

## PENGARUH WAKTU STIRRING, FRAKSI VOLUME DAN UKURAN BESAR BUTIR PARTIKEL SiC TERHADAP KEKERASAN MMC Al 6061 – SiC DENGAN SISTEM STIRRCASTING

**Ahmad Zamheri**

Staf Edukatif Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya  
Jl.Srijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139  
Telp: 0711-353414, Fax: 0711-453211

### RINGKASAN

Material *Metal Matrix Composite* (MMC) merupakan material yang banyak dikembangkan akhir-akhir ini karena keunggulan yang dimilikinya dibandingkan dengan material lain baik murni maupun paduan. Material MMC yang merupakan kombinasi dari matrik logam dengan penguatnya (*reinforcement*) diharapkan memiliki sifat yang lebih baik dibanding dengan komponen penyusunnya. Paduan Al6061-Si-Mg/SiCp, merupakan salah satu contoh material MMC, dimana paduan alumunium sebagai matrik dan SiC sebagai penguat. Material yang dihasilkan dari kombinasi antara paduan alumunium dengan SiC ini diharapkan akan memiliki sifat ringan dan kekerasan tinggi yang tinggi. Salah satu metode pembuatan MMC paduan Al6061-Si-Mg/SiCp ini adalah pengecoran (*casting*). Namun teknologi pengecoran yang umum digunakan untuk memproduksi material ini masih tergolong teknologi tinggi dan mahal. Untuk itu pada penelitian ini dicoba untuk memproduksi material MMC ini dengan teknologi pengecoran yang sederhana. Metode yang dipilih adalah metode *stir-casting* karena dianggap paling mudah dan mungkin membuat material ini. Menurut "*rule of mixture*", fraksi volume partikel penguat merupakan salah satu variabel yang sangat mempengaruhi kekuatan, sehingga pada penelitian ini dipilih fraksi volume partikel penguat sebagai parameter pengujian. Dari penelitian ini didapat bahwa semakin besar fraksi volume partikel penguat, maka kekerasan material komposit akan semakin meningkat.

**Kata kunci:** Metal Matrix Composit, Stirrcasting dan kekerasan

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Di era globalisasi sekarang ini, teknologi berkembang begitu pesat. Perkembangan ini menuntut tersedianya suatu jenis material yang memiliki penampilan atau performa yang sangat baik. Adapun kriteria yang harus dipenuhi atau dimiliki material tersebut adalah : ringan, memiliki sifat-sifat mekanik yang baik, tahan lama, mudah dipabrikasi dan tentunya biaya pembuatannya yang murah. Salah satu

jenis material yang dapat memenuhi kriteria tersebut adalah alumunium. Sebab alumunium mempunyai rasio kekuatan per berat yang relatif tinggi, keuletan yang baik, biaya teknologi dan manufaktur yang relatif rendah. Disamping itu, alumunium juga dapat difabrikasi langsung menjadi bentuk akhir dengan sedikit proses *machining* jika menggunakan teknologi khusus.

Kekuatan dan keuletan alumunium yang baik tersebut, saat ini masih

dirasa kurang sehingga menimbulkan keinginan untuk menciptakan material yang lebih unggul dari aluminium dan paduannya. Keinginan ini menghasilkan suatu material baru yang kemudian dikenal dengan *Metal Matrix Composite (MMC)*. Dengan teknologi ini, kekerasan aluminium yang tidak terlalu tinggi, dapat ditingkatkan sifat mekanisnya menjadi lebih baik lagi.

Material komposit merupakan material gabungan yang penyusunnya terdiri dari gabungan dua atau lebih material yang berbeda, seperti polimer, logam dan keramik, dimana salah satunya menjadi matrik (*matrix*) dan lainnya berfungsi sebagai penguat (*reinforcement*). Penggunaan material komposit mulai banyak digemari karena biasanya material komposit memiliki sifat yang unggul dari material dasar penyusunnya. Sifat tersebut dapat berupa ketahanan aus, ketahanan korosi, ketangguhan, kekuatan tarik, ketahanan fatik, ketahanan korosi, resistivitas dan lain-lain.

*Metal matrix composite (MMC)* saat ini memang jarang diproduksi (dipabrikasi). Pembuatan *metal matrix composite* yang biasa dilakukan adalah dengan metode pengecoran (*casting*) dan metalurgi serbuk (*powder metallurgy*). Perkembangan teknologi pabrikasi *metal matrix composite* di Indonesia belum pesat karena proses pembuatan yang rumit dan berteknologi tinggi. Akan tetapi penelitian tentang material baru ini terus dilakukan, dan akan terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi material di negara ini.

