

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

**Kumar dan Awamy (2011)** melakukan penelitian tentang *metal matrix composites* dengan bahan A6061, *flyash*, dan *E-Glass*. Variasi yang digunakan adalah 2%, 4%, 6%, 8% *flyash* dan 2%, 6% *E-Glass* dengan ukuran *E-Glass* 2-3 mm. Proses pencampuran menggunakan metode *stir casting* dengan putaran 550 rpm. Dari hasil penelitian didapatkan kenaikan kekuatan tarik hingga 60-70% sedangkan pada foto mikrostruktur dapat dilihat bahwa distribusi dari *E-Glass* cukup merata pada *matrix* A6061.

**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 didapat nilai kekuatan puntir tertinggi sebesar 179,35 MPa dan nilai porositas terendah 0,45% yaitu pada tekanan 50 MPa. Dalam penelitian ini belum dilakukan penambahan serbuk *E-glass* dan *aging treatment*.

**Prasetyo (2013)** melakukan penelitian tentang pengaruh *aging treatment* terhadap porositas dan kekuatan puntir Al-Mg-Si dengan *squeeze casting*. Dari hasil penelitian didapat nilai kekuatan puntir tertinggi sebesar 190,92 MPa dan porositas terendah sebesar 0,83% yaitu pada suhu *aging* 200°C. Dalam penelitian ini belum dilakukan penambahan serbuk *E-glass*.

**Wiyono (2013)** melakukan penelitian tentang pengaruh *aging treatment* terhadap cacat permukaan dan distribusi kekerasan dengan *squeeze casting*. Dengan material yang digunakan Al-Mg-Si. Dari hasil penelitian didapat nilai kekerasan tertinggi sebesar 104,5 VHN dan jumlah cacat *pin holes* terendah 5. Dalam penelitian ini belum dilakukan penambahan serbuk *E-glass* dan pengujian puntir.

#### 2.2 Squeeze Casting

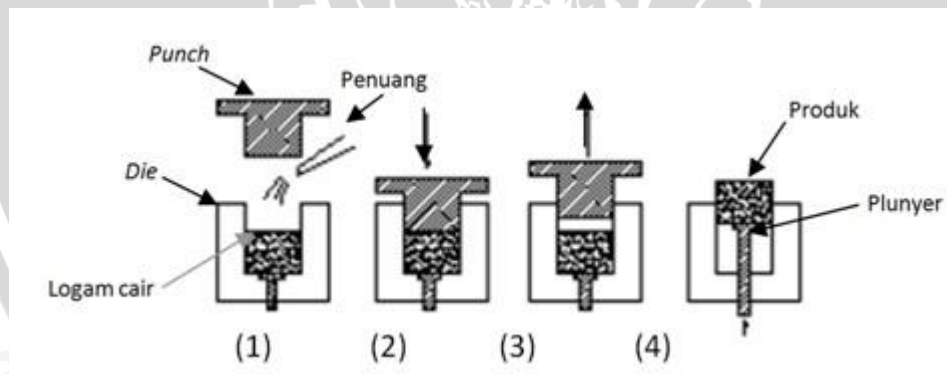
Pengecoran *Squeeze casting* diperkenalkan di Amerika Serikat pada tahun 1960. *Squeeze casting* sering juga disebut dengan *liquid metal forging* atau penempaan logam cair. *Squeeze casting* merupakan suatu istilah yang dipakai untuk menggambarkan suatu

proses dimana logam cair dibekukan di dalam cetakan dengan diberi tekanan dari luar yang biasanya berasal dari tenaga hidrolik. Terjadinya kontak antara logam cair dengan permukaan cetakan pada saat penekanan menyebabkan terjadinya perpindahan panas yang cukup cepat. Ini akan menghasilkan struktur mikro yang lebih halus dengan sifat mekanik yang mendekati produk tempa. Sebelum melakukan proses squeeze casting ada beberapa hal yang harus diperhatikan antara lain besar tekanan, lama penekanan, temperatur cetakan, temperatur penekan, dan pelumas yang digunakan. Besar tekanan akan mempengaruhi porositas yang terjadi. Semakin besar tekanan dapat menurunkan porositas yang terjadi.

Menurut Tjitro dan Firdaus (2000) *squeeze casting* diklasifikasikan menjadi 2 jenis berdasarkan mekanisme penuangan ke dalam cetakan yaitu *direct squeeze casting* dan *indirect squeeze casting*.

### 2.2.1 Direct Squeeze Casting

DSC merupakan proses pengecoran dimana logam cair dibekukan di dalam cetakan melalui pemberian tekanan secara langsung yang diharapkan mampu mencegah atau mengurangi terjadinya porositas gas maupun penyusutan. Dari gambar 2.1 dapat kita lihat prosesnya.



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

DSC memiliki beberapa keuntungan, antara lain :

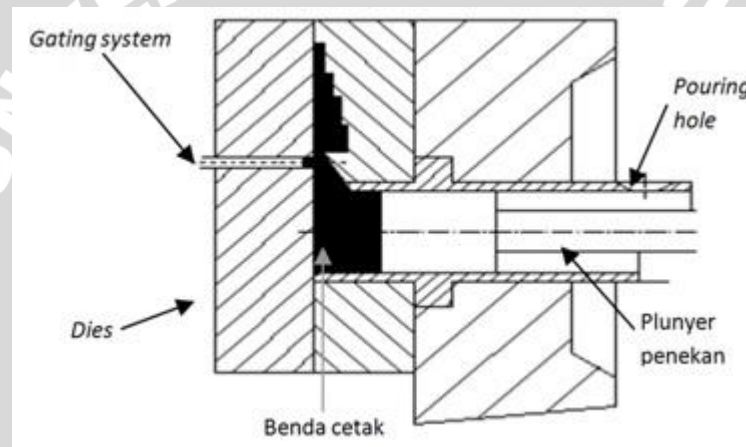
- Mampu menghasilkan produk cor dengan porositas yang rendah.
- Tidak memerlukan sistem saluran sehingga penggunaan material lebih efisien.



- Mikrostruktur coran dapat dimanipulasi dengan mudah melalui suatu kontrol proses yang baik seperti mengatur besarnya tekanan.

### 2.2.2 *Indirect Squeeze Casting*

ISC dipakai untuk menggambarkan injeksi logam ke dalam rongga cetakan dengan bantuan dari piston dimana mekanisme penekan ini dipertahankan sampai logam cair membeku. Keuntungan utama ISC adalah kemampuannya untuk menghasilkan produk cor dengan bentuk yang lebih kompleks dengan memberikan beberapa sistem pengeluaran inti (*core pull*). Proses ISC dapat dilihat pada gambar 2.2.



