

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, 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° . 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 AA 1070 sebagai matriksnya dan zirkon sebagai *reinforcement*.

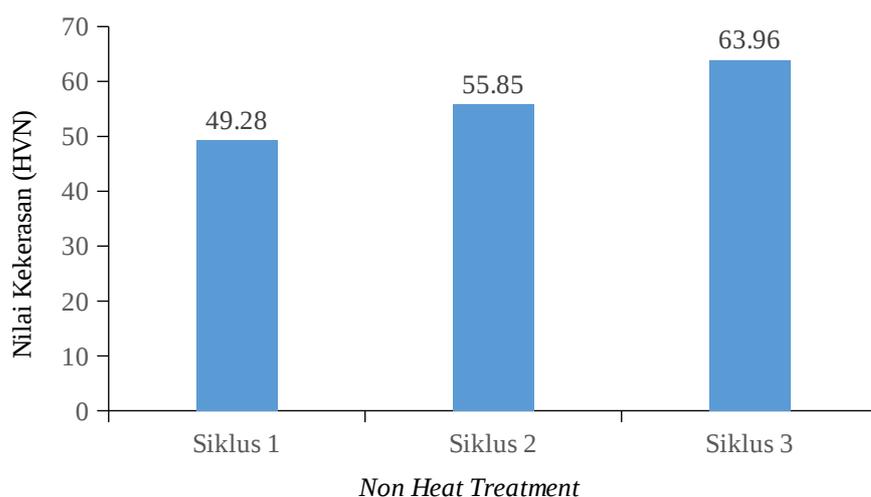
Tabel 4.1 Data Pengujian Kekerasan *Microvickers*

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

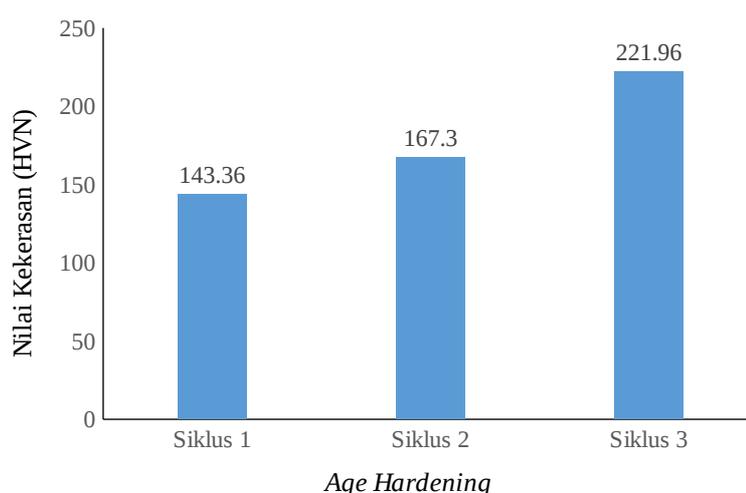
4.1.1 Analisa Pengaruh Proses *Heat treatment* Terhadap Nilai Kekerasan Sampel Komposit *Aluminium Zircon*

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*.



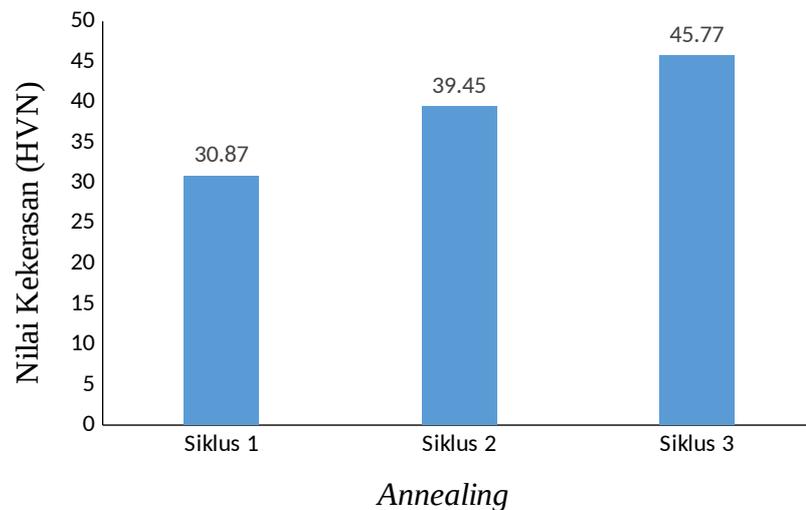
Gambar 4.1 Grafik Nilai Kekerasan *Microvickers* Sampel Komposit *Aluminium Zircon* Sebelum *Heat Treatment*

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. Presipitat ini dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasannya. Proses ini merupakan proses *age hardening* yang disebut *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. 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.



