

# **SKRIPSI**

## **PENGECORAN Al-Cu KOMPOSIT BERPENGUAT *CARBON* *NANOTUBE* DENGAN VARIASI PENAMBAHAN SERBUK MAGNESIUM (Mg)**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**DONNY ANJELIAS  
D021 19 1131**



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



**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI****PENGECORAN  $Al - Cu$  KOMPOSIT BERPENGUAT  
CARBON NANOTUBE DENGAN VARIASI PENAMBAHAN  
SERBUK MAGNESIUM (Mg)**

Disusun dan diajukan oleh

Donny Anjelias  
D021 19 1131

Telah dipertahankan dihadapan panitia ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi program sarjana program studi teknik mesin fakultas teknik universitas hasanuddin pada tanggal .... 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Muhammad Syahid, S.T., M.T.  
NIP. 19770707200511 1 001

Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT  
NIP. 19740415 199903 1 001

Ketua Program Studi



Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT  
NIP 19720825200003 1 001



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Donny Anjelias  
NIM : D021 19 1131  
Program Studi : Teknik Mesin  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Pengecoran Al-Cu Komposit Berpenguat *Carbon Nanotube* (CNT) Dengan Variasi Penambahan Serbuk Magnesium (Mg)

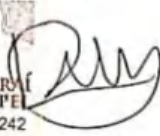
Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan karya saya sendiri. Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasikan 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 dari karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 23 November 2023

Yang Menyatakan

  
METERAI  
TEMPEL  
20AAKX707096242  
Donny Anjelias



## ABSTRAK

**DONNY ANJELIAS.** *Pengecoran Al-Cu Komposit Berpenguat Carbon Nanotube (CNT) Dengan Variasi Penambahan Serbuk Magnesium (Mg)* (dibimbing oleh Dr. Muhammad Syahid, ST., MT dan Dr. Eng Lukmanul Hakim Arma, S.T., M.T)

Aluminium 2024 adalah Paduan aluminium dengan tembaga dan magnesium sebagai paduan utamanya. Dalam penelitian ini, peleburan Aluminium 2024 berpenguat Carbon Nanotube dengan variasi penambahan serbuk Magnesium, dimana Aluminium dileburkan pada suhu 720°C selama 50 menit. Setelah Aluminium melebur, didiamkan pada suhu ruang hingga tekstur Aluminium menjadi seperti bubur, Kemudian serbuk Mg dan CNT dicampurkan kedalam coran dengan menggunakan *stir casting* selama 3 menit. Setelah itu coran dimasukkan lagi kedalam Furnace pada suhu 720°C selama 40 menit, kemudian di kasih gas argon setelah itu dicetak. Sampel kemudian dilakukan analisis sifat mekanik dan pengamatan mikrostruktur. Hasil pengujian kekerasan Vickers sebelum adanya penambahan serbuk Mg dan CNT yaitu sebesar 75,36 HV. Sedangkan setelah diadakan variasi penambahan 1% CNT kekerasan dari spesimen meningkat sebesar 76,14 HV, variasi 1,5% CNT meningkat sebesar 79,96 HV, variasi 2% CNT nilai kekerasan sebesar 82,896 HV, pada variasi 1% CNT + 2 Mg mendapatkan nilai sebesar 77,12 HV, variasi 1,5% CNT + 3% Mg mendapatkan nilai 81,62 HV, variasi 2% CNT + 4% Mg mendapatkan nilai sebesar 83,44 HV. Hasil pengujian tarik sebelum adanya penambahan serbuk Magnesium dan CNT yaitu sebesar 64 MPa dan pada variasi 1% CNT kekuatan tariknya meningkat sebesar 90,33 MPa, variasi 1,5% CNT kekuatan tariknya sebesar 139 MPa, variasi 2% CNT kekuatan tariknya sebesar 267 MPa, pada variasi 2% Mg + 1% CNT kekuatan tariknya sebesar 153 MPa, variasi 3% Mg + 1,5 CNT kekuatan tarik sebesar 188 MPa, dan pada variasi 4% Mg + 2% CNT kekuatan Tarik 237 MPa. Hasil uji porositas menunjukkan nilai porositas untuk variasi 1% CNT sebesar 0,301%, variasi 1,5% CNT sebesar 0,426%, pada variasi 2% CNT dengan nilai 0,465% meningkat nilai potositasnya pada setiap penambahan CNT, Dan pada variasi Mg pada 2% Mg + 1% CNT mendapatkan nilai porositas sebesar 0,251%, variasi 3% Mg + 1,5 CNT sebesar 0,201%, variasi 4% Mg + 2% CNT sebesar 0,182%, menurun nilai porositasnya pada setiap penambahan Mg. Dari hasil pengamatan struktur mikro menunjukan bahwa penambahan serbuk magnesium mempengaruhi struktur mikro aluminium, dimana ukuran butir dan batas butir pada variasi 2% CNT + 4% Mg memiliki ukuran yang relatif kecil dan penyebaran CNT merata dalam paduan, sehingga adanya penambahan serbuk magnesium pada paduan dapat membantu penyebaran CNT dalam paduan Aluminium.

**nci:** Aluminium 2024, Carbon Nanotube (CNT), Serbuk Magnesium



## ABSTRACT

**DONNY ANJELIAS.** *Casting of Al-Cu Composite Reinforced Carbon Nanotube (CNT) with Variation of Magnesium (Mg) Powder Addition* (supervised by Dr. Muhammad Syahid, ST., MT and Dr. Eng Lukmanul Hakim Arma, S.T., M.T).

