

Studi Sifat Mekanik Komposit Isotropik Al/SiO₂ Hasil Fabrikasi dengan Metalurgi Serbuk

Hanafi,¹ Munasir,^{2,*} dan Mochamad Zainuri¹

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

²Program Studi Fisika, FMIPA-Universitas Negeri Surabaya
Kampus UNESA, Jl. Ketintang Surabaya 60231

Intisari

Telah dilakukan pembuatan komposit Al/SiO₂ melalui metode metalurgi serbuk dengan menggunakan aluminium sebagai matrik yang digabungkan dengan nano silika (SiO₂) yang diperoleh dari hasil sintesis pasir Bancar Tuban melalui metode kopresipitasi. Fabrikasi komposit dilakukan dengan metode metalurgi serbuk pencampuran basah, dengan medium pencampur berupa larutan butanol, dan disintering pada temperatur 500°C selama 2 jam dalam furnace vakum. Hasil fabrikasi dilakukan beberapa analisis dan uji untuk mengetahui sifat-sifatnya, seperti densitas dan porositas, serta uji menggunakan XRD, SEM-EDX dan uji tekan (Brinell). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari analisis XRD diperoleh komposit Al/SiO₂ pada x = 0% hingga 30% dengan fase kristal berupa Al dan sedikit Al₂O₃ dan SiO₂ yang ditunjukkan oleh puncak difraksi yang rendah. Peningkatan fraksi volume SiO₂ pada komposit cenderung menurunkan densitas dan meningkatkan porositas. Demikian pula dari hasil uji mekanik, kuat luluh (*Yield Strength* (YS), kuat tekan (CS), kuat tekan maksimum (UCS) dan modulus elastis (ME) serta kekerasan bahan (BHN) cenderung mengalami penurunan dengan bertambahnya fraksi volume SiO₂ diatas 5% pada komposit Al/SiO₂. Nilai YS, CS, ME dan kekerasan bahan memiliki nilai tertinggi ketika fraksi volume SiO₂ dalam komposit adalah 5%.

Abstract

Composites of Al/SiO₂ have been fabricated through powder metallurgy method using aluminium as matrix and combined with nano silica (SiO₂). SiO₂ was obtained from the synthesis of sand of Bancar Tuban through coprecipitation method. Fabrication of composites was performed by powder metallurgy method by the wet mixing method, by using butanol as solution. The sample was sintered at a temperature of 500°C for 2 hours in a vacuum furnace. The samples were analyzed and tested to determine its properties, as density, porosity, and tested by XRD, SEM-EDX and pressure test. The results showed that based on the XRD analysis was obtained composite Al/SiO₂ at x= 0% to 30% with a crystalline phase of Al and Al₂O₃ and SiO₂ slightly indicated by a low peak. Increased of the volume fraction of SiO₂ on composite was tended to decrease of density and increase porosity. The results of mechanical tests was show that yield strength (YS), compressive strength (CS), elastic modulus (EM), hardness tends to decrease with increasing volume fraction of the composite of SiO₂. Value YS, CS, EM and hardness of materials has the highest value when the volume fraction of SiO₂ in the composite is 5%.

KATA KUNCI: Al/SiO₂ composites, nano-composites, aluminum, nanosilika, mechanical properties

I. PENDAHULUAN

Perkembangan manufaktur dan kebutuhan akan komponen dengan kemampuan struktur yang tinggi, ringan, serta kuat sangat dibutuhkan pada saat ini. Teknologi yang murah dan mudah untuk menfabrikasi material sesuai dengan kebutuhan di atas adalah menggunakan teknik komposit. Komposit merupakan proses penggabungan material yang tak sejenis (matrik dan penguat) yang berikatan hanya pada bagian permukaan. Matrik merupakan bahan dasar yang berperan sebagai penyangga dan pengikat *rienforced*. Matrik memiliki karakteristik lunak, ulet, dan modulus elastis yang ren-

dah. Penguat harus mempunyai sifat kurang ulet, tetapi rigid dan lebih kuat. Komposit yang memanfaatkan logam sebagai material matriknya dikenal sebagai komposit bermatrik logam (*Metal Matrix Composites/MMCs*) [1].

