

**PENGARUH PERLAKUAN PANAS PADA MATERIAL  
KOMPOSIT BERBASIS Al/Zr HASIL PROSES  
*EQUAL CHANNEL ANGULAR PRESSING*  
*PARALLEL CHANNEL (ECAP – PC)***

**SKRIPSI**

Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Mendapat Gelar Sarjana Teknik Pada Jurusan  
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Disusun Oleh:

Tommi Jayanegara  
3334121212

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON - BANTEN**

**2019**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PERLAKUAN PANAS PADA MATERIAL  
KOMPOSIT BERBASIS Al/Zr HASIL PROSES  
*EQUAL CHANNEL ANGULAR PRESSING*  
*PARALLEL CHANNEL (ECAP – PC)***

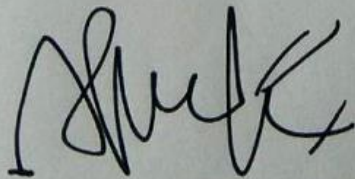
**SKRIPSI**

Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Mendapat Gelar Sarjana Teknik Pada Jurusan  
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi Oleh :

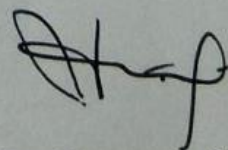
Pembimbing I

Pembimbing II



**Agus Pramono, ST., MT., PhD.Tech**

NIP. 197608182008011012



**Adhitva Trenggono, ST., M.Sc.**

NIP. 197804102003121001

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH PERLAKUAN PANAS PADA MATERIAL  
KOMPOSIT BERBASIS Al/Zr HASIL PROSES  
EQUAL CHANNEL ANGULAR PRESSING  
PARALLEL CHANNEL (ECAP – PC)**

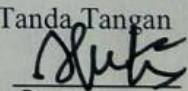
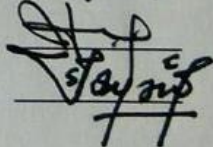
**SKRIPSI**

Disusun dan diajukan oleh :

**Tommi Jayanegara**

**3334121212**

Telah disidangkan di depan Dewan Penguji pada tanggal 31 juli 2019

	Susunan Dewan Penguji	Tanda Tangan
<b>Penguji I (Ketua Sidang)</b>	: Agus Pramono, ST., MT., PhD.Tech	
<b>Penguji II</b>	: Adhitya Trenggono, ST., M.Sc.	
<b>Penguji III</b>	: Suryana, ST., M.Si	

Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**Mengetahui,**  
**Ketua Jurusan Teknik Metalurgi**  
  
**Adhitya Trenggono, ST., M.Sc.**  
**NIP : 197804102003121001**

## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Pengaruh Perlakuan Panas Pada Material Komposit  
Berbasis Al/Zr Hasil Proses *Equal Channel Angular  
Pressing Parallel Channel (ECAP - PC)*

Nama Mahasiswa : Tommi Jayanegara

NPM : 3334121212

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 dikemudian 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 yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar pernyataan ini.

Cilegon, Agustus 2019  
  
MATERAI  
TEMPEL  
TGL. 20  
304AFF917138145  
6000  
ENAM RIBU RUPIAH  
  
Tommi Jayanegara  
NIM. 3334121212

# PENGARUH PERLAKUAN PANAS PADA MATERIAL KOMPOSIT BERBASIS Al/Zr HASIL PROSES *EQUAL CHANNEL ANGULAR PRESSING* *PARALLEL CHANNEL (ECAP – PC)*

Tommi Jayanegara <sup>1,a</sup>, Agus Pramono <sup>2,b</sup>, Adhitya Trenggono <sup>3,c</sup>  
<sup>1,3</sup> Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jl. Jenderal Sudirman Km 3 Cilegon, Banten 42435, Indonesia

<sup>a</sup>tommydjaya@gmail.com  
<sup>b</sup>agus.pramono.stmt@gmail.com  
<sup>c</sup>adhitya.trenggono@gmail.com

## **Abstract**

*ECAP-PC (Equal Channel Angular Pressing - Parallel Channel) products have the potential to create extraordinary strength and good elasticity in several metals and UFG (Ultra Fine Grain) alloys. In previous studies, it must be stressed that the grain size of the UFG (Ultra Fine Grain) aluminum produced by the ECAP-PC process has a non-uniform grain size due to the pressure on the ECAP-PC process not being evenly distributed. Therefore it is necessary to heat treatment to change the material properties both in terms of mechanical properties and improvement of grain growth. In this study aluminum zircon samples resulting from the ECAP-PC process were cut by 9 pieces. Heat treatment was carried out on 3 samples with various methods of heat treatment age hardening with a temperature of 530 0C and holding time of 60 minutes. Then annealing on 3 samples with a temperature of 415 0C and holding time of 150 minutes, also on 3 non-heat treatment samples as a comparison of the results of heat treatment. The hardness test results showed the highest hardness value of 221.96 Hv with 3 times the emphasis cycle on the age hardening sample results, while the highest tensile test results were at yield strength of 234 Mpa, the tensile strength value (UTS) of 268 MPa, and the elongation value is 36% with 3 cycles of emphasis on the annealing sample. The results showed that heat treatment can control the hardness value of aluminum zircon composites. The annealing process can reduce the hardness value of aluminum zircon composites while the age hardening process can increase the hardness value of aluminum zircon composite samples. The more emphasis cycles on the ECAP-PC process, the higher the value of hardness and tensile strength obtained in each heat treatment process.*

**Keywords:** *equal channel angular pressing – parallel channel (ECAP-PC), age hardening, annealing.*

## **Abstrak**

Produk ECAP-PC (*Equal Channel Angular Pressing – Parallel Channel*) memiliki potensi untuk menciptakan kekuatan yang luar biasa dan elastisitas yang baik dalam beberapa logam dan paduan UFG (*Ultra Fine Grain*). Pada penelitian sebelumnya, harus ditekankan bahwa ukuran butir aluminium UFG (*Ultra Fine Grain*) yang dihasilkan oleh proses ECAP-PC memiliki ukuran butir yang tidak seragam dikarenakan tekanan pada proses ECAP-PC tidak terdistribusi secara merata. Maka dari itu perlu dilakukan perlakuan panas untuk mengubah sifat material baik dari segi sifat mekanis dan perbaikan pertumbuhan butir. Dalam penelitian ini sampel *aluminium zircon* hasil proses ECAP-PC dipotong sebanyak 9 buah. *Heat treatment* dilakukan pada 3 sampel dengan variasi metode *heat treatment age hardening* dengan temperatur 530 °C dan waktu penahanan 60 menit. Kemudian *annealing* pada 3 sampel dengan temperatur 415 °C dan waktu penahanan 150 menit, juga pada 3 sampel *non heat treatment* sebagai perbandingan dari hasil *heat treatment*. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan nilai kekerasan tertinggi yaitu sebesar 221,96 Hv dengan 3 kali siklus penekanan pada sampel hasil *age hardening*, sedangkan hasil pengujian tarik tertinggi yaitu pada nilai kuat luluh (*yield strength*) sebesar 234 Mpa, nilai kuat tarik (UTS) sebesar 268 MPa, dan nilai elongasi sebesar 36% dengan 3 kali siklus penekanan pada sampel hasil *annealing*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan panas dapat mengendalikan nilai kekerasan komposit *aluminium zircon*. Proses *annealing* dapat menurunkan nilai kekerasan komposit *aluminium zircon* sedangkan proses *age hardening* dapat meningkatkan nilai kekerasan pada sampel komposit *aluminium zircon*. Semakin banyak siklus penekanan pada proses ECAP-PC, semakin tinggi nilai kekerasan dan kekuatan tarik yang didapat dalam setiap proses *heat treatment*.

**Kata kunci :** *equal channel angular pressing – parallel channel (ECAP-PC), age hardening, annealing*

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan syukur penulis hanturkan kepada Allah SWT atas segala hidayah, nikmat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Adhitya Trenggono, ST., M.Sc. sebagai Ketua Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Ibu Anistasia Milandia, ST., MT selaku Koordinator Tugas Akhir.
3. Bapak Agus Pramono, ST., MT., PhD.Tech. sebagai pembimbing I dan Bapak Adhitya Trenggono selaku pembimbing II yang telah mengarahkan penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Orang tua dan keluarga tercinta yang senantiasa memberikan dukungan moral, materi serta doa.
5. Seluruh dosen dan staf jurusan Teknik Metalurgi FT. UNTIRTA yang telah memberikan ilmunya selama penulis kuliah di FT. UNTIRTA.
6. Pembimbing lapangan di Laboratorium PT. Krakatau Steel yang sudah membantu dalam memberikan arahan dalam topik penelitian dan arahan dalam proses pengujian.
7. Rekan – rekan seperjuangan Teknik Metalurgi FT. UNTIRTA angkatan 2012, yang telah memberikan masukan dan yang selalu mendoakan.
8. Serta semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pihak yang membacanya.

Cilegon, Agustus 2019

Tommi Jayanegara

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	iv
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
<b>BAB I    PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
<b>BAB II    TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Alumunium 1070.....	6
2.2 <i>Zirconium</i> .....	7
2.3 Material Komposit.....	8



2.4 <i>Equal Channel Angular Pressing</i> .....	11
2.4.1 Metode <i>Equal Channel Angular Pressing</i> Konvensional ....	12
2.4.2 Metode <i>Equal Channel Angular Pressing – Parallel Channel</i> .....	15
2.5 Perkembangan <i>Equal Channel Angular Pressing – Parallel Channel</i> .....	19
2.6 <i>Heat Treatment</i> .....	24
2.6.1 <i>Annealing</i> .....	25
2.6.2 <i>Age Hardening</i> .....	27

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Diagram Alir Penelitian .....	32
3.2 Alat dan Bahan .....	33
3.2.1 Alat Yang Digunakan .....	33
3.2.2 Bahan Yang Digunakan.....	33
3.3 Prosedur Penelitian .....	34
3.3.1 Preparasi sampel.....	34
3.3.2 <i>Heat Treatment</i> .....	35
3.3.3 Pengamatan Mikroskop Optik.....	37
3.3.4 Pengujian Kekerasan <i>Microvickers</i> .....	38
3.3.5 Pengujian Tarik .....	40

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Hasil Pengujian Kekerasan <i>Microvickers</i> .....	42
4.1.1 Analisa Pengaruh Proses <i>Heat treatment</i> Terhadap Nilai Kekerasan Sampel Komposit <i>Aluminium Zircon</i> .....	44

4.1.2 Analisa Pengaruh Siklus Penekanan Terhadap Nilai Kekerasan Sampel Komposit <i>Aluminium Zircon</i> .....	47
4.2 Hasil Pengujian Tarik .....	48
4.2.1 Analisa Pengaruh Proses <i>Heat treatment</i> Terhadap Nilai Uji Tarik Sampel Komposit <i>Aluminium Zircon</i> .....	49
4.2.2 Analisa Pengaruh Siklus Penekanan Terhadap Nilai Uji Tarik Sampel Komposit <i>Aluminium Zircon</i> .....	53
4.3 Analisa Pengamatan Struktur Mikro .....	54
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>62</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>66</b>
<b>LAMPIRAN A CONTOH PERHITUNGAN .....</b>	<b>67</b>
<b>LAMPIRAN B DATA HASIL PENELITIAN .....</b>	<b>68</b>
<b>LAMPIRAN C GAMBAR ALAT DAN BAHAN .....</b>	<b>70</b>

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 2.1</b> Komposisi Kimia Aluminium 1070.....	7
<b>Tabel 2.2</b> Sifat-Sifat Zirkon.....	8
<b>Tabel 2.3</b> sifat mekanis setelah proses ECAP-PC pada temperatur 100 °C.....	17
<b>Tabel 4.1</b> Data Pengujian Kekerasan <i>Microvickers</i> .....	43
<b>Tabel 4.2</b> Data Hasil Uji Tarik.....	48
<b>Tabel B.1</b> Tabel Hasil Pengujian Kekerasan <i>Microvickers</i> .....	68
<b>Tabel B.2</b> Tabel Data Hasil Pengujian Tarik.....	69

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1</b> Skema Susunan Komposit.....	9
<b>Gambar 2.2</b> Ilustrasi Skematis Dari Proses Ekstrusi Sisi, Yang Merupakan Semacam Ekstrusi Sumbu Ganda Atau Ekstrusi Samping.....	12
<b>Gambar 2.3</b> Skema Proses ECAP .....	13
<b>Gambar 2.4</b> Skematis Rute Proses ECAP Konvensional.....	14
<b>Gambar 2.5</b> (a) Sekma Pemadatan Sampel ECAP-PC (b) Bentuk Sampel Yang Telah Terbentuk Melalui Proses ECAP-PC.....	15
<b>Gambar 2.6</b> Ukuran Butir Setelah Proses ECAP-PC (a,b,c) 1 lintasan (d,e,f) 2 lintasan.....	18
<b>Gambar 2.7</b> Prinsip ECAP dengan saluran paralel: (a) Ilustrasi skematik di mana (b) zona deformasi yang diperoleh dari simulasi FEM 2-D untuk ECAP dengan saluran paralel (c) cetakan eksperimen ECAP di mana $\phi = 100^\circ$ dan K = diameter saluran 18 mm.....	20
<b>Gambar 2.8</b> (a) Ilustrasi skematis dari pengaturan ECAP-Conform (b) Benda kerja Al dalam proses ECAP-Conform (c) Sebuah mikroskop TEM dari bagian longitudinal Al <i>wire</i> diproses oleh ECAP-Conform dengan empat lintasan .....	23
<b>Gambar 2.9</b> Skema Perlakuan <i>Annealing</i> .....	26
<b>Gambar 2.10</b> Diagram Fasa Pemanasan Logam Paduan .....	29
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian .....	32
<b>Gambar 3.2</b> Sampel Yang Dipotong.....	34
<b>Gambar 3.3</b> Sampel Yang Di <i>Mounting</i> .....	35
<b>Gambar 3.4</b> Sampel Diproses <i>Annealing</i> .....	36
<b>Gambar 3.5</b> Sampel Diproses <i>Age Hardening</i> .....	37

<b>Gambar 3.6</b> Metode Pengujian Kekerasan <i>Microvickers</i> .....	39
<b>Gambar 3.7</b> Ukuran Sampel Uji Tarik .....	41
<b>Gambar 4.1</b> Grafik Nilai Kekerasan <i>Microvickers</i> Sampel Komposit <i>Aluminium Zircon</i> Sebelum <i>Heat Treatment</i> .....	44
<b>Gambar 4.2</b> Grafik Nilai Kekerasan <i>Microvickers</i> Sampel Komposit <i>Aluminium Zircon</i> Setelah <i>Age Hardening</i> .....	45
<b>Gambar 4.3</b> Grafik Nilai Kekerasan <i>Microvickers</i> Sampel Komposit <i>Aluminium Zircon</i> Setelah <i>Annealing</i> .....	46
<b>Gambar 4.4</b> Grafik Hubungan Antara Siklus Penekanan Masing-Masing <i>Treatment</i> Terhadap Nilai Kekerasan .....	47
<b>Gambar 4.5</b> Grafik Nilai Tegangan-Regangan Sampel <i>Non Treatment</i> <i>Aluminium Zircon</i> .....	50
<b>Gambar 4.6</b> Grafik Nilai Tegangan-Regangan Sampel <i>Age Hardening</i> <i>Aluminium Zircon</i> .....	51
<b>Gambar 4.7</b> Grafik Nilai Tegangan-Regangan Sampel <i>Annealing</i> <i>Aluminium Zircon</i> .....	52
<b>Gambar 4.8</b> Grafik Hubungan Antara Siklus Penekanan Masing-Masing <i>Treatment</i> Terhadap Nilai Uji Tarik.....	53
<b>Gambar 4.9</b> Strukur Mikro Perbesaran 100x (a) Sampel <i>Non Heat Treatment</i> 1 Siklus (b) Sampel <i>Non Heat Treatment</i> 2 Siklus (c) Sampel <i>Non Heat Treatment</i> 3 Siklus.....	55
<b>Gambar 4.10</b> Strukur Mikro Perbesaran 100x (a) Sampel <i>Age Hardening</i> 1 Siklus (b) Sampel <i>Age Hardening</i> 2 Siklus (c) Sampel <i>Age</i> <i>Hardening</i> 3 Siklus .....	57
<b>Gambar 4.11</b> Strukur Mikro Perbesaran 100x (a) Sampel <i>Annealing</i> 1 Siklus (b) Sampel <i>Annealing</i> 2 Siklus (c) Sampel <i>Annealing</i> 3 Siklus.....	58
<b>Gambar C.1</b> <i>Aluminium Zircon</i> 1 Kali Pass Penekanan ECAP-PC.....	70
<b>Gambar C.2</b> <i>Aluminium Zircon</i> 2 Kali Pass Penekanan ECAP-PC.....	70
<b>Gambar C.3</b> <i>Aluminium Zircon</i> 3 Kali Pass Penekanan ECAP-PC.....	70
<b>Gambar C.4</b> Alat <i>Polishing</i> .....	71

<b>Gambar C.5</b> Alat <i>Grinding</i> .....	71
<b>Gambar C.6</b> Alat Potong Sampel.....	71
<b>Gambar C.7</b> Alat Uji Kekerasan.....	72
<b>Gambar C.8</b> <i>Furnace</i> .....	72
<b>Gambar C.9</b> Mikroskop Optik Digital .....	72

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan ilmu dan teknologi dewasa ini menuntut adanya material yang mempunyai kekuatan tinggi, mampu bentuk yang tinggi, dan komposisi kimia yang memadai. Teknologi menunjukkan kemajuan yang sangat pesat dalam berbagai macam aplikasi struktural seperti pada bidang industri otomotif dan penerbangan, sehingga kebutuhan pengembangan ilmu pengetahuan semakin meningkat. Dengan begitu semakin besar pula peluang untuk terciptanya inovasi baru dalam dunia industri terutama dalam bidang pengembangan teknologi material (Suyanto, 2015). Komposit merupakan gabungan dari dua atau lebih bahan yang berlainan yang merupakan bahan gabungan secara makro. Oleh karena itu, bahan komposit dapat didefinisikan sebagai suatu sistem material yang tersusun dari campuran atau kombinasi dua atau lebih unsur-unsur utamanya yang secara makro berbeda di dalam bentuk dan atau komposisi material pada dasarnya tidak dapat dipisahkan (Kainer, 2006).