Aluminum 2024 is an aluminum alloy with copper and magnesium as the main alloys. In this research, Aluminum 2024 was melted with Carbon Nanotube reinforcement with variations in the addition of Magnesium powder, where the Aluminum was melted at a temperature of 7200C for 50 minutes. After the Aluminum has melted, leave it at room temperature until the texture of the Aluminum becomes like porridge. Then Mg and CNT powder are mixed into the casting using a casting stir for 3 minutes. After that, the casting is put back into the furnace at a temperature of 7200C for 40 minutes, then given argon gas after it is molded. The samples were then subjected to mechanical property analysis and microstructural observations. The Vickers hardness test results before the addition of Mg and CNT powder were 75.36 HV. Meanwhile, after variations in adding 1% CNT, the hardness of the specimen increased by 76.14 HV, variations of 1.5% CNT increased by 79.96 HV, variations of 2% CNT, the hardness value was 82.896 HV, variations of 1% CNT + 2 Mg obtained value of 77.12 HV, variation of 1.5% CNT + 3% Mg gets a value of 81.62 HV, variation of 2% CNT + 4% Mg gets a value of 83.44 HV. The tensile test results before the addition of Magnesium powder and CNT were 64 MPa and with a variation of 1% CNT the tensile strength increased by 90.33 MPa, with a variation of 1.5% CNT the tensile strength was 139 MPa, with a variation of 2% CNT the tensile strength was 267 MPa, in the 2% Mg + 1% CNT variation the tensile strength is 153 MPa, in the 3% Mg + 1.5 CNT variation the tensile strength is 188 MPa, and in the 4% Mg + 2% CNT variation the tensile strength is 237 MPa. The results of the porosity test show that the porosity value for the 1% CNT variation is 0.301%, for the 1.5% CNT variation it is 0.426%, for the 2% CNT variation with a value of 0.465% the potosity value increases with each addition of CNT, and for the Mg variation at 2% Mg + 1% CNT gets a porosity value of 0.251%, variation of 3% Mg + 1.5 CNT is 0.201%, variation of 4% Mg + 2% CNT is 0.182%, the porosity value decreases with each addition of Mg. From the results of microstructure observations, it shows that the addition of magnesium powder affects the aluminum microstructure, where the grain size and grain boundaries in the 2% CNT + 4% Mg variation have a relatively small size and the CNT distribution is evenly distributed in the alloy, so that the addition of magnesium powder to the alloy can helps the spread of CNTs in Aluminum alloys.



Is: Aluminium 2024, Carbon Nanotube (CNT), Magnesium Powder



## DAFTAR ISI

|                                                               |                                     |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| PERNYATAAN KEASLIAN.....                                      | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| ABSTRAK.....                                                  | iii                                 |
| ABSTRACT.....                                                 | v                                   |
| DAFTAR ISI.....                                               | vi                                  |
| DAFTAR GAMBAR .....                                           | viii                                |
| DAFTAR TABEL.....                                             | x                                   |
| DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....                        | xi                                  |
| DAFTAR LAMPIRAN.....                                          | xii                                 |
| KATA PENGANTAR .....                                          | xiii                                |
| 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                                   |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....                                  | 5                                   |
| 2.1 Aluminium .....                                           | 5                                   |
| 2.1.1 Aluminium dan paduannya.....                            | 6                                   |
| 2.1.2 Aluminium 2024 .....                                    | 7                                   |
| 2.2 <i>Carbon</i> .....                                       | 8                                   |
| 2.2.1 Macam-macam bentuk <i>Carbon</i> .....                  | 9                                   |
| 2.2.2 Kegunaan <i>Carbon</i> .....                            | 10                                  |
| 2.3 CNT ( <i>Carbon Nanotube</i> ) .....                      | 10                                  |
| 2.3.1 Bentuk struktur CNT ( <i>Carbon Nanotube</i> ) .....    | 11                                  |
| 2.3.2 Metode pencampuran CNT ( <i>Carbon Nanotube</i> ) ..... | 13                                  |
| 2.3.3 Kelebihan CNT ( <i>Carbon Nanotube</i> ) .....          | 14                                  |
| 2.4 Magnesium (Mg).....                                       | 15                                  |
| coran Aluminium berpenguat CNT .....                          | 17                                  |



|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 2.5.1 Cetakan logam dan cetakan pasir .....                 | 19 |
| 2.6 Uji Mekanik (Mechanical Test).....                      | 20 |
| 2.6.1 Pengujian Kekerasan atau Hardness Test .....          | 20 |
| 2.6.2 Uji Tarik (Tensile Test).....                         | 24 |
| 2.7 Pengujian porositas .....                               | 26 |
| 2.8 Metalografi.....                                        | 27 |
| BAB III METODE PENELITIAN.....                              | 28 |
| 3.1 Waktu dan Tempat .....                                  | 28 |
| 3.2 Alat dan Bahan.....                                     | 28 |
| 3.2.1 Alat.....                                             | 28 |
| 3.2.3 Bahan .....                                           | 33 |
| 3.3 Flowchart penelitian .....                              | 36 |
| 3.3.1 Prosedur Penelitian.....                              | 37 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....                            | 42 |
| 4.1 Data Produk Pengecoran .....                            | 42 |
| 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan (Hardness Test Vickers) ..... | 43 |
| 4.3 Hasil Pengujian Tarik (Tensile Test).....               | 46 |
| 4.4 Hasil Uji Porositas .....                               | 49 |
| 4.4 Hasil Uji Komposisi Kimia .....                         | 51 |
| 4.5 Hasil Pengamatan Metalografi .....                      | 52 |
| BAB V PENUTUP .....                                         | 56 |
| 5.1 Kesimpulan .....                                        | 56 |
| 5.2 Saran .....                                             | 57 |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                        | 58 |
| LAMPIRAN.....                                               | 61 |



## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1 Struktur SWNT .....                                                                                                                        | 11 |
| Gambar 2 Struktur MWNT .....                                                                                                                        | 12 |
| Gambar 3 (A) High energy ball milling (B) Low energy ball milling (C) Polyester binder assisted (PBA) .....                                         | 13 |
| Gambar 4 Efek dari kandungan CNT pada pengujian kekuatan tarik dari penelitian komposit (Esawi, 2010).....                                          | 17 |
| Gambar 5 Efek dari kandungan CNT pada indentation modulus dari penelitian komposit (Esawi,2010).....                                                | 18 |
| Gambar 6 (a) Hasil coran cetakan pasir (b) Hasil coran cetakan logam.....                                                                           | 20 |
| Gambar 7 Geometri indenter Brinell .....                                                                                                            | 21 |
| Gambar 8 Geometri indenter Vickers .....                                                                                                            | 22 |
| Gambar 9 Jejak Hasil penekanan indenter.....                                                                                                        | 23 |
| Gambar 10 Indenter Rockwell .....                                                                                                                   | 23 |
| Gambar 11 Ilustrasi Pengujian Tarik (Hendri Nurdin, 2019) .....                                                                                     | 24 |
| Gambar 12 (a) Mesin uji tarik, (b) plot pertambahan beban vs pertambahan panjang yang direkam oleh mesin uji tarik (Bondan Tiara Sofyan, 2021)..... | 25 |
| Gambar 13 Spesimen uji tarik bentuk round bar berdasarkan ASTM E8 (ASTM) .....                                                                      | 25 |
| Gambar 14 Cetakan logam.....                                                                                                                        | 28 |
| Gambar 15 Pengaduk dan dapur peleburan .....                                                                                                        | 29 |
| Gambar 16 <i>Thermogun</i> .....                                                                                                                    | 29 |
| Gambar 17 Timbangan Digital.....                                                                                                                    | 30 |
| Gambar 18 Gelas beaker .....                                                                                                                        | 30 |
| Gambar 19 Sarung tangan.....                                                                                                                        | 30 |
| Gambar 20 Jangka sorong.....                                                                                                                        | 31 |
| Gambar 21 Gergaji tangan .....                                                                                                                      | 31 |
| Gambar 22 Alat uji kekerasan.....                                                                                                                   | 31 |
| Gambar 23 Mikroskop optic LEXT OLYMPUS-OLS4100 .....                                                                                                | 32 |
| Gambar 24 Alat Uji Tarik .....                                                                                                                      | 32 |
| Gambar 25 Aluminium .....                                                                                                                           | 33 |
| Gambar 26 <i>Carbon</i> nanotube.....                                                                                                               | 33 |
| Gambar 27 Gas argon.....                                                                                                                            | 34 |
| Gambar 28 Tabung gas LPG.....                                                                                                                       | 34 |
| Gambar 29 Serbuk Magnesium.....                                                                                                                     | 35 |
| Gambar 30 Flowchart Penelitian.....                                                                                                                 | 36 |
| Gambar 31 a). Produk hasil coran spesimen uji kekerasan, porositas dan metalografi b). Produk hasil coran spesimen uji tarik.....                   | 42 |
| 32 a). Spesimen uji kekerasan b). Titik pengujian kekerasan .....                                                                                   | 43 |
| Gambar 33 Nilai uji kekerasan aluminium komposit berpenguat CNT                                                                                     |    |





|                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| dengan penambahan bubuk Magnesium .....                                                                                                                                                                                                                                                              | 45 |
| Gambar 34 Standar spesimen uji Tarik ASTM e466 .....                                                                                                                                                                                                                                                 | 46 |
| Gambar 35 Spesimen uji tarik.....                                                                                                                                                                                                                                                                    | 46 |
| Gambar 36 Nilai uji tarik aluminium komposit berpenguat CNT dengan<br>penambahan bubuk Magnesium.....                                                                                                                                                                                                | 47 |
| Gambar 37 Specimen uji porositas .....                                                                                                                                                                                                                                                               | 49 |
| Gambar 38 Nilai uji porosita aluminium komposit berpenguat CNT dengan<br>penambahan bubuk Magnesium.....                                                                                                                                                                                             | 50 |
| Gambar 39 Hasil uji struktur mikro (40 $\mu$ m) (a) Al 2024 , (b) variasi penambahan<br>1% CNT, (c) variasi penambahan 1% CNT + 4% Mg, (d) variasi<br>penambahan 1,5% CNT, (e) variasi penambahan 1,5% CNT + 3% Mg,<br>(f) variasi penambahan 2% CNT, (g) variasi penambahan 2% CNT +<br>4% Mg. .... | 54 |



## DAFTAR TABEL

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1 Daftar seri paduan aluminium tempa .....               | 6  |
| Tabel 2 Hasil uji komposisi aluminium 2024 .....               | 40 |
| Tabel 3 Nilai kekerasan <i>hardness vickers</i> .....          | 44 |
| Tabel 4 Nilai pengujian tarik (tensile test) .....             | 47 |
| Tabel 5. Nilai pengujian porositas .....                       | 49 |
| Tabel 6 Hasil uji komposisi variasi penambahan Magnesium ..... | 51 |



## 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> |
| 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 Dokumentasi kegiatan penelitian..... | 61 |
| Lampiran 2 Tabel grafik pengujian Tarik .....   | 69 |



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yesus Kristus, atas kasih dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“PENGECORAN Al-Cu 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 Yelias Lomo dan ibunda Epi Teko Palalangan, juga kepada saudara Irwanto Lomo, Ari johan lomo dan sodari Tiara Novrilien yang selalu mendukung baik dengan materi juga dengan doa dan semangat.
2. Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST., MT selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. Eng Lukmanul Hakim Arma, S.T., M.T 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. Rekan penelitian saya reinaldi parrangan yang telah membantu selama proses litian ini



6. Teman-teman Teknik Mesin 2019 (BRUZHLEZZ) yang telah memberi bantuan dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir penulis.
7. NIM D071211034 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 dan lab Metalurgi Fisik yang telah banyak membantu dan mendukung penulis dalam penelitian ini.
9. Teman-teman KMKO MESIN dan GODEEPER yang selalu memberikan dukungan dan doa pada pengerjaan penelitian ini
10. teman-teman rumah pertek J34 yang selalu menemani dan memberikan dukungan pada pengerjaan penelitian ini.
11. 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, 06 November 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. 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).