### Perumusan Masalah

Adapun permasalahan yang akan diteliti adalah proses pembuatan MMC melalui teknik stir casting yang memenuhi standar teknik sehingga dihasilkan MMC Al 6060- SiC

berkualitas, dengan butiran yang kecil, tersebar merata dan memiliki porositas yang rendah. Dengan demikian dapat dicapai peningkatan kualitas bahan melalui cara produksi yang tepat sehingga dapat meningkatkan kekerasan.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Definisi MMC

Istilah Metal Matrix Composite (MMC) mencakup berbagai macam sistem dan juga struktur mikro yang berjangkauan luas, pada umumnya adalah matriks yang bersifat logam dengan bahan penguatnya adalah keramik walaupun terdapat juga berbagai jenis bahan penguat yang lain. MMC bisa juga meliputi bahan-bahan yang diperkuat fasa lemah seperti serpihan grafit, serbuk partikel atau bahkan gas. Dimungkinkan juga untuk menggunakan logam refraktori, intermetalik atau semikonduktor. Tipe-tipe MMC biasanya dikelompokkan berdasarkan penguatnya menjadi sebagai berikut:

a. **partikulasi**, yaitu MMC yang mempunyai sudut hampir sama Partikulasi MMC digunakan secara luas dalam aplikasi industri. MMC jenis ini fokus pada matrik Al dengan bahan penguat yang paling umum adalah SiC atau  $Al_2O_3$ . Penguat lain seperti  $TiB_2$ ,  $B_4C$ ,  $SiO_2$ ,  $TiC$ ,  $Wc$ ,  $BN$ ,  $ZrO_2$ ,  $W$  dan lain-lain juga telah diteliti.

b. **serat pendek** (dengan atau tanpa pensejajaran). Pada pertengahan 1980-an, MMC serat pendek mendapat perhatian luas dengan dikembangkannya piston-piston mesin diesel yang diperkuat dengan serat-serat alumina pendek (Contohnya ICI "saffil"). Serat lain yang mirip (aluminosilikat) juga sudah digunakan untuk aplikasi ini. Serat-serat ini memiliki kristal majemuk berstruktur mikro dengan butiran halus, panjang serat berukuran beberapa mikro. Komponen-komponen tersebut

biasanya diperoleh dengan infiltrasi leburan.

### c. serat panjang sejajar

Beberapa sistem MMC serat panjang telah diteliti dan beberapa diantaranya telah digunakan dalam aplikasi tertentu. Namun demikian pemanfaatannya terbatas sebagai konsekuensi dari kesulitan pemrosesan serta keterbatasan kekenyalan dan kekerasan. MMC serat panjang tersedia dalam bentuk multifilamen, yaitu mengacu pada serat yang berdiameter relatif kecil (~ 5- 30  $\mu$ m). Serat ini cukup fleksibel untuk ditangani dalam bentuk "tows" (serat yang tidak bergulung atau membentuk ikatan simpul), bisa dengan ditenun, dianyam atau berbentuk lembaran. Material yang sesuai meliputi SiC dan berbagai oksida. MMC multifilamen diproduksi dengan cara infiltrasi leburan. Kendati SiC telah berhasil digunakan dalam partikulasi MMC tetapi multifilamen Serat SiC yang cocok sebagai bahan pengikat logam tidak tersedia dipasaran. Produk yang tersedia di pasaran dengan merek Nicalon cenderung mengandung silika dan karbon bebas dengan kadar tinggi yang menyebabkan reaksi berlebihan terhadap kebanyakan bahan pengikat selama pemrosesan. MMC monofilamen adalah serat berdiameter besar (~ 100- 150  $\mu$ m), biasanya diperoleh dengan cara *Chemical Vapor Deposition* (CVD) dengan inti SiC atau Boron (B) ke inti serat karbon atau kawat tungsten. Monofilamen kurang lentur dibanding multifilamen sehingga ditangani sebagai serat tunggal dan perlu adanya peringatan akan bahaya permukaan yang tajam.

MMC merupakan kombinasi dari metal (sebagai matrik) dengan dua atau lebih material non metal (sebagai *reinforcement*) yang digabungkan dalam skala makroskopis untuk membentuk material baru yang berguna<sup>[1]</sup>. Metal matrik komposit ini

mempunyai sifat-sifat yang terbaik dari unsur unsur penyusunnya bahkan seringkali memiliki beberapa sifat lain yang tidak ada pada unsur penyusunnya itu. Sifat yang dapat dihasilkan dengan membentuk suatu metal matrik komposit adalah kekuatan, kekerasan, ketahanan korosi, ketahanan aus, umur fatik, sifat konduktifitas listrik dan lain-lain.

### Jenis-Jenis Komposit

Ada tiga jenis penguat (*reinforcement*) yang ada<sup>[2]</sup>, yaitu :

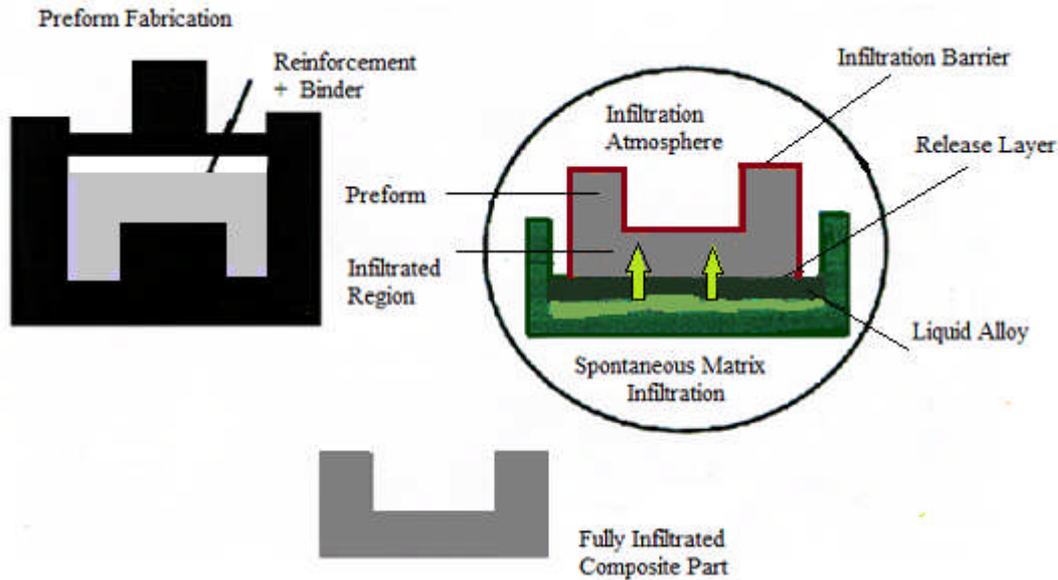
1. Komposit dengan matrik logam atau *Metal Matrix Composite* (MMC)
2. Komposit dengan matrik polimer atau *Polimer Matrix Composite* (PMC)
3. Komposit dengan matrik keramik atau *Ceramic Matrix Composite* (CMC)

