

**PENGARUH VARIASI PENGUAT PADA KOMPOSIT SANDWICH -  
BERBASIS ALUMINIUM 7075 DENGAN METODE  
*ACCUMULATIVE ROLL BONDING***

**SKRIPSI**

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari  
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

ADAM ANDI NUGROHO

3334160066

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA**

**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN**

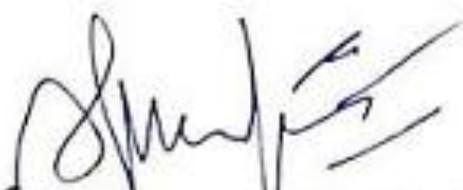
**PENGARUH VARIASI PENGUAT PADA KOMPOSIT *SANWIDCH*  
BERBASIS ALUMINIUM 7075 DENGAN METODE  
*ACCUMULATIVE ROLL BONDING***

**SKRIPSI**

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan  
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

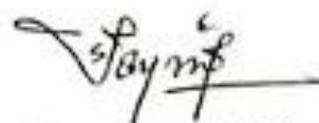
Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh :

Pembimbing I



Prof. Ir., Agus Pramono S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 197608182008011012

Pembimbing II



Suryana ST., M.Si  
NIP. 197402162001122001

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PENGARUH VARIASI PENGUAT PADA KOMPOSIT SANDWICH  
BERBASIS ALUMINIUM 7075 DENGAN METODE  
ACCUMULATIVE ROLL BONDING**

**SKRIPSI**

Disusun dan diajukan oleh

**Adam Andi Nugroho**

**3334160066**

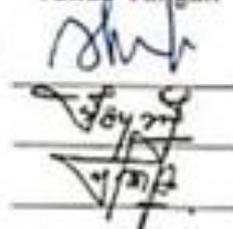
Telah disidangkan didepan dewan penguji pada tanggal:

**6 Juli 2023**

Susunan Dewan Penguji

Penguji I (Ketua Sidang) : Prof. Ir., Agus Pramono S.T.,M.T. Ph.D.  
Penguji II : Suryana S.T., M.Si.  
Penguji III : Yeni Muriani Zulaida, S.T., M.T.

Tanda Tangan



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP : 198003072005011002

## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi Berikut:

Judul : Pengaruh Variasi Penguat pada Pembuatan Komposit *Sandwich* berbasis Aluminium 7075 dengan Metode *Accumulative Roll Bonding*

Nama : Adam Andi Nugroho

NIM : 3334160066

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, Juni 2023



Adam Andi Nugroho  
NPM : 3334160066

## ABSTRAK

Aluminium merupakan salah satu logam pilihan yang menarik bagi dunia Industri Alutsista (Alat Utama Sistem Senjata) karena sifatnya yang ringan, mempunyai ketahanan korosi serta konduktivitas panas dan listrik yang baik. *Aluminium Matrix Composites* (AMCs) merupakan jenis komposit dengan aluminium sebagai matriksnya dan keramik sebagai penguatnya biasa digunakan *Silicon Carbide* (SiC) dan *Aluminium Oxide* ( $Al_2O_3$ ), *Aluminium Alloy AA7075* digunakan sebagai matriks komposit dengan dilakukan proses *Severe Plastic Deformation* (SPD). Salah satu metode SPD adalah *Accumulative Roll Bonding* (ARB) dimana dua lembaran pelat di *rolling* sehingga menghasilkan butiran (*Ultra Fine Grain*) yang dapat meningkatkan kekuatannya. ARB merupakan proses SPD yang paling banyak dilakukan sebagai proses manufaktur komposit karena dapat meningkatkan kekuatan yang signifikan dengan proses yang sederhana serta produktivitasnya yang tinggi sehingga dapat dikomersilkan. Komposit aluminium ini tersusun dari pelat AA 7075 sebagai matriksnya dan sebruk  $Al_2O_3$ , SiC, serta *hybrid* ( $Al_2O_3+SiC$ ) sebagai penguatnya. Komposit dibuat berdasarkan metode ARB dengan siklus pengerolan sebanyak 1, 2, dan 3 siklus. Karakterisasi yang dilakukan berupa pengujian tarik, kekerasan, dan metalografi. Hasil pengujian tarik, kekerasan dan metalografi menunjukkan bahwa komposit dengan penguat SiC (2 Siklus pengerolan) memiliki nilai kuat tarik dan kekerasan tinggi sebesar 464,32 MPa dan 161,45 HV, hal ini disebabkan adanya fenomena *missing line*.

**Kata Kunci :** *Mechanical Properties, Hybrid, Composite, UFG (Ultra Fine Grain)*

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas segala limpahan kebaikan dan kemurahan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal Skripsi ini yang merupakan salah satu syarat kelulusan sebagai sarjana teknik metalurgi di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D selaku ketua jurusan Teknik Metalurgi.
2. Bapak Prof. Ir. Agus Pramono S.T.,M.T. Ph.D .dan Bapak Suryana S.T., M.Si. selaku pembimbing pertama dan kedua yang membimbing penulis dalam penelitian hingga penyelesaian skripsi ini.
3. Seluruh staf dan karyawan dan semua pihak instansi yang terkait dan berpartisipasi dengan penelitian ini.
4. Orang Tua, Keluarga, Saudara/saudari, abang/teteh, dan teman – teman atas doa, partisipasi, dan dukungannya.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih terdapat kekurangan, sehingga kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak diharapkan. Penulis berharap agar proposal skripsi ini bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi pembaca pada umumnya.

Cilegon, Juni 2023

Adam Andi Nugroho

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	4
1.3 Rumusan Masalah.....	4
1.4 Batasan Masalah .....	5
1.5 Hipotesis .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Komposit Matriks Logam .....	7
2.2 Aluminium .....	10
2.3 <i>Anneling</i> .....	12
2.4 <i>Severe Plastic Deformation</i> (SPD) .....	13
2.4.1 <i>Accumulative Roll Bonding</i> (ARB) .....	15
2.5 Pengujian Merusak .....	19
2.6 Pengamatan Metalografi .....	22
2.7 Tegangan dan Regangan .....	24
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>29</b>
3.1 Diagram alir Penelitian .....	29
3.2 Alat dan Bahan .....	30

3.2.1 Alat-alat .....	30
3.2.2 Bahan-bahan .....	31
3.3 Prosedur Penelitian .....	32
3.3.1 Prosedur Preparasi Sampel .....	32
3.3.2 Proses Forging .....	33
3.3.3 Proses <i>Accumulative Roll Bonding</i> (ARB) .....	34
3.3.4 Pengamatan Metalografi .....	35
3.3.5 Pengujian Tarik .....	37
3.3.6 Pengujian Kekerasan ( <i>Vickers</i> ) .....	38
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>40</b>
4.1 Hasil Penelitian .....	41
4.2 Pembahasan .....	42
4.2.1 Pengaruh Penguat Terhadap Kuat Tarik .....	42
4.2.2 Pengaruh Penguat Terhadap Nilai Kekerasan .....	44
4.2.4 Pengaruh Penguat Terhadap Struktur Mikro .....	48
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>55</b>
4.1 Kesimpulan .....	55
4.2 Saran .....	56
<b>DAFTAR PUSAKA .....</b>	<b>58</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>62</b>
Lampiran A Contoh Perhitungan .....	62
Lampiran B Data Penelitian .....	65
Lampiran C Gambar Alat dan Bahan .....	78

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 2.1</b> Klasifikasi Aluminium dan Paduan Utamanya .....	11
<b>Tabel 2.2</b> Komposisi Kimia Aluminium 7075 .....	11
<b>Tabel 2.3</b> Nilai Sifat Mekanik Aluminium AA 7075 .....	12
<b>Tabel 2.4</b> Sifat Aluminium AA 7075/ANF Proses ARB .....	19
<b>Tabel 4.1</b> Hasil Uji Tarik dan Kekerasan .....	40
<b>Tabel 4.2</b> Nilai Kekerasan Komposit AA 7075 setelah proses ARB .....	45

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1</b> Skema Struktur Komposit Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	8
<b>Gambar 2.2</b> Diagram Biner Aluminium.....	13
<b>Gambar 2.3</b> Skema Ilustrasi Proses ARB.....	16
<b>Gambar 2.4</b> Hasil Pengujian Sifat Mekanik Al-SiC.....	17
<b>Gambar 2.5</b> Perbandingan Reinforced Terhadap Sifat Mekanik.....	18
<b>Gambar 2.6</b> Hasil Uji Tarik Al-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	18
<b>Gambar 2.7</b> Alat-Alat Untuk Pengujian Tidak Merusak.....	20
<b>Gambar 2.8</b> Alat-Alat Untuk Pengujian Merusak.....	21
<b>Gambar 2.9</b> Alat dan Bahan Yang Dibutuhkan Dalam Proses Metalografi.....	22
<b>Gambar 2.10</b> Hasil Metalografi Aliminium 7075 Belum Diproses Mekanik ..	24
<b>Gambar 2.11</b> Grafik Tegangan dan Regangan.....	25
<b>Gambar 2.12</b> Hasil Uji tarik dalam mencari nilai Modulus Young.....	27
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian.....	31
<b>Gambar 3.2</b> Proses Preparasi Material.....	33
<b>Gambar 3.3</b> Mesin <i>Forging</i> .....	35
<b>Gambar 3.4</b> Skema Ilustrasi Proses ARB.....	36
<b>Gambar 3.5</b> Mikroskop.....	37
<b>Gambar 3.6</b> Standar Sampel Untuk Uji Tarik ASTM E8`.....	38
<b>Gambar 3.7</b> Mesin Uji Tarik.....	39
<b>Gambar 3.8</b> Mesin Uji Kekerasan <i>Vickers</i> .....	40
<b>Gambar 4.1</b> Kurva Stress Strain Variasi 1 Siklus.....	43
<b>Gambar 4.3</b> Grafik Perbadningan UTS dan Kekerasan 1 Siklus.....	48
<b>Gambar 4.4</b> Morfologi 1 Siklus Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	50
<b>Gambar 4.5</b> Morfologi 1 Siklus SiC.....	50
<b>Gambar 4.6</b> Morfologi 1 Siklus Hybrid.....	51
<b>Gambar 4.7</b> Morfologi 2 Siklus Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	52
<b>Gambar 4.8</b> Morfologi 3 Siklus Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	53

<b>Gambar 4.9</b> Komparasi <i>Interface</i> Komposit.....	54
<b>Gambar B.1</b> Hasil Uji Kekerasan Al <sub>2</sub> , Kiri <i>Surface</i> dan kanan <i>Cross Sect</i> .....	67
<b>Gambar B.2</b> Hasil Uji Kekerasan SiC <sub>2</sub> , Kiri <i>Surface</i> dan kanan <i>Cross Sect</i> ....	69
<b>Gambar B.3</b> Hasil Uji Kekerasan HB <sub>2</sub> , Kiri <i>Surface</i> dan kanan <i>Cross Sect</i> .....	69
<b>Gambar B.4</b> Hasil Uji Kekerasan R <sub>2A</sub> , Kiri <i>Surface</i> dan kanan <i>Cross Sect</i> .....	70
<b>Gambar B.5</b> Hasil Uji Kekerasan R <sub>2B</sub> , Kiri <i>Surface</i> dan kanan <i>Cross Sect</i> .....	71
<b>Gambar B.6</b> Hasil Uji Kekerasan R <sub>2C</sub> , Kiri <i>Surface</i> dan kanan <i>Cross Sect</i> .....	72
<b>Gambar B.7</b> Hasil Uji Kekerasan R <sub>3A</sub> , Kiri <i>Surface</i> dan kanan <i>Cross Sect</i> .....	73
<b>Gambar B.8</b> Hasil Uji Kekerasan R <sub>3B</sub> , Kiri <i>Surface</i> dan kanan <i>Cross Sect</i> .....	74
<b>Gambar B.9</b> Hasil Uji Kekerasan R <sub>3C</sub> , Kiri <i>Surface</i> dan kanan <i>Cross Sect</i> .....	75
<b>Gambar B.10</b> Data Uji Tarik material AL <sub>2</sub> , SiC <sub>2</sub> , dan HB <sub>2</sub> .....	76
<b>Gambar B.11</b> Data Uji Tarik material R <sub>2A</sub> , R <sub>2B</sub> , dan R <sub>2C</sub> .....	77
<b>Gambar B.11</b> Data Uji Tarik material R <sub>3A</sub> , R <sub>3B</sub> , dan R <sub>3C</sub> .....	78
<b>Gambar C.1</b> Gelas Ukur .....	80
<b>Gambar C.2</b> Gergaji Besi .....	80
<b>Gambar C.3</b> Gerinda.....	81
<b>Gambar C.4</b> Kain Majun .....	81
<b>Gambar C.5</b> Mesin Bor .....	82
<b>Gambar C.6</b> Mesin Canai ( <i>Rolling</i> ).....	82
<b>Gambar C.7</b> Mesin Poles.....	83
<b>Gambar C.8</b> Mesin Potong .....	83
<b>Gambar C.9</b> Mesin Uji Kekerasan .....	84
<b>Gambar C.10</b> Mesin Uji Tarik.....	84
<b>Gambar C.11</b> Mikroskop.....	85
<b>Gambar C.12</b> Jangka Sorong.....	85
<b>Gambar C.13</b> <i>Muffle Furnace</i> .....	85
<b>Gambar C.14</b> Neraca .....	86
<b>Gambar C.15</b> Pengering .....	86
<b>Gambar C.16</b> Penjepit .....	87

<b>Gambar C.17</b> Ragum.....	87
<b>Gambar C.18</b> Sarung Tangan .....	88
<b>Gambar C.19</b> Sikat Kawat .....	88
<b>Gambar C.20</b> Spidol.....	89
<b>Gambar C.21</b> Wadah Kaca/Plastik.....	89
<b>Gambar C.22</b> Amplas .....	90
<b>Gambar C.23</b> Aquades .....	90
<b>Gambar C.24</b> Cairan Pembersih / Aseton .....	91
<b>Gambar C.25</b> Hardener dan Resin .....	91
<b>Gambar C.26</b> Kawat Tembaga .....	92
<b>Gambar C.27</b> Larutan Etsa .....	92
<b>Gambar C.28</b> Pasta Alumina .....	93
<b>Gambar C.29</b> Pelat Alumunium Seri 7075 1 mm .....	93
<b>Gambar C.30</b> Pipa PVC .....	94
<b>Gambar C.31</b> Serbuk SiC .....	94
<b>Gambar C.32</b> Serbuk Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	95

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Ilmu pengetahuan dan teknologi dewasa ini mengalami perkembangan yang sangat pesat, tidak terkecuali pengetahuan dan teknologi yang digunakan untuk menghasilkan material berkualitas tinggi, contohnya adalah perkembangan teknologi material komposit. Material komposit banyak diaplikasikan untuk teknologi kemiliteran dan penerbangan, dengan seiring meningkatnya kebutuhan akan material yang semakin ringan namun dengan sifat mekanik yang unik [1]. Pada aplikasi kemiliteran dan penerbangan, material komposit yang digunakan merupakan material komposit dengan matriks logam, dan logam yang dipakai yaitu aluminium, hal ini dikarenakan logam aluminium dan paduannya sendiri merupakan logam yang memiliki densitas dan koefisien ekspansi yang rendah, ketahanan korosi yang baik, serta memungkinkan banyaknya variasi penguat yang dapat digunakan pada matrik aluminium. Namun kebanyakan dari kendaraan militer masih menggunakan material baja sebagai badan dari kendaraan, yang dimana efeknya akan mengurangi kecepatan mobilitas dan efisiensi bahan bakar yang rendah, karena material baja yang memiliki densitas yang besar yaitu  $7,8 \text{ g/cm}^3$ .

Dalam dunia militer nasional, baja digunakan sebagai bahan baku kendaraan lapis baja, salah satunya adalah Panzer Anoa milik TNI AD dengan bahan utama BS EN 10025-4 S355 *Hot Rolled Steel*. Material ini memiliki kekerasan yang

berkisar antara 146-187 HB, kuat tarik sebesar 470 MPa dan kuat lulus sebesar 355 MPa, dan densitas sebesar  $7,85 \text{ g/cm}^3$  [2]. Nilai ini menghasilkan material yang memiliki kekuatan tangguh serta berat yang cenderung tinggi yang akan berdampak kepada konsumsi bahan bakar yang meningkat. Di lain sisi, diketahui bahwa saat ini tengah dilakukan penelitian mengenai Aluminium AA 7075 (densitas  $2,81 \text{ g/cm}^3$ ) dalam upaya meningkatkan sifat mekanik material. Pengembangan teknologi manufaktur material komposit melalui metode *Severe Plastic Deformation* (SPD) dengan matriks logam ringan menurut beberapa penelitian dapat meningkatkan sifat mekanik material Aluminium dengan metode pembentukan komposit. Salah satu metode SPD yang biasa digunakan adalah metode *Accumulative Roll Bonding* (ARB). Metode ini akan membentuk *ultrafined grained* (UFG) atau butir ultra-halus pada mikrostrukturnya sehingga sifat mekanik material meningkat. komposit dengan metode ARB ini memiliki banyak keuntungan antara lain seperti; rendah biaya, laju produksi yang tinggi, dan jumlah produksi dari material yang tidak terbatas [3].

Pada manufaktur material komposit faktor lain yang dapat mempengaruhi nilai mekanik dari suatu material adalah pemilihan jenis penguat (*reinforce*) yang digunakan, pemilihan jenis penguat sendiri akan mempengaruhi sifat hasil spesimen yang dihasilkan dengan metode ARB. Jenis penguat yang biasa digunakan dalam manufaktur komposit matriks aluminium antara lain  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , SiC,  $\text{ZrO}_2$ , WC, dan  $\text{B}_4\text{C}$ , masing-masing dari jenis penguat sendiri memiliki hasil yang berbeda-beda terhadap sifat mekanik dari spesimen. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dengan penambahan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) pada komposit aluminium

menghasilkan garis *interphase rest* sehingga sifat mekanik yang dihasilkan meningkat meskipun tidak terlalu signifikan, begitu juga dengan penambahan *Silicone Carbide* (SiC) pada komposit aluminium dapat meningkatkan kekerasan karena adanya distribusi partikel SiC yang seragam sehingga dapat mengurangi porositas yang terjadi di daerah *interface* [3]. Pada penelitian lainnya dengan jenis penguat SiC material komposit yang dihasilkan mengalami peningkatan nilai UTS dari 57 MPa menjadi 254 MPa, hal ini dapat terjadi karena terdistribusinya partikel SiC secara homogen pada matriks komposit, sehingga antarmuka partikel dengan matriks mengalami ikatan (Adel, 2018). Sedangkan dengan jenis penguat  $Al_2O_3$  nilai UTS yang dihasilkan mengalami peningkatan dari 57,6 MPa menjadi 256 MPa [4]. Maka dari itu penelitian ini perlu dilakukan guna untuk dapat mengetahui pengaruh dari masing-masing jenis penguat terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada manufaktur komposit yang bermatriks aluminium dengan metode *accumulative roll bonding* (ARB).