Penggunaan paduan aluminium pada pengecoran salah satunya aluminium dengan tembaga (Al-Cu), Paduan Al-Cu biasanya digunakan pada struktur pesawat, produk mesin skrup, paku keling, dan instrumen ilmiah pada kedokteran hewan dan ortopedi. Salah satu parameter yang berpengaruh dari kualitas produk coran adalah sifat mampu alir (fluidity) yang baik, sehingga logam cair dapat mengisi cetakan sepenuhnya. Umumnya ada dua metode untuk mengolah paduan Al-Cu proses tempa dan proses casting. Namun biaya proses tempa sangat tinggi dibandingkan dengan proses pengecoran, dan sebaliknya proses pengecoran menghasilkan struktur dengan cacat coran seperti pori dan rongga penyusutan ( Muhammad Rezki Fitri Putra,dkk.2019).

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



aluminium komposit diperkuat CNT juga pernah dilakukan oleh Muh. dan Muh. Shahid (2016), dengan menggunakan pendekatan metode induksi. Metode ini mampu meningkatkan kekuatan luluh secara

simultan (~77%), kekuatan tarik (~52%), keuletan (~44%) dan kekerasan (~45%).

*Carbon nanotube* ini mempunyai sifat yang sangat menarik, *Carbon nanotube* ini mempunyai kapasitas untuk membawa satu miliar ampere/cm<sup>2</sup> sementara kabel tembaga akan terbakar pada satu juta ampere/cm<sup>2</sup>

Dari beberapa studi penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan kekuatan mekanik Aluminium dengan menggabungkan CNT, hambatan yang terjadi CNT tidak mudah tercampur dengan aluminium, Dalam aspek rasio, penggunaan CNT yang besar pada Aluminium Komposit, ditemukan CNT memiliki kecenderungan menggumpal dan dengan demikian sulit untuk menyebar . 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.

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 Al-Cu Komposit Berpenguat *Carbon Nanotube* Dengan Variasi Penambahan Serbuk Magnesium (Mg)”**.



## 1.2 Rumusan masalah

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

1. Bagaimana pengaruh Penambahan CNT terhadap sifat mekanik (kekerasan dan kekuatan tarik). Al-Cu
2. Bagaimana pengaruh penambahan Magnesium terhadap sifat mekanik(kekerasan dan kekuatan tarik) aluminiumm CNT.
3. Bagaimana pengaruh penambahan Magnesium terhadap porositas dan densitas terhadap aluminium CNT.
4. Bagaimana pengaruh variasi penambahan serbuk Magnesium terhadap penyebaran aluminium CNT 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 CNT terhadap sifat mekanik (nilai kekerasan dan kekuatan Tarik) hasil pengecoran Al-Cu
2. Menganalisa pengaruh variasi penambahan serbuk Magnesium terhadap sifat mekanik (nilai kekerasan dan kekuatan tarik) hasil pengecoran Aluminium CNT
3. Menganalisa pengaruh variasi penambahan serbuk Magnesium terhadap sifat fisik nilai porositas dan densitas hasil pengecoran Aluminium CNT
4. Menganalisis struktur mikro spesimen hasil pengecoran Aluminium CNT dengan variasi penambahan serbuk Magnesium.

## 1.4 Batasan masalah

Berikut batasan-batasan masalah dalam penyusunan tugas akhir ini:



Aluminium yang di pakai ialah aluminium 2024

Persentase penambahan bubuk magnesium 2%, 3% dan 4%

Persentase penambahan CNT 1%, 1.5%, 2%

4. Menggunakan cetakan logam
5. Pengujian tarik menggunakan 3 spesimen untuk setiap variasi
6. Suhu cetakan 400°C
7. Suhu peleburan Aluminium 720°C
8. *Stir casting* 350 rpm.

### **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 Al-Cu 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.



## 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 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).

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/cm<sup>3</sup>, densitas 2,685 kg/m<sup>3</sup>, dan titik leburnya pada suhu 660C, aluminium memiliki strength to weight ratio yang lebih tinggi dari baja. Sifat tahan korosi aluminium diperoleh dari terbentuknya lapisan aluminium dari permukaan aluminium. Lapisan oksida ini melekat kuat dan pada permukaan, serta stabil (tidak bereaksi dengan lingkungan sekitarnya) melindungi bagian dalam ( Ir. Aznam barun, 2012).



### 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 1 Daftar seri paduan aluminium tempa

| Paduan Tuang                   | Penandaan |
|--------------------------------|-----------|
| 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 dalam sistem klasifikasi AA dapat diperoleh paduan Al 6063 dan Al 6061. 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 2024

Paduan yang memiliki Cu mempunyai ketahanan korosi yang jelek, jadi apabila ketahanan korosi khusus diperlukan permukaannya dilapisi dengan Al murni atau paduan Al yang tahan korosi yang disebut pelat alkad. Paduan ini banyak digunakan untuk alat-alat yang bekerja pada temperatur tinggi misalnya pada piston dan silinder head motor bakar( Ir. Aznam barun,dkk.2012).

Paduan aluminium 2024 adalah suatu paduan aluminium dengan tembaga dan magnesium sebagai paduan utamanya, dengan kadar tiap unsur Al 90.7–94.7%, Cu 3.8–4.9%, dan Mg 1.2–1.8%. Paduan ini banyak digunakan untuk aplikasi–aplikasi yang memerlukan ketahanan lelah yang tinggi serta perbandingan kekuatan dan berat yang baik. Paduan ini memiliki machinability yang cukup baik, umumnya paduan ini dibentuk setelah di anil dan biasanya dilanjutkan dengan pemberian perlakuan panas. Pada paduan ini, partikel presipitat penguat yang terbentuk jika mengalami proses penuaan adalah  $Al_2CuMg$  ( R. Syaputra,dkk.2016).