### Pabrikasi MMC

Proses pabrikasi paduan aluminium dengan penguat diskontinyu telah dilakukan dengan berbagai cara, termasuk proses pada kondisi padat, seperti teknik metalurgi serbukmaupun proses pada kondisi cair seperti *compocasting* atau *stircasting* dan penuangan serta pabrikasi dengan infiltrasi logam cair dengan tekanan atau tanpa tekanan<sup>[9,10]</sup>. Hingga saat ini proses yang paling berhasil adalah proses pada kondisi padat, tetapi dibutuhkan biaya yang tinggi untuk proses ini.

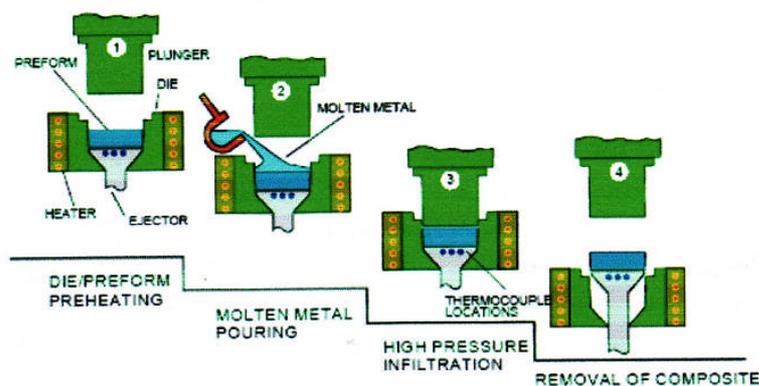
### Pembuatan MMC dengan teknik infiltrasi spontan

Proses dengan kondisi cair berpotensi lebih ekonomis tetapi memiliki hambatan yang perlu dipertimbangkan yaitu sifat tidak mampu basah keramik terhadap leburan aluminium sehingga mengakibatkan *interface* keramik/logam yang buruk dan infiltrasi tidak sempurna<sup>[12]</sup>.



Gambar 1. Pabrikasi MMC Dengan Metode Infiltrasi

Girot<sup>[14]</sup> telah menemukan bahwa untuk memperoleh komposit yang memuaskan maka diperlukan proses *squeeze casting* setelah *compocasting*.

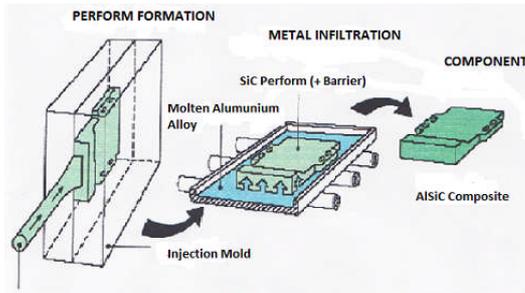


Gambar 2. Pabrikasi MMC Dengan Metode Squeeze Casting

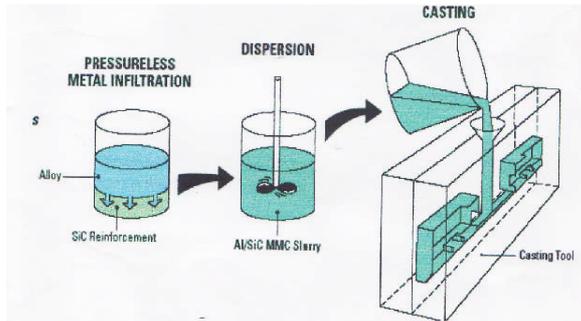
Sebagai penguat adalah gabungan konfigurasi berbagai material seperti serat, serat kontinyu dan serat diskontinyu. Susunan paduan dan keramik kemudin dipanaskan dalam lingkungan nitrogen pada kondisi proses tertentu, hal ini akan mengakibatkan infiltrasi spontan pada komposit. Persentase volume partikel-partikel yang dapat digabungkan dapat lebih dari 45 % daripada yang dapat dicapai dengan teknik *stircasting*<sup>[14]</sup>.

Proses Lanxide mengatur kondisi proses sedemikian rupa sehingga

terjadi pembasahan dan infiltrasi spontan tanpa adanya bantuan tekanan dari luar ataupun vakum. Dengan demikian akan efektif dari segi biaya sementara produk yang dihasilkan akan berupa komposit bebas pori berintegrasi tinggi. Disamping itu proses ini dapat memanfaatkan cetakan murah untuk menghasilkan bentuk-bentuk yang rumit. Dengan demikian keuntungan dari proses ini adalah kemampuannya untuk menghasilkan berbagai bentuk komponen komposit yang padat secara keseluruhan.