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

Dalam proses ISC terdapat kelemahan jika dibandingkan dengan DSC yaitu penggunaan bahan baku yang tidak efisien karena adanya kebutuhan pembuatan *runner* dan *gating system*. Efisiensi pemakaian bahan hanya 28%. Sebagai contoh untuk menghasilkan piston dengan berat 0,62 kg diperlukan bahan cor seberat 2,2 kg.

### 2.2.3 *Aplikasi Squeeze Casting*

Proses pengecoran squeeze telah dipergunakan untuk sejumlah aplikasi menggunakan berbagai macam jenis logam dan paduan. Beberapa *part* ditunjukkan dalam Gambar 2.3 meliputi *aluminium dome*, *ductile iron mortar shell*, dan *steel bevel gear*. Part-part lain yang telah dan sedang dicor dengan metode *squeeze* meliputi *stainless steel*

*blades, superalloy disks, aluminum automotive wheels* dan *piston*, dan *gear blanks* yang terbuat dari *brass* dan *bronze*.



Gambar 2.3 Berbagai part yang dibuat menggunakan pengecoran *squeeze*.  
Sumber : Adam, 1998: 718

### 2.3 Fluiditas

Fluiditas didefinisikan sebagai kemampuan logam cair untuk mengisi ruang-ruang dalam rongga cetak. Selain itu fluiditas juga didefinisikan sebagai sifat mampu alir yaitu kemampuan dari suatu zat dalam hal ini logam cair untuk mengalir dan mengisi cetakan sebelum membeku. Fluiditas diperoleh dari karakteristik rata-rata dari beberapa sifat-sifat fisik dari logam cair tersebut. Oleh karena itu fluiditas tidak dapat dilihat dari sifat-sifat fisik secara individu saja.

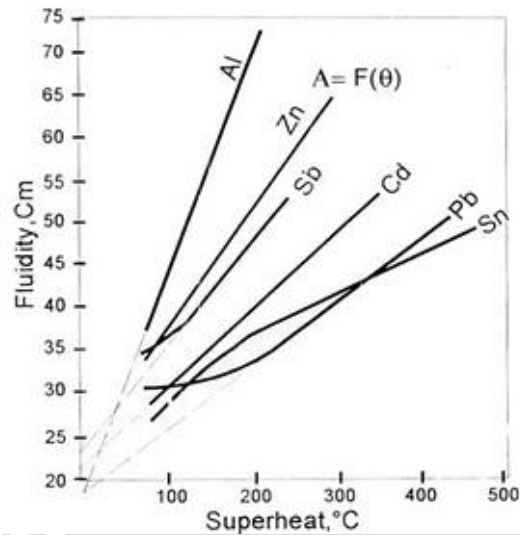
Faktor-faktor yang mempengaruhi fluiditas antara lain :

- Viskositas

Semakin tinggi viskositas maka sifat mampu alirnya menurun. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi viskositas maka logam cair tersebut akan semakin cair sehingga akan meningkatkan sifat mampu alirnya.

- Temperatur penuangan

Tingginya temperatur penuangan (ditinjau dari titik cair) akan meningkatkan sifat mampu alir dari logam cair tersebut sehingga logam cair dapat mencapai seluruh rongga cetakan tanpa adanya pembekuan dini. Dari gambar 2.4 dapat dilihat hubungan antara *superheat* terhadap fluiditas dari beberapa logam diantaranya aluminium.



Gambar 2.4 Grafik Hubungan antara *Superheat* terhadap Fluiditas.  
Sumber : Vai (2009)

- Komposisi logam

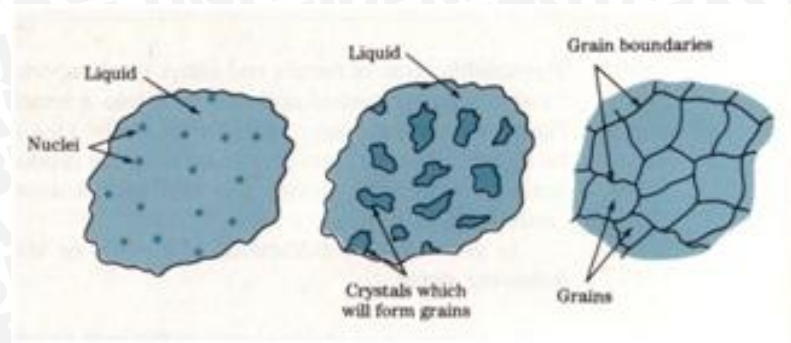
Komposisi dari logam juga akan mempengaruhi sifat mampu alir. Hal ini berkaitan dengan mekanisme pembekuan atau solidifikasi dari logam cair yang akan terjadi nanti. Solidifikasi dari logam murni berbeda dengan logam paduan. Pada logam murni solidifikasi terjadi pada temperatur konstan sedangkan pada logam paduan solidifikasi terjadi pada range temperatur tertentu. 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 Pembekuan Logam

Pembekuan logam atau solidifikasi merupakan suatu proses dimana logam dicairkan kemudian dituang ke dalam cetakan dan dibiarkan hingga membeku. Pembekuan logam terjadi saat logam cair bersentuhan dengan permukaan atau dinding cetakan. Ketika logam cair bersentuhan dengan dinding cetakan maka terjadi gradien temperatur yang tinggi. Hal ini menyebabkan temperatur bagian luar logam cair lebih rendah dari pada bagian dalam. Pada saat itu inti atom mulai terbentuk dari bagian yang dekat dengan cetakan kemudian 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 hingga akhirnya menjadi padat semua.

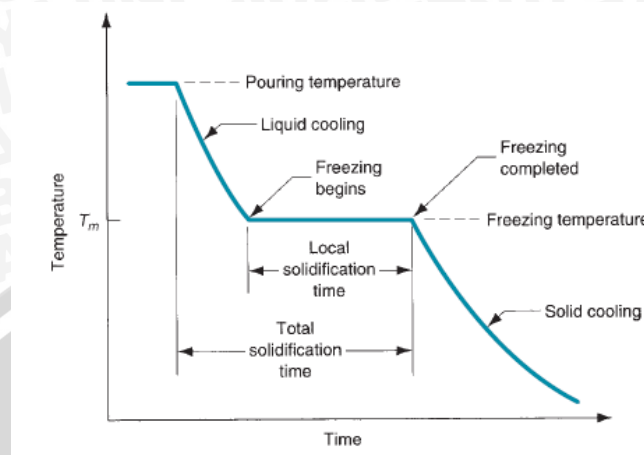


Gambar 2.5 Ilustrasi skematis dari pembekuan logam.  
Sumber: Smith, 1993 : 122

Ketika membeku seluruh logam akan membentuk kristal. Dalam suatu ruangan terdapat susunan atom yang teratur dan berulang-ulang. Pada saat kondisi cair atom logam berada pada posisi tidak teratur. Atom mulai menyusun diri dalam struktur ruang ketika mulai membeku. Atom yang mula-mula menyusun diri adalah atom yang mengalami kestabilan pertama kalinya. Susunan awal atom dikenal dengan sebutan inti atom. Setelah terbentuk inti atom, atom-atom lainnya yang terdapat disekitarnya akan mengikuti inti tersebut, sehingga inti atom akan terus berkembang dan memiliki cabang-cabang yang dikenal dengan sebutan *dendrite*.

