

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Firdaus (2002) menyatakan bahwa pada awal penelitian dilakukan uji komposisi terlebih dahulu, untuk mendapatkan nilai komposisi dari bahan yang akan diuji. Setelah itu bahan dilelehkan dalam suhu 700°C, dalam penuangan logam cair tidak diperbolehkan memberikan kecepatan yang rendah ketika penuangan. Hal tersebut dapat menyebabkan semakin tingginya kemungkinan terjadinya aliran laminar. Dalam beberapa penelitian sebelumnya dengan variasi data kecepatan aliran sebesar 320 cm³/sec dan tekanan *squeeze* sebesar 90 MPa, dengan perlakuan panas T6 didapatkan *ultimate tensile strength* mengalami kenaikan dan perpanjangan juga mengalami kenaikan apabila dibandingkan dengan *cor high pressure die cast*, variasi penambahan serbuk kaca.

Purnomo (2012) melakukan penelitian tentang *squeeze casting* dengan memvariasikan tekanan *plunger* sehingga menghasilkan porositas yang rendah dan kekuatan puntir yang tinggi. Material yang digunakan adalah Al-Mg-Si. Dari penelitian ini peneliti memvariasikan tekanan untuk memperoleh nilai kekuatan puntir yang maksimal namun % porositas yang minimal. Tekanan 50 MPa memiliki nilai kekuatan puntir maksimal sebesar 179,3524 MPa dan 0,45% nilai porositas minimal, dan penelitian ini belum menggunakan variasi penambahan serbuk *E-Glass* dan pengujian kekuatan tarik.

Hardianto (2013) melakukan penelitian pengecoran *squeeze casting* dengan penambahan proses *aging treatment* memberikan pengaruh terhadap persentase porositas dan kekuatan tarik coran silinder Al-Mg-Si. Penambahan suhu *Aging treatment* dapat mempengaruhi persentase porositas, semakin tinggi suhu maka persentase porositas akan menurun. *Aging treatment* dapat mempengaruhi nilai kekuatan tarik spesimen hasil *squeeze casting* dimana semakin besar suhu *aging treatment* maka semakin besar nilai kekuatan tariknya. Dalam penelitian ini belum di variasikan penambahan serbuk *E-Glass* untuk *metal matrix composite*.

Kumar dan Swammy (2011) melakukan penelitian tentang *metal matrix composite* memadukan A6061 sebagai matriks dengan *E-Glass* dan *fly ash* sebagai penguat. *E-Glass* 2wt%, 6wt% dan *flyash* 0wt%, 2wt%, 4wt%, 6wt%. Metode pembuatan MMC dengan *stir casting* dengan poros pengaduk dari besi dilapisi alumina.

Pengujian yang dilakukan meliputi uji kekerasan, uji mikrostruktur, uji kompresi, dan uji tarik. Hasilnya mikrostruktur penguat terdispersi sempurna, sehingga sifat-sifat yang ada pada penguat menambah kekuatan dari A6061. Hasil penambahan *Fly ash* dan *E-Glass* berbanding lurus dengan kenaikan kekuatan tarik spesimen dengan kekuatan tertinggi pada penambahan 4wt% *E-Glass* dan 8wt% *Fly ash* sebesar 160 MPa.

2.2 Pengecoran Logam

2.2.1 Prinsip Kerja Pengecoran

Definisi pengecoran (*casting*) adalah salah satu teknik pembuatan produk dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian dituangkan ke dalam rongga cetakan yang serupa dengan bentuk asli dari produk cor yang akan dibuat lalu dibiarkan membeku (*solidifikasi*). (De Garmo 1997)

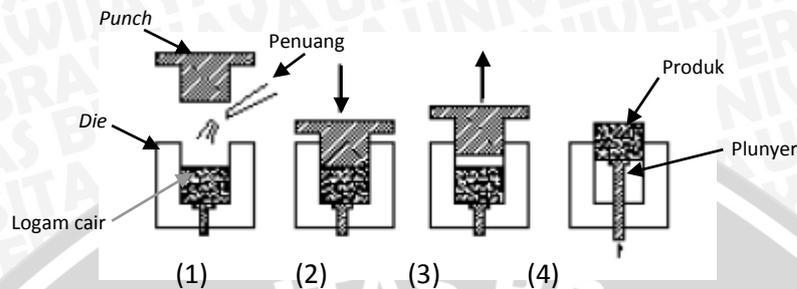
Terdapat beberapa urutan kegiatan yang harus dilakukan dalam melakukan pengecoran logam diantaranya membuat cetakan, pencairan logam, penuangan logam ke cetakan, proses *solidifikasi*, pembongkaran cetakan, setelah itu pembersihan logam dan *finishing* lalu pemeriksaan hasil coran. (De Garmo 1997).

2.2.2 Pengecoran *Squeeze* (*Squeeze Casting*)

Pengecoran *squeeze* sering digambarkan sebagai suatu proses dimana logam cair dibekukan di bawah tekanan eksternal yang relatif tinggi. Proses ini mengkombinasikan proses *forging* dan *casting*. Pengecoran *squeeze* disebut juga penempaan logam cair (*liquid metal forging*). Proses pemadatan logam cair dilakukan di dalam cetakan yang ditekan dengan tenaga hidrolis. Penekanan logam cair oleh permukaan cetakan akan menghasilkan penurunan porositas seperti sering terjadi pada produk cor besi tempa (*wrought iron*). Penekanan juga berfungsi untuk membuat produk yang rumit. Hasil proses penempaan logam cair adalah produk yang mendekati ukuran standarnya (*near-net shape*) dengan kualitas yang baik. Sedangkan struktur mikro hasil pengecoran *squeeze* terlihat lebih padat dibandingkan dengan hasil pengecoran dengan gravitasi. Hal ini dikarenakan kontak logam cair dengan permukaan die memungkinkan terjadinya perpindahan panas yang cukup cepat sehingga menghasilkan struktur mikro yang homogen dengan sifat mekanik yang baik. Berdasarkan mekanisme pengisian logam cair ke dalam *die*, pengecoran *squeeze* dikategorikan menjadi 2 jenis, yaitu: *direct squeeze casting* dan *indirect squeeze casting*.

- DSC (Direct Squeeze Casting)

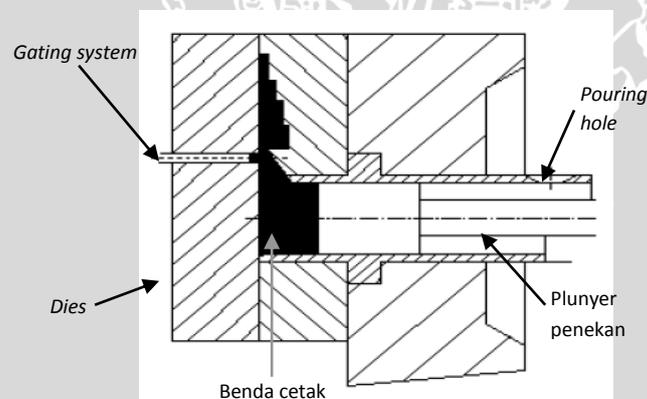
DSC merupakan proses pengecoran dimana logam cair didinginkan melalui pemberian tekanan secara langsung yang diharapkan mampu mencegah munculnya porositas gas dan penyusutan. Dari gambar 2.1 dapat kita lihat prosesnya.



Gambar 2.1 Mekanisme *Direct Squeeze Casting*.
Sumber : Tjitro dan Firdaus. 2000: 110.

- ISC (*Indirect Squeeze Casting*)

Istilah indirect dipakai untuk menggambarkan injeksi logam ke dalam rongga cetakan dengan bantuan piston berdiameter kecil dimana mekanisme penekan ini dipertahankan sampai logam cair membeku seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Mekanisme *Indirect Squeeze Casting*.
Sumber : Tjitro dan Firdaus. 2000: 110.