Aluminium matrik dalam struktur komposit dapat berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik. Aluminium yang dikenal sebagai logam yang mempunyai sifat ringan, tahan korosi, penghantar listrik yang baik digunakan sebagai matriks sedangkan zirkon berfungsi sebagai penguat. Penambahan zirkon ke dalam matriks aluminium sangat berperan dalam modifikasi system kristal

sehingga penggunaan zirkon sebagai penguat dapat menghasilkan aluminium komposit dengan sifat mekanik yang baik dan pendistribusian fasa presipitat yang tersebar merata serta dapat memperbaiki pertumbuhan butiran (Soesilowati, 2014).

Produk ECAP-PC (*Equal Channel Angular Pressing – Parallel Channel*) memiliki potensi untuk memproduksi bahan yang dapat digunakan dalam berbagai struktur aplikasi. Temuan ini mampu menciptakan kekuatan yang luar biasa dan elastisitas yang baik dalam beberapa logam dan paduan UFG (*Ultra Fine Grain*). Pada penelitian sebelumnya, harus ditekankan bahwa ukuran butir aluminium UFG (*Ultra Fine Grain*) yang dihasilkan oleh proses ECAP-PC memiliki ukuran butir yang tidak seragam dikarenakan tekanan pada proses ECAP-PC tidak terdistribusi secara merata. Maka dari itu perlu dilakukan perlakuan panas untuk mengubah sifat material baik dari segi sifat mekanis dan perbaikan pertumbuhan butir (J. Dvorak, 2013).

Perubahan sifat mekanis dari logam yang digunakan dalam komposit tersebut salah satu caranya yaitu dengan melakukan perlakuan panas. Perlakuan panas pada logam dapat mengubah struktur mikro dari logam sehingga akan berpengaruh terhadap sifat mekanisnya. Dengan perlakuan panas dapat membentuk sifat logam sesuai dengan penggunaan dari logam tersebut. Perlakuan panas *annealing* mampu meningkatkan presipitat dari *reinforcement* (dalam hal ini zirkon sebagai penguat) seiring meningkatnya suhu anil. Selama proses anil berlangsung, kepadatan dislokasi berkurang karena efek *recovery* dengan meningkatnya keuletan. Pada saat *annealing*, presipitasi terjadi bersamaan dengan proses rekristalisasi pada *annealing* sehingga presipitat akan terus terjadi seiring



meningkatnya suhu dalam proses anil dan memainkan peran penting untuk menstabilkan struktur mikro pada suhu tinggi (Pramono A, 2015). Metode perlakuan panas *age hardening* mampu memberikan efek memperpadat butiran pada matriks aluminium dan memperhalus butiran pada matriks aluminium, sehingga dapat meningkatkan stabilitas mikro struktur pada *reinforcement* dengan menjepit dan menghambat pergerakan batas butir. Metode Perlakuan panas tersebut dikonfirmasi sebagai metode yang tepat untuk meningkatkan sifat mekanis material logam *aluminium zircon* (Pramono, 2015). Berdasarkan hasil kajian literature, penelitian ini mengacu pada proses perlakuan panas *age hardening* dengan temperatur 530<sup>0</sup>C dengan waktu penahanan selama 60 menit kemudian didinginkan cepat dengan media air dan *annealing* dengan temperatur 415 <sup>0</sup>C dengan waktu penahanan selama 150 menit, diturunkan ke temperatur 177 <sup>0</sup>C dan dibiarkan dalam *furnace* untuk menurunkan temperatur secara alami. Perlakuan panas pada material komposit hasil proses ECAP-PC berguna untuk mendapatkan variasi *properties* yang dimiliki oleh material komposit bermatriks aluminium berpenguat zirkon.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari latar belakang yang telah diuraikan, maka timbul permasalahan pada penelitian ini, yaitu pada hasil proses ECAP-PC terdapat ukuran butir yang tidak seragam dikarenakan tekanan pada proses ECAP-PC tidak terdistribusi secara merata maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan melakukan perlakuan panas untuk meningkatkan sifat mekanis material dan memperbaiki pertumbuhan butir.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Dari identifikasi masalah yang telah diuraikan, maka tujuan yang ingin didapatkan dari penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui pengaruh pass penekanan terhadap sifat mekanis pada material dalam proses ECAP-PC.
2. Mengetahui pengaruh perlakuan panas terhadap sifat mekanis pada material dalam proses ECAP-PC.
3. Mengetahui pengaruh struktur mikro terhadap kekerasan pada material dalam proses ECAP-PC.

### **1.4 Ruang Lingkup Penelitian**

Material komposit *aluminium zircon* hasil proses ECAP-PC dengan 1 kali penekanan, 2 kali penekanan dan 3 kali penekanan, masing-masing dipotong menjadi 3 bagian sampel berukuran diameter 1,5 cm dan tinggi 1 cm. Melakukan pengujian komposisi sampel untuk mendapatkan komposisi dari sampel material komposit *aluminium zircon*. Mendapatkan data sebelum dilakukan proses perlakuan panas dari 3 sampel pertama. Melakukan proses perlakuan panas *annealing* dengan temperatur 415 °C dan waktu tahan 150 menit dan *age hardening* dengan temperatur 530 °C dan waktu tahan 60 menit. Setelah itu, melakukan pengujian kekerasan *microvickers* untuk mengetahui nilai kekerasan material dan melakukan pengujian mikroskop optik untuk mengidentifikasi struktur mikro sampel komposit *aluminium zircon*.

## **1.5 Sistematika Penulisan**

Penulisan laporan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab utama, daftar pustaka dan lampiran. Bab I merupakan pendahuluan yang berisikan latar belakang penelitian yang akan dilakukan dan menjelaskan solusi yang dihadirkan secara singkat guna mendapatkan hasil penelitian yang diinginkan. Selanjutnya merumuskan masalah yang menjelaskan hal apa yang menjadi masalah pada penelitian ini, kemudian menganalisis tujuan penelitian yang dapat menjelaskan tujuan utama dalam penelitian ini. Selanjutnya menghadirkan ruang lingkup penelitian guna menjelaskan hal-hal yang menjadi batasan pada penelitian ini. Kemudian merumuskan sistematika penulisan yang berisikan tentang gambaran yang ada pada tiap bab dalam makalah penelitian ini. Bab II merupakan tinjauan pustaka yang berisi uraian tentang teori dasar yang mendukung penelitian ini sekaligus sebagai acuan dalam analisis penelitian. Bab III menjelaskan mengenai metode penelitian yang berisi tentang diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian serta prosedur penelitian yang dilakukan. Bab IV merupakan pembahasan yang berisikan data hasil penelitian yang didapatkan dari pengujian kekerasan dan mikroskop optik yang dilakukan di Laboratorium Metalurgi FT. Untirta dan Laboratorium PT. Krakatau Steel serta pembahasan mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan. Bab V merupakan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan mengajukan saran untuk penelitian selanjutnya dari hasil dan pembahasan. Selain itu, terdapat daftar pustaka berisikan referensi – referensi yang digunakan dalam penyusunan laporan, serta terdapat juga lampiran-lampiran sebagai data pendukung dari hasil penelitian.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Alumunium 1070**

Aluminium 1070 merupakan jenis paduan yang mempunyai kandungan aluminium 99,0% dan mempunyai kandungan besi dan silika yang dominan. Aluminium dalam seri ini mempunyai ketahanan korosi yang baik, konduksi panas dan konduksi listrik yang baik juga semiliki sifat mampu las dan mampu potong yang bagus. Namun unsur-unsur lain yang terkandung seperti seng, vanadium, tembaga, titanium, magnesium, mangan, dan lain sebagainya yang dapat meningkatkan karakteristik khusus dari aluminium 1070. Material ini dipergunakan di dalam bidang yang luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi. Pemakaian aluminium dalam dunia industri yang semakin tinggi, menyebabkan pengembangan sifat dan karakteristik aluminium terus menerus ditingkatkan. Aluminium terkenal sebagai bahan yang tahan terhadap korosi. Hal ini disebabkan oleh fenomena pasivasi, yaitu proses pembentukan lapisan aluminium oksida di permukaan logam aluminium segera setelah logam terpapar oleh udara bebas. Lapisan aluminium oksida ini mencegah terjadinya oksidasi lebih jauh. Namun, pasivasi dapat terjadi lebih lambat jika dipadukan dengan logam yang bersifat lebih katodik, karena dapat mencegah oksidasi aluminium. Namun aluminium 1070 memiliki kekuatan yang rendah dan tidak cukup baik digunakan untuk aplikasi yang

membutuhkan ketahanan deformasi dan patahan, maka dari itu perlu ditambahkan unsur lain untuk meningkatkan kekuatannya. (Kaminski, 2002).

**Tabel 2.1** Komposisi Kimia Aluminium 1070

<i>Element</i>	<i>Content (%)</i>
Aluminium, Al	99,7
Besi, Fe	0.25
Silikon, Si	0.20
Seng, Zn	0.040
Vanadium, V	0.050
Tembaga, Cu	0.040
Magnesium, Mg	0.030
Mangan, Mn	0.030
Lain-lain	0.030

## 2.2 *Zirconium*

*Zirconium* adalah elemen dengan berbagai macam warna dengan rumus kimia  $ZrSiO_4$  (*Zirconium silikat*). Memiliki kemampuan mendispersikan cahaya sehingga kelihatan berkilau. Mineral utama yang mengandung unsur *zirconium* adalah *zircon/zirconium silica* ( $ZrO_2.SiO_2$ ) dan *baddeleyit/zirconium oxide* ( $ZrO_2$ ). *Zirconium silica* sangat stabil pada suhu tinggi, memiliki ketahanan termal yang sangat baik dan memiliki konduktivitas termal yang rendah (LAPAN, 2011).

Logam *zirconium* dengan kemurniannya yang mendekati 100% dapat diperoleh melalui cara reduksi *zirconium-tetrachlorida* dengan sodium yang berwarna abu-abu dan bersifat lunak. Logam paduan zirkon yang diproduksi berbentuk sebagai *sponge plate cold rolled* dan *powder*. Istilah untuk paduan atau alloy daripada zirkon adalah *zircolay-2* dan *zircolay-4* yang didalamnya terdapat beberapa unsur logam lanilla seperti timah, besi dan lain-lain.

*Zirconium* banyak digunakan dalam industri *High-tech* karena sifat mekanik, termal, elektrik, kimia, dan optiknya yang mendukung. Unsur ini banyak digunakan dalam produksi keramik dan reaktor nuklir sebagai pelapis bahan bakar nuklir. *Zirconium* juga digunakan untuk pembuatan pompa, katup, dan penukar panas. Penerapan perpaduan *zirconium* kedalam matriks seperti perpaduan dengan aluminium sangat berperan dalam modifikasi sistem kristal, sehingga dapat meningkatkan dan memperbaiki sifat mekanis matriks, terutama nilai kekerasan dan kuat mekanis yang tinggi (Soesilowati, 2014).

**Tabel 2.2** Sifat-Sifat *Zircon*

Properties	Value
Nomor atom	40
Massa atom	91,22 g/mol
Valensi	3
Struktur Kristal	HCP
Titik leleh	1830 °C
Titik didih	2900 °C
Temperatur transisi	862 °C
Densitas	6,49 g/cm <sup>3</sup>

### 2.3 Material Komposit

Komposit merupakan suatu material yang terbentuk dari kombinasi beberapa material, sehingga dapat dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Komposit dapat diartikan sebagai kombinasi antara dua material atau lebih yang berbeda sifat, dan perbedaan itu dapat dilihat secara mikroskopik yang tersusun dari dua komponen yakni matriks (resin) dan penguat (*reinforcement*) atau sering disebut dengan filler. Secara struktur mikro material komposit tidak merubah

material pembentuknya tetapi secara keseluruhan material komposit berbeda dengan material pembentuknya karena terjadi ikatan antar permukaan antara matriks dan *filler*. Terbentuknya komposit adalah adanya ikatan permukaan antara matriks dan *filler*.

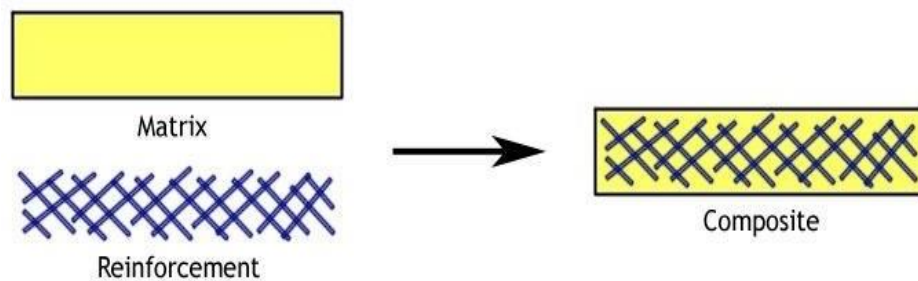
Penyusun komposit pada umumnya terdiri dari 2 fasa, yaitu:

a. *Reinforcement* atau penguat

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

b. Matriks

Matriks merupakan fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi *volume* terbesar (dominan).



**Gambar 2.1** Skema Susunan Komposit

Matriks mempunyai fungsi sebagai berikut :

- a) Mentransfer tegangan ke serat.
- b) Membentuk ikatan permukaan matrik/serat yang koheren
- c) Melindungi serat.
- d) Memisahkan serat.
- f) Tetap stabil setelah proses manufaktur (Nurun, 2015).

Berdasarkan jenis penguatnya maka material komposit dapat dijelaskan sebagai berikut.

- a. *Particulate composite*, yaitu komposit dengan penguat berupa partikel/serbuk yang tersebar pada semua luasan dan segala arah dari komposit.
- b. *Fibrous composite*, yaitu komposit yang hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapis dan berpenguat *fiber*. *Fiber* yang digunakan untuk menguatkan matriks dapat pendek, panjang, atau kontinyu. Berdasarkan jenis seratnya dibedakan atas
  - Serat kontinyu : Dengan orientasi serat yang bermacam-macam antara lain arah serat satu arah (unidireksional), dua arah (biaksial), tiga arah (triaksial).
  - Serat diskontinyu : Serat menyebar dengan acak sehingga sifat mekaniknya tidak terlalu baik jika dibandingkan dengan serat kontinyu.
- c. *Laminate composite*, yaitu komposit yang berlapis-lapis, paling sedikit terdiri dari dua lapis yang digabung menjadi satu, dimana setiap lapisan pembentuk memiliki. Gambar 2.3 menunjukkan komposit berdasarkan jenis penguatnya (Kumar, D., Sarangi, S, 2009).

Beberapa faktor yang mempengaruhi peforma komposit salah satunya arah penyusunan/orientasi dari penguat. Dalam pembuatan komposit tata letak dan arah penguat dalam matriks yang akan menentukan kekuatan mekanik komposit, dimana tata letak dan arah penyusunan dapat mempengaruhi kinerja komposit. Penguat



yang orientasi satu arah mempunyai kekuatan dan modulus pada arah yang diletakkan dalam matriks sedangkan pada dua arah orientasi penguat pada matriks mempunyai kekuatan pada dua arah atau masing masing arah orientasi penguat, dibandingkan dengan satu arah kekuatan lebih tinggi disebabkan penyebaran penguat pada matriks lebih luas (Kumar, D., Sarangi, S, 2009).

#### **2.4 *Equal Channel Angular Pressing***

*Equal channel angular pressing* (ECAP) adalah suatu proses inovatif untuk memperoleh deformasi plastis menyeluruh (*severe plastic deformation, SPD*) dan menghasilkan sifat mekanis yang unggul melalui teknik penghalusan butir (Valiev dan Langdon, 2006).

Proses *Equal Channel Angular Pressing* (ECAP) merupakan teknik deformasi plastis menyeluruh yang terbaik diantara beberapa proses SPD tersebut. Pemilihan proses ECAP didasarkan pada alasan sebagai berikut:

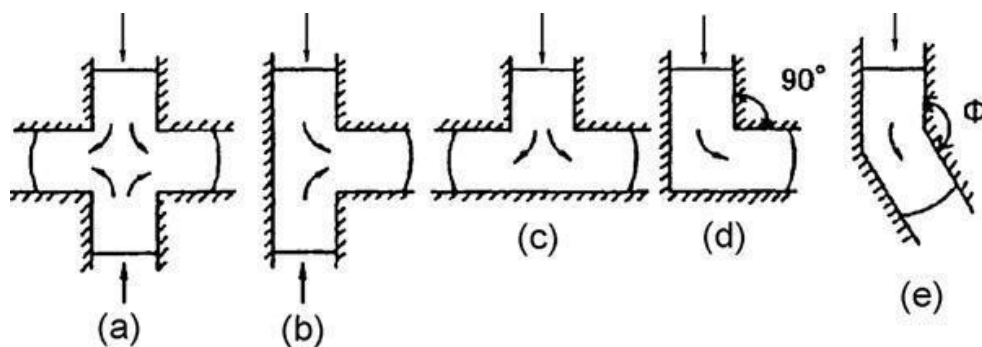
1. Proses ECAP adalah proses paling efektif diantara proses SPD.
2. Relatif tidak terjadi perubahan penampang melintang.
3. Peningkatan kekuatan material dapat dilakukan pada temperatur rendah.

Proses ECAP mudah terintegrasi dalam industri serta mampu menghasilkan produk dalam skala *bulk* atau batangan (Kurzydowski, 2004).

