

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* ($ZrO_2 \cdot SiO_2$) 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 lainnya 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 ³

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*.

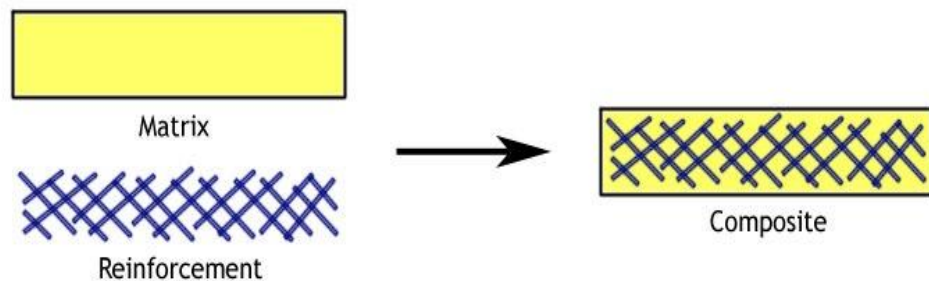
Penyusun komposit pada umumnya terdiri dari 2 fasa, yaitu:

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:

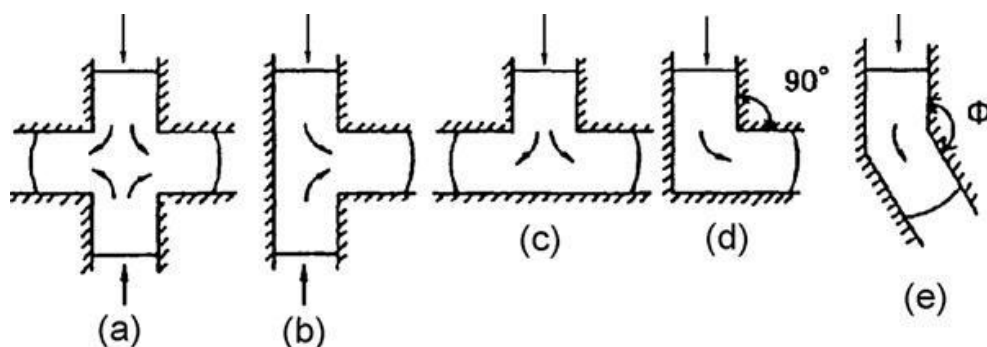
1. Proses ECAP adalah proses paling efektif diantara proses SPD.
2. Relatif tidak terjadi perubahan penampang melintang.
3. Peningkatan kekuatan material dapat dilakukan pada temperatur rendah.

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

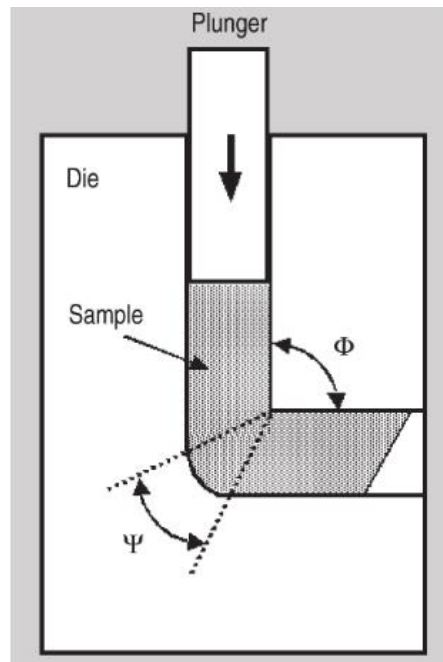
Proses pembuatan logam ECAP memiliki kemampuan untuk memperkenalkan penyempurnaan butiran yang signifikan menjadi sampel massal besar. Biasanya, ini mengurangi ukuran butir ke tingkat sub-mikrometer, dan dengan demikian menghasilkan bahan yang mampu memberikan sifat fisik dan mekanik yang baik (Pramonon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



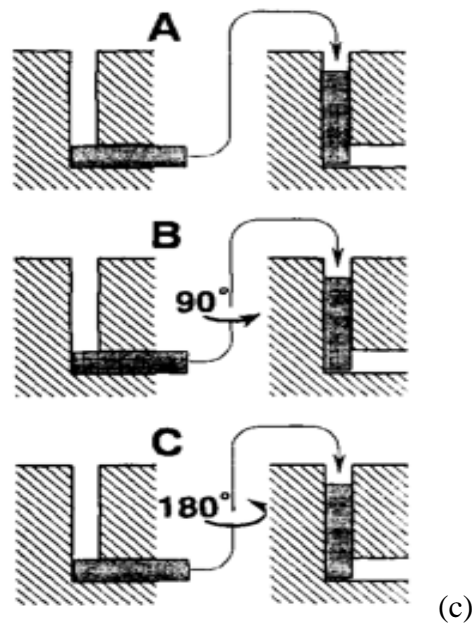
Gambar 2.2 Ilustrasi Skematis Dari Proses Ekstrusi Sisi Yang Merupakan Semacam Ekstrusi Sumbu Ganda Atau Ekstrusi Samping (Azushima , 2000).