2.2.3 Parameter Proses Pengecoran Squeeze

Untuk memperoleh produk cor yang memenuhi syarat-syarat ideal bagi suatu *sound – cast*, ada beberapa variabel yang perlu diperhatikan, yaitu :

a) Volume Cairan Logam (*Melt Volume*)

Diperlukan kontrol yang akurat ketika logam cair dituangkan ke dalam rongga cetakan (*die cavity*)

b) Temperatur Tuang (*Casting Temperature*)

Temperatur ini tergantung pada jenis paduan dan bentuk coran/komponen. Biasanya temperatur tuang diambil 6–55°C di atas temperatur cair (*liquidus*).

c) Temperatur Perkakas (*Tooling Temperature*)

Temperatur normal adalah 190–315°C. Biasanya temperatur *punch* diatur 15–30°C di bawah temperatur die terendah untuk memungkinkan adanya kelonggaran atau ventilasi yang memadai di antara keduanya.

d) Waktu Tunggu (*Time Delay*)

Waktu Tunggu adalah lamanya waktu yang diukur dari saat pertama penuangan logam cair ke dalam rongga cetak hingga saat permukaan *punch* menyentuh dan mulai menekan permukaan logam cair, digunakan untuk mencegah pendinginan secara cepat sebelum logam menutup semua celah pada cetakan.

e) Batas Tekanan (*Pressure Level*)

Rentang tekanan normal adalah 50–140 MPa, tergantung pada bentuk geometri komponen serta sifat mekanis yang dibutuhkan. Tetapi dimungkinkan tekanan minimum adalah 40 MPa.

f) Durasi Penekanan (*Pressure Duration*)

Durasi penekanan dihitung dari saat *punch* di titik terendah sampai saat *punch* diangkat (penekanan dilepaskan). Produk cor dengan berat 9 kg, durasi penekanannya bervariasi antara 30–120 detik. Akan tetapi biasanya durasi ini juga tergantung pada bentuk geometri coran yang diinginkan. Hal ini tidak akan berpengaruh jika logam telah dingin dan tersolidifikasi.

g) Pelumasan (*Lubrication*)

Pengecoran *squeeze* membutuhkan pelumas pada permukaan die untuk memudahkan proses pengeluaran produk cor dari cetakannya. Untuk paduan aluminium, magnesium, dan tembaga, permukaan die biasanya disemprot dengan pelumas *colloidal graphite*. Sedangkan *ferrous casting*, permukaan die biasanya dilapisi dengan sejenis bahan keramik untuk mencegah efek pengelasan antara produk cor dengan permukaan die.

h) Kecepatan Pengisian (*Filling Rate*)

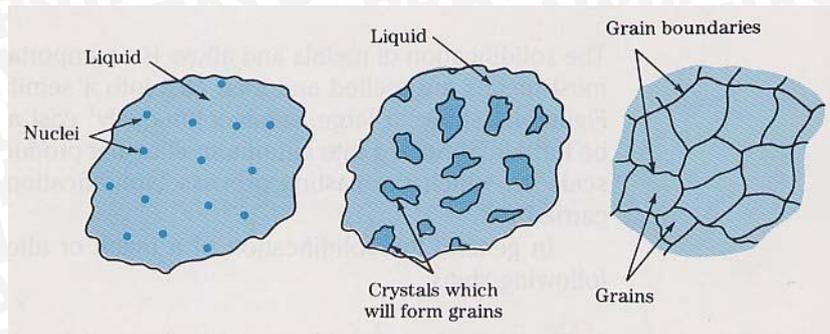
Makin rendah kecepatan pengisian akan menyebabkan makin tingginya kemungkinan untuk mendapatkan aliran laminar.

2.2.4 Solidifikasi

Seluruh logam saat proses pembekuan membentuk kristal, susunan teratur (ordered) dan atom-atom berulang (*repetitive*) dalam suatu ruang. Atom logam saat kondisi cair berada pada posisi tidak teratur. Saat akan mulai membeku, atom-atom mulai menyusun diri dalam suatu struktur ruang. Atom yang mula-mula menyusun diri adalah atom yang mengalami kestabilan pertama kalinya. Susunan awal atom dikenal dengan sebutan inti atom dan proses pembentukan inti atom disebut pengintian (*crystallization*). Misalkan logam dengan kristal FCC, maka untuk membentuk inti atom membutuhkan 12 atom. Setelah terbentuk inti atom, atom-atom lainnya yang terdapat disekitarnya akan mengikuti inti tersebut, sehingga seolah-olah inti atom berkembang dan memiliki cabang-cabang yang dikenal dengan sebutan *dendrite*.

Pada proses pengintian akan timbul banyak inti atom sehingga banyak pula muncul *dendrite*, masing-masing mempunyai arah atau orientasi yang berbeda. Dendrit akan berkembang lebih besar sehingga nantinya akan menyinggung dendrit-dendrit lain yang berkembang. Permukaan yang bersinggungan ini dikenal dengan sebutan batas butir (*grain boundary*), sedangkan kristal yang dibatasi oleh batas butir dikenal dengan sebutan butir. Jika keadaan memungkinkan, misalkan energi yang tersedia cukup besar, satu butir dapat terus berkembang melintasi batas butir, dalam artian atom-atom dari butir lain yang kurang stabil akan mengikuti arah butir tersebut. Jika keadaan ini berlangsung terus-menerus maka pada akhirnya akan terdapat satu butir saja. Jika logam didinginkan secara lambat, maka *dendrite* mempunyai waktu yang cukup untuk tumbuh, sehingga akan terbentuk butiran-butiran yang besar. Sebaliknya, jika pendinginan logam secara cepat maka akan menimbulkan butiran-butiran yang kecil. Perbedaan ukuran butir menyebabkan perbedaan sifat mekanik.

Dalam proses pengecoran, solidifikasi terjadi saat logam cair bersentuhan dengan permukaan cetakan, dimana terjadi gradien temperatur yang tinggi, sehingga temperatur bagian luar logam cair lebih rendah dari pada bagian dalam, maka dari itu inti atom mulai terbentuk dari bagian yang dekat dengan cetakan, lalu berkembang kebagian dalam, dari bentuk kecil lalu menjadi besar sepanjang arah logam cair. Lalu inti tersebut membentuk butiran sepanjang luasan logam cair dan berbentuk kolom-kolom, dan akhirnya menjadi padat seluruhnya. Ilustrasi pembekuan logam dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut :



Gambar 2.3 Ilustrasi skematis dari pembekuan logam.

Sumber: Smith, 1993

Terdapat tiga daerah yang terjadi saat pembekuan logam coran, yaitu :

- Daerah pembekuan cepat (*chill zone*)

Selama proses penuangan logam cair kedalam cetakan, logam cair yang berkontak langsung dengan dinding cetakan akan mengalami pendinginan yang cepat dibawah temperatur *liquidus*nya. Daerah ini berada paling luar yang dipengaruhi oleh *heat removal*. Dalam hal ini struktur terbentuk saat kontak pertama antara dinding cetakan dengan melt saat dituang ke dalam cetakan. Di bawah suhu lebur beberapa inti terbentuk dan tumbuh kedalam cairan. Suhu cetakan yang perlahan naik membuat kristal yang beku menyebar meninggalkan dinding akibat pengaruh aliran cairan dan apabila suhu penuangan yang cukup tinggi dimana cairan yang berada ditengah-tengah coran tetap diatas temperatur leburnya sehingga dapat menyebabkan kristal yang dekat dengan daerah tersebut mencair lagi meninggalkan dinding cetakan. Hanya kristal yang berada pada dinding cetakan yang tumbuh menjadi *chill zone*.