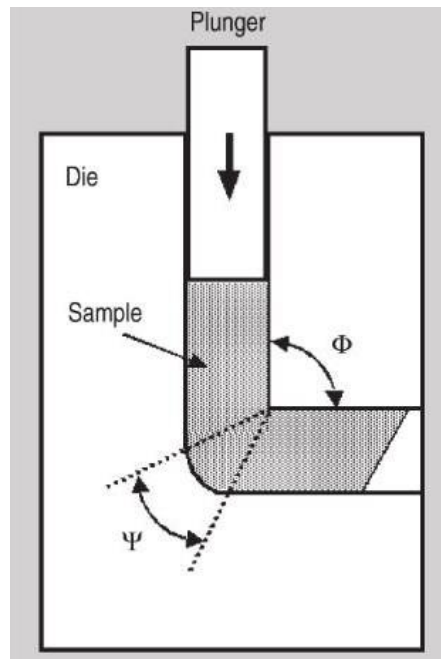
Proses pembuatan logam ECAP memiliki kemampuan untuk memperkenalkan penyempurnaan butiran yang signifikan menjadi sampel massal besar. Biasanya, ini mengurangi ukuran butir ke tingkat sub-mikrometer, dan dengan demikian menghasilkan bahan yang mampu memberikan sifat fisik dan mekanik yang baik (Pramonon A, 2014).

#### 2.4.1 Metode *Equal Channel Angular Pressing* Konvensional

Pada Gambar 2.2 (a, b dan c) menunjukkan gambar skematis dari proses ekstrusi sisi, baik ekstrusi sumbu ganda maupun ekstrusi sisi. Gambar 2.2 (d dan e) menunjukkan proses dimana deformasi dapat berulang kali diberikan pada bahan sehingga regangan plastis yang sangat besar yang diterima oleh bahan tanpa perubahan dalam dimensi penampang melintang benda kerja. Proses ini dinamakan ECAP (*equal channel angular pressing*) atau ECAE (*equal channel angular extrusion*). Segal pertama kali melakukan percobaan proses ini pada tahun 1977 untuk membuat bahan berbutir sangat halus. Meskipun ECAP umumnya diterapkan pada logam padat akan tetapi dapat juga digunakan untuk konsolidasi serbuk logam. Kudo dan tim melakukan percobaan lain dengan menggunakan ekstrusi sisi berulang dengan tekanan balik untuk mengkonsolidasikan bubuk aluminium murni. Pada 1990-an, pengembangan bahan berbutir sangat halus metode ini oleh Valiev, Horita dan Azushima dan peneliti lainnya.



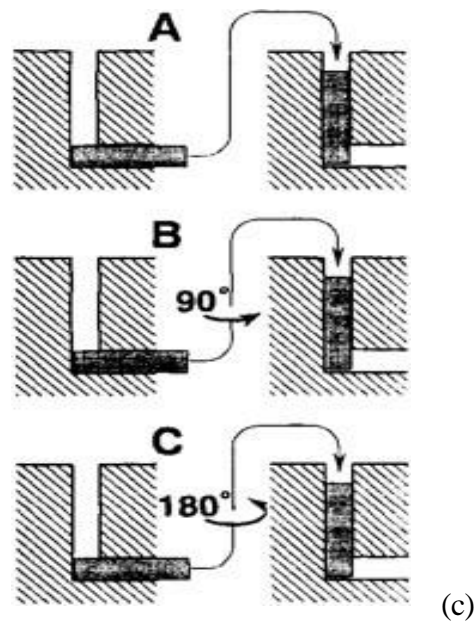
**Gambar 2.2** Ilustrasi Skematis Dari Proses Ekstrusi Sisi Yang Merupakan Semacam Ekstrusi Sumbu Ganda Atau Ekstrusi Samping (Azushima , 2000).



**Gambar 2.3** Skema Proses ECAP (Valiev, 2006)

Representasi skematis dari proses ECAP ditunjukkan pada Gambar 2.3. *Billet* berbentuk batang ditekan melalui cetakan dalam saluran yang ditekuk pada sudut  $90^{\circ}$ . *Billet* dikenakan regangan geser ketika melewati titik persimpangan dari dua bagian saluran. Karena dimensi *cross-sectional* dari *billet* tetap atau tidak berubah, tekanan dapat diulang untuk mencapai *strain* yang sangat tinggi. Strain ekuivalen ( $\epsilon$ ) yang diperkenalkan dalam ECAP ditentukan oleh hubungan yang menggabungkan sudut antara dua bagian saluran,  $\Phi$ , dan sudut yang mewakili busur luar lengkungan di mana dua bagian saluran berpotongan ( $\Psi$ ). Selama tekanan berulang, regangan geser terakumulasi dalam *billet*, yang akhirnya mengarah ke struktur UFG. Dalam prakteknya, sistem slip yang berbeda dapat diperkenalkan dengan memutar *billet* pada sumbu longitudinal antara setiap lintasan dan ini mengarah ke empat rute pemrosesan dasar: tidak ada rotasi *billet* pada rute A, rotasi

sebesar  $90^\circ$  ke arah yang berbeda atau arah yang sama di rute BA dan BC, masing-masing, dan rotasi  $180^\circ$  di rute C. Ketika menggunakan sudut saluran  $\Phi = 90^\circ$ , rute BC umumnya cara paling cepat untuk mengembangkan struktur UFG yang terdiri dari homogen dan butiran yang sama dengan batas butir memiliki sudut misorientasi yang tinggi (Valiev, 2006).



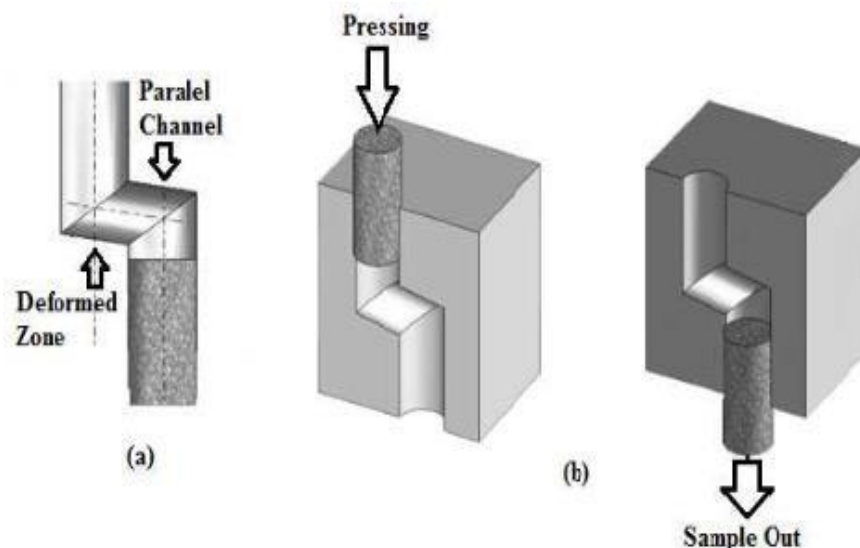
**Gambar 2.4** Skematis Rute Proses ECAP Konvensional (Valiev RZ, Langdon TG, 2006).

Gambar 2.4 menunjukkan proses fundamental aliran logam selama ECAP. Saluran ditekuk melalui sudut  $90^\circ$  dan spesimen dimasukkan di dalam saluran dan dapat ditekan melalui die menggunakan *punch*. Ada empat rute proses dasar dalam ECAP sebagaimana Gambar 2.4. Pada rute A, spesimen ditekan tanpa rotasi, pada rute B<sub>A</sub> spesimen diputar oleh  $90^\circ$  dalam arah alternatif antara lintasan berturut-turut, pada rute B<sub>C</sub> spesimen diputar  $90^\circ$  berlawanan arah jarum jam Antara setiap lintasan, dan pada rute C spesimen diputar oleh  $180^\circ$  di antara lintasan.

## 2.4.2 Metode *Equal Channel Angular Pressing – Parallel Channel*

Pada zaman modern ini metode ECAP-PC digunakan sebagai prosedur untuk pembuatan bahan *UFG metals and alloys*. ECAP-PC dapat dilakukan pada beberapa material baik *single crystals*, *polycrystalline*, maupun *metal-matrix composites* dalam skala bulk maupun batangan (Valiev, 2013).

Teknik ECAP-PC digunakan sebagai prosedur untuk pembuatan bahan *UFG metals and alloys*. Gambar 2.5 menunjukkan proses fundamental aliran logam selama ECAP – PC, saluran ditekuk melalui sudut  $90^0$  dan spesimen dimasukkan di dalam saluran dan dapat ditekan melalui *die* menggunakan *punch*. Dengan menggunakan saluran dua belokan atau saluran paralel, membuat regangan dalam satu lintasan menjadi dua kali lipat dan produktivitas proses ECAP meningkat. Metode ECAP – PC dikembangkan untuk mengurangi jumlah pengulangan dengan meningkatkan jumlah putaran saluran dalam *die*.



**Gambar 2.5** (A) Sekma Pemadatan Sampel ECAP-PC (B) Bentuk Sampel Yang Telah Terbentuk Melalui Proses ECAP-PC. (Pramono A, 2018)

Logam yang diproses ECAP-PC memiliki struktur butiran yang sangat halus yang tidak diperoleh melalui proses ECAP konvensional. Hasilnya, logam hasil proses ECAP-PC menunjukkan sifat unik dan luar biasa seperti kekuatan tinggi, dibandingkan dengan bahan hasil ECAP konvensional yang memiliki ukuran butiran kasar lebih dari beberapa puluh mikrometer.

Pada proses penekanan, sampel yang ditekan mengalami perbaikan pertumbuhan butir sehingga ukuran butir menjadi padat dan terdistribusi secara merata. Hal ini menjadikan proses ECAP-PC sebagai metode terbaik dalam menghasilkan produk dalam skala *bulk* atau batangan (Pramono A, 2015).

Logam yang diproses ECAP-PC seiring bertambahnya pass penekanan terhadap logam, terjadi peningkatan nilai kekerasannya secara signifikan seiring bertambahnya siklus penekanan pada proses ECAP-PC. Kekuatan tarik mengalami peningkatan nilai kuat tarik seiring bertambahnya pass penekanan pada proses ECAP-PC. Hal ini menafsirkan butiran halus UFG hasil ECAP-PC memiliki sifat mekanis yang dapat digunakan untuk aplikasi industri yang sangat luas (Valiev, 2013).

Substruktur terbentuk dengan kepadatan tinggi setelah proses ECAP-PC. Dislokasi kisi mengalami peningkatan kekuatan yang signifikan setelah proses ECAP-PC melalui 1 lintasan, tetapi *ductility* cukup rendah yaitu 6,5% (Tabel 1). Pembentukan struktur UFG dari tipe gabungan yang mengandung butiran dan subgrain dalam *billet* setelah proses ECAP-PC melalui 2 lintasan memberikan beberapa peningkatan kekuatan dan *ductility* hingga 8%. Pada saat yang sama, struktur UFG yang homogen terbentuk setelah ECAP-PC melalui 4 lintasan

menyebabkan kehilangan kekuatan yang tidak signifikan. Namun daktilitasnya meningkat dua kali dan perpanjangannya mencapai 20%.

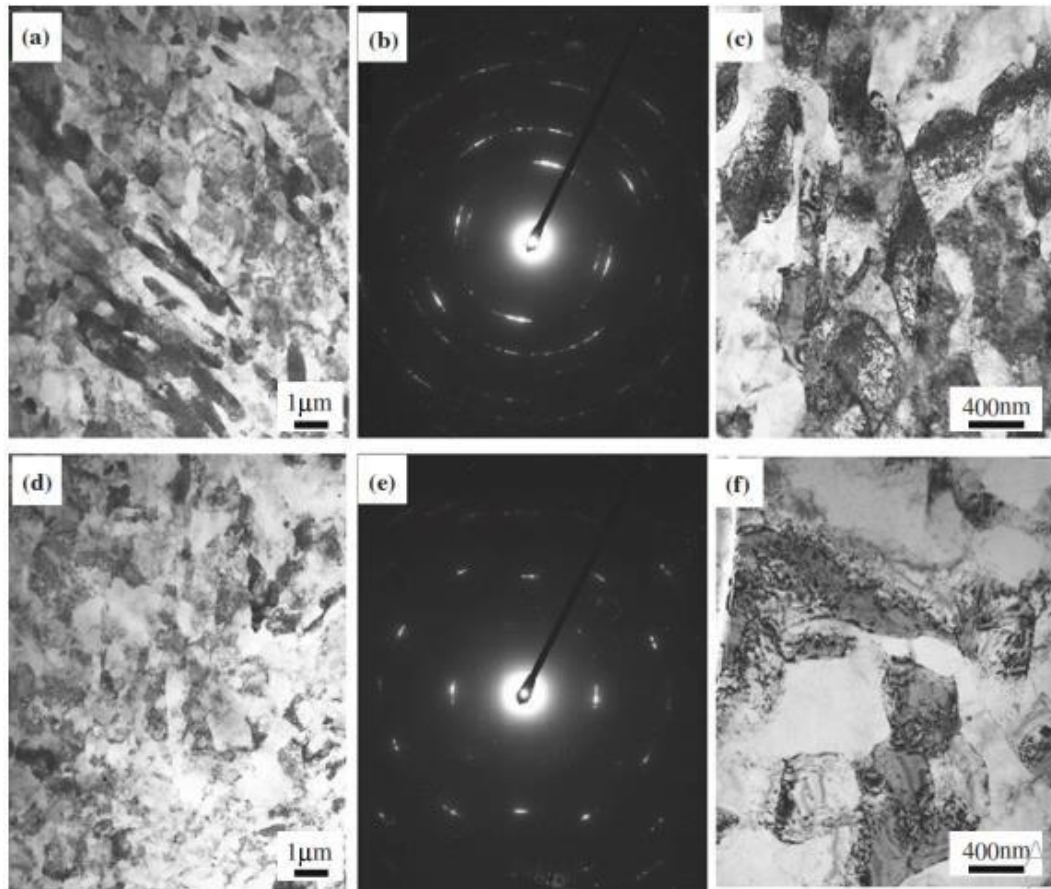
Sifat mekanis dari hasil proses *equal channel angular pressing – parallel channel* 1 lintasan, 2 lintasan dan 4 lintasan pada temperature 100 °C ditunjukkan dalam tabel berikut.

**Tabel 2.3** sifat mekanis setelah proses ECAP-PC pada temperatur 100 °C

(Valiev, 2010)

Treatment	UTS, MPa	YS, MPa	El., %
ECAP-PC at 100°C, 1 pass	370	335	6.5
ECAP-PC at 100°C, 2 passes	380	350	8.0
ECAP-PC at 100°C, 4 passes	345	305	20.0

Dengan demikian, analisis perubahan struktural pada paduan setelah ECAP-PC pada 100 °C membuktikan bahwa teknik ECAP-PC memungkinkan untuk menghasilkan struktur UFG yang homogen. Dengan kata lain, penggunaan ECAP-PC dapat mengurangi jumlah lintasan dalam 2-3 kali proses ECAP konvensional dalam kondisi yang sama. Keuntungan lain dari pengepresan adalah peningkatan yang signifikan dalam volume struktur UFG dalam billet yang diproses: sekitar 85-90% dibandingkan dengan 50-60% setelah ECAP konvensional. Ini dapat menjadi minat khusus untuk proses aplikasi industri (Valiev, 2010).



**Gambar 2.6** Ukuran Butir Setelah Proses ECAP-PC (a,b,c) 1 lintasan  
(d,e,f) 2 lintasan (Valiev, 2013)

Dalam pengamatan mikrostruktur optik yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 (a,b,c) logam dapat dipastikan memiliki ukuran butiran yang lebih besar pada lintasan pertama pada proses ECAP-PC dan memiliki ukuran lebih kecil atau lebih halus setelah dua lintasan pada proses ECAP-PC (d,e,f). Ukuran butir terus mengecil yang menjadikan logam meningkat kekuatan dan kekerasannya seiring terjadinya peningkatan jumlah lintasan.

Proses ECAP konvensional secara signifikan meningkatkan kekuatan, tetapi mengurangi keuletan. Material hasil proses ECAP-PC menunjukkan peningkatan daktilitas dengan pengurangan kekuatan yang lebih kecil dibandingkan ECAP



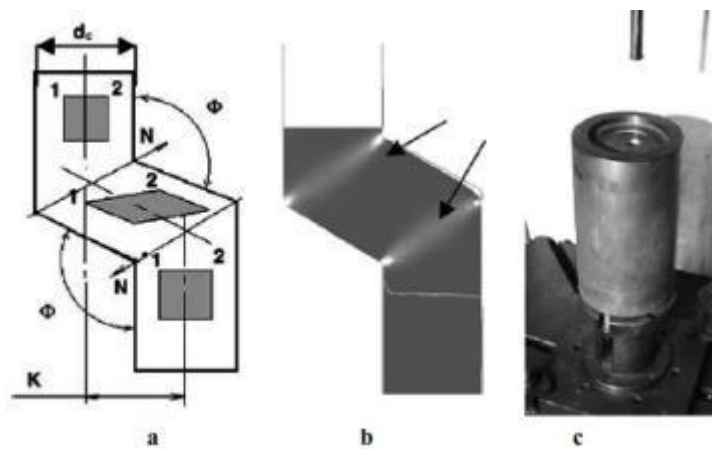
konvensional setelah ECAP-PC melalui 4 lintasan. Paduan UFG Aluminium merupakan kombinasi yang luar biasa dari kekuatan yang tinggi dan keuletan yang tinggi. Perilaku mekanis yang menarik ini dapat disebabkan oleh pembentukan struktur UFG dengan batas butir sudut tinggi yang mampu menggeser batas butir, atau kesulitan dalam melokalisasi regangan karena adanya partikel dispersi. (Valiev, 2009).

## **2.5 Perkembangan *Equal Channel angular Pressing – Parallel Channel***

Hal yang mendasar dari proses *severe plastic deformation* (SPD) adalah fisik dari *strain* yang besar. Pada teori fragmentasi, yaitu sesuatu yang menjelaskan tentang timbulnya batas sudut deformasi asal yang tinggi dalam kondisi *strain* besar ( $e = 1-2$ ). Teknik SPD memungkinkan untuk mendapatkan *strain* yang sangat besar ( $e = 6-8$  dan lebih besar) yang dapat menghasilkan pembentukan struktur *ultrafine grain* (dengan ukuran butir kurang dari  $1 \mu\text{m}$ , yang disebut struktur submikrokristalin) dan kurang dari  $100 \text{ nm}$ , sehingga struktur nanokristalin disebut dengan batas butir yang memiliki sudut yang tinggi (Valiev, 2008).

