



TESIS SF 092006

**STUDI SIFAT MEKANIK KOMPOSIT ALUMINIUM  
BERPENGUAT NANO SILIKA (Al/SiO<sub>2</sub>) HASIL  
FABRIKASI DENGAN METALURGI SERBUK**

HANAFII  
NRP 1110201006

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Moch. Zainuri, M.Si

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN FISIKA MATERIAL  
JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015



THESIS SF 092006

**STUDI SIFAT MEKANIK KOMPOSIT ALUMINIUM  
BERPENGUAT NANO SILIKA (Al/SiO<sub>2</sub>) HASIL  
FABRIKASI DENGAN METALURGI SERBUK**

HANAFI  
NRP 1110201006

SUPERVISOR  
Dr. Moch. Zainuri, M.Si

MAGISTER PROGRAM  
MATERIAL SCIENCE STUDY  
PHYSICS DEPARTMENT  
MATHEMATIC AND NATURAL SCIENCE FACULTY  
SEPULUH NOPEMBER TECHNOLOGY INSTITUTE  
SURABAYA  
2015



THESIS SF 092006

**STUDI SIFAT MEKANIK KOMPOSIT  
ALUMINIUM BERPENGUAT NANO SILIKA  
(Al/SiO<sub>2</sub>) HASIL FABRIKASI DENGAN  
METALURGI SERBUK**

HANAFI  
NRP 1110201006

SUPERVISOR  
Dr. Moch. Zainuri, M.Si

MAGISTER PROGRAM  
MATERIAL SCIENCE STUDY  
PHYSICS DEPARTMENT  
MATHEMATIC AND NATURAL SCIENCE FACULTY  
SEPULUH NOPEMBER TECHNOLOGY INSTITUTE  
SURABAYA  
2015

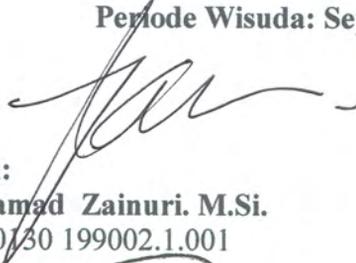
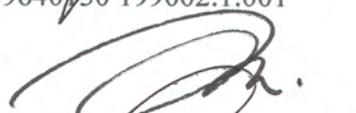
**Tesis disusun untuk salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Sains (M.Si)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya**

**Oleh:  
HANAFI  
NRP. 1110.201.006**

**Tanggal Ujian: 07 Juli 2015**

**Periode Wisuda: September 2015**

**Disetujui oleh:**

-   
1. **Dr. Mochamad Zainuri, M.Si.**  
NIP. 19640130 199002.1.001 (Pembimbing)
-   
2. **Prof. Drs. Suminar Pratapa, M.Sc., Ph.D.**  
NIP. 19660224199002.1.001 (Penguji)
-   
3. **Dr. Mashuri, S.Si., M.Si.**  
NIP. 19691216 199402.1.001 (Penguji)



**Direktur Program Pascasarjana,**

**Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.**

**NIP. 19640405 199002.1.001**

# **STUDI SIFAT MEKANIK KOMPOSIT ALUMINIUM BERPENGUAT NANO SILIKA (Al/SiO<sub>2</sub>) HASIL FABRIKASI DENGAN METALURGI SERBUK**

**Nama Mahasiswa** : Hanafi  
**NRP** : 1110201006  
**Pembimbing** : Dr. Mochamad Zainuri, M.Si.

## **ABSTRAK**

Telah dilakukan pembuatan komposit Al/SiO<sub>2</sub> melalui metode metalurgi serbuk dengan menggunakan Aluminium komersial produk Merk-Germany sebagai matrik yang digabungkan dengan nano silika (SiO<sub>2</sub>) yang diperoleh dari hasil sintesis pasir Bancar Tuban melalui metode koopresipitasi. Fabrikasi komposit dilakukan dengan metode metalurgi serbuk dengan metode pencampuran basah (wet mixing), dengan medium pencampur berupa larutan Butanol, sintering pada temperatur 500 °C selama 2 jam dalam vacuum furnace. dan hasilnya dilakukan beberapa analisa dan uji untuk mengetahui sifatnya, yaitu analisa densitas dan porositas, uji XRD, SEM-EDX, uji kekerasan (Brinell) dan uji tekan . Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari analisa difraksi sinar-X diperoleh komposit Al/SiO<sub>2</sub> pada x = 0% hingga 30% dengan fasa kristal berupa Al dan sedikit Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan SiO<sub>2</sub> yang ditunjukkan oleh peak yang rendah. Peningkatan fraksi volume SiO<sub>2</sub> pada komposit cenderung menurunkan densitas dan meningkatkan porositas. Demikian pula dari hasil uji mekanik yang dilakukan, kuat luluh (Yield Strength =YS), kuat tekan maksimum (UCS) dan modulus elastis (ME) serta kekerasan bahan (BHN) cenderung mengalami penurunan dengan bertambahnya fraksi volume SiO<sub>2</sub> diatas 5% pada komposit Al/SiO<sub>2</sub>. Nilai YS, UCS, ME dan kekerasan bahan memiliki nilai tertinggi ketika fraksi volume SiO<sub>2</sub> dalam komposit adalah 5%.

**Kata kunci:** komposit Al/SiO<sub>2</sub>, nano komposit, aluminium, nanosilika, sifat mekanik.

# **STUDYMECHANIC PROPERTIES OF ALUMINIUM REINFORCED BY SILICA NANO (Al/SiO<sub>2</sub>) COMPOSITES FABRICATED BY POWDER METALLURGY**

**Nama Mahasiswa : Hanafi**  
**NRP : 1110201006**  
**Pembimbing : Dr. Mochamad Zainuri, M.Si**

## **ABSTRACT**

Composites have been fabricated Al/SiO<sub>2</sub> through powder metallurgy method using a Aluminium commercial product by Merck-Germany as matrix combined with nano silica (SiO<sub>2</sub>) obtained from the synthesis Bancar Tuban sand through koopresipitasi method. Fabrication of composites made by powder metallurgy method by the wet mixing method, using the Butanol as medium solution. Sintering at a temperature of 500° C for 2 hours in a vacuum furnace. the result experiments then analyzed and tested to determine its nature. There are density and porosity analyze, test XRD, SEM-EDX and test pressure (Brinell). The results showed that of the X-ray diffraction analysis was obtained composite Al/SiO<sub>2</sub> at x= 0 % to 30 % with a crystalline phase of Al and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> slightly indicated by a low peak. Increasing the volume fraction of SiO<sub>2</sub> on composite tends to decrease density and increase porosity. Similarly, from the results of mechanical tests conducted, yield strength (YS = Yield Strength), compressive strength (CS), the maximum compressive strength (UCS) and elastic modulus (ME) and material hardness (BHN) tends to decrease with increasing volume fraction of SiO<sub>2</sub> the composite. Value YS, CS, ME and hardness of materials has the highest value when the volume fraction of SiO<sub>2</sub> in the composite is 5 % .

**Keywords : Al/SiO<sub>2</sub> composites, nano-composites, aluminum, nanosilika, mechanical properties**

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil'Alamin, segala puji bagi Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah, inayah dan nikmatnya. Serta sholawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan pada nabi Muhammad SAW dan para sahabatnya. Hanya dengan karunia-Nya, penulis mampu menyelesaikan Tesis ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister pada Jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya dengan judul :

### **STUDI SIFAT MEKANIK KOMPOSIT ALUMINIUM BERPENGUAT NANO SILIKA (Al/SiO<sub>2</sub>) HASIL FABRIKASI DENGAN METALURGI SERBUK**

Dengan terselesainya TESIS ini, penulis menyadari masih banyak kelemahan dan kekurangan dalam penyusunan Tesis ini. Seiring dengan mengucapkan syukur, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. **Bapak Dr. Moh Zainuri, M.Si.** selaku dosen wali dan merangkap dosen pembimbing atas bimbingan, perhatian, motivasi dan masukannya.
2. **Bapak Dr. Mashuri, S.Si., M.Si.** selaku dosen penguji dan atas saran-sarannya
3. **Bapak Prof. Drs. Suminar Pratapa, M.Sc., Ph.D.** selaku dosen penguji dan atas masukannya.
4. **Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.** selaku ketua jurusan Fisika FMIPA ITS, atas bantuan dan kebijakannya.
5. **Bapak Prof. Eddy Yahya, MSc., Ph.D.** selaku ketua program studi Pasca Sarjana Fisika ITS, atas arahan, saran dan motivasinya
6. **Bapak-bapak dan ibu-ibu** bagian tata usaha Jurusan Fisika FMIPA-ITS, yang selama ini memberikan bantuan berupa informasinya dan pelayanannya.

7. **Segenap staf pengajar dan karyawan** Jurusan Fisika-ITS, atas bantuan dan saran-sarannya.
8. **Bapak Dr. Munasir, M.Si.** dan **Sdri. Wahyu Setyaningsih, S.Si, M.Si.** selaku team kerja kelompok yang selama ini saling membantu dalam melakukan penelitian.
9. **Istri dan anak-anakku** yang selama ini atas dukungan dan perhatiannya
10. **Bapak Drs. Fathur Rohim, M.M.** mantan kepala sekolah SMA Muhammadiyah 2 Surabaya, yang atas kebijakannya mengizinkan saya untuk menempuh studi S2 di Jurusan Fisika ITS.
11. **Mas'ad Fachir, S.Kom, M.MT.** selaku kepala sekolah SMA Muhammadiyah 2 Surabaya yang telah banyak membantu atas terselesainya studi saya di Jurusan Fisika FMIPA ITS.
12. Teman-teman rekan kerja di SMA Muhammadiyah 2 Surabaya; **Cicik Wuri Handayani S.Si., M.Pd., Catur Yuli, S.Si, M.Pd., Ratnawati S.Si., Drs. Eddy Supranoto, Budi Astarjo S.Si., Supriyanto, S.Si., Ratna Yulia, S.Si.** dan masih banyak lagi yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas dukungan dan dorongan semangatnya.

Demikian terima kasih atas bantuan dari semua pihak, mudah-mudahan Allah SWT membalas semua amal-an Bapak dan Ibu. Dengan segala kekurangan dan kesempurnaan ini, saya berharap Penelitian (Tesis) ini dapat bermanfaat dan manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juli 2015

**Penulis**

## DAFTAR ISI

|   |     |
|---|-----|
| ABSTRAK.....  | iii |
| KATA PENGANTAR.....   | v   |
| DAFTAR ISI.....   | vii |
| DAFTAR GAMBAR.....  | ix  |
| DAFTAR TABEL.....   | xi  |
| DAFTAR LAMPIRAN.....  | xii |
| BAB 1_PENDAHULUAN.....  | 1   |
| 1.1 Latar Belakang.....   | 1   |
| 1.2 Rumusan Masalah.....  | 2   |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....  | 2   |
| 1.4 Batasan Masalah.....  | 2   |
| 1.5 Sistematika Laporan.....  | 2   |
| BAB 2_TINJAUAN PUSTAKA.....   | 5   |
| 2.1Metal Matrix Composite (MMC).....  | 5   |
| 2.2 Interfasial Komposit MMC dan Kemampubasahan ( <i>Wettability</i> ).....           | 6   |
| 2.2.1 Antarmuka (Interfasial) Komposit MMC.....                                       | 6   |
| 2.2.2 Kemampubasahan ( <i>Wettability</i> ).....                                      | 7   |
| 2.3 Komposit dan Sifat Mekanik Komposit Isotropik.....                                | 7   |
| 2.4 Metode Kopresipitasi.....   | 9   |
| BAB 3 11METODOLOGI PENELITIAN.....  | 11  |
| 3.1 Bahan.....  | 11  |
| 3.2 Peralatan.....  | 11  |
| 3.3 Prosedur penelitian.....  | 12  |
| 3.4 Sintesis nano-silika dari pasir bancar Tuban dengan Metode<br>Koopresipitasi..... | 13  |
| 3.5 Pembuatan Komposit Al/SiO <sub>2</sub> .....                                      | 14  |
| 3.6 Karakterisasi bahan komposit Al/SiO <sub>2</sub> .....                            | 19  |
| 3.6.1 Karakterisasi Densitas.....   | 20  |
| 3.6.2 Karakterisasi Porositas.....  | 20  |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.6.3 XRD .....   | 21        |
| 3.6.4 SEM .....   | 21        |
| 3.7 Pengujian Mekanik.....  | 22        |
| 3.7.1 Pengujian kekerasan (menggunakan metode Brinell).....   | 22        |
| 3.7.2 Pengujian Tekan ( <i>Compression Test</i> ).....  | 22        |
| <b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>   | <b>25</b> |
| 4.1 Analisis Nano Silika (SiO <sub>2</sub> ) .....  | 25        |
| 4.2 Analisis pengaruh komposisi pengisi (filler) SiO <sub>2</sub> terhadap<br>densitas komposit Al/SiO <sub>2</sub> ..... | 27        |
| 4.3 Analisis porositas terhadap fraksi volume SiO <sub>2</sub> .....  | 28        |
| 4.4 Analisa Sifat Mekanik Bahan Komposit Al/SiO <sub>2</sub> .....  | 29        |
| 4.5 Analisa struktur dan Fasa kristalin komposit Al/SiO <sub>2</sub> .....  | 34        |
| 4.6 Analisa Mikrostruktur Komposit Al/SiO <sub>2</sub> .....  | 37        |
| <b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>   | <b>41</b> |
| 5.1 .Kesimpulan.....  | 41        |
| 5.2 Saran .....   | 41        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>  | <b>43</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Pembuatan Komposit Al/SiO <sub>2</sub> .....  | 12 |
| Gambar 3.2 Bentuk sampel Al/SiO <sub>2</sub> .....   | 16 |
| Gambar 3.3 Furnace Dengan Pemompa Udara (Laboratorium Zat Padat ITS).....  | 19 |
| Gambar 3.4 (A) Sampel Al/SiO <sub>2</sub> (B) Display Hasil Pengukuran Uji Tekan.....  | 23 |
| Gambar 4.1 Pola Difraksi Silika (SiO <sub>2</sub> ): (a) XRD dan (b) Difraksi Elektron.....  | 26 |
| Gambar 4.2 Hasil Karakterisasi Ukuran Partikelsilika (SiO <sub>2</sub> ) Dengan TEM.....   | 27 |
| Gambar 4.3 Grafik Densitas Teoritis Dan Densitas Sinter Terhadap Fraksi<br>Volume SiO <sub>2</sub> (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30%) .....  | 28 |
| Gambar 4.4 Grafik Porositas Dan Densitas Sinter Bahan Komposit Al/SiO <sub>2</sub><br>Terhadap Fraksi Volume SiO <sub>2</sub> (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%<br>dan 30%) .....                            | 29 |
| Gambar 4.5 Grafik Kekerasan Komposit Al/SiO <sub>2</sub> Terhadap Fraksi Volume<br>SiO <sub>2</sub> (5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30%).....  | 30 |
| Gambar 4.6 Grafik Kekerasan Dan Porositas Terhadap Fraksi Volume SiO <sub>2</sub><br>(0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% Dan 30%) .....  | 31 |
| Gambar 4.7 Grafik Ultimate Compression Strength Dan Modulus Elastis<br>Terhadap Fraksi Volume SiO <sub>2</sub> (5%, 10%, 15%, 20%, 25% Dan<br>30%) .....   | 32 |
| Gambar 4.8 Mapping Distribusi SiO <sub>2</sub> Unsur Atomik (Al,Si,O) Sampel Fraksi<br>Volume SiO <sub>2</sub> (A) 15% Dan (B) 25%. (Al = Warna Hijau,<br>O = Warna Merah Dan Si = Warna Biru ). ..... | 34 |
| Gambar 4.9 Fasa Al/SiO <sub>2</sub> Pada Fraksi Volume SiO <sub>2</sub> (5%, 10%, 15%, 20%,<br>25% dan 30%).....   | 35 |
| Gambar 4.10 Profil EDX Komposit Al/SiO <sub>2</sub> Pada Fraksi Volume SiO <sub>2</sub><br>(15%).....  | 36 |
| Gambar 4.11 Fasa (SiO <sub>2</sub> Dan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) Hasil SEM Komposit Al/SiO <sub>2</sub> Pada<br>Fraksi Volume SiO <sub>2</sub> (25%) .....                                      | 37 |
| Gambar 4.12 Profil SEM Komposit Al/SiO <sub>2</sub> Dengan Pada Fraksi Volum SiO <sub>2</sub>  |    |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 4.12 Profil SEM Komposit Al/SiO <sub>2</sub> Dengan Pada Fraksi Volum SiO <sub>2</sub> (25%). Anglomerasi Terjadi Pada Batas Butir Dan Menyebabkan Rongga . . . . .                 | 38 |
| Gambar 4.13 Profil EDX Komposit Al/SiO <sub>2</sub> Dengan Fraksi Volum SiO <sub>2</sub> (25%) Pada Daerah Batas Butir. Tiga Lokasi Yang Di Scan Didominasi Oleh Atom Al,Si Dan O. . . . . | 38 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 3.1 Kandungan Pasir Bancar Tuban Sebelum Sintesis .....                                 | 13 |
| Tabel 3.2 Kandungan Pasir Bancar Tuban Setelah Sintesis Dan Uji XRF<br>(Surahmat, 2011) ..... | 13 |
| Tabel 3.3 Massa Dan Massa Jenis Teori Perhitungan (Kualitatif).....                           | 18 |