Pada umumnya logam yang banyak dimanfaatkan dalam MMCs adalah aluminium. Pemilihan aluminium sebagai matrik, karena sifat-sifat unggul yang dimiliki oleh aluminium, yaitu densitasnya rendah, ketahanan korosi yang baik, konduktivitas termal dan listriknya serta kemampuan *damping*-nya sangat baik [2–4]. Untuk mendapatkan material baru dengan karakteristik sifat mekanik yang baik, aluminium biasanya dipadukan dengan material keramik, yang memiliki sifat keras dan getas akan menghasilkan karakteristik MMCs yang mempunyai sifat lebih baik dari bahan penyusunnya. SiO₂ (silika) merupakan penguat keramik yang belum banyak dieksplorasi karakteristiknya jika dipadukan dengan

*E-MAIL: munasir_physics@unesa.ac.id

aluminium. Indonesia merupakan negara yang memiliki bentangan pantai terpanjang di dunia, oleh karena itu, Indonesia kaya akan pasir silika yang merupakan sumber dari silika [5–7]. Salah satu daerah yang kandungan pasir silika mengandung silika yang cukup tinggi adalah pantai Bancar di Tuban Jawa Timur. Dengan metode kopresipitasi pasir silika dari Bancar Tuban dihasilkan silika yang mempunyai orde nano [8, 9].

Pada penelitian ini difokuskan pada pembuatan komposit Al/SiO₂ melalui fase padat (metalurgi serbuk) dengan memvariasikan fraksi volume SiO₂ yang dibuat melalui metode kopresipitasi dicapai orde nano dengan bahan pasir Bancar Tuban. Tujuan penelitian mengetahui fraksi volume SiO₂ pada komposit Al/SiO₂ yang diproses melalui fase padat terhadap sifat fisis dan mekaniknya.

II. METODOLOGI

Komposit Al/SiO₂ yang dibuat dari matrik aluminium (Al) dalam bentuk serbuk dan serbuk nano silika orde nano merupakan komposit partikulit yang isotropik. Komposit isotropik merupakan komposit yang akan memberikan penguatan yang sama dalam segala arah. Komposit partikulit ketangguhannya lebih rendah dari pada komposit yang berserat panjang. Akan tetapi, partikulit memiliki ketahanan aus yang lebih baik [6, 10]. Komposit partikulit pada umumnya keuletan dan ketangguhan menurun dengan semakin tingginya fraksi volume dari penguat [7, 11]. Komposit undireksional merupakan komposit yang mempunyai orientasi penguatan yang sama. Pemberian beban yang arahnya sama dengan arah penguat disebut beban longitudinal, maka komposit akan mengalami strain yang sama antara matrik dan penguat (*iso-strain*). Modulus elastis longitudinal disebut *upper bond* dan persamaannya dikenal sebagai hukum campuran yang dinyatakan sebagai: [12, 13]

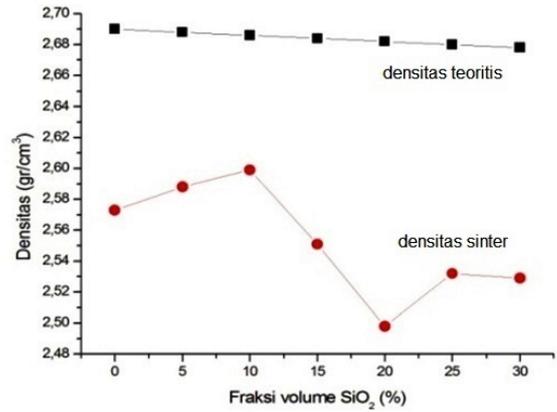
$$E'_c = E_M V_m + E_f V_f \tag{1}$$

Sedangkan beban transversal adalah beban yang arahnya tegak lurus terhadap orientasi penguat. Pemberian beban menyebabkan terjadinya elongasi yang berbeda antara matrik dan penguat, sedangkan beban yang dialami oleh matrik dan penguat adalah sama besar (*iso-stress*). Oleh karena itu, beban secara longitudinal dinamakan *lower bond* dan dinyatakan sebagai: [12, 13]

$$\frac{1}{E_c} = \frac{V_f}{E_f} + \frac{V_m}{E_m} \tag{2}$$

dengan E modulus elastis, V fraksi volume, c komposit, m matrik dan f penguat.

Pada penelitian ini komposit aluminium nano silika (Al/SiO₂) difabrikasi menggunakan metode metalurgi serbuk yang disintering dalam vakum furnace dan proses pencampurannya dalam larutan butanol. Proses sintering dalam vakum furnace maupun pencampuran dalam larutan butanol, bermaksud untuk melindungi aluminium dari proses oksidasi



Gambar 1: Hubungan fraksi volume SiO₂ dan densitas sampel: teori dan setelah sintering.

TABEL I: Massa matrik dan penguat.