Sejak ditemukannya metode SPD yang dapat menghasilkan struktur *ultrafine grain*, salah satu teknik SPD telah menarik perhatian dan belakangan ini mengalami perkembangan lebih lanjut yaitu *Equal Channel Angular Pressing* (ECAP). Diantara tren baru pada *Equal Channel Angular Pressing* (ECAP), ada proses bahan yang sulit untuk dideformasi yang hanya dapat dideformasi dengan menambahkan persimpangan baru pada saluran cetakan sebesar  $\Phi > 90^\circ$ . Pemodelan eksperimental dan teori yang berkembang pada mekanika ECAP, dengan memfokuskan pada keadaan cacat tegangan, tegangan kontak dan kondisi gesekan,

telah memungkinkan untuk membuat cetakan ECAP untuk pemrosesan billet yang lebih besar dengan *ultrafine grain* yang lebih seragam dari berbagai logam. Perkembangan terkini dalam proses ECAP yaitu dengan mengaitkan modifikasi desain dan teknik saluran pada cetakan (*die-set*) serta dengan mengembangkan rute yang baru dengan menghubungkan saluran paralel terhadap *die-set* atau biasa disebut *equal channel angular pressing – parallel channel* (ECAP-PC). Perkembangan terbaru yang menggabungkan simulasi metode elemen hingga dua dimensi (2D FEM) dan eksperimen langsung. Hal ini memberikan demonstrasi yang sangat jelas tentang keuntungan menekan dengan dua saluran paralel. Gambar 2.7 Menunjukkan ilustrasi prinsip *equal channel angular pressing – parallel channel* (ECAP-PC).



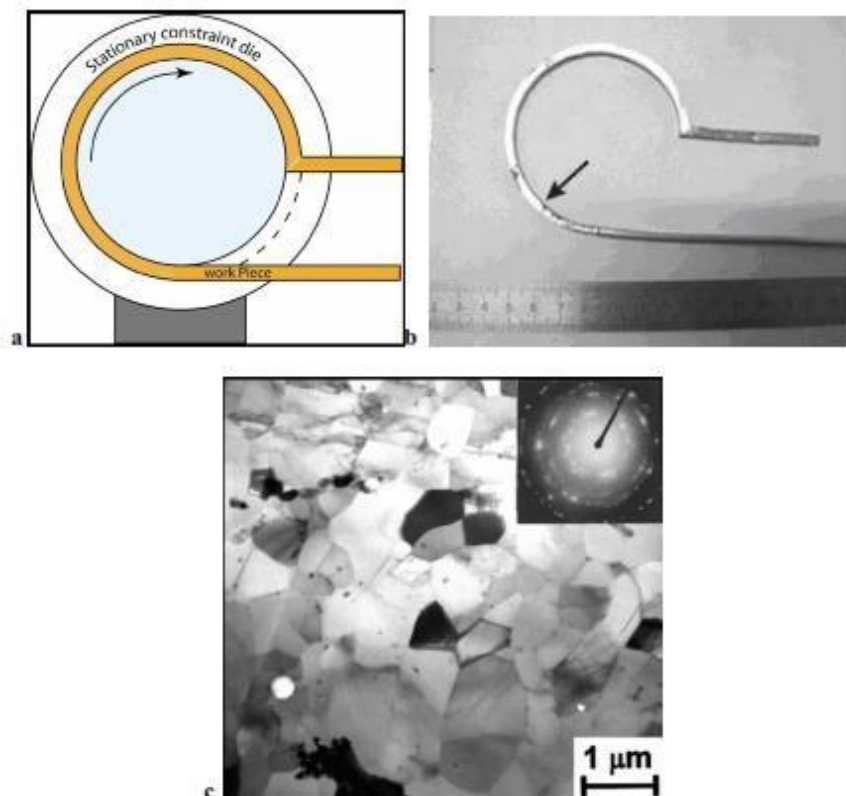
**Gambar 2.7** Prinsip ECAP dengan saluran paralel: (a) Ilustrasi skematik di mana (b) zona deformasi yang diperoleh dari simulasi FEM 2-D untuk ECAP dengan saluran paralel (c) cetakan eksperimen ECAP di mana  $\phi = 100^\circ$  dan  $K =$  diameter saluran 18 mm (Valiev, 2008).

Prinsip-prinsip prosedur ini diilustrasikan secara skematis pada Gambar 2.7 di mana  $N$  berada dalam arah geser,  $K$  adalah perpindahan antara dua saluran,  $\phi$

adalah sudut persimpangan antara dua bagian saluran dan internal dan daerah yang diarsir menggambarkan geser sebagai sampel yang melintasi zona geser. Ciri khas ECAP dengan saluran paralel adalah selama pemrosesan tunggal, dua peristiwa geser yang terjadi berbeda-beda. Ini berarti dalam praktiknya ada pengurangan yang cukup besar dalam jumlah lintasan yang diperlukan untuk pembentukan struktur *ultrafine grain*. Nilai-nilai untuk perpindahan antara dua saluran,  $K$ , dan sudut persimpangan saluran,  $\phi$  adalah parameter utama dari geometri cetakan yang mempengaruhi pola aliran dan keadaan tegangan regangan dari proses ECAP. Pengaruh parameter  $\phi$  dan  $K$  pada pola aliran dan homogenitas regangan dari spesimen tembaga diselidiki menggunakan simulasi 2-D FEM selama ECAP dengan saluran paralel. Telah ditetapkan bahwa nilai-nilai optimal dari parameter-parameter ini, yang mengarah ke homogenitas regangan terbesar di penampang billet yang ditekan, adalah  $\phi = 100^\circ$  dan nilai perpindahan  $K \approx dc$  (di mana  $dc$  adalah diameter saluran). Ini berarti dalam praktiknya bahwa dalam kondisi optimal telah tercapai ketika perpindahan lateral yang diukur antara kedua saluran kira-kira sama dengan dimensi saluran. Dalam kondisi ini, regangan terakumulasi untuk satu lintasan kira-kira sama dengan 2-3 lintasan kali proses ECAP konvensional dalam kondisi yang sama. Penting untuk dicatat juga bahwa hasil simulasi telah dikonfirmasi secara eksperimental menggunakan metode grid (Valiev, 2008).

Fitur penting telah diungkapkan mengenai sifat aliran logam selama ECAP dalam saluran paralel. Setelah satu lulus penuh, sebuah mesh pada sampel tampak tidak terdistorsi, dengan demikian menunjukkan bahwa distribusi regangan yang seragam dicapai termasuk dalam potongan ekor. Jadi, tidak seperti ECAP

konvensional, bentuk sampel setelah pengepresan tetap identik dengan sampel awal. Perhitungan yang diperoleh dari saluran paralel digunakan untuk pembuatan *die-set* ECAP untuk operasi pada suhu hingga 500 °C seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2.7 (c). Sampel yang diproduksi dengan menekan melalui 4 lintasan dan pengamatan dengan mikroskop elektron transmisi (TEM) menunjukkan bahwa perbaikan struktural dalam sampel ini sesuai dengan pembentukan struktur *ultrafine grain* diamati setelah ECAP konvensional ketika menekan melalui 8 lintasan. Selain itu, struktur *ultrafine-grained* (UFG) terhomogenisasi di sepanjang sampel termasuk hingga ujung. Keseragaman mikrostruktur yang tinggi ini sangat penting secara praktis karena meningkatnya potensi untuk memanfaatkan bahan setelah ECAP (Valiev, 2008).



**Gambar 2.8** (a) Ilustrasi skematis dari pengaturan ECAP-Conform (b) Benda kerja Al dalam proses ECAP-Conform (c) Sebuah mikrograf TEM dari bagian longitudinal Al *wire* diproses oleh ECAP-Conform dengan empat lintasan (Valiev, 2008).

Langkah-langkah penting yang diperlukan untuk mengkomersilkan secara luas bahan UFG adalah menurunkan biaya pemrosesan dan mengurangi pemborosan dan dalam praktiknya kedua persyaratan ini dapat dipenuhi dengan pengenalan prosedur proses yang berkelanjutan. Beberapa upaya telah dilakukan untuk mencapai tujuan ini salah satunya adalah menggabungkan ECAP dengan proses *conform* yang sudah ada (Valiev, 2008).

Teknik baru ini ECAP-Conform diilustrasikan pada Gambar 2.8. Hal ini berdasarkan pada penggunaan poros yang berputar yang mengandung alur sehingga benda kerja dimasukkan ke dalam alur dan digerakkan ke depan oleh gaya gesek. Pada akhirnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 (a) benda kerja keluar dari fasilitas melalui sudut tajam yang mencerminkan pemrosesan dengan ECAP konvensional. Dengan demikian, proses ini memiliki potensi untuk terus memproses bahan UFG dalam produksi komersial skala besar. Gambar 2 (b) menunjukkan benda kerja Al pada setiap tahap proses ECAP-Conform dari stok putaran makan awal ke batang Al persegi panjang setelah satu kali lintasan ECAP (Valiev, 2008).

Pengamatan dengan mikroskop elektron transmisi, seperti yang diberikan pada Gambar 2.8 (c) menunjukkan proses ECAP-Conform mengarah ke evolusi

mikrostruktur yang khas dari proses ECAP. Baru-baru ini ECAP-Conform telah berhasil direalisasikan dalam penciptaan *die-set* khusus dan diterapkan untuk beberapa logam berstruktur UFG (Valiev, 2008).

## **2.6 Heat Treatment**

*Heat treatment* merupakan suatu proses pemanasan dan pendinginan yang terkontrol, dengan tujuan mengubah sifat fisik dan sifat mekanis dari suatu bahan atau logam sesuai dengan yang diinginkan. Proses dalam *heat treatment* meliputi *heating*, *colding*, dan *cooling*. Adapun tujuan dari masing-masing proses yaitu :

1. *Heating* : proses pemanasan sampai temperatur tertentu dan dalam periode waktu. Tujuannya untuk memberikan kesempatan agar terjadinya perubahan struktur dari atom-atom dapat menyeluruh.
2.  *Holding* : proses penahanan pemanasan pada temperatur tertentu, bertujuan untuk memberikan kesempatan agar terbentuk struktur yang teratur dan seragam sebelum proses pendinginan.
3. *Cooling* : proses pendinginan dengan kecepatan tertentu, bertujuan untuk mendapatkan struktur dan sifat fisik maupun sifat mekanis yang diinginkan

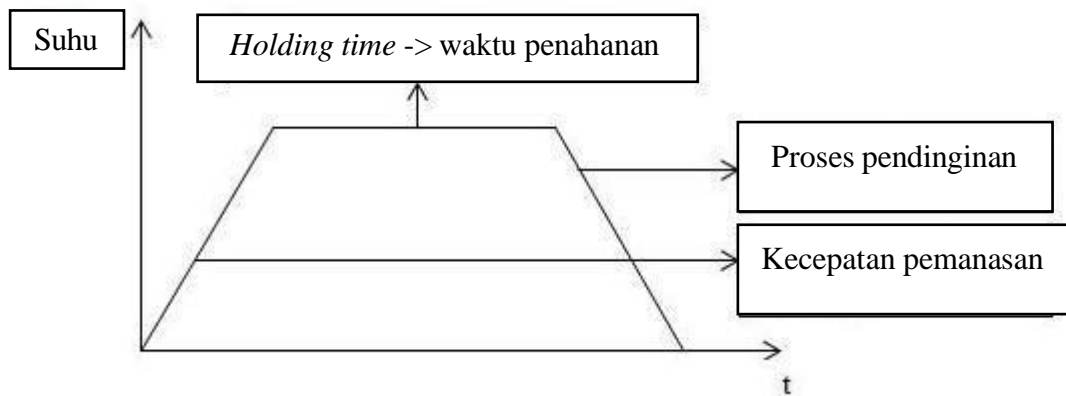
Terdapat berbagai macam perlakuan panas pada material komposit. Pemilihan perlakuan panas sangat tergantung pada tujuan penggunaan material komposit di lapangan dan struktur mikro serta sifat-sifat material komposit yang ingin dihasilkan.

### **2.6.1 Annealing**

Adalah sebuah proses perlakuan panas yang digunakan untuk meniadakan pengaruh dari *cold work*, dan juga berfungsi untuk membuat material menjadi lebih lunak dan meningkatkan *ductility*.

Dalam pengerjaan dingin maka akan terjadi perubahan sifat fisik maupun mekanik. Perubahan sifat mekanik misalnya peningkatan kekerasan, tegangan sisa dan kekuatan tarik/luluh dan penurunan elastisitas akibat pengerjaan dingin. Untuk itu logam perlu dipulihkan ke kondisi awal guna mendapatkan sifat mekanik yang diinginkan dengan cara *annealing*. Logam yang mengalami deformasi, mempunyai energi regangan yang tersimpan dalam kisi sehingga kondisinya tidak stabil secara termodinamik dibandingkan dengan kondisi tanpa deformasi. Secara umum, proses *annealing* dibagi menjadi 3 tahap, antara lain.

1. Pemanasan (peningkatan temperatur) hingga temperatur yang diinginkan.
2. Penahanan pada temperatur tersebut ( *Holding Process*).
3. Pendinginan (Penurunan temperatur) biasanya menuju temperatur ruang (Dessy, 2016).



**Gambar 2.9** Skema Perlakuan *Annealing*

Berdasarkan aspek metalurgi, *annealing* terjadi dalam beberapa tahap, antara lain :

1. *Recovery* merupakan tahap awal proses anil, dimana terjadi restorasi sifat fisis logam hasil pengerjaan dingin tanpa mengalami perubahan kekuatan dan kekerasan material. Proses ini berlangsung pada temperatur rendah. Selama tahap ini *strain energy* yang tersimpan dilepaskan oleh pergerakan dislokasi. Efek utama *recovery* adalah pembebasan tegangan dalam atau *internal stress* yang disebabkan oleh pengerjaan dingin. Proses *recovery* sering disebut sebagai proses *stress relieving* karena melepaskan sebagian tegangan dalam dan pengurangan tegangan sisa.
2. Ketika tahap *recovery* akan berakhir, rekristalisasi atau pembentukan inti dari butir baru akan mulai terjadi. Proses rekristalisasi hampir sama dengan proses solidifikasi, dimana terjadi transformasi nukleasi dan pertumbuhan butir. Nukelasi butir baru muncul karena



penggabungan *subgrain*. Permukaan pertumbuhan heterogeneous ini merupakan cacat mikrostruktur yang berupa batas butir dan inklusi. Butir baru terbentuk dengan mengorbankan butir lama. Butir-butir ini bebas regangan dan terikat dengan batas butir bersudut besar dengan mobilitas yang tinggi. Ketika butir lama tergantikan dengan butir yang baru bebas regangan, dapat dikatakan material tersebut telah terekristalisasi dengan sempurna (*fully recrystallized*)

3. *Grain growth* terjadi ketika rekristalisasi primer terbentuk secara sempurna. Karakteristik utama adalah terjadi penurunan kekuatan dari material dengan bertambahnya ukuran butir. Jika butir logam bebas regangan dipanaskan dan temperatur tinggi dan waktu yang lama, maka batas butir cenderung bermigrasi dan menghasilkan penambahan ukuran butir secara seragam. Ketika ukuran butir membesar, luas area total batas-batas butir berkurang sehingga energi logam menurun.

(Juriah M, 2005).

### **2.6.2 Age Hardening**

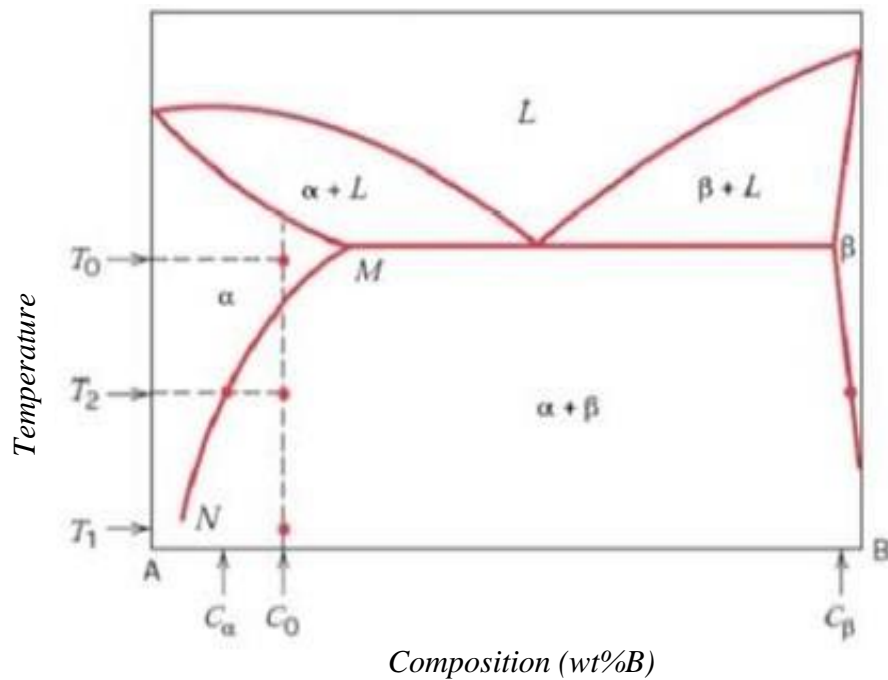
Salah satu cara perlakuan panas pada logam paduan aluminium adalah dengan *age hardening*. Melalui *age hardening*, logam paduan aluminium akan memperoleh kekuatan dan kekerasan yang lebih baik. Istilah penuaan keras (*age hardening*) telah dibakukan dari istilah sebelumnya yang sering digunakan misalnya pemuliaan atau penemperan keras. Pada paduan aluminium, *age hardening* dibedakan atas *age hardening* dalam keadaan dingin dan *age*

*hardening* dalam keadaan panas. Penuaan keras (*age hardening*) berlangsung dalam tiga tahap yaitu :

**a) Tahap Perlakuan Panas Pelarutan (*Solution Heat Treatment*).**

Tahap pertama dalam proses *age hardening* yaitu *solution heat treatment* atau perlakuan panas pelarutan. *Solution heat treatment* yaitu pemanasan logam aluminium dalam dapur pemanas dengan temperature  $550^{\circ}\text{C} - 560^{\circ}\text{C}$  dan dilakukan penahanan atau *holding* sesuai dengan jenis dan ukuran benda kerja (Schonmetz, 1990). Pada tahap *solution heat treatment* terjadi pelarutan fasa-fasa yang ada, menjadi larutan padat. Tujuan dari *solution heat treatment* itu sendiri yaitu untuk mendapatkan larutan padat yang mendekati homogen.