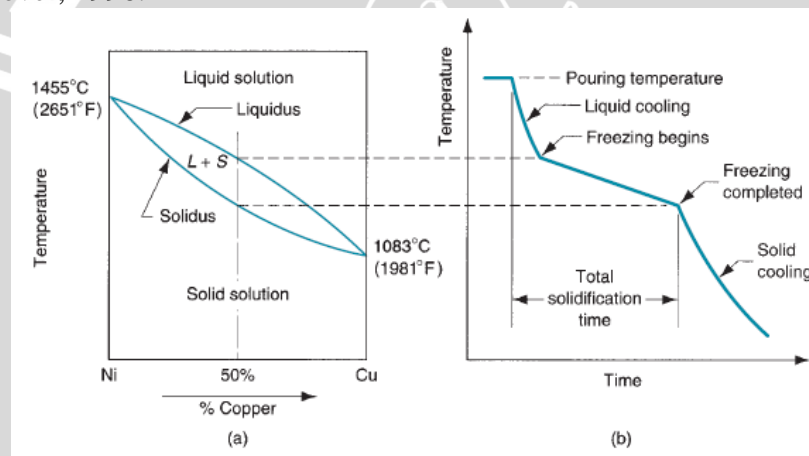
Pada proses pengintian akan timbul banyak inti atom sehingga banyak pula muncul *dendrite*, masing-masing mempunyai arah atau orientasi yang berbeda. Dendrit akan berkembang lebih besar sehingga nantinya akan menyinggung *dendrite-dendrite* lain yang berkembang. Permukaan yang bersinggungan ini dikenal 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 akan mempengaruhi sifat

mekanik dari material. Grafik hubungan waktu dan temperatur pada solidifikasi logam murni dan paduan dapat dilihat pada gambar 2.6 dan 2.7



Gambar 2.6 Grafik Hubungan Waktu dan Temperatur Solidifikasi Logam Murni

Sumber : Groover, 1996:214



Gambar 2.7 Grafik Hubungan Waktu dan Temperatur Solidifikasi Logam Paduan

Sumber : Groover, 1996:215

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

- Daerah pembekuan cepat (*chill zone*)

Ketika penuangan logam cair kedalam cetakan, logam cair mengalami pembekuan yang berbeda-beda. Logam cair yang berkontak langsung dengan dinding cetakan akan mengalami pendinginan yang lebih cepat dibawah temperatur likuidusnya. Daerah ini berada paling luar yang dipengaruhi oleh *heat removal*. Dalam hal ini struktur terbentuk saat kontak pertama antara dinding cetakan dengan logam cair saat dituang ke dalam cetakan. Dibawah 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*.

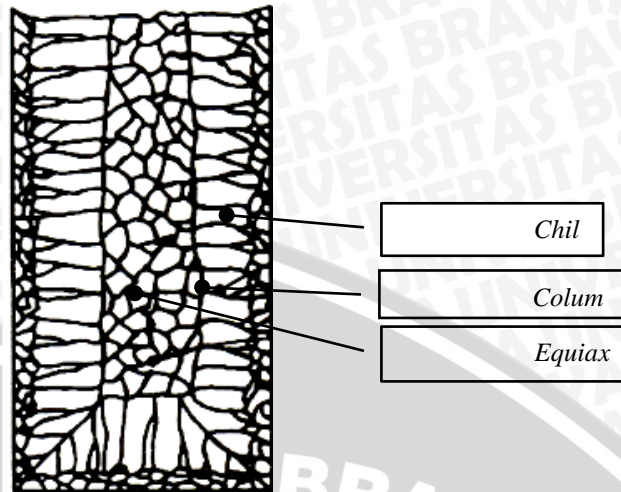
- *Columnar zone*

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 dendrit*). 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 2.6.





Gambar 2.8: Struktur *Chill*, *Columnar*, dan *Equiaxed Zone*.  
Sumber: Kalpakjian. 1990 : 279

## 2.5 Aluminium

### 2.5.1 Pengolahan Aluminium

Aluminium adalah logam yang ringan setelah magnesium dan berilium. Aluminium berasal dari biji aluminium yang disebut bauksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Aluminium murni bisa didapatkan melalui 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. Keutamaan dari aluminium dalam bidang teknik adalah mudah untuk pengerjaan lanjutan, beratnya yang ringan, tahan korosi yang baik serta konduktifitas listrik dan panas baik. (De Garmo.1997 : 157). Untuk memperbaiki sifat mekanik aluminium dapat dilakukan melalui penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya.

### 2.5.2 Pengaruh Unsur-unsur Paduan

Unsur-unsur pemuat aluminium diantaranya (Surdia dan Kenji. 1996):

#### ➤ Silikon (Si)

Silikon merupakan unsur yang memiliki lambang Si dan nomor atom 14 dalam tabel periodik. Silikon merupakan unsur terbanyak kedua di bumi. Silikon dapat meningkatkan karakteristik pengecoran seperti meningkatkan fluiditas. Selain itu mampu mengurangi penyusutan coran hingga 1,5 kali aluminium murni, mengurangi

penyerapan gas. Penambahan ini dapat juga meningkatkan ketahanan korosi. Namun silikon mempunyai pengaruh buruk yaitu menurunkan sifat mampu mesinnya.

➤ Magnesium (Mg)

Magnesium adalah unsur yang memiliki simbol Mg dengan nomor atom 12. Paduan dari magnesium dan aluminium dikenal dengan sebutan "magnalium" atau "magnelium". Magnesium merupakan bahan yang tidak tertarik medan magnet maka dari itu disebut bahan *paramagnetic*. Penambahan unsur magnesium mempunyai kelebihan dapat meningkatkan daya tahan aluminium dan meningkatkan sifat mampu bentuk serta mampu mesin aluminium tanpa menurunkan keuletannya.

➤ Besi (Fe)

*Ferrous* adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Fe dan nomor atom 26. Fe merupakan logam transisi dan bersifat *ferromagnetic*. Mampu untuk mengurangi penyusutan, tetapi apabila kandungan Fe terlalu besar akan menyebabkan struktur butiran yang kasar. Hal ini bisa diperbaiki dengan menambahkan sejumlah Mn dan C dalam prosentase kecil.

