

## PEMANFAATAN LIMBAH SiC UNTUK MEMPERBAIKI KEKUATAN IMPAK ALUMINIUM SCRAP DAN STRUKTUR MIKRONYA DENGAN METODE SINTERING

Salman<sup>1</sup>, Emmy Dyah<sup>2</sup>, dan Ahmad Humaidi<sup>3</sup>

<sup>1,2 & 3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, NTB

E-mail:salmanrm@yahoo.com

**Abstrak--** Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh penambahan limbah silikon karbida (SiC) pada aluminium scrap (Al-scrap) terhadap ketangguhan impak dan setruktur mikro dengan metode metalurgi serbuk (sintering). Material yang digunakan pada penelitian ini adalah Al-scrap dan SiC. Ada tiga variasi campuran yaitu campuran cetakan masing-masing 0, 10 dan 20 % SiC. Pemanasan dilakukan selama 3 jam dan suhu 500 C°. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian impak dan pengamatan struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi dari penambahan SiC mempengaruhi kekuatan impak bahan. Penambahan SiC 20 % pada penelitian ini menghasilkan kekuatan impak yang paling tinggi sebesar  $13.078 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^2$ . Sedangkan Al-scrap tanpa penambahan SiC adalah  $11.98 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^2$ .

**Katakunci:** SiC, Al-scrap, Sintering, Ketangguhan impak

**Abstract--** The study aims is to determine the effect of the additional of the silicon carbide (SiC) disposal to the aluminum scrap (Al-scrap) over the impact strength and microstructure by sintering method. The materials used in this study were Al-scrap and silicon carbide (SiC). There were three mixed variations, they were 0, 10 and 20% SiC. The specimens were heated for 3 hours at the temperature of 500 C°. The tests carried out were impact testing and microstructure observation. The results showed that the variations in the addition of SiC affected the value of the impact strength of the material. The addition of 20% SiC in this study resulted in the highest impact toughness of  $13,08 \times 10^{-3} \text{ J / mm}^2$ . Whereas Al-scrap without the addition of SiC was  $11.98 \times 10^{-3} \text{ J / mm}^2$ .

**Keywords:** SiC, Al-scrap, Sintering, Impact toughness

### 1. PENDAHULUAN

Aluminium (Al) adalah salah satu logam non ferro yang memiliki beberapa keunggulan, diantaranya ringan, tahan korosi, dan penghantar listrik yang baik (Amini [1], Dowson [4], dan Grum [5]). Adapun sifat dasar dari Al murni adalah memiliki sifat mampu cor yang baik namun sifat mekanik yang rendah (Hartomo [6], Jamaliah [8] dan Lasagni [12]).

Untuk meningkatkan sifat mekanik logam Al, maka sejumlah penelitian dilakukan dengan memberi perlakuan pada logam atau menambah paduan lain ke material utama. Bahan-bahan tambahan yang biasa digunakan antara lain:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , TiC,  $\text{ZrO}_2$ , dan Si (Johannes [9] dan Khairil [10]). Di antara jenis paduan tambahan tersebut yang paling keras adalah SiC (Manash [13], Lee [14], dan Lutfi [15]).

Senyawa SiC mudah berikatan dan tidak menyebabkan oksidasi pada logam Al (Heater [7] dan Randall [18]). Sedangkan material keramik jenis oksida, seperti  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{ZrO}_2$  juga relatif keras dan kuat, tetapi kelemahannya sulit berikatan dengan logam Al (Kiryanto [11] dan Saranavanan [19]). Di samping itu dengan adanya gugus oksigen (oksida) berpotensi terjadi oksidasi pada komposit logam Al (Sciti [21] dan Zheng [24]).

Indonesia memiliki potensi mineral bauksit (sumber Al) yang cukup besar. Sedangkan keramik SiC memang tidak tersedia secara langsung di alam. Bahan SiC dapat dibuat dari proses pencampuran secara carbothermal antara abu sekam padi atau pasir silika sebagai sumber Si dan sumber karbon (C) dari arang batok kelapa atau arang serbuk kayu pohon jati, melalui proses *sintering* dan *milling* sehingga dapat dihasilkan nano particle SiC (Olivier [16], Peter [17] dan Widodo [23]).