Gambar 3. Pabrikasi MMC Dengan Metode Infiltrasi Dengan Tekanan

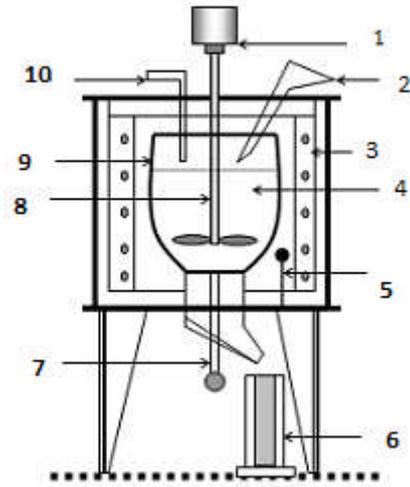


Gambar 4. Pabrikasi MMC Dengan Metode Dispersi

**Metode Stircasting**

Proses *stircasting* merupakan proses pembuatan komposit dengan cara penuangan logam yang sebelumnya telah mengalami proses pengadukan pada kondisi temperatur konstan di atas temperatur cairnya. Proses ini didasarkan atas penggabungan bahan berupa partikel penguat yang dimasukkan kedalam logam cair. Setelah penambahan dispersoid, leburan ini diaduk untuk beberapa saat yang bertujuan untuk memperoleh suatu bubuk yang seragam, kemudian dituang kedalam bagian bawah *crucible* kedalam cetakan. Keuntungan dari proses ini adalah dapat diaplikasikan untuk jenis partikel penguat yang bersifat tidak mampu dibasahi oleh logam cair. Bahan yang tidak dapat dibasahi tersebut akan menjadi dapat terdispersi oleh adanya gaya pengadukan secara mekanik yang

menyebabkan partikel padatan terperangkap dalam logam cair [4].



| Keterangan Gambar |                        |
|-------------------|------------------------|
| 1. Motor listrik  | 6. Cetakan logam       |
| 2. Lubang muatan  | 7. Batang penyumbat    |
| 3. Elemen pemanas | 8. Batang pengaduk     |
| 4. Logam cair     | 9. Krusibe             |
| 5. Thermocoupele  | 10. Lubang saluran gas |

Gambar 5. *Crucible Stircasting*

**Silika Karbida ( SiC)**

Silikon Karbida merupakan salah satu jenis dari keramik yang sering digunakan sebagai penguat (*reinforcement*) pada pembuatan komposit. Silikon terdapat di bumi sekitar 28 %. Silikon karbida atau yang lebih dikenal dengan SiC memiliki kekerasan yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan sifat mekanis dari matriks pada saat pembuatan komposit. Aplikasi Silikon Karbida yang paling umum adalah untuk penghalus pada gerinda dan untuk amplas (*abrasive paper*). Sifat-sifat dari SiC seperti sifat fisik mekanik dan panas dapat di lihat pada tabel 1:

Tabel 1. Sifat Mekanik dan Thermal Silikon Kabida

| Sifat Fisik                | Satuan SI            | Nilai     |
|----------------------------|----------------------|-----------|
| Densitas                   | g/cm <sup>3</sup>    | 3,15      |
| Berat atom                 | g/mol                | 40,1      |
| Warna                      | -                    | Hitam     |
| Struktur Kristal           | -                    | Hexagonal |
| Titik Lebur                | °C                   | 2700      |
| Titik Didih                | °C                   | 2972      |
| Sifat Mekanik              | Satuan SI            | Nilai     |
| Modulus Elastisitas        | GPa                  | 410       |
| Ratio Poisson              | -                    | 0,14      |
| Kekerasan                  | VHN                  | 3500      |
| Kekuatan Luluh             | MPa                  | 450       |
| Ketangguhan                | MPa √m               | 4,5       |
| Sifat Thermal              | Satuan SI            | Nilai     |
| Konduktivitas Panas        | W/m.K                | 4,0       |
| Koefesien Ekspansi Thermal | 10 <sup>-6</sup> /°C | 750       |
| Kapasitas Panas            | J/kg.K               | 628       |

### Paduan Al 6060

Paduan aluminium dapat dibagi dalam dua kelompok besar yaitu : paduan aluminium tempa dan paduan aluminium cor. Paduan aluminium tempa adalah paduan aluminium yang mengandung sedikit elemen pemadu seperti dalam bentuk *ingot*, *billet* dan kawat sedangkan paduan aluminium

cor adalah paduan aluminium yang mengandung lebih banyak elemen pemadu jika dibandingkan dengan paduan tempa. Banyaknya elemen pemadu ini untuk meningkatkan mampu cor paduan karena sifatnya yang ringan, memiliki titik cair rendah dan permukaan yang licin pada produk jadinya.