Dicampur dengan alumunium, tembaga menambah kekuatan dan kekerasan dan meningkatkan kemampuan permesinan sampai kira-kira 12%Cu. Diatas tingkat ini, campuran dasar alumunium (Al/Cu) terlalu rapuh untuk keperluan teknik. Dibawah kondisi keseimbangan, sampai 5.65%Cu dapat larut dalam alumunium pada suhu padatan (Al/Cu) biner (5490C). Kelarutan padat ini turun sampai kurang dari 0.1% pada suhu ruang dan inilah berkurangnya pelarutan padat yang menerangkan endapan yang baik sekali padauan Al/Cu untuk perlakuan panas. Meningkatnya kadar Cu menghasilkan ketahanan rendah terhadap korosi, Tembaga membentuk eutektik yang benar dengan alumunium pada kadar tembaga sebesar 33%. Paduan berbasis tembaga (Cu/Al) berisi 10-20% Al menunjukkan kekuatan pengecualian, untuk kekerasan dan pemakaian, menyesuaikan yang dari beberapa paduan baja (Jr.Davis, 1993)

Penggunaan paduan aluminium pada pengecoran salah satunya aluminium dengan tembaga (Al-Cu), Paduan ini juga memiliki ketangguhan dan ketahanan lelah yang baik, serta heat-treatable. Paduan Al-Cu biasanya digunakan pada struktur pesawat, produk mesin skrup, paku keling, dan instrumen ilmiah pada kedokteran hewan dan ortopedi. Seiring berjalannya waktu Al-Cu dilupakan para peneliti atau rekayasawan, karena rendahnya mampu alirnya (fluidity), kelemahan tersebut mengakibatkan rentang waktu pengisian yang panjang, sehingga memicu cacat pada produk coran yaitu porositas. Salah satu parameter yang berpengaruh dari kualitas produk coran adalah sifat mampu alir (fluidity) yang baik, sehingga logam cair dapat mengisi cetakan sepenuhnya. Umumnya ada dua metode untuk mengolah paduan Al-Cu proses tempa dan proses casting. Namun biaya proses tempa sangat tinggi dibandingkan dengan proses pengecoran, dan sebaliknya proses pengecoran menghasilkan struktur dengan cacat coran seperti pori dan rongga penyusutan ( Muhammad Rezki Fitri Putra,dkk.2019).

## 2.2 Carbon



suatu unsur yang telah ditemukan sejak jaman pra-sejarah sangat banyak di alam. Karbon juga banyak terkandung di matahari, bintang-bintang, dan atmosfer 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 ini grafit pirolotik (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 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*)



*Carbon Nanotube*) merupakan salah satu jenis karbon yang bentuknya berskala nanometer dan mempunyai karakteristik mekanik dan 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. (Doan Dinh Phuong,dkk 2014)

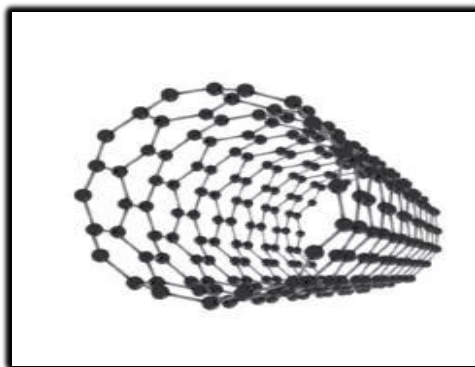
### 2.3.1 Bentuk struktur CNT (*Carbon Nanotube*)

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.

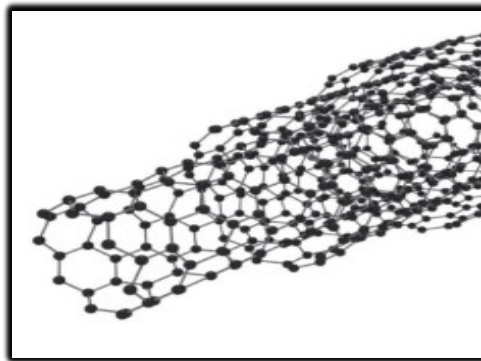


Gambar 1 Struktur SWNT



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 MWNT

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

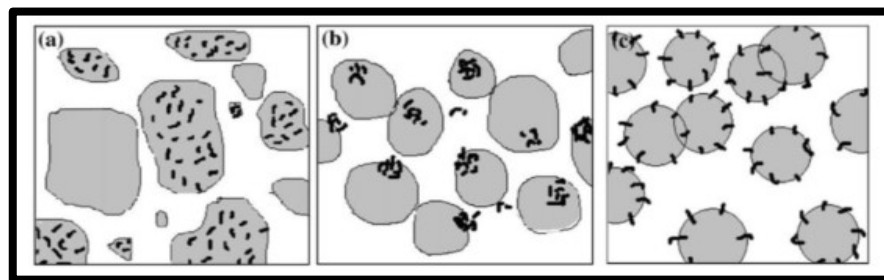
$sp^3$  menyerupai struktur di grafit. Ikatan ini lebih kuat dibandingkan struktur ikatan  $sp^2$  yang dimiliki oleh intan. Dengan demikian secara



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)

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%.



ingkatan yang signifikan terjadi pada komposit dengan 2%wt CNT. i 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 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.

#### b. Kekuatan Mekanik

Nanotube memiliki modulus elastik dan sifat peregangan yang sangat baik. Sifat ini karena ikatan  $\text{sp}^2$  yang dimiliki oleh *carbon nanotube* ini. Pada gambar 2 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 kN.m/kg (dibandingkan baja *carbon* terbaik hanya 154 kN m/kg).



7ibrasi

om memiliki pola getaran yang continue dan periodik. Pada MWNT, a beberapa nanotube saling terpolat 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  $1,738 \text{ gram/cm}^3$ . 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

tertentu, terutama kekuatan untuk rasio berat yang tinggi. Berbagai magnesium memiliki pengecoran, pembentukan, dan karakteristik an yang baik. Karena magnesium mengoksidasi dengan cepat (reaktif), 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).

