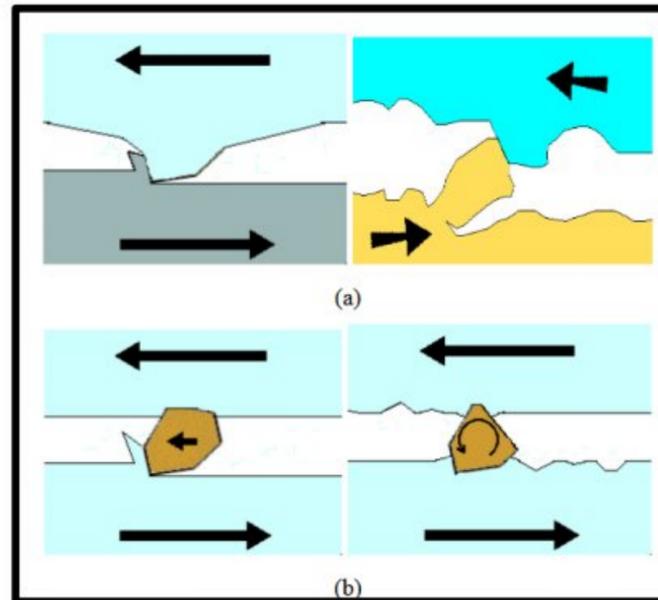
1. Kecenderungan dari material yang berbeda untuk membentuk larutan padat atau senyawa intermetalik.
2. Kebersihan permukaan.

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.

#### **b. Keausan abrasif**

Keausan abrasif timbul ketika permukaan yang keras, kasar meluncur pada permukaan yang lebih lunak, menusuk ke dalam dan menghasilkan alur-alur. Material dapat hilang dalam bentuk fragmen atau jika tidak, material membentuk sepasang timbunan sepanjang tiap alur. Material dalam timbunan kemudian mudah untuk lepas dari permukaan. Keausan abrasif meliputi partikel yang bergerak di atas permukaan (*two body abrasion*) dan partikel keras yang bergerak di atas dua permukaan yang bergerak (*three body abrasion*).



**Gambar 23.** Mekanisme keausan: (a) Keausan abrasif: two body abrasion, (b) Keausan abrasif: three body abrasion

Pada 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. 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:

$$W = \frac{w}{s} \left( \frac{mg}{detik} \right)$$

Dengan :

W = laju keausan

w = berat material yang hilang (mg)

S = waktu total pengujian (detik)

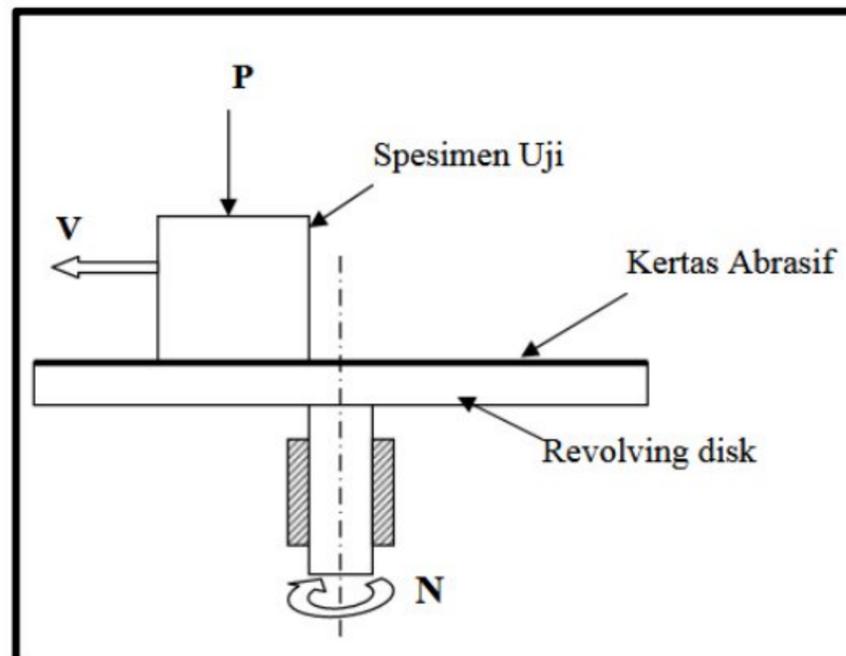
Sedangkan intensitas keausan dinyatakan dengan (Sofanov and Aleksenko,1998):

$$I = \frac{h_1}{L} \frac{mg}{meter}$$

Dengan:

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

L = jalur lintasan gesek (meter).

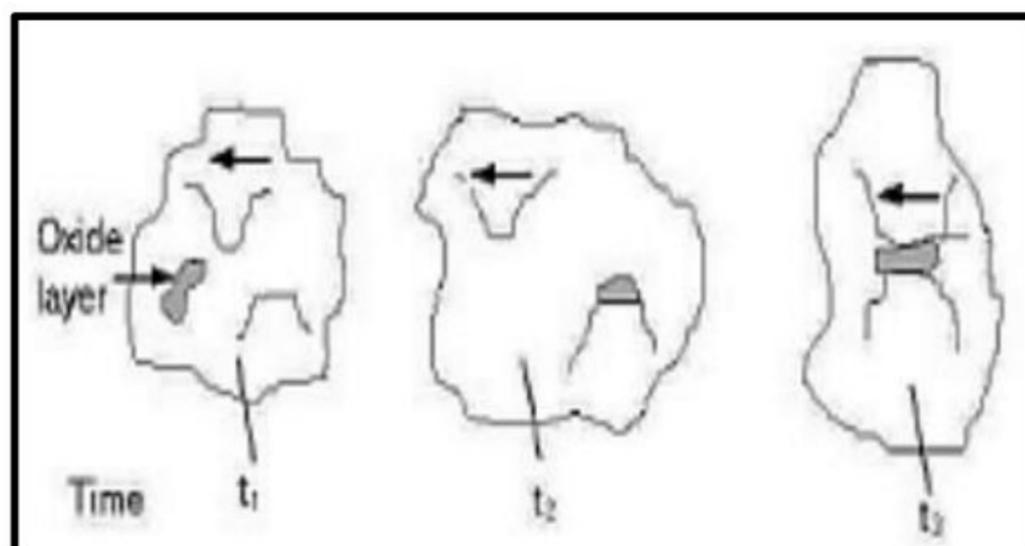


**Gambar 24.** Mekanisme alat uji keausan abrasif keterangan: P = Beban pengausan, V = Kecepatan perpindahan spesimen, N = Putaran disk

### c. 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 25.** Mekanisme keausan oksidasi

## 2.7 Pengamatan Struktur Mikro

Metalografi adalah suatu cabang ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan struktur dan keadaan, serta hubungannya dengan sifat-sifat logam dan paduannya.

Tujuan utama pengujian metalografi adalah untuk mengetahui keadaan/kondisi suatu logam dan paduannya ditinjau dari strukturnya dengan menggunakan mikroskop. Dengan pengujian metalografi, dapat diketahui kondisi suatu logam/paduannya (ulet/rapuh), geometri kristal, susunan atom dan lain-lain. Serta dapat digunakan sebagai salah satu sarana untuk mengetahui kerusakan kegagalan suatu komponen.

Ruang lingkup yang dibahas hanya mencakup dasar-dasar metalografi yang menggunakan berkas kasat mata (terlihat mata). Oleh karena itu disebut juga metalografi cahaya kasat mata atau metalografi optik.

Peralatan yang umum digunakan untuk kegiatan metalografi sebagai berikut:

1. Mesin Gerinda ukuran 100 - 1200 grid untuk meratakan dan menghaluskan.
2. Mesin poles ukuran 600 - 1200 grid untuk menghaluskan
3. Mikroskop optik ukuran 1000X untuk mengetahui struktur mikro dan makro.