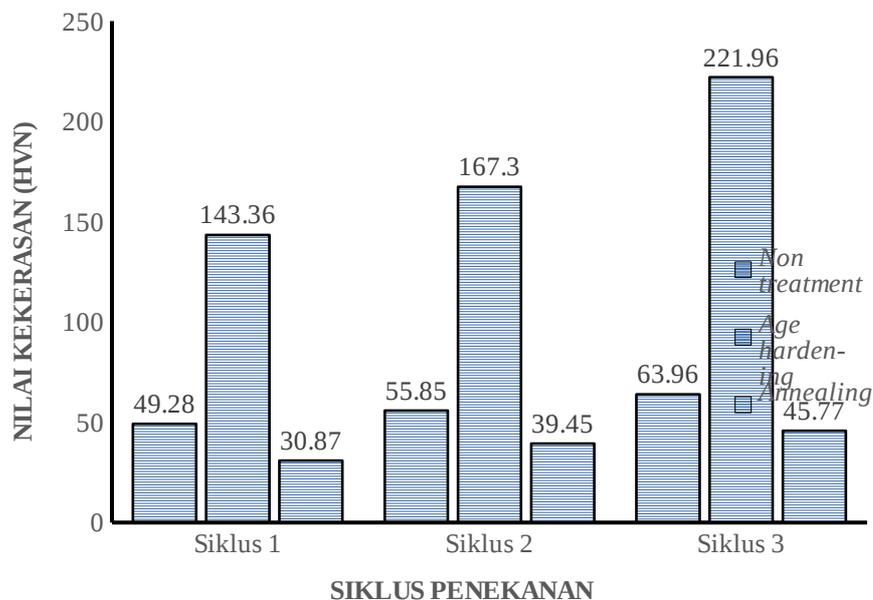
Gambar 4.3 Grafik Nilai Kekerasan *Microvickers* Sampel Komposit *Aluminium Zircon* Setelah *Annealing*

Pada Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa hasil proses *annealing* menunjukkan nilai kekerasan yang lebih rendah dibandingkan nilai kekerasan sampel sebelum di lakukan *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. 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 4.5 menunjukkan grafik hubungan antara pass penekanan terhadap nilai kekerasan pada masing-masing perlakuan yang dilakukan.



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

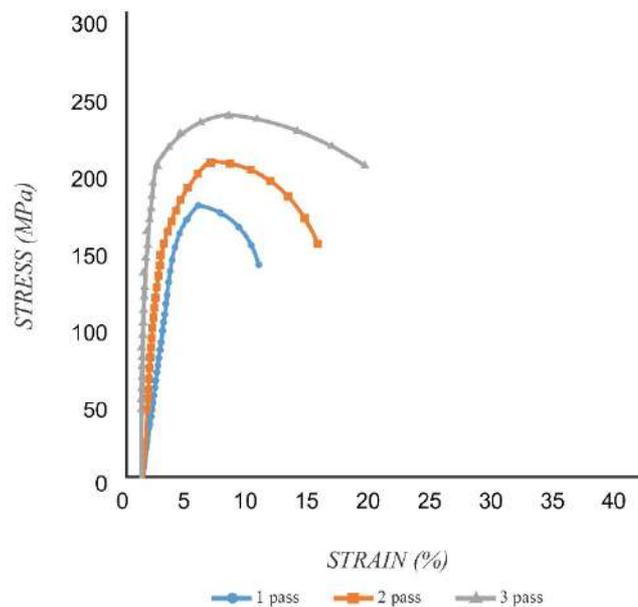
Tabel 4.2 menunjukkan hasil uji tarik *aluminium zircon* setelah proses ECAP-PC dengan variabel jumlah siklus dan metode *heat treatment*. Didapatkan data sifat mekanik yaitu kuat luluh (*yield strength*), kuat tarik (*Ultimate Tensile Strength*) dan elongasi. Pengujian tarik digunakan untuk mengukur 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