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Aluminium merupakan logam yang sangat luas pemanfaatannya setelah baja. Pemilihan dan pemanfaatan bahan Aluminium yang yang luas tersebut, berdasarkan pada sifat Aluminium, yang ringan, tahan korosi, kekuatan dan kelenturan (*ductile*) yang cukup baik, mudah diproduksi, mudah dibentuk (*decorative*) dan ekonomis. Aluminium sebagai material teknik yang monolitik masih banyak keterbatasan sifatnya, terutama sifat kekerasan dan mekaniknya. Oleh karena itu, para peneliti mencari cara untuk merekayasa bahan Aluminium agar memiliki sifat yang baik dan sesuai kebutuhan. Salah satu cara saat ini yang mudah prosesnya adalah dengan teknik komposit. Komposit merupakan teknik yang menggabungkan antara dua buah material atau lebih untuk menghasilkan material baru dengan mempertimbangkan sifat sifat baik yang diperlukan. MMC (*metal Matrix Composites*) merupakan material komposit yang menggunakan logam sebagai matriknya dan pada saat ini yang banyak diteliti adalah komposit yang menggunakan Aluminium sebagai matrik.

Penelitian yang memanfaatkan Aluminium sebagai matrik telah dilakukan dengan menambahkan penguat (*filler*) yang berbasis keramik, seperti alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), silikon karbida (SiC), periklas (MgO) dan silika ( $\text{SiO}_2$ ). Sifat kekerasan dan mekanik aluminium meningkat ketika aluminium (Al) secara komposit dipadukan dengan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), silikon karbida (SiC) dan periklas (MgO) (Kheder dan Marahleh, 2011). Demikian pula sifat kekerasan dan sifat mekanik aluminium meningkat ketika dipadukan dengan Silika ( $\text{SiO}_2$ ) komersial dan pasir Silika ukuran mikron (Zuhailawati dan Samayamtthrian, 2007), Aluminium paduan (*Alloy*) dengan kode LM6 yang dipadukan dengan silika berukuran nano (Sayuti dan Sulaiman, 2011) dan aluminium dengan silika komersil berukuran mikron (Rizkalla dan Abdulwahed, 1996).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan para peneliti, maka pada tesis ini mencoba mengamati sifat Kekerasan dan Mekanik bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub>, dengan memakai aluminium komersil produksi *Merck Germany* sebagai matriknya dan penguatnya menggunakan silika (SiO<sub>2</sub>) orde nano yang diperoleh hasil sintesis pasir Bancar Tuban yang proses melalui metode kopresipitasi. Fabrikasinya menggunakan metode Metalurgi serbuk dengan proses pencampurannya dengan pencampuran basah (*Wet Mixing*) dengan menggunakan larutan polar Butanol.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Pada penelitian ini di fokuskan pada pembuatan komposit Al/SiO<sub>2</sub> melalui fasa padat (*Metalurgi Serbuk*) dengan memvariasikan fraksi volume SiO<sub>2</sub>. Penguat SiO<sub>2</sub> dibuat melalui metode kopresipitasi dicapai orde nano dengan bahan pasir Bancar Tuban.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian pada tesis ini adalah:

1. Pembuatan komposit Al/SiO<sub>2</sub>, yang penguatnya mempunyai orde nano
2. Mengetahui pengaruh fraksi volume SiO<sub>2</sub> pada komposit Al/SiO<sub>2</sub> yang diproses melalui fasa padat (metalurgi serbuk) terhadap sifat fisis dan mekaniknya

## **1.4 Batasan Masalah**

Pada penelitian tesis ini terdapat beberapa batasan masalah :

1. Bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> dalam bentuk serbuk Aluminium (merck-Germany) berukuran 5 mikron dan serbuk silika nano hasil sintesis kopresipitasi pasir bancar Tuban
2. Proses pembuatan komposit melalui metalurgi serbuk dalam keadaan padat

## **1.5 Sistematika Laporan**

Laporan penelitian tesis ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan:  
Menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan
2. Bab II Tinjauan Pustaka:  
Menjelaskan teori yang berkaitan dengan penelitian tesis
3. Bab III Metodologi Penelitian:  
Membahas cara cara yang dipergunakan dalam melakukan penelitian sehingga mendapatkan hasil sesuai tujuan
4. Bab IV Hasil dan Pembahasan:  
Membahas Hasil dari penelitian
5. Bab V Kesimpulan dan Saran:  
Membahas kesimpulan mengenai penelitian dan saran

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Metal Matrix Composite (MMC)

*Metal Matrix Composites* (MMC) adalah Komposit yang mempergunakan logam sebagai matrik yang berupa unsur (*elemen*) atau paduan (*Alloy*) yang dipadukan dengan bahan pengisi (*filler*) untuk menghasilkan sifat-sifat yang diharapkan (M. Sayuti, S. Sulaiman, dkk, 2010). MMC yang populer difabrikasi pada saat ini adalah memanfaatkan Aluminium (Al) sebagai matrik. Pemilihan Aluminium sebagai matrik dipilih berdasarkan sifat-sifat Aluminium yang memiliki sifat unggul dibandingkan dengan logam lainnya, yaitu *densitasnya rendah, kemampuan penguatan dengan presipitasi, ketahanan korosi yang sangat baik, konduktivitas termal dan listriknya dan kemampuan dampungnya yang baik*. MMC termasuk komposit isotropik yang partikulit, karena penguatnya tersebar merata pada matrik, sehingga distribusi penguatannya sama ke segala arah. Komposit partikulit pada umumnya keuletan (*ductility*) dan ketangguhan (*failure toughness*) menurun dengan semakin tingginya fraksi volume (Widyastuti, dkk. 2008). Komposit partikulit ketangguhannya lebih rendah dari pada komposit beserat panjang, akan tetapi komposit partikulit sering lebih unggul ketahanan aus (*wear resistant*). Untuk meningkatkan modulus dan kekuatannya (*Strength*), MMC biasanya dipadukan dengan material keramik. Material keramik secara umum merupakan material porus, yang berpengaruh terhadap sifat mekaniknya. Secara teoritik korelasi porositas terhadap modulus elastis komposit dapat didekati dengan model *minimum contact area* (MCA) yang menganggap kekuatan partikel tergantung pada luas kontak minimum partikel. Sesuai dengan model tersebut maka sifat mekanik material akan menurun secara eksponensial dengan peningkatan fraksi volume porositas sesuai dengan persamaan *Sprigg's* (Nyongesa, 2004). Al/SiO<sub>2</sub> merupakan komposit MMC yang memadukan antara Aluminium (Al) sebagai matrik dan Silika (SiO<sub>2</sub>) sebagai penguat. Fabrikasi Al/SiO<sub>2</sub> untuk mempelajari

karakterisi kekuatannya, kekerasan dan modulus elastisnya telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Misalnya fabrikasi Aluminium dipadukan dengan Silika komersial dan pasir silika (Zuhailawati dan Samayamthrian, 2007), begitu pula Aluminium paduan (alloy) kode LM6 dipadukan dengan Silika orde nano (Sayuti dan Sulaiman, 2011). Sifat sifat komposit berubah bergantung pada ukuran, bentuk dan jumlah fasa filler yang digunakan (Sayuti et al, 2010; Sulaiman et al, 2008). Pada komposit bermatrik logam (MMC), pemilihan matrik dan penguat adalah salah satu faktor yang penting (Ashby and Jones, 1980). MMC berpenguat diskontinu atau komposit berpenguat partikel, menempati 5-20 % material yang telah dikembangkan (Gay et al, 2003).

## **2.2 Interfasial Komposit MMC dan Kemampubasahan (*Wettability*)**

### **2.2.1 Antarmuka (Interfasial) Komposit MMC**

Proses fabrikasi penggabungan dua material yang memiliki sifat dan jenis yang berbeda yang menyebabkan terjadinya ikatan antar muka (*interfacial bonding*) merupakan persyaratan sebagai material komposit. Permasalahan yang terjadi pada proses fabrikasi komposit MMC yang menggabungkan logam sebagai matrik dan keramik sebagai penguat (*reinforcement*) adalah interaksi antar muka (*interfacial*) antara matrik dan penguat yang memiliki kemampubasahan (*wettability*) yang rendah. Antar muka dapat diartikan sebagai suatu daerah planar dengan ketebalan hanya beberapa atom, dimana pada daerah ini terjadi perubahan sifat dari matrik ke penguat atau terdapat ketidak-kontinyuan sifat kimia, struktur kristal atau molekular, sifat mekanis dan sifat lainnya. Interfasial antara matrik dan penguat memegang peranan sangat dominan menentukan ikatan permukaan kuat atau lemah (Singh et al, 2001). Interfasial antara matrik dan penguat memegang peranan penting pada MMC, karena sebagai pengontrol pemindahan beban antara matrik dan penguat. Sifatnya bergantung pada komposisi matrik, sifat dari penguat (*filler*), metode fabrikasi yang dilakukan dan perlakuan panas (*thermal treatments*) pada komposit. Untuk komposit yang berbentuk partikel (*particulate*) baik matrik maupun penguatnya, proses pencampuran kemungkinan dapat menyebabkan terjadinya perubahan komposisi matrik dan menghasilkan

reaksi antar muka, sehingga pada akhirnya akan mengubah sifat mekanik bahan komposit. sifat sifat antarmuka juga dipengaruhi hambatan terhadap perambatan *crack* pada komposit dan merusak ketangguhannya (Dusza dan Sajgalik, 1995).

### **2.2.2 Kemampubasahan (*Wettability*)**

Kemampuanbasah atau keterbasahan diartikan sebagai kemampuan cairan (*liquid*) untuk melekat pada permukaan suatu padatan. Pembasahan hanya akan terjadi jika viskositas matrik tidak terlalu tinggi. Pembasahan mengakibatkan penurunan energi bebas sistem dan dipengaruhi oleh temperatur, waktu kontak dan tekanan atmosfer (Ariati, 2006). Permasalahan yang terjadi pada komposit logam (MMC) yang berpenguat keramik adalah rendahnya kekuatan ikatan permukaan antara matrik dan penguat. Hal ini ditunjukkan dengan *wettability* antar partikel yang sangat rendah. Kemampubasahan sangat berpengaruh pada proses terjadinya ikatan partikel partikel pada suatu komposit. Rendahnya keterbasahan pada komposit, menyebabkan rendahnya terjadinya ikatan antarmuka pada partikel partikel komposit dan sebaliknya. Matrik yang membasahi partikel penguat, akan terjadi ikatan antara matrik dan penguat (Hasim, et al, 2001; Oh et al, 1987). Terjadi macam macam ikatan yaitu ikatan mekanik, elektrostatik, kimia dan ikatan inter difusi (Burr et al, 1995). Kuat ikatan dapat diukur dengan conducting test, bulk specimen test dan micro-indentation test (Dusza dan Sajgalik, 1995).

### **2.3 Komposit dan Sifat Mekanik Komposit Isotropik**

Komposit isotropik merupakan komposit yang penguatnya memberikan penguatan sama pada segala arah (baik secara transversal maupun longitudinal). Sehingga segala pengaruh tegangan atau regangan dari luar akan mempunyai nilai kekuatan yang sama. Selain orientasi penguat, fraksi volume penguat, ukuran dan bentuk partikel berpengaruh dalam menentukan atau memprediksi nilai kekuatan bahan komposit yang dibuat (Suery dan Esperance, 1993). *Metal Matrix Composites* (MMC) merupakan termasuk jenis komposit partikulit. Komposit MMC biasanya dipadukan dengan penguat dari keramik. Al/SiO<sub>2</sub> merupakan

komposit MMC yang isotropik (M. Sayuti et al, 2010). Karakteristik bahan komposit MMC ditentukan oleh mikrostruktur dan interfasial internal ketika difabrikasi dan perlakuan termal. Komposisi kimia, ukuran grain, presipitasi dan cacat kisi merupakan fenomena yang menonjol dalam mempengaruhi sifat mekanik matrik. Penguat yang dikenal juga sebagai fasa kedua (*second phase*) dikarakterisasi berdasarkan prosentasi fraksi volume, jenis, ukuran, distribusi dan orientasi penguat. Dengan mengetahui karakterisasi komponen pembentuk material komposit, memungkinkan mengestimasi karakterisasi komposit MMC yang difabrikasi. Pada bahan komposit isotropik yang pengaruh tegangan atau regangan dalam segala arah sama. Hubungan antara modulus elastis matrik dan penguat terhadap efek modulus elastis komposit secara longitudinal (*iso-strain*) dinyatakan oleh persamaan:

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m \quad (2.1)$$

Sedangkan efek modulus elastis kearah transversal (*iso-stress*) dinyatakan:

$$E_c = \frac{E_m E_f}{E_f V_m + E_m V_f} \quad (2.2)$$

Dimana :

$E_c$  = Modulus elastis komposit (GPa)

$E_m$  = Modulus elastis matrik (GPa)

$E_f$  = Modulus elastis penguat/filler (GPa)

$V_m$  = fraksi volume matrik (%)

$V_f$  = fraksi volume filler (%)

Persamaan (2.1) dan (2.2) dikenal sebagai hukum pencampuran (*Rule of Mixture*). Penguatan pada arah transversal sebagai penguat paling lemah disebut *lower bound*, sedangkan penguatan arah longitudinal sebagai penguatan paling kuat disebut *upper lower*.