## 2.5 Surfaktan

Surfaktan adalah senyawa yang dapat menurunkan tegangan antarmuka antara dua fasa cairan yang berbeda kepolarannya seperti minyak/air atau air/minyak. Sifat yang unik tersebut menyebabkan surfaktan sangat potensial digunakan sebagai komponen bahan adhesif, bahan penggumpal, pembasah, pembusa, pengemulsi serta telah diaplikasikan secara luas dalam berbagai bidang industri seperti industri makanan, farmasi, kosmetika, tekstil, polimer, cat dan agrokimia. Penggunaan surfaktan sangat bervariasi, seperti bahan deterjen, kosmetik, farmasi, makanan, tekstil, plastik dan lainnya. Penggunaan surfaktan ini bertujuan untuk meningkatkan kestabilan emulsi dengan cara menurunkan tegangan antarmuka, antara fasa minyak dan fasa air. Surfaktan dipergunakan baik berbentuk emulsi minyak dalam air maupun berbentuk emulsi air dalam minyak. Emulsi didefinisikan sebagai suatu sistem yang terdiri dari dua fasa cairan yang tidak saling melarut, dimana salah satu cairan terdispersi dalam bentuk globulaglobula cairan lainnya.

Penambahan surfaktan dalam larutan akan menyebabkan turunnya tegangan permukaan. Setelah mencapai konsentrasi tertentu, tegangan permukaan akan konstan walaupun konsentrasi surfaktan ditingkatkan. Bila surfaktan ditambahkan konsentrasi ini maka surfaktan mengagregasi membentuk misel. Terbentuknya misel ini disebut Critical Micelle Concentration (CMC). Setelah permukaan akan menurun hingga CMC tercapai. Setelah CMC tercapai, permukaan akan konstan yang menunjukkan bahwa antar muka menjadi

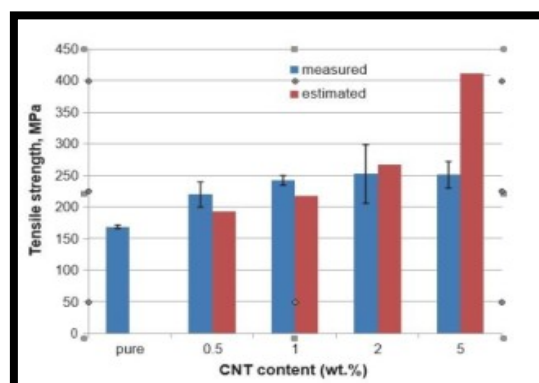




jenuh dan terbentuk misel yang berada dalam keseimbangan dinamis dengan monomernya. Surfaktan (surfactant: surface active agents) merupakan senyawa yang dapat menurunkan tegangan permukaan air. Surfaktan berfungsi untuk mengangkat kotoran pada pakaian baik yang larut dalam air maupun yang tak larut dalam air. Hal ini dapat terjadi karena molekul surfaktan terdiri dari satu ujung hidrofilik dan satu ujung hidrofobik (satu rantai hidrokarbon atau lebih).

## 2.6 Pengecoran Aluminium berpenguat CNT

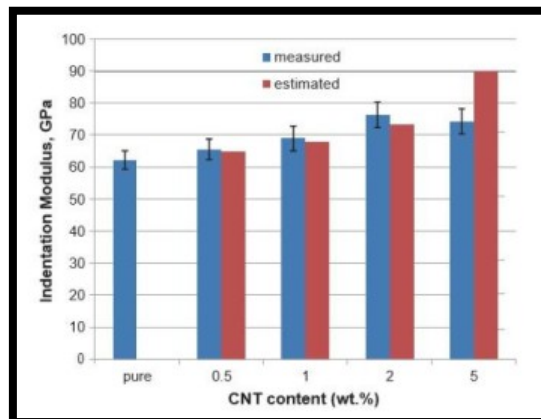
Pengecoran Aluminium komposit yang diperkuat CNT dapat dilihat dalam jurnal yang ditulis oleh Esawi A.M.K dkk (2010) yang menyajikan tentang komposit matriks aluminium yang diperkuat CNT menghasilkan komposit dengan persen berat CNT yang semakin banyak menunjukkan peningkatan kekuatan tariknya.



Gambar 4 Efek dari kandungan CNT pada pengujian kekuatan tarik dari penelitian komposit (Esawi, 2010)

Dari gambar 4 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 170 MPa, akan tetapi tidak pada penambahan 5%wt CNT. Tidak terjadi peningkatan kekuatan tarik sesuai dengan estimasi.





Gambar 5 Efek dari kandungan CNT pada indentation modulus dari penelitian komposit (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 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 CNT merupakan fokus pada penelitian ini, dengan tujuan meningkatkan kekuatan fatik dari Al6061. Pada penelitian ini menggabungkan atriaks dan CNT menggunakan metode *stir casting* (350 rpm, temperatur



penuangan 750°C). 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.

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.

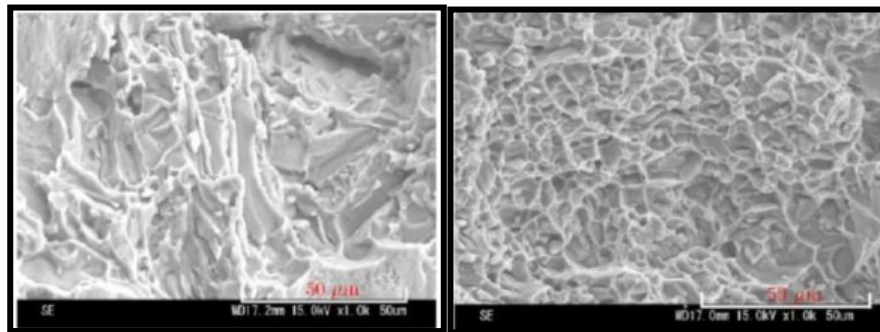
### 2.6.1 Cetakan logam dan cetakan pasir

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 sedangkan pada cetakan pasir, proses pembekuan lebih lambat, sehingga akan keuletan logam. Kecepatan pembekuan ini amat berpengaruh pertumbuhan dan besar butir. Pada Gambar 6a ditunjukkan perbedaan



besar butir dan yang mengalami patah transgranular aluminium coran yang dicetak dengan menggunakan cetakan pasir dan cetakan logam.