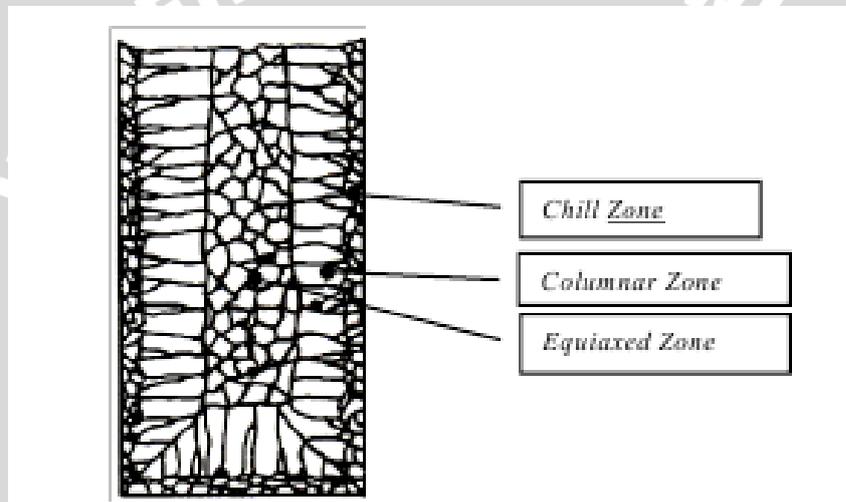
- *Columnar zone*

Setelah penuangan, gradien temperatur pada dinding cetakan turun dan kristal pada daerah *chill* tumbuh memanjang dalam arah kristal tertentu. Kristal tersebut tumbuh memanjang berlawanan dengan arah perpindahan panas, yang bergerak dari cairan logam dari dinding cetakan yang bertemperatur tinggi kearah yang bertemperatur lebih rendah, yang dikenal dengan sebutan dengan dendrit. Setiap kristal dendrit mengandung banyak lengan dendrit (*primary dendrite*). Dengan meningkatnya panjang dendrit dan jika struktur yang terbentuk berfasa tunggal, maka lengan dendrit sekunder dan tersier akan timbul dari lengan dendrit primer. Daerah yang terbentuk antara ujung dendrit dan titik dimana sisa cairan terakhir akan membeku disebut sebagai *mushy zone* atau *pasty zone*. *Columnar zone* merupakan batas yang tumbuh setelah gradien suhu pada dinding cetakan turun dan

kristal pada *chill zone* tumbuh secara dendritik dengan arah tegak lurus dengan dinding cetakan.

- *Equiaxed zone*

Terdiri dari butir-butir equiaxial yang tumbuh secara acak ditengah-tengah ingot. Dalam hal ini dipengaruhi oleh perbedaan temperatur yang ada dan tidak menyebabkan terjadinya pertumbuhan butir memanjang. Struktur ini terdiri dari butiran bersumbu sama memiliki arah yang acak. Penyebab butiran ini adalah mencairnya kembali lengan dendrit bila suhu disekitar masih tinggi, setelah cabang dendrit tersebut terlepas dari induknya dan tumbuh menjadi dendrit yang baru. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Struktur *Chill*, *Columnar*, dan *Equiaxed Zone*.
Sumber: Kalpakjian. 1990 : 279

2.3 Fluiditas

Dalam teknik pengecoran logam, fluiditas tidak diartikan sebagai kebalikan dari viskositas, akan tetapi kemampuan logam cair untuk mengisi ruang-ruang dalam rongga cetak. Fluiditas tidak dapat dikaitkan dengan sifat-sifat fisik secara individu, karena besaran ini diperoleh dari pengujian yang merupakan karakteristik rata-rata dari beberapa sifat-sifat fisik dari logam cair. Fluiditas lebih dikenal dengan sifat mampu alir adalah kemampuan dari suatu zat (dalam hal ini logam cair) untuk mengalir (berpindah tempat) dan mengisi cetakan sebelum membeku. Sifat ini berhubungan dengan viskositas zat cair, semakin tinggi viskositas maka sifat mampu alirnya menurun. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi fluiditas selain viskositas, diantaranya adalah temperatur penuangan, komposisi logam dan perpindahan panas yang terjadi

pada dinding cetakan. Tingginya temperatur penuangan (ditinjau dari titik cair) akan meningkatkan fluiditas dari logam cair sehingga logam cair dapat mencapai seluruh rongga cetakan tanpa adanya pembekuan dini. Komposisi logam juga mempengaruhi fluiditas, terutama menyangkut mekanisme pembekuan (solidifikasi) logam cair. Fluiditas yang baik terdapat pada logam yang membeku pada temperatur konstan, contohnya pada logam mulia. Saat solidifikasi terjadi pada range temperatur tertentu (terutama logam paduan) dapat terjadi solidifikasi sebagian sehingga menurunkan fluiditasnya. Selain itu komposisi logam juga menentukan *heat of fusion* (kalor laten), yaitu panas yang dibutuhkan logam untuk mencair seluruhnya. Tingginya kalor laten ini akan meningkatkan fluiditas logam cair.

2.4 Komposit

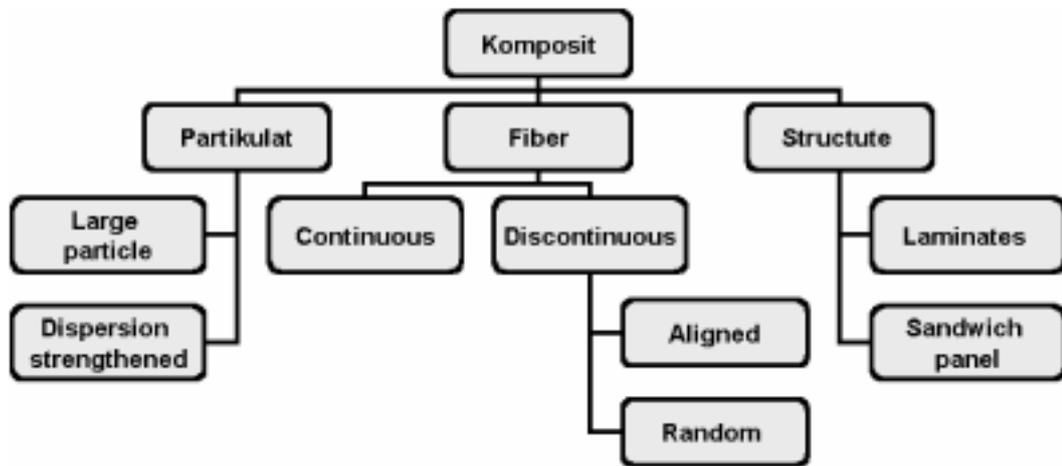
Komposit terdiri dari dua atau lebih komponen yang menyatu dari suatu bahan. Termasuk yang memanfaatkan sifat khusus beberapa bahan yang ada. Biasanya sifat bahan yang menyatu dalam komposit dapat dievaluasi dan diuji secara terpisah. Hal ini mengarah ke penyusunan kaidah campuran sehingga sifat komposit dapat dihitung berdasarkan sifat komponennya. Ada dua hal yang perlu diperhatikan pada komposit yang diperkuat agar dapat membentuk produk yang efektif. (1) komponen penguat harus memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada komponen matriksnya. (2) Harus ada ikatan permukaan yang kuat antara komponen penguat dan matriks. (Vlack, 1994).

Beberapa definisi dasar dari komposit sebagai berikut :

- a. Sub-Mikro (nano) yang artinya molekul tunggal dan kisi kristal, bila material yang disusun dari dua atom atau lebih disebut komposit (contoh: senyawa, paduan (*alloy*), polimer dan keramik).
- b. Mikrostruktur yang artinya pada kristal, fase, dan senyawa, bila material disusun dari dua fase atau senyawa atau lebih disebut komposit
- c. Makrostruktur yang artinya material yang disusun dari campuran dua atau lebih penyusun makro yang berbeda dalam bentuk atau komposisi dan tidak larut satu dengan yang lain disebut material komposit.

Secara umum, penyusun komposit terdiri dari dua atau lebih material yang menimbulkan beberapa istilah dalam komposit, seperti: matrik (penyusun dengan fraksi volume terbesar), penguat (penahan beban utama), *interphase* (pelekat antara matrik dan penguat), dan *interface* (permukaan fase yang berbatasan dengan fase lain).