Keterkaitan besar modulus elastisitas isotropik dengan fraksi volume penguat dinyatakan oleh persamaan (Zainuri, M., 2008).

$$E_c = \frac{E_m (1 + 2S_q V_f)}{1 - qV_f} \quad (2.3)$$

Dimana :

$$q = \frac{\left(\frac{E_f}{E_m}\right) - 1}{\left(\frac{E_f}{E_m}\right) + 2S} \quad (2.4)$$

Dengan S adalah geometri fiber, merupakan ratio dari panjang (L) dan diameter (D) dari penguat.

## 2.4 Metode Kopresipitasi

Metode kopresipitasi adalah salah sintesis senyawa anorganik yang berdasarkan pengendapan lebih dari satu substansi secara bersama-sama ketika melewati titik jenuhnya. Metode kopresipitasi adalah proses yang berlangsung pada temperatur rendah dan berlangsung cepat dan mudah untuk mengontrol ukuran partikelnya. Beberapa zat yang pada umumnya digunakan untuk proses pengendapan adalah *hidroksida, karbonat, sulfat* dan *oksalat*. Kopresipitasi merupakan salah satu metode basah yang melibatkan reaksi kimia didalamnya dan digunakan untuk fabrikasi serbuk nanokristalin yang salah satunya adalah silika (SiO<sub>2</sub>). Pada proses kopresipitasi serbuk pasir Bancar Tuban, serbuk dasar dilarutkan dalam larutan asam kuat dan menghasilkan produk garam metal (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>). Garam metal yang dihasilkan selanjutnya diendapkan dengan cara mencampur NaOH. Dengan titrasi selanjutnya dihasilkan gel dan melalui proses pemanasan dengan cara menyinari dengan lampu pada akhirnya diperoleh serbuk silika (SiO<sub>2</sub>) orde nano.

## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Untuk memfabrikasi bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub>, diperlukan beberapa bahan dan alat sebagai berikut:

#### **3.1 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

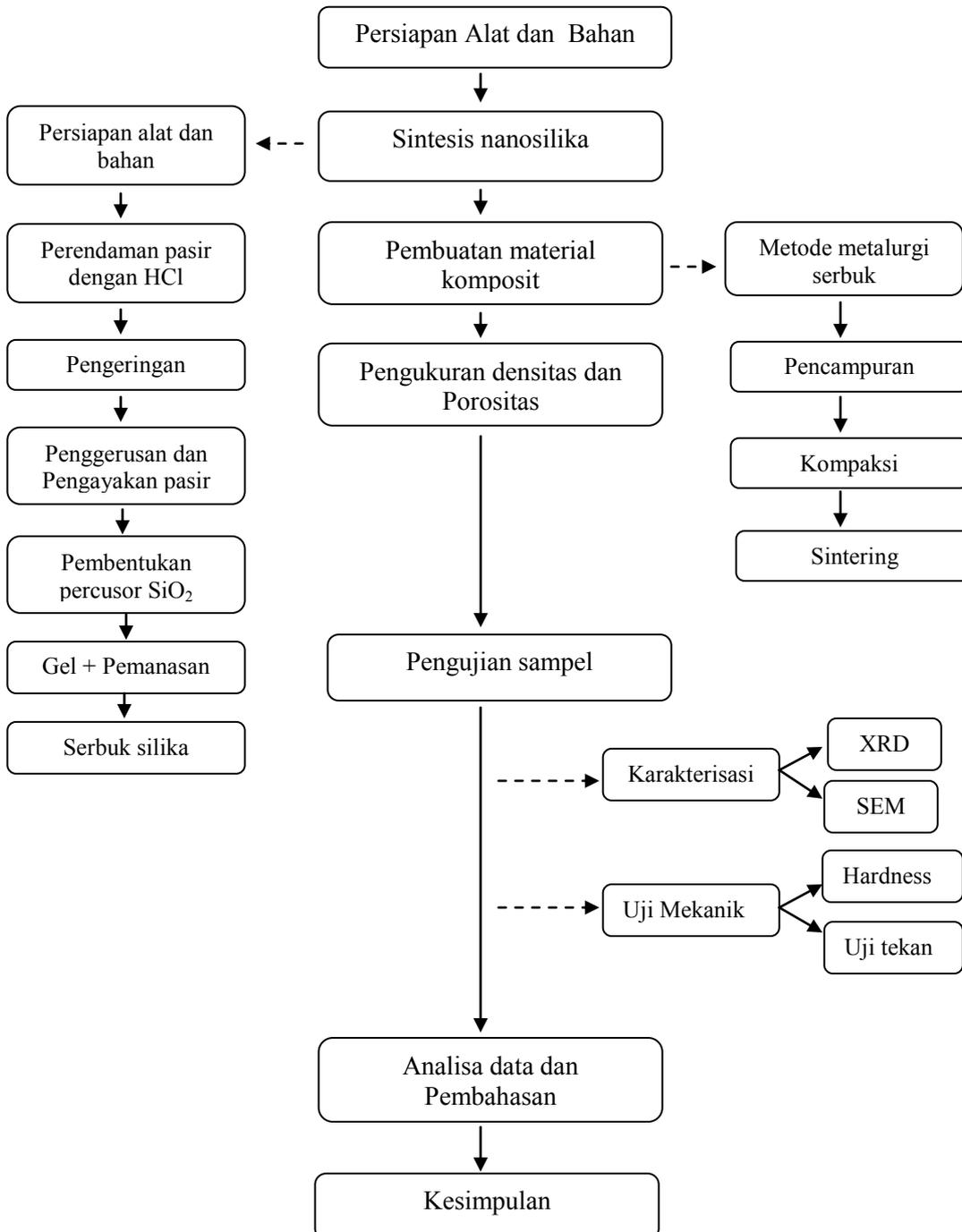
1. Pasir Bancar Tuban
2. Asam Klorida (HCl) 37%
3. Natrium Hidroksida (NaOH)
4. Aquades
5. Kertas saring
6. Aluminium
7. Butanol
8. Kertas lakmus
9. Ayakan ukuran T-61

#### **3.2 Peralatan**

Penelitian ini menggunakan peralatan sebagai berikut :

1. Gelas ukur 500 ml
2. Spatula
3. pH meter digital
4. Alat cetak sampel
5. Mortal
6. Kawat penggantung
7. Ampelas
8. Stirer
9. Vakum furnace
10. Neraca digital

### 3.3 Prosedur penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Pembuatan Komposit Al/SiO<sub>2</sub>

### 3.4 Sintesis nano-silika dari pasir bancar Tuban dengan Metode Koopresipitasi

Sebelum pembuatan komposit Al/SiO<sub>2</sub>, pertama-tama dilakukan pembuatan serbuk nano silika (SiO<sub>2</sub>) yang didapatkan dengan cara mensintesis dari pasir Bancar Tuban yang diproses melalui metode koopresipitasi.

Tabel 3.1 Kandungan Pasir Bancar Tuban Sebelum Sintesis

| Unsur | Pasir Bancar (wt%) |
|-------|--------------------|
| Si    | 69,3               |
| K     | 4,52               |
| Ca    | 7,50               |
| Ti    | 0,55               |
| Mn    | 0,20               |
| Fe    | 2,01               |
| Cu    | 0,095              |
| Br    | 15                 |
| Ba    | 0,43               |

Tabel 3.2 Kandungan Pasir Bancar Tuban Setelah Sintesis Dan Uji XRF (Surahmat, 2011)

| Unsur | Prosentase berat % (7M) |        |        |
|-------|-------------------------|--------|--------|
|       | PH 1-2                  | PH 4-5 | PH 7-8 |
| Si    | 95,4                    | 95,6   | 95,0   |
| K     | 0,1                     | 0,25   | 0,16   |
| Ca    | 0,98                    | 1,1    | 1,0    |
| Ti    | 0,77                    | 0,70   | 0,81   |
| V     | 0,05                    | 0,04   | 0,05   |
| Cr    | -                       | 0,086  | -      |
| Mn    | 0,11                    | 0,13   | 0,14   |
| Fe    | 2,44                    | 1,6    | 2,68   |
| Cu    | 0,11                    | 0,12   | 0,11   |
| Br    | -                       | -      | -      |
| Ba    | -                       | 0,4    | -      |

Adapun langkah-langkahnya sintesis nano silika adalah sebagai berikut: pasir yang diperoleh dari pantai Bancar Tuban mempunyai tingkat kekesaran yang cukup besar, untuk itu perlu dilakukan penggerusan agar didapatkan ukuran partikel pasir silika yang agak halus. Pasir hasil gerusan kemudian diperhalus kembali dengan melakukan pengayakan dengan menggunakan ayakan ukuran T-

61 (kain sablon) agar diperoleh keseragaman ukuran partikel. Silika mengandung senyawa pengotor yang terbawa selama proses pengendapan. Untuk menghilangkan pengotor, maka pasir silika hasil ayakan, direndam dalam larutan HCl (37%) selama 12 jam. Setelah proses perendaman dalam larutan HCl, kemudian dicuci dengan aquades dan dikeringkan. Berikutnya pasir ditimbang sekitar 10-12 gram dan direndam dalam larutan HCl-2M selama 12 jam. Hasil rendaman selanjutnya dikeringkan dan ditimbang sebanyak 4 gram untuk proses pembuatan Sodium Silikat. massa yang telah ditimbang selanjutnya direndam dalam larutan NaOH 60 ml dengan molaritas 7 M sambil diputar dengan stirer selama 2 jam pada temperatur  $80^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}$  dan hasilnya kemudian disaring untuk mendapatkan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  yang disebut *Sodium Silikat*. Larutan Sodium Silikat kemudian dititrasi dengan larutan HCl-2M hingga terbentuk gel yang berwarna putih kekuningan dan terakhir dikeringkan dengan lampu 100 Watt untuk menghasilkan serbuk silika.

### 3.5 Pembuatan Komposit Al/SiO<sub>2</sub>

Pembuatan komposit Aluminium nano-silika (Al/SiO<sub>2</sub>) dilakukan dengan metode solid proses (*metalurgi serbuk*) yang melalui beberapa tahapan, yaitu: pencampuran (*mixing*), penekanan (*compacting*) dan pemanasan (*sintering*) Sebelum dilakukan pecampuran, pertama tama yang dilakukan menentukan massa komposit yang akan dibuat, yaitu dengan cara menentukan massa matrik dan penguat. Untuk menentukan massa matrik dan penguat langkahnya adalah sebagai berikut:

#### 1. Tahap penentuan massa fraksi volume matrik (Al) dan penguat (SiO<sub>2</sub>) sebagai berikut.

- a. Massa matrik (Al) ditentukan sebagai berikut: didefinisikan bahwa fraksi volume matrik ( $V_m$ ) adalah hasil bagi antara volume matrik ( $v_m$ ) dan volume komposit ( $v_c$ ) atau dituliskan:

$$V_m = \frac{v_m}{v_c}$$

- Massa jenis matrik:  $\rho_m = \frac{m_m}{v_m}$   
 $m_m = V_m \rho_m v_c$

- Sehingga massa matrik diperoleh dari:

$$m_m = V_m \rho_m v_c \quad (3.1)$$

Dengan:

$m_m$  = massa matrik

$v_m$  = fraksi volume matrik

$\rho_m$  = massa jenis matrik

$v_c$  = volume komposit yang dibuat

- b. Dengan langkah yang sama, fraksi volume penguat ( $V_f$ ) didefinisikan sebagai hasil bagi antara volume penguat ( $v_f$ ) dan volume komposit ( $v_c$ ) atau dituliskan:

$$V_f = \frac{v_f}{v_c}$$

Massa jenis matrik:  $\rho_f = \frac{m_f}{v_f}$

Sehingga massa matrik diperoleh dari:

$$m_f = V_f \rho_f v_c \quad (3.2)$$

Dengan:

$m_f$  = massa matrik

$V_f$  = fraksi volume matrik

$\rho_f$  = massa jenis matrik

$v_c$  = volume komposit yang dibuat

c. Massa komposit dapat ditentukan sebagai berikut:

$$m_c = m_m + m_f \quad (3.3)$$

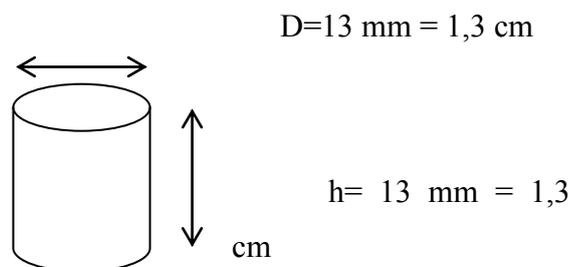
Atau:

$$m_c = V_m \rho_m v_c + V_f \rho_f v_c \quad (3.4)$$

Sedangkan massa jenis komposit teoritik:

$$\rho_c = V_m \rho_m + V_f \rho_f \quad (3.5)$$

Dari referensi diketahui massa jenis aluminium merkck adalah  $2,69 \text{ gr/cm}^3$  dan massa jenis  $\text{SiO}_2$  adalah  $2,27 \text{ gr/cm}^3$ . Untuk dapat menghitung massa matrik dan penguat yang harus diketahui lebih dahulu adalah volume komposit yang akan dibuat. Berhubung volume komposit yang akan dibuat mengacu pada jenis uji mekanik yang akan dilakukan yaitu berbentuk selinder dengan diameter yang sebanding dengan tinggi selinder. Maka volumenya dapat dihitung sebagai berikut:



Gambar 3.2 Bentuk sampel Al/SiO<sub>2</sub>

yaitu:  $h \approx D$

$$\begin{aligned}v_c &= (\pi D/2)^2 \cdot h = \pi D^3 / 4 \\ &= (3,14) (1,3)^3 / 4 \\ &= 1,7246 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

Setelah volume komposit diketahui, maka dapat ditentukan massa matrik dan penguat pada setiap fraksi volume yang akan dibuat. Misalkan akan dibuat komposit yang fraksi volume SiO<sub>2</sub> (5%). Maka  $V_m = 95\% = 0,95$  dan  $V_f = 5\% = 0,05$ , sehingga massa matrik dan penguat yang harus dibuat sebagai berikut:

- Massa matrik:

$$\begin{aligned}m_m &= V_m \rho_m v_c = (0,95)(2,69)(1,7246) \\ &= 4,4072 \text{ gram}\end{aligned}$$

- Massa penguat:

$$\begin{aligned}m_f &= V_f \rho_f v_c = (0,05)(2,27)(1,7246) \\ &= 0,1957 \text{ gram}\end{aligned}$$

- Massa komposit:

$$\begin{aligned}m_c &= m_m + m_f \\ &= 4,4072 + 0,1957 \\ &= 4,6029 \text{ gram}\end{aligned}$$