Melalui penggunaan teknologi dengan *novelty* yang tinggi (SPD), diharapkan dari penelitian ini dapat membuktikan bahwa rekayasa material komposit Aluminium AA 7075 dapat menggantikan baja BS EN 10025 dalam lingkup sifat mekanik yang serupa namun dengan berat yang lebih ringan melalui menggunakan metode *Accumulative Roll Bonding* (ARB) dan pengaruh berbagai macam jenis penguat/*reinforce* ( $Al_2O_3$ ; SiC; dan *Hybrid*) terhadap sifat mekanis dan morfologi struktur dari material komposit Aluminium.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuktikan bahwa proses dengan metode *accumulative roll bonding* (ARB) mampu meningkatkan sifat mekanik dari suatu material Komposit. Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh jenis penguat pada pembuatan komposit matriks aluminium AA 7075 terhadap sifat mekanik pada material Komposit Aluminium 7075 dengan metode *accumulative roll bonding* (ARB)
2. Mengetahui pengaruh dari jumlah siklus pengerolan aluminium pada pembuatan komposit matrik aluminium AA 7075 terhadap sifat mekanik pada material Komposit Aluminium 7075 dengan metode *accumulative roll bonding* (ARB).
3. Mengetahui pengaruh dari reinforced  $Al_2O_3$ , SiC, dan *Hybrid* terhadap sifat mekanik pada material Komposit Aluminium 7075 dengan metode *accumulative roll bonding* (ARB)

## 1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana pengaruh jenis *reinforced*  $Al_2O_3$ , SiC, dan *Hybrid* terhadap sifat mekanik komposit aluminium AA 7075. Lalu Berapa jumlah siklus *rolling* pada pelat aluminium 7075 yang optimal pada pembuatan komposit matriks pelat aluminium AA 7075.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini terdapat variabel bebas, terikat, dan

kontrol. Pada variabel bebas penelitian ini meliputi *Reinforce* dan juga Siklus *Rolling*. Sementara itu pada variabel terikat yang merupakan hal yang bersifat dipengaruhi dan berupa keluaran atau *output* yang berupa Kemampuan meningkat antar permukaan dan juga nilai kekerasan dan kekuatan yang meningkat. Variabel kontrol pada percobaan ini adalah material yang tidak diproses dengan metode ARB.

### **1.5 Hipotesis**

Hipotesis sendiri merupakan proposisi atau dugaan yang belum terbukti. Pada penelitian ini terdapat hipotesis. Material dengan reinforced Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC, dan Hybrid akan memiliki kekuatan dan kekerasan lebih meningkat dibandingkan dengan tidak diproses dengan metode ini. Material pelat aluminium 7075 dapat terbentuk ikatan bonding antara kedua permukaanya.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Penulisan laporan skripsi ini terdiri dari lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan, pada bab ini menjelaskan latar belakang penelitian mengapa manufaktur komposit dengan metode *Severe Plastic Deformation* dapat digunakan untuk meningkatkan nilai mekanis aluminium. Identifikasi masalah yang terdiri dari variasi jenis *reinforce* dan jumlah siklus *rolling* yang digunakan. Pada bab I ini juga menjelaskan tujuan penelitian dari dilakukannya variasi jenis *reinforce* dan jumlah siklus *rolling* yang digunakan. Batasan masalah penelitian

terdiri dari bahan baku yang digunakan, variabel tetap dan variabel bebas yang digunakan, serta sistematika penulisan penelitian.

Bab II Tinjauan Pustaka, pada bab ini menjelaskan teori-teori penunjang dalam penelitian ini. Diantaranya meliputi Komposit matriks logam, alumunum, aneling, dan (*Severe Plastic Deformation*) SPD.

Bab III Metode Penelitian, pada bab ini menjelaskan tentang metode yang digunakan untuk penelitian dan diagram alir penelitian, bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian, serta prosedur penelitian.

Bab IV Hasil dan Pembahasan, pada bab ini menjelaskan tentang hasil dari penelitian dan pembahasan mengenai pengaruh variasi penguat pada pembuatan komposit sandwich berbasis aluminium 7075 dengan metode *accumulative roll bonding*.

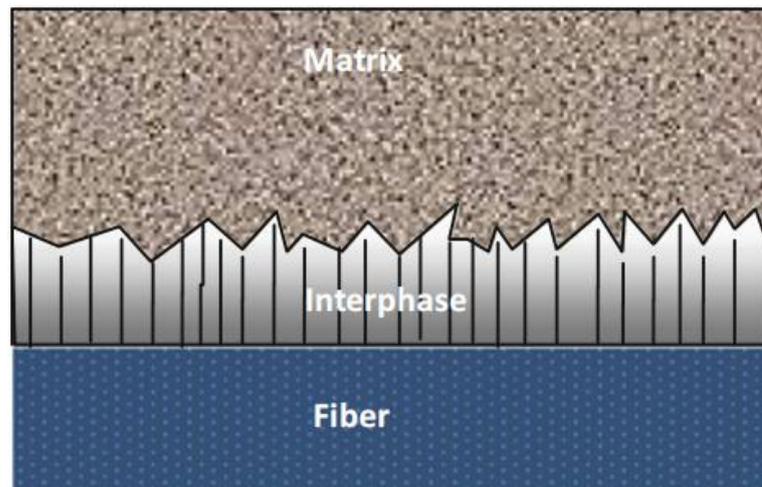
Bab V Kesimpulan dan Saran, pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan penelitian ini dan saran untuk penelitian yang menunjang penelitian selanjutnya. Selain itu terdapat daftar pustaka yang terdiri dari buku, jurnal, dan halaman web yang digunakan sebagai referensi.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Komposit Matriks Logam**

Komposit merupakan gabungan dua atau lebih material yang mempunyai sifat fisik dan kimia yang berbeda, yang kemudian terbentuk menjadi bentuk kompleks baik dalam skala mikro, meso, dan makro. Dimana biasanya komposit dibuat dari perpaduan antara material logam, keramik, dan polimer [5] Perbedaan penggunaan material unsur penyusun menimbulkan beberapa daerah diantaranya, matriks (penyusun dengan fraksi volume terbesar), penguat (penahan beban utama), *interphase* (pelekat antar dua penyusun), *interface* (batas antarmuka) [1]. Komposit matriks logam merupakan salah satu jenis komposit berdasarkan jenis matriks yang digunakan, yang menggunakan logam atau paduannya sebagai penyusun dengan fraksi volume terbesar, yang dipadukan dengan bahan pengisi tertentu guna menciptakan sifat mekanik yang diharapkan, dengan tercapainya *interfacial bonding* antara matriks dan penguatnya, merupakan salah satu syarat dari keberhasilan dalam proses manufaktur komposit [6]. Untuk skema struktur dari material komposit secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Skema Struktur Komposit  $\text{Al}_2\text{O}_3$  [5].

Proses manufaktur komposit memiliki beberapa permasalahan, khususnya permasalahan pada komposit matriks logam dengan penguat berbahan keramik, yang memiliki interaksi antarmuka yang kurang baik, sehingga *interfacial bonding* yang dihasilkan rendah, hal ini terjadi karena ikatan antara matriks dan penguat memiliki kemampubasahan (*wettability*) yang rendah. *Interfacial bonding* atau ikatan antarmuka, merupakan salah satu syarat keberhasilan manufaktur komposit, sehingga memegang peranan penting guna menentukan kualitas komposit yang dihasilkan. Karena pada daerah antarmuka ini terjadi perubahan sifat dari matriks ke penguat atau terdapat ketidak-kontiyuan sifat kimia, struktur kristal atau molekular, sifat mekanik dan lainnya. Komposit matrik logam yang sangat populer dan banyak dilakukan penelitian saat ini adalah dengan matrik aluminium dan paduannya dengan penguatnya berupa keramik. Aluminium banyak digunakan sebagai bahan matriks karena beberapa sifatnya yang lebih memiliki keunggulan dari logam lainnya, seperti densitas rendah, ketahanan korosi yang baik, dan

ekspansi termal yang rendah. Aplikasinya sendiri sering digunakan pada kemiliteran dan penerbangan, karena sifat komposit yang dihasilkan lebih ringan, dengan sifat mekanik (kekuatan, kekerasan, tahan korosi, tahan aus) yang tinggi [7].

Komposit *sandwich* adalah jenis material komposit yang terdiri dari dua lapisan material yang lebih kuat yang disatukan oleh lapisan material ringan di antara keduanya. Dalam struktur komposit *sandwich*, lapisan material yang lebih kuat disebut sebagai "lapisan wajah" (*face sheet*), sementara lapisan material ringan di antara keduanya disebut sebagai "inti" (*core*). Inti komposit *sandwich* biasanya terbuat dari bahan berpori atau berstruktur seperti busa, honeycomb (madu lebah), atau bahan laminasi yang ringan namun memiliki kekuatan yang cukup tinggi. Lapisan wajah pada komposit *sandwich* umumnya terbuat dari serat komposit seperti serat karbon, serat kaca, atau serat aramid, yang memberikan kekuatan dan kekakuan struktural pada material [6]

Kombinasi antara lapisan wajah yang kaku dan kuat dengan inti yang ringan dan kuat secara struktural menghasilkan material yang memiliki berbagai keunggulan. Beberapa keuntungan dari komposit *sandwich* termasuk kekuatan dan kekakuan yang tinggi, kekuatan tarik dan tekan yang seimbang, bobot yang rendah, ketahanan terhadap korosi, isolasi termal dan listrik yang baik, serta kemampuan untuk menyerap energi dan getaran. Komposit *sandwich* banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti industri penerbangan, otomotif, kelautan, dan konstruksi. Mereka dapat digunakan untuk membuat struktur yang ringan namun kuat seperti sayap pesawat, panel bodi mobil, dan kapal.

## 2.2 Aluminium

Aluminium merupakan logam dengan bilangan atom 13 dan masa atom relatif 27. Aluminium merupakan logam yang paling melimpah ketiga di bumi dengan jumlah 8%. Aluminium merupakan jenis logam dengan densitas rendah ( $2,7 \text{ g/cm}^3$ ) yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan konduktivitas termal dan listrik yang cukup tinggi. Sehingga belum dikategorikan sebagai logam berat. Kekuatan mekanik pada aluminium meningkat seiring ditambahkan paduan unsur seperti Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb. Sifat mekanik yang meningkat dari paduan aluminium yang dihasilkan berupa ketahanan korosi, ketahanan aus, ekspansi termal rendah, dan lain sebagainya. Aluminium dan paduannya memiliki nilai ekonomis yang tinggi karena dapat digunakan pada berbagai aspek seperti di bidang otomotif, militer, konstruksi, peralatan penutup makanan, peralatan masak, dan lainnya [8], beberapa jenis paduan aluminium berdasarkan standar ASM dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Klasifikasi Aluminium dan Paduan Utamanya [8].

Standar ASM	Keterangan
1xxx	Al murni 99% atau di atasnya
2xxx	Cu merupakan unsur paduan utama
3xxx	Mn merupakan unsur paduan utama
4xxx	Si merupakan unsur paduan utama
5xxx	Mg merupakan unsur paduan utama
6xxx	Mg dan Si merupakan unsur paduan utama
7xxx	Zn merupakan unsur paduan utama
8xxx	Elemen lain sebagai unsur paduan utama

Jenis aluminium yang digunakan pada penelitian kali ini merupakan aluminium seri tujuh, lebih tepatnya adalah aluminium 7075 dengan komposisi kimia (dalam persen berat) yang dapat dilihat berikut ini pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Komposisi Kimia Aluminium 7075 [8].

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ga	V	Ti
87,3-	0,4	0,5	1,2-	0,3	2,1-	0,18-	-	5,1-	-	-	0,2
90			2		2,9	0,28		6,1			

Aluminium seri 7075 secara umum memiliki kegunaan di bidang ke-dirgantaraan, konstruksi, *frame* sepeda, dan lain-lain. Dikarenakan nilai kekuatannya yang tinggi, laju korosi rendah, koefisien ekspansi yang rendah,

namun memiliki densitas yang ringan. Aluminium seri 7075 merupakan tipe aluminium yang dapat dilakukan *heat-treatment* guna meningkatkan nilai sifat mekanis dari aluminium tersebut. Untuk nilai sifat mekanik dari aluminium 7075, dapat dilihat pada Tabel 2.3 [8]. Tujuan dilakukannya manufaktur komposit berbasis aluminium 7075 ini, berguna untuk meningkatkan nilai sifat mekanik hingga batas sifat mekanik dari *armour steel* untuk kendaraan panser atau tank.

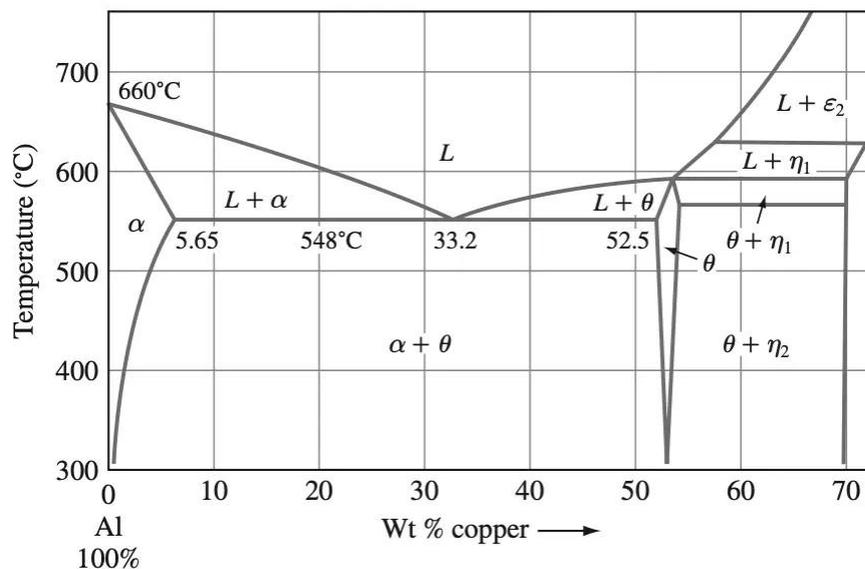
**Tabel 2.3** Nilai Sifat Mekanik Aluminium AA 7075 [8].

Seri Aluminium	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Titik Leleh (°C)	Kuat Tarik (MPa)	Kuat Luluh (MPa)	Kekerasan (HV)	Elongasi (%)
AA 7075-O	2,81	477- 635	220	103	60	10

### 2.3 *Annealing*

Dalam proses perlakuan panas terdapat proses *Annealing* atau yang sering disebut juga sebagai proses pemanasan dengan laju pendinginan yang relatif lambat. *Annealing* merupakan salah satu metode perlakuan panas selain *Normalizing* (pendinginan dengan suhu ruang atau laju pendinginan normal) dan *Quenching* (pendinginan dengan media fluida berupa air dan minyak atau laju pendinginan yang cepat), untuk memperoleh sifat mekanik logam tertentu. *Annealing* merupakan proses pemanasan suatu logam atau paduannya hingga suhu tertentu, lalu dilakukan penahanan selama waktu yang ditentukan, setelah itu

dilakukan pendinginan secara perlahan (di dalam tungku) [9]. Fungsi dari dilakukannya proses *annealing* adalah untuk menghomogenisasi spesimen, karena kita tidak mengetahui spesimen yang kita pakai, telah mengalami proses apa sebelumnya, selain itu proses ini bertujuan untuk menghilangkan *internal stress* yang terdapat didalam logam, dan juga meningkatkan keuletan dari logam [9]. Untuk temperatur *annealing* setiap logam berbeda-beda tergantung paduan yang ada didalamnya dan temperatur rekristalisasi logam yang diprosesnya. Untuk paduan aluminium sendiri memiliki kisaran temperatur *annealing* sekitar 290 °C hingga 420 °C. untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram biner aluminium dengan paduannya, berikut ini pada Gambar 2.2 [8].



**Gambar 2.2** Diagram Biner Aluminium [8].

#### 2.4 Severe Plastic Deformation (SPD)

Teknologi SPD (*Severe Plastic Deformation*) atau deformasi plastis menyeluruh merupakan proses manufaktur logam baik *bottom up* (metalurgi serbuk) ataupun *top down* (lembaran logam) dengan memberikan tegangan plastis

yang sangat tinggi untuk menghasilkan butiran yang sangat halus (*Ultrafine Grained*). *Ultra Fine Grain sendiri* adalah istilah yang digunakan dalam konteks metode *Severe Plastic Deformation* (SPD) untuk menggambarkan struktur mikro yang terbentuk setelah perlakuan deformasi plastik yang ekstrim pada material. Metode SPD adalah suatu teknik yang digunakan untuk menghasilkan butiran butir yang sangat kecil atau ultrafine pada material logam. Proses deformasi plastik yang sangat ekstrim dalam metode SPD menyebabkan pergerakan butir-butir material secara intensif, memicu rotasi, deformasi, dan rekristalisasi butiran-butiran tersebut. Akibatnya, struktur mikro material mengalami pemadatan dan pemulihan butiran yang lebih kecil dan lebih seragam. Hasilnya adalah material dengan ukuran butiran yang sangat halus, biasanya dengan ukuran butiran di kisaran mikrometer hingga sub-mikrometer.

Perkembangan teknologi SPD ini masih sebatas dalam penelitian dan juga pengembangan berkelanjutan untuk menghasilkan material dengan kekuatan dan ketangguhan yang sama tinggi. Teknologi SPD memiliki beberapa metode di antara lain, untuk metode *bottom up* dari bahan berbentuk serbuk terdapat metode *high pressure test* (HPT), *equal channel angular pressing* (ECAP), *dual equal channel lateral extrusion* (DECL), *multiple direct extrusion*, dan lain-lain. Sedangkan pada metode *top down* dengan bahan berbentuk lembaran terdapat metode *accumulative roll bonding* (ARB), *cone-cone method* (CCM), *costrained groove pressing* (CGP), dan lain-lain [23]. Namun metode yang paling populer dikembangkan dalam penelitian untuk saat ini antara lain, HPT, ECAP, dan ARB.

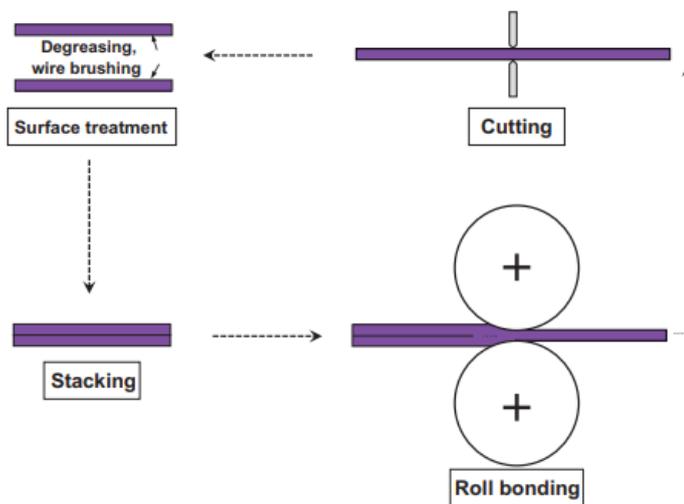
Berbagai proses SPD telah banyak dikembangkan di dalam proses pembentukan logam seperti *equal channel angular pressing* (ECAP), *accumulative*

*roll-bonding (ARB), high pressure torsion (HPT), repetitive corrugation and straight-tening (RCS), cyclic extrusion compression (CEC), torsion extrusion, severe torsion straining (STS), cyclic closed-die forging (CCDF), super short multi-pass rolling (SSMR), twist extrusion (TE)*. Logam dengan ukuran butir *ultra-fine grained* yang dihasilkan melalui proses SPD menunjukkan kekuatan yang tinggi. Tegangan luluh (yield) logam polycrystalline  $\sigma_Y$ , berhubungan erat dengan diameter butir  $d$ , sebagaimana rumusan yang dibuat oleh Hall–Petch yaitu:  $\sqrt{k}$  (1) dengan  $\sigma_0$  adalah tegangan gesek dan  $k$  adalah konstanta. Persamaan (1) menunjukkan bahwa tegangan luluh meningkat dengan semakin kecil akar dari ukuran butir ( $d^{1/2}$ ). Ukuran butir yang semakin kecil menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi tanpa mengurangi ketangguhan, yang berbeda dengan metode penguatan lain seperti pada proses perlakuan panas [10].