Adapun pembagian komposit berdasarkan jenis penguat yang digunakan seperti ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Pembagian Komposit berdasarkan jenis penguat
Sumber : Pramono, 2008

Berdasarkan gambar 2.5 diketahui bahwa berdasarkan jenis penguat yang digunakan komposit dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu:

- Particulate composite*, penguatnya berbentuk partikel.
- Fibre composite*, penguatnya berbentuk serat.
- Structural composite*, cara penggabungan material komposit berbentuk laminat atau panel. (Pramono, 2008)

2.4.1 Metal Matrix Composite (MMC)

Mengkombinasikan 2 atau lebih material yang mana kandungan penyusunnya dapat diterima sebagai dikombinasi sistematis dari komponen yang berbeda, yang perlu diperhatikan untuk membuat MMC adalah kekuatan, kekakuan, densitas material. Digunakan untuk memperbaiki kekakuan, kekuatan, ketahanan korosi, stability dimensi, konduktivitas thermal. MMC yang dilakukan pada logam seperti Aluminium, Magnesium, Tembaga digunakan penguat seperti Al_2O_3 dan SiC. Kombinasi dari beberapa pembentukan matrix reaktif dengan suhu tinggi, konsekuensinya terjadi kerusakan komposit karena suhu tinggi selama proses MMC.

Ada 2 dua cara pembentukan MMC yaitu:

- *Liquid Phase Process*
- *Solid State Process*

Tabel 2.1 Proses *Metal Matrix Composite*

| MMC process | Reinsforcement Type | Cost |
|-------------------------------|---------------------|----------|
| <i>Diffusion Bonding</i> | <i>Monofilament</i> | High |
| <i>Powder Metallurgy</i> | <i>Whiskers</i> | ↑ Low |
| <i>Spray Methods</i> | <i>Fibre</i> | |
| <i>Liquid State Processes</i> | <i>Particle</i> | |

Sumber: Hashim, 1999

2.4.2 Matriks

Polimer, logam, dan keramik digunakan sebagai material matrik dalam komposit tergantung pada kebutuhan tertentu. Matrik di dalam komposit mengikat serat secara bersama-sama dalam suatu unit struktural dan melindungi serat dari kerusakan eksternal, mentransfer dan mendistribusikan beban ke serat, dan pada beberapa kasus memberikan sifat yang diinginkan seperti keuletan, ketangguhan, atau isolasi listrik (Gibson, 1994).

Sebagai komponen utama pembentuk komposit, dalam melakukan pemilihan terhadap matrik harus memperhatikan elongasi/batas mulur. Matrik yang digunakan sebaiknya mempunyai elongasi yang lebih besar daripada elongasi *filler*. Sebagai contoh jika elongasi yang dimiliki oleh *filler* 3%, maka matrik harus mempunyai elongasi lebih dari 3%. Ikatan antarmuka yang kuat antara matrik dan *filler* sangat diperlukan, oleh karena itu matrik harus mampu menghasilkan ikatan mekanis atau kimia dengan *filler*. Matrik ini juga harus cocok secara kimia dengan *filler*, sehingga reaksi yang tidak diinginkan tidak terjadi pada interface. Matrik dan *filler* sebaiknya mempunyai sifat-sifat mekanis yang saling melengkapi diantara keduanya (Gibson, 1994).

2.4.2.1 Aluminium Sebagai Matriks

Aluminium merupakan salah satu logam yang memiliki banyak kelebihan. Selain ringan, beratnya hanya 1/3 baja, tembaga atau kuningan. Memiliki kekuatan yang baik, bahkan beberapa aluminium paduan kekuatannya melebihi baja. Aluminium tahan terhadap korosi, mampu melawan pengaruh korosi dari elemen-elemen di atmosfer, air (termasuk air garam), oli dan bahan kimia lainnya. Memiliki konduktivitas thermal yang tinggi, konduktivitas listrik dan panas yang baik. Aluminium tidak bersifat magnet, tidak beracun sehingga aman digunakan untuk peralatan dan industri makanan.

Aluminium berasal dari biji aluminium yang disebut bauksit (Al_2O_3). Untuk mendapatkan aluminium murni dilakukan proses pemurnian pada bauksit yang menghasilkan oksida aluminium atau alumina. Kemudian alumina ini dielektrosa sehingga berubah menjadi oksigen dan aluminium. Aluminium adalah logam terpenting dari logam *nonferro*. Penggunaan aluminium adalah yang kedua setelah besi dan baja (Surdia dan Kenji. 1996 : 129). Keutamaan dari aluminium dalam bidang teknik yaitu mudah untuk pengerjaan lanjutan, beratnya yang ringan, konduktifitas listrik dan panas baik. (De Garmo.1997 : 157).

A. Sifat-sifat Aluminium

Aluminium mempunyai beberapa sifat fisik yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Sifat-sifat fisik aluminium

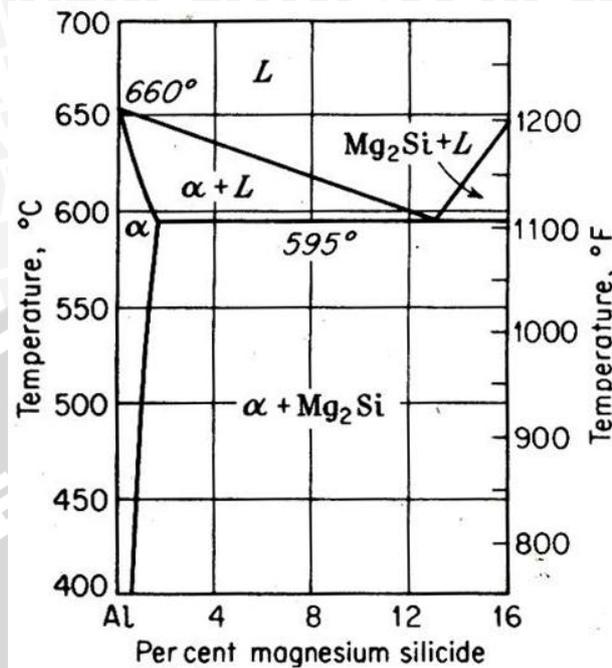
| Sifat-sifat | Kemurnian Al (%) | |
|--|--|---|
| | 99,99 | >99,99 |
| Massa jenis (Kg / dm^3) (20°C) | 2,6989 | 2,71 |
| Titik cair ($^\circ\text{C}$) | 660,2 | 653 – 657 |
| Panas jenis ($\text{Cal/g.}^\circ\text{C}$) (100°C) | 0,2226 | 0,2297 |
| Hantaran listrik (%) | 64,91 | 59 (dianil) |
| Tahanan listrik koefisien temperatur ($/^\circ\text{C}$) | 0,00429 | 0,0115 |
| Koefisien pemuai ($\text{M} / ^\circ\text{C}$) ($20\text{-}100^\circ\text{C}$) | $23,86 \times 10^{-6}$ | $23,5 \times 10^{-6}$ |
| Jenis kristal, Konstanta kisi | <i>Fcc</i> , $\alpha = 4,013 \text{ kX}$ | <i>Fcc</i> , $\alpha = 4,04 \text{ Kx}$ |

Sumber: Surdia dan Kenji. 1996:134

B. Paduan A6xxx

Paduan A6xxx termasuk dalam jenis yang dapat diperlakukan panas dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan tahan korosi yang cukup. Jika magnesium dan silikon dipadukan bersama aluminium, maka akan terbentuk magnesium silikat (Mg_2Si), kebanyakan aluminium paduan mengandung Si digunakan untuk merubah fluiditas aluminium dan mencegah cacat retak dengan penambahan pada metode *die casting* 8-12% Si, magnesium diperlukan untuk memperoleh efek pengerasan dan kekuatan dari Mg_2Si dengan penambahan antara 0,4-0,7% . Logam paduan murni dan coran yang diperlakukan panas mengandung beberapa fase terlarut, yang muncul dalam jumlah dan lokasi yang bervariasi dalam mikrostruktur bergantung pada temperatur spesimen. Pada seri paduan 6xxx, fase intermetalik yang umum adalah

Mg₂Si. Kelebihan partikel silikon mungkin juga terjadi. Diagram fase magnesium-silikon pada aluminium paduan ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Diagram fase magnesium-silikon pada aluminium paduan.

Sumber: Hiene (1995).