Di dalam mendesain material campuran ini salah satu metode yang banyak digunakan adalah metode metalurgi serbuk (Aqida [2] dan Dieter [3]). Pada metode ini, bahan-bahan penyusun paduan dicampur, dikompaksi, lalu dipanaskan di bawah titik leburnya (Scwartz [20], Surdia [22] dan Zhongliang [25]).

Penelitian yang akan dilakukan yaitu memperbaiki ketangguhan impak dan pengamatan bentuk setruktur mikro dari material A-scrap. Dalam hal ini peneliti mencoba menambahkan serbuk SiC pada Al-scrap yang diperoleh dari limbah bengkel produksi pembuatan etalase.

Adapun proses penambahan ini dilakukan dengan metode sintering (metalurgi serbuk) karena kedua material ini cukup rumit [lasagna

[12]) jika dilakukan dengan proses pengecoran.

## 2. METODOLOGI

Alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian antara lain alat uji dampak dengan spesifikasi sebagai berikut :

Nama alat : Alat uji dampak Charpy  
Merk : RMU  
Tipe : A052M  
Kapasitas : 300 Joule

Nama Alat : Gerinder-polisher  
Tipe : Digiset-2V  
Merk : METKON,

Nama alat : Mikroskop  
Tipe : Inverted  
Merk : Union  
Kapasitas : 1000X pembesaran,

Selain itu juga digunakan oven pemanas, Hung Ta Instrument, timbangan digital, amplas, dan alat pendukung lainnya. Sedangkan bahan utamanya adalah aluminium scrap (Al-scrap), silikon karbida (SiC), resin dan hardner.

Metode yang digunakan adalah metode eksperimental dan tinjauan literatur. Langkah-langkah dan prosedur yang diikuti, antara lain:

### 2.1 Pembuatan Cetakan

Dibuat tiga cetakan berbentuk persegi dengan ukuran yang sama yaitu dengan dimensi 57 x 55 x 100 mm. Bahan cetakan menggunakan besi plat dengan ketebalan 8 mm. Untuk bagian penekan dan dinding cetakan ketebalannya 3 mm (lihat Gambar 1).

### 2.2 Penyiapan bahan

Bahan campuran pada penelitian ini berupa Al-scrap dengan SiC yang sudah diayak terlebih dahulu dengan ukuran partikel sebesar 200 mesh. Perbandingan campuran yang dipakai berdasarkan perbandingan massa.

### 2.3 Proses mixing

Pencampuran partikel penguat dengan matrik dilakukan dengan cara memasukan kedua bahan ke dalam wadah yang sudah disiapkan berupa botol lalu dilakukan pemutaran sampai kedua bahan tercampur merata.



Gambar 1. Cetakan.

### 2.4 Proses Penekanan Bahan (Konvaksi)

Penekanan bahan dilakukan dengan mesin Hung Ta Instrument dengan besar tekanan yang digunakan yaitu sebesar 150 kN.

### 2.5 Proses Pemanasan

Pada proses pemanasan digunakan oven dengan temperatur 500°C dengan waktu tahan selama 3 jam. Cetakan berisi bahan spesimen dimasukkan ke dalam oven dengan temperatur awal 30°C. Ditahan selama 30 menit hingga dinaikkan suhunya pada 500°C, total waktu pemanasan 3,5 jam.

Setelah waktu pemanasan selesai cetakan dikeluarkan dari oven dan didinginkan dengan media udara sampai temperatur ruangan.

#### A. Proses melepas spesimen dari cetakan.

Pada bagian ini karena dinding cetakan yang kembang akibat tekanan akan mempersulit dalam pengeluaran spesimen secara normal sehingga untuk mengeluarkannya harus dilakukan dengan cara membelah cetakan.

#### B. Proses pembentukan spesimen sesuai dengan standar pengujian.

Pada bagian ini peneliti melakukan pemotongan dari bahan yang sudah dibuat disesuaikan dengan masing-masing standar pengujian.

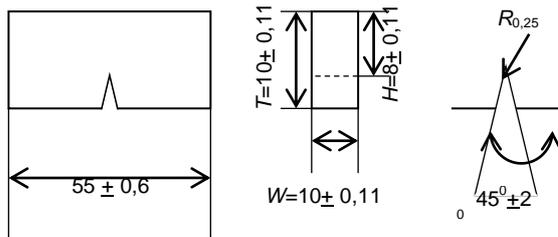
#### C. Pengujian spesimen.

Pengujian spesimen dilakukan dengan penyesuaian dari masing-masing alat uji yang digunakan.