Aluminium (Matrik)	Silika (filler)	Massa Jenis Komposit (m _k) (gr)	Massa Komposit (ρ _k , gr/cm ³)
V _m mm(gr)	V _f mf(gr)		
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

dengan oksigen. Bahan sebagai matrik menggunakan aluminium (Merck) dengan kemurnian diatas 90% (densitas 2,7 gram/cm³, modulus elastisitas 70 GPa). Sebagai penguat menggunakan silika ukuran nano hasil dari sintesis pasir Bancar Tuban dengan metode kopresipitasi. Massa dan densitas komposit secara teoritis ditentukan menggunakan persamaan berikut: [10]

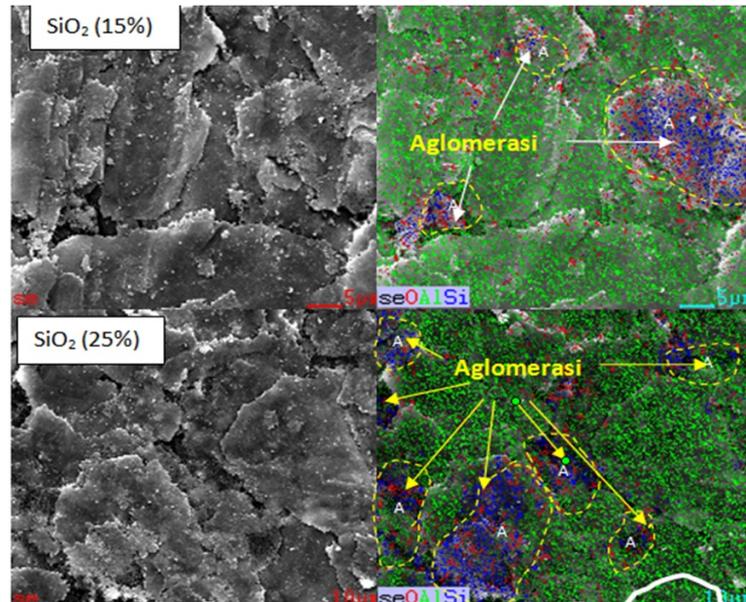
$$m_c = V_m \rho_m v_c + V_f \rho_f v_c \tag{3}$$

$$\rho_c = V_m \rho_m + V_f \rho_f \tag{4}$$

dengan V_c = merupakan volume, V_m = fraksi volume matrik, V_f = volume penguat (SiO₂), ρ_m = massa jenis matrik = 2,69 gr/cm³ dan ρ_f = massa jenis penguat = 2,27 gr/cm³.

Specimen Al/SiO₂ dibuat berbentuk selinder dengan dimensi tinggi 13 mm dan diameternya 13 mm. Serbuk matrik dan penguat komposit Al/SiO₂ diaduk dalam larutan butanol selama 1 jam dan dikeringkan dalam furnace selama 24 jam dengan temperatur 140°C. Komposit dikompaksi dengan tekanan 2 ton dengan waktu tahan 10 menit. Proses sintering pada temperatur 500°C dengan pre sinter temperatur 200°C. Data hasil perhitungan massa komposit dan densitas komposit seperti ditunjukkan pada Tabel I.

Karakterisasi komposit Al/SiO₂ meliputi pengukuran densitas dan porositas, uji kekerasan dan tekan, uji XRD dan uji SEM. Pengukuran densitas dan porositas, untuk mengetahui kompaktibilitas bahan komposit. Uji kekerasan dan tekan untuk mengetahui sifat mekanik, serta uji XRD dan SEM, untuk



Gambar 2: Struktur mikro dan mapping unsur atomik (Al,Si dan O) pada sampel komposit Al/SiO₂ untuk fraksi volume SiO₂ (a) 15% dan (b) 25% (Al = warna hijau, O = warna merah dan Si = warna biru).

mengetahui fasa-fasa yang terbentuk selama fabrikasi komposit dan mengetahui mikrostruktur. Uji kekerasan menggunakan metode Brinnel.

Perhitungan modulus elastis hasil eksperimen menggunakan persamaan berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (5)$$

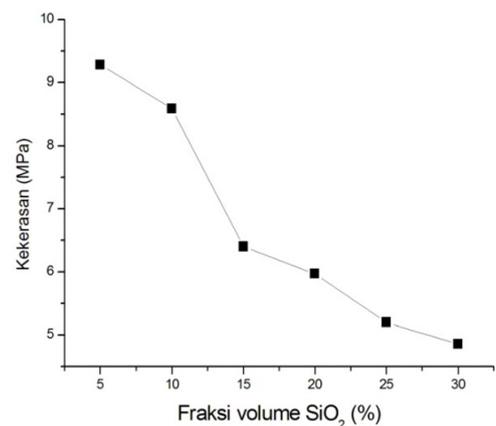
dengan E, σ , ϵ masing-masing adalah modulus elastis komposit, tegangan, regangan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Densitas komposit Al/SiO₂