#### **2.4.1 Accumulative Roll Bonding (ARB)**

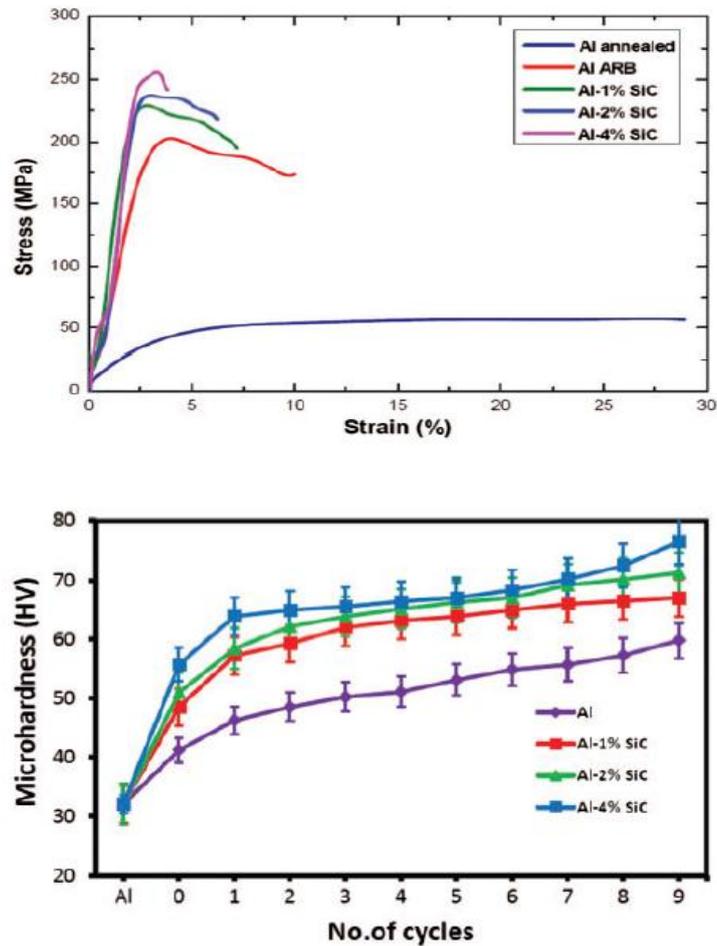
ARB merupakan salah satu metode SPD yang dikembangkan oleh Saito dan kawan-kawan, yang dimana prosesnya menggunakan metode konvensional *rolling* setelah dilakukannya *stacking* antara dua atau lebih matriks logam lembaran [11]. Pada proses manufaktur komposit, disisipkan unsur penguat diantara lembaran yang akan di *stacking*. Tahap proses ARB yaitu, antarmuka dari dua lembar permukaan logam dibersihkan dengan cairan aseton agar terjadinya ikatan antarmuka yang baik. Kemudian dilakukan pengerollan untuk digabungkan, dengan roll konvensional, kemudian, lembaran akan bertambah panjang kemudian lembar dipotong menjadi dua bagian kembali, kemudian lembaran yang telah dipotong ditumpuk dan dilakukan proses ARB kembali, prosedur ini dapat diulang

tanpa batas, sehingga terbentuk regangan plastis yang sangat tinggi pada lembaran [12]. Metode ini dapat meningkatkan nilai mekanik dari suatu material karena terdapat beberapa mekanisme penguatan didalam prosesnya, antara lain *strain hardening* dan efek dari ukuran butir yang dihasilkan. Untuk lebih jelasnya, ilustrasi dari proses ARB dapat dilihat pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.3** Skema Ilustrasi Proses ARB [11].

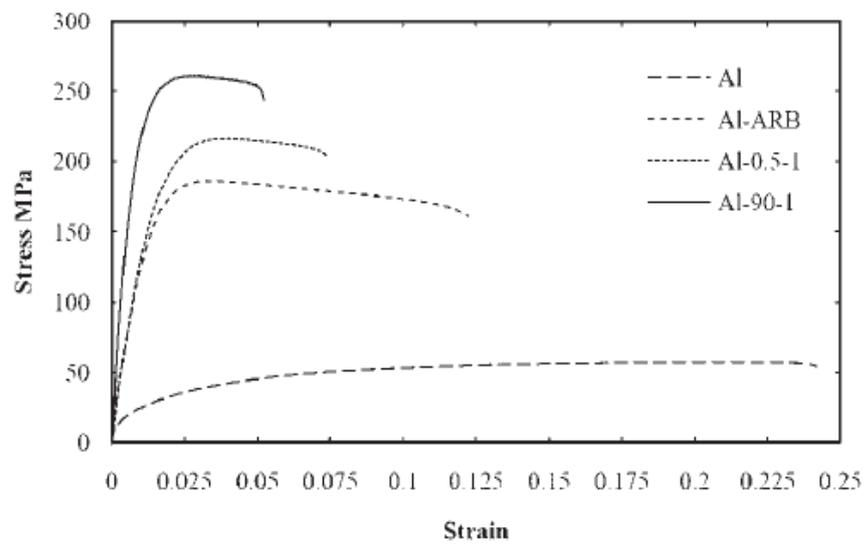
Metode ARB merupakan proses yang sangat sederhana namun memiliki kemampuan untuk menghasilkan UFG (*ultra fined grain*) tanpa mengubah dimensi spesimen sehingga menjadi proses industri yang sangat potensial. Potensi ini yang menyebabkan banyaknya riset yang dilakukan untuk meneliti mengenai ARB. Diantaranya riset mengenai penambahan penguat berupa SiC terhadap sifat mekanik Al-1050 dengan metode ARB, mendapatkan hasil bahwa semakin meningkatnya persen berat SiC yang ditambahkan maka sifat mekanik akan semakin meningkat [12]. Yang grafiknya ditunjukkan pada Gambar 2.6.



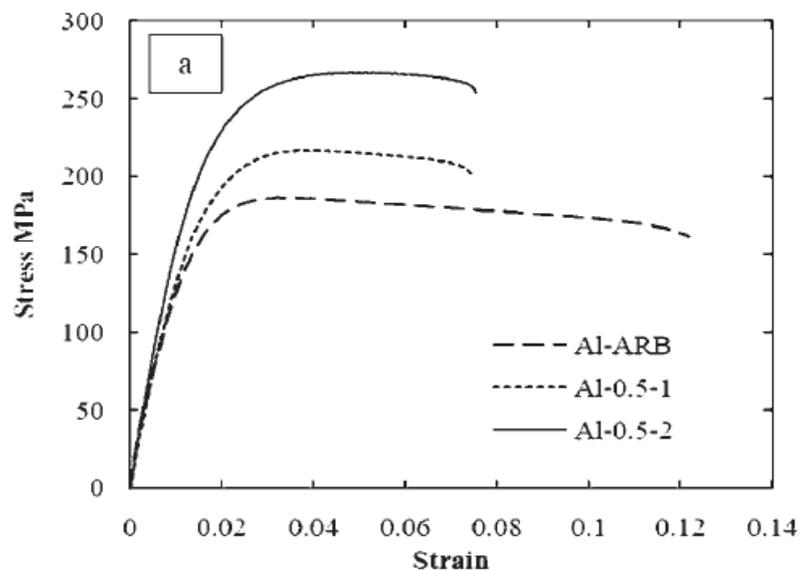
**Gambar 2.4** Hasil Pengujian Sifat Mekanik Al-SiC [12].

Riset lainnya mengenai manufaktur komposit matriks aluminium dengan *reinforce* berupa serbuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dengan variasi komposisi dan ukuran 90 nm; 0,5 nm menggunakan metode ARB diperoleh hasil bahwa, semakin banyak komposisi dan kecil ukuran partikel penguat, maka kuat tarik pada komposit aluminium akan semakin meningkat [4]. Hasil dari riset ini dapat dilihat pada grafik pada Gambar 2.7. Hasil yang diperoleh dari masing-masing *reinforce* ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan SiC) memiliki hasil yang berbeda terhadap sifat mekanik yang dihasilkan, untuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$  lebih cenderung meningkatkan

kekerasan dan ketahan aus, sedangkan SiC lebih cenderung meningkatkan nilai kekuatan dan ketahanan aus [5], maka dari itu pada penelitian kali ini, digunakan campuran keduanya (*hybrid*) yang bertujuan untuk mendapatkan sifat mekanik gabungan dari kedua *reinforcement* yang dipakai.



**Gambar 2.5** Perbandingan *Reinforced* Terhadap Sifat Mekanik [4]



**Gambar 2.6** Hasil Uji Tarik Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [4]

Namun pada riset lainnya, menunjukkan dengan penggunaan aluminium AA 7075 dengan *reinforce* berupa  $\text{Al}_2\text{O}_3$  *nanofiber*, dilakukan perbandingan sifat mekanik yang dihasilkan antara aluminium yang dilakukan proses ARB tanpa adanya *reinforce*, dibandingkan dengan aluminium yang dilakukan proses ARB dengan ditambahkan *reinforce*, hasilnya menunjukkan nilai kekerasan yang menurun pada komposit aluminium yang ditambahkan *reinforce*, namun memiliki ukuran butir yang lebih halus [3]. Hasil dari riset ini dapat dilihat pada Tabel 2.4

**Tabel 2.4** Sifat Aluminium AA 7075/ANF Proses ARB [3]

Jenis Material	Kekerasan (HV)	Densitas (gr/mm <sup>2</sup> )	Ukuran Butir ( $\mu$ m)
AA 7075 tanpa ANF	128,3 $\pm$ 4,4	2,81 $\pm$ 0,014	1,4
AA 7075 + ANF	103,2 $\pm$ 2,7	2,793 $\pm$ 0,003	1,3

## 2.5 Pengujian Merusak

Pengujian material adalah serangkaian ujicoba yang sudah dikondisikan pada suatu material. Tujuan dilakukannya pengujian ini antara lain untuk mendapatkan data mengenai material tersebut. Data tersebut bisa berupa modulus young, tingkat porositas, kekerasan, dan juga berbagai macam jenis cacat dan deformasi mikro maupun makro. Material yang diuji tentunya harus melewati tahapan dan prosedur yang sesuai dengan jenis pengujiannya. Pengujian material secara mendasar terdiri dari dua jenis, yaitu pengujian merusak (*destruction test*) dan pengujian tidak merusak (*non-destruction test*).

Pengujian merusak yang dimaksud adalah pengujian yang mengambil dan mengubah bentuk material uji secara permanen. Sementara pengujian tidak merusak adalah pengujian yang dilakukan tanpa merusak dan mengubah bentuk dan fungsi sedikitpun dari material tersebut. Secara mendasar pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui dan menganalisa karakteristik dan struktur serta sifat dari material ini.



**Gambar 2.7** Alat-Alat Untuk Pengujian Tidak Merusak

Pengujian tidak merusak terdiri dari pengujian kekerasan, dimana material hanya diletakan dan ditekan oleh indenter. Nantinya hasil tekan tersebut akan digunakan untuk perhitungan dari hasil kekerasannya. Pengujian Ultrasonik merupakan pengujian yang digunakan untuk mengetahui keberadaan porositas pada suatu material. Pengujian dengan cairan penetrant juga merupakan salah satu dari jenis pengujian tidak merusak. pengujian ini menggunakan 3 jenis cairan, yaitu cairan pembersih untuk membersihkan permukaan, penetrant sebagai penanda, dan juga developer sebagai pemberi tanda pada keretakan. Proses ini umum dilakukan pada pengelasan. Kemudian terdapat pengamatan langsung, dimana proses ini hanya mengamati material secara visual dan kontinyu.

Pada proses penelitian ini, jenis tes tidak merusak yang akan dilakukan adalah test kekerasan, dan pengamatan visual.



**Gambar 2.8** Alat-Alat Untuk Pengujian Merusak

Pengujian merusak yang terdiri dari pengujian tarik, dimana material akan dibentuk dengan bentuk sesuai dengan ISO 6892-1 dan ASTM E8, kemudian material akan ditarik hingga terputus. Kemudian untuk pengujian puntir, material akan di letakan pada mesin pemuntir yang kemudian akan diberikan gaya puntir. Adapun pengamatan metalografi, termaksud dalam pengujian merusak karena spesimen harus diambil dan dipotong menjadi bagian kecil dan kemudian akan diberikan bingkai/*Mounting* agar mudah dipegang saat pengamplasan dan pemolesan permukaan yang akan diamati dibawah mikroskop. Tujuan dari pengamatan metalografi adalah untuk mengamati struktur mikro, batas butir, dan bentuk fasa pada material logam [13].

## **2.6 Pengamatan Metalografi**

Metalografi adalah perpaduan ilmu dan seni yang mempelajari dan mengamati struktur mikroskopis logam dan paduan menggunakan mikroskop optik, mikroskop elektron, ataupun jenis mikroskop lainnya. Kinerja dan sifat material terutama sifat mekanik logam ditentukan oleh struktur mikro, dengan menganalisis

struktur mikro material maka kinerja dan keandalan saat digunakan dapat dipahami dengan lebih baik. Selain material logam teknik metalografi ini dapat digunakan pada material non logam lainnya untuk mengamati struktur mikronya



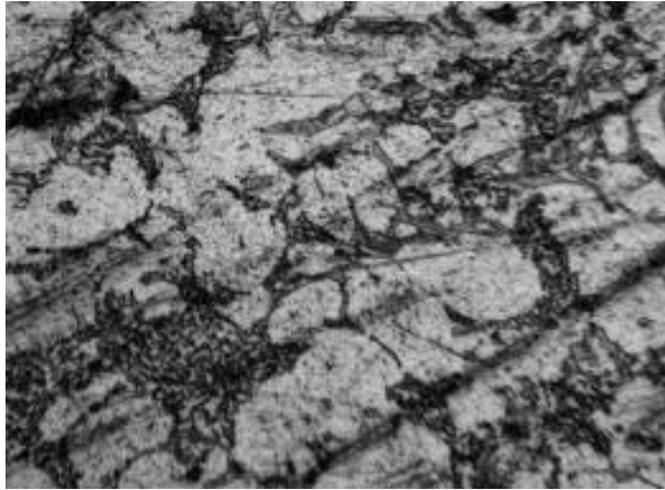
**Gambar 2.9** Alat dan Bahan Yang Dibutuhkan Dalam Proses Metalografi

Prinsip dasar metalografi pertama kali disusun oleh *Henry Clifton Sorby* (1826–1908). Metalografi dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu makrografi dan mikrografi. Penerapan praktis dari metalografi adalah untuk mengetahui ukuran butir, distribusi fasa, dan keberadaan kotoran dalam suatu logam. Penentuan spesifikasi yang diperlukan dalam suatu material mengacu kepada hasil metalografi yang menjelaskan tentang proses yang sudah dialami oleh material yang bersangkutan. Hasil pengamatan metalografi dipengaruhi oleh persiapan permukaan spesimen yang akan diamati [14].

Secara mendasar, teknik metalografi dilakukan dengan memahami lima prosedur utama yang terdiri dari pengambilan logam yang ingin di uji, pembedahan (*mounting*), pengamplasan, pemolesan, pengetsaan, dan pengamatan di bawah mikroskop. Pengambilan logam yang ingin di uji bisa langsung diambil atau dipisahkan. Namun untuk beberapa kasus pemotongan dengan mesin potong harus dilakukan dengan cara dingin agar dapat material yang tidak mengalami

perubahan fasa. Cara dingin ini dilakukan dengan menggunakan air mengalir saat memotong material. Sementara itu proses pembedahan dilakukan dengan menggunakan resin sebagai pemegang sampel yang akan di uji agar lebih mudah di pegang saat pengamatan dan pengamplasan. Jenis resin tidak akan berpengaruh pada hasil metalografi, karena fungsi pembedahan hanya dilakukan untuk mempermudah mengamati dan memindahkan sampel yang diamati. Proses pengamplasan dilakukan dengan menggunakan amplas secara bertahap mulai dari 80 mesh hingga mencapai 1400 mesh. Hal ini dilakukan agar didapatkan material yang rata dengan hasil yang maksimal.

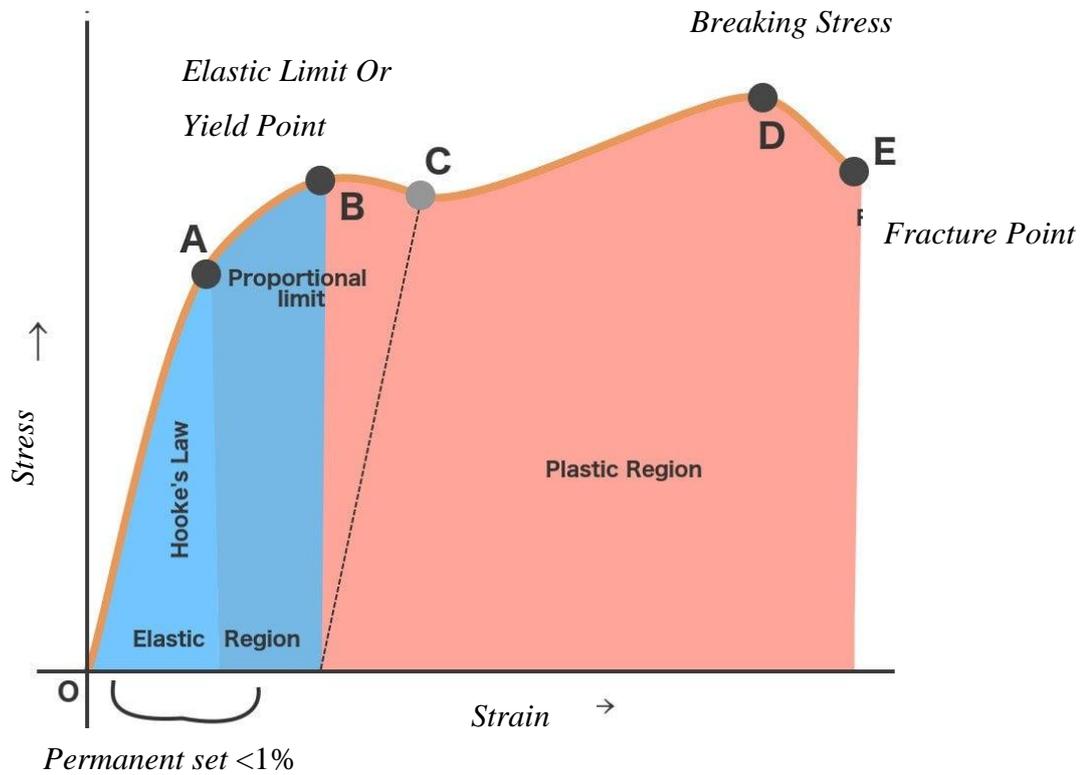
Pemolesan dilakukan untuk mempermudah mengamati batas butir, dilakukan dengan menggunakan pasta alumina. Kemudian proses pengetsaan dilakukan tergantung jenis material terutama logam yang diamati. Jika logam seperti besi cukup dengan larutan nital 3%, jika merupakan logam aluminium dapat menggunakan NaOH [15]. Setiap logam yang dilakukan proses pengetsaan harus memiliki jenis etsa yang cocok digunakan sesuai dengan jenis logam. Tujuan dari pengetsaan adalah agar mendapatkan korosi selektif pada pinggir batas butir agar dapat memperjelas bentuk batas butir sehingga mempermudah proses pengamatan. Proses pengamatan di bawah mikroskop adalah tahap terakhir, dimana Gambar diambil dan juga dianalisa setelah ini. Proses ini tentunya memiliki standar, standar yang mengatur proses dari metalografi sendiri adalah standar ASTM E3 [13]. Berikut ini pada Gambar 2.15 adalah salah satu contoh dari hasil pengamatan metalografi aluminium seri 7075 yang belum diproses mekanik.