- Massa jenis teori komposit:

$$\begin{aligned}\rho_c &= \frac{m_c}{v_c} \\ &= 4,6029 / 1,7246 \\ &= 2,688 \text{ gr/cm}^3\end{aligned}$$

Secara lengkap hasil perhitungan massa dan massa jenis komposit Al/SiO<sub>2</sub> seperti pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Massa Dan Massa Jenis Teori Perhitungan (Kualitatif)

| Aluminium<br>(Matrik=m) |       | Silika (Filler=f) |       | Massa<br>Komposit<br>( $m_c$ ) (gr) | Massa jenis<br>Komposit<br>( $\text{gr/cm}^3$ ) |
|-------------------------|-------|-------------------|-------|-------------------------------------|---|
| $V_m$                   | $m_m$ | $V_f$             | $m_f$ |                                     |   |
| 95%                     | 4,407 | 5%                | 0,196 | 4,603                               | 2,688   |
| 90%                     | 4,175 | 10%               | 0,391 | 4,566                               | 2,686   |
| 85%                     | 3,943 | 15%               | 0,587 | 4,530                               | 2,684   |
| 80%                     | 3,711 | 20%               | 0,783 | 4,494                               | 2,682   |
| 75%                     | 3,479 | 25%               | 0,979 | 4,458                               | 2,680   |
| 70%                     | 3,248 | 30%               | 1,174 | 4,422                               | 2,678   |

## 2. Tahap pencampuran matrik (Al) dan penguat ( $\text{SiO}_2$ ) dalam larutan Butanol:

Massa matrik dan penguat yang telah ditentukan diatas, selanjutnya perlu dilakukan proses pencampuran. Matrik Aluminium merupakan logam yang mudah teroksidasi, oleh karena itu untuk menghindari adanya oksidasi antara Aluminium dengan oksigen selama proses pencampuran, maka proses pencampuran dilakukan dalam larutan Butanol. Larutan Butanol-Aluminium lalu diputar dengan stirer selama 1 jam, dengan tujuan agar Aluminium bercampur secara homogen dengan larutan Butanol, kemudian penguat silika ( $\text{SiO}_2$ ) dimasukan dan diputar selama 1 jam untuk mencapai campuran yang homogen antara matrik dan penguat. Proses terakhir adalah proses pengeringan dalam furnace selama 24 jam dengan temperatur 140 °C.

## 3. Tahap proses penekanan

Penekanan (*Compacting*) adalah proses pemberian tekanan pada serbuk komposit dalam cetakan (die) agar menjadi sampel dengan bentuk tertentu sesuai dengan bentuk cetakan. Ketika dilakukan proses pekanan, dinding cetakan diberi minyak pelumas agar tidak terjadi penempelan serbuk komposit pada dinding cetakan. Ketika dalam proses penekanan , komposit yang dicetak akan mengalami deformasi dari elastis menjadi plastis. Untuk mendapatkan struktur bola-bola ,besar penekanan yang dilakukan nilainya harus dibawah nilai *Yield Strength* matrik dan penguat. Dari referensi diketahui bahwa komposit Al/ $\text{SiO}_2$  , Aluminium sebagai matrik nilai Yield

Strength nya 25 MPa, sedangkan untuk silika= 55 MPa. Sehingga beban maksimum tekanan yang diperkenankan adalah sekitar 8 ton. Pada penelitian ini besar beban penekanan yang dilakukan adalah 2 ton.

**a. Tahap pemanasan (sintering)**

Sintering adalah suatu proses yang digunakan untuk mengontrol densitas suatu material dengan mempergunakan energi panas. Al/SiO<sub>2</sub> bentuk padat (*Green Body*) setelah proses penekanan dilakukan proses sintering yang bertujuan untuk mendapatkan bahan yang struktur partikelnya lebih kompak. Sintering dilakukan dalam ruang hampa (*vakum furnace*) yang bertujuan mengurangi proses oksidasi antara Aluminium dengan udara. Setelah semua bahan komposit dimasukkan dalam tabung kaca dan tabung kaca dimasukkan dalam furnace. Mula mula pada bahan komposit dilakukan pre sinter pada temperatur 200 °C dan selanjutnya temperaturnya dinaikkan hingga 500 °C dengan waktu tahan (*holding time*) selama 2 jam. Seperti pada Gambar 3.3. Kemudian proses sinter dimatikan dan bahan komposit didinginkan.



Gambar 3.3 Furnace Dengan Pemompa Udara (Laboratorium Zat Padat ITS)

**3.6 Karakterisasi bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub>**

Karakterisasi bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> meliputi: Densitas, porositas, uji kekerasan, uji tekan, uji XRD (*X-ray diffraction*) dan uji SEM (*Scanning Mikroscope Electron*).

### 3.6.1 Karakterisasi Densitas

Pengukuran densitas sample Al/SiO<sub>2</sub> yang dilakukan setelah sintering mengacu pada (Birkerland, P.W., 1984); ASTM C 134-95. Yang dilakukan dengan menggunakan prinsip Archimedes. Mula mula sampel ditimbang massanya menggunakan neraca digital, hasilnya dinamakan massa kering (m<sub>s</sub>). Kemudian sampel digantung pada suatu kawat yang massanya belum diketahui dan dilakukan penimbangan dalam air, yang hasilnya disebut massa basah (m<sub>b</sub>). Untuk mengetahui massa sampel ketika berada dalam air, maka massa kawat ditimbang tanpa sampel, yang selanjutnya disebut massa kawat (m<sub>k</sub>). Densitas bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> selanjutnya dihitung menggunakan persamaan (Birkerland, P.W., 1984) sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m_s}{m_s - (m_b - m_k)} \times \rho_{H_2O}$$

Dimana:

$\rho$  = densitas bulk (gram/cm<sup>3</sup>)

m<sub>s</sub> = massa sampel setelah dikeringkan dalam oven (gram)

m<sub>b</sub> = massa sampel ketika digantung dalam air (gram)

m<sub>k</sub> = massa kawat penggantung sampel (gram)

$\rho_{H_2O}$  = massa jenis air = 1 gram/cm<sup>3</sup>

### 3.6.2 Karakterisasi Porositas

Pengukuran porositas bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> yang telah disintering mengacu pada (Birkerland, P.W., 1984); ASTM C373-88, dengan langkah langkah pengukurannya adalah sebagai berikut :Sampel yang akan dihitung porositasnya mula mula dikeringkan dalam oven dengan temperatur 90 °C dengan waktu pengeringan selama 12 jam, kemudian massanya ditimbang dengan neraca digital, yang disebut (m<sub>s</sub>). Sampel kemudian direbus dalam air dengan temperatur 110 °C hingga dalam keadaan saturasi (jenuh), setelah dibersihkan dengan tissue

dan dibersihkan lalu ditimbang yang selanjutnya disebut ( $m_b$ ). Sampel berikutnya digantung pada sebuah kawat dan ditimbang yang disebut ( $m_g$ ) dan terakhir massa penggantung (kawat) ditimbang dan disebut ( $m_k$ ). Porositas bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> dihitung dengan persamaan (Birkerland, P.W., 1984) sebagai berikut:

$$P = \frac{m_b - m_s}{m_b - (m_g - m_k)} \times 100\%$$

Dimana:

P = Porositas sampel

$m_s$  = massa sampel setelah dikeringkan dalam oven (gram)

$m_b$  = massa sampel setelah direndam dalam air/jenuh (gram)

$m_g$  = massa sampel yang digantung dalam air (gram)

$m_k$  = massa kawat penggantung sampel (gram)

### 3.6.3 XRD

Analisis kekristalan komposit Al/SiO<sub>2</sub> dengan uji XRD menggunakan radiasi monokromatik CuK $\alpha$  pada 40 kV/40 mA. Semua data diambil dengan kondisi yang sama yaitu pada kisaran  $5^\circ \leq 2\theta \leq 90^\circ$  dengan laju scan 0,02<sup>o</sup>/menit pada suhu ruangan. Uji XRD pada sampel Al/SiO<sub>2</sub> untuk masing masing komposisi penguat SiO<sub>2</sub> (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30%). Fasa kristal dan komposisi paduan komposit akan diamati melalui analisis pola XRD yang didapatkan. Uji XRD dilakukan di Laboratorium Energi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

### 3.6.4 SEM

Struktur mikro bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> dapat diamati menggunakan alat yang dinamakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) yang berupa foto berbentuk digital. Pada penelitian ini, uji SEM dilakukan di Laboratorium Universitas Negeri Malang, dengan langkah pengujian sebagai berikut:

- a. Sampel yang berupa pellet hasil sintering diletakkan pada suatu wadah untuk dilapisi dengan emas (*Coating sampel*).
- b. Sampel diletakkan pada preparasi, kemudian disinari dengan pancaran elektron sekitar 20 kV. Sehingga sampel memancarkan elektron sekunder (*secondary electron/SE*) dan elektron terpantul (*back scattered electron/BSE*) yang dapat dideteksi oleh detektor Scintilator yang diamplified sehingga timbul gambar pada layar CRT.
- c. Pemotretan dilakukan dengan cara mengatur bagian tertentu dari objek dan perbesaran yang diinginkan.

### **3.7 Pengujian Mekanik**

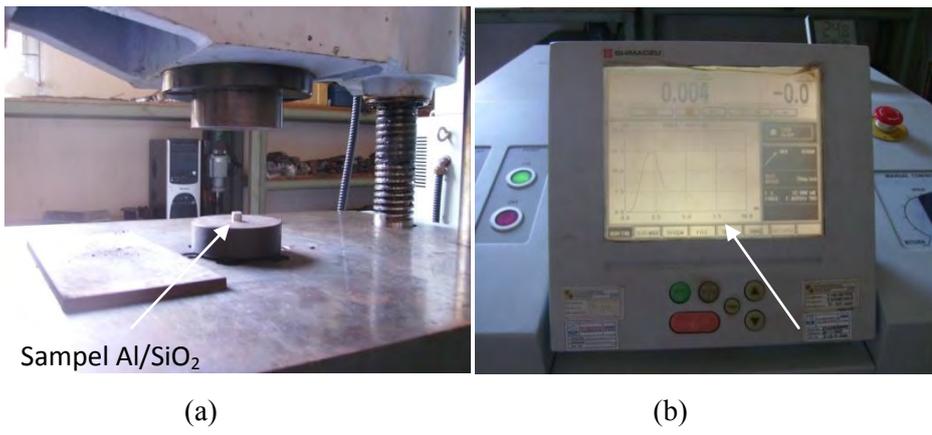
Pengujian mekanik bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> meliputi:

#### **3.7.1 Pengujian kekerasan (menggunakan metode Brinell)**

Pengujian kekerasan (*hardness*) dilakukan di Laboratorium **Balai Riset dan Standarisasi Industri (Baristand) Surabaya**. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Brinell. Uji kekerasan dengan metode Brinell adalah pembentukan lekukan pada permukaan logam memakai bola baja yang dikeraskan yang diberi beban tertentu. Beban diterapkan selama dalam interval waktu tertentu (30 detik). Lekukan yang terbentuk pada permukaan logam diukur dengan mikroskop. Angka kekerasan Brinell (BHN) dinyatakan sebagai besarnya beban dibagi dengan luas permukaan lekukan yaitu mempunyai satuan Kg/mm<sup>2</sup> atau MPa (*mega Pascal*).

#### **3.7.2 Pengujian Tekan (*Compression Test*)**

Untuk mengetahui sifat mekanik bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub>, pada bahan komposit dilakukan pengujian tekan yang dilakukan di Laboratorium Politeknik Perkapalan ITS Surabaya. Prosedur pengujian mula mula bahan komposit yang berupa selinder diletakkan dibawah alat uji tekan, penekanan diberikan pada bahan komposit hingga melewati batas keelastisan bahan (*Yield Strength*) dan terakhir melewati titik rusaknya (*Ultimate Compression Strength*).



Gambar 3.4 (A) Sampel Al/SiO<sub>2</sub> (B) Display Hasil Pengukuran Uji Tekan

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

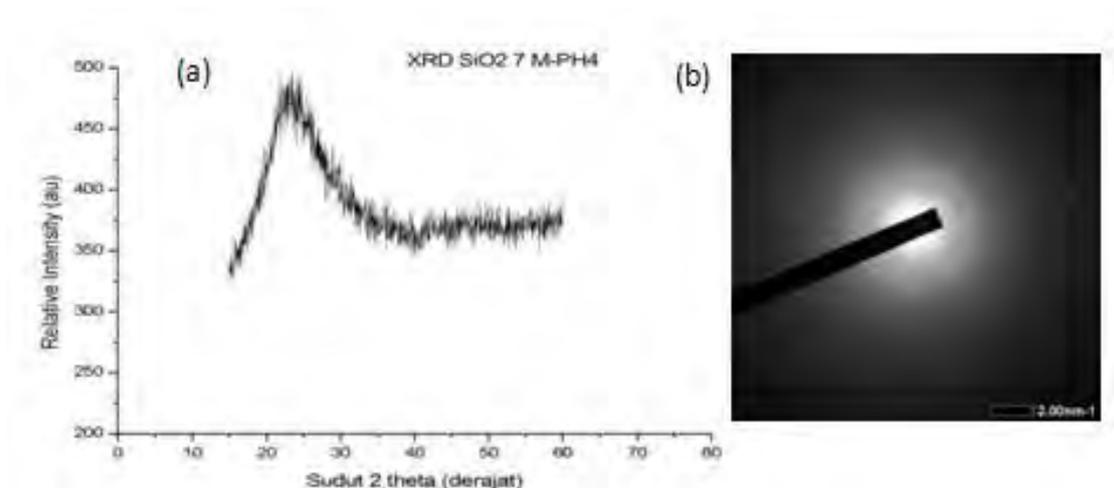
Material komposit Al/SiO<sub>2</sub> telah berhasil dibuat dengan metode metalurgi serbuk dengan bahan penyusun serbuk Al sebagai matrik dan SiO<sub>2</sub> orde nano sebagai filler. Komposisi SiO<sub>2</sub> terhadap matrik Al adalah 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30%. Pada material ini menggunakan N-Butanol dalam proses mencampurnya dan disinter pada temperatur 500° C selama 2 jam.

Karakterisasi pada material Al/SiO<sub>2</sub> tersebut meliputi: Densitas, porositas, uji kekerasan (*dengan metode Brinell*), uji tekan, analisa struktur mikro dengan X-ray Diffraction (XRD) dan Scanning Electron Microscope (SEM).