Tabel 2. Sifat-Sifat Mekanik Paduan

| Paduan | Keadaan | Kekuatan Tarik (kgf/mm <sup>2</sup> ) | Kekuatan Mulur (kgf/mm <sup>2</sup> ) | Kekuatan Geser (kgf/mm <sup>2</sup> ) | Kekerasan Brinell (BHN) | Ekspansi Thermal μm/m°C |
|--------|---------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 6060   | 0       | 19.0                                  | 5.6                                   | 8.4                                   | 30                      | 23.4                    |
|        | T4      | 24,6                                  | 14.8                                  | 16.9                                  | 65                      | 22.4                    |
|        | T6      | 31.6                                  | 28.0                                  | 21.0                                  | 95                      | 23.4                    |

Paduan aluminium 6060 merupakan aluminium seri 6 yang unsur utamanya adalah Mg<sub>2</sub> Si, dimana persentase Mg sekitar 11 % dengan sedikit Si (0.2-0.6%). Paduan aluminium jenis ini mempunyai mampu bentuk, mampu kelas baik, ketahanan korosi yang baik serta memiliki fluiditas (mampu alir) yang tinggi.

### Parameter Proses Pada Metode Stircasting

Kesulitan yang dihadapi dalam pembuatan komposit dengan metode stircasting terletak pada penyusupan fase logam cair yang dihubungkan dengan kemampuan basah (*wettability*) dari partikel penguat. Umumnya partikel penguat dari senyawa keramik seperti SiC, B<sub>4</sub>C dan karbid memiliki kemampuan basah yang kurang baik terhadap logam cair [4]. Hal ini disebabkan karena penguat partikel

tersebut memiliki energi permukaan yang relatif rendah sehingga tidak memberikan pembasahan yang sempurna terhadap logam cair. Untuk itu energi permukaan harus diubah menjadi lebih tinggi, biasanya dengan menggunakan logam magnesium. Penambahan logam magnesium mengakibatkan temperatur cair logam meningkat dan tegangan permukaan logam cair berkurang sehingga memberikan pengaktifan permukaan partikel menjadi basah [5], akan terbentuk sudut kontak relatif kecil yang merupakan indikasi meningkatnya sifat mampu basah. Semakin basah partikel maka akan semakin mudah mengendap.

Ada tiga faktor yang harus dipertimbangkan dalam proses pembuatan komposit yang diperkuat partikel yaitu [8] :

1. Penambahan partikel kedalam logam cair. Semakin banyak partikel yang ditambahkan menyebabkan meningkatnya viskositas dimana perlu memperhatikan mapu alir dalam tahap penuangan.
2. Adanya perbedaan berat jenis partikel dan logam cair. Semakin besar perbedaan berat jenis partikel dan matrik akan semakin mudah untuk mengendap. Masalah akan menjadi sulit bila ukuran partikel relatif seragam dengan volume fraksi yang tinggi saat pengendapan terjadi.
3. Kereaktifan partikel dan logam cair. Dalam kasus penguat SiC, terutama akan bereaksi dengan cairan aluminium membentuk fasa MgSiC. Fasa MgSiC tersebut dapat meningkatkan sifat mekanik.

Dari uraian masalah kesulitan yang dihadapi dalam proses stircasting ini maka perlu dipelajari peranan parameter dalam proses penbuatannya antara lain:

1. Kecepatan pengadukan
2. Waktu pengadukan

### 3. Persen volume fraksi

#### Waktu Pengadukan

Pengadukan bertujuan untuk memberikan kesempatan partikel masuk kedalam matrik untuk mengendap dan mendapatkan bentuk penyebaran partikel yang seragam. Pada metode stircasting, bentuk penyebaran dan pengendapan partikel dipengaruhi oleh dua macam kecepatan aliran yaitu kecepatan aliran aksial (velocity of flow axial) dan kecepatan akhir pengendapan (terminal settling velocity)<sup>(4)</sup>. Kecepatan alir aksial adalah kecepatan alir berputar terhadap pusat garis crucible. Perbandingan antara kecepatan aksial terhadap kecepatan akhir pengendapan disebut Particel dispersion number. Persamaannya sebagai berikut(5) :

$$PDN = \frac{H_0(\eta_0 \Omega)}{r^2 v_1^2} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

- $H_0$  = Tinggi leburan (cm)
- $D$  = celah antara pengaduk dan dinding crucible (cm)
- $r$  = jari-jari pengaduk
- $v_1$  = Kecepatan akhir pengadukan (cm/ det)
- $\eta_0$  =  $\eta_0$
- $\Omega$  = kecepatan pengadukan (rpm)

Pada saat berlangsungnya pengendapan partikel kedalam matrik, waktu pengadukan sangat membantu mengaktifkan energi permukaan partikel untuk dibasahi logam cair. Hal ini ditandai oleh perubahan besarnya nilai sudut kontak, dimana semakin lama waktu pengadukan dan meningkatnya temperatur penahanan (*holding temperature*) menunjukkan sudut kontak relatif kecil dan energi permukaan secara berangsur-angsur menurun.

### Persen Volume Fraksi

Penambahan volume fraksi yang ditambahkan kedalam logam cair akan mempengaruhi terhadap perubahan viskositas. Sifat viskositas bubuk komposit pada kondisi semi padat mengalami perubahan dengan volume fraksi, bentuk dan ukuran fasa penguat. Pada bubuk komposit yang megandung partikel dalam kondisi cair, sifat viskositas dinyatakan oleh perbandingan tegangan geser (*sheer stress*) dan laju pergeseran (*sheer rate*) (4) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_o = \sigma_r / \dot{\gamma} = k (\dot{\gamma})^m \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

$\eta_o$  = apparent viscosities (Pa.s)

= Tegangan geser (Pa)

$\dot{\gamma}$  = laju pergeseran (cm/det)

$m$  = ketetapan

$k$  = konstanta ketahanan alir

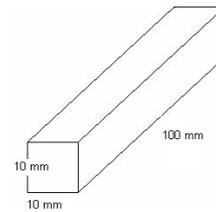
### Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- Mempelajari kemungkinan memproduksi metal matrix composite dengan metode stir-casting sederhana untuk industri kecil.
- Mengetahui pengaruh persentase fraksi volume partikel penguat SiC terhadap kekerasan dari komposit dengan matriks paduan Al 6061-SiC.