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° . *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 (ϵ) yang diperkenalkan dalam ECAP ditentukan oleh hubungan yang menggabungkan sudut antara dua bagian saluran, Φ , dan sudut yang mewakili busur luar lengkungan di mana dua bagian saluran berpotongan (Ψ). 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° ke arah yang berbeda atau arah yang sama di rute BA dan BC, masing-masing, dan rotasi 180° 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).



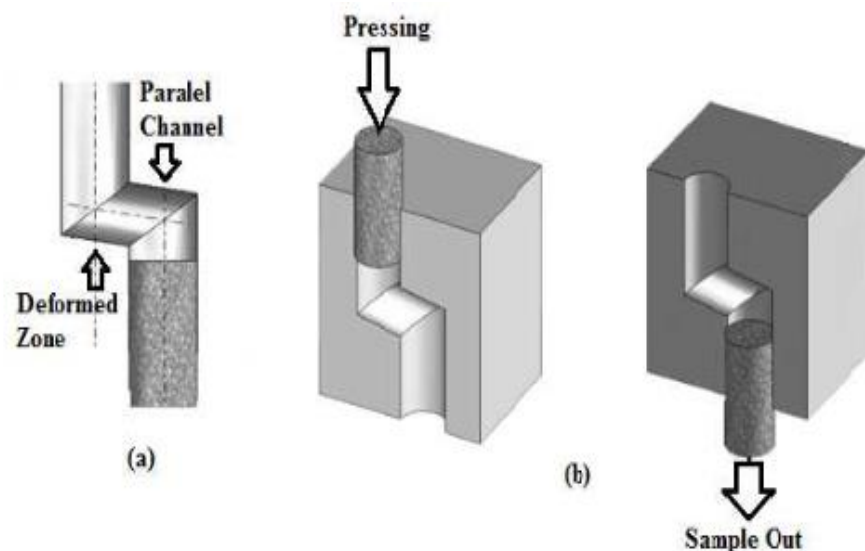
Gambar 2.4 Skematis Rute Proses ECAP Konvensional (Valiev RZ, Langdon TG, 2006).

Gambar 2.4 menunjukkan proses fundamental aliran logam selama ECAP. Saluran ditekuk melalui sudut 90° 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_A spesimen diputar oleh 90° dalam arah alternatif antara lintasan berturut-turut, pada rute B_C spesimen diputar 90° berlawanan arah jarum jam Antara setiap lintasan, dan pada rute C spesimen diputar oleh 180° 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%.

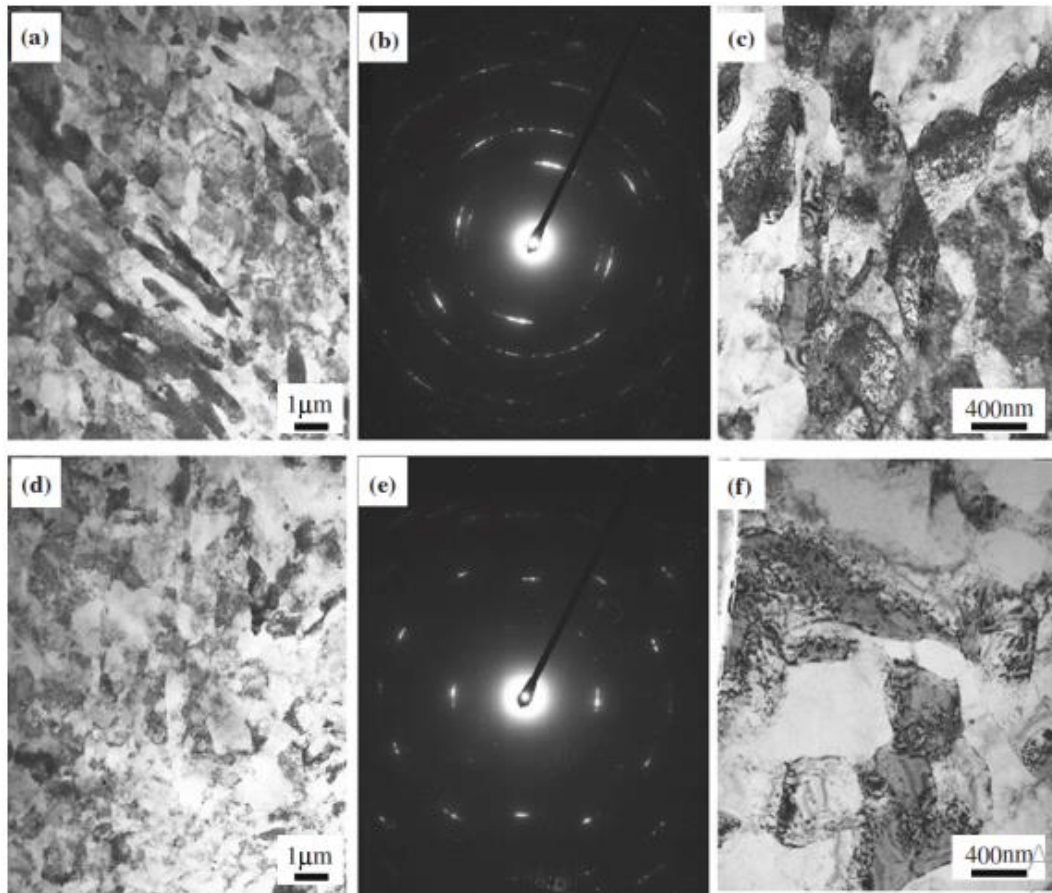
Sifat mekanis dari hasil proses *equal channel angular pressing – parallel channel* 1 lintasan, 2 lintasan dan 4 lintasan pada temperature 100 °C ditunjukkan dalam tabel berikut.