**Gambar 2.10** Hasil Metalografi Alimunium 7075 Belum Diproses Mekanik

## **2.7 Tegangan dan Regangan**

Suatu benda elastis akan bertambah panjang sampai ukuran tertentu ketika ditarik oleh sebuah gaya. Besarnya tegangan pada sebuah benda adalah perbandingan antara gaya tarik yang berkerja benda terhadap luas penampang benda tersebut. Tegangan menunjukkan kekuatan gaya yang menyebabkan benda berubah bentuk. Tegangan secara mendasar dibedakan menjadi tiga macam berdasarkan arah gayanya yaitu regangan, mampatan, dan geseran. Dari ketiga arah tersebut akan dapat menghasilkan berbagai jenis dan macam tegangan lainnya seperti, tegangan tarik, tegangan tekan, tegangan puntir, tegangan gesekan, tegangan bengkok/*bending*.



**Gambar 2.11** Grafik Tegangan dan Regangan

Misalnya, jika ada dua buah kawat dari bahan yang sama tetapi luas penampang berbeda dan diberi gaya, kedua kawat tersebut akan mengalami tegangan yang berbeda. Kawat dengan luas penampang yang lebih kecil akan mengalami tegangan yang lebih besar daripada kawat dengan luas penampang yang lebih besar

Elastis adalah kecenderungan bahan padat untuk kembali ke bentuk aslinya setelah terdeformasi. Benda padat akan mengalami deformasi ketika gaya diaplikasikan padanya. Material dapat elastis karena gaya yang diberikan belum cukup untuk membuatnya berubah bentuk. Secara skala partikel elastis terjadi

selama atom belum mengalami deformasi. Contoh material yang cenderung elastis seperti polimer dan kramik [16].

Plastis adalah dimana material yang ditarik sudah tidak dapat kembali ke bentuk semula. Berkebalikan dengan elastis, plastis diakibatkan karena adanya gaya yang berkerja melebihi kemampuan material tersebut. Material yang bersifat plastis pada umumnya adalah logam dan beberapa jenis dari polimer.

Titik patah atau yang disebut juga dengan (*Fracture*) merupakan batas maksimum gaya yang dapat diberikan ke material hingga material terputus, terpisah atau patah. Titik patah atau yang sering disebut juga dengan *breaking point* adalah titik tertentu yang dimiliki benda elastis, dimana bila suatu gaya melebihi titik patah ini diterapkan pada benda tersebut, maka benda elastis akan patah. Pada grafik uji tarik teknis, tegangan akan menurun. Namun pada grafik uji tarik nyata, grafik akan naik. Hal itu disebabkan karena pada saat mengalami pengurangan ukuran penampang atau *necking*, luas penampang tersebut juga terukur. *Necking* sendiri merupakan fenomena dimana material yang diberikan yang sudah mencapai dan melewati batas dari UTS (*Ultimate Tensile Strength*) atau kekuatan maksimum material. *Ultimate tensile strength* (UTS) sering disingkat menjadi *tensile strength* (TS) atau *ultimate strength*, adalah tegangan maksimum yang material dapat menahan saat sedang diregangkan atau ditarik sebelum gagal atau melanggar. Kekuatan tarik adalah tidak sama dengan kuat tekan dan nilai-nilai bisa sangat berbeda.

Regangan adalah pertambahan panjang suatu benda terhadap panjang mula-mula yang disebabkan oleh adanya gaya luar yang mempengaruhi benda. Regangan

dapat diartikan juga sebagai ukuran perubahan dimensi yang terjadi akibat tegangan. Material meregang tentunya secara skala partikel atom bergerak namun belum mengalami deformasi partikel. Sehingga tidak akan berpotensi mengubah bentuknya.



**Gambar 2.12** Hasil Uji tarik dalam mencari nilai Modulus Young

Modulus Young, disebut juga dengan modulus tarik adalah ukuran kekakuan suatu bahan elastis yang merupakan ciri dari suatu bahan. Modulus Young dapat diartikan sebagai rasio tegangan dalam sistem koordinat Kartesius terhadap regangan sepanjang aksis atau sumbu x pada jangkauan tegangan di mana hukum Hooke berlaku. Dalam mekanika benda padat, kemiringan (*slope*) pada kurva tegangan-regangan pada titik tertentu disebut dengan modulus tangen. Modulus tangen dari kemiringan linear awal disebut dengan modulus Young. Nilai modulus Young bisa didapatkan dalam eksperimen menggunakan uji kekuatan tarik dari

suatu bahan. Pada bahan anisotropis, modulus Young dapat memiliki nilai yang berbeda tergantung pada arah di mana bahan diaplikasikan terhadap struktur bahan yang diamati [17]:

Dalam melakukan analisis tegangan dan regangan, atau disebut sebagai sifat mekanik material, didapatkan istilah mengenai Teori Dislokasi. Dislokasi adalah cacat linier dalam struktur kristal di mana tatanan atomik terganggu atau terputus. Teori dislokasi menjelaskan bagaimana pergerakan dan interaksi dislokasi mempengaruhi sifat mekanik dan perilaku deformasi material. Dalam teori dislokasi, densitas dislokasi memiliki peran penting. Densitas dislokasi mengacu pada jumlah dislokasi per unit volume material. Densitas dislokasi dapat dinyatakan dalam jumlah dislokasi per satuan luas pada permukaan dislokasi (densitas permukaan) atau jumlah dislokasi per unit volume (densitas volume) [16].

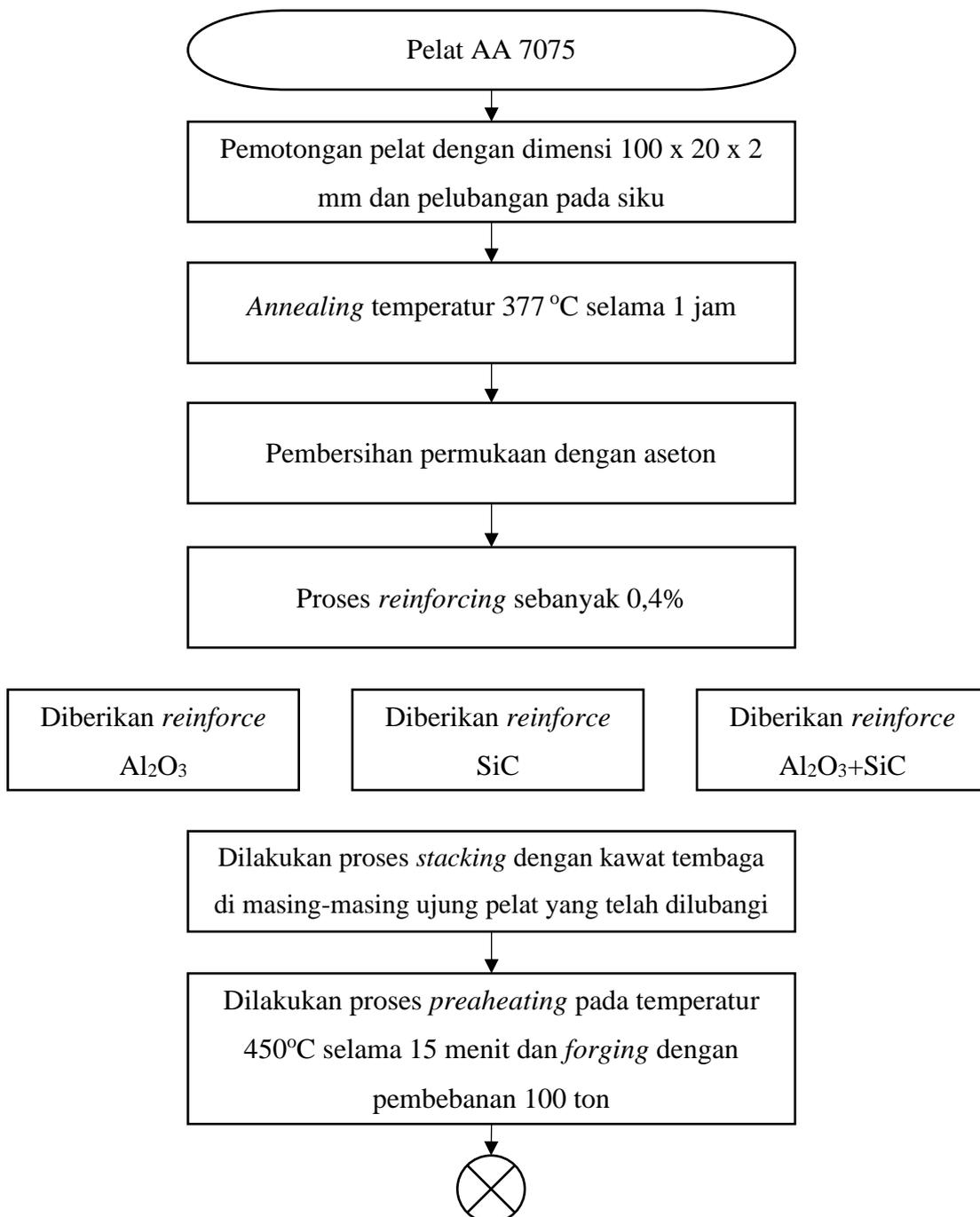
Densitas dislokasi juga dapat mempengaruhi rekristalisasi dan pertumbuhan butir. Densitas dislokasi yang tinggi memicu rekristalisasi lebih cepat dan pertumbuhan butir yang signifikan karena dislokasi bertindak sebagai awal keretakan dan mendorong perubahan mikrostruktur material.

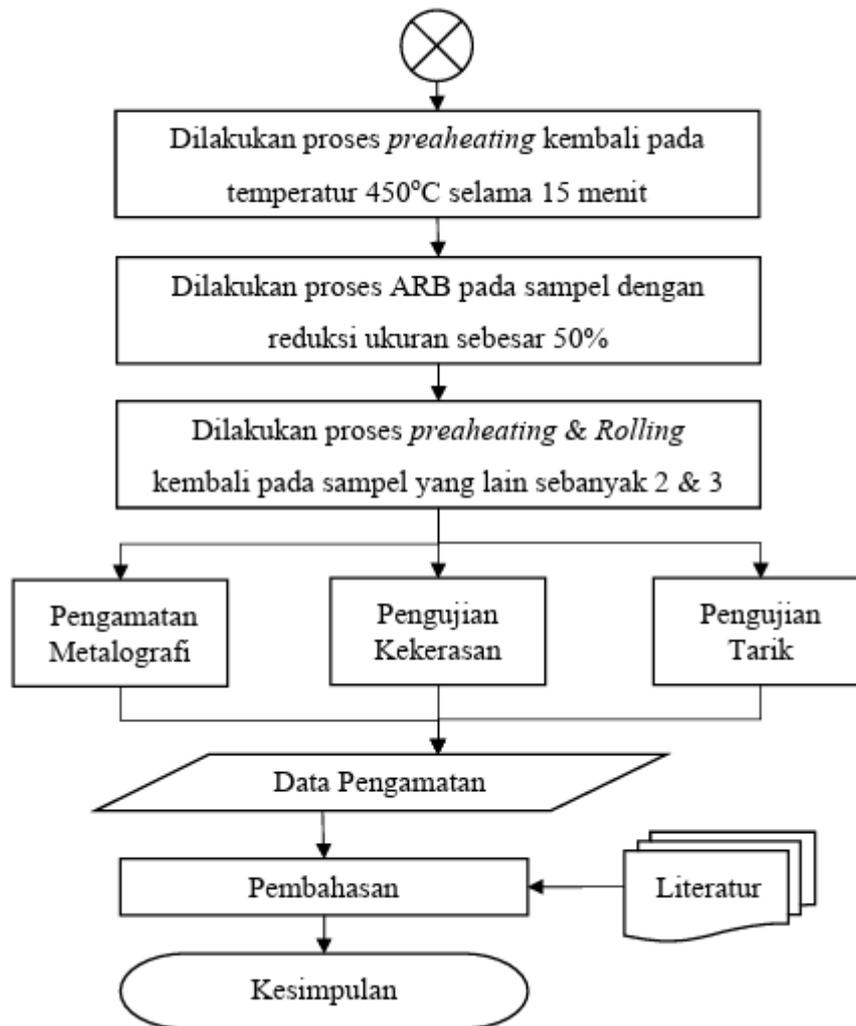
## BAB III

### METODE PERCOBAAN

#### 3.1 Diagram Alir

Dalam penelitian ini terdapat diagram alir yang akan menunjukkan dan menjabarkan tahapan penelitian berikut pada Gambar 3.1 diagram alir, yaitu





**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

## 3.2 Alat dan Bahan

### 3.2.1 Alat-alat yang Digunakan

Berikut ini adalah alat-alat yang akan digunakan untuk melakukan penelitian ini, yaitu Meliputi:

1. Gelas Ukur
2. Gergaji Besi
3. Grinda
4. Kain Majun

5. Masker
6. Mesin Bor
7. Mesin Canai (*Rolling*)
8. Mesin poles
9. Mesin Potong
10. Mesin uji kekerasan
11. Mesin uji tarik
12. Mikroskop
13. Mistar dan jangka sorong
14. *Muffle Furnace*
15. Neraca Teknis
16. Pengering
17. Penjepit
18. Ragum
19. Sarung tangan Termal
20. Sikat Kawat
21. Spidol
22. *Tools Steels*
23. Wadah plastik dan kaca

### **3.2.2 Bahan-bahan yang Digunakan**

Berikut ini adalah bahan-bahan yang akan digunakan untuk melakukan penelitian ini yaitu:

1. Amplas berukuran 100#,200#,400#,800#,dan 1200#
2. Aquades
3. Cairan pembersih/Aseton.
4. *Hardener*
5. Kawat Tembaga
6. Larutan etsa (NaOH 10 gra)
7. Pasta Alumina
8. Pelat Alumunium seri 7075, 1 mm ukuran 30 x 120 cm

9. Resin
10. Serbuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$
11. Serbuk SiC

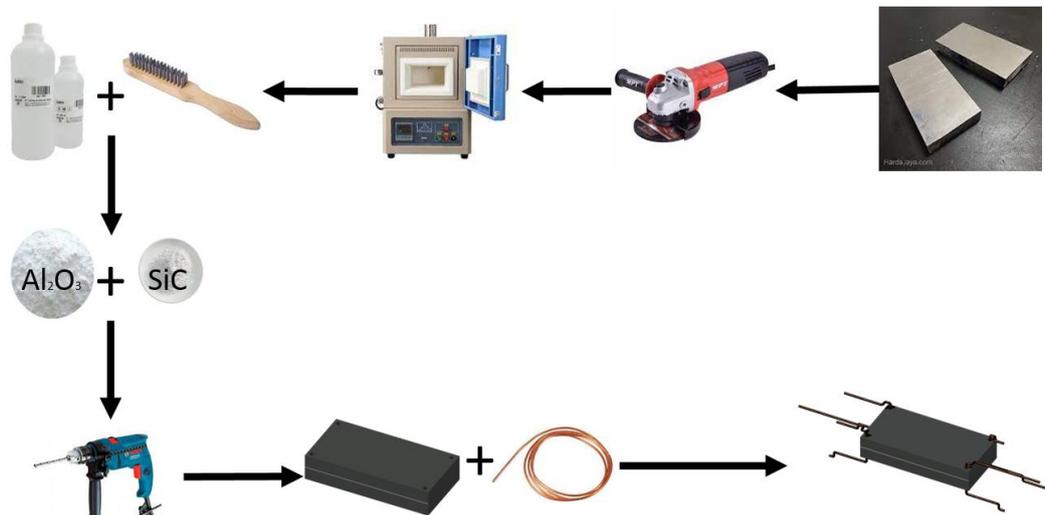
### 3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian akan dilakukan melalui tahap-tahap berikut:

#### 3.3.1 Prosedur Preparasi Sampel

Sebelum diproses, *specimen* harus dilakukan preparasi terlebih dahulu agar mendapatkan hasil yang lebih optimal, adapun langkah-langkahnya sebagai berikut :

1. Pelat Aluminium dipotong dengan dimensi akhir 100 x 20 x 2 mm sebanyak 3 pasang (6 pelat) untuk masing-masing seri aluminium dan dilubangi disetiap sikunya dengan diameter 2 mm.



**Gambar 3.2** Proses Preparasi Material

2. Spesimen di-*annealing* dengan temperatur kerja  $377^\circ\text{C}$  selama 1 jam, bertujuan untuk mengurangi tegangan sisa yang dihasilkan

akibat dari pemotongan pada proses sebelumnya.

3. Permukaan spesimen dibersihkan dengan sikat kawat secara searah lalu dibersihkan kembali dengan aseton yang dituangkan di kain majun.
4. Serbuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , SiC dan *hybrid* ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiC}$ ) ditaburkan secara merata diantara dua lapisan pada tiap pasang pelat dengan komposisi 0,4% Vf.
5. Spesimen yang telah diberikan serbuk *reinforce* diberi ikatan pada setiap sudutnya yang telah dilubangi menggunakan kawat tembaga (*stacking*).

### **3.3.2 Proses Forging**

Setelah tahapan preparasi spesimen selesai dilakukan, proses selanjutnya yaitu pembenaman partikel *reinforce* menggunakan mesin *forging*, sebelum masuk selanjutnya kepada proses *rolling*. Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Spesimen dilakukan *pre-heating* dengan temperatur  $450^\circ\text{C}$  dengan waktu tahan selama 15 menit.
2. Spesimen dilakukan proses *forging* dengan pembebanan sebesar 50 tons.

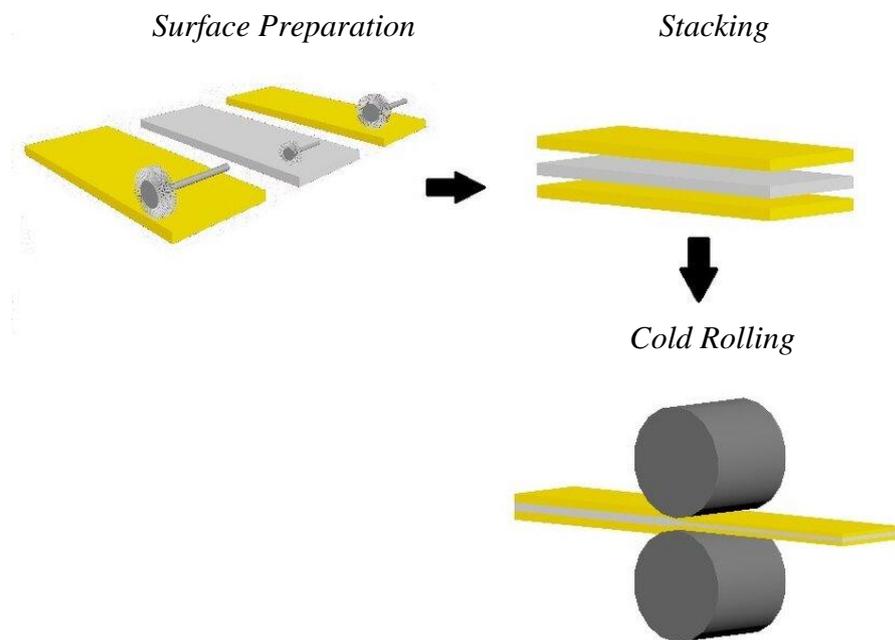


**Gambar 3.3** Mesin *forging*

### **3.3.3 Proses *Accumulative Roll Bonding* (ARB)**

Proses selanjutnya yaitu proses ARB, sebelumnya pastikan terlebih dahulu jarak antara silinder bawah dan atas mesing *rolling* berjarak (*gap*) 50% dari ketebalan awal spesimen, kemudian nyalakan mesin, setelah itu dapat dilakukan tahapan sebagai berikut:

1. Spesimen di *pre-heating* kembali di temperatur kerja 450°C dan ditahan selama 15 menit.
2. Spesimen dilakukan proses *rolling* atau ARB dengan 50% reduksi dari ketebalan awal, kemudian dibiarkan dingin dengan media udara.
3. Dilakukan proses *pre-heating* dan *rolling* dengan 2 siklus dan 3 siklus *rolling* pada masing-masing jenis penguat.