### Prosedur Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara kadar partikel SiC terhadap kekerasan komposit. Metode pengujian kekerasan yang digunakan adalah metode Brinnel dengan menggunakan indenter berbentuk bulat dengan diameter 10 mm. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beban 980 Kg.



Gambar 6. Dimensi Spesimen Uji Kekerasan

Sampel digunakan untuk uji kekerasan. Permukaan yang telah halus hasil pengamplasan dan pemolesan akan memudahkan pengamatan jejak pada uji kekerasan.

Tahapan yang dilakukan pada pengujian kekerasan ini, meliputi :

- Menyiapkan *indenter* berbentuk bulat dan meletakkannya pada posisinya.
- Mengatur beban yang digunakan sebesar 980 kg
- Meletakkannya sampel pada posisinya.
- Lakukan penekanan.
- Lakukan penjejakan, dimana *indenter* yang menempel pada alat uji kekerasan akan menekan sampel hingga meninggalkan bekas jejak. Penjejakan dilakukan pada 5 titik yang berbeda pada sampel.
- Setelah itu jejak pada sampel diukur dengan menggunakan mikroskopik optik. Dari hasil pengukuran jejak diperoleh data berupa diameter jejak.
- Dari data kemudian dilakukan perhitungan berdasarkan rumus sesuai literatur, dimana :

$$BHN = \frac{0,112F}{0,5(\pi D) \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \dots (3)$$

dimana :

$F$  = beban penjejakan (N),

$D$  = diameter *indenter* (mm)

$d$  = diameter jejak (mm)



Gambar 7. Pengujian Kekerasan

### HASIL DAN PEMBAHASAN

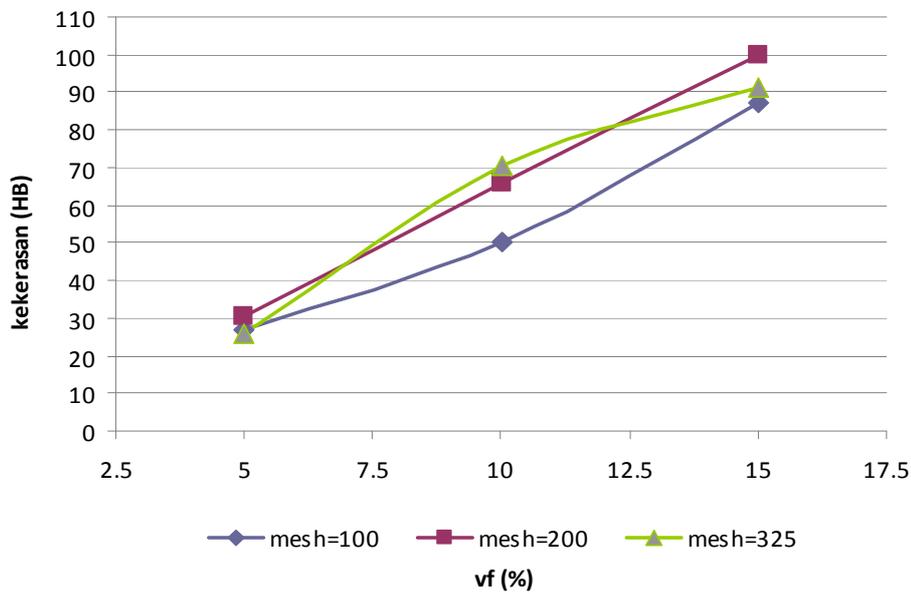
Dalam sub bab ini, akan dibahas pengaruh waktu pengadukan, penambahan % fraksi volume SiC pada Al 6061 dan ukuran besar butir terhadap kekerasan. Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa korelasi

antara waktu pengadukan, penambahan % fraksi Volume SiC dan ukuran besar butir, maka didapat sifat mekanik yang berbeda dari material Al 6061. Pada saat berlangsungnya pengendapan partikel kedalam matrik, pengadukan sangat membantu untuk menjadikan SiC Tersebar keseluruhan paduan. Penambahan % fraksi volume kedalam logam cair, mempengaruhi terhadap perubahan Viskositas. Semakin besar % fraksi Volume akan memberikan penyebaran campuran yang homogen dan endapan partikel pada matrik menjadi lebih besar. Setelah dilakukan pengujian dan didapat data hasil pengujian, maka didapat data hasil perhitungan uji kekerasan, yang dapat kita lihat pada tabel 3 dibawah ini.