Proses *solution heat treatment* dapat dijelaskan dalam Gambar 2.8 dimana logam paduan aluminium pertama kali dipanaskan dalam dapur pemanas hingga mencapai temperatur  $T_1$ . Pada temperatur  $T_1$  fase logam paduan aluminium akan berupa kristal campuran  $\alpha$  dalam larutan padat. Pada temperatur  $T_1$  tersebut, pemanasan ditahan beberapa saat agar didapat larutan padat yang mendekati homogen.



**Gambar 2.10** Diagram Fasa Pemanasan Logam Paduan (Tata Surdia dan Shinroku Saito, 1992).

**b) Tahap Pengejukan Pendinginan ( *Quenching* )**

*Quenching* dilakukan dengan cara mendinginkan logam yang telah dipanaskan dalam dapur pemanas kedalam media pendingin. Pendingin dilakukan secara cepat, dari temperatur pemanas ke temperatur yang lebih rendah, pada umumnya mendekati temperatur ruang. Tujuan dilakukan *quenching* adalah agar larutan padat homogen yang terbentuk pada *solution heat treatment* dan kekosongan atom dalam keseimbangan termal pada temperatur tinggi tetap pada tempatnya. Pada tahap *quenching* akan menghasilkan larutan padat lewat jenuh (*Super Saturated Solid Solution*) yang merupakan fasa tidak stabil pada

temperatur biasa atau temperature ruang. Pada proses *quenching* tidak hanya menyebabkan atom terlarut tetap ada dalam larutan, namun juga menyebabkan jumlah kekosongan atom yang tetap besar. Adanya kekosongan atom dalam jumlah besar dapat membantu proses difusi atom pada temperatur ruang untuk membentuk Zona *Guinier-Preston* (Zona GP). Zona *Guinier-Preston* (Zona GP) adalah kondisi didalam paduan dimana terdapat agregasi atom padat atau pengelompokan atom padat (Tata Surdia dan Shinroku Saito, 1992).

**c) Tahap Penuaan (*Aging*)**

Setelah *solution heat treatment* dan *quenching* tahap selanjutnya dalam proses *age hardening* adalah *aging* atau penuaan. Perubahan sifat-sifat dengan berjalanya waktu pada umumnya dinamakan *aging* atau penuaan. *Aging* atau penuaan pada paduan aluminium dibedakan menjadi dua, yaitu penuaan alami (*natural aging*) dan penuaan buatan (*artificial aging*).

Penuaan alami (*natural aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di *age hardening* dalam keadaan dingin. *Natural aging* berlangsung pada temperatur ruang antara 15 °C– 25 °C dan dengan waktu penahanan 5 sampai 8 hari. Penuaan buatan (*artificial aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di *age hardening* dalam keadaan panas. *Artificial aging* berlangsung pada temperatur antara 100 C – 200

C dan dengan lamanya waktu penahanan antara 1 sampai 24 jam (Schonmetz, 1990).

Pada tahap *artificial aging* dalam proses *age hardening* dapat dilakukan beberapa variasi perlakuan yang dapat mempengaruhi hasil dari proses *age hardening*. Salah satu variasi tersebut adalah variasi temperature *artificial aging*. Temperatur *artificial aging* dapat ditetapkan pada temperatur saat pengkristalan paduan alumunium ( $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) di bawah temperatur pengkristalan atau di atas temperatur pengkristalan logam paduan alumunium (Schonmetz,1990). Penuaan buatan (*artificial aging*) berlangsung pada suhu antara  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ –  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

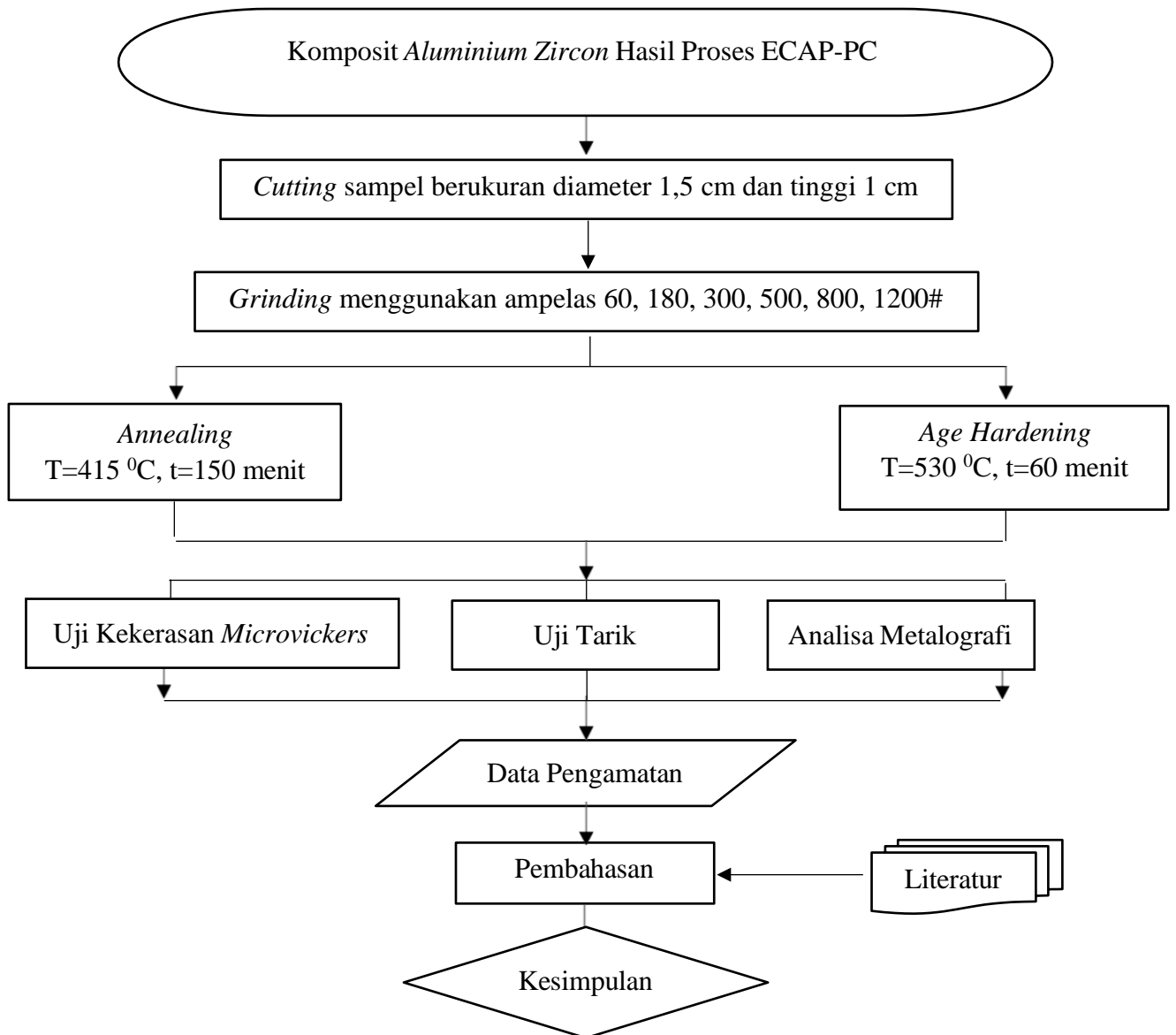
Pengambilan temperatur *artificial aging* pada temperatur Antara  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  - $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  akan berpengaruh pada tingkat kekerasan sebab pada proses *artificial aging* akan terjadi perubahan-perubahan fasa atau struktur. Perubahan fasa tersebut akan memberikan sumbangan terhadap pengerasan (Bagus, 2015).

# BAB III

## METODE PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 menjelaskan diagram alir yang menggambarkan proses penelitian yang dilakukan serta pengujian yang dilakukan.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

## 3.2 Alat Dan Bahan

### 3.2.1 Alat Yang Digunakan

Berikut adalah alat yang digunakan pada penelitian :

1. Mesin *press*
2. Gerinda
3. Jangka sorong
4. Tang penjepit
5. Gergaji besi
6. *Furnace*
7. Mesin *grinding*
8. Mesin *polishing*
9. Alat uji kekerasan *microvickers*
10. Mikroskop optik

### 3.2.1 Bahan Yang Digunakan

Berikut adalah bahan yang digunakan pada penelitian :

1. Komposit *Aluminium zircon* hasil *Equal Channel Angular Pressing – Parallel Channel* (ECAP-PC) dengan komposisi Al, 6.06; Fe, 12.53; Mg, 5.45; Mn, 12.33; Si, 6.30; Ti, 10.74; V, 11.43; Zn, 14.67; Zr, 20.47
2. *Acetone*
3. Resin
4. *Hardener*
5. *Keller's Reagent*

6. Aquades
7. Pasta alumina
8. Kertas ampelas 60, 180, 300, 500, 800, 1200#
9. *Ethanol*

### 3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi beberapa tahapan proses. Tahapan proses yang dilakukan antara lain, yaitu proses preparasi sampel, analisa komposisi sampel, proses *heat treatment*, pengamatan mikrostruktur, dan pengujian kekerasan.

#### 3.3.1 Preparasi Sampel

Adapun tahapan preparasi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pemotongan sampel dilakukan menggunakan alat potong. Sampel dipotong sebanyak masing-masing 1 pass, 2 pass dan 3 pass menjadi 3 buah sampel berukuran diameter 1,5 cm dan tinggi 1 cm.



**Gambar 3.2** Sampel Yang Dipotong



2. Pada proses *mounting*, sampel dimasukkan ke dalam wadah pipa paralon yang sudah dipotong berukuran diameter 3 cm dan tinggi 2 cm. Kemudian mempersiapkan *resin* yang dicampur *hardener*. Pencampuran *resin* dan *hardener* nya bertujuan untuk mengeraskan cairan resin dan kemudian di tuangkan kedalam wadah pipa paralon yang sudah disiapkan.



**Gambar 3.3** Sampel Yang Di *Mounting*

3. *Grinding* dan *polishing* dilakukan menggunakan alat *grinding/polishing*. Proses *grinding* dilakukan dengan amplas 60, 180, 300, 500, 800, 1200# agar mereduksi permukaan sampel yang kasar menjadi lebih halus.

### **3.3.2 Heat Treatment**

Proses *heat treatment* dilakukan di laboratorium metalurgi FT. UNTIRTA menggunakan alat *Nabertherm*. Dalam penelitian ini dilakukan beberapa metode seperti :

1. Proses *annealing* dilakukan dengan tujuan untuk memperbaiki sifat mekanis dari proses *cold work*, dan juga berfungsi untuk membuat material menjadi lebih lunak dan meningkatkan *ductility*. *Annealing* dilakukan dengan temperatur 415 °C dengan waktu penahanan selama 150 menit, diturunkan ke temperatur 177 °C dan dibiarkan dalam *furnace* untuk menurunkan temperatur secara alami.



**Gambar 3.4** Sampel Diproses *Annealing*

2. Proses *age hardening* dilakukan dengan tujuan untuk dapat meningkatkan kekuatan komposit *aluminium zircon* seiring dengan meningkatnya *holding time* pada teknis proses. Pada proses ini pemanasan dilakukan pada temperatur 530°C dan ditahan selama 60 menit, kemudian di dinginkan dengan cepat menggunakan air.



**Gambar 3.5** Sampel Diproses *Age Hardening*

### **3.3.4 Pengamatan Mikroskop Optik**

Proses metalografi dilakukan dengan menggunakan alat mikroskop optik *Hirox* untuk melihat struktur mikro pada sampel dengan perbesaran 200 kali. Adapun tahapan proses metalografi adalah sebagai berikut.

1. Pada sampel hasil proses *heat treatment*, area yang diamati adalah bagian *interface*.
2. Sebelum dilakukan pengamatan, dilakukan *mounting* terlebih dahulu pada sampel dengan menggunakan campuran resin dan *hardener* agar mempermudah saat proses *grinding* dan *polishing*.
3. Kemudian proses *grinding* untuk pengujian metalografi dilakukan dengan mesin *grinding* dengan kecepatan 400 rpm dilakukan selama 1-2 menit menggunakan amplas dengan air

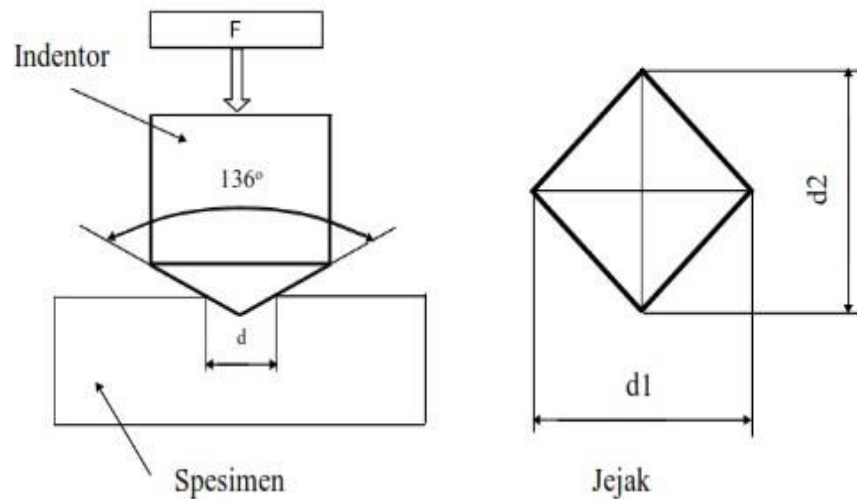
sebagai pelumas, proses grinding dimulai dari 60, 180, 300, 500, 800, 1200#

4. Tahapan selanjutnya adalah *polishing*, dilakukan dengan mesin *polishing* menggunakan pasta alumina dan aquades sebagai pelumas, dipoles sampai permukaan sampel mengkilat dan tidak ada goresan.
5. Tahap selanjutnya adalah *etching*, dilakukan dengan menggunakan etsa *Keller Reagent* dengan komposisi larutan terdiri dari 2,5 ml HNO<sub>3</sub>, 1,5 ml HCl, 1 ml HF dan 95 ml aquades. Material dicelupkan selama 8-10 detik, selanjutnya dibersihkan menggunakan aquades lalu dikeringkan menggunakan kompresor.
6. Tahap terakhir adalah pengamatan mikrostruktur dengan menggunakan mikroskop optik untuk melihat *interface bonding* yang terbentuk.

### **3.3.5 Pengujian Kekerasan *Microvickers***

Dalam pengujian kekerasan ini dilakukan dengan menggunakan metode *microvickers* yang berdasarkan standar (ASTM E92-17). Pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan menggunakan mesin *Vickers* mekanis. Pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode *microvickers* dengan pembebanan 200 gf dan waktu indentasi 15 detik dengan hasil test kalibrasi  $202 \pm 10$ . Penjajakan indentor intan dilakukan pada tiga titik

yang berbeda dan hasilnya dirata-ratakan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan pada bagian-bagian permukaan sampel komposit *aluminium zircon*. Gambar 3.6 menunjukkan skema pengujian kekerasan *microvickers*.



**Gambar 3.6** Metode Pengujian Kekerasan *Microvickers*

Untuk menentukan nilai kekerasan *microvickers* secara manual dapat menggunakan persamaan :

$$H_v = 1854,4 \times \frac{P}{d^2}$$

Dengan keterangan :

$H_v$  = nilai kekerasan vickers (HVN),

$P$  = beban (gf)

1854,4 = koefisien standar *Vickers*,

$d^2$  = diagonal (mm)

Berikut adalah prosedur penelitian yang dilakukan.

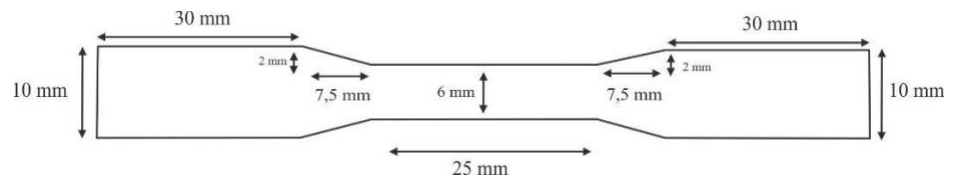
1. Sebelum dilakukan pengujian kekerasan, sampel yang akan diuji disiapkan dan menentukan titik-titik pada sampel yang akan di uji kekerasannya.
2. Pengujian kekerasan dilakukan pada 6 titik yang berbeda untuk mendapatkan hasil yang akurat.
3. Sampel diletakan pada holder dan dilakukan pengujian kekerasan *microvickers*.
4. Beban dan waktu indentasi ditentukan, lalu tombol *load* dan *time* ditekan. Beban yang diaplikasikan sebesar 200 gf (*gram force*) dengan waktu indentasi selama 15 detik.
5. Lalu dilakukan indentasi dengan menekan tombol start sampai tampak nilai diagonal indentasi pada layar.
6. Setelah itu, hasil pengujian berupa diagonal indentasi rata-rata dicatat.