Pada diagram diatas tampak bahwa kelarutan Mg₂Si semakin menurun terhadap kelarutan aluminium yakni dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. Kelarutan Mg₂Si dalam aluminium/fasa α terjadi sampai 16% pada 595^oC. Selain itu, titik cair terendah untuk mencairkan Al-Mg-Si pada temperatur 595^oC dengan komposisi 13% Mg₂Si dan 87% Al. Beberapa sifat yang dimiliki paduan Al-Mg-Si ditunjukkan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Sifat Aluminium Paduan Al-Mg-Si

| Sifat | Nilai |
|--------------------------------|----------------------------|
| <i>Density</i> | 2.71 g/cm ³ |
| <i>Melting Point</i> | 600°C |
| <i>Modulus of Elasticity</i> | 67 GPa |
| <i>Electrical Resistivity</i> | 0.035x10 ⁻⁶ Ω.m |
| <i>Thermal Conductivity</i> | 180 W/m.K |
| <i>Coefficient of Friction</i> | 0.42 |

Sumber: aalco (2007)

2.4.3 Filler (Reinforcement)

Penguat komposit pada umumnya mempunyai sifat kurang ulet tetapi lebih kaku serta lebih kuat. Fungsi utama dari penguat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari penguat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada penguat, sehingga penguat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu penguat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit.

2.4.3.1 E-Glass Sebagai Filler

Serat *E-Glass* adalah salah satu jenis serat yang dikembangkan sebagai penyekat atau bahan isolasi. Jenis ini mempunyai kemampuan bentuk yang baik.

Tabel 2.4 Sifat Mekanik dari serat *E-glass*

| Property | E-glass (HTS) | Carbon (type HT) | Aramid (Kevlar) |
|------------------------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Tensile strength, ksi (MPa) | 350 (2410) | 450 (3100) | 525 (3617) |
| Tensile Modulus, Msi (GPa) | 10 (69) | 32 (220) | 18 (124) |
| Elongation to break, % | 3.5 | 1.4 | 2.5 |
| Density, g/cm³ | 2.54 | 1.75 | 1.48 |

Sumber : Smith, 1993

Serat gelas mempunyai banyak macam keuntungan, sebagai bahan penguat karena :

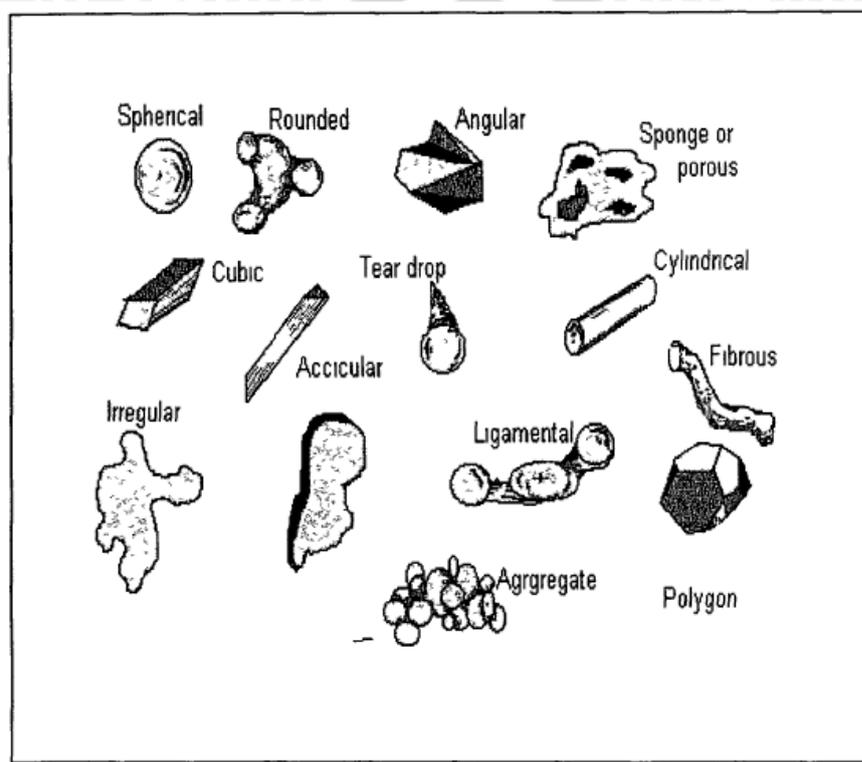
1. Mudah ditarik menjadi serat berkekuatan tinggi dari keadaan lunak.
2. Mudah didapat dan dipabrikasi menjadi plastik yang diperkuat dengan serat gelas
3. Sebagai serat ia kuat, dan bila disatukan dengan matriks plastik akan memberikan komposit yang mempunyai kekuatan tinggi
4. Sangat berguna pada lingkungan yang korosif.

A. Partikel

Partikel paling umum dan murah untuk penguat pada produksi material komposit dengan sifat yang isotropic. Keuntungan lain yaitu dapat diproduksi untuk

berbagai bentuk produk, membuat partikel lebih murah daripada komposit dengan penguat serat.

Bentuk dan ukuran partikel berperan penting, misalnya partikel bersudut sebagai pengumpul *stress*, sedangkan partikel bulat berguna untuk sifat kejut/*impact*, partikel berbentuk bulat memiliki duktilitas yang baik dibanding bentuk bersudut. Beberapa partikel yang berbeda/ berbentuk bubuk seperti pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Macam-macam bentuk partikel
Sumber : Hashim, 1999

Telah dilakukan penelitian bahwa partikel halus lebih efektif memperkuat komposit daripada partikel kasar pada fraksi volume yang sama. Partikel halus menghasilkan jarak antar partikel lebih rapat. Partikel kasar lebih mudah dicampur pada logam cair tetapi rentan terhadap penggumpalan karena gravitasi dan dapat menghasilkan berat yang berbeda dalam hasil coran, selain itu rentan terhadap retakan sehingga sifat mekaniknya buruk. Namun partikel halus dalam matriks yang mencair dapat terjadi pengelompokan Partikel. Telah dilakukan penelitian bahwa paling banyak partikel yang digunakan berukuran 10-20 μm untuk mengurangi *ductility*. SiC paling sering digunakan, selain itu juga Al_2O_3 karena Al_2O_3 tahan terhadap reaksi oksidasi dan tidak mudah bereaksi dengan Aluminium. Berikut tabel 2.5 karakteristik dari partikel penguat.

Tabel 2.5 karakteristik dari partikel penguat.

| Particle | Size [μm] | Density [g/cm^3] | UTS [GPa] | E [GPa] |
|--------------------------------|------------------------|---------------------------------------|-----------|---------|
| Graphite | 40-250 | 1.6 -2.2 | 20 | 910 |
| SiC | 1.5 -3.4 | 3.2 | 3 | 480 |
| SiO ₂ | 53 | 2.3 | 4.7 | 70 |
| TiC | 46 | 4.9 | - | 320 |
| BN | 46 | 2.25 | 0.8 | 100-500 |
| ZrO ₂ | 75 - 180 | 5.65-6.15 | 0.14 | 210 |
| B ₄ C | 40 - 340 | 2.5 | 6.5 | 480 |
| Al ₂ O ₃ | 40 - 340 | 3.97 | 8 | 460 |
| glass | 30 - 120 | 2.55 | 3.5 | 110 |

Sumber : Hashim, 1999

2.4.4 Fraksi Berat Komposit

Jumlah kandungan serat atau material pengisi (filler) dalam komposit yang biasa disebut fraksi volume atau fraksi berat merupakan hal yang menjadi perhatian khusus pada komposit penguatan serat maupun komposit dengan material pengisi. Salah satu elemen kunci dalam analisa mikromekanik komposit adalah karakteristikisasi dari volume atau berat relatif dari material penyusun. Persamaan mikromekanik meliputi fraksi volume dari material penyusun tetapi pengukuran secara aktual sering berdasarkan pada fraksi berat (Gibson, 1994). Fraksi berat adalah perbandingan antara berat material penyusun dengan berat komposit. Fraksi berat material penyusun dapat dihitung dengan persamaan 2.1.

$$w_i = \frac{W_i}{W_c} \quad (2.1)$$

dengan,

w_i = fraksi berat material penyusun.

W_i = berat material penyusun (g).

W_c = berat komposit (g).