**Gambar 3.4** Skema Ilustrasi Proses ARB

### 3.3.4 Pengamatan Metalografi

Pengamatan metalografi bertujuan untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk pada komposit AA 7075 dengan metode ARB yang sudah dilakukan. Pengamatan metalografi dilakukan dengan mikroskop optik NIKON ECLIPSE LV150 pada laboratorium pengujian PT. Dirgantara Indonesia. Tahapan metalografi yang dilakukan pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

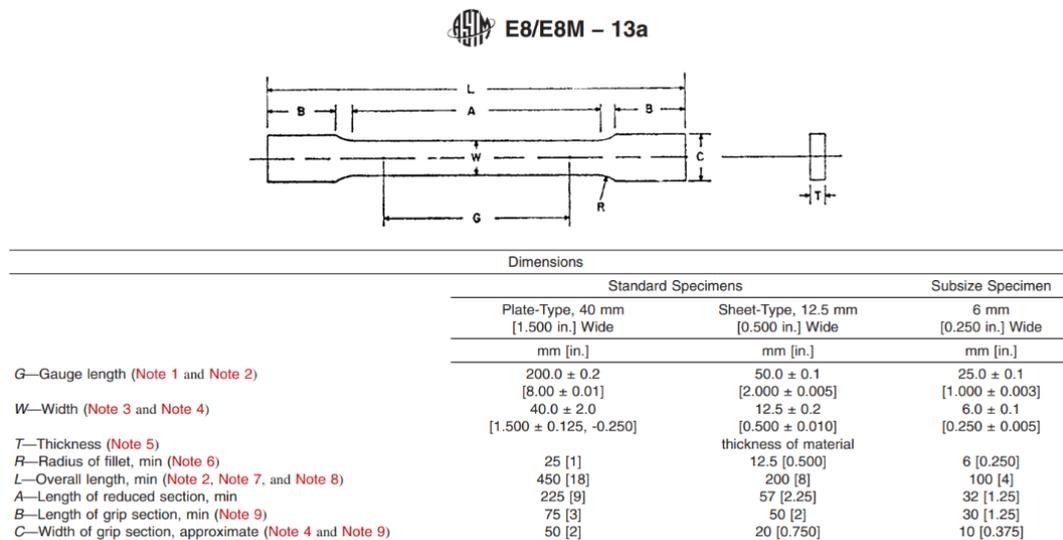


**Gambar 3.5** Mikroskop

1. Spesimen yang sudah melalui proses ARB dipotong kemudian dilakukan *mounting* dengan tampak sisi *cross section*, sebagai preparasi sebelum metalografi. *Mounting* menggunakan bakelit atau biasa disebut *resin*.
2. Setelah *mounting* kemudian dilakukan *grinding*, grinding pada sisi *cross section* dilakukan dengan tahap tingkat kekerasan ampelas 100#; 120#; 240#; 320#; 400#; 600#; 800#; 1000#; 1200#; 1500#; 3000#; 5000#.
3. Jika permukaan sudah mengkilap dilakukan *polishing* dengan cairan pasta alumina dan *etching* menggunakan larutan *keller's reagent*. Kemudian dilakukan pengamatan struktur mikro yang dihasilkan dari proses ARB pada sisi *cross section* dengan mikroskop optik.

### 3.3.5 Pengujian Tarik

Uji tarik bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan bahan terhadap gaya tarik yang diberikan. Proses ini dilakukan di laboratorium pengujian material PT. Dirgantara Indonesia, Bandung. Spesimen yang akan dilakukan uji tarik dipotong terlebih dahulu dengan dimensi sesuai standar ASTM E8 yang ditunjukkan pada Gambar 3.6 berikut:



**Gambar 3.6** Standar Sampel Untuk Uji Tarik ASTM E8



**Gambar 3.7** Mesin Uji Tarik

Prosedur pengujian tarik terhadap spesimen adalah sebagai berikut:

1. Preparasi spesimen uji tarik sesuai dengan standar yang digunakan.
2. Meletakkan spesimen pada *grip* dengan benar.
3. Melakukan uji tarik dengan menekan tombol *start*.
4. Pengujian dilakukan sampai spesimen putus.
5. Melepaskan sampel dari *grip*.

### **3.3.6 Pengujian Kekerasan (*Vickers*)**

Pengujian kekerasan bertujuan untuk menentukan nilai kekerasan atau ketahanan suatu material terhadap indentasi. Dalam penelitian ini uji kekerasan dilakukan menggunakan alat *Vickers* tipe ZWICK ROELL.

Langkah-langkah yang dilakukan antara lain sebagai berikut:



**Gambar 3.8** Mesin Uji Kekerasan *Vickers*

1. Memotong sampel sesuai kebutuhan
2. Pengamplasan spesimen serta dipoles dengan serbuk intan
3. Menentukan titik-titik pada spesimen yang akan diuji.
4. Pengujian dilakukan pada 5 titik yang berbeda untuk mendapatkan data yang akurat.
5. Sampel diletakkan pada *holder* dan dilakukan pengujian *vickers*.
6. Pembebanan terhadap spesimen sebesar 100 gram dengan menekan tombol *load*.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Hasil Penelitian

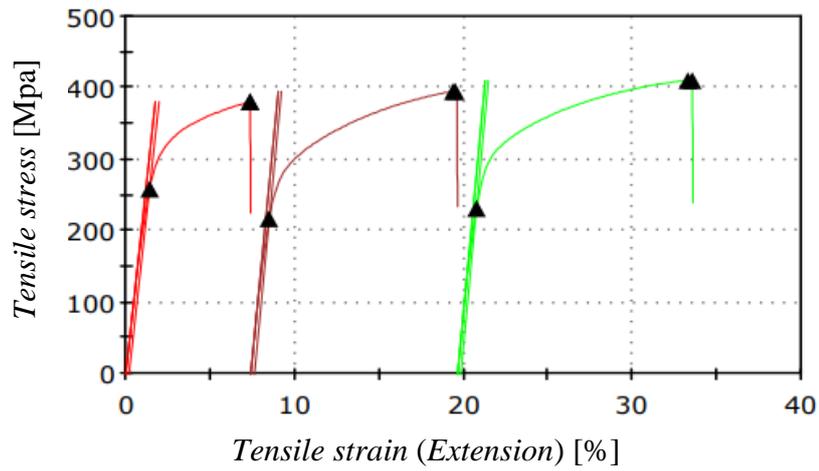
Pada penelitian ini komposit matrik logam menggunakan *Aluminium Alloy* (AA) seri 7075 menggunakan metode ARB dengan variasi jenis penguat  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , SiC, dan *hybrid* ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiC}$ ) dan juga variasi jumlah siklus pengerolan 1, 2, dan 3 kali. Data hasil pengujian tarik dan pengujian kekerasan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Data Hasil Uji Tarik dan Kekerasan

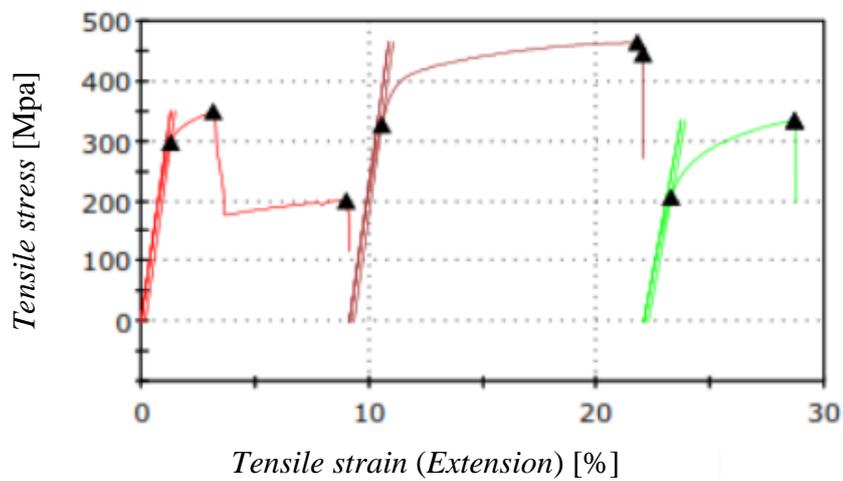
Jumlah Siklus	Reinforce	UTS (MPa)	Microhardness (HV)	Elongation (%)
1	$\text{Al}_2\text{O}_3$	380,55	117,49	5,93
	SiC	394,89	136,86	11
	<i>Hybrid</i>	410,39	141,16	12,73
2	$\text{Al}_2\text{O}_3$	349,74	150,39	7,7
	SiC	464,32	161,45	11,46
	<i>Hybrid</i>	334,63	141,9	5,39
3	$\text{Al}_2\text{O}_3$	341,51	134,79	8,46
	SiC	280,35	127,56	4,76
	<i>Hybrid</i>	394,69	139,71	11,8

## 4.2 Pembahasan

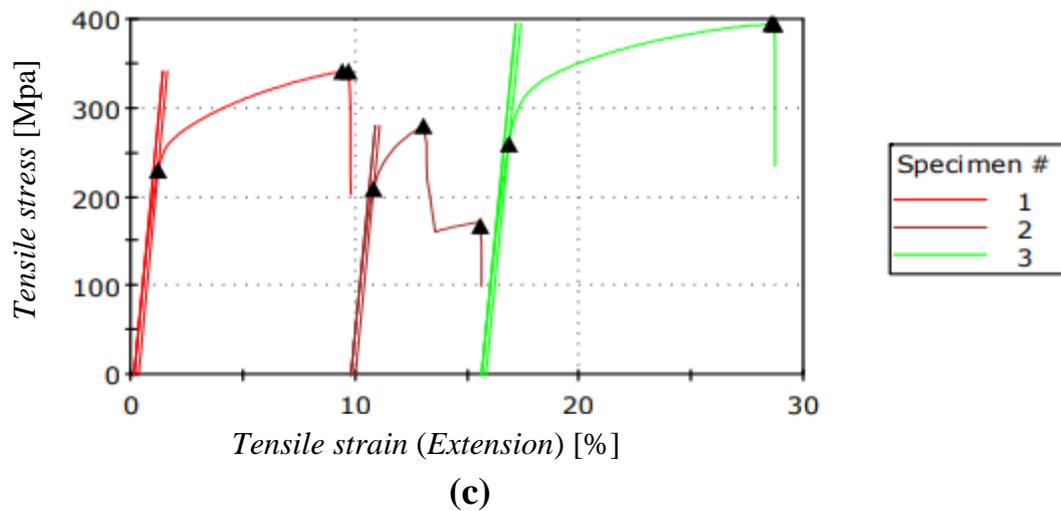
### 4.2.1 Pengaruh Penguat Terhadap Kuat Tarik



(a)



(b)



**Gambar 4.1** Kurva *Stress vs Strain* Variasi 1 Siklus

(a), 2 Siklus (b), dan 3 siklus (c)

Dapat dilihat pada Gambar 4.1 bahwa sampel dengan variasi 1 siklus menghasilkan kenaikan nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) yang cukup signifikan dari nilai UTS *standard* paduan AA 7075 sebesar 220 MPa menjadi 410,39 MPa untuk penguat *hybrid*, kemudian diikuti dengan penguat SiC dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang berturut-turut bernilai 394,89 MPa dan 380,55 MPa dari ketiga penguat yang digunakan pada percobaan 1 siklus pengerolan menghasilkan kenaikan nilai UTS dari nilai UTS *standard* AA 7075. Kemudian pada sampel dengan variasi 2 siklus pengerolan, nilai UTS masing-masing sampel mengalami kenaikan yang signifikan dimana nilai tertinggi sebesar 464,32 MPa dengan penguat SiC, dan diikuti dengan penguat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan *Hybrid* dengan nilai berturut-turut 349,74 MPa dan 334,63 MPa. Kemudian pada percobaan dengan variasi 3 siklus pengerolan menghasilkan nilai UTS tertinggi sebesar 394,69 MPa dengan penguat *hybrid*, dilanjutkan dengan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan SiC berada di bawahnya dengan nilai 341,51 MPa dan 280,35 MPa.

Pada semua sampel yang dilakukan pengujian Tarik mengalami peningkatan nilai UTS dengan nilai persen elongasi rata-rata sebesar 8,8% terhadap semua sampel, hal ini sesuai dengan nilai persen elongasi dari teori rata-rata sebesar 10% untuk material AA 7075 (ASTM B209, 2014), Peningkatan nilai UTS tertinggi dihasilkan pada sampel dengan variasi 2 siklus dengan penguat SiC sebesar 464,32 MPa, hal ini disebabkan karena dislokasi yang meningkat karena adanya mekanisme *strain hardening* yang dihasilkan setelah adanya proses *forging* dan *rolling* [18]. Dimana *strain hardening* merupakan salah satu mekanisme penguatan yang dihasilkan dari proses ARB [24]. Mekanisme ini terjadi karena adanya deformasi plastis yang dihasilkan saat proses ARB, sehingga mengakibatkan distorsi kisi yang akan membuat dislokasi bergerak dan terjadi penumpukan dislokasi [18]. Selain mekanisme *strain hardening*, terdapat mekanisme penguatan lainnya yang memiliki kontribusi penting pada material komposit, yaitu adanya dispersi partikel keramik ( $Al_2O_3$  dan SiC). Mekanisme ini menjelaskan bagaimana penguatan terjadi karena disperse partikel yang menyebabkan penumpukan dislokasi (*Orowan looping*) disekitar partikel [25]. Dispersi partikel merupakan mekanisme penguatan yang efektif, dimana penumpukan dislokasi ini secara efektif mengurangi jarak partikel rata-rata dan meningkatkan tegangan yang diperlukan untuk pergerakan dislokasi berikutnya [16]. Kontribusi lain dari partikel partikel untuk mekanisme penguatan juga muncul dari perbedaan dalam sifat yang dihasilkan dari matriks dan partikel. Karena partikel tidak dapat terdeformasi dan matriks berubah bentuk secara plastis, akan terjadi perbedaan nilai regangan yang dihasilkan antara partikel dan matriks [23]. Perbedaan nilai regangan ini

menyebabkan pertumbuhan kembali dislokasi secara geometris pada matriks (antarmuka partikel-matriks) [16].

Dari hasil kurva uji tarik (Gambar 4.1) dapat kita lihat bahwa pada masing-masing variasi jumlah lapisan memiliki nilai UTS tertinggi dengan jenis penguat yang berbeda-beda. Pada sampel dengan variasi 2 siklus, sampel dengan penguat SiC memiliki nilai kuat tarik tertinggi, hal ini karena penambahan SiC dapat meningkatkan densitas dislokasi [18], kemudian berdasarkan sifat mekanik dari masing-masing penguat yang digunakan, penguat SiC menghasilkan nilai kekerasan dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan  $Al_2O_3$  [21]. Pertambahan SiC sebagai penguat juga dapat meningkatkan kekerasan material dikarenakan SiC memiliki kemampuan ikatan (*bonding*) yang kuat dan tidak mudah mengalami pergeseran, sehingga dapat meningkatkan kekuatan *bonding* antara matriks dengan penguatnya [3]. Hasil yang dihasilkan sesuai dengan teori dimana nilai kekerasan yang dihasilkan terbesar diperoleh pada sampel 2 siklus dengan penguat SiC dengan nilai sebesar 161,45 HV.

Pada keseluruhan sampel, sampel dengan penguat SiC memiliki nilai UTS tertinggi dibanding penguat  $Al_2O_3$  dan *hybrid* pada 1 dan 2 siklus pengerolan, berdasarkan hal tersebut, penggunaan partikel penguat SiC sangat efektif sebagai penguat, namun keektifannya menurun pada pengerolan 3 siklus, Hal ini dapat disebabkan oleh *fatigue* material aluminium AA 7075 setelah mengalami banyak siklus pengerolan, semakin banyak pengerolan dapat menyebabkan *fatigue* terhadap material yang diberi pembebanan secara berulang-ulang.