#### 4.1 Analisis Nano Silika (SiO<sub>2</sub>)

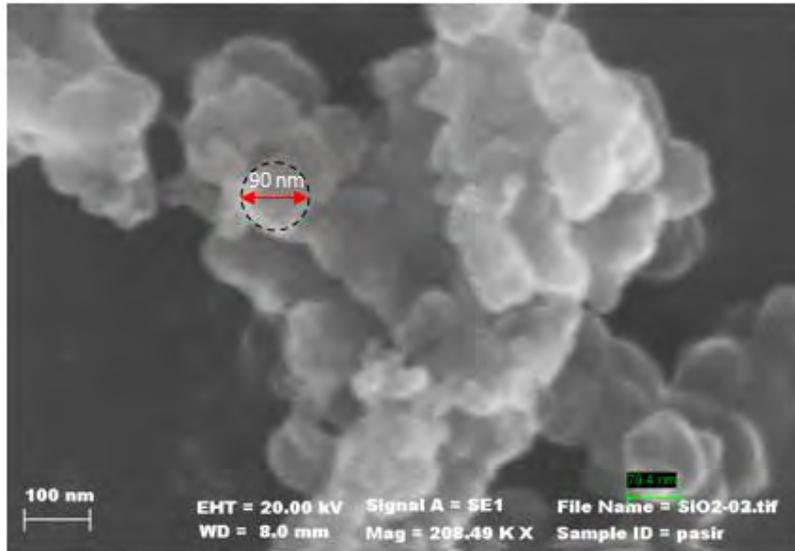
Pada penelitian ini, komposit Al/SiO<sub>2</sub> difabrikasi menggunakan Aluminium (Al) sebagai matrik dan silika (SiO<sub>2</sub>) yang mempunyai orde nano sebagai penguat atau *filler*. SiO<sub>2</sub> diperoleh dengan cara mensintesis pasir Bancar Tuban melalui metode kopresipitasi. Penggunaan SiO<sub>2</sub> orde nano yang ukurannya sangat kecil, diharapkan distribusinya terhadap matrik lebih merata (homogen), sehingga terjadi penguatan yang lebih baik dan akan meningkatkan sifat mekanik bahan komposit. Disamping ukuran, pemilihan SiO<sub>2</sub> sebagai penguat (*filler*) karena mempunyai sifat fisik yang baik di antaranya titik leleh yang tinggi, modulus elastis yang tinggi, memiliki kesetabilan yang bagus serta inert secara kimia (Yuan et al, 2010). Analisis SiO<sub>2</sub> dilakukan dengan melakukan beberapa uji, diantaranya uji XRD dan difraksi elektron untuk mengetahui fasanya, uji TEM untuk mengetahui morfologi dan karakterisasi ukuran partikel. Hasil pengujian XRD dan uji difraksi elektron yang dilakukan pada silika (SiO<sub>2</sub>) seperti pada Gambar 4.1 yaitu pada gambar tampak bahwa pola kurva dari SiO<sub>2</sub> hasil dari XRD melebar disekitar  $2\theta = 20^\circ - 22^\circ$ , yang menunjukkan bahwa struktur dari SiO<sub>2</sub> adalah *amorf* (Kalpathy dkk, 2000). Fasa SiO<sub>2</sub> yang amorf juga dapat diamati pada hasil uji difraksi elektron. Pada peristiwa difraksi elektron, apabila

elektron dihamburkan oleh bidang-bidang kristal, maka pola difraksi berupa lingkaran-lingkaran yang konsentris. Sebaliknya apabila bahan amorf, maka tidak diamati pola difraksi yang dihasilkan. Pada gambar (b) merupakan foto hasil difraksi elektron pada bahan SiO<sub>2</sub>. Karena tidak diamati adanya pola difraksi, maka disimpulkan bahwa SiO<sub>2</sub> struktur kristalnya adalah amorf.



Gambar 4.1 Pola Difraksi Silika (SiO<sub>2</sub>): (a) XRD dan (b) Difraksi Elektron

Untuk mengetahui morfologi silika (SiO<sub>2</sub>), dilakukan uji SEM seperti nampak pada Gambar 4.2 tampak bahwa hasil SEM SiO<sub>2</sub> terdiri gumpalan dan sebagian berbentuk bulat dengan ukuran yang berbeda-beda. Dengan uji SEM juga dapat ditentukan ukuran dari partikel SiO<sub>2</sub>. Yaitu ukuran partikel SiO<sub>2</sub> yang difabrikasi dengan metode koapresipitasi adalah berorde nano, yaitu ukuran partikel SiO<sub>2</sub> sekitar  $\pm 90$  nm.

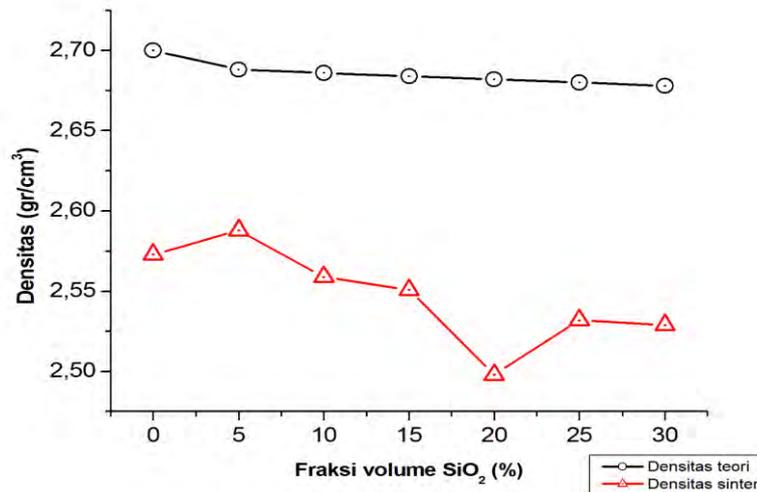


Gambar 4.2 Hasil Karakterisasi Ukuran Partikel silika (SiO<sub>2</sub>) Dengan SEM.

#### 4.2 Analisis pengaruh komposisi pengisi (filler) SiO<sub>2</sub> terhadap densitas komposit Al/SiO<sub>2</sub>

Hasil pengukuran densitas bahan komposit (Al/SiO<sub>2</sub>) yang di fabrikasi menggunakan metode metalurgi serbuk dengan bahan baku serbuk Al sebagai matrik dan SiO<sub>2</sub> orde nano sebagai filler telah dibuat dengan medium pencampur berupa larutan N-Butanol. Densitas merupakan ukuran kerapatan atau kepadatan suatu bahan komposit. Semakin besar kerapatan bahan komposit, semakin baik komposit tersebut. Densitas komposit Al/SiO<sub>2</sub> yang ditentukan secara kualitatif dinamakan *densitas teoritis*. Sedangkan densitas komposit Al/SiO<sub>2</sub> yang ditentukan secara kuantitatif dinamakan *densitas sinter*. Hasil pengukuran densitas teoritis dan sinter komposit Al/SiO<sub>2</sub> yang divariasikan dengan SiO<sub>2</sub> (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30%) seperti pada Gambar 4.3. Dari Gambar 4.3 dapat dideskripsikan bahwa kurva densitas teoritis dan densitas sinter mempunyai kecenderungan yang sama, yaitu nilainya menurun terhadap fraksi volume SiO<sub>2</sub> (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30%). Secara keseluruhan nilai densitas sinter lebih rendah dibandingkan dengan nilai densitas teoritis. Penurunan nilai densitas sinter terhadap densitas teoritis, disebabkan timbulnya rongga (*void*) pada bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub>, karena penggunaan partikel (SiO<sub>2</sub>) yang berorde

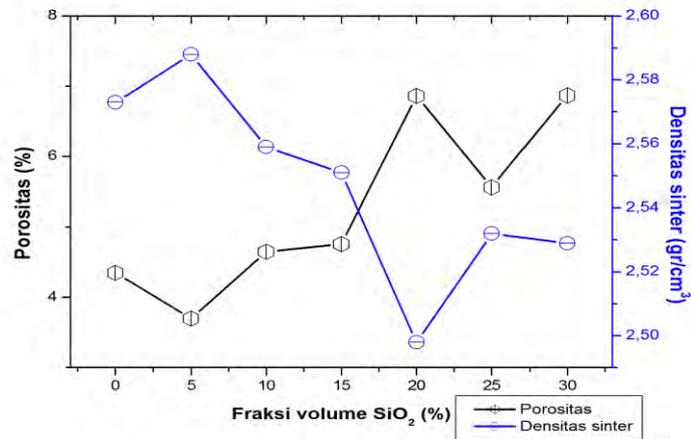
nano sebagai pengisi (*filler*) cenderung berkelompok (*beraglomerasi*) antar sesama partikel SiO<sub>2</sub>. Densitas sinter Al/SiO<sub>2</sub>, nilai densitasnya terbesar pada saat fraksi volume SiO<sub>2</sub> = 5%, yaitu nilainya 2,588 gram/cm<sup>3</sup>, sedangkan densitasnya terendah dicapai pada saat komposisi SiO<sub>2</sub> =20%, yaitu nilainya 2,498 gram/cm<sup>3</sup>.



Gambar 4.3 Grafik Densitas Teoritis dan Densitas Sinter Terhadap Fraksi Volume SiO<sub>2</sub> (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30%)

### 4.3 Analisis porositas terhadap fraksi volume SiO<sub>2</sub>

Porositas mempunyai kaitan erat dengan densitas. Porositas merupakan cacat yang terbentuk adanya reaksi antar muka antar pembentuk material komposit. Adanya porositas akan menyebabkan terjadinya penurunan sifat mekanik dari bahan komposit. Porositas yang dikaitkan dengan densitas sinter bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> seperti pada Gambar 4.4.



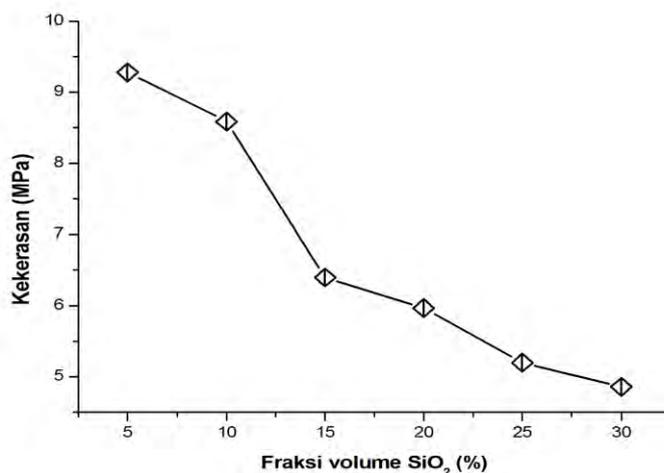
Gambar 4.4 Grafik Porositas dan Densitas Sinter Bahan Komposit Al/SiO<sub>2</sub> Terhadap Fraksi Volume SiO<sub>2</sub> (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30%)

Terlihat dari Gambar 4.4, bahwa nilai porositas bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> cenderung naik terhadap kenaikan komposisi filler SiO<sub>2</sub>, dimana nilai porositasnya mencapai terendah pada 3,70 % pada saat komposisi SiO<sub>2</sub> = 5% dan nilai porositasnya tertinggi pada 6,86 % yaitu pada saat komposisi SiO<sub>2</sub> = 20%. Kecenderungan naiknya nilai porositas bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub>, disebabkan oleh filler SiO<sub>2</sub> yang berukuran nano, yaitu ukuran partikel SiO<sub>2</sub> (ukuran nano), maka menyebabkan kecenderungan partikel SiO<sub>2</sub> berkelompok (*beraglomerasi*) dan dalam komposit terbentuk rongga-rongga (*void*). Kenaikan porositas yang terbentuk pada komposit Al/SiO<sub>2</sub> ditunjukkan menurunnya nilai densitas komposit. Korelasi meningkatnya nilai porositas dan penurunan nilai densitas bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> dapat dilihat pada Gambar 4.4, yaitu pada fraksi volume SiO<sub>2</sub> (5%), porositas mempunyai nilai terendah, sedangkan nilai densitas terbesar. Pada fraksi volume SiO<sub>2</sub> (20%), nilai porositas terbesar, sedangkan nilai densitas terendah.

#### 4.4 Analisa Sifat Mekanik Bahan Komposit Al/SiO<sub>2</sub>

Bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> yang difabrikasi dengan bahan penyusun Al sebagai matrik dan SiO<sub>2</sub> sebagai filler telah berhasil dibuat. Untuk mengetahui

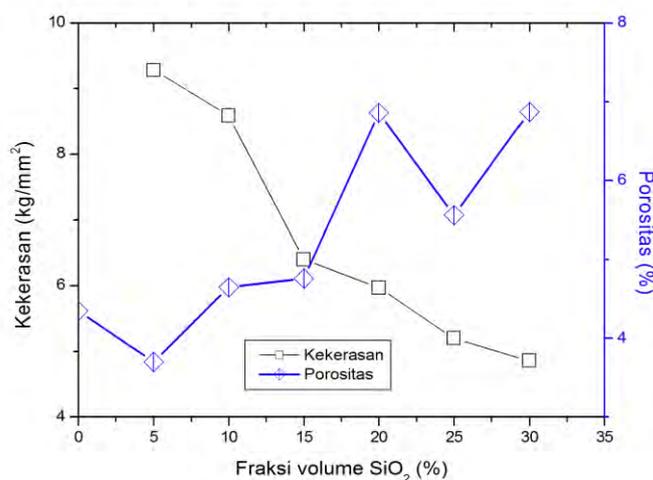
sifat mekanik bahan komposit telah dilakukan beberapa uji mekanik yang meliputi uji kekerasan dan uji tekan. Uji kekerasan dilakukan di **Laboratorium Riset dan Standarisasi Industri (Baristand) Surabaya**, yang dilakukan dengan menggunakan metode Brinnel, Sedangkan uji tekan dilakukan pada **Politeknik Perkapalan ITS Surabaya**. Sifat mekanik yang akan dibahas pada penelitian ini adalah kekerasan, batas keelastisan bahan (*Yield Strength=YS*), Batas keelastisan maksimum (*Ultimate Compression Strength=UCS*) dan Sifat kekakuan bahan komposit (*Modulus Elastis=ME*). Kekerasan pada prinsipnya merupakan kemampuan suatu bahan komposit untuk menahan penetrasi gaya luar. Bahan yang bersifat elastis lebih kuat menahan gaya luar dibandingkan dengan bahan yang bersifat plastis. Semakin sulit suatu bahan mengalami deformasi plastis, maka bahan tersebut akan menjadi lebih elastis. Kurva antara nilai kekerasan bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> terhadap fraksi volume *filler* SiO<sub>2</sub> (5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30%) seperti dinyatakan pada grafik pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik Kekerasan Komposit Al/SiO<sub>2</sub> Terhadap Fraksi Volume SiO<sub>2</sub> (5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30%)

Dari Gambar 4.5, tampak bahwa nilai kekerasan bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> menurun dengan meningkatnya fraksi volume filler SiO<sub>2</sub>, yaitu nilai kekerasan terbesar terjadi pada saat fraksi volume filler 5% yaitu 9,28 kg/mm<sup>2</sup> dan nilai kekerasan terendah terjadi pada saat fraksi volume SiO<sub>2</sub>(30% ) yaitu 4,86 kg/mm<sup>2</sup>.