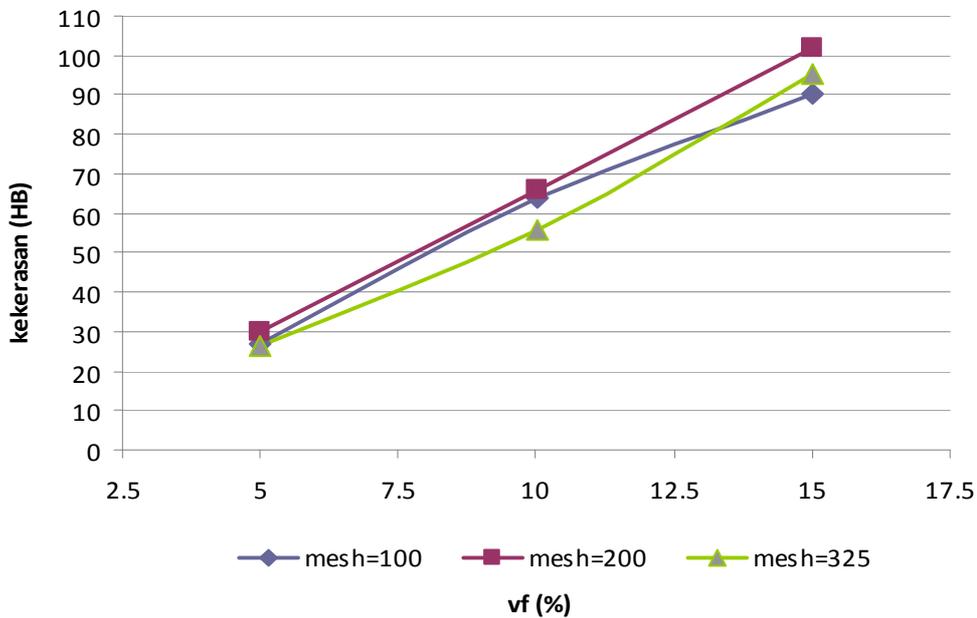
Tabel 3. Data hasil Perhitungan uji Kekerasan

| Sampel         | F= Beban (N) | D = Diameter Indentor (mm) | HBN Rata-Rata (Kg/mm <sup>2</sup> ) |
|----------------|--------------|----------------------------|-------------------------------------|
| S2-5-100-900   | 9800         | 10                         | 26,66                               |
| S5-5-100-900   |              |                            | 27,10                               |
| S10-5-100-900  |              |                            | 27,45                               |
| S2-5-200-900   | 9800         | 10                         | 30,41                               |
| S5-5-200-900   |              |                            | 30,05                               |
| S10-5-200-900  |              |                            | 28,73                               |
| S2-5-325-900   | 9800         | 10                         | 25,71                               |
| S5-5-325-900   |              |                            | 26,12                               |
| S10-5-325-900  |              |                            | 29,56                               |
| S2-10-100-900  | 9800         | 10                         | 50,18                               |
| S5-10-100-900  |              |                            | 63,78                               |
| S10-10-100-900 |              |                            | 59,64                               |
| S2-10-200-900  | 9800         | 10                         | 66,12                               |
| S5-10-200-900  |              |                            | 59,53                               |
| S10-10-200-900 |              |                            | 60,89                               |
| S2-10-325-900  | 9800         | 10                         | 70,56                               |
| S5-10-325-900  |              |                            | 70,61                               |
| S10-10-325-900 |              |                            | 52,34                               |
| S2-15-100-900  | 9800         | 10                         | 86,97                               |
| S5-15-100-900  |              |                            | 90,33                               |
| S10-15-100-900 |              |                            | 93,98                               |
| S2-15-200-900  | 9800         | 10                         | 100,08                              |
| S5-15-200-900  |              |                            | 101,99                              |
| S10-15-200-900 |              |                            | 108,20                              |
| S2-15-325-900  | 9800         | 10                         | 91,18                               |
| S5-15-325-900  |              |                            | 95,42                               |
| S10-15-325-900 |              |                            | 116,56                              |

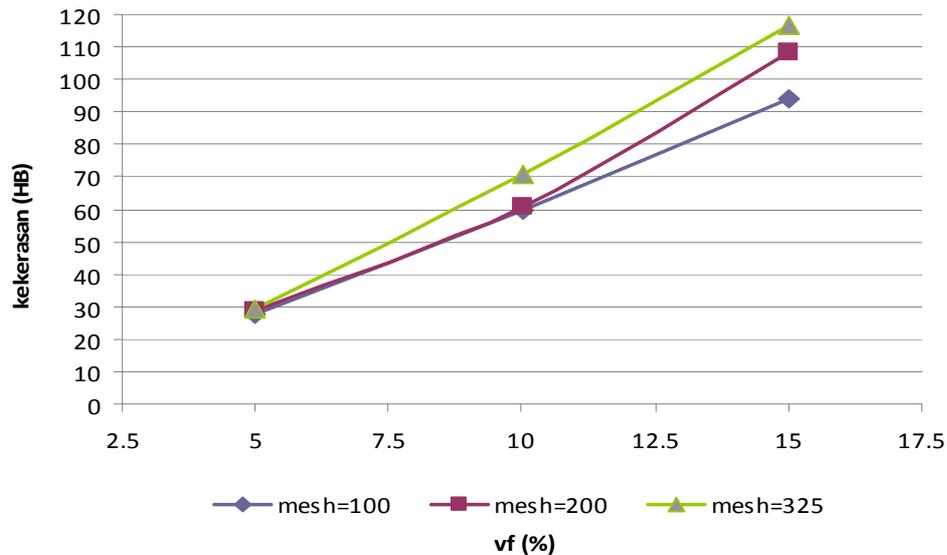
Dari data hasil pengujian kekerasan yang telah dilakukan sebelumnya, maka dapat dibuat grafik untuk pengaruh terhadap kekerasan tersebut.