➤ Mangan (Mn)

Mangan dalam tabel periodik memiliki lambang Mn dan nomor atom 25. Penambahan Mn akan meningkatkan ketahanan karat aluminium dan apabila dipadu dengan Mg akan memperbaiki kekuatannya.

➤ Seng (Zn)

Seng (atau *zinc*) adalah unsur kimia dengan simbol kimia Zn, nomor atom 30, dan massa atom relatif 65,39. Umumnya ditambahkan dengan tembaga dalam prosentase yang kecil. Dengan penambahan ini akan meningkatkan sifat-sifat mekanis tanpa perlakuan panas serta memperbaiki sifat mampu mesin.

➤ Tembaga (Cu)

Tembaga adalah unsur yang memiliki lambang Cu dan nomor atom 29 dalam tabel periodik. Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik serta memiliki korosi yang lambat. Tembaga juga bersifat *paramagnetic* seperti magnesium. Penambahan Cu akan memperbaiki sifat mampu mesin aluminium paduan. Selain itu dengan atau tanpa paduan lainnya akan meningkatkan kekuatan, dan kekerasan.



### 2.5.3 Aluminium Paduan

Beberapa paduan aluminium dijelaskan sebagai berikut :

1. Paduan Al-Si

Paduan Al-Si merupakan paduan aluminium seri 4000. Paduan ini merupakan paduan yang baik fluiditasnya, mempunyai permukaan coran yang baik, tahan korosi, penghantar panas yang baik, dan ringan.

2. Paduan Al-Zn

Paduan ini Merupakan paduan banyak mengandung aluminium dan tahan terhadap korosi. Diaplikasikan untuk konstruksi tempat duduk pesawat terbang, perkantoran dan konstruksi lainnya yang membutuhkan perbandingan antara ketahanan korosi dan berat yang tidak terlalu besar. Titik lebur paduan ini adalah 476-657 °C

3. Paduan Al-Mn

Paduan Al-Mn merupakan paduan aluminium seri 3000. Mn adalah unsur paduan yang meperkuat aluminium tanpa mengurangi ketahanan korosinya dan digunakan untuk membuat paduan yang tahan korosi. Jumlah paduan yang terkandung adalah 25,3% (Surdia dan Kenji, 1996 :136).

4. Paduan Al-Cu

Paduan ini merupakan paduan aluminium seri 2000. Paduan Al-Cu biasa disebut dengan duraluminium. Paduan ini merupakan paduan yang dapat diperlakukan panas. Dengan dikeraskan endapannya ataupun penyepuhan sifat mekanis, paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak akan tetapi daya tahan korosinya lebih rendah dibanding jenis paduan lainnya.

5. Paduan Al-Mg

Paduan Al-Mg adalah paduan aluminium seri 5000. Merupakan paduan yang tahan korosi. Paduan ini disebut *hidronalium*. Cu dan Fe tidak dapat dicampur pada paduan ini karena adalah unsur pengotor bagi Al-Mg.

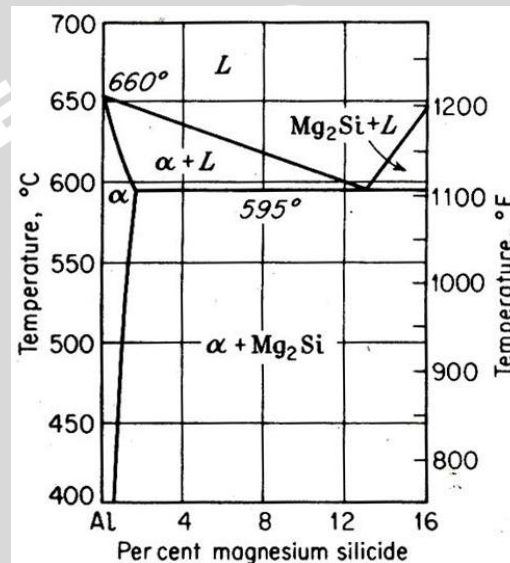
6. Paduan Al-Mg-Si

Paduan aluminium-magnesium-silikon merupakan paduan aluminium seri 6000. Paduan Al-Mg-Si termasuk dalam jenis paduan yang dapat diperlakukan panas. Keuntungan dalam paduan ini adalah mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan tahan korosi yang baik. Paduan dari magnesium dan silikon dengan aluminium akan



membentuk magnesium silikat ( $Mg_2Si$ ), kebanyakan aluminium paduan mengandung Si, sehingga penambahan magnesium diperlukan untuk memperoleh efek pengerasan dari  $Mg_2Si$ . Paduan ini akan menjadi getas, sehingga untuk mengurangi hal tersebut, penambahan dibatasi antara 0,03% - 0,1% (Heine, 1995:320).

Pada logam 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  $Mg_2Si$ .



Gambar 2.9 Diagram fase magnesium-silikon pada aluminium paduan.  
Sumber: Heine, 1995:302

Pada diagram di atas dapat dilihat bahwa semakin rendah temperatur maka kelarutan  $Mg_2Si$  terhadap aluminium akan semakin menurun. Sementara itu kelarutan  $Mg_2Si$  dalam aluminium/fasa  $\alpha$  terjadi sampai 16% pada 595°C. Untuk mencairkan Al-Mg-Si seluruhnya tergantung dari komposisi Al dan  $Mg_2Si$ . Titik cair akan semakin menurun sampai dengan komposisi 87% Al dan 13%  $Mg_2Si$  setelah itu akan naik lagi. Titik cair terendah untuk mencairkan Al-Mg-Si adalah pada temperatur 595°C dengan komposisi 87% Al dan 13%  $Mg_2Si$ . Sifat-sifat yang dimiliki oleh aluminium paduan Al-Mg-Si dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat Aluminium Paduan Al-Mg-Si

Sifat	Nilai
<b>Density</b>	2.71 g/cm <sup>3</sup>
<b>Melting Point</b>	660°C
<b>Modulus of Elasticity</b>	67 Gpa
<b>Electrical Resistivity</b>	0.035x10 <sup>-6</sup> Ω.m
<b>Thermal Conductivity</b>	180 W/m.K
<b>Coefficient of Friction</b>	0.42

Sumber: aalco (2007)

## 2.6 Komposit

Komposit adalah suatu sistem material yang tersusun atas campuran atau kombinasi dari dua atau lebih unsur pokok mikro atau makro yang berbeda dalam bentuk dan komposisi kimia serta pada dasarnya tidak saling larut satu sama lain. Aspek penting dari komposit adalah dua atau lebih material yang berbeda digabungkan bersama dalam bentuk komposit yang memiliki sifat-sifat yang paling baik atau penting pada sifat-sifat dari komponen secara individu dari sistem mesin atau struktur. Dalam dunia rekayasa beberapa komposit yang penting dan banyak digunakan adalah plastik diperkuat dengan serat (*fiber-reinforced plastics*), coran semen (*concrete*), aspal (*asphalt*), kayu (*wood*), dan beberapa jenis material komposit seperti komposit bermatrix logam (*metal matrix composite*). Komposit terdiri atas matriks sebagai pengikat seperti aluminium dan plastik serta filler sebagai penguat seperti serat gelas dan serat karbon.