### 2.6 Pengujian

#### A. Uji dampak

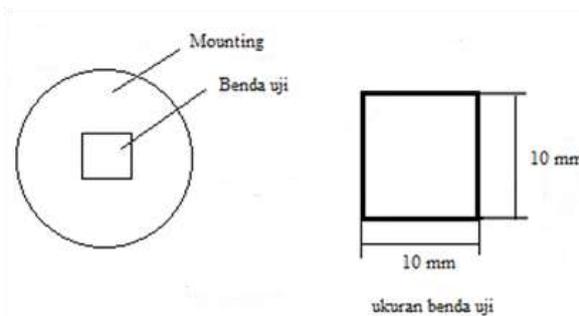
Pengujian dampak dilakukan dengan alat uji Dampak Charpy dengan standar spesimen ASTM E23. Metode Charpy menggunakan sampel dengan ukuran panjang 55 mm lebar 10 mm dan tinggi 10 mm dengan takik sedalam 2 mm yang bersudut 45°. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Bentuk dan ukuran spesimen untuk uji impact.

**B. Uji struktur mikro**

Pada pengamatan ini peneliti menggunakan potongan bekas pengujian impact yang dipotong dan dipasangi *mounting* dari bahan resin.



**Gambar 3.** Bentuk dan ukuran spesimen untuk struktur mikro.

Bentuk dan ukuran batang pengujian struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 3. Besar *mounting* disesuaikan dengan kebutuhan untuk memudahkan dalam proses polishing.

Setelah pemasangan *mounting* selesai, spesimen dipoles dengan amplas 400, 800, 1200, 2000 dan diakhiri dengan 5000. Untuk lebih memperhalus permukaan yang akan diuji, permukaan digosok dengan kain dari bahan beludru dengan tambahan autosol secukupnya.

**2.7 Analisis Data**

Untuk bisa melihat pengaruh dari pemberian variasi SiC terhadap kekuatan Al, maka dalam penelitian ini, data dianalisa menggunakan ANOVA satu arah.

Namun terlebih dahulu ditentukan hipotesis dari penelitian yaitu.

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ ; Tidak ada pengaruh penambahan SiC terhadap penambahan kekuatan Al.

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ ; Ada pengaruh penambahan SiC terhadap penambahan kekuatan Al.

Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai  $F_{hitung}$  dan  $F_{tabel}$ . Di mana setelah  $F_{tabel}$  diketahui, maka selanjutnya  $F_{hitung}$  dan  $F_{tabel}$  dibandingkan. Jika  $F_{hitung} > F_{tabel}$ , maka terdapat rata-rata nilai yang berbeda antar masing-

masing variasi. Atau dengan kata lain, terdapat pengaruh variasi perlakuan terhadap nilai yang dihasilkan dari sebuah percobaan. Sebaliknya, jika  $F_{hitung} < F_{tabel}$ , maka tidak ada pengaruh variasi perlakuan terhadap nilai yang dihasilkan.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Di bawah ini adalah hasil dari pengujian impact yang sudah dilakukan dengan standar spesimen ASTM E23 dan takikan bentuk V.

Energi yang diserap ( $E$ ) oleh material diperoleh dengan menggunakan Persamaan (1):

$$E = m.g.L (\cos \beta - \cos \alpha) \tag{1}$$

Di mana :

$\alpha$  = Sudut awal lengan

$\beta$  = Sudut akhir lengan

Massa pendulum ( $m$ ) = 20 Kg, panjang lengan ( $L$ ) = 0,8 m yang diperoleh dari mesin uji impact yang dipakai dan gravitasi bumi ( $g$ ) = 9,8m/s<sup>2</sup>. Dengan mengetahui  $E$  dan luas penampang takikan ( $A$ ) maka dapat diketahui nilai ketangguhan impact  $E_i$  dari bahan tersebut (lihat Tabel 4.1) dengan menggunakan Persamaan (2):