2.4.5 Rule Of Mixtures

Dalam ilmu material aturan secara umum untuk mencampur 2 atau lebih material menjadi komposit disebut dengan *rule of mixtures*, yang digunakan untuk memprediksi dari material *properties* dari komposit yang terdiri dari *filler* dan *matrix*. Hal ini memberikan teori prediksi material *properties* secara maksimum dan minimum yang dapat dicapai material *properties* komposit. Hal yang dapat dihitung disini diantaranya adalah modulus elastisitas, massa jenis, *ultimate tensile strength* konduktivitas termal, dan konduktivitas elektrik. Dapat dibedakan menjadi dua yaitu untuk beban aksial dan beban melintang.

- Massa Jenis

$$\rho_c = f \cdot \rho_f + (1 - f) \cdot \rho_m \quad (2-2)$$

dengan:

ρ_c = massa jenis komposit

ρ_f = massa jenis *reinforcement*

ρ_m = massa jenis *matrix*

- *Ultimate Tensile Strength*

$$\sigma_{UTSc} = f \cdot \sigma_{UTSf} + (1 - f) \cdot \sigma_{UTSm} \quad (2-3)$$

dengan:

σ_{UTSc} = *ultimate tensile strength* komposit

σ_{UTSf} = *ultimate tensile strength reinforcement*

σ_{UTSm} = *ultimate tensile strength matrix*

2.5 Stir Casting

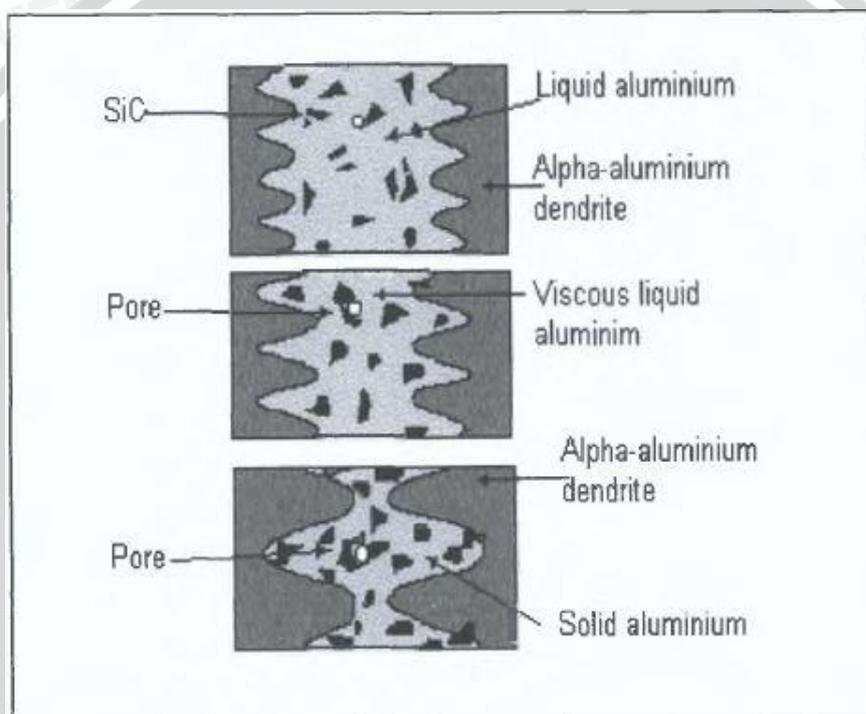
Cara yang digunakan untuk mencampur distribusi penguat ke matriks cair dengan pengadukan mekanik. Pengadukan mekanik di dapur peleburan adalah elemen kunci dari proses MMC. Hasil dari paduan cair dengan penguat kemudian digunakan untuk proses *die casting*, *permanent mold casting*, atau *sand casting*. *Stir casting* cocok untuk proses produksi komposit sampai 30% volume fraksi dari penguat.

Pengecoran komposit dengan metode ekstruksi dapat mengurangi porositas dan memperbaiki mikrostruktur serta menghomogenkan distribusi penguat. Fokus dari stir casting adalah memisahkan antar partikel penguat akibat dari menetapnya partikel penguat selama fase mencair saat proses pengecoran. Distribusi akhir dari partikel

penguat saat fase padat tergantung pada material *properties* dan parameter proses seperti *wetting condition* partikel dengan lelehan, kekuatan pencampuran, massa jenis, laju pembekuan.

Problem pada *strir casting*:

1. Kesulitan untuk mencapai distribusi yang merata dari penguat
2. *Wettability* yang rendah dari dua substansi
3. Kecenderungan terjadinya porositas pada proses MMC
4. Reaksi kimia antara material penguat dengan matriks



Gambar 2.8 porositas pada *Metal matrix Composite*
Sumber: Hashim, 1999

2.6 Aging Treatment

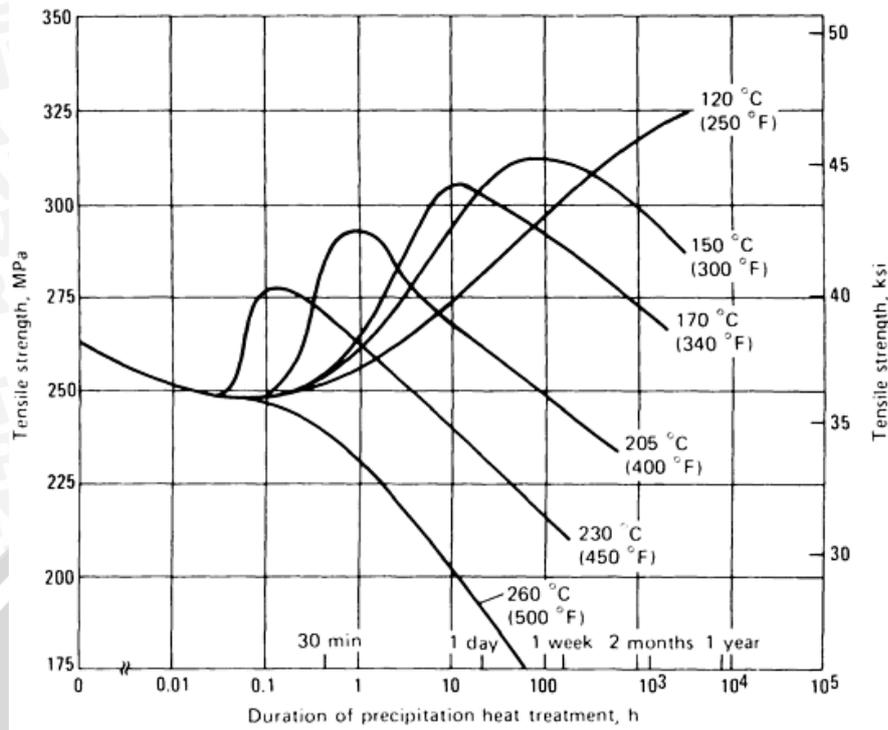
Pengerasan material dapat dicapai dengan temperatur ruangan (*natural aging*) atau pun percepatan perlakuan panas (*artificial aging*). Dalam beberapa paduan, percepatan dapat berlangsung beberapa hari, dalam temperatur ruang untuk menghasilkan produk stabil dengan sifat yang baik untuk berbagai aplikasi. Perlakuan *aging* ini biasanya dilakukan untuk memberikan peningkatan kekuatan dan kekerasan pada produk tempa atau coran. Pada beberapa paduan dengan reaksi yang lama pada temperatur ruang, selalu dilakukan perlakuan panas sebelum produk digunakan. (Brook dkk. 1991: 1915)