Pada penelitian ini, densitas komposit yang difabrikasi yang dibahas meliputi densitas teoritis dan densitas sinter. Densitas teoritis adalah densitas komposit yang dihitung secara kualitatif dengan menggunakan Pers.(4), didapatkan nilai densitas teoritis secara umum menurun terhadap meningkatnya fraksi volume SiO₂ (5%,10%, 15%,20%, 25% dan 30%). Densitas sinter adalah pengukuran densitas komposit yang dilakukan setelah proses sintering (*sintered density*). Dari hasil pengukuran yang dilakukan densitas sinter nilainya cenderung menurun seiring naiknya nilai fraksi volume penguat SiO₂, seperti pada Gambar 1.

Nilai densitas sinter terbesar pada saat fraksi volume SiO₂ (10%). Penurunan nilai densitas sinter dapat disebabkan oleh beberapa sebab, diantaranya adanya oksidasi antara aluminium dan oksigen pada saat proses pencampuran, pemanasan (*sinter*) yaitu terjebaknya gas pada saat proses pemanasan dan adanya pengumpulan partikel-partikel penguat

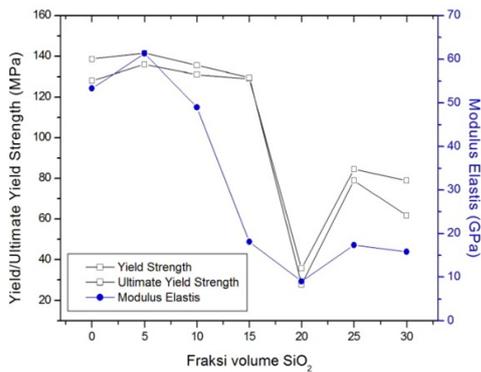


Gambar 3: Kekerasan Komposit Al/SiO₂ terhadap fraksi volume SiO₂.

pada suatu tempat, yang disebut aglomerat. Dari hasil pengamatan mikrostruktur pada Gambar 2, tampak bahwa peristiwa aglomerasi partikel partikel SiO₂ meningkat dengan meningkatnya fraksi volume penguat (15% dan 25%).

Kekerasan komposit Al/SiO₂

Sifat 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 menjadi lebih elastis. Nilai kekerasan bahan komposit hasil pengujian dengan metode Brinnel, ternyata nilainya menu-



Gambar 4: Kuat tekan maksimum dan modulus elastis komposit Al/SiO₂.

run dengan meningkatnya nilai fraksi volume penguat. Nilai kekerasan terbesar dicapai pada saat fraksi volume SiO₂ = 5%. Grafik hubungan antara kekerasan dan fraksi volume SiO₂ seperti pada Gambar 3.

Modulus elastis dan tegangan tekan maksimum komposit Al/SiO₂

Sifat mekanik bahan komposit yang juga dipelajari pada penelitian ini adalah batas tegangan tekan maksimum dan kekakuan komposit. Bahan komposit yang menerima tegangan dari luar, maka tegangan tersebut akan didistribusikan dari matrik ke penguat. Matrik dan penguat memiliki sifat keelastisan yang berbeda, oleh karena itu, ketika menerima tegangan dari luar masing-masing mengalami deformasi yang berbeda. Sifat keelastisan bahan komposit Al/SiO₂ merupakan gabungan dari sifat keelastisan partikel-partikel penyusunnya. Batas keelastisan maksimum bahan komposit terhadap tegangan luar dinamakan *yield strength*. Tegangan luar yang menyebabkan bahan komposit menjadi plastis dan menyebabkan terjadinya kerusakan permanen dinamakan batas tekan maksimum [6, 7].

Tegangan luar yang bekerja pada komposit dibawah nilai *yield strength*nya akan menghasilkan regangan yang sebanding dengan besarnya tegangan, perbandingan antara nilai tegangan dan regangan yang terjadi dinamakan nilai kekakuan atau modulus elastis. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa nilai *yield strength* (YS), *Ultimate Tensile Strength* (UTS) dan Modulus Elastis (ME), menurun dengan meningkatnya fraksi volume penguat, seperti pada Gambar 4. Menurunnya sifat mekanik bahan komposit Al/SiO₂, disebabkan distribusi tegangan tidak terdistribusi secara merata dalam bahan komposit, hal ini disebabkan adanya porositas yang disebabkan adanya aglomerasi partikel partikel penguat [6]. Porositas sangat berkaitan erat dengan menurunnya sifat mekanik bahan komposit, karena tegangan luar akan terpusat pada porositas, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

Analisis difraksi sinar-X