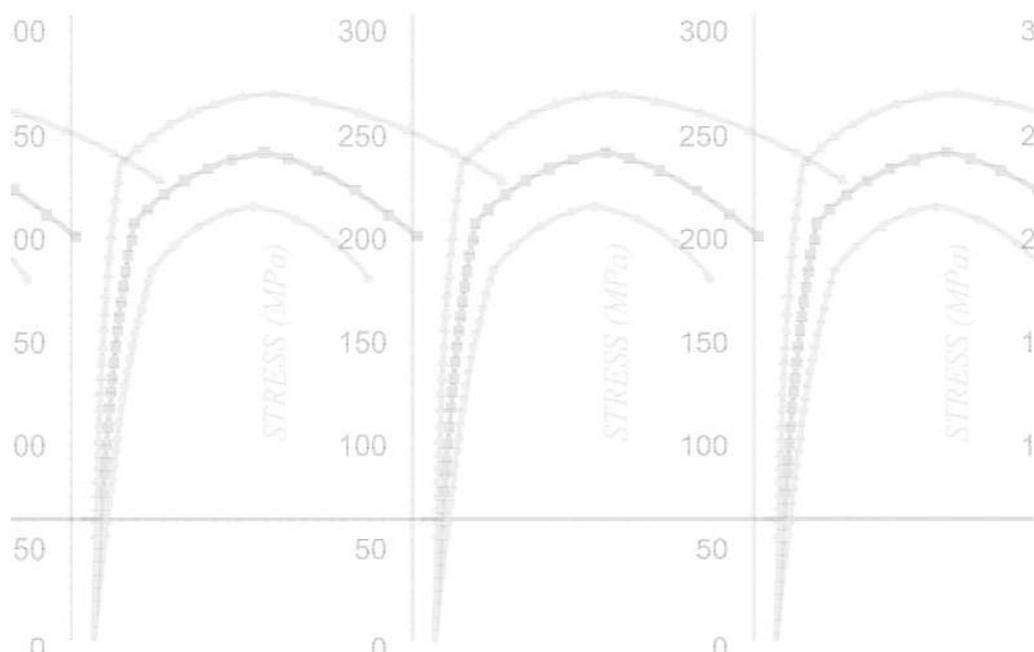
memiliki nilai kuat luluh (*yield strength*) sebesar 204 MPa, nilai kuat tarik (UTS) sebesar 240 MPa, dan nilai elongasi sebesar 25%. Terjadinya peningkatan pada setiap siklus penekanan pada proses ECAP-PC karena adanya pengerasan regangan dan semakin meningkatnya kerapatan dislokasi.



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%.

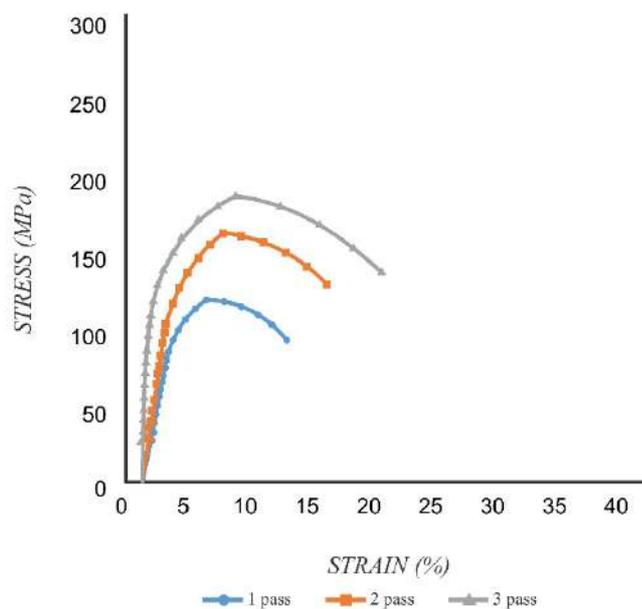


Gambar 4.6 Grafik Nilai Tegangan-Regangan Sampel *Age Hardening* Aluminium Zircon

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 Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa hasil proses *annealing* menunjukkan nilai uji tarik yang lebih rendah

dibandingkan nilai uji tarik sampel sebelum di lakukan *heat treatment*. Pada *annealing* energi panas yang dihasilkan mampu mempercepat proses rekristalisasi yang terjadi. Rekristalisasi dapat berdampak terhadap penurunan kuat tarik sampel komposit *aluminium zircon*.