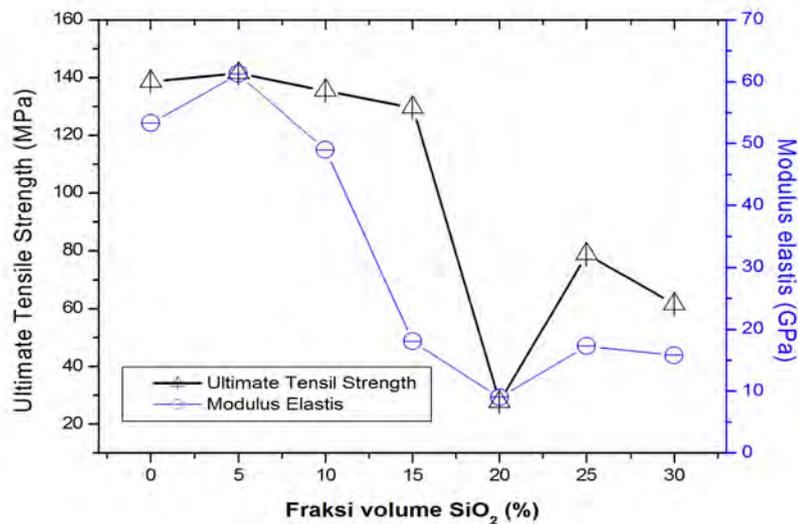
Penurunan nilai kekerasan bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> berkaitan erat dengan porositas, yaitu dengan meningkatnya porositas, material komposit Al/SiO<sub>2</sub> cenderung bersifat *porus* atau nilai kekakuannya menurun. Menurunnya nilai kekakuan bahan komposit, maka bahan komposit cenderung bersifat plastis (kurang elastis) dan sebagai akibatnya bahan komposit kemampuan untuk menahan gaya luar berkurang. Grafik yang mempresentasikan kekerasan bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> dan porositas yang terbentuk dan kaitannya dengan komposisi pengisi SiO<sub>2</sub> (5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30%) seperti ditunjukkan pada Gambar 4.6. Dari Gambar 4.6 dapat dideskripsikan bahwa nilai kekerasan bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> tertinggi ketika porositasnya terendah, yaitu terjadi pada saat komposisi pengisi SiO<sub>2</sub> (5%) dan nilai kekerasan terendah terjadi ketika porositas tertinggi, yaitu pada saat komposisi pengisi SiO<sub>2</sub> (30%).



Gambar 4.6 Grafik Kekerasan dan Porositas Terhadap Fraksi Volume SiO<sub>2</sub> (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% Dan 30%)

Bahan komposit merupakan gabungan antara matrik dan penguat (*filler*) yang masing masing memiliki sifat keelastisan yang berbeda. Komposit Al/SiO<sub>2</sub> yang matriknya (Al) memiliki sifat elastis lebih baik dibandingkan dengan penguatnya SiO<sub>2</sub> yang cenderung getas. Pada saat antara matrik dan penguat terjadi ikatan antar muka, maka sifat keelastisan bahan komposit merupakan gabungan dari sifat keelastisan matrik dan penguat. Ketika gaya (tegangan) luar

bekerja pada komposit, *Yield Strength* (YS). Pada saat gaya luar melampaui batas elastis (YS), maka mulai terjadi sifat elastis ke plastis hingga bahan komposit bersifat plastis sempurna. Gaya luar yang bekerja pada bahan komposit dalam keadaan plastis dan mencapai titik rusaknya dinamakan kekuatan tekan maksimum (*Ultimate Compression Strength = UCS*). Hasil perbandingan antara gaya luar yang bekerja pada bahan komposit terhadap peregangan (*stroke*) yang terjadi disebut sifat kekakuan bahan komposit (*Modulus Elastis = ME*). Grafik Ultimate Compression Strength (UCS) dan Modulus Elastis (ME) terhadap fraksi volume penguat SiO<sub>2</sub> (05,5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30%) seperti pada Gambar 4.7.

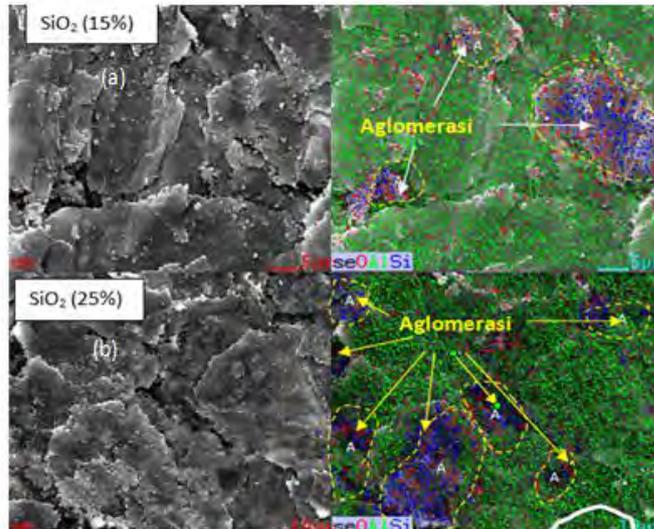


Gambar 4.7 Grafik Ultimate Compression Strength dan Modulus Elastis Terhadap Fraksi Volume SiO<sub>2</sub> (5%, 10%, 15%, 20%, 25% Dan 30%)

Dari Gambar 4.7, dapat dianalisis bahwa nilai *Ultimate Compression Strength (UCS)* dan *modulus elastis (ME)* bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub>, menurun terhadap peningkatan komposisi pengisi (SiO<sub>2</sub>). Nilai terbesar *Ultimate Compression Strength* dan *modulus elastis* dicapai ketika nilai komposisi SiO<sub>2</sub> dalam bahan komposit adalah 5% yaitu masing masing nilainya 141,56 MPa dan 61,28 GPa. Sedangkan nilai terendahnya dicapai ketika komposisi SiO<sub>2</sub> adalah 20%, dengan nilai masing masing 27,76 MPa dan 9,04 GPa. Penurunan *Ultimate*

**Compression Strength** dan **modulus elastis** bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> disebabkan adanya porositas yang tinggi pada bahan komposit yang difabrikasi. Porositas disebabkan oleh penguat SiO<sub>2</sub> yang mempunyai sifat *aglomerasi* sangat tinggi. Penurunan sifat elastis bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub>, dapat dianalisis dari data modulus elastisnya yang nilainya cenderung menurun terhadap peningkatan komposisi SiO<sub>2</sub>, yaitu semakin kecil nilai modulus elastis bahan komposit, semakin kecil sifat kekakuannya, artinya bahan komposit mudah mengalami deformasi ketika menerima gaya luar.

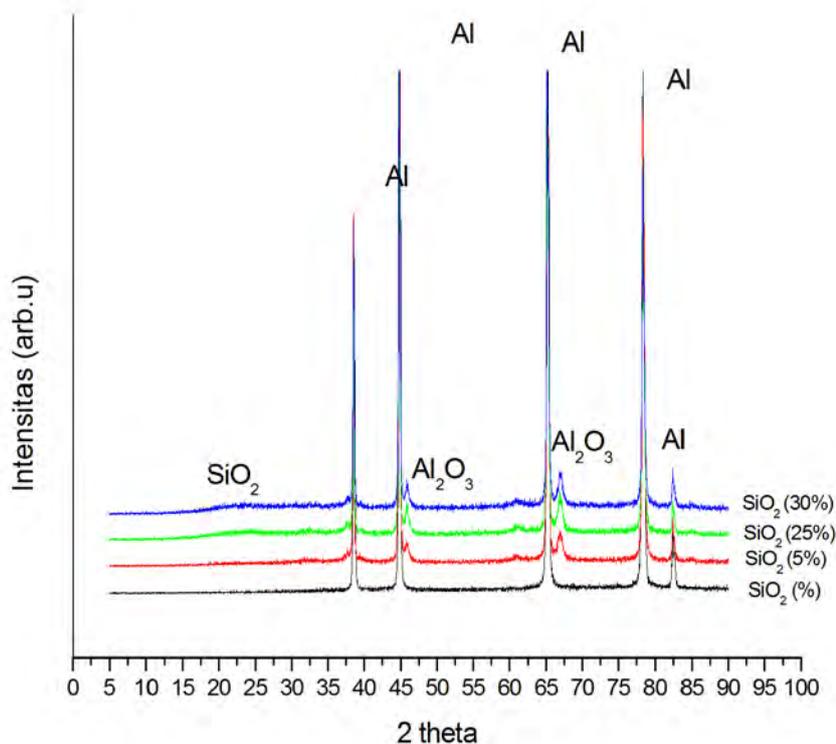
Penurunan nilai densitas dan sifat mekanik bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> yang disebabkan oleh adanya peristiwa aglomerasi partikel partikel SiO<sub>2</sub>, dapat dianalisis dari hasil mapping mikrostruktur komposit Al/SiO<sub>2</sub> untuk fraksi volume SiO<sub>2</sub> (15%) pada Gambar 4.8 (a) dan SiO<sub>2</sub> (25%) pada Gambar 4.8 (b). Elemen **Aluminium** (Al) diwakili oleh warna hijau, elemen **Silikon** (Si) oleh warna biru dan elemen **Oksigen** (O) yang diwakili oleh warna merah. Pada Gambar 4.8 baik (a) dan (b), elemen Si tidak tersebar merata, akan tetapi cenderung berkelompok (*aglomerasi*) dengan penyebaran yang tidak sama. Pada Gambar 4.8 (a) yang mempresentasikan komposisi SiO<sub>2</sub> (15%) terjadi penyebaran elemen Si lebih sedikit dibandingkan pada Gambar 4.8 (b), yang mempresentasikan komposisi SiO<sub>2</sub> (25%), keadaan tersebut menunjukkan bahwa dengan meningkatnya komposisi SiO<sub>2</sub> pada bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub>, menyebabkan terjadinya peningkatan *aglomerasi*. Dengan adanya aglomerasi, distribusi penyebaran partikel partikel SiO<sub>2</sub> tidak merata, sehingga menyebabkan terbentuknya rongga (*void*) dalam bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> dan menyebabkan terjadinya penurunan nilai densitas dan sifat mekaniknya. Penurunan nilai densitas dan sifat mekanik bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> tidaknya disebabkan oleh adanya aglomerasi, akan tetapi dapat juga disebabkan peristiwa lain seperti oksidasi pada saat pencampuran (*mixing*) atau terjebaknya gas pada saat proses sintering.



Gambar 4.8 Mapping Distribusi  $\text{SiO}_2$  Unsur Atomik (Al,Si,O) Sampel Fraksi Volume  $\text{SiO}_2$  (A) 15% Dan (B) 25%. (Al = Warna Hijau, O = Warna Merah Dan Si = Warna Biru ).

#### 4.5 Analisa struktur dan Fasa kristalin komposit Al/ $\text{SiO}_2$

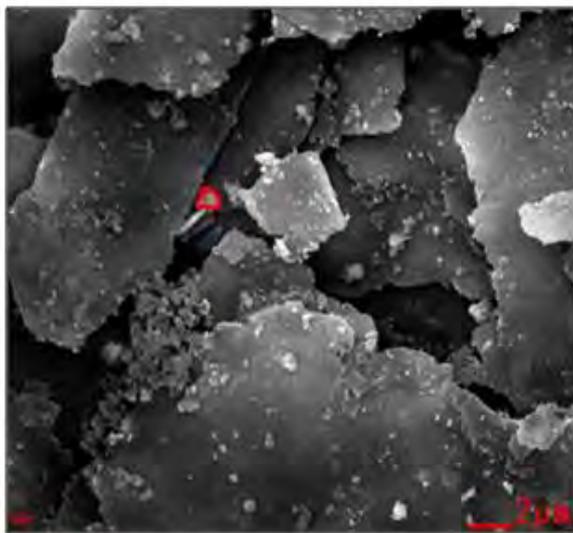
Sintesis komposit Al/ $\text{SiO}_2$  pada penelitian ini dilakukan dengan metode proses padat (*Solid Procces*). Mekanisme pembuatan komposit tersebut melalui beberapa tahapan ,mulai dari proses penyampuran (*Mixing*) sampai tahapan proses akhir yaitu *sintering*. Identifikasi kualitas bahan komposit dapat dikarakterisasi secara kualitatif dari fasa-fasa yang terbentuk pada bahan komposit tersebut, yang terdiri dari fasa utama matrik dan filler, dan fasa perantara yang merupakan fasa yang terbentuk diantara interaksi matrik dan filler atau fasa yang timbul akibat adanya oksidasi. Pada penelitian ini difokuskan pada variasi fraksi volume penguat ( $\text{SiO}_2$ ) dari fraksi terendah 5% sampai yang tertinggi 30%. Dari semua fraksi volume yang ada diamati spektrum XRD seperti ditunjukkan pada Gambar 4.9 berikut ini.



Gambar 4.9 Fasa Al/SiO<sub>2</sub> Pada Fraksi Volume SiO<sub>2</sub> (5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30%)

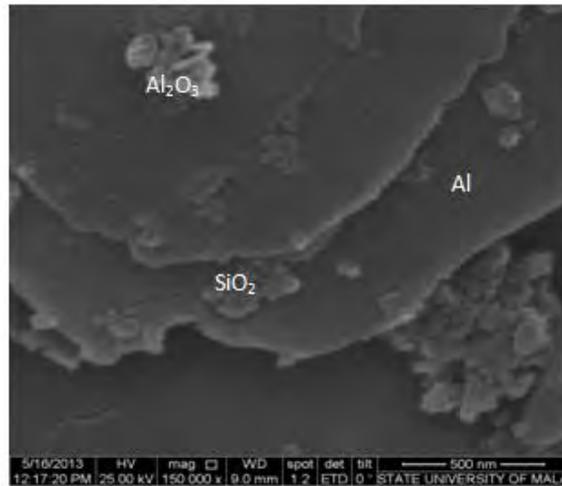
Pada spektrum Gambar 4.9 menunjukkan fasa yang muncul dalam bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub>, di antaranya matriks Al, fasa oksida dari aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), dan fasa amorfus pengisi SiO<sub>2</sub>. Pada spektrum di atas terlihat fasa konsentrasi 5% SiO<sub>2</sub> menunjukkan matriks kristalin dari Aluminium (Al) dan SiO<sub>2</sub> mempunyai intensitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi SiO<sub>2</sub> yang lebih rendah. Pada sudut-sudut difraksi 38.5, 44.7, 65.1, 78.2, dan 82.4 yang diolah dengan menggunakan *software Search match* bahwa fasa Aluminium (Al) ditunjukkan oleh data base PDF 00-004-0787. Sedangkan untuk sudut difraksi 45.9 dan 67.0 berdasarkan data PDF 00-001-1308 merupakan fasa Aluminium oksida ( $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Fasa amorphous terlihat melebar dan tidak beraturan pada rentang sudut sekitar 20° – 22°, hal tersebut mengindikasikan fasa SiO<sub>2</sub> (lihat Gambar 4.8). Semakin tinggi fraksi volume penguat partikel nano silika pada bahan komposit isotropik Al/SiO<sub>2</sub>, menunjukkan penurunan puncak-puncak kristalin dari Al maupun Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Pada spektrum XRD dari analisa komposit

Al/SiO<sub>2</sub> menunjukkan fasa-fasa utama berdiri sendiri, sehingga menunjukkan bahwa tidak terjadi adanya sistem kelarutan padat atau pembentukan senyawa hasil reaksi antara matrik dan filler. Berdasarkan analisa XRD tersebut juga dapat mengindikasikan interaksi antara matrik (Al) dan *filler* (SiO<sub>2</sub>) bukan merupakan ikatan utama dalam interaksinya melainkan ikatan kedua seperti gaya elektrostatis atau gaya mekanik yang disebabkan oleh kekasaran permukaan. Interaksi antar partikel dalam rangka meningkatkan kompaktilitas (kemampatan) dapat terjadi melalui mekanisme difusi pada saat proses sintering. Difusi atomik antar permukaan partikel matrik-matrik atau *matrik-filler*, secara keseluruhan dapat mereduksi porositas. Analisa XRD bahan komposit setelah proses sintering, dimana proses difusi secara *in situ* dapat terjadi pada saat proses pemanasan distribusi elemen-elemen pembentukan fasa dapat diidentifikasi dengan menggunakan SEM-EDX seperti ditunjukkan pada Gambar 4.10.



| Elemen | Wt(%) | At(%) |
|--------|-------|-------|
| OK     | 20,97 | 30,99 |
| AlK    | 71,67 | 62,81 |
| SiK    | 07,36 | 06,20 |

Gambar 4.10 Profil EDX Komposit Al/SiO<sub>2</sub> Pada Fraksi Volume SiO<sub>2</sub> (15%).