Untuk menghitung massa dari komposit dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut :

$$m_c = m_m + m_r \quad (2-1)$$

Dimana  $m_c$  adalah massa komposit,  $m_m$  adalah massa matriks, dan  $m_r$  adalah massa penguat. Demikian pula volume komposit dapat dihitung sebagai berikut :

$$V_c = V_m + V_r \quad (2-2)$$

Dari rumus (2-1) dan (2-2) maka didapat rumus untuk menghitung massa jenis komposit, yaitu sebagai berikut :

$$\rho_c = \frac{m_m + m_r}{V_m + V_r} = \frac{m_c}{V_c} \quad (2-3)$$

### 2.6.1 Kegunaan Komposit

Kegunaan bahan komposit sangat luas yaitu :

1. Angkasa luar seperti komponen pesawat terbang dan komponen helikopter.
2. *Automobile* seperti komponen mesin, badan kereta.
3. Olah raga dan rekreasi seperti sepeda, *stick golf*, raket tenis, sepatu olah raga.
4. Industri pertahanan seperti komponen jet tempur, peluru, komponen kapal selam.
5. Industri pembinaan seperti jembatan, terowongan, rumah.
6. Kesehatan seperti kaki palsu, sambungan sendi pada pinggang.
7. Kelautan seperti kapal layar.

### 2.6.2 Serat Gelas

Serat gelas merupakan salah satu penguat yang biasa digunakan dalam material komposit. Ada beberapa macam jenis serat gelas, diantaranya *E-Glass* dan *S-Glass*. Setiap serat gelas mempunyai karakteristik yang berbeda antara satu dengan yang lain. *S-Glass* mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *E-Glass*, akan tetapi memiliki harga yang lebih mahal. Pada penggunaannya, serat gelas disesuaikan dengan sifat atau karakteristik yang dimilikinya. Serat gelas terbuat dari silica, alumina, dan lain lain. Keunggulan serat glass terletak pada ratio (perbandingan) harga dan performance yaitu biaya produksi rendah, proses produksi sangat sederhana, serat gelas banyak digunakan di industri-industri otomotif seperti pada panel-panel body kendaraan. Bahkan sepeda motor sekarang seluruh body terbuat dari komposit yang berpenguat serat gelas.

Pada penelitian ini digunakan *E-Glass* sebagai bahan penguat. Untuk lebih jelasnya komposisi dan beberapa sifat serat gelas dapat dilihat pada tabel 2.2.



Tabel 2.2 Komposisi dari beberapa jenis serat gelas

	E-glass (%)	S-glass (%)	AR-glass (%)
SiO <sub>2</sub>	54	65	64
TiO <sub>2</sub>			3
ZrO <sub>2</sub>			13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14	25	1
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9		
MgO	5	10	
CaO	18		5
Na <sub>2</sub> O			14
Modulus (GPa)	70	80	75
Strength (Mpa)	2200	2600	1700
Density (Mg/m <sup>3</sup> )	2.54	2.49	2.70

Sumber : F. L. Matthews and R.D. Rawlings, 1994: 40

Penelitian mengenai komposit yang mengabungkan antara matrik dan penguat yang berupa serat harus memperhatikan beberapa faktor. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi performa *metal matrix composite* antara lain:

a. Faktor Serat

Serat merupakan *reinforcement* atau penguat yaitu bahan pengisi matrik yang digunakan untuk dapat memperbaiki sifat dan struktur matrik yang tidak dimilikinya. Serat digunakan untuk meneruskan gaya yang terjadi pada matriks sehingga dapat meningkatkan kekuatan dari material komposit..

b. Letak Serat

Kekuatan mekanik dari komposit dapat dipengaruhi oleh letak dari serat dan arahnya. Menurut tata letak dan arah serat diklasifikasikan menjadi 3 bagian yaitu: yang pertama one dimensional reinforcement, mempunyai kekuatan dan modulus maksimum pada arah axis serat. Yang kedua adalah two dimensional reinforcement (planar), mempunyai kekuatan pada dua arah atau masing-masing arah orientasi serat. Yang ketiga *three dimensional reinforcement*, mempunyai sifat isotropic kekuatannya lebih

tinggi dibanding dengan dua tipe sebelumnya. Bila arah tiap serat menyebar maka kekuatannya juga akan menyebar ke segala arah maka kekuatan akan meningkat.

c. Panjang Serat

Panjang serat berpengaruh dalam pembuatan komposit. Serat pendek lebih mudah peletakannya dibanding serat panjang, akan tetapi serat panjang lebih efisien dalam peletakannya dari pada serat pendek... Pada umumnya, serat panjang lebih mudah penanganannya jika dibandingkan dengan serat pendek.

d. Bentuk Serat

Bentuk Serat yang digunakan untuk pembuatan komposit tidak begitu mempengaruhi, yang mempengaruhi adalah diameter seratnya. Pada umumnya, semakin kecil diameter serat akan menghasilkan kekuatan komposit yang lebih tinggi. Selain bentuknya kandungan seratnya juga mempengaruhi

e. Faktor Matrik

Ikatan permukaan sangat penting dalam pembuatan komposit. Ikatan ini terjadi antara serat dengan matrik. Kecocokan secara kimia antara matrik dengan serat dibutuhkan agar reaksi yang tidak diinginkan tidak terjadi pada permukaan kontak antara keduanya. Untuk memilih matrik harus diperhatikan sifat-sifatnya, antara lain seperti tahan terhadap panas, tahan cuaca yang buruk dan tahan terhadap guncangan yang biasanya menjadi pertimbangan dalam pemilihan material matrik. Juga kemampuan bertambahnya elongasi saat patah yang lebih besar dibandingkan dengan penguat. Selain itu juga perlu diperhatikan berat jenis, viskositas, kemampuan membasahi penguat, tekanan dan penyusutan.