### **3.3.6 Pengujian tarik**

Dalam pengujian tarik ini dilakukan menggunakan metode ASTM A370-16, sampel uji berbentuk plate. Mesin uji yang digunakan *Universal Testing Machine 250 Kn*. Pengujian tarik dilakukan pada temperatur laboratorium 23 °C dengan kecepatan tarik 10 mm/menit. Data yang didapatkan pada pengujian tarik adalah kuat luluh (*yield strength*), kuat tarik (*Ultimate Tensile Strength*) dan *elongation*.

Berikut adalah prosedur penelitian yang dilakukan.

1. Sebelum dilakukan pengujian tarik, sampel yang akan diuji dibentuk sesuai ukuran sampel uji tarik dengan pengukuran sebagai berikut.



**Gambar 3.7** Ukuran Sampel Uji Tarik

2. Lalu dilakukan pengujian pada mesin uji tarik dengan melakukan pembebanan tarik sampai sampel putus.
3. Setelah itu, mencatat hasil pengujian berupa kuat luluh (*yield strength*), kuat tarik (*Ultimate Tensile Strength*) dan *elongation*.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil Pengujian Kekerasan *Microvickers***

Metode pengujian kekerasan *microvickers* merupakan salah satu cara untuk mengetahui sifat mekanik dari suatu material. Pengujian kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi (penekanan). Pengujian kekerasan dengan metode *microvickers* bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan dan daya tahan suatu material terhadap gaya indentasi intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri berbentuk piramid. Beban yang digunakan juga jauh lebih kecil dibanding dengan pengujian *rockwell* dan *brinel* yaitu antara 25 gram sampai 1000 gram. Angka nilai kekerasan *microvickers*. Hv didefinisikan sebagai hasil bagi koefisien dari beban uji dengan luas permukaan hasil indentasi (ASTM E92-17, 2000).

Pada Gambar 4.1 metode pengujian kekerasan *microvickers* dioperasikan dengan cara menekan benda uji atau sampel dengan menggunakan indentor intan yang berbentuk piramida dengan alas segi empat dan besar sudut dari permukaan-permukaan yang berhadapan  $136^{\circ}$ . Setelah dilakukan penekanan dengan indentor intan maka hasil yang didapat berupa jejak atau lekukan pada permukaan spesimen. Untuk mendapatkan nilai kekerasan spesimen, jejak hasil indentasi harus diukur terlebih dahulu menggunakan mikroskop dari alat uji kekerasan *microvickers*, kemudian didapatkan angka diagonal *vertical* dan *horizontal* dan dirata-ratakan.

Pada penelitian ini material yang digunakan adalah komposit *aluminium*



zircon dengan aluminium AA1070 sebagai matriksnya dan zircon sebagai *reinforcement*.

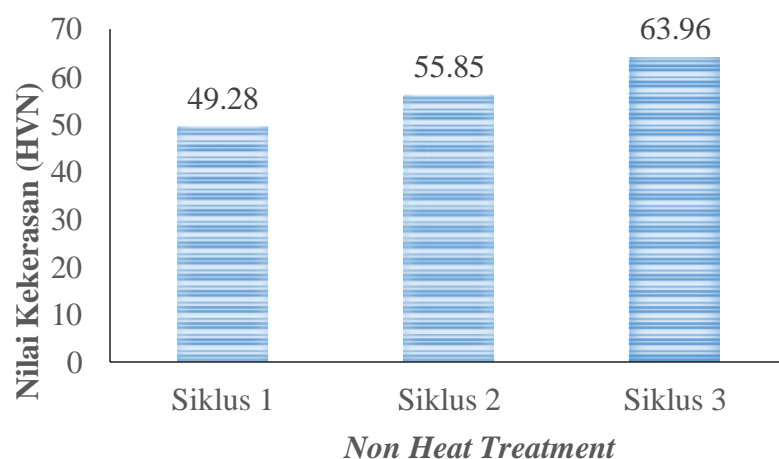
**Tabel 4.1** Data Pengujian Kekerasan *Microvickers*

<i>Heat treatment</i>	Pass penekanan ECAP-PC	Diagonal vertical (mm)	Diagonal horizontal (mm)	Rata-rata diagonal (mm <sup>2</sup> )	Nilai kekerasan <i>microvickers</i> (HVN)	Nilai rata-rata kekerasan <i>microvickers</i> (HVN)
<i>Non treatment</i>	1 pass	83	88	85,5	50,73	49,28
		80	90	85	51,33	
		85	95	90	45,79	
		80	82	81	56,53	
<i>Non treatment</i>	2 pass	80	82	81	56,53	55,85
		80	85	82,5	54,49	
		75	75	75	65,93	
<i>Non treatment</i>	3 pass	78	77	76	64,21	63,96
		75	80	77,5	61,75	
		55	46	50,5	145,4	
<i>Age hardening</i>	1 pass	46	52	49	154,5	143,97
		50	56	53	132	
		40	50	45	183,2	
<i>Age hardening</i>	2 pass	52	45	48,5	157,7	167,30
		48	48	48	161	
		38	43	40,5	226,1	
<i>Age hardening</i>	3 pass	42	45	43,5	196	221,97
		43	35	39	243,8	
		105	110	107,5	32,09	
<i>Annealing</i>	1 pass	105	120	112,5	29,3	30,87
		102	116	109	31,22	
		100	97	98,5	38,23	
<i>Annealing</i>	2 pass	95	83	89	46,82	39,46
		108	103	105,5	33,32	
		83	90	86,5	49,57	
<i>Annealing</i>	3 pass	90	90	90	45,79	45,78
		100	88	94	41,97	

Dari Tabel 4.1 menunjukkan peningkatan nilai kekerasan yang terjadi pada sampel yang dilakukan proses *age hardening* disebabkan oleh pergerakan dislokasi yang terkurung akibat pertumbuhan fasa presipitat yang terbentuk secara merata. Sedangkan pada sampel *annealing* mengalami penurunan kekerasan disebabkan oleh presipitasi terjadi bersamaan dengan rekristalisasi sehingga pergerakan presipitat melambat seiring meningkatnya suhu dalam proses anil dan memainkan peran penting untuk menstabilkan struktur mikro pada suhu tinggi.

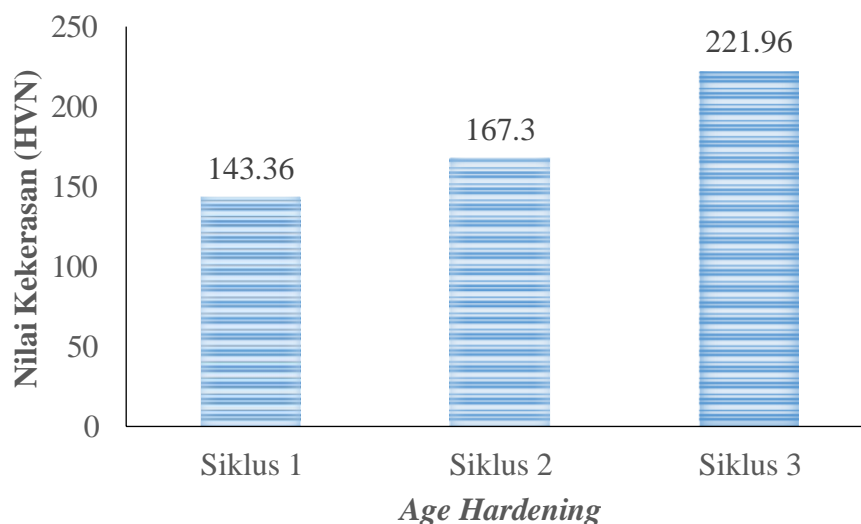
#### 4.1.1 Analisa Pengaruh Proses *Heat treatment* Terhadap Nilai Kekerasan Sampel Komposit *Aluminium Zircon*

Nilai kekerasan sampel komposit *aluminium zircon non heat treatment* ditunjukkan pada Gambar 4.1 dimana nilai kekerasan dari setiap sampel yaitu sebesar 49,28 Hv dengan 1 pass, 55,85 Hv dengan 2 pass dan 63,96 Hv dengan 3 pass. Data ini dijadikan sebagai perbandingan nilai kekerasan sampel yang tidak dilakukan *heat treatment* dengan sampel yang diberikan *heat treatment*.



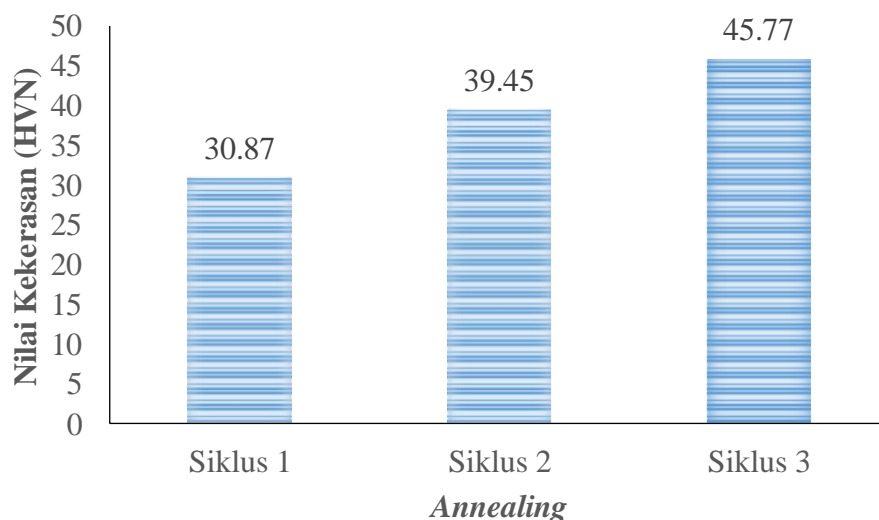
**Gambar 4.1** Grafik Nilai Kekerasan *Microvickers* Sampel Komposit *Aluminium Zircon* Sebelum *Heat Treatment*

Pada penelitian ini, *age hardening* pada *aluminium zircon* dilakukan dengan memanaskan sampel hingga temperatur 530 °C, kemudian ditahan selama 60 menit dan diteruskan dengan pendinginan cepat dengan media air (*quenching*). Perubahan yang akan terjadi berupa presipitasi (pengendapan) yang dimulai dengan proses nukleasi dan timbulnya kluster atom yang menjadi awal dari presipitat (Schonmetz, 1990). Presipitat ini dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasannya. Proses ini merupakan proses *age hardening* atau biasa dikenal *natural aging*. Penambahan zircon ke dalam matriks aluminium juga ikut mengendap sehingga menjepit dan menghambat pergerakan batas butir sehingga dapat menghasilkan peningkatan kekerasan pada sampel (Soesilowati, 2014). Pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa hasil proses *age hardening* menunjukkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan nilai kekerasan sampel yang tidak dilakukan *heat treatment*. Nilai kekerasan dari setiap sampel setelah proses *age hardening* yaitu: 143,36 Hv dengan 1 pass, 167,3 Hv dengan 2 pass dan 221,96 Hv dengan 3 pass.



**Gambar 4.2** Grafik Nilai Kekerasan *Microvickers* Sampel Komposit *Aluminium Zircon* Setelah *Age Hardening*

Metode lain untuk mendapatkan sifat mekanis *aluminium zircon* yang sesuai dengan yang diinginkan yaitu dengan *annealing*. *Annealing* adalah proses *heat treatment* yang dilakukan untuk mendapatkan kembali sifat-sifat mekanis yang berubah selama proses ECAP dan mendapatkan sifat mekanis yang diinginkan dengan cara memanaskan logam sampai temperature 415 °C kemudian ditahan selama 150 menit, lalu diturunkan sampai temperature 177 °C kemudian ditahan dengan waktu penahanan selama 480 menit kemudian didinginkan didalam *furnace* sampai temperatur ruang.



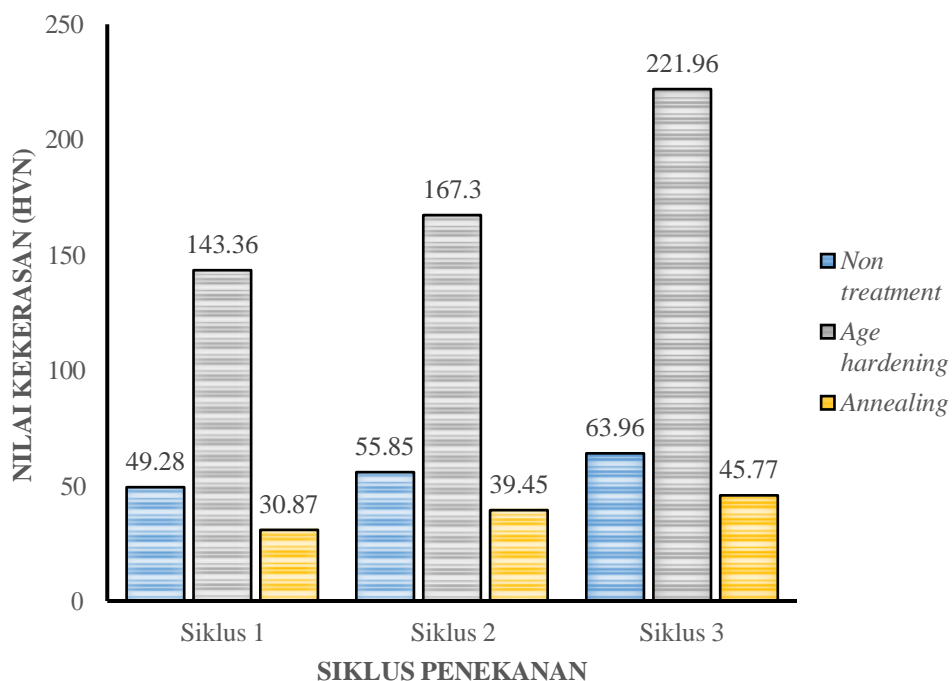
**Gambar 4.3** Grafik Nilai Kekerasan *Microvickers* Sampel Komposit *Aluminium Zircon* Setelah *Annealing*

Pada Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa hasil proses *annealing* menunjukkan nilai kekerasan yang lebih rendah dibandingkan nilai kekerasan sampel sebelum dilakukan *heat treatment*. Nilai kekerasan dari hasil proses *annealing* yaitu: 30,87 Hv dengan 1 pass, 39,45 Hv dengan 2 pass dan 45,77 Hv dengan 3 pass.

*Annealing* mampu meningkatkan presipitat dari *reinforcement* (dalam hal ini zirkon sebagai penguat) seiring meningkatnya suhu anil. Selama proses anil berlangsung, kepadatan dislokasi berkurang karena efek *recovery* dengan meningkatnya keuletan. Pada saat *annealing*, presipitasi terjadi bersamaan dengan proses rekristalisasi pada *annealing* sehingga presipitat akan terus terjadi seiring meningkatnya suhu dalam proses anil dan memainkan peran penting untuk menstabilkan struktur mikro pada suhu tinggi (Pramono A, 2015). Hal ini juga membuktikan bahwa *annealing* yang dapat meningkatkan *ductility* berdampak pada penurunan nilai kekerasannya dibandingkan dengan sampel *non heat treatment*.

#### 4.1.2 Analisa Pengaruh Pass Penekanan Terhadap Nilai Kekerasan Sampel

##### Komposit Aluminium Zircon



**Gambar 4.4** Grafik Hubungan Antara Siklus Penekanan Masing-Masing *Treatment* Terhadap Nilai Kekerasan

Dari Gambar 4.4 juga dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan nilai kekerasan pada setiap sampel, baik sampel *non heat treatment* dan sampel *age hardening* maupun *annealing*. Grafik menunjukkan nilai kekerasan yang terus menanjak naik dari 1 kali pass sampai 3 kali pass pada setiap penambahan pass penekanan pada proses ECAP-PC. Kondisi butir setelah diberikan penekanan pada proses ECAP-PC dapat dipastikan memiliki ukuran butiran yang lebih besar pada lintasan pertama pada proses ECAP-PC dan memiliki ukuran lebih kecil atau lebih halus setelah dua lintasan pada proses ECAP-PC. Ukuran butir terus mengecil yang menjadikan logam meningkat kekuatan dan kekerasannya seiring terjadinya peningkatan jumlah lintasan.

Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Valiev, bahwa logam yang diproses ECAP-PC mengalami peningkatan nilai kekerasan secara signifikan seiring bertambahnya siklus penekanan pada proses ECAP-PC (Valiev, 2013).

## 4.2 Hasil Pengujian Tarik

Tabel 4.2 Data Hasil Uji Tarik

	Siklus	Nilai	Nilai	Nilai	Nilai
Heat Treatment	Penekanan	Kekerasan	Kuat Luluh	Kuat Tarik	Elongasi
	ECAP-PC	(HVN)	(MPa)	(MPa)	(%)
Non Treatment	1 pass	49,28	110	180	10,5
Non Treatment	2 pass	55,85	152	205	16
Non Treatment	3 pass	63,96	204	240	25
Age Hardening	1 pass	143,36	183	225	18

Age Hardening	2 pass	167,3	202	246	27
Age Hardening	3 pass	221,96	234	268	36
Annealing	1 pass	30,87	80	127	17
Annealing	2 pass	39,45	104	160	24
Annealing	3 pass	45,77	120	186	32

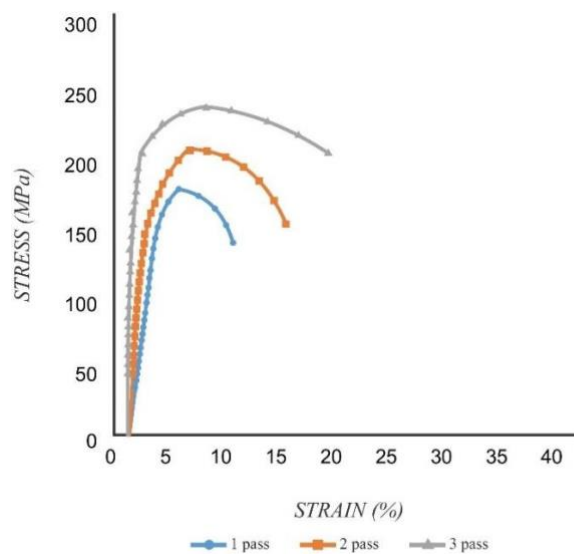
Tabel 4.2 menunjukkan hasil uji tarik *aluminium zircon* setelah proses ECAP-PC dengan variabel jumlah siklus dan metode *heat treatment*. Didapatkan data sifat mekanik yaitu kuat luluh (*yield strength*), kuat tarik (*Ultimate Tensile Strength*) dan elongasi. Pengujian tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Uji tarik dilakukan menggunakan metode ASTM A370-16.