Grafik 8. Hubungan antara % Vf terhadap kekerasan dengan variasi ukuran besar butir dengan lama pengadukan 2 menit.



Grafik 9. Hubungan antara % Vf terhadap kekerasan dengan variasi ukuran besar butir dengan lama pengadukan 5 menit.



Grafik 10. Hubungan antara % Vf terhadap kekerasan dengan variasi ukuran besar butir dengan lama pengadukan 10 menit.

Dari grafik 8, 9 dan 10 dapat disimpulkan :

1. Dengan bertambahnya % Vf sampai 15% kekerasan terus naik seiring dengan bertambahnya waktu pengadukan dan semakin kecil ukuran besar butir, karena Alumina memiliki nilai kekerasan yang tinggi sehingga semakin banyak penambahan alumina (SiC) akan menaikkan nilai kekerasan.
2. Adanya peningkatan nilai kekerasan dengan bertambahnya waktu pengadukan, dikarenakan SiC dalam paduan lebih tersebar.
3. Nilai kekerasan optimum, pada 116,56 HB dengan lama pengadukan 10 menit, ukuran besar butir 325 mesh dengan Vf 15%. Ini menunjukkan bahwa adanya peningkatan kekerasan disebabkan % Vf semakin bertambah, waktu pengadukan semakin lama dan ukuran besar butir terus mengecil.

Dari hasil pengujian kekerasan yang telah dilakukan pada sampel uji kemudian dibandingkan dengan nilai kekerasan dari Al 6061, maka nilai

kekerasan sampel uji lebih memiliki kekerasan yang lebih tinggi.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian ini, ada beberapa kesimpulan yang dapat diambil, yaitu sebagai berikut :

1. Proses pengecoran dengan metode stir casting dengan cover Nitrogen merupakan salah satu alternatif pembuatan *metal matrix composite*.
2. Fraksi Volume (Vf) partikel penguat SiC mempunyai pengaruh yang cukup berarti terhadap sifat mekanis (kekerasan), dan struktur mikro dari produk casting. Nilai kekerasan tertinggi pada 116,56 HB dengan waktu aduk 15 menit dan Persen Vf 15%.
3. Semakin besar fraksi volume partikel maka kekerasan *metal matrix composite* semakin meningkat.

### Saran

Setelah melakukan penelitian ini perlu adanya saran-saran agar dapat dilakukan pada penelitian tentang pembuatan MMC Al 6061-SiC dengan metode *Stirrcasting* selanjutnya.

Beberapa saran yang dapat disampaikan antara lain:

1. Perlu dibuat pengadukan yang baik yang dapat meminimalisasikan turbulensi dan pelarut gas kedalam logam cair. Jika perlu dibuat perlengkapan permanen mengingat masih banyak yang dapat diteliti lebih lanjut.
2. Bila perlu menggunakan dapur induksi sehingga lebih homogen dan kontrol terhadap temperatur lebih mudah.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. *Aluminum and Aluminum Alloy*, ASM Specially Handbook, Ohio, 1993.
2. Bintang Adjiantoro, Yuswono "Pengaruh Penambahan Unsur Magnesium Terhadap Ketahanan Aus dan Kekerasan Komposit Paduan Al-7, 14% Si dengan Penguat SiC", Jurnal Buletin IPT No.4 VOL. IV, Oktober/November 1998.
3. Lawrence H. Van Vlack, Sriatie Djaprie, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Erlangga, 1995.
4. *Engineered Material Handbook*, Vol. 1, *Composite*, ASM International, Metal Park, Ohio, 1987.
5. Matthews, F.L dan R.D Rawlinjs, *Composite Material: Engineering & Science*, Chapman & Hall, London, 1994.
6. Perdana, Rickfy K, *Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Kekerasan, Kekuatan Tekan, Densitas, Porositas dan Struktur Mikro Pada Material Metal Matrix Composite Al-SiC yang Dihasilkan Melalui Proses Metalurgi Serbuk*, Laporan Tugas Akhir, Jurusan Metalurgi FTUI, 2002.
7. \_\_\_\_\_, *Aluminum Casting Technology*, Des Plaines, 1986.
8. Soerjantoro, *Studi Pengaruh Penambahan Magnesium (Mg) dan Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Paduan Alumunium-Seng 7%*, Laporan Tugas Akhir, Jurusan Metalurgi, FTUI, 1995.
9. Avner, Sidney H, *Introduction to Physical Metallurgy*, Second Edition, McGraw-Hill, Singapore, 1974.
10. [http://www accuratus.com/Silicon\\_Carbide.htm](http://www accuratus.com/Silicon_Carbide.htm)
11. German, Randall M., *Powder Metallurgy Science*, MPIF, Princeton, 1984.
12. *Metal Handbook*, Ninth edition, vol 7, *Powder Metallurgy*, American Society for Metal, Metal Park Ohio, 1984.
13. Kurniawan, Handi, *Proses Pembuatan Piston di P.T Federal Izumi MFG*, Laporan Kerja Praktek, Jurusan Metalurgi, FTUI, 1997.
14. Jumiadi, "Pengaruh Lama pengadukan dan fraksi Volume terhadap karakterisasi komposit matriks logam Al 6063 + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 10% Mg Hasil Proses Stirrcasting". Tesis Departemen Metalurgi dan Material Universitas Indonesia, 2000.
15. *Metal Handbook*, "Atlas of Microstructures of Industrial Alloys", Volume 7, Eight Edition, 1972.