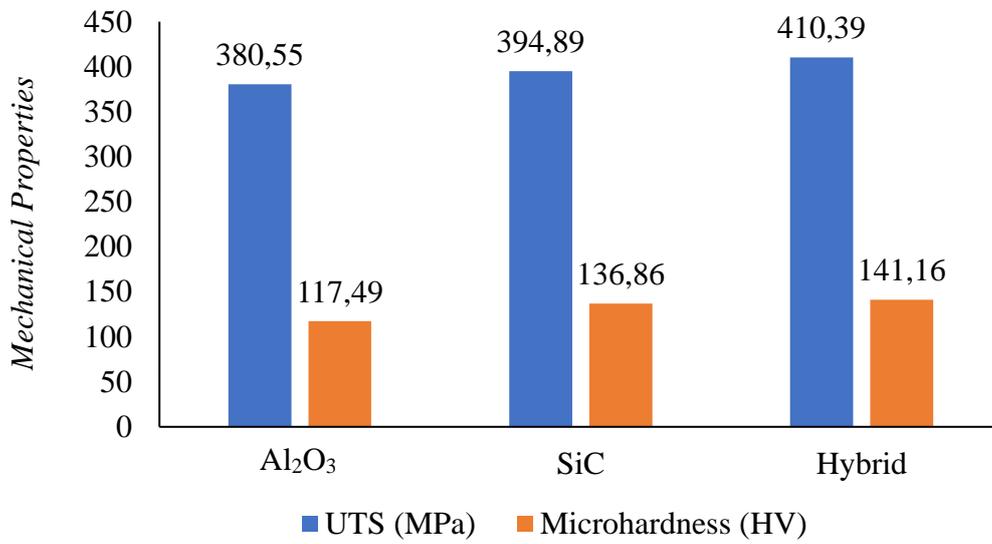
#### 4.2.2 Pengaruh Penguat Terhadap Nilai Kekerasan

Pengujian kekerasan memperlihatkan hasil peningkatan kekerasan sebelum dan setelah prose *Accumulative Roll Bonding*. Nilai kekerasan ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut:

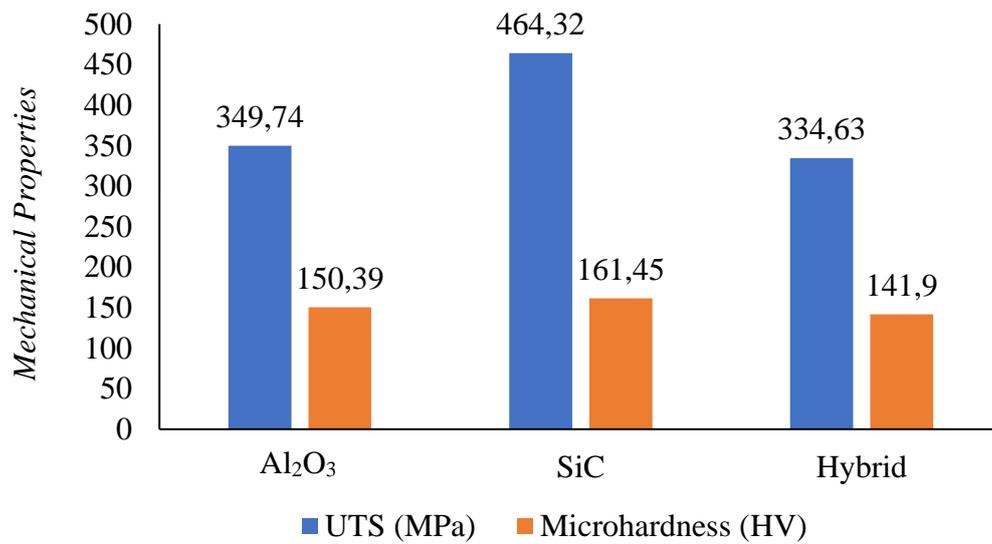
**Tabel 4.2** Nilai Kekerasan Komposit AA 7075 setelah proses ARB

<b>Jumlah Siklus</b>	<b><i>Reinforce</i></b>	<b><i>Microhardness</i> (HV)</b>
1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	117,49
	SiC	136,86
	<i>Hybrid</i>	141,16
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	150,39
	SiC	161,45
	<i>Hybrid</i>	141,9
3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	134,79
	SiC	127,56
	<i>Hybrid</i>	139,71

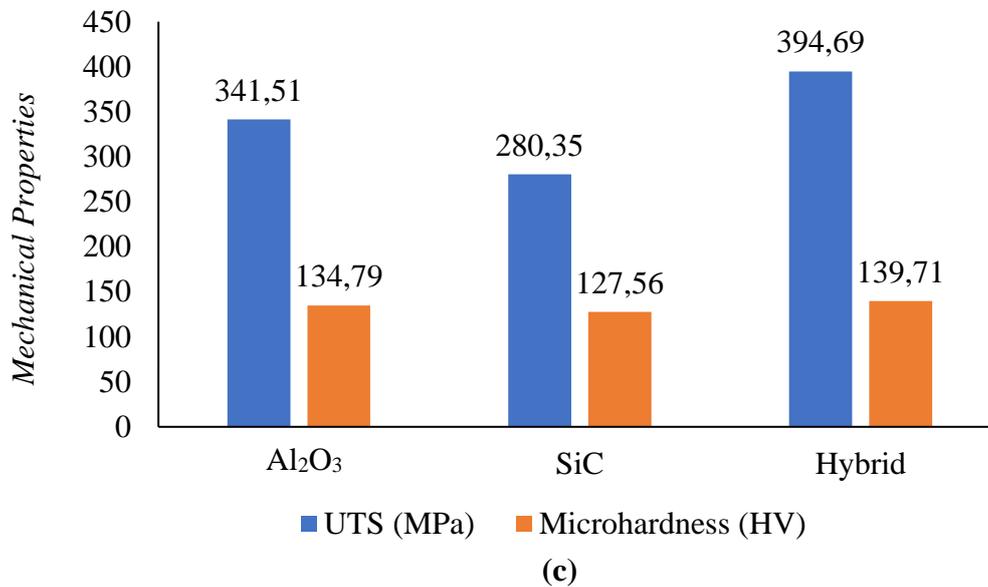
Selanjutnya dilakukan perbandingan dengan mem-plot grafik nilai kekerasan (HV) yang dihasilkan dan nilai kuat tarik (UTS) untuk masing-masing siklus pengerolan yang dilakukan, hal ini bertujuan untuk memvalidasi hasil dari pengujian kuat tarik, karena pada dasarnya penambahan partikel *reinforce* dapat meningkatkan nilai kekerasan pada material komposit.



(a)



(b)



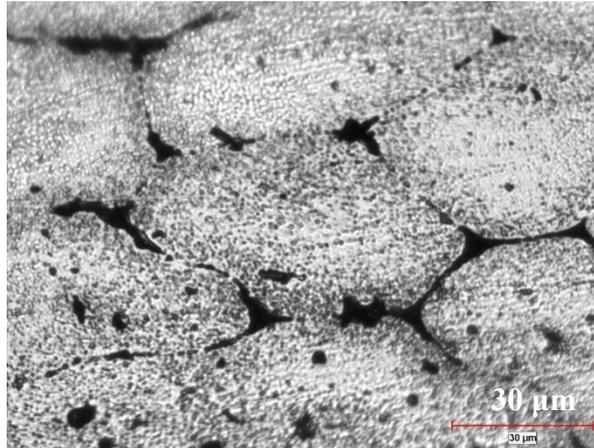
**Gambar 4.3** Grafik Perbandingan UTS dan Kekerasan 1 siklus (a), 2 siklus (b), dan 3 siklus (c) ARB

Pada Gambar 4.3 di atas nilai UTS tiap sampel yang diperoleh dilakukan perbandingan dengan nilai kekerasan yang didapatkan dengan membuat plot grafik *double axis* antara penguat (*reinforce*) terhadap nilai UTS dan nilai kekerasan untuk semua variasi jumlah siklus pengerolan (1, 2, dan 3 siklus). Untuk hasil nilai kekerasan tertinggi dihasilkan pada komposit AA 7075 dengan penguat SiC pada 2 kali siklus pengerolan dengan nilai kekerasan sebesar 161,45 HV. Dapat disimpulkan pada Gambar 4.3 bahwa seiring dengan meningkat atau menurunnya nilai UTS berbanding lurus dengan nilai kekerasan yang diperoleh. Hal ini penting bahwa dalam penelitian ini penguatan komposit tidak hanya berasal dari hasil mekanisme yang disebutkan diatas, tetapi juga dapat dipengaruhi oleh peran jenis partikel penguat dalam matriks aluminium. Keseragaman partikel dalam matriks, dan juga kondisi ikatan antar aluminium sendiri dengan partikel penguatnya.

Nilai kekerasan yang dihasilkan pada setiap siklus pengerolan untuk setiap jenis penguat mengalami kenaikan dengan seiring bertambahnya jumlah siklus pengerolan, namun saat siklus pertama pengerolan, nilai kekerasan yang dihasilkan tidak begitu signifikan, hal ini dapat terjadi karena partikel penguat belum memberikan pengaruh yang signifikan, dikarenakan pada siklus pertama masih menyisakan cukup banyak porositas yang disebabkan oleh pergeseran partikel penguat karena adanya gaya tarik dari proses pengerolan [3]. Dengan kata lain berkurangnya porositas dapat meningkatkan nilai kekerasan yang dihasilkan [22]. Nilai kekerasan yang dihasilkan mengalami penurunan pada saat 3 kali siklus pengerolan dibandingkan dengan siklus kedua, hal ini dapat disebabkan beberapa faktor, antara lain, keseragaman partikel dalam matriks, dan juga kondisi ikatan antar aluminium sendiri dengan partikel penguatnya, namun nilai kekerasan tetap dikatakan mengalami kenaikan jika dibandingkan aluminium monolitik AA 7075 itu sendiri.

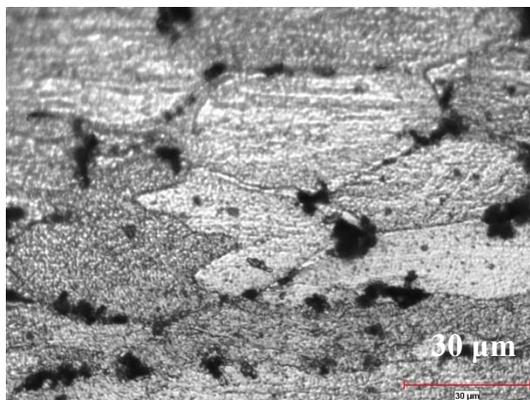
#### **4.2.3 Pengaruh Penguat Terhadap Struktur Mikro**

Pengamatan dengan mikroskop optic dilakukan untuk mengetahui ikatan yang terbentuk antara penguat dengan matriks, atau yang lebih dikenal dengan *interface*. Didapatkan beberapa gambar pada material yang mewakili hasil dari proses pengamatan morfologi. Hasil tersebut dapat dilihat pada beberapa Gambar di bawah ini:



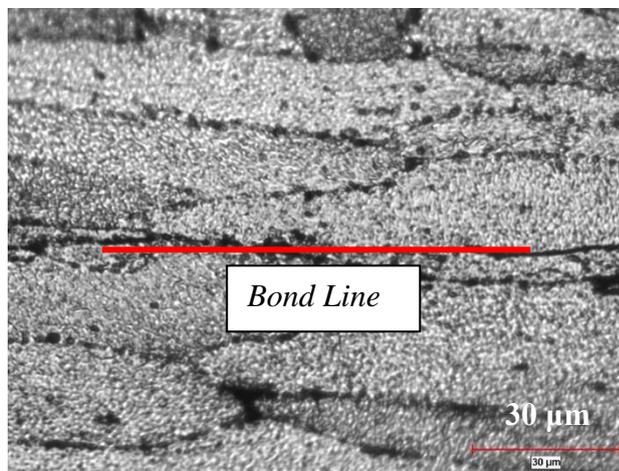
**Gambar 4.4** Morfologi 1 Siklus Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 500x

Dapat dilihat pada Gambar 4.4 dimana morfologi logam dengan 1 siklus penguat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cenderung banyak memiliki void dan *microcrack*. Jika partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tidak didistribusikan dengan merata di dalam lapisan komposit, maka daerah-daerah yang kaya partikel mungkin mengalami tegangan yang lebih tinggi saat digulung, yang dapat memicu pembentukan retakan. Selain itu, Gaya antarmuka (*interface*) antara partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan matriks baja mungkin memiliki kekuatan yang lebih rendah, menyebabkan retakan atau void lebih mudah terbentuk di sekitar antarmuka ini.



**Gambar 4.5** Morfologi 1 Siklus SiC

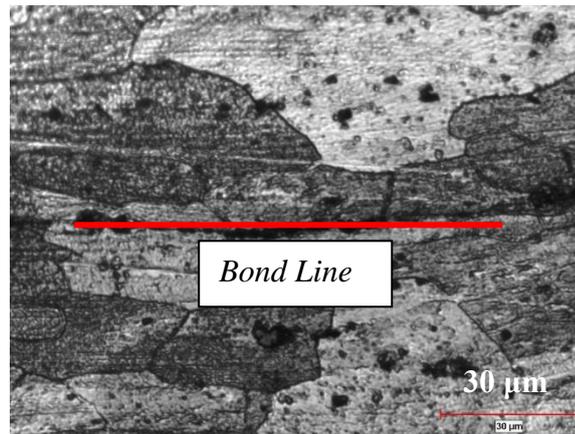
Selanjutnya dilakukan analisa pada Gambar 4.5 dimana terdapat bentuk matiks dan penguat SiC. Dapat dilihat pada Gambar 4.5 bahwa terdapat beberapa daerah dengan kontras warna yang berbeda. SiC memiliki daya pantul yang lebih tinggi daripada logam, yang dapat menyebabkan kontras warna. Penambahan partikel SiC pada logam dapat menciptakan kontras warna akibat perbedaan dalam reflektifitas kedua bahan tersebut.



**Gambar 4.6** Morfologi 1 Siklus *Hybrid*

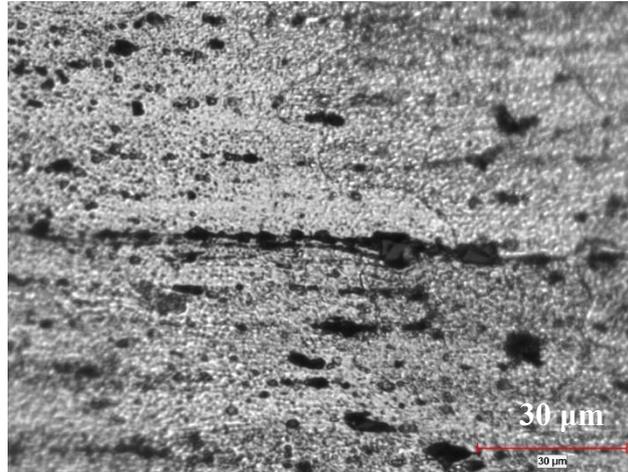
Morfologi dari interface pada material komposit dengan metode ARB dapat mempengaruhi sifat mekanik yang dihasilkan, hal ini dikarenakan morfologi menginterpretasikan sempurna atau tidaknya ikatan yang dihasilkan antara penguat dengan matriks. Pada Gambar 4.6 di atas didapatkan hasil bahwa dengan komposit hybrid, bentuk mikrostruktur cenderung lebih terdistribusi merata apabila dibandingkan dengan hanya menggunakan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ataupun SiC. Hasil ini mengindikasikan bahwa morfologi dari antarmuka pada komposit hybrid memiliki karakteristik yang lebih homogen, di mana partikel penguat terdistribusi lebih

merata dalam matriks logam. Morfologi antarmuka dalam komposit hasil ARB dapat memberikan pandangan visual yang penting mengenai kualitas ikatan antara matriks dan penguat. Distribusi yang merata dalam komposit hybrid menunjukkan potensi untuk meningkatkan ketahanan dan kinerja mekanik keseluruhan dari material tersebut.



**Gambar 4.7** Morfologi 2 Siklus Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

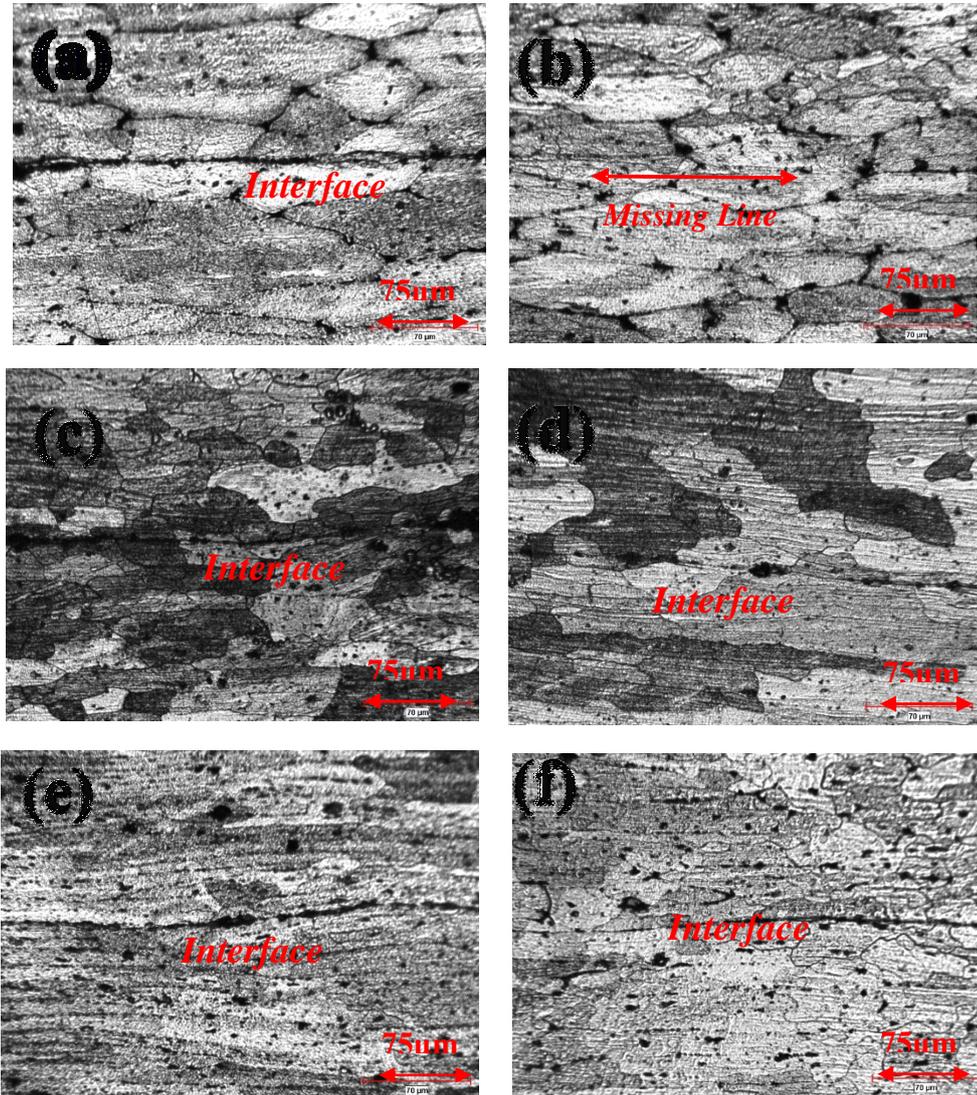
Pada gambar 4.7 di atas didapatkan hasil dari morfologi 2 siklus dengan penguat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Dari gambar dapat dilihat bahwa batas butir cenderung menghilang dan butir cenderung menghalus. Hal ini sesuai literatur dimana peningkatan siklus ARB akan menghasilkan *grain refinement* dengan berkurangnya ukuran butir [19]. Selain itu, kontras perbedaan antara antarmuka bond line tidak terlihat berbeda secara signifikan.



**Gambar 4.8** Morfologi 3 Siklus Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Pada Gambar 4.8 didapatkan hasil dari 3 siklus pengerolan ARB dengan penguat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Dari gambar ini dapat dihasilkan bahwa distribusi sangat homogen dan tidak terlihat perbedaan yang signifikan antara matriks dengan penguat. Selain itu, didapatkan pula bahwa batas butir cenderung menghilang apabila dibandingkan dengan proses yang melibatkan 2 siklus. Kondisi *grain refinement* menghasilkan UFG dengan hilangnya batas butir ataupun batas butir yang menipis pada daerah *interface*. Hal ini dapat meningkatkan sifat mekanik dari material.

Selanjutnya dilakukan komparasi mengenai hasil mikrostruktur secara bertahap terhadap sifat mekanik yang dihasilkan, baik dari bentuk visual ataupun analisa fenomena yang terjadi. Dari beberapa gambar di atas, dirangkumlah menjadi satu buah gambar yang dapat dilihat sebagai komparasi atau perbandingan.



**Gambar 4.9** Komparasi *Interface* Komposit 1 siklus (a)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , (b) SiC, 2 siklus (c)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , (d) *Hybrid*, 3 siklus (e)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , (f) *Hybrid*.