2.6.1 *Natural Aging*

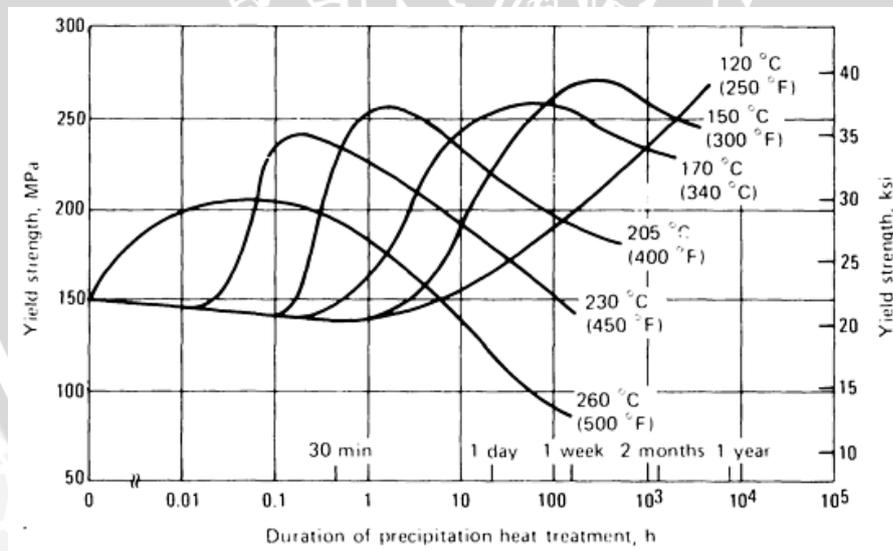
Digunakan pada paduan dengan seri tempa 6xxx, paduan dengan kandungan tembaga seri 7xxx, dan semua seri 2xxx. Pada beberapa paduan ini terutama pada paduan seri 2xxx dengan menggunakan natural aging menghasilkan rasio yang tinggi baik kekuatan tarik, luluh, ketangguhan, dan *fatigue*. Berbeda halnya dengan paduan seri 6xxx dan 7xxx, paduan tersebut jauh kurang stabil pada suhu kamar dan terus menurun setelah bertahun – tahun. (Brook dkk. 1991: 1915)

2.6.2 *Artificial Aging*

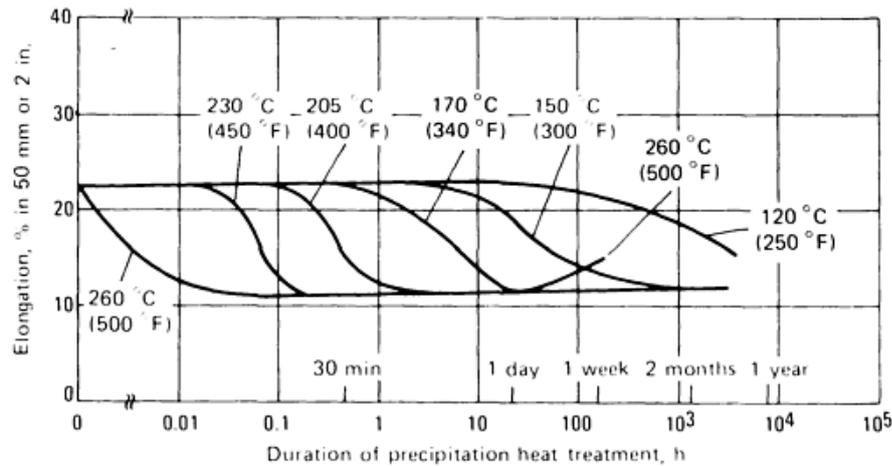
Pada umumnya dilakukan pada suhu rendah dan proses yang lama. Suhu berkisar antara 115 – 190°C (240-375°F) ; variasi waktu dari 5 – 48 jam. Keuntungan dari *artificial aging* adalah meningkatkan sifat mekaniknya, seperti kekerasan, tarik, dan puntir. Pemilihan siklus suhu-waktu harus dipertimbangkan secara hati – hati. Semakin besar partikel paduan, maka dibutuhkan waktu yang lebih lama dan suhu yang lebih tinggi, namun partikel yang besar dibutuhkan jarak yang lebih besar antar partikelnya. Tujuannya adalah untuk memilih siklus yang menghasilkan kekuatan mekanik yang maksimal. Jika menginginkan sifat mekanik yang baik, maka pemilihan suhu dan waktu harus lebih spesifik. Perawatan umum yang dianjurkan sering berhubungan dengan waktu, faktor biaya dan probabilitas untuk mendapatkan sifat yang diinginkan, dengan pertimbangan tunjangan untuk variabel seperti komposisi dalam jangkauan tertentu dan variasi suhu di dalam tungku dan beban. Penggunaan suhu yang lebih tinggi dapat mengurangi waktu perawatan, tetapi jika suhu terlalu tinggi, karakteristik dari proses *artificial aging* mengurangi kemungkinan untuk mendapatkan sifat yang diinginkan. Dari gambar 2.9 adalah grafik hubungan antara lama waktu *artificial aging* dengan kekuatan tarik, kekuatan luluh (Gambar 2.10) dan perpanjangan (Gambar 2.11) paduan Al-6061 dengan suhu yang berbeda pula. (Brook dkk. 1991: 1918)



Gambar 2.9 Grafik hubungan lama waktu *precipitation aging* dengan kekuatan tarik pada paduan A6061.
 Sumber: Brook dkk. 1991: 1920



Gambar 2.10 Grafik hubungan lama waktu *artificial aging* dengan kekuatan luluh pada paduan A6061.
 Sumber: Brook dkk. 1991: 1920



Gambar 2.11 Grafik hubungan lama waktu *artificial aging* dengan perpanjangan pada paduan A6061.
 Sumber: Brook dkk. 1991: 1920

2.7 Pengujian Porositas

2.7.1 Porositas Pada Pengecoran Logam

Porositas dapat terjadi karena gas yang terjebak pada logam cair ketika dituangkan kedalam cetakan (Budinski, 1996 : 460). Porositas pada produk cor dapat menurunkan kualitas produk cor. Salah satu penyebab terjadinya porositas pada penuangan logam adalah gas hidrogen. Porositas oleh gas hydrogen dalam benda cetak paduan aluminium akan memberikan pengaruh yang buruk pada kekuatan, serta kesempurnaan dari produk cor tersebut. Penyebabnya antara lain kurang memperhatikan gas yang terabsorpsi dengan logam selama peleburan dan penuangan.

Faktor-faktor penting yang berhubungan dengan pembentukan porositas gas antara lain ialah :

- Unsur-unsur gas atau sumber gas yang terkandung dalam paduan.
- Tekanan udara yang berlebih.
- Temperatur cetakan.
- Teknik dan kondisi peleburan.
- Teknik atau cara pengeluaran gas dari logam cair.
- Temperatur logam cair.
- Uap air dalam udara.
- Permeabilitas cetakan.
- Uap air yang terkandung dalam cetakan
- Sumber-sumber gas yang terkandung dalam cetakan

- Bentuk saluran penguangan ataupun kecepatan penguangan

Pada proses penguangan, hidrogen yang larut selama peleburan akan tertinggal setelah proses pembekuan karena kelarutannya pada fase cair lebih tinggi dari pada fase padat. Gas dikeluarkan dari larutan akan terperangkap pada struktur padat. Gas tersebut bernuklasi pada cairan selama pembekuan dan diantara fase padat-cair.

2.7.2 Perhitungan Porositas

Perhitungan prosentase porositas yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan densitas sampel atau *apparent density* dengan densitas teoritis atau *true density* (Taylor, 2000), yaitu:

$$\% P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}}\right) \times 100\% \quad (2-4)$$

dengan :

$\%P$ = Prosentase porositas

ρ_s = Densitas sampel atau *Apparent Density* (gr/cm³).

ρ_{th} = Densitas teoritis atau *True Density* (gr/cm³).

2.7.3 Densitas

Densitas adalah sebuah ukuran massa per volume. Rata-rata kepadatan dari suatu obyek yang sama massa totalnya dibagi oleh volume totalnya.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-5)$$

dengan:

ρ = kepadatan sebuah benda (gr/cm³)

m = massa total benda (gr)

V = volum benda (cm³)

2.7.3.1 Macam Densitas

Dalam perhitungan porositas menggunakan perbandingan antara dua macam densitas, yaitu *Thru Density* dan *Apparent Density*.