$$E_i = E/A \tag{2}$$

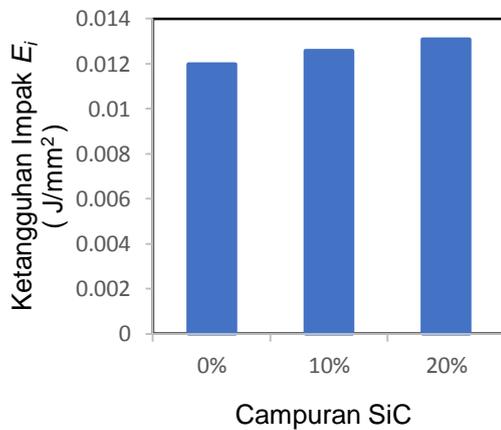
Perhitungan data pada tanpa penambahan SiC (Spesimen 1)

$$\begin{aligned} E &= m.g.L (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 20 \times 9,8 \times 0,8 (\cos 13,5 - \cos 15) \\ &= 1,010 \text{ Joule} \\ A &= L H \\ &= 10,05 \times 8,1 \\ &= 81.41 \text{ mm}^2 \\ E_i &= E/A \\ &= (1.010)/(81.41) = 12,40 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

**Tabel 1** Data hasil pengujian impact.

SiC (%)	W (mm)	T (mm)	H (mm)	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)
0	10.05	10.10	8.10	15	13.5
	10.10	10.05	8.05		13.5
	10.00	09.95	7.95		13.7
10	10.10	10.10	8.05	15	13.4
	10.00	10.05	8.10		13.5
20	09.95	09.95	7.90	15	13.6
	10.00	10.05	8.10		13.4
	10.10	10.10	8.00		13.4
	09.90	10.05	8.05		13.5

Selanjutnya dengan cara pengolahan data yang sama, hasil perhitungan untuk setiap spesimen ditampilkan pada Table 1 dan Tabel 2..



Hubungan antara  $E_i$  dengan persentasi campuran SiC dari pengujian yang telah dilakukan. dalam sebuah grafik dapat dilihat pada Gambar 4.

Dapat dilihat  $E_i$  terendah diperoleh pada 0% penambahan SiC yaitu sebesar  $11,98 \times 10^{-3} J/mm^2$  dan yang tertinggi pada penambahan SiC 20% sebesar  $13,08 \times 10^{-3} J/mm^2$ . dengan demikian penambahan SiC 20% memberikan peningkatan  $E_i$  sebesar 9,24%. Energi impact dari material ini tergolong rendah hal ini disebabkan proses kompaksi dan temperatur sintering yang kurang maksimal.

**3.1. Bentuk Patahan**

Bentuk patahan uji impact antara lain:



**Gambar 5.** Patahan spesimen 0% SiC

**Tabel 2.** Ketangguhan impact rata-rata.

Campuran SiC (%)	A ( $mm^2$ )	E (J)	$E_i \times 10^{-3}$ ( $J/mm^2$ )	$E_i$ rata-rata $\times 10^{-3}$ ( $J/mm^2$ )
0	81.41	1.010	12.40	11.98
	81.31	1.010	11.24	
	79.50	0.882	11.11	
10	81.31	1.074	13.21	12.03
	81.00	1.010	12.47	
	78.61	0.946	12.03	
20	81.00	1.074	13.26	13.08
	80.80	1.074	13.29	
	79.70	1.010	39.22	



**Gambar 6.** Patahan spesimen 10% SiC



**Gambar 7.** Patahan spesimen 20% SiC.

Dari pengamatan bentuk patahan dari masing-masing variasi campuran yaitu pada Gambar 5, 6 dan 7 terlihat bentuk patahan semakin ulet seiring meningkatnya jumlah persentasi SiC.

**3.2. Analisis Menggunakan ANOVA**

Dalam penelitian ini hipotesa divalidasi menggunakan analisa statistik ANOVA. Pengaruh penambahan SiC terhadap kekuatan Al diperoleh

dengan membandingkan nilai  $F_{hitung}$  dan  $F_{tabel}$ .  
 Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n X_{ij} - \frac{T^2}{N}$$

$$= 0,00142 - \frac{0,112889}{9} = 0,0000039$$

Jumlah Kuadrat Kolom (JKK)

$$JKK = \sum_{i=1}^k \frac{T_k^2}{N_k} - \frac{T^2}{N}$$

Ket:

- $X_1$  : 0% SiC,
- $X_2$  : 10% SiC,
- $X_3$  : 20% SiC
- $N=9, k=3$

$$= 0,001418 - \frac{0,112889}{9}$$

$$= 0,0000018$$

Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKK$$

$$= 0,0000039 - 0,0000018$$

$$= 0,0000021$$

Kuadrat Tengah Kolom (KTK)

$$KTK = \frac{JKK}{k-1} = \frac{0,0000018}{3-1}$$

$$= 0,0000009$$

Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{N-k} = \frac{0,0000039}{9-3}$$

$$= 0,0000004$$

# $F_{hitung}$

$$F_{hitung} = \frac{KTK}{KTG} = \frac{0,0000009}{0,0000004}$$

$$= 2,58$$

# $F_{tabel}$

$$df_1 = k - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$df_2 = N - k = 9 - 3 = 6$$

Dengan menggunakan derajat kepercayaan  $\alpha=0,05$ , maka  $F_{tabel}$  yang dihasilkan adalah= 5,14. Karena  $F_{hitung} < F_{tabel}$ , maka  $H_0$  diterima, yang berarti tidak ada pengaruh yang signifikan antara masing-masing variasi percobaan.

### 3.3. Struktur Mikro

Pengamatan pada struktur mikro pada bahan uji menggunakan *metallurgical microscope* dengan 1000x pembesaran.

Pengamatan campuran SiC 0% dengan 1000X pembesaran terlihat bahwa tanpa penambahan SiC serbuk Al masih banyak belum terkristalisasi dengan baik. Hal ini disebabkan karena pada 0% SiC terlihat butiran serbuk Al-scrap masih utuh yang mengakibatkan ikatan serbuk pada spesimen belum sempurna.

**Tabel. 3.** Variasi penambahan SiC pada

Pengulang an	$X_1$ $\times 10^{-3}$	$X_2$ $\times 10^{-3}$	$X_3$ $\times 10^{-3}$	Total
1	12.41	13.21	13.26	
2	12.43	12.48	13.29	
3	11.09	12.04	12.68	
Jumlah	35.93	37.73	39.23	0.11289

**Tabel. 4.** Variasi penambahan SiC pada

Pengulang an	$X_1^2$ $\times 10^{-5}$	$X_2^2$ $\times 10^{-5}$	$X_3^2$ $\times 10^{-5}$	Total
1	15.40	17.50	17.60	
2	15.44	15.60	17.70	
3	12.30	14.50	16.10	
Jumlah	43.15	47.50	51.30	0.00142

Pengamatan campuran SiC 10% dengan 1000X pembesaran, terlihat bahwa butiran serbuk Al mulai berkurang karena adanya penambahan 10% SiC. Namun masih ada partikel serbuk Al-scrap yang belum terkristalisasi yang mengakibatkan ikatan serbuk pada spesimen belum sempurna. Meski demikian dengan berkurangnya butiran serbuk Al ini ikatan dari serbuk mulai terbentuk yang memberikan peningkatan terhadap energi impact.

Pengamatan campuran SiC 20% dengan 1000X pembesaran. Menunjukkan bahwa ikatan antara partikel-partikel serbuk mulai terbentuk dengan baik pada spesimen ini terdapat kandungan 20% SiC.

Hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat pesentasi penambahan SiC membantu proses pengikatan antar partikel-partikel serbuk yang berdekatan. Hal ini disebabkan karena SiC merupakan material memiliki sifat termal yang baik.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan silikon karbida (SiC) pada aluminium scrap (Al-scrap) dapat mempengaruhi ketangguhan impact. Nilai ketangguhan impact ( $E_i$ ) tertinggi terdapat pada variasi penambahan SiC 20% dengan nilai  $E_i$  sebesar  $13,08 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^2$ .
2. Dari hasil pengamatan setruktur mikro, pada persentasi SiC yang rendah (di bawah 20%) masih ada partikel serbuk Al-scrap yang belum terkristalisasi yang mengakibatkan ikatan serbuk pada spesimen belum sempurna. Sehingga nilai ketangguhan impactnya juga rendah.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran riset ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Amini H., Mashhadi A., Moloodi M., Golestanipour E.Z.V., Karimi (2009). *Recycling of Aluminium Alloy Turning Scrap Via Cold Pressing and Melting With Salt Flux*. Science Direct, Elsevier, Journal of materials processing technology 209: 3138–3142.
- [2]. Aqida S. (2004). *Effects of Porosity on Mechanical Properties of Metal Matrix Composites: An Overview*. Jurnal Teknologi Universiti Teknologi, Malaysia (UTM). 6(2): 46-53.
- [3]. Dieter G. (1988). *Mechanical Metallurgy*. Mc.Grow Hill Book Co.
- [4]. Downson G. (1990). *Powder Metallurgy The Processing and its Product*. Reddiffe Way. Bristol BS1 6NX. England.
- [5]. Grum J., Kisin M. (2006). *The influence of the microstructure of three Al-Si alloys on the cutting-force amplitude during fine turning*. Science Direct. Elsevier, International Journal of Machine Tools & Manufacture. 46: 769–781.
- [6]. Hartomo A.J. (1992). *Memahami Polimer dan Perekat*. Andi Offset. Edisi Pertama Yogyakarta.
- [7]. Heather L.F., and Nikki W.D. (2001). *The Material Information Society*, Toronto University Press.
- [8]. Jamaliah I. (2003). *Kajian Sifat Kehausan dan Kekerasan Komposit Matriks Aluminium*. Universiti Teknologi Malaysia.
- [9]. Johannes P., Kotzé (2013). *Evaluation of a Latent Heat Thermal Energy Storage System Using AlSi12 as a Phase Change Material*. Stellenbosch University Centre for Renewable and Sustainable Energy Studies, ASME, Journal of Solar Energy Engineering. 135: 23-31.
- [10]. Khairil R., Ahmad (2005). *The Influence of Alumina Particle Size on Sintered Density and Hardness of Discontinuous Reinforced Aluminum Metal Matrix Composites*. Universiti Teknologi Malaysia.
- [11]. Kiryanto, Eko S., Hadi, Ansori M., (2012). *Analisa Sifat Mekanik Paduan Aluminium Sebagai Rangka Jendela Kapal di Perusahaan Pengecoran Logam CV. Setia Kawan Kota Tegal dengan Cetakan Tidak Permanen*. Jurnal Kapal. 9(1): 11-19.
- [12]. Lasagni F, Marks E., Holzapfel C., Mućklich F., Degischer H.P. (2007). *Three Dimensional Characterization of „as-cast“ and Solution-Treated AlSi12(Sr) Alloys by High Resolution FIB Tomography*. Science Direct, Elsevier, Acta Materialia 55: 3875–3882.
- [13]. Manash D., Makhlof M., (2001). *Effect of key Alloying Elements on the Feeding Characteristics of Aluminium-Silicon Casting Alloys*. Journal of Light Metals. 1: 251-265.
- [14]. Lee J.A.. (2003). *Cast Aluminum Alloy for High Temperature Applications*, The Minerals, Metals & Material Society, Toronto, Canada.
- [15]. Lutfi, Sukron (2010). *Pengaruh Magnesium Terhadap Proses Elektroless Coating pada Partikel Penguat SiC*. Departement Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
- [16]. Olivier B. (2002). *Metal Matrix Composites (MMC's)*, Empa, Swiss Federal Laboratories for Material Research and Testing. Dept Material and Technology. Swiss.
- [17]. Peter T.B. (1990). *Engineering Properties of Carbides, Engineered Material Hand Book, vol 4, Ceramics and Glasses*.
- [18]. Randall M., German R. (1991). *Fundamental of Sintering, Ceramic and Glasses, Engineered Materials*. Handbook. Volume 4. ASM International. USA.
- [19]. Saranavanan R.A. (1998). *Dry Sliding Wear Behavior of A356-15 Pct SiCp Composites under Controlled Atmospheric Conditions, Metallurgical and Materials Transactions*. Handbook, New Delhi Press.
- [20]. Swartz M.I. (1984). *Composite Material Handbook*. McGraw Hill, Inc. New York, USA..
- [21]. Sciti D., Bellosi A. (2002). *Microstructure and Properties of Alumina-SiC Nano*

- Composites Prepared from Ultrafine Powders*. Kluwer Academic Publishers.
- [22]. Surdia T., Saito S. (1995) Pengetahuan Bahan Teknik. PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [23]. Widodo R. (2012). Teknik Pengelolaan Bahan Baku Peleburan Aluminium”, Jurnal Foundry Vol. 2 No. 1, ISSN : 2087-225.
- [24]. Zheng R., Sammy L., Ip C. (2000). *Mechanical Properties of Nanometric Particulate Reinforced Aluminium Composites*. School of Materials Science and Engineering, UNSW.
- [25]. Zhongliang S. (2001). *The Oxidation of SiC Particle and Its Interfacial Characteristics in Al-Matrix Composites*. Kluwer Academic Publisher.