## 2.7 Aging Treatment

Setelah dilakukan *solution tretment* dan *quenching* maka pengerasan material dapat dicapai dengan temperatur ruangan (*natural aging*) atau pun percepatan perlakuan panas (*precipitation aging*). Dalam beberapa paduan, percepatan perlakuan dapat berlangsung dalam temperatur ruang selama beberapa hari untuk menghasilkan produk yang stabil dengan sifat yang baik untuk berbagai macam aplikasi. Pada paduan biasanya diberi percepatan perlakuan untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada produk tempa

maupun coran. Pada beberapa paduan dengan reaksi yang lama pada temperatur ruang, selalu dilakukan perlakuan panas sebelum produk digunakan. (Brook dkk. 1991: 1915)

### 2.7.1 *Natural Aging*

Natural aging dapat 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)

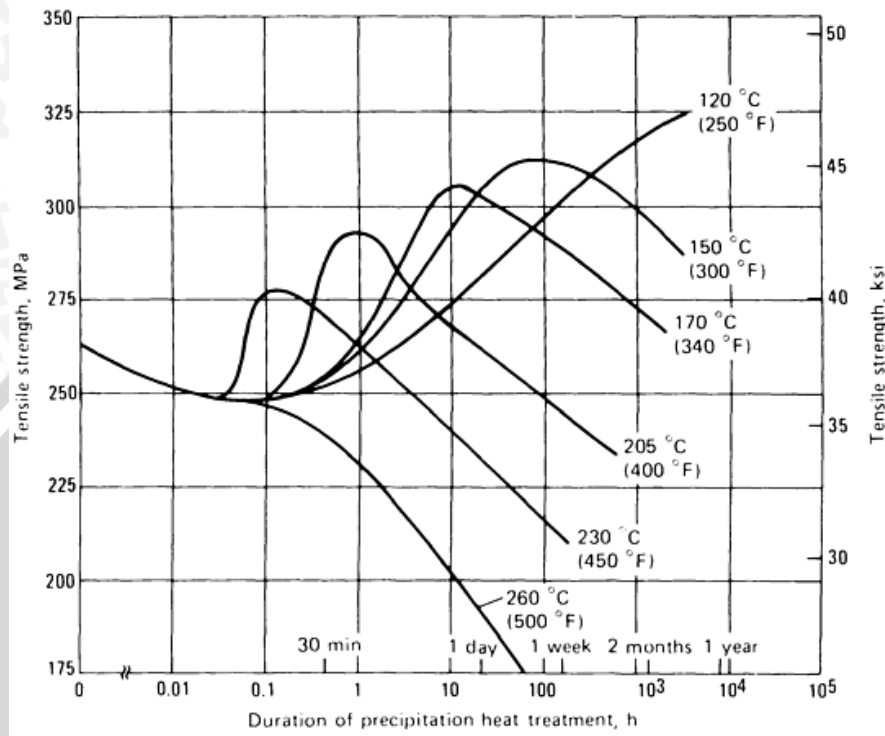
### 2.7.2 *Precipitation Aging*

*Precipitation aging* umumnya dilakukan pada suhu rendah dan waktu yang lama. Suhu berkisar antara 115-190°C (240-375°F) dan variasi waktu dari 5–48 jam. Pemilihan siklus suhu dan waktu harus dipertimbangkan secara hati – hati. Semakin besar partikel maka dibutuhkan waktu yang lebih lama dan suhu yang lebih tinggi, namun partikel yang besar dibutuhkan jarak yang lebih besar antar partikelnya. Tujuannya dari pemilihan suhu dan waktu ini adalah untuk memilih siklus yang menghasilkan kekuatan mekanik yang maksimal bukan hanya satu kekuatan mekanik saja seperti kekuatan tarik tetapi seluruh kekuatan mekanik.

Keuntungan dari *precipitation aging* adalah meningkatkan sifat mekaniknya, seperti kekerasan, tarik, dan puntir. Selain itu dapat juga mengurangi tegangan sisa. 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 *precipitation aging* mengurangi kemungkinan untuk mendapatkan sifat yang diinginkan. Dari gambar 2.10 adalah grafik hubungan antara lama waktu *precipitation aging* dengan kekuatan tarik, kekuatan luluh

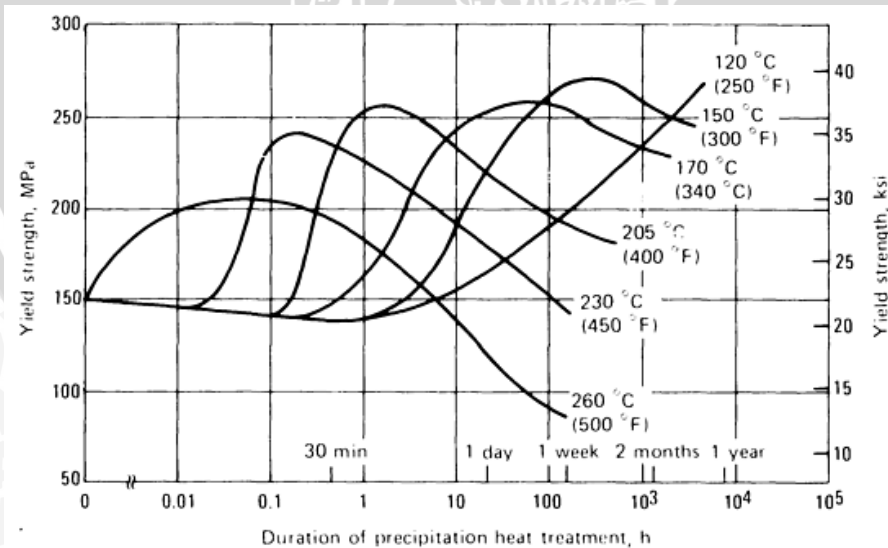


(Gambar 2.11) dan perpanjangan (Gambar 2.12) paduan A6061 dengan suhu yang berbeda pula. (Brook dkk. 1991: 1918)



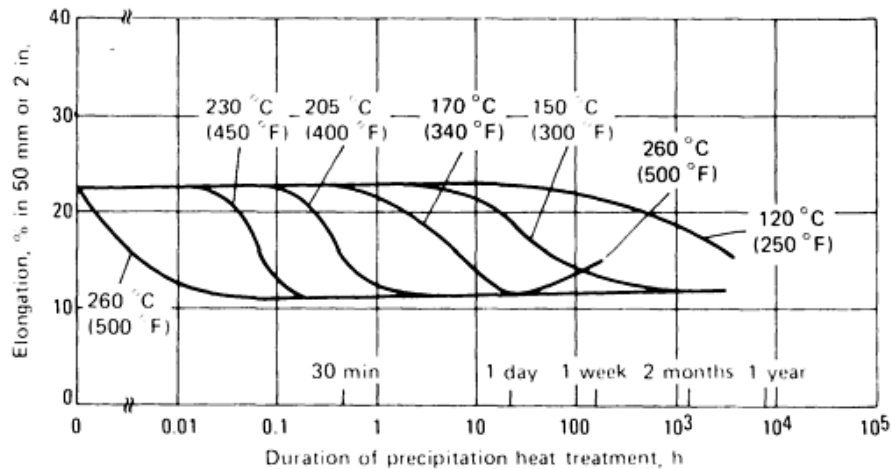
Gambar 2.10 Grafik hubungan lama waktu *precipitation aging* dengan kekuatan tarik pada paduan A6061.