Dari Tabel 4.2 menunjukkan peningkatan nilai uji tarik yang terjadi pada sampel yang dilakukan proses *age hardening* disebabkan oleh pergerakan dislokasi yang terkurung akibat pertumbuhan fasa presipitat yang terbentuk secara merata. Sedangkan pada sampel *annealing* mengalami penurunan nilai uji tarik disebabkan oleh presipitasi terjadi bersamaan dengan rekristalisasi sehingga pergerakan presipitat melambat seiring meningkatnya suhu dalam proses anil dan memainkan peran penting untuk menstabilkan struktur mikro pada suhu tinggi.

#### **4.2.1 Analisa Pengaruh Proses *Heat treatment* Terhadap Nilai Tegangan Regangan Sampel Komposit *Aluminium Zircon***

Pada Gambar 4.5 Sampel *non treatment aluminium zircon* memiliki nilai kuat luluh (*yield strength*), kuat tarik (UTS) dan elongasi yang tertinggi didapatkan pada sampel *non treatment aluminium zircon* dengan 3 kali pass penekanan.

Diketahui nilai yang diperoleh pada 1 kali pass penekanan memiliki nilai kuat luluh (*yield strength*) sebesar 110 MPa, nilai kuat tarik (UTS) sebesar 180 MPa, dan nilai elongasi sebesar 10,5%. kemudian pada 2 kali pass penekanan memiliki nilai kuat luluh (*yield strength*) sebesar 152 MPa, nilai kuat tarik (UTS) sebesar 205 MPa, dan nilai elongasi sebesar 16% dan pada 3 kali pass penekanan memiliki nilai kuat luluh (*yield strength*) sebesar 204 MPa, nilai kuat tarik (UTS) sebesar 240 MPa, dan nilai elongasi sebesar 25%. Terjadinya peningkatan pada setiap siklus penekanan pada proses ECAP-PC karena adanya pengerasan regangan dan semakin meningkatnya kerapatan dislokasi.



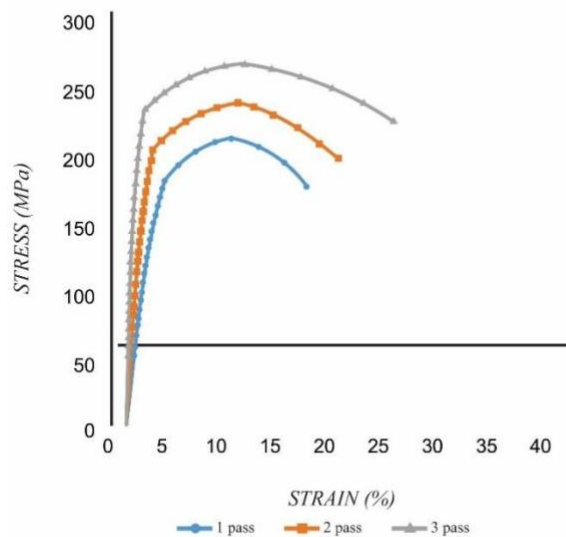
**Gambar 4.5** Grafik Nilai Tegangan-Regangan Sampel *Non Treatment*  
*Aluminium Zircon*

Pada Gambar 4.6 Sampel *age hardening aluminium zircon* memiliki nilai kuat tarik, kuat luluh dan elongasi yang tertinggi didapatkan pada sampel *age hardening aluminium zircon* dengan 3 kali pass penekanan. Pada Gambar 4.6 dapat



dilihat bahwa hasil proses *age hardening* menunjukkan nilai uji tarik yang lebih tinggi dibandingkan nilai uji tarik sampel yang tidak dilakukan *heat treatment*. Presipitasi (pengendapan) yang terjadi menyebabkan peningkatan nilai uji tarik.

Diketahui nilai yang diperoleh pada 1 kali pass penekanan memiliki nilai kuat luluh (*yield strength*) sebesar 183 MPa, nilai kuat tarik (UTS) sebesar 225 MPa, dan nilai elongasi sebesar 18%. kemudian pada 2 kali pass penekanan memiliki nilai kuat luluh (*yield strength*) sebesar 202 MPa, nilai kuat tarik (UTS) sebesar 246 MPa, dan nilai elongasi sebesar 27% dan pada 3 kali pass penekanan memiliki nilai kuat luluh (*yield strength*) sebesar 234 MPa, nilai kuat tarik (UTS) sebesar 268 MPa, dan nilai elongasi sebesar 36%.

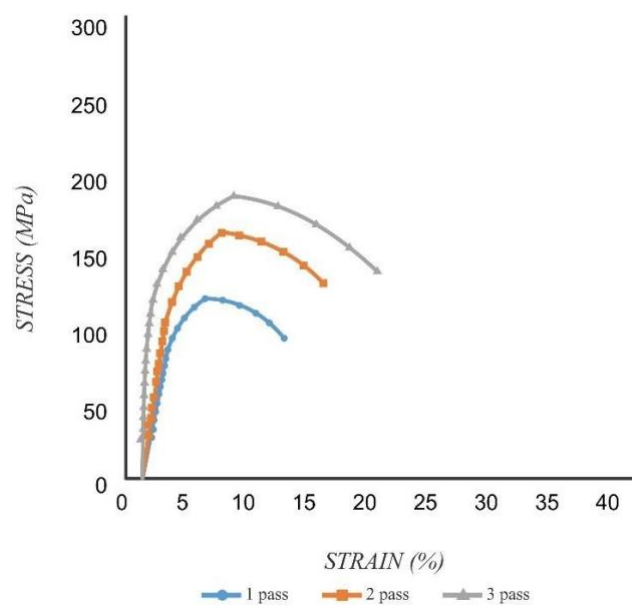


**Gambar 4.6** Grafik Nilai Tegangan-Regangan Sampel *Age Hardening* Aluminium Zircon

Pada Gambar 4.7 Sampel *annealing aluminium zircon* memiliki nilai kuat tarik, kuat luluh dan elongasi yang tertinggi didapatkan pada sampel *annealing*

*aluminium zircon* dengan 3 kali pass penekanan. Pada *annealing* energi panas yang dihasilkan mampu mempercepat proses rekristalisasi yang terjadi. Rekristalisasi dapat berdampak terhadap penurunan kuat tarik sampel komposit *aluminium zircon*.

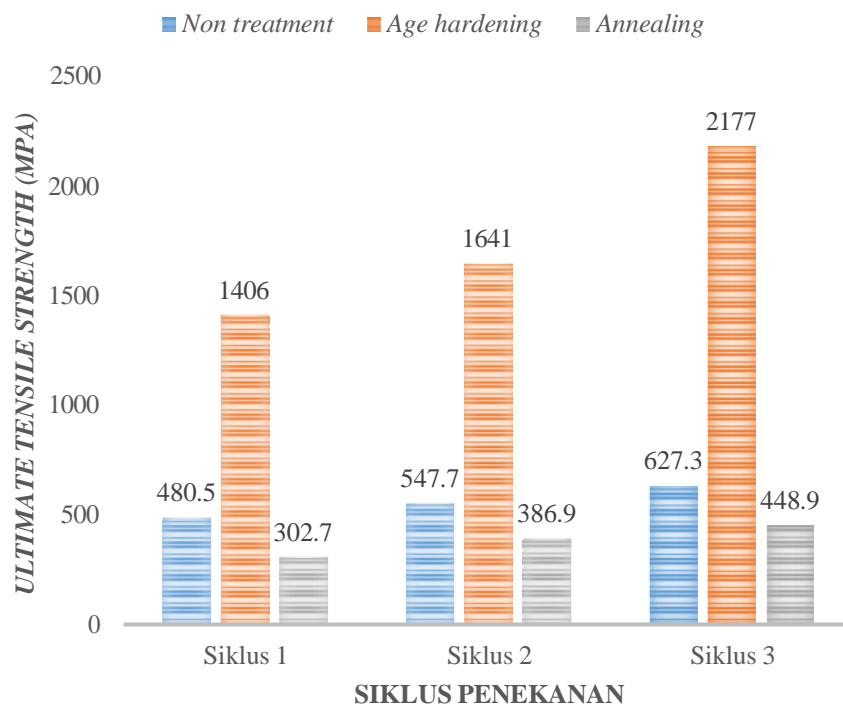
Diketahui nilai yang diperoleh pada 1 kali pass penekanan memiliki nilai kuat luluh (*yield strength*) sebesar 80 MPa, nilai kuat tarik (UTS) sebesar 127 MPa, dan nilai elongasi sebesar 17%. kemudian pada 2 kali pass penekanan memiliki nilai kuat luluh (*yield strength*) sebesar 104 MPa, nilai kuat tarik (UTS) sebesar 160 MPa, dan nilai elongasi sebesar 24% dan pada 3 kali pass penekanan memiliki nilai kuat luluh (*yield strength*) sebesar 120 MPa, nilai kuat tarik (UTS) sebesar 186 MPa, dan nilai elongasi sebesar 32%.



**Gambar 4.7** Grafik Nilai Tegangan-Regangan Sampel *Annealing Aluminium Zircon*

#### 4.1.2 Analisa Pengaruh Siklus Penekanan Terhadap Nilai Uji Tarik Sampel Komposit Aluminium Zircon

Gambar 4.8 menunjukkan grafik hubungan antara siklus penekanan terhadap nilai uji tarik pada masing-masing perlakuan yang dilakukan.



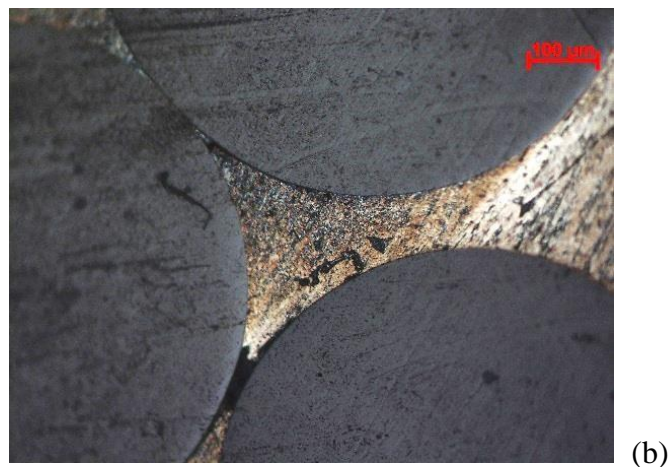
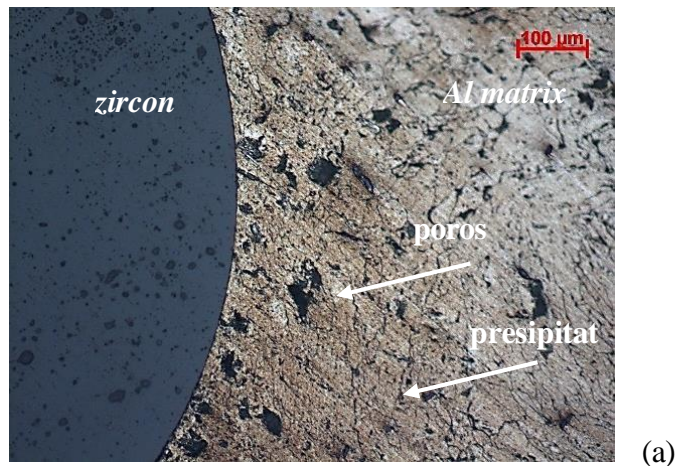
**Gambar 4.8** Grafik Hubungan Antara Siklus Penekanan Masing-Masing Treatment Terhadap Nilai Uji Tarik

Dari gambar 4.8 juga dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan nilai uji tarik pada setiap sampel, baik sampel *non heat treatment* dan sampel *age hardening* maupun *annealing*. Grafik menunjukkan nilai uji tarik terus menanjak naik pada setiap penambahan pass penekanan ECAP-PC. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Valiev, bahwa logam yang diproses ECAP-PC mengalami peningkatan nilai uji tarik secara signifikan seiring bertambahnya pass penekanan pada proses ECAP-PC. Hal ini juga membuktikan bahwa bahan *ultra*

*fine grain* hasil ECAP-PC mengalami peningkatan nilai uji tarik secara signifikan seiring bertambahnya pass penekanan pada proses ECAP-PC (Valiev, 2013).

### 4.3 Analisa Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis morfologi butir yang terbentuk dan mengidentifikasi butiran yang terjadi pada sampel. Pada Gambar 4.9 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro perbesaran 100x sampel *non heat treatment* dengan 1 sampai 3 siklus penekanan.



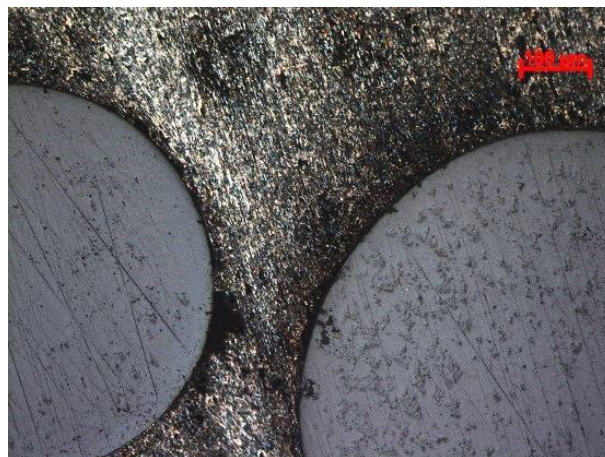


**Gambar 4.9** Struktur Mikro Perbesaran 100x (a) Sampel *Non Heat Treatment* 1 Siklus (b) Sampel *Non Heat Treatment* 2 Siklus (c) Sampel *Non Heat Treatment* 3 Siklus

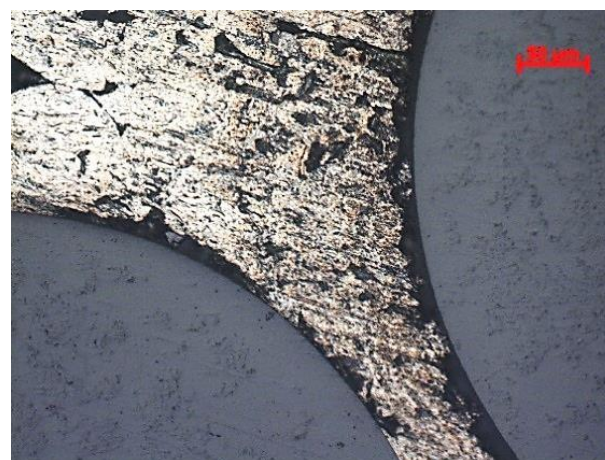
Gambar 4.9 menunjukkan struktur mikro sampel dari 1 sampai 3 siklus penekanan *non heat treatment* pada proses ECAP-PC. Gambar hasil pengamatan mikro struktur *non treatment* berguna untuk menjadi perbandingan untuk struktur mikro dari variabel yang dilakukan proses *heat treatment*, dimana struktur mikro sampel dari hasil proses *heat treatment* akan membuat batas butir yang lebih banyak dibandingkan dengan sampel *non heat treatment*. Hal ini dapat membuktikan bahwa proses *heat treatment* mampu menghasilkan butiran menjadi lebih seragam dibanding sampel *non heat treatment* dan mampu menghasilkan struktur UFG yang homogen.

Selain itu, pada gambar 4.9 menunjukkan struktur mikro sampel *non heat treatment* 3 siklus menunjukkan butiran yang lebih padat dibanding sampel *non heat treatment* 1 dan 2 siklus. Hal ini disebabkan karena pada proses ECAP-PC terjadi pepadatan yang lebih banyak yang menjadikan butiran semakin padat dan terdistribusi lebih merata (Valiev, 2013).

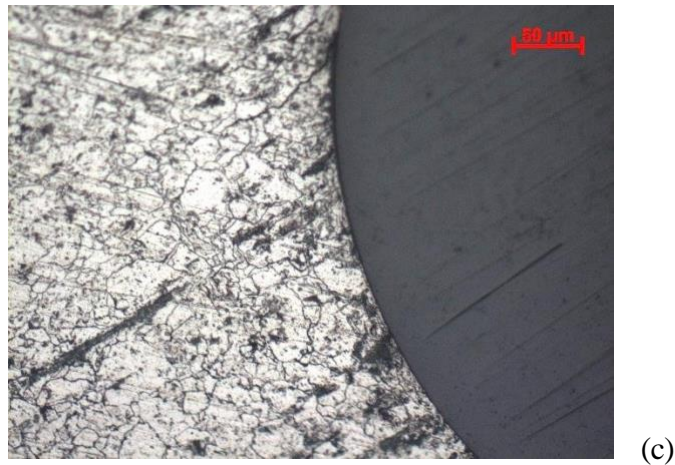
Jika dilihat dari hasil uji kekerasan, terjadi peningkatan nilai kekerasan antara sampel *non heat treatment* 1 siklus, 2 siklus dan 3 siklus. Porositas yang semakin mengecil pada setiap penambahan siklus pada proses ECAP-PC mengakibatkan kekerasan yang berbeda antara masing-masing siklus, hasil ini menunjukkan bahwa seiring bertambahnya siklus penekanan pada proses ECAP, bertambah juga nilai kekerasan komposit *aluminium zircon*. Hal ini dibuktikan dengan data hasil pengujian kekerasan yaitu 49,28 Hv dengan 1 siklus, 55,85 Hv dengan 2 siklus dan 63,96 Hv dengan 3 siklus.



(a)



(b)



**Gambar 4.10** Struktur mikro perbesaran 100x (a) sampel *age hardening* 1 siklus (b) sampel *age hardening* 2 siklus (c) sampel *age hardening* 3 siklus.