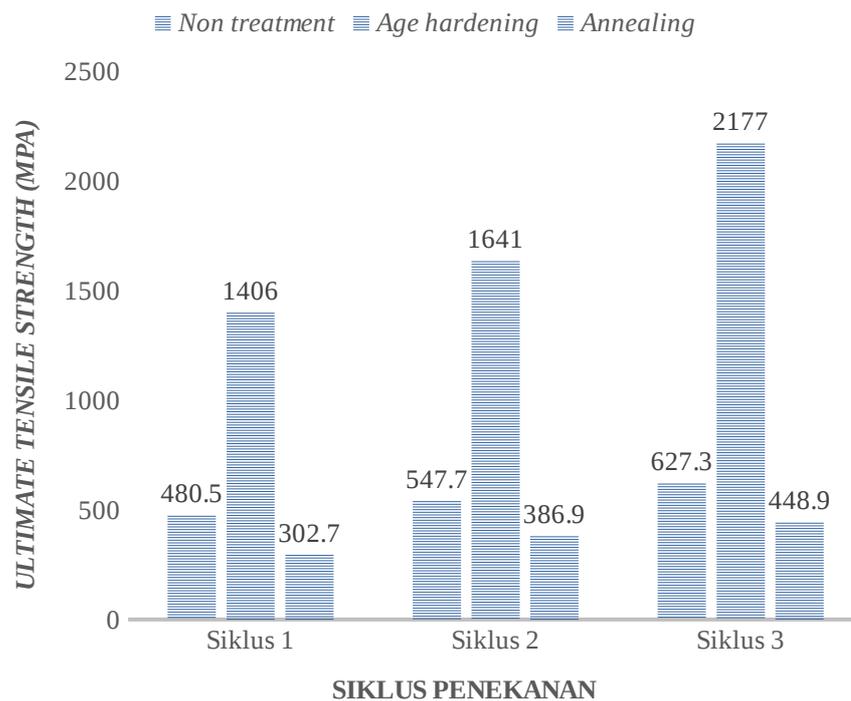
Diketahui nilai yang diperoleh pada 1 kali pass penekanan memiliki nilai kuat luluh (*yield strength*) sebesar 80 MPa, nilai kuat tarik (UTS) sebesar 127 MPa, dan nilai elongasi sebesar 17%. kemudian pada 2 kali pass penekanan memiliki nilai kuat luluh (*yield strength*) sebesar 104 MPa, nilai kuat tarik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



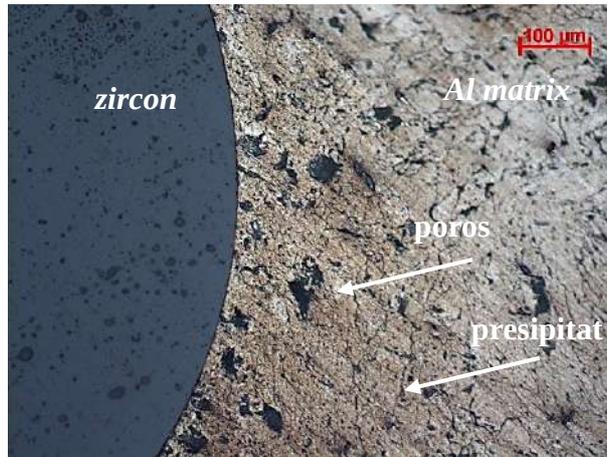
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Antara Siklus Penekanan Masing-Masing Treatment Terhadap Nilai Uji Tarik

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*

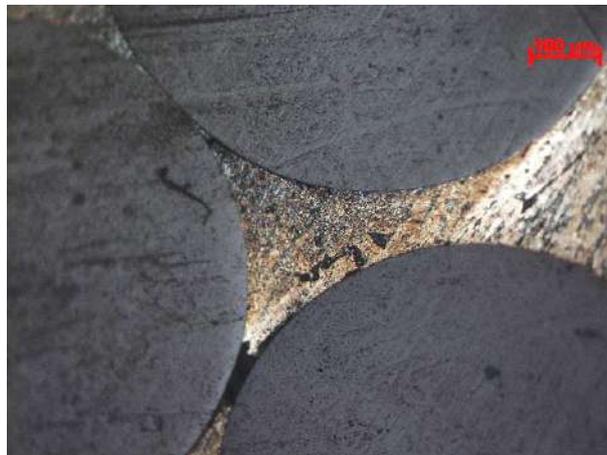
fine grain hasil ECAP-PC mengalami peningkatan nilai uji tarik secara signifikan seiring bertambahnya pass penekanan pada proses ECAP-PC (Valiev, 2013).