Sampel dengan 1 siklus pengerolan dengan penguat SiC mengalami fenomena *missing line*. *Missing Line* merupakan fenomena hilangnya garis *interface* antara matriks dengan penguat karena adanya ikatan yang sempurna akibat proses pengerolan. Fenomena ini dapat mengakibatkan sifat mekanik yang dihasilkan menjadi lebih tinggi dari nilai mekanik awalnya [20]. Terbentuknya

*missing line* menyebabkan penumpukan dislokasi akibat adanya ikatan antara matriks dan juga penguat, sehingga diperlukan tegangan yang lebih besar pada bagian tersebut untuk bisa terdeformasi. Selain itu tingginya hasil kuat tarik sampel dibuktikan juga dengan pengukuran *gap interface*, sebagai contoh sampel pada Gambar 4.9c dengan penguat  $\text{Al}_2\text{O}_3$  memiliki nilai *gap interface* 1,63  $\mu\text{m}$  yang dimana nilai kuat tarik yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan sampel pada Gambar 4.9d, sedangkan sampel pada Gambar 4.4d dengan penguat *hybrid* memiliki nilai *gap interface* sebesar 8,2  $\mu\text{m}$ , hal ini sesuai dengan teori dimana semakin kecil rendah *gap interface* maka kuat tarik yang dihasilkan akan semakin tinggi [20]. Pada Gambar 4.9e permukaan cenderung memiliki bentuk yang lebih kasar seperti *scratch* namun dengan ukuran butir yang hampir tidak terdeteksi. Selain itu, untuk Gambar 4.9f dimana merupakan komposit *hybrid* menghasilkan butir yang sangat halus.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian ini meliputi beberapa hal, berikut ini diantaranya:

1. Nilai Kekerasan material dengan mempertimbangkan penguat atau *reinforce* yang terkeras adalah Hybrid. Jika memperhatikan aspek siklus, semakin banyak siklus maka semakin menurun kekerasannya pada permukaan. Namun tidak berlaku pada bagian *Cross Section* yang dimana siklus meningkat beriringan dengan kekerasannya.
2. Dari ketiga siklus dapat disimpulkan material dengan satu siklus akan lebih unggul. Nilai dari rata-rata berdasarkan siklus pada masing-masing material ARB satu siklus, dua siklus, dan tiga siklus berikut adalah 382,89 MPa, 338,85 MPa, dan 379,9 MPa. Dengan hanya memperimbangan penguat, maka penguat atau *reinforce* bubuk Hybrid dapat menjadi yang terunggul berdasarkan dari nilai UTS yang mencapai 379,9 MPa.
3. Material ARB secara pengamatan visual mampu bergabung walaupun terdapat bubuk sebagai penguat. Hasil pengamatan metalografi menunjukkan material mampu bergabung dan juga membentuk ikatan antar permukaan.

## **5.2 Saran**

Saran yang dapat dilakukan sebaiknya mengenai penelitian ini yaitu diantaranya:

1. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan mempertimbangkan hasil kemampuan material ARB seperti pengaplikasian di dalam dunia industri dan otomotif.
2. Pengembangan variabel, seperti pengaruh dari ketebalan alumunium, pengaruh dari perbedaan paduan alumunium, dan pengaruh dari variasi bubuk lain terhadap hasil setelah proses dengan metode ARB.
3. Mengembangkan pengkajian melalui penelitian mengenai proses ARB, misalkan dengan menambah metode ujicoba dan juga pengamatan seperti tes ultrasonik dan test radiografi untuk mengetahui porositas. Kemudian uji balistik untuk mengetahui sifat mekaniknya terkhusus jika ingin dikembangkan dalam dunia militer.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pramono, A. (2008). Komposit Sebagai Trend Teknologi Masa Depan. *Untirta. Cilegon.*
  
- [2] Adel, Shehata., Samy,J., Ahmed, M.,(2018), *Optimization of EDM process parameters for Al-SiC reinforced metal matrix composite, International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR) ISSN: 2321-0869 (O) 2454-4698 (P) Volume-8, Issue-2.*
  
- [3] Pramono. A (2015), *perlakuan panas paduan aluminium berbutir halus ultrafine grained hasil teknologi severe plastic deformation, TEKNIKA Jurnal Sains dan Teknologi, vol 14 No 02.*
  
- [4] Rezayat, M, (2012), *Fabrication of aluminium matrix composites reinforced by submicrometre and nanosize Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> via accumulative roll bonding. Material science and technolog, vol 03 No.11, halaman 1233.*
  
- [5] Diana L., Safitra A. G., Nabel M., Ariansyah A, (2020), *Kekuatan Tarik pada Material Komposit dengan Serat Penguat Polimer, Jurnal Engine (Energi, Manufaktur, dan Material) Vol 4, No 2*

- [6] Sayuti M., Alhajji M., Sulaiman S., (2020), Mechanical Properties and Morphological Analysis of Copper Filled Aluminum Alloy Hybrid Matrix Composite J. Eng. Technol. Sci., Vol.52, No. 6, 2020, 855-86
- [7] Casati, R., (2016) Microstructural and Mechanical Properties of Al-Based Composites Reinforced with In-Situ and Ex-Situ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles, Journal of Alloys and Compounds.No.162, 676-895.
- [8] J., Roch, (1990), *ASM Handbook*, ASM International, USA
- [9] Trihutomo, (2014), Pengaruh Proses Annealing Pada Hasil Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah, Jurnal Teknik Mesin , Volume 22 No 1
- [10] Alhamidi, Ali (2021), Perilaku Material Logam Hasil Proses *Severe Plastic Deformation* (SPD) dan Aplikasinya, Untirta press; Cilegon
- [11] Faraji G., Kim Hyoung S., (2018) *Severe Plastic Deformation, Methods, Processing and Properties Book*.
- [12] Wagih, A. Fathy, D. Ibrahim, O. Elkady, M. Hassan, (2018) *Experimental investigation on strengthening mechanisms in Al-SiC*

*nanocomposites and 3D FE simulation of Vickers indentation*, Journal of Alloys and Compounds, Volume 752 Pages 137-147, ISSN 0925-8388,

- [13] Firmansyah, 2020, prosedur metalografi, Detech, Tangerang  
<https://www.detch.co.id/uji-metalografi/>
- [14] Manurung, V.A.T., Wibowo, Y.T.J., dan Baskoro, S.Y. (2020). Panduan Metalografi. Jakarta: LP2M Politeknik Manufaktur Astra. hlm. 22. ISBN 978-602-71320-9-2.)
- [15] Databasemetallographic,  
2021.[https://database.metallographic.com/paccetch ant.php](https://database.metallographic.com/paccetch_ant.php) diakses pada 16 Februari 2022 pukul 14:11.
- [16] Arbi, Muhammad H., 2014, "Hubungan Antara Tegangan-regangan (Stress - Strain Relationships) Pada Beton." Lentera: Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi, vol. 14.
- [17] ASTM B2029/B20M-21, 2021. *Standar Specification for Aluminium and Aluminium-Alloy Sheet and Plate ASTM international Handbook.*
- [18] Pramono,, Kolloa. L., dan v.Renno, Veinthala, 2016. "Hot and cold regions during *accumulative roll bonding* of Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofibre

composites” Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Vol 65, No. 2, Halaman 132–137.

- [19] Solihin S., Mabruhi E., Gede, Putrayasa, (2011) Penguatan Tembaga Murni Dengan Teknik *Equal Channel Angular Pressing*, Jurnal Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI, Vol 26, No 3.
- [20] Pramono, A., Zulfia, A., Alhamidi, A., Alfirano, Suryana, Milandia, A., (2016) *Characteristics of aluminum-based composites reinforced of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/B<sub>4</sub>C by accumulative roll bonding (ARB)*. TEKNIKA Jurnal Sains dan Teknologi, vol 17 No 02.
- [21] Ibrahim, I.A., Mohamed, F.A. dan Lavernia, E.J. (1991) Particulate Reinforced Metal Matrix Composites. *Journal of Materials Science*, 26, halaman 1137-1156.
- [22] Hurtomo, Tri, Abdul Rozzaq, (2014), Studi Pengaruh Perlakuan Panas Pada Hasil Pengelasan Baja St 60 Ditinjau dari Kekuatan Tarik Bahan, Kekerasan, Dan Struktur Mikro, Skripsi Jurusan Teknik Mesin - Fakultas Teknik UM, Jakarta

- [23] Mabruri, Efendi, (2012) Aplikasi Severe Plastic Deformation (SPD) dan Heavy Cold Rolling Pada Baja Tahan Karat Austenitik 316L, Jurnal Pusat penelitian Metalurgi dan material LIPI, Vol 27, No 1, Jakarta.
- [24] ASTM E 111, 2020, Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus, ASTM international Handbook.
- [25] Pilar, Hidalgo, anez, Oscar, 2018, *Accumulative Roll Bonding of 7075 Aluminium Alloy at High Temperature*, Materials Science Forum, volume 638-642, pages 1929 - 1933

**LAMPIRAN A**  
**CONTOH PERHITUNGAN**

## A.1 Perhitungan Pengujian Tarik

Rumus Rata-rata UTS Material

$$\text{Rata-rata} = (\text{UTS 1 siklus} + \text{UTS 2 siklus} + \text{UTS 3 siklus})/3$$

1. Rata-rata UTS Material bubuk Alumina

$$(349,74 + 341,51 + 380,55) / 3 = 357,26 \text{ MPa}$$

2. Rata-rata UTS Material bubuk Silikon karbida

$$(464,32 + 280,35 + 394,89)/3 = 379,85 \text{ MPa}$$

3. Rata-rata UTS Material Hybrid

$$(334,63+394,69+ 410,39)/3 = 379,90 \text{ MPa}$$

Rumus Rata-rata UTS Siklus

$$\text{Rata-rata} = (\text{UTS Al}_2\text{O}_3 + \text{UTS SiC} + \text{UTS Al}_2\text{O}_3 \text{ dan SiC})/3$$

1. Rata-rata UTS satu siklus ARB

$$(349.74 + 464.32 + 334.63) / 3 = 382,89 \text{ MPa}$$

2. Rata-rata UTS dua siklus ARB

$$(341.51 + 280.35 + 394.69)/3 = 338,85 \text{ MPa}$$

3. Rata-rata UTS tiga siklus ARB

$$(380.55 + 394.89 + 410.39)/3 = 379,90 \text{ MPa}$$

## A.2 Perhitungan Pengujian Kekerasan

Rata rata kekerasan Berdasarkan Material *Reinforce*

$$RK = (T_1 + T_2 + T_3)/3$$

Permukaan (*surface*)

$$\text{Alumunium ARB+ Al}_2\text{O}_3 \quad RK_m = (178,32 + 167,43 + 161,84)/3 = 169,19 \text{ HVN}$$

$$\text{Alumunium ARB+ SiC} \quad RK_m = (152,27 + 132,79 + 149,27)/3 = 144,77 \text{ HVN}$$

$$\text{Alumunium ARB+ Hybrid} \quad RK_m = (200,96 + 151,71 + 159,12)/3 = 170,59 \text{ HVN}$$

*Cross Section*

$$\text{Alumunium ARB+ SiC} \quad RK_m = (142,93 + 146,31 + 122,15)/3 = 155,96 \text{ HVN}$$

$$\text{Alumunium ARB+ Al}_2\text{O}_3 \quad RK_m = (135,50 + 156,63 + 138,45)/3 = 143,52 \text{ HVN}$$

$$\text{Alumunium ARB+ Hybrid} \quad RK_m = (132,87 + 136,52 + 136,52)/3 = 135,3 \text{ HVN}$$

Rata-rata Kekerasan 1 Siklus

$$RK = (T_1 + T_2 + T_3)/3$$

*Surface*  $RK_m = (178,32 + 152,7 + 200,96)/3 = 177,32 \text{ HVN}$

*Cross Section*  $RK_m = (142,93 + 135,5 + 132,87)/3 = 137,10 \text{ HVN.}$

Rata-rata Kekerasan 2 Siklus

$$RK = (T_1 + T_2 + T_3)/3$$

*Surface*  $RK_m = (167,43 + 132,79 + 151,71)/3 = 150,63 \text{ HVN}$

*Cross Section*  $RK_m = (146,31 + 156,63 + 136,52)/3 = 146,48 \text{ HVN}$

Rata-rata Kekerasan 3 Siklus

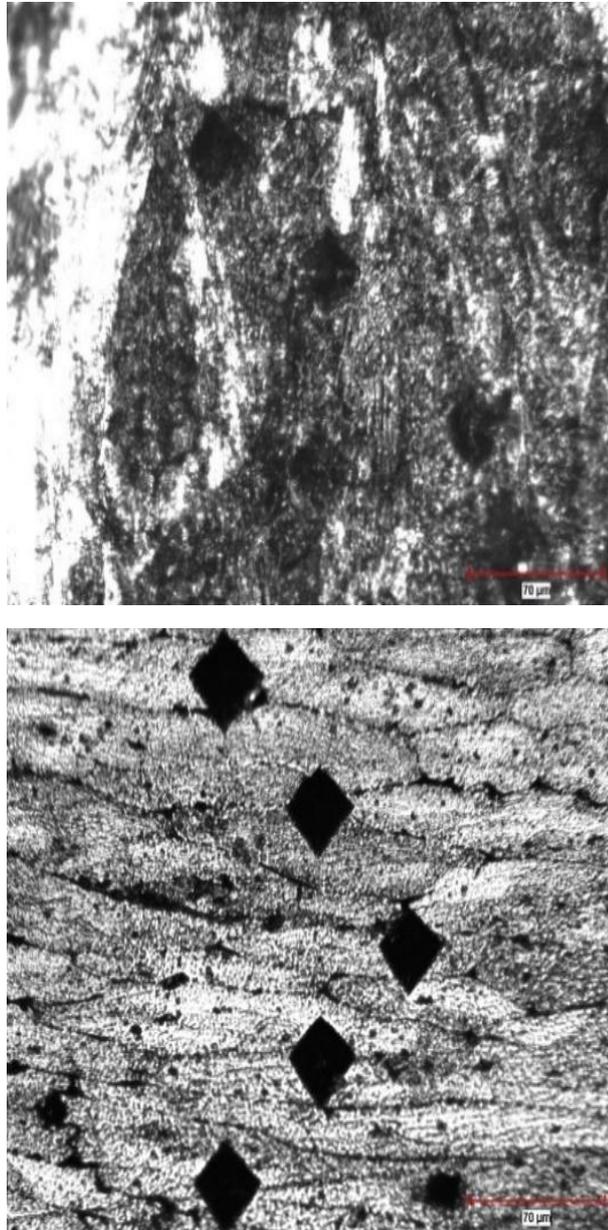
$$RK = (T_1 + T_2 + T_3)/3$$

*Surface*  $RK_m = (162,84 + 149,27 + 152,27)/3 = 154,79 \text{ HVN}$

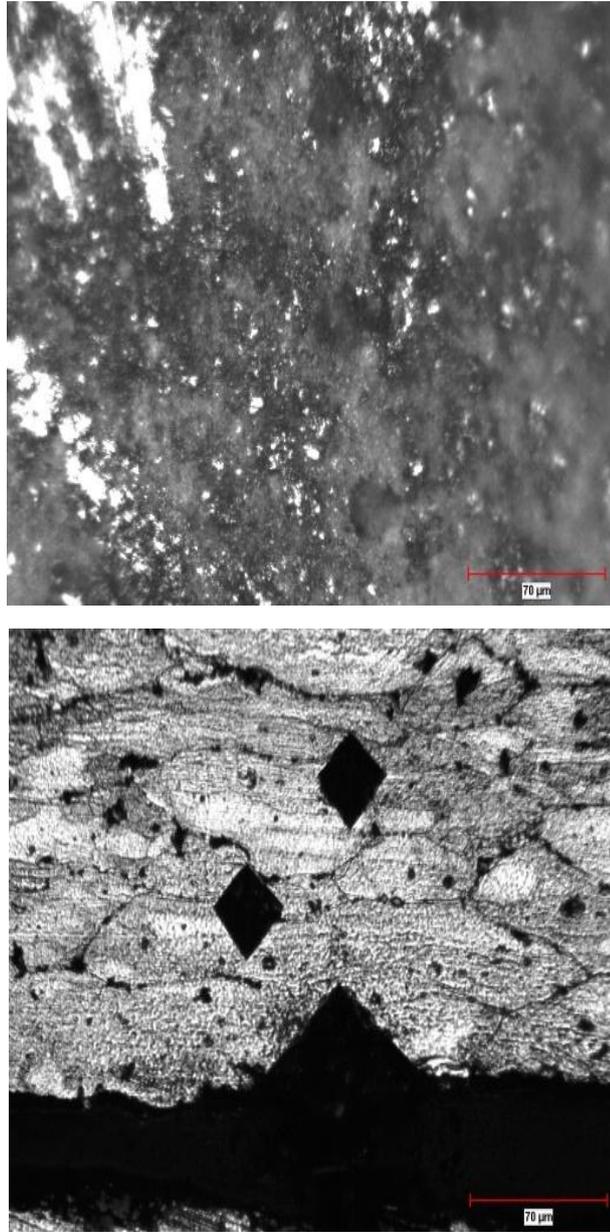
*Cross Section*  $RK_m = (149,27 + 159,12 + 133,50)/3 = 147,29 \text{ HVN.}$

**LAMPIRAN B**  
**DATA PENELITIAN**

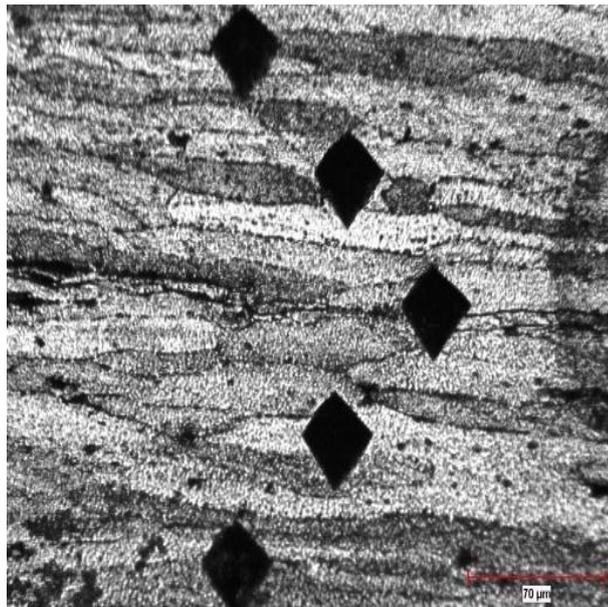
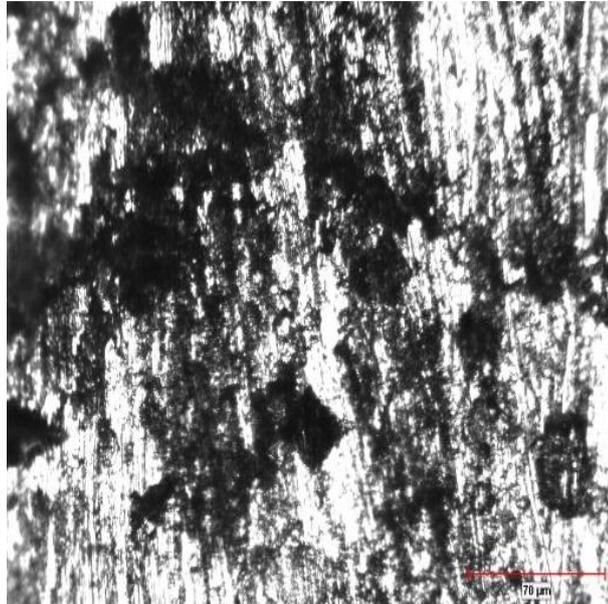
## B.1 Data Penelitian Uji Kekerasan