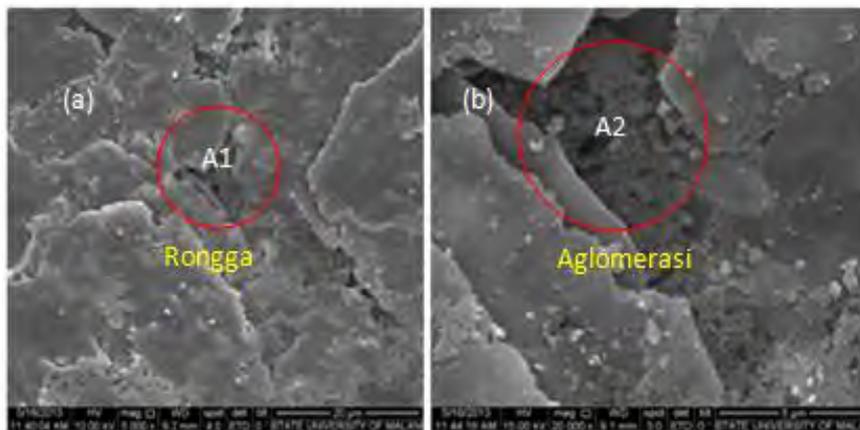
Gambar 4.11 Fasa (SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Hasil SEM Komposit Al/SiO<sub>2</sub> Pada Fraksi Volume SiO<sub>2</sub> (25%)

Pada Gambar 4.10 SEM di atas menunjukkan hasil dari pengamatan EDX, elemen-elemen yang terkandung dalam komposit adalah O, Al, dan Si yang masing-masing mempunyai komposisi berat wt(%) 20.97, 71.67, dan 7.36 dimana komposisi tersebut memungkinkan untuk terbentuknya fasa oksidasi dari Al dan Si yaitu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (warna abu abu keputihan) dan SiO<sub>2</sub> (warna abu abu) seperti pada Gambar 4.11. Elemen OK, AlK dan SiK, menunjukkan bahwa kulit tujuan (kosong) dari elektron yang bertransisi. adalah kulit K. Sedangkan elektron berasal dapat dari kulit L atau M. Berdasarkan pengamatan EDX mengindikasikan tidak adanya impuritas dari elemen-elemen lain.

#### 4.6 Analisa Mikrostruktur Komposit Al/SiO<sub>2</sub>

Tingkat keberhasilan pembuatan komposit dicapai apabila distribusi partikel-partikel yang digabungkan tersebar merata pada matrik. Untuk mengetahui sampai sejauh mana distribusi partikel dalam komposit tersebar, dapat diamati melalui pengamatan profil mikrostruktur komposit Al/SiO<sub>2</sub> hasil uji SEM. Gambar 4.12 memperlihatkan mikrostruktur komposit Al/SiO<sub>2</sub> pada fraksi volum SiO<sub>2</sub> (25%). Terlihat bahwa mikrostruktur matrik Aluminium (Al) berupa lembaran atau bidang, sedangkan partikel-partikel SiO<sub>2</sub> sebagai penguat

menempati dipermukaan bidang dan diantara lembaran bidang Aluminium (*matrik*). Juga terlihat bahwa distribusi partikel-partikel SiO<sub>2</sub> yang kurang merata, yang ditandai adanya partikel-partikel yang berkelompok (*aglomerasi*) sehingga menimbulkan ruang kosong/rongga (*porus*). Seperti terlihat pada Gambar 4.12 (a) yang ditandai oleh *daerah A1*. Pengamatan aglomerasi partikel-partikel SiO<sub>2</sub>, terlihat lebih jelas ketika skala pengamatannya diperbesar 20.000 kali. yang ditunjukkan oleh *daerah A2* seperti pada Gambar 4.12 (b).



Gambar 4.12 Profil SEM Komposit Al/SiO<sub>2</sub> Dengan Pada Fraksi Volum SiO<sub>2</sub> (25%). Aglomerasi Terjadi Pada Batas Butir Dan Menyebabkan Rongga .



| Daerah-1 |             |             |
|----------|-------------|-------------|
| O        | 12,40 (wt%) | 19,32 (at%) |
| Sal      | 81,77 (wt%) | 75,51 (at%) |
| Si       | 5,83 (wt%)  | 5,17 (at%)  |
| Daerah-2 |             |             |
| O        | 25,21 (wt%) | 36,41 (at%) |
| Al       | 61,28 (wt%) | 52,48 (at%) |
| Si       | 13,51 (wt%) | 11,11 (at%) |
| Daerah-3 |             |             |
| O        | 17,21 (wt%) | 26,01 (at%) |
| Al       | 76,81 (wt%) | 68,84 (at%) |
| Si       | 5,98 (wt%)  | 5,15 (at%)  |

Gambar 4.13 Profil EDX Komposit Al/SiO<sub>2</sub> Dengan Fraksi Volum SiO<sub>2</sub> (25%) Pada Daerah Batas Butir. Tiga Lokasi Yang Di Scan Didominasi Oleh Atom Al,Si Dan O.

Secara kuantitatif sebaran  $\text{SiO}_2$  sebagai penguat, Aluminium (Al) sebagai matrik dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebagai oksida yang terbentuk pada sampel Al/ $\text{SiO}_2$ . Dapat diamati pada hasil uji EDX untuk fraksi volum  $\text{SiO}_2$  (25%) pada Gambar 4.13. terlihat bahwa pada setiap area bidang sampel adalah atom Al, O dan Si dengan komposisi yang berbeda. Pada *daerah 1*, yaitu untuk atom O adalah 12,40 Wt% atau 19,32 At%; untuk atom Al adalah 81,77 Wt% atau 75,51 At%; dan untuk atom Si adalah 5,83 Wt% atau 5,17 At%; jika dianalisis dari komposisi tersebut, dapat diduga bahwa pada zona tersebut terbentuk fasa baru ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) meskipun sangat sedikit. Kehadiran fasa baru tersebut, diduga terjadi pada saat proses pencampuran (*mixing*) atau pemanasan (*sintering*). Pada *daerah 2*: data kuantitatif unsur atom yang terdapat pada posisi tersebut, yaitu untuk atom O adalah 25,21 Wt% atau 36,41 At%; untuk atom Al adalah 61,28 Wt% atau 52,48 At%; dan untuk atom Si adalah 13,51,98 Wt% atau 11,11 At%, Dan pada *daerah 3*: data kuantitatif unsur atom yang terdapat pada posisi tersebut, yaitu untuk atom O adalah 17,21 Wt% atau 26,01 At%; untuk atom Al adalah 76,81 Wt% atau 68,84 At%; dan untuk atom Si adalah 5,98 Wt% atau 5,15 At%. Dari hasil analisis EDX tersebut, menunjukkan bahwa pada daerah antar bidang (matrik) cenderung persentase  $\text{SiO}_2$  lebih banyak baik secara persen berat (%Wt) maupun persen atom (%At). Kenaikan fraksi volum  $\text{SiO}_2$  diatas 5% berdasarkan pengamatan mikrostruktur menunjukkan distribusi  $\text{SiO}_2$  pada matrik Al menurun secara kualitatif seiring dengan peningkatan fraksi volum  $\text{SiO}_2$  dalam orde nano.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 .Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dan berdasarkan pengamatan baik secara kuantitatif dan kualitatif dapat disimpulkan bahwa :

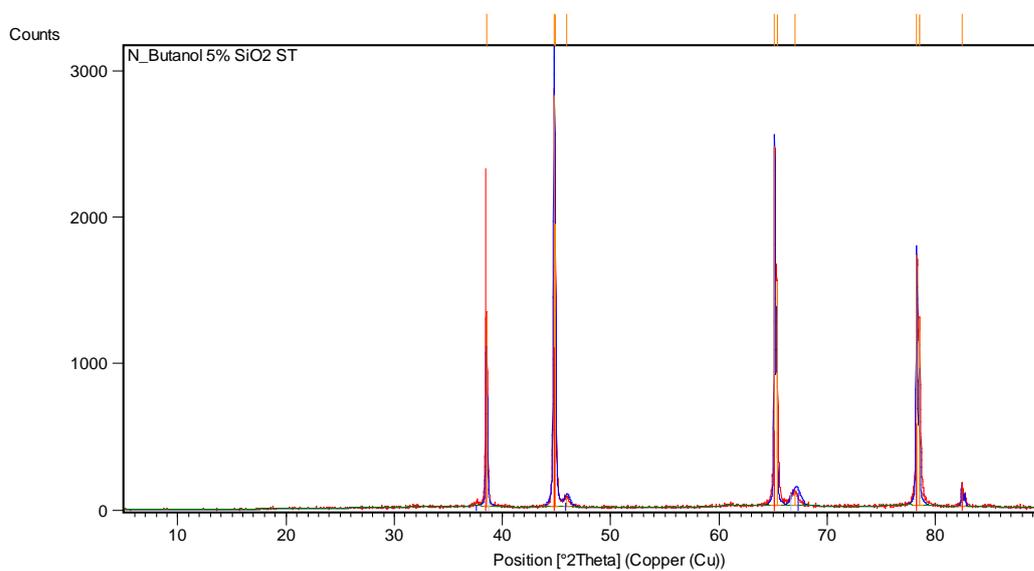
1. Pembuatan bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> dengan menggunakan matrik aluminium (merck-Germany) berukuran 5 mikron dan penguat SiO<sub>2</sub> orde nano berukuran  $\pm 90$  nm telah berhasil dibuat dengan metode Metalurgi Serbuk dengan proses pencampurannya dalam larutan Butanol. Dari karakterisasi densitas dan porositas serta uji kekerasan dan uji tekan yang dilakukan, didapatkan bahwa fraksi volume penguat SiO<sub>2</sub> orde nano menurunkan nilai densitas, kekerasan dan sifat mekanik (Yield Strength, Ultimate Compression Strength, Modulus Elastis) bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub> serta meningkatkan nilai porositasnya. Nilai Densitas, kekerasan dan sifat mekanik mencapai nilai terbaik pada saat fraksi volume penguat SiO<sub>2</sub> (5%).
2. Penggunaan Silika (SiO<sub>2</sub>) Orde nano cenderung menyebabkan terjadi peristiwa aglomerasi partikel-partikel SiO<sub>2</sub> dan hal ini yang menyebabkan terjadinya penurunan nilai densitas, kekerasan dan sifat mekanik serta meningkatnya nilai porositas bahan komposit Al/SiO<sub>2</sub>.

#### 5.2 Saran

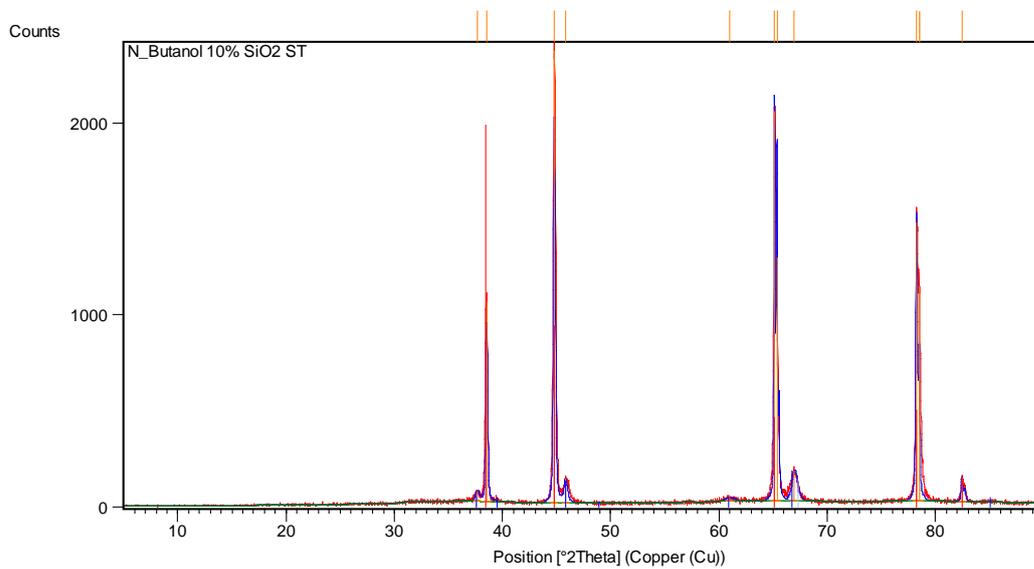
1. Perlu dikembangkan lebih lanjut penelitian komposit Aluminium - Nanosilika (Al/SiO<sub>2</sub>), sebab masih banyak sifat sifat yang harus di teliti dari pembuatan komposit Al/SiO<sub>2</sub> orde nano.
2. Masih perlu diteliti dan ditingkatkan bagaimana daya ikat antara Alumnum (Al) sebagai matrik dan Silika (SiO<sub>2</sub>) sebagai *filler*. Sebab Alumnum (Al) sebagai logam dan silika (SiO<sub>2</sub>) sebagai keramik cenderung daya ikatnya lemah.

3. Perlu diteliti penggunaan fraksi volume  $\text{SiO}_2$  (1%, 2%, 3%, 4%, 5% dan 6%). Diperkirakan nilai puncak (maksimum) dari sifat kekerasan dan mekanik berada pada daerah tersebut.