Sumber: Brook dkk. 1991: 1920



Gambar 2.11 Grafik hubungan lama waktu *precipitation aging* dengan kekuatan luluh pada paduan A6061.

Sumber: Brook dkk.1991: 1920



Gambar 2.12 Grafik hubungan lama waktu *precipitation aging* dengan perpanjangan pada paduan A6061.

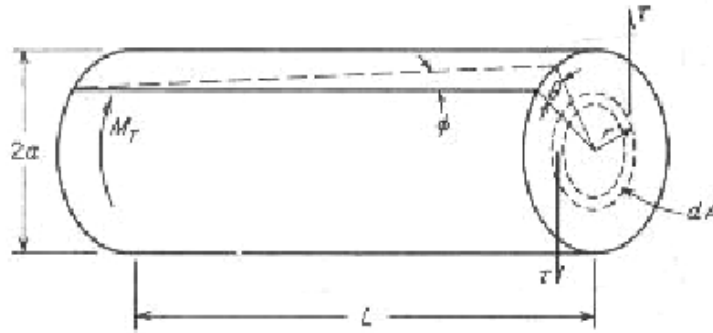
Sumber: Brook dkk. 1991: 1920

## 2.8 Pengujian Puntir

Pengujian puntir adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui salah satu sifat mekanik dari suatu material yaitu kekuatan puntir atau tegangan geser. Pengujian puntir merupakan jenis pengujian yang lebih spesifik dibandingkan pengujian-pengujian terdahulu (tarik, kekerasan dan impak). Selain tegangan geser, pengujian puntir mampu memberikan informasi lain seperti regangan geser dan juga modulus geser walaupun karakteristik mekanis material telah dapat diketahui dari hasil uji tariknya. Pengujian ini umumnya dilakukan pada material-material yang getas seperti baja perkakas dan pada komponen-komponen hasil fabrikasi seperti poros, as roda dan sebagainya (*full-scale test*).

Pada umumnya benda uji puntir memiliki penampang lintang silinder. Hal ini dikarenakan bentuk ini mewakili geometri paling sederhana dalam penghitungan tegangan yang terjadi pada material. Dalam batas elastis tegangan geser bervariasi secara linier dari nol di bagian pusat lingkaran hingga mencapai maksimum pada permukaan terluar benda uji. Pengujian dilakukan dengan mencengkam salah satu ujung benda uji silinder pada grip pemegang (*chuck*), sementara ujung lainnya diberikan pembebanan melalui kepala beban. Deformasi diukur dengan alat pengukur sudut puntir (*twisting*) yang dinamakan *troptometer*. Penentuan deformasi didasarkan atas perpindahan sudut (*angular displacement*) dari suatu titik yang berada dekat ujung benda uji terhadap posisi suatu titik

dengan elemen longitudinal yang sama di ujung lainnya. Gambar 2.13 di bawah ini memberikan ilustrasi deformasi pada benda uji puntir:



Gambar 2.13 Pengujian puntir pada benda uji silinder pejal.  
 Sumber: Dieter, 1988:339

Momen luar yang diberikan pada salah ujung benda uji mendapat tahanan dari tegangan geser material. Tegangan tersebut bernilai nol pada pusat benda uji dan meningkat secara linier dengan penambahan jarak terhadap titik pusat. Kondisi kesetimbangan antara momen pemuntir luar dan momen reaksi dari material menghasilkan:

$$M_T = \int_{r=0}^{r=a} \tau r dA = \frac{\tau}{r} \int_0^a r^2 dA \tag{2-4}$$

dengan  $r^2 dA$  adalah momen inersia polar dari benda uji dan dinotasikan dengan  $J$ .

Sehingga:

$$M_T = \frac{\tau J}{r} \tag{2-5}$$

Dan

$$\tau = \frac{M_T r}{J} \tag{2-6}$$

dimana  $\tau$  adalah tegangan geser ( $\text{N/mm}^2$ ),  $M_T$  momen puntir ( $\text{N-mm}$ ),  $r$  jarak radial dari pusat ( $\text{mm}$ ) dan  $J$  momen inersia polar yang tergantung geometris benda ( $\text{mm}^4$ ). Untuk benda uji silinder pejal dimana  $J = \pi D^4/32$  maka tegangan geser dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\tau_{\max} = \frac{M_T D / 2}{\pi D^4 / 32} = \frac{16 M_T}{\pi D^3} \tag{2-7}$$



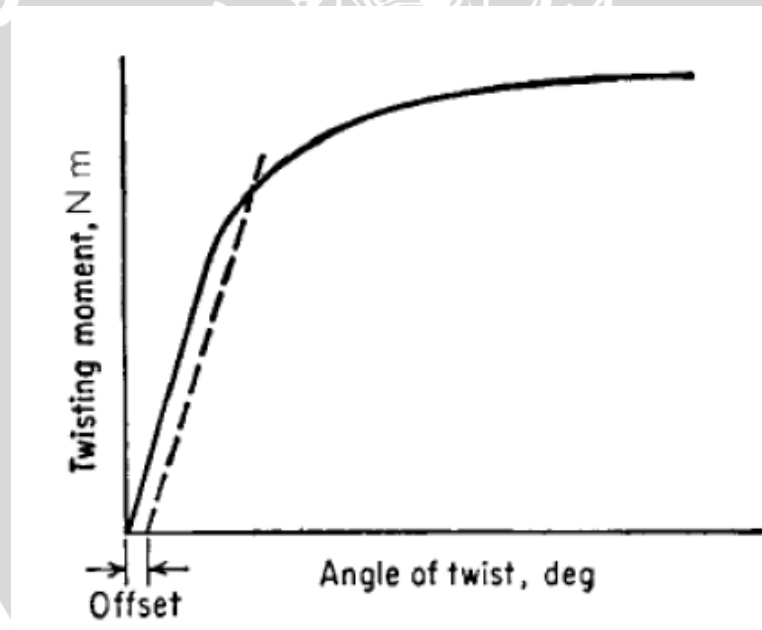
Sementara jika benda uji adalah silinder tubular, maka momen inersia polar adalah sebagai berikut,  $J = \pi/32(D_0^4 - D_i^4)$  dengan  $D_0$  diameter luar dan  $D_i$  diameter dalam, tegangan geser maksimum adalah:

$$\tau_{\max} = \frac{16M_T D_0}{\pi(D_0^4 - D_i^4)} \quad (2-8)$$

Dari data yang diperoleh saat pengujian juga dapat dihitung regangan geser  $\gamma$  ditentukan oleh sudut puntir  $\theta$  (dalam satuan radian):

$$\gamma = \tan \phi = \frac{r\theta}{L} \quad (2-9)$$

dimana  $L$  adalah panjang benda uji pada Gambar 2.13. Pada saat pengujian maka pengukuran yang dilakukan adalah momen puntir  $M_T$  dan sudut puntir  $\theta$  untuk memperoleh diagram seperti ditunjukkan Gambar 2.14 berikut:



Gambar 2.14 Grafik Pengaruh Sudut Puntir terhadap Momen Torsi  
Sumber: Dieter, 1998:340

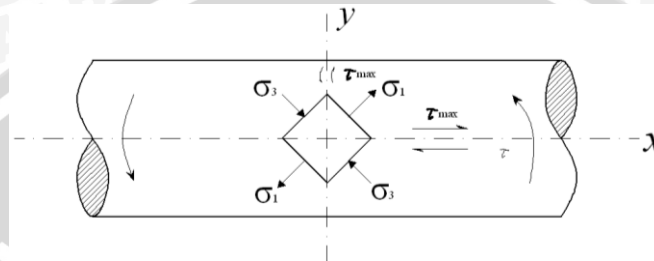
Pada daerah elastis, seperti halnya hukum *Hooke* pada uji tarik, maka tegangan geser dapat dianggap proporsional dengan regangan gesernya. Konstanta proporsionalitas dalam hal ini adalah modulus geser  $G$  yang dapat dihitung melalui persamaan:

$$\tau = G\gamma \quad (2-10)$$

Dari persamaan di atas, substitusikan persamaan (2-6) dan (2-9) ke persamaan (2-10) untuk menghasilkan persamaan modulus geser sebagai fungsi dari geometri benda uji :

$$G = \frac{M_T L}{J\theta} \quad (2-11)$$

Keadaan tegangan internal yang terjadi pada suatu titik pada permukaan benda uji puntir pejal ditunjukkan oleh Gambar 2.15 berikut:



Gambar 2.15 Keadaan tegangan pada benda uji silinder pejal yang mengalami momen puntir.

Sumber: Dieter, 1988:343

Dari diagram benda bebas di atas dapat dilihat bahwa tegangan geser maksimum terjadi pada dua bidang yang saling tegak lurus yaitu tegak lurus terhadap sumbu longitudinal  $yy$  dan sejajar dengan sumbu longitudinal  $xx$ . Sudut  $45^\circ$  dihasilkan dari tegangan utama  $\sigma_1$  dan  $\sigma_3$  terhadap sumbu longitudinal dan setara nilainya dengan tegangan-tegangan geser.  $\sigma_3$  adalah tegangan tekan sementara  $\sigma_1$  adalah tegangan tarik. Tegangan intermediate  $\sigma_2$  adalah nol. Patahan ulet dan getas dapat dijelaskan dari keadaan tegangan di atas.

Logam ulet akan mengalami kegagalan karena mekanisme geser yang terjadi sepanjang salah satu bidang tegangan geser maksimum. Umumnya bidang perpatahan tegak lurus terhadap sumbu longitudinal, seperti pada gambar 2.16a.



Gambar 2.16 Jenis kegagalan material dalam pembebanan puntir:

- (a) Kegagalan ulet akibat mode geser.
- (b) Kegagalan getas akibat mode geser.

Sumber: Dieter, 1988:343

Material yang getas ketika diberi pembebanan puntir akan mengalami kegagalan sepanjang bidang yang tegak lurus terhadap arah tegangan tarik maksimum. Hal ini dikarenakan bidang ini memotong sudut antara dua bidang tegangan geser yang membentuk sudut  $45^\circ$  terhadap arah-arah longitudinal dan transversal. Patahan yang dihasilkan nantinya akan berbentuk heliks seperti pada gambar 2.16b. Bandingkan dengan kondisi tegangan dan perpatahan pada material ulet atau getas bila dikenakan pembebanan tarik atau tekan.

Daripada pengujian tarik, pengujian puntir memiliki kelebihan dalam hal pengukuran dasar mengenai plastisitas material. Kurva tegangan regangan pengujian puntir dapat dihasilkan secara langsung, yaitu melalui persamaan (2-5) dan (2-9). Nilai regangan yang besar pada pengujian puntir mampu diperoleh tanpa komplikasi terjadinya penciutan (*necking*) dalam penarikan ataupun penggembungan (*barreling*) karena efek gesekan pada penekanan (Yuwono, 2009)

Nilai torsi yang terjadi berbanding lurus dengan nilai sudut torsi, sehingga semakin besar nilai torsi maka semakin besar pula sudutnya. Kekuatan torsi adalah jumlah maksimum dari tegangan torsi sebuah benda atau logam sebelum benda tersebut rusak oleh momen puntir yang terjadi (Azom, 2006).

## 2.9 Macam-macam Cacat Coran

Dalam beberapa kasus, hasil coran biasanya ditemukan beberapa cacat, baik yang tampak dipermukaan maupun yang berada dalam produk hasil coran. Berikut beberapa jenis cacat yang sering terjadi pada produk coran :

### a. *Pin Holes*

*Pin holes* adalah lubang dengan diameter kecil dan jumlahnya banyak, ukurannya kurang dari 2 mm, terlihat pada permukaan benda coran. Cacat ini disebabkan oleh karena penyerapan gas  $H_2$  atau  $CO_2$  ketika kelembaban cetakan yang terlalu tinggi. Dapat kita lihat penampakan dari cacat *pin holes* pada gambar 2.17.





Gambar 2.17 Cacat *Pin Holes*.  
Sumber : Jain. 1986 : 199

b. *Blow Holes*

*Blow holes* terlihat rata dan memiliki lubang yang besar, terlihat jelas pada permukaan benda coran. Diameter lubang bisa mencapai 3 mm dalam bentuk lubang paling besar dan rata. *Blow holes* disebabkan karena adanya gas yang terjebak pada permukaan rongga cetakan. Gas terperangkap dapat disebabkan oleh karena permeabilitas cetakan yang terlalu rendah. Dapat kita lihat penampakan dari cacat *blow holes* pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Cacat *Blow Holes*.  
Sumber : Jain. 1986 : 199

## 2.10 Hipotesa

Penambahan serbuk *E-glass* pada A6061 akan mempengaruhi kekuatan puntir dan cacat permukaan. Semakin ditambahkan serbuk *E-glass* pada A6061 maka kekuatan puntir semakin tinggi karena serbuk *E-glass* berfungsi sebagai penguat yang nantinya akan mengisi celah-celah antar butir pada hasil coran sehingga dapat meneruskan beban yang terjadi pada matriks dan meningkatkan kekuatan puntir. Penambahan serbuk *E-glass* akan menurunkan cacat permukaan jika serbuk *E-glass* terdistribusi merata pada aluminium A6061.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