Gambar 6 (a) Hasil coran cetakan pasir (b) Hasil coran cetakan logam

Gambar 6b 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 atmosfer (Diah Kusuma Pratiwi, 2012).

## 2.7 Uji Mekanik (Mechanical Test)

### 2.7.1 Pengujian Kekerasan atau Hardness Test

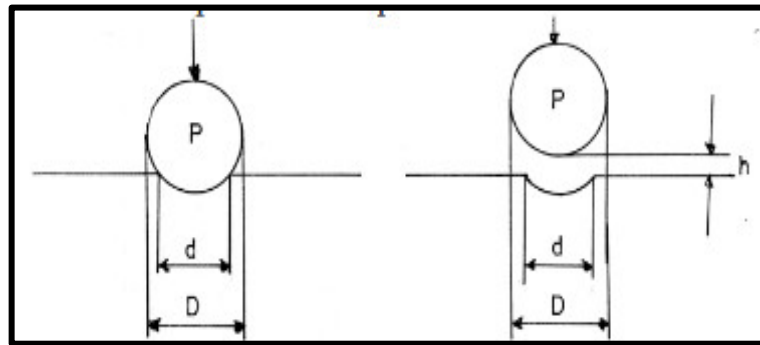
Pengujian kekerasan adalah jenis pengujian mekanik yang penting untuk logam *ferrous* dan *non ferrous*. Tujuan pengujian kekerasan adalah untuk mengetahui ketahanan dari deformasi plastis, bila diberikan beban/gaya dari luar. Prinsip pengujian kekerasan terhadap spesimen uji yang permukaannya telah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

n. Ada tiga metode pengujian yang paling sering digunakan untuk logam metode *Brinell*, Metode *Vickers* dan Metode *Rockwell*.



a. Metode *Brinell*

Pengujian dengan metode ini dilakukan dengan indenter yang berbentuk bola dengan beban dan waktu tertentu, seperti terlihat pada Gambar 7. Harga kekerasan diperoleh dari persamaan berikut ini :



Gambar 7 Geometri indenter Brinell

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

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 idendor 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 keci dan P terlalu besar dapat berakibat ambblasnya bola, sehingga berikan harga kekerasan yang keliru.

Beberapa parameter penting yang mempengaruhi harga kekerasan ell:



- 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 8.

Harga kekerasan *Vickers* diperoleh dengan rumus:

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

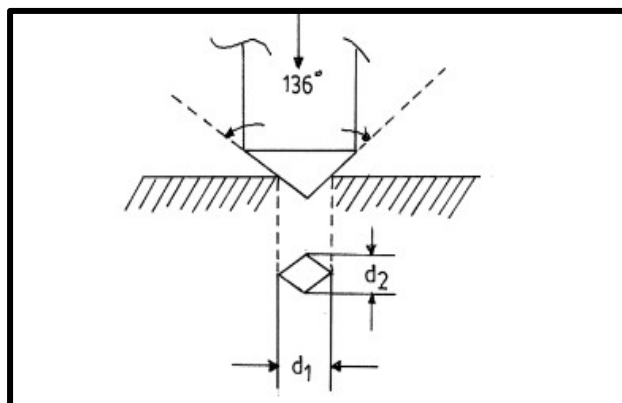
dengan :

P = Beban yang diberikan (kg),

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

O = Sudut puncak 136 .

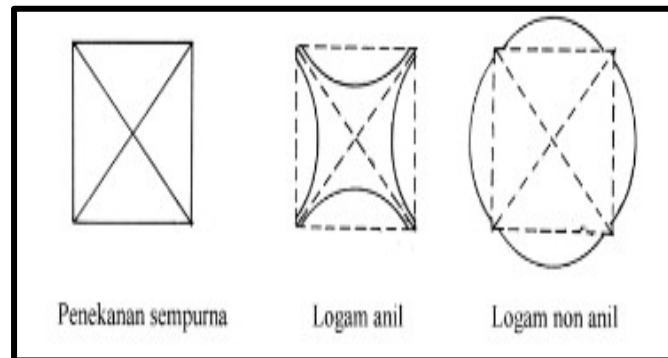
Uji kekerasan *Vickers* mempunyai kelebihan dalam jangkauan pemeriksaan yang luas dengan pemakaiannya beban tunggal (HV5–HV1500). Beban yang dipakai biasanya antara 1 (satu)–120 kg.



Gambar 8 Geometri indentor Vickers

Hasil penekanan akan berbentuk bujur sangkar dengan diagonal yang diukur dengan mikroskop, seperti dalam Gambar 9.

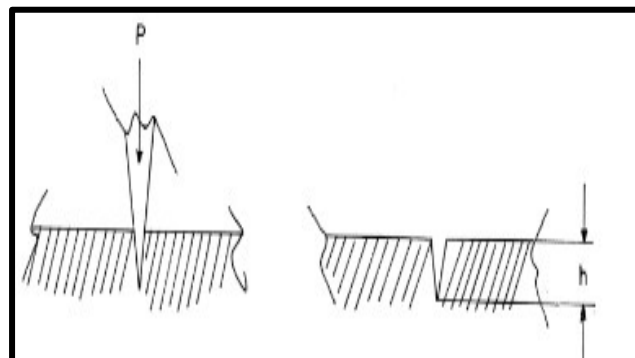




Gambar 9 Jejak Hasil penekanan identor

### c. Metode *Rockwell*

Pada metode ini digunakan identor intan yang berbentuk kerucut, seperti terlihat pada Gambar 10. Kerucut akan menekan permukaan logam sedalam “h” dari permukaan. Jarak “h” menentukan kekerasan dari logam uji.



Gambar 10 Identor Rockwell

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

- 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.
- Metode *Rockwell A* (HRA), Menggunakan identor sama dengan *Rockwell C* dan beban yang sama pula 150 kg. pengujian untuk material  $h < (0,4-6)$  m.