- *True density*

Adalah kepadatan pada benda tanpa adanya porositas didalamnya. Dapat didefinisikan sebagai perbandingan massa terhadap volume sebenarnya (gr/cm³).Persamaanya menurut ASTM E252-84 yaitu:

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left(\frac{\%Al}{\rho_{Al}} \right) + \left(\frac{\%Cu}{\rho_{Cu}} \right) + \left(\frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} \right) + etc. \right\}} \quad (2-6)$$

dengan :

ρ_{th} = Densitas teoritis atau *True Density* (gr/cm³).

$\rho_{Al}, \rho_{Cu}, \rho_{Fe}, etc$ = Densitas unsur (gr/cm³)

%Al, %Cu, etc = Prosentase berat unsur (%).

- *Apparent density*

Adalah berat setiap unit volume material termasuk cacat yang terdapat pada material yang akan diuji (gr/cm³). Menurut ASTM B311-93 rumusnya adalah :

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \quad (2-7)$$

dengan :

ρ_s = Densitas sampel atau *Apparent Density* (gr/cm³).

ρ_w = Densitas air (gr/cm³).

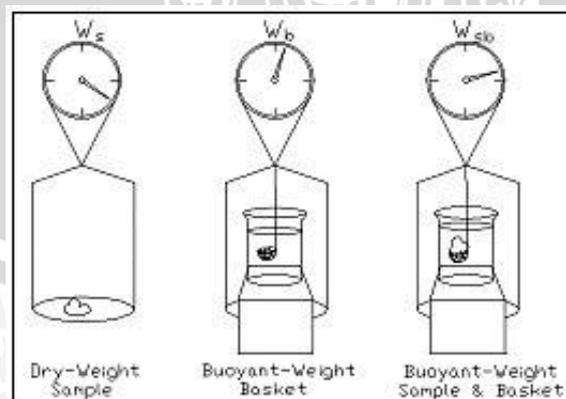
W_s = Berat sampel di luar air (gr)

W_b = Berat keranjang di dalam air (gr)

W_{sb} = Berat sampel dan keranjang di dalam air (gr)

2.7.4 Pengukuran Densitas Dengan Menggunakan Piknometri

Piknometri adalah sebuah proses membandingkan densitas relatif dari sebuah padatan dan sebuah cairan. Jika densitas diketahui, densitas dari sebuah padatan dapat dihitung. Dengan proses seperti pada gambar berikut ini



Gambar 2.12 Skema Piknometri

Sumber : Taylor, 2000

Dengan tiga pengukuran berat, yaitu W_s = pengukuran berat keranjang (*dry weight*) W_{sb} = pengukuran berat apung dan keranjang dan sampel, dan W_b = pengukuran berat apung keranjang. Pengukuran berat dengan menggantungkan spesimen dengan keranjang kawat pada sebuah bejana berisi air yang disangga oleh sebuah penyeimbang dengan menggunakan kawat penggantung.

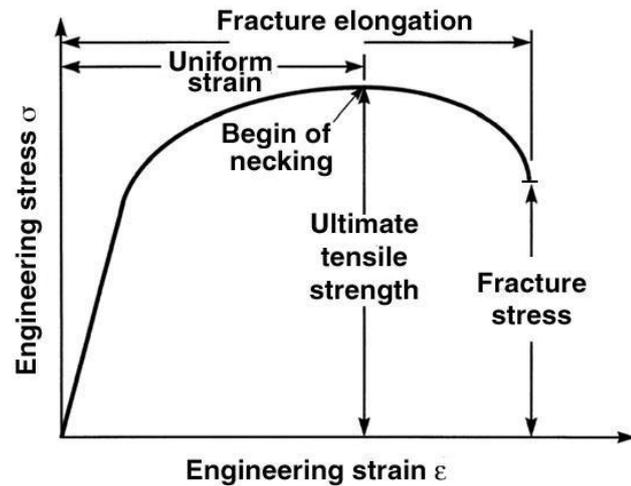
2.8 Kekuatan Tarik

2.8.1 Definisi Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik merupakan kemampuan bahan untuk menerima beban tarik tanpa mengalami kerusakan dan dinyatakan sebagai tegangan maksimum sebelum putus. Tegangan maksimum sebelum putus dianggap sebagai data terpenting yang diperoleh dari hasil pengujian tarik, karena biasanya perhitungan – perhitungan kekuatan dihitung atas dasar kekuatan tarik ini. Tegangan tarik didefinisikan sebagai distribusi gaya tarik persatuan luas penampang bahan.

2.8.2 Hubungan Tegangan dan Regangan

Hubungan tegangan dan regangan dapat diketahui dengan jelas pada diagram tegangan regangan yang didasarkan dari data yang diperoleh dalam pengujian tarik. Ini juga berlaku hukum hooke yang menyatakan tegangan sebanding dengan regangan, jika beban ditambah secara perlahan maka penambahan beban itu akan menambah regangan sampai pada batas elastis dimana beban yang ditambah tetap akan terjadi penambahan regangan. Pada pengujian tersebut benda uji diberi beban tarik secara aksial yang bertambah besar secara kontinyu dan dilakukan juga pengamatan pertambahan panjang. Dalam hal ini :



Gambar 2.13 Grafik hubungan tegangan – regangan aluminium
 Sumber : Aluminium Automotive Manual, 2002 : 3

$$\sigma_t = P/A \tag{2-8}$$

dengan:

σ_t = Tegangan tarik (N/mm²)

P = Beban tarik (N)

A = Luas penampang (mm²)

Regangan dirumuskan:

$$\epsilon = \Delta\ell / L_o \tag{2-9}$$

dengan :

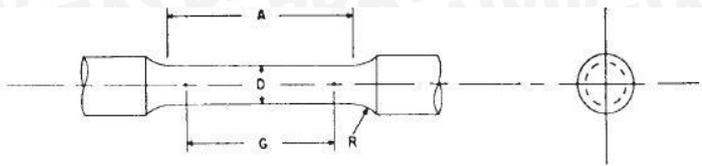
$\Delta\ell$ = Pertambahan Panjang (mm)

ϵ = Regangan (%)

L_o = Panjang awal (mm)

2.9 Bentuk dan Ukuran Benda Uji

Benda uji yang akan digunakan biasanya memiliki penampang segi empat atau lingkaran. Disetiap ujungnya dibuat tebal untuk penjepitan. Dan patahan yang terjadi tidak berpengaruh pada bagian ini sehingga di tengah dibuat sedikit menyempit dengan ukuran khusus. Untuk spesimen uji tarik sendiri telah memiliki beberapa standar, contohnya ASTM, DIN, dan JIS.



| | Dimensions, mm | | | | |
|---|-------------------|------------|---|------------|------------|
| | Standard Specimen | | Small-Size Specimens Proportional To Standard | | |
| | 12.5 | 9 | 6 | 4 | 2.5 |
| G—Gage length | 62.5 ± 0.1 | 45.0 ± 0.1 | 30.0 ± 0.1 | 20.0 ± 0.1 | 12.5 ± 0.1 |
| D—Diameter (Note 1) | 12.5 ± 0.2 | 9.0 ± 0.1 | 6.0 ± 0.1 | 4.0 ± 0.1 | 2.5 ± 0.1 |
| R—Radius of fillet, min | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 |
| A—Length of reduced section, min (Note 2) | 75 | 54 | 36 | 24 | 20 |

Gambar 2.14 Bentuk dan Ukuran Standar Spesimen Uji Tarik.

Sumber: ASTM E0008M-04, 2004

2.10 Hipotesa

Dengan adanya penambahan serbuk *E-Glass* dengan memvariasikan komposisi yang ditambahkan, serbuk *E-Glass* dapat terdistribusi pada celah antar butir atom aluminium sehingga antar butir semakin rapat sehingga menurunkan prosentase porositas, dengan ditambahkan serbuk *E-Glass* sebagai penguat dapat meningkatkan kekuatannya karena aluminium menjadi matriks yang mengikat *E-Glass* sebagai penguatnya ditambah dengan pemberian tekanan pada metode pengecoran *squeeze casting* dan *aging treatment* untuk menghomogenkan butir atom aluminium dimaksudkan untuk lebih menurunkan nilai porositasnya sehingga meningkatkan kekuatan tarik.