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.



(a)



(b)

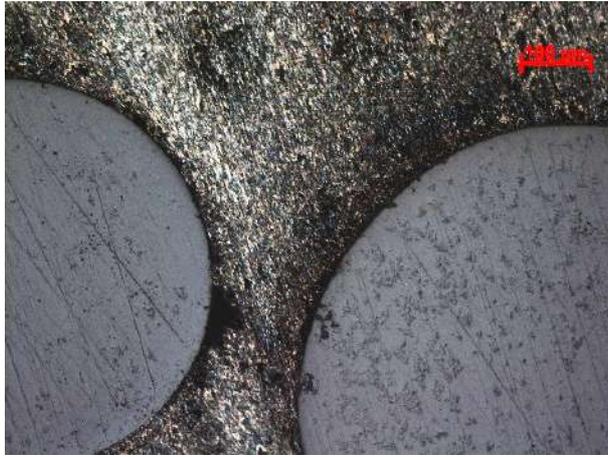


Gambar 4.9 Struktur Mikro Perbesaran 100x (a) Sampel *Non Heat Treatment* 1 Siklus (b) Sampel *Non Heat Treatment* 2 Siklus (c) Sampel *Non Heat Treatment* 3 Siklus

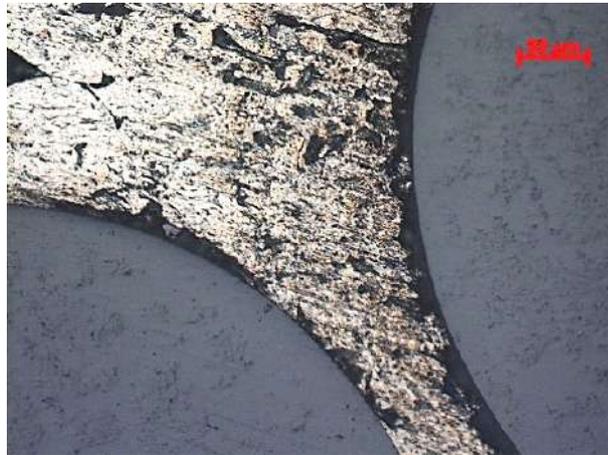
Gambar 4.9 menunjukkan struktur mikro sampel dari 1 sampai 3 siklus penekanan *non heat treatment* pada proses ECAP-PC. Gambar hasil pengamatan mikro struktur *non treatment* berguna untuk menjadi perbandingan untuk struktur mikro dari variabel yang dilakukan proses *heat treatment*, dimana struktur 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 pemadatan 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 bertambah nya 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.

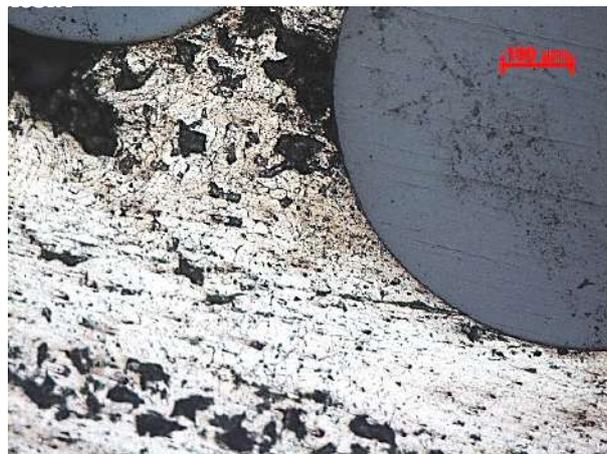
Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan Fallahi, bahwa metode *age hardening* mampu membentuk presipitasi pada matriks aluminium dan memperhalus butiran pada matriks aluminium, sehingga dapat meningkatkan stabilitas mikro struktur pada *reinforcement* dengan menjepit dan menghambat pergerakan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