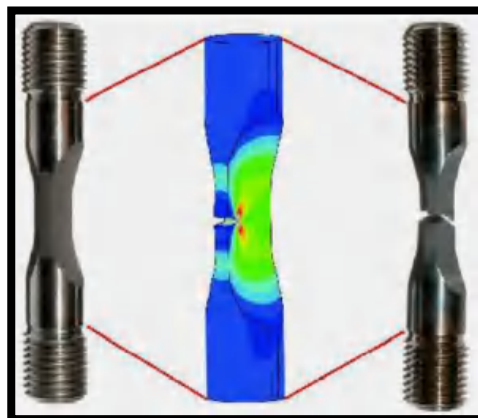


- c. Metode *Rockwell B* (HRB), Menggunakan indentor baja bentuk bola dengan diameter 1116” dan beban 100 kg dipakai untuk material *unhardened steel* dan *non ferrous*.

### 2.7.2 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. (Haris Budiman, 2016).

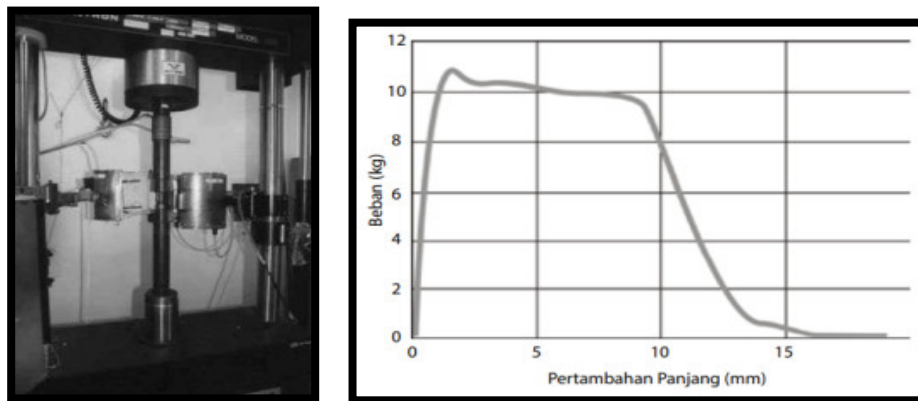


Gambar 11 Ilustrasi Pengujian Tarik (Hendri Nurdin, 2019)



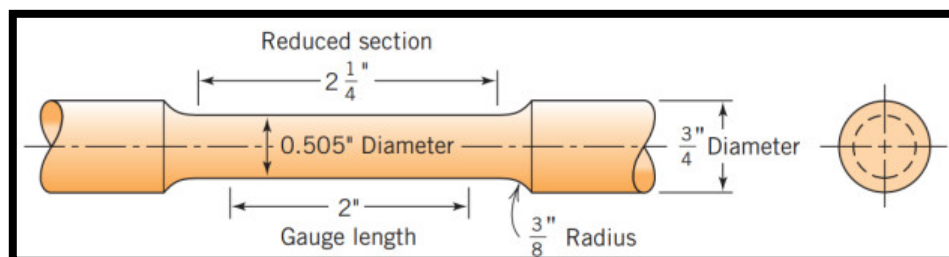


Cara umum untuk mengetahui sifat mekanik dari material adalah dengan melakukan pengujian tarik, menggunakan bentuk spesimen seperti tulang (lihat Gambar 11) dengan ukuran sesuai standar (ASTM, JIS, BS, dan lain-lain). Spesimen kemudian dipasang dalam mesin uji tarik (lihat Gambar 12a dan diberi beban statik yang meningkat secara perlahan sampai spesimen akhirnya patah. Selama pembebanan, mesin merekam pertambahan beban dan perpanjangan spesimen dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 12b (Bondan Tiara Sofyan, 2021).



Gambar 12 (a) Mesin uji tarik, (b) plot pertambahan beban vs pertambahan panjang yang direkam oleh mesin uji tarik (Bondan Tiara Sofyan, 2021)

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



Gambar 13 Spesimen uji tarik bentuk round bar berdasarkan ASTM E8 (ASTM)



## 2.8 Pengujian porositas

Porositas adalah suatu cacat (void) pada produk cor yang dapat menurunkan kualitas benda tuang. Salah satu penyebab terjadinya porositas pada penuangan paduan aluminium adalah gas hidrogen. Gas hidrogen ini dapat terbentuk karena logam cair saat proses pengecoran dimulai dapat beroksidasi dengan gas karbonmonoksida dan karbondioksida. Porositas oleh gas hidrogen dalam benda cetak paduan aluminium silikon akan memberikan pengaruh yang buruk pada kekuatan serta kesempurnaan dari benda tuang tersebut. Penyebab lainnya adalah kontrol yang kurang sempurna terhadap absorpsi gas oleh paduan, pengeluaran gas dari logam karena interaksi antara gas dengan logam selama peleburan dan penuangan.

Faktor penting yang berhubungan dengan pembentukan porositas gas antara lain:

- a) Unsur-unsur gas atau sumber gas yang terkandung dalam paduan
- b) Teknik dan kondisi peleburan
- c) Teknik atau cara pengeluaran gas dari logam cair
- d) Temperatur logam cair
- e) Uap air dalam udara
- f) Permeabilitas cetakan
- g) Uap air yang terkandung dalam cetakan
- h) Sumber-sumber gas yang terkandung dalam cetakan
- i) Bentuk saluran penuangan ataupun kecepatan penuangan

Pada proses penuangan, hidrogen yang larut selama peleburan akan tertinggal setelah proses pembekuannya, karena kelarutan pada fasa cair lebih tinggi dari fasa padat. Gas yang dikeluarkan akan membentuk inti kristal pada struktur mikro pada cairan selama pembekuan dan diantara fasa padat-cair. Banyaknya porositas yang terjadi pada pengecoran paduan aluminium tidak saja tergantung dengan banyaknya kandungan gas hidrogen yang terabsorpsi oleh logam, tetapi juga tergantung pada

1 pembekuan logam dalam cetakan. Makin rendah kecepatan pembekuan  
 inan terjadinya porositas lebih besar. (Surdia,1986).



## 2.9 Metalografi

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