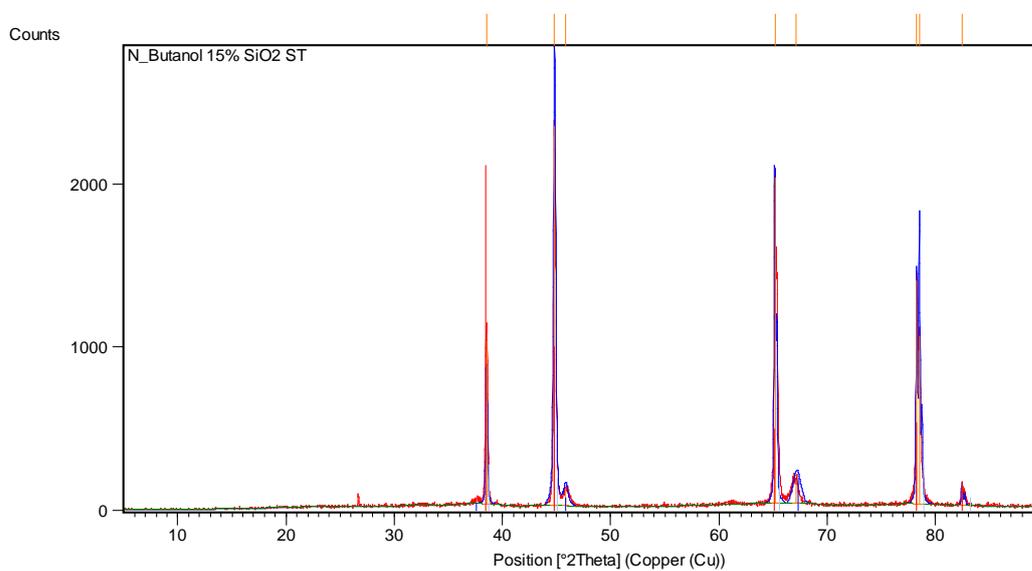
### Lampiran 1 Data XRD Al/SiO<sub>2</sub> (SiO<sub>2</sub> =5%)



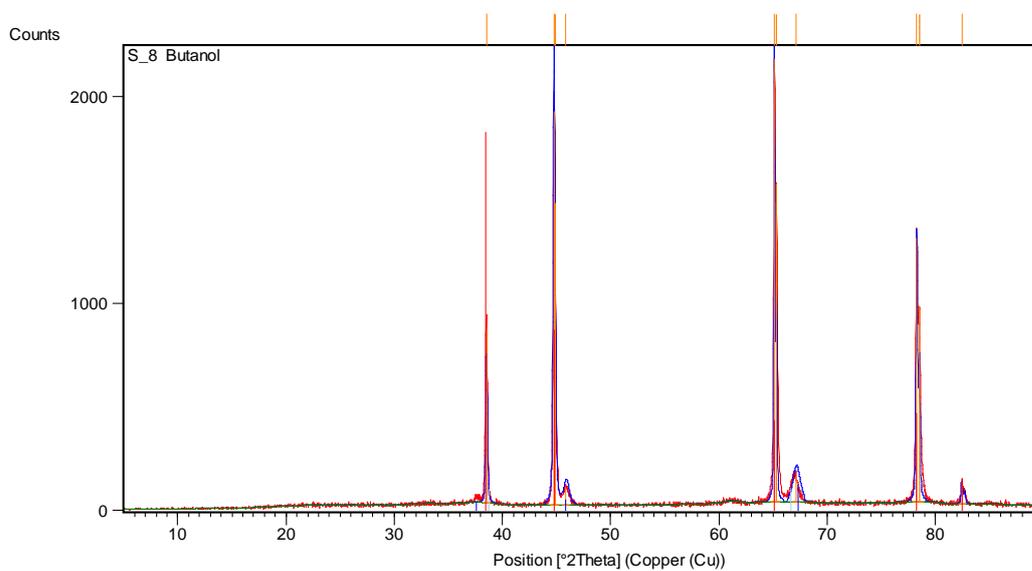
### Lampiran 2 Data XRD Al/SiO<sub>2</sub> (SiO<sub>2</sub> =10%)



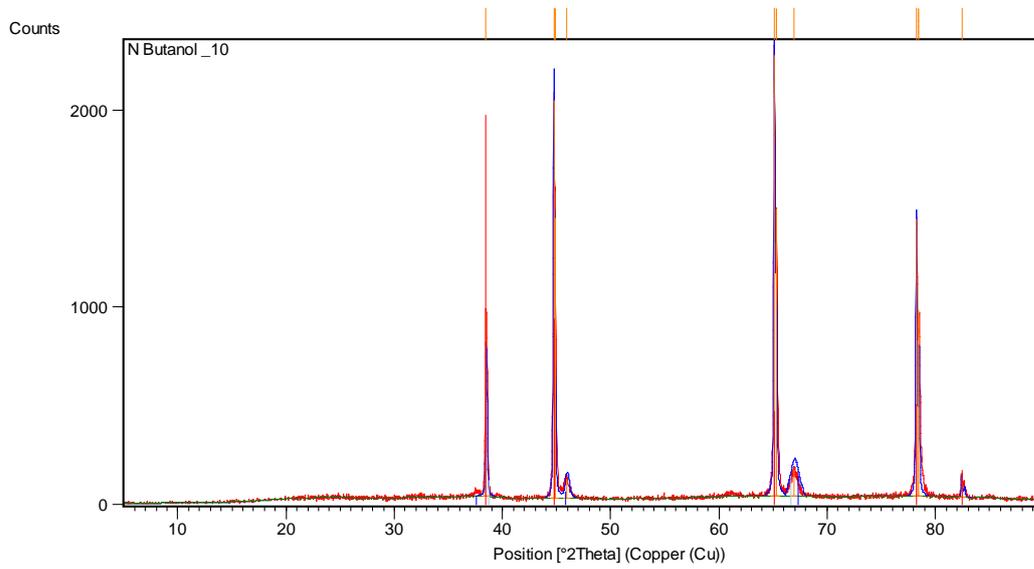
### Lampiran 3 Data XRD Al/SiO<sub>2</sub> (SiO<sub>2</sub> =15%)



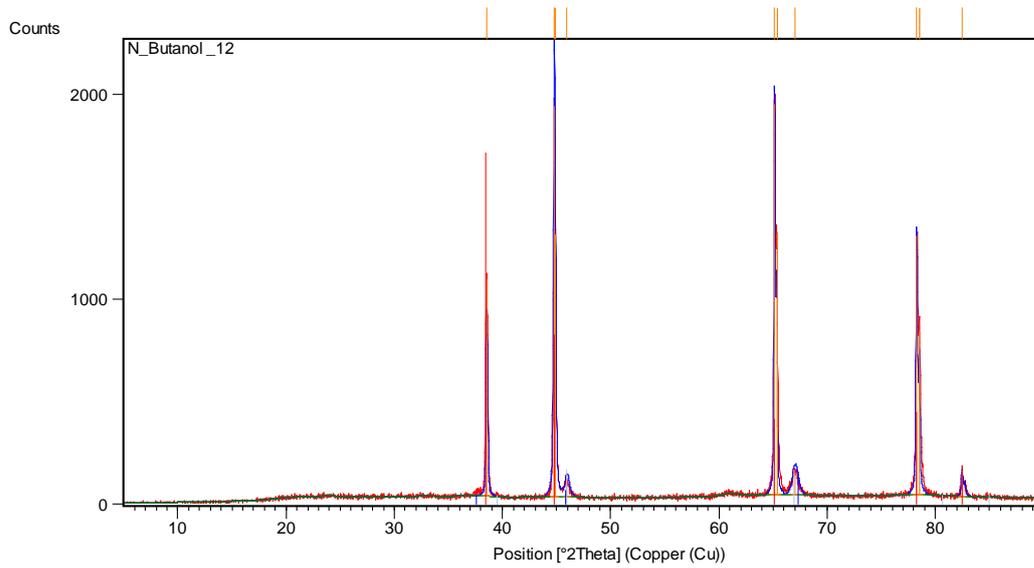
### Lampiran 4 Data XRD Al/SiO<sub>2</sub> (SiO<sub>2</sub> =20%)



### Lampiran 5 Data XRD Al/SiO<sub>2</sub> (SiO<sub>2</sub> =25%)



### Lampiran 6 Data XRD Al/SiO<sub>2</sub> (SiO<sub>2</sub> =30%)



## Lampiran 7 Persamaan Densitas

Persamaan pengukuran densitas

1. Ukur massa benda dengan timbangan digital sehingga diperoleh berat kering di udara  $\rightarrow$  misalkan  $W_k$
2. Ukur massa benda dalam air untuk mendapatkan berat basah ( $W_b$ ), karena bahan digantung dengan kawat yang beratnya ( $W_{kw}$ ). Maka berat basah harus dikoreksi dengan berat kawat sehingga menjadi  $\rightarrow (W_b - W_{kw})$
3. Gaya keatas (apung)  $\rightarrow F_A = W_k - (W_b - W_{kw})$
4. Gaya keatas ( $F_A$ ) sama dengan berat air yang dipindahkan  $\rightarrow$

$$F_A = \rho_c V_c g \rightarrow \rho_c V_c g = W_k - (W_b - W_{kw})$$

$$\text{Karena: } V_c = V_b \rightarrow \rho_c V_b g = \{m_k - (m_b - m_{kw})\}g$$

$$\rho_c \frac{m_k}{\rho_b} g = \{m_k - (m_b - m_{kw})\}g$$

$$\text{Sehingga didapatkan: } \rho_b = \frac{m_k}{\{m_k - (m_b - m_{kw})\}} \rho_c$$

## DAFTAR LAMPIRAN

|   |    |
|---|----|
| Lampiran 1 Data XRD Al/SiO <sub>2</sub> (SiO <sub>2</sub> =5%) .....  | 46 |
| Lampiran 2 Data XRD Al/SiO <sub>2</sub> (SiO <sub>2</sub> =10%) ..... | 46 |
| Lampiran 3 Data XRD Al/SiO <sub>2</sub> (SiO <sub>2</sub> =15%) ..... | 47 |
| Lampiran 4 Data XRD Al/SiO <sub>2</sub> (SiO <sub>2</sub> =20%) ..... | 47 |
| Lampiran 5 Data XRD Al/SiO <sub>2</sub> (SiO <sub>2</sub> =25%) ..... | 48 |
| Lampiran 6 Data XRD Al/SiO <sub>2</sub> (SiO <sub>2</sub> =30%) ..... | 48 |
| Lampiran 7 Persamaan Densitas .....                                   | 49 |

## DAFTAR PUSTAKA

- Ariati, M., Zulfia, A. (2006) *Pengaruh Suhu Pemanasan dan Waktu Tahan Terhadap Karakterisasi Material Komposit Logam Al/SiC Hasil Infiltrasi Tanpa Tekanan*, Makara Teknologi 10: 18-23
- Boinski, F. 2010. "Study of the mechanisms involved in reactive silica". *Materials Chemistry and Physics* 122: 311-315.
- Callister, Jr., William D. 2007. "Materials Science and Engineering An Introduction Seven Edition", John Wiley and Sons, Inc, United States of America.
- Cantor, B., Dunne, F. Stone. 2004. *Metal and Ceramic Matrix Composites*. Taylor & Francis, IOP. London.
- Chawla, N., Chawla, K. 2005. *Metal Matrix Composites*. Springer-Verlag New York Inc. United States.
- George, E. 1987. *Mechanical Metallurgy*. McGraw Hill Companies. New York.
- Deni, S. (2008), *Analisis pengaruh komposisi SiC terhadap sifat mekanis komposit serbuk Al/SiC dengan proses Single Compaction*, Makara Teknologi 10: 18-23. Clyne, T.W. 2001.
- Eugene A., Olevsky. 2011. *Sintering Theory*. SAN DIEGO STATE UNIVERSITY. CALIFORNIA, USA.
- Fahmi. 2011. "Pengaruh variabel kompaksi terhadap modulus elastik komposit Al/SiCp dengan permukaan partikel SiC terlapisi ZnO". Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS).
- Hasim, J., Looney, L. And Hashmi, M.S.J., (2001) *The Enhancement of Wettability of SiC Particles in Cast Aluminium Matrix Composites*. *Journal of Material Processing Technology* 119 (1-3), 329-335.
- Jack, R.V., and Roberh Sierakowski. 2010. *The Behavior of Structure Composed of Composites Materials, Second Edition*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Kalapathy, U., Proctor and J. Shultz. 2000. *An Improved method for production of silica from rice hull as Biores*. *Tech.* 85 : 285-289.

- Kalapathy, U., Proctor, and J. Shultz. 2000. *A Simple method for production of pure silica from rice hull as Biores Tech.* 73: 257-2262
- Kalapathy, U., Proctor and J. Shultz, 2000, *A Simple Method For Production of Pure Silica From Rice Hull Ash*, Bioresource Technology 73, 257-262
- Kheder and Marahleh, (2011) *Strengthening of Aluminium by SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and MgO*. JJMIE Vol 5, Number 6, Dec 2011 ISSN 1995-6665, Page 533-541
- Nittaya, T., Apinon, N. 2008. "Preparation of Nanosilica Powder from Rice Husk Ash by Precipitation Method". Chiang Mai J. Sci. 35(1) : 206-211.
- Nyongesa, F.W. (2004), *Fracture Strength of porous cermaic: stress concentration Vs minimum solid area models*. African Journal of Science and Technology. Vol. 6 No.2
- Nurul Chabibah, 2011. "Pengaruh media pencampur terhadap kualitas mekanik bahan komposit Al/SiC". Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS).
- Rizkalla, HL., and A. Abdulwahed, 1996. "Some Mechanical Properties Of Metal-Nonmetal Al-SiO<sub>2</sub> Particulate Composites". Dep. For mat. & Metallurgy Engg., Faculty of Engg. Al-Fateh University, Tripoli Libya. Journal of Material Processing Tecnology (1996)398-403.
- Samsudin, A., Heru, S., Sugeng, W., Agus, P., Ratna, B. 2009. "A facile method for production of high-purity silica xerogel from bagasse ash". Adv. Pow. Tech 20 : 468-472.
- Sayuti, M., Sulaiman, S., T.R Vijaram, B.T.H.T Baharudin and M.K.A Arifin, 2010. "Manufacturing and Properties of Quartz (SiO<sub>2</sub>) Particulate Reinforced Al-11.8% Si Matrix Composite". Journal of Material Processing Tecnology.
- Spriggs, R.M., and Vasilos, T., *Effect of Grain Size and Porosity on the Transverse Bend Strength and Elastic Modulus of Hot Pressed Alumina and Magnesia*, J. Am. Ceram. Soc. 40, (4), 187 (1961)
- Suresh, S. and A Mortensen; Butterworth-Heinemann. 1993. *Fundamental of Metal Matrix Composites*. London
- Wahyu dan M. Zainuri (2011). *Pelapisan Spinel MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dengan metode koopresipitasi Pada Partikel SiC dan Variasi Waktu Sinter dari Komposit Al/SiCp*. Tugas Akhir, ITS.

- Widyastuti, dkk. (2008). *Kompaktibilitas Komposit Isotropik Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Dengan Variabel Waktu Tahan Sinter*. Makara Sains, Vol 12, No.2, Nopember 2008:113-119.
- Yang, M., Wang, G., Zhenzhong. 2008. “*Synthesis of hollow spheres with mesoporous silica nanoparticles shell*”. Materials Chemistry and Physics 111: 5–8.
- Zuhailawati, H. Samayamutthirian,P. and C.H Mohd Haizu, 2007 “ *FabricationOf Low Cost of Aluminium Matrix Compoiste Reinforced With SilicaSand*”. School of Materials and Mineral Resource Engineering, UniversitiSains Malaysia, Enginering Campus, 14300 Nibong Tibal.