Gambar 4.10 menunjukkan struktur mikro dari sampel hasil proses *age hardening* dengan temperatur pemanasan 530 °C dan waktu tahan 60 menit lalu didinginkan secara cepat dengan menggunakan media air dan dibiarkan pada temperatur ruang. Dari hasil proses *age hardening* menunjukkan terjadinya peningkatan nilai kekerasan yaitu 143,36 Hv dengan 1 siklus, 167,3 Hv dengan 2 siklus dan 221,96 Hv dengan 3 siklus. Dapat dilihat dari hasil pengamatan bahwa sampel membentuk distribusi fasa presipitat secara merata serta memperhalus butiran sehingga memperbanyak batas butir, batas butir dapat menghentikan pergerakan dislokasi. Faktor inilah yang menyebabkan nilai kekerasannya meningkat. Presipitat yang terjadi pada sampel dapat dilihat pada Gambar 4.10.

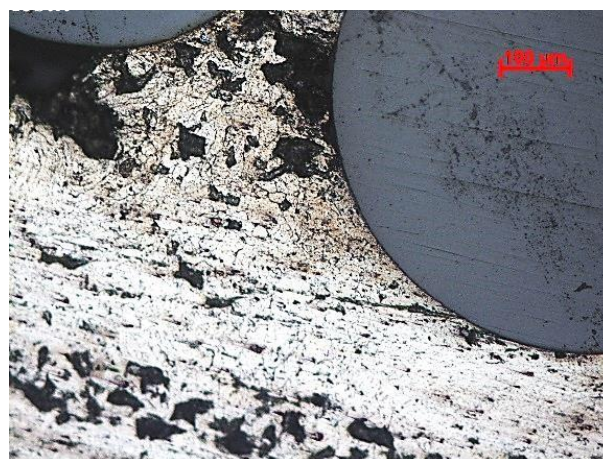
Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan Fallahi, bahwa metode *age hardening* mampu membentuk presipitasi pada matriks aluminium dan memperhalus butiran pada matriks aluminium, sehingga dapat meningkatkan stabilitas mikro struktur pada *reinforcement* dengan menjepit dan menghambat pergerakan batas butir (Fallahi, 2017).



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4.11** Struktur Mikro Perbesaran 100x (A) Sampel *Annealing* 1 Siklus (B) Sampel *Annealing* 2 Siklus (C) Sampel *Annealing* 3 Siklus.



Gambar 4.11 menunjukkan struktur mikro dari sampel hasil proses *annealing* dengan temperatur pemanasan 415 °C dan waktu tahan 150 menit, lalu diturunkan sampai temperatur 177 °C kemudian ditahan dengan waktu penahanan selama 480 menit kemudian didinginkan didalam *furnace* sampai temperatur kamar.

Pada saat *annealing*, terjadi *recovery* yang merupakan tahap awal proses anil pada temperatur pemanasan 415 °C, dimana terjadi restorasi sifat fisis logam hasil pengerjaan dingin tanpa mengalami perubahan kekuatan dan kekerasan material. Ketika tahap *recovery* akan berakhir, penahanan temperatur sampai 150 menit menyebabkan rekristalisasi atau pembentukan inti dari butir baru akan mulai terjadi. Butir baru terbentuk dengan mengorbankan butir lama. Ketika butir lama tergantikan dengan butir yang baru bebas regangan, dapat dikatakan material tersebut telah terekristalisasi dengan sempurna (*fully recrystallized*).

ketika rekristalisasi primer terbentuk secara sempurna. Karakteristik utama adalah terjadi penurunan kekuatan dari material dengan bertambahnya ukuran butir. Pada penurunan temperature 177 °C dan ditahan selama 480 menit kemudian didinginkan didalam *furnace* sampai temperatur kamar, batas butir cenderung bermigrasi dan menghasilkan pertambahan ukuran butir secara seragam. Ketika ukuran butir membesar, lusa area total batas-batas butir berkurang sehingga kekerasan menurun namun daktilitas nya meningkat.

Menurut Agus Pramono, *annealing* bertujuan meningkatkan *ductility* dari suatu logam. Akibatnya berdampak pada penurunan nilai kekerasan logam tersebut (Pramono A, 2015). Hal tersebut dibuktikan dengan hasil yang menunjukkan

terjadinya penurunan nilai kekerasan yaitu 30,87 Hv dengan 1 siklus, 39,45 Hv dengan 2 siklus dan 45,77 Hv dengan 3 siklus.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Siklus penekanan pada proses ECAP-PC berpengaruh terhadap peningkatan kekerasan komposit *aluminium zircon* seiring bertambahnya pass penekanan pada proses ECAP – PC.
2. Perlakuan panas dapat mengendalikan sifat mekanis komposit *aluminium zircon*. Proses *annealing* dapat menurunkan nilai kekerasan dan nilai uji tarik komposit *aluminium zircon* sedangkan proses *age hardening* dapat meningkatkan nilai kekerasan kekerasan dan nilai uji tarik pada sampel komposit *aluminium zircon*.
3. Struktur mikro yang semakin kecil butirannya maka semakin banyak batas butir, batas butir tersebut menghambat pergerakan dislokasi yang membuat komposit *aluminium zircon* menjadi semakin keras. Butiran yang kecil membuat nilai kekerasan menjadi lebih tinggi sedangkan butiran yang besar membuat nilai kekerasan menurun.

#### 5.2 Saran

Saran dari hasil penelitian ini adalah perlu melakukan pengujian SEM untuk mengetahui komposisi dan krsitalografi pada permukaan struktur mikro.

## DAFTAR PUSTAKA

Pramono A, Kollo L, Veinthal R, Kallip K, Gomon J.K, 2014. “*Heat Treatment of Ultrafine Grained High-Strength Aluminum Alloy*”, *Department Material Engineering, Tallinn University of Technology, Ehitaja tee 5 19086, Tallinn, Estonia Key Engineering Material Vol. 604 (2014) pp. 273-27*

Pramono A, Kollo L, Veinthal R, Kallip K, Gomon J.K, 2015. “*Heat Treatment of Ultrafine Grained AA6061 Consolidation by Equal Channel Angular Pressing*”, *Department Material Engineering, Tallinn University of Technology, Ehitaja tee 5 19086, Tallinn, Estonia Key Engineering Materials Applied Mechanics and Materials Vol. 771 (2015) pp. 252-256*

Pramono A, Kollo L, Veinthal R, Kallip K, Gomon J.K, 2014. “*Processing Ultra Fine Grained Aluminium And Technology Transformation For The Development Of Severe Plastic Deformation*”, *Department Material Engineering, Tallinn University of Technology, Ehitaja tee 5 19086, Tallinn, Estonia. Publishing by : Wageningen Indonesia Student Assosiation : Wageningen, The Netherlands pp. 1-10*

Pramono A, Dhoska K, Markja I, Kommel L, 2018. “*Impact Pressure On Mechanical Properties Of Aluminum Based Composite By Ecap-Parallel Channel*”, *Faculty of Material Engineering, Tallinn University of Technology, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn Estonia An International Journal for Engineering and Information Sciences Vol. 14, No. 1, pp. 67–74*

Dhoska K, Pramono A, Spaho E, 2018. “*Characterization Of Metal Matrix Composites By Increasing Magnesium Content*”, *17<sup>th</sup> International Symposium – Topical Problems In The Field Of Electrical And Power Engineering Doctoral School Of Energy And Geotechnology III, Januari 2018 – Kuressaare Estonia pp. 1-5*

Valiev R.Z, Murashkin M.Yu, Sabirov I, 2006. “*Development In The Use Of ECAP Processing For Grain Refinement*”, *Institute of Physics of Advance Material, Ufa State Aviation Technical University, 12 Kmarx str., Ufa 450000, Russia Rev.Adv.Master.Sci. Vol 13 (2006) pp. 15-26*

Valiev R.Z, Estrin Y, Horita Z, Langdon T.G, Zehetbauer M.J, Zhu Y.T, 2006. "Producing Bulk Ultrafine-Grained Materials by Severe Plastic Deformation", *New Independent States-Industrial Partnering Program project LANL-T2-0199 and the Russian Federation for Basic Research (RZV) pp. 33-38*

Valiev R, 2008. "Recent Developments Of Severe Plastic Deformation Techniques For Processing Bulk Nanostructured Materials" *Institute of Physics of Advanced Materials, Ufa State Aviation Technical University, 12 K. Marx str., Ufa 450000 Russian Federation Materials Science Forum Vol. 579 (2008) pp. 1-14*

Valiev, R.Z, Murashkin M.Yu, Sabirov I, 2009. "Grain Refinement and Mechanical Behavior of the Al Alloy, Subjected to the New SPD Technique", *Institute of Physics of Advanced Materials, Ufa State Aviation Technical University, 12 K.Marx str., Ufa 450000, Russia. Materials Transactions, Vol. 50, No. 1 (2009) pp. 87 to 91*

Valiev R.Z, Murashkin M.Yu, Straumal BB, 2010. "Enhanced Ductility in Ultrafine-Grained Al Alloys Produced by SPD Techniques", *Institute of Physics of Advanced Materials, Ufa State Aviation Technical University 12 K. Marx str., Ufa 450000 Russia. Materials Science Forum Vols. 633-634 (2010) pp. 321-332*

Valiev RZ, 2013. "Enhanced Mechanical Properties And Electrical Conductivity In Ultrafine-Grained Al Alloy Processed Via ECAP-PC", *Sabirov IMDEA Materials Institute, Getafe, Madrid, Spain J Mater Sci (2013) Vol 48 pp. 4501–4509*

Kurzydowski K.J, 2004. "Microstructural refinement and properties of metals processed by severe plastic deformation " , *Bulletin of the Polish Academy of Science, Technical Science, Vol. 52, No. 4. pp. 301 – 311.*

Alhamidi A, Horita Z, 2014. "Application Of High-Pressure Torsion To Al-6 %Cu-0.4 %Zr Alloy For Ultrafine-Grain Refinement And Superplasticity", *Springer Science+Business Media New York. Vol 49 No 19 ISSN 0022-2461 J Mater Sci (2014) Vol 49 pp.6689–6695*

Dvorak J, Sklenicka V, Betekhtin V.I, 2013. “*The Effect Of High Hydrostatic Pressure On Creep Behaviour Of Pure Al And A Cu–0.2 Wt% Zr Alloy Processed By Equal-Channel Angular Pressing*”, *Institute of Physics of Materials, Academy of Sciences of the Czech Republic, Žitkova 22, 616 62 Brno, Czech Republic. Materials Science & Engineering A Vol 584 (2013) pp. 103–113*

Dessy B.U, Anggara B.S, Erfan H, 2016. “*Studi Pengaruh Perlakuan Annealing Terhadap Nilai Densitas Komposit Logam Al-Cu-Mg/ SiC Hasil Stir Casting*” Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Jl. Pemuda No. 10, Jakarta Timur, Indonesia, 13220 Prosiding Snips 2016 ISBN 9786026104502 halaman 171-176

Fallahi A, 2017. “*Effect Of Heat Treatment On Mechanical Properties Of Escaped 7075 Aluminum Alloy*”, *Associate professor, Mechanical Engineering Department, Amirkabir University of Technology, 424 Hafez Ave., Tehran, Iran DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.829.62 pp. 1-4*

Kaminski A, 2002. “*Aluminium BSF In Silicon Solar Cells*”, *Laboratoire de Physique de la Matière, UMR 5511, Inst. Nat. des Sciences Appliquées (INSA), B #at. Blaise Pascal, 7 av. J. Capelle, 69621 Villeurbanne Cedex, France Solar Energy Materials & Solar Cells Vol 72 (2002) pp. 373–379*

Soesilowati, suhanda, Rahardjo S, 2014. “*Synthesis and Characterization of Powder And Body Composite Nano-Submicron Alumina-Zirconia With Cross Composition From Technical Zircon*” *Journal of Indonesian Ceramic and Glass, Bandung JKGI Vol 23 No 1 Bandung : Juni 2014 halaman 1-59*

Erryani, A, 2011. “*Pengaruh Penambahan Zirkonium Silikat Sebagai Insulator Termal Terhadap Nilai Konduktivitas Termal Liner HTPB*”, *Berita Dirgantara, LAPAN Berita Dirgantara Vol 12 No 4 Desember 2011 halaman 126-131*

Suyanto, 2015. “*Analisa Ketangguhan Komposit Aluminium Berpenguat Serbuk SiC*” Semarang. *Jurnal Simetris*, halaman 77-78 Vol 6 No 1 April 2015 ISSN: 2252-4983 halaman 77-82

Schonmetz A, Gruber K, 1994. *Pengetahuan Bahan dalam Pengerjaan Logam* (Alih Bahasa: Dip-Ing. Eddy D. Hardjapamekas). Bandung: Penerbit Angkasa. Vol. 3 No. 12, ISSN : 0974-6846 halaman 13-21

Kainer K.U, 2006. "*Metal Matrix Composite : Custom-Made Materials For Automotive and Aerospace Engineering* ", WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. Vol 11 No 5 pp. 119-121

Kumar, D, Sarangi S, 2009. "*Fabrication and Characterisation of Aluminium-Fly Ash Composite Using Stir Casting Method*". Rourkela: Department of Metallurgical and Materials Engineering National Institute of Technology pp. 368-373

Azushima A, (2000). "*Materials Development by Extrusion Process. Journal of the Japan Society for Technology of Plasticity*". in Japanese Vol 47(544) pp. 456–459

Mangonon. Pat L, 1999. "*The principle of material selection for engineering design*". New jersey : prentice hall international Vol 1 No. 3 pp. 112-120

ASTM E92-17, 2000. "*Standard Test Method For Vickers Hardness Of Metallic Materials*". West Conshohocke, United States : PA 19428-2959

## **LAMPIRAN**



## LAMPIRAN A

### CONTOH PERHITUNGAN

#### A.1 Perhitungan Nilai Kekerasan Microvickers

Menghitung nilai kekerasan microvickers dengan persamaan :

$$H_v = 1854,4 \times \frac{P}{d^2}$$

Diketahui : beban = 200 gf

Diagonal = 85 mikron

$$H_v = 1854,4 \times \frac{200}{85}$$

$$H_v = 370.880 : 85^2$$

$$H_v = 370.880 : 7.225$$

$$H_v = 51,33 \text{ Hv}$$

#### A.2 Perhitungan Nilai Kekerasan Rata-Rata Sampel

Menghitung rata-rata nilai kekerasan dengan persamaan :

$$\begin{aligned} \sum H_v &= \frac{H_{v1} + H_{v2} + H_{v3}}{3} \\ &= \frac{50,73 + 51,33 + 45,79}{3} \\ &= 49,28 \text{ Hv} \end{aligned}$$

## LAMPIRAN B

### DATA HASIL PENELITIAN

**Tabel B.1      Tabel Hasil Pengujian Kekerasan *Microvickers***

<i>Heat treatment</i>	Pass penekanan ECAP-PC	Diagonal <i>vertical</i> (mm)	Diagonal <i>horizontal</i> (mm)	Rata-rata diagonal (mm <sup>2</sup> )	Nilai kekerasan <i>microvickers</i> (Hv)	Rata-rata nilai kekerasan <i>microvickers</i> (Hv)
<i>Non treatment</i>	1 pass	83	88	85,5	50,73	49,28
		80	90	85	51,33	
		85	95	90	45,79	
		80	82	81	56,53	
<i>Non treatment</i>	2 pass	80	82	81	56,53	55,85
		80	85	82,5	54,49	
		75	75	75	65,93	
		78	77	76	64,21	
<i>Non treatment</i>	3 pass	75	80	77,5	61,75	63,96
		55	46	50,5	145,4	
		46	52	49	154,5	
		50	56	53	132	
<i>Age hardening</i>	1 pass	40	50	45	183,2	143,97
		52	45	48,5	157,7	
		48	48	48	161	
		38	43	40,5	226,1	
<i>Age hardening</i>	2 pass	42	45	43,5	196	221,97
		43	35	39	243,8	
		105	110	107,5	32,09	
		105	120	112,5	29,3	
<i>Annealing</i>	1 pass	102	116	109	31,22	30,87
		100	97	98,5	38,23	
		95	83	89	46,82	
		108	103	105,5	33,32	
<i>Annealing</i>	2 pass	83	90	86,5	49,57	39,46
		90	90	90	45,79	
		100	88	94	41,97	
		94	88	94	41,97	

**Tabel B.2      Tabel Data Hasil Pengujian Tarik**

<i>Heat Treatment</i>	<b>Siklus Penekanan</b>	<b>Nilai Kekerasan (HVN)</b>	<b>Nilai Kuat Luluh (MPa)</b>	<b>Nilai Kuat Tarik (MPa)</b>	<b>Nilai Elongasi (%)</b>
	<b>ECAP-PC</b>				
<i>Non Treatment</i>	1 pass	49,28	110	180	10,5
<i>Non Treatment</i>	2 pass	55,85	152	205	16
<i>Non Treatment</i>	3 pass	63,96	204	240	25
<i>Age Hardening</i>	1 pass	143,36	183	225	18
<i>Age Hardening</i>	2 pass	167,3	202	246	27
<i>Age Hardening</i>	3 pass	221,96	234	268	36
<i>Annealing</i>	1 pass	30,87	80	127	17
<i>Annealing</i>	2 pass	39,45	104	160	24
<i>Annealing</i>	3 pass	45,77	120	186	32

## LAMPIRAN C

### GAMBAR ALAT DAN BAHAN

#### C.1 Gambar Alat dan Bahan



**Gambar C.1** *Aluminium Zircon* 1 Kali Pass Penekanan ECAP-PC



**Gambar C.2** *Aluminium Zircon* 2 Kali Pass Penekanan ECAP-PC



**Gambar C.3** *Aluminium Zircon* 1 Kali Pass Penekanan ECAP-PC



**Gambar C.4** Alat *Polishing*



**Gambar C.5** Alat *Grinding*



**Gambar C.6** Alat *Potong Sampel*



**Gambar C.7** Alat Uji Kekerasan



**Gambar C.8** *Furnace*



**Gambar C.9** Mikroskop Optik Digital