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 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

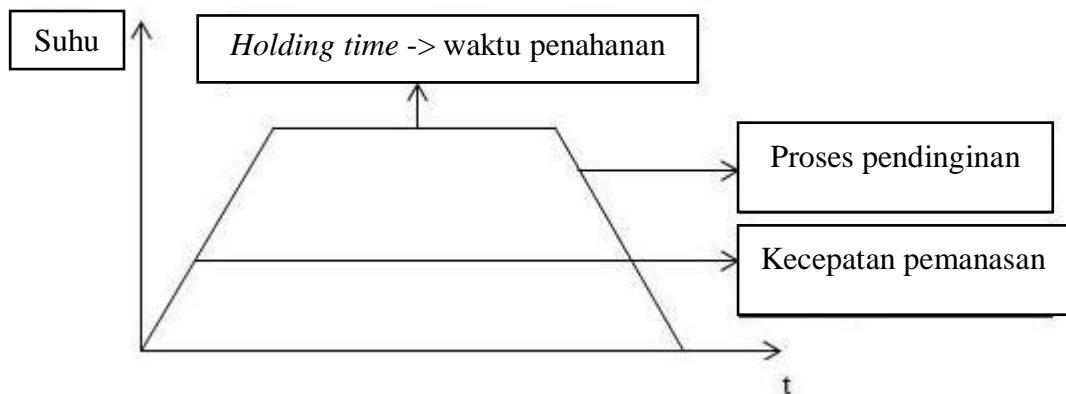
komposit di lapangan dan struktur mikro serta sifat-sifat material komposit yang ingin dihasilkan.

2.5.1 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 2.7 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).

2.5.2 Age Hardening

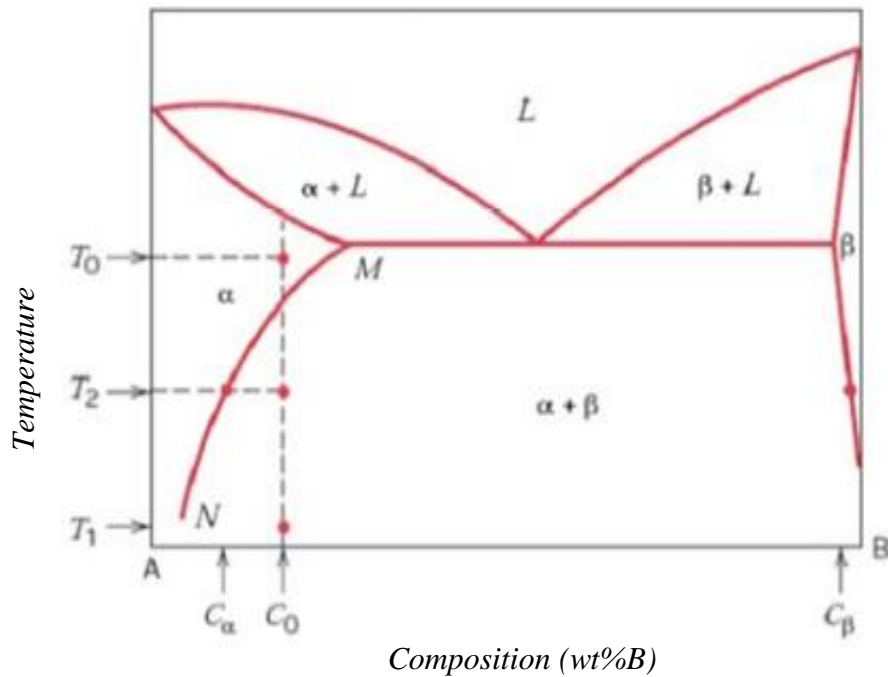
Salah satu cara perlakuan panas pada logam paduan aluminium adalah dengan *age hardening*. Melalui *age hardening*, logam paduan aluminium akan memperoleh kekuatan dan kekerasan yang lebih baik. Istilah penuaan keras (*age hardening*) telah dibakukan dari istilah sebelumnya yang sering digunakan misalnya 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 α dalam larutan padat. Pada temperatur T_1 tersebut, pemanasan ditahan beberapa saat agar didapat larutan padat yang mendekati homogen.



Gambar 2.8 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 aluminium ($150\text{ }^{\circ}\text{C}$) di bawah temperatur pengkristalan atau di atas temperatur pengkristalan logam paduan aluminium (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).