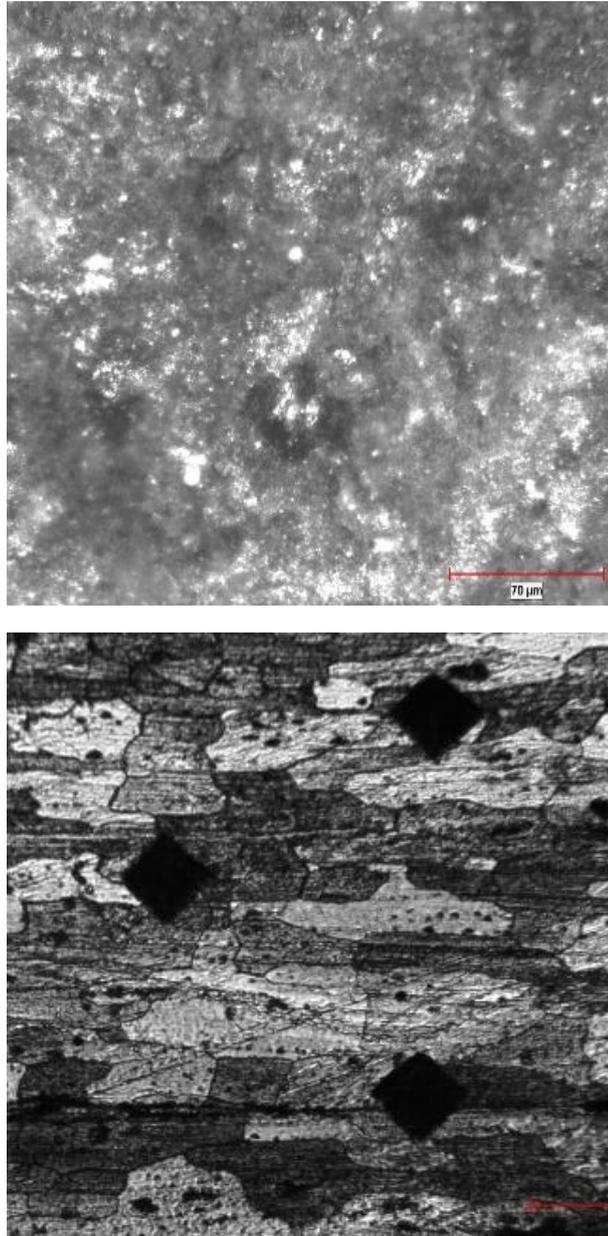
**Gambar B.1** Hasil Indentasi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  1 siklus, Atas *Surface* dan bawah *Cross Section*



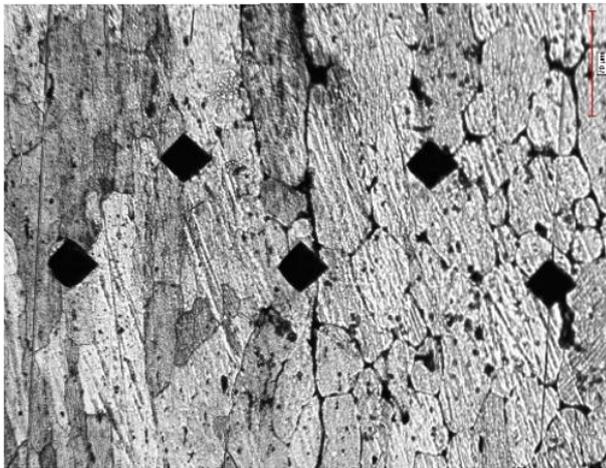
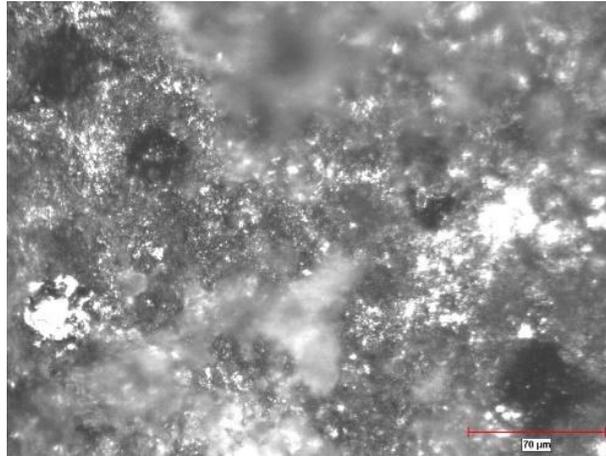
**Gambar B.2** Hasil Indentasi SiC 1 siklus, Atas *Surface* dan bawah *Cross Section*



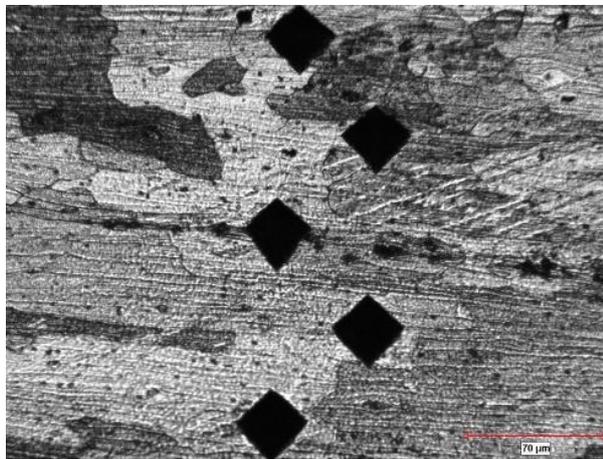
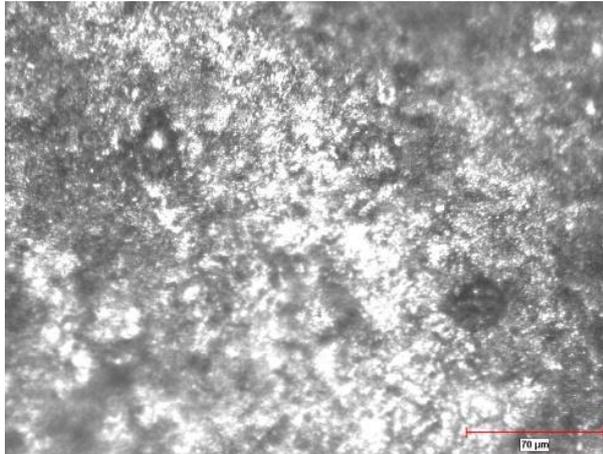
**Gambar B.3** Hasil Indentasi *Hybrid* 1 siklus, Atas *Surface* dan bawah *Cross Section*



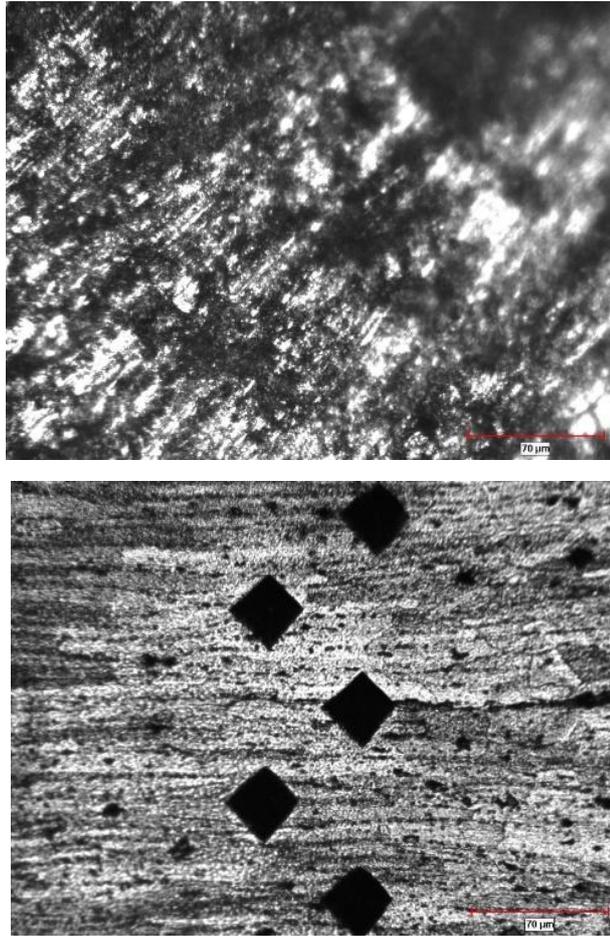
**Gambar B.4** Hasil Indentasi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2 siklus, Atas *Surface* dan bawah *Cross Section*



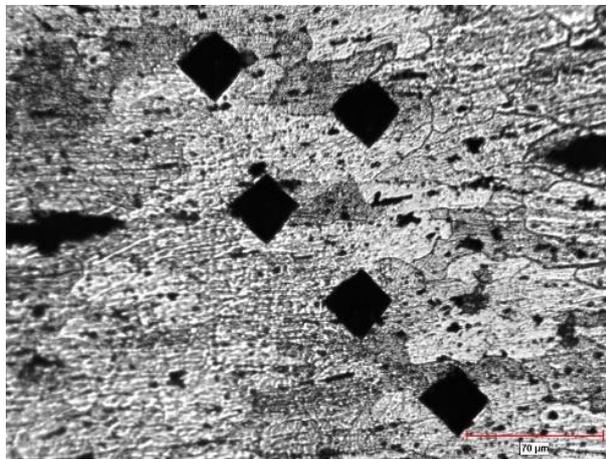
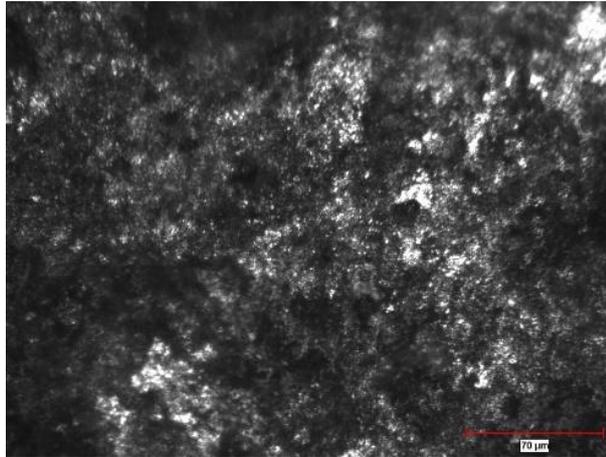
**Gambar B.5** Hasil Indentasi SiC 2 siklus, Atas *Surface* dan bawah *Cross Section*



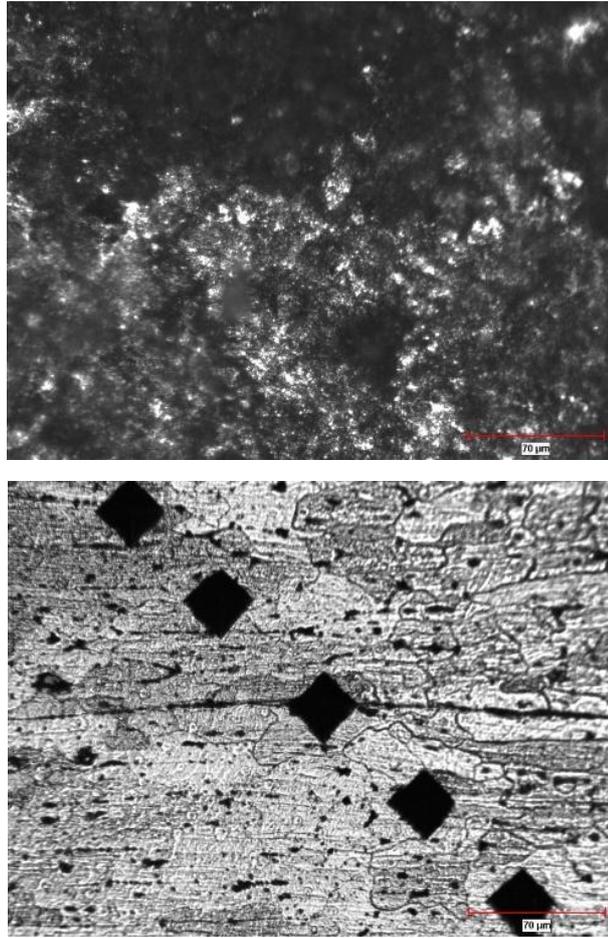
**Gambar B.6** Hasil Indentasi *Hybrid 2* siklus, Atas *Surface* dan bawah *Cross Section*



**Gambar B.7** Hasil Indentasi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  3 siklus, Atas *Surface* dan bawah *Cross Section*



**Gambar B.8** Hasil Indentasi SiC 3 siklus, Atas *Surface* dan bawah *Cross Section*



**Gambar B.9** Hasil Indentasi *Hybrid 2* siklus, Atas *Surface* dan bawah *Cross Section*

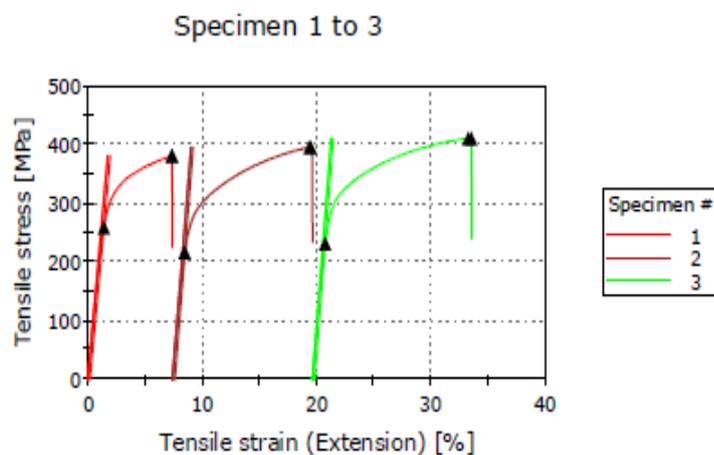
## B.2 Data Pengujian Uji tarik



### TEST RESULT

Report No	387/EXT/UNT/09/21
Material	R3
Test Method	ASTM E8M
Test Machine	INSTRON 5982
Extensometer	Clip On GL 50 mm
Operator Name	AF
Room Temp.	27
%Humidity	70
Rate 1	0.015 mm/mm/min
Rate 2	0.4 mm/mm/min

Graph 1



Results table 1

	Width [mm]	Thickness [mm]	Maximum Load [kN]	Tensile stress at Maximum Load [MPa]	Tensile stress at Yield (Offset 0.2 %) [MPa]	% Strain at After Break [%]	Break Location	Specimen label
1	6.23	3.00	7.122	380.55	258.57	5.93	A (Inside GL)	Al2
2	6.20	3.38	8.278	394.89	217.21	11.00	A (Inside GL)	HR2
3	6.21	2.04	5.207	410.39	231.38	12.73	A (Inside GL)	SiC2

Note: The result just for this test

Sample file name: RAW.is\_metal

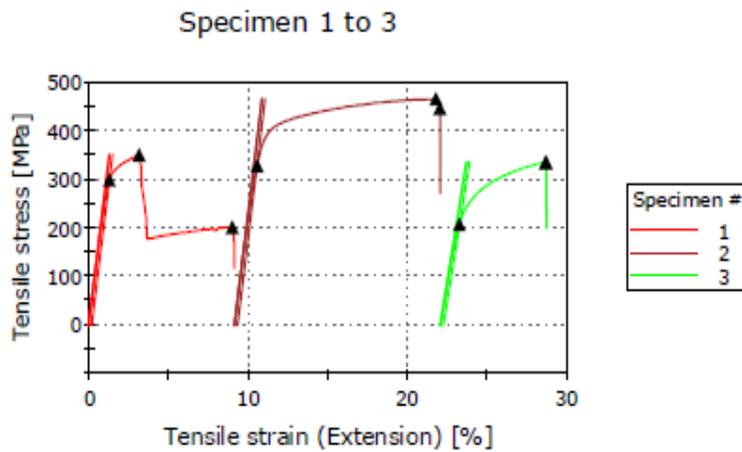
**Gambar B.10** Data Uji Tarik material Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC, dan Hybrid 1 Siklus



**TEST RESULT**

Report No	385/EXT/UNT/09/21
Material	R2
Test Method	ASTM E8M
Test Machine	INSTRON 5982
Extensometer	Clip On GL 50 mm
Operator Name	AF
Room Temp.	27
%Humidity	70
Rate 1	0.015 mm/mm/min
Rate 2	0.4 mm/mm/min

Graph 1



Results table 1

	Width [mm]	Thickness [mm]	Maximum Load [kN]	Tensile stress at Maximum Load [MPa]	Tensile stress at Yield (Offset 0.2 %) [MPa]	% Strain at After Break [%]	Break Location	Specimen label
1	6.23	1.90	4.138	349.74	298.85	7.70	A (Inside GL)	R2A
2	6.18	2.25	6.456	464.32	328.20	11.46	A (Inside GL)	R2B
3	6.20	2.84	5.892	334.63	207.37	5.39	A (Inside GL)	R2B

Note: The result just for this test

Sample file name: R2.is\_metal

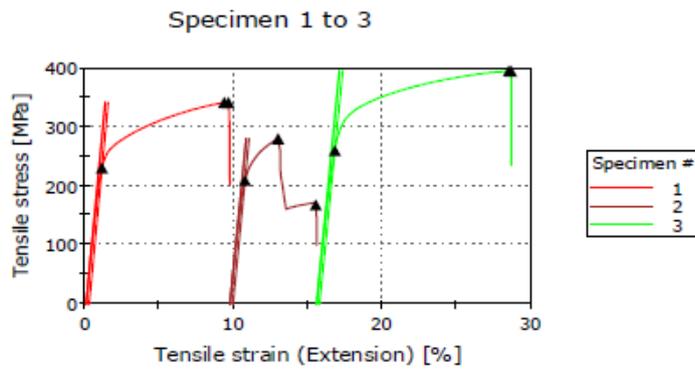
**Gambar B.11** Data Uji Tarik material Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC, dan Hybrid 2 Siklus



**TEST RESULT**

Report No	386/EXT/UNT/09/21
Material	R3
Test Method	ASTM E8M
Test Machine	INSTRON 5982
Extensometer	Clip On GL 50 mm
Operator Name	AF
Room Temp.	27
%Humidity	70
Rate 1	0.015 mm/mm/min
Rate 2	0.4 mm/mm/min

Graph 1



Results table 1

	Width [mm]	Thickness [mm]	Maximum Load [kN]	Tensile stress at Maximum Load [MPa]	Tensile stress at Yield (Offset 0.2 %) [MPa]	% Strain at After Break [%]	Break Location	Specimen label
1	6.22	2.17	4.605	341.51	230.35	9.45	A (Inside GL)	R3A
2	6.16	2.05	3.540	280.35	209.27	4.76	A (Inside GL)	R3B
3	6.20	2.09	5.109	394.69	260.09	11.80	A (Inside GL)	R3C

Note: The result just for this test

Sample file name: R3.is\_metal

**Gambar B.12** Data Uji Tarik material Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC, dan Hybrid 3 Siklus

**LAMPIRAN C**  
**ALAT DAN BAHAN**

### **C.1 Gambar Alat-Alat**



**Gambar C.1 Gelas Ukur**



**Gambar C.2 Gergaji Besi**



**Gambar C.3 Gerinda**



**Gambar C.4 Kain Majun**



**Gambar C.5 Mesin Bor**



**Gambar C.6 Mesin Canai (*Rolling*)**



**Gambar C.7** Mesin Poles



**Gambar C.8** Mesin Potong



**Gambar C.9** Mesin Uji Kekerasan



**Gambar C.10** Mesin Uji Tarik



**Gambar C.11** Mikroskop



**Gambar C.12** Jangka Sorong



**Gambar C.13** *Muffle Furnace*



**Gambar C.14 Neraca**



**Gambar C.15 Pengering**



**Gambar C.16** Penjepit



**Gambar C.17** Ragum



**Gambar C.18 Sarung Tangan**



**Gambar C.19 Sikat Kawat**



**Gambar C.20 Spidol**



**Gambar C.21 Wadah Kaca/Plastik**

**C.1 Gambar Alat-Alat**



**Gambar C.22 Amplas**



**Gambar C.23 Aquades**



**Gambar C.24** Cairan Pembersih / Aseton



**Gambar C.25** Hardener dan Resin



**Gambar C.26** Kawat Tembaga



**Gambar C.27** Larutan Etsa



**Gambar C.28** Pasta Alumina



**Gambar C.29** Pelat Aluminium Seri 7075 1 mm



**Gambar C.32**Pipa PVC



**Gambar C.30** Serbuk SiC



---

**Gambar C.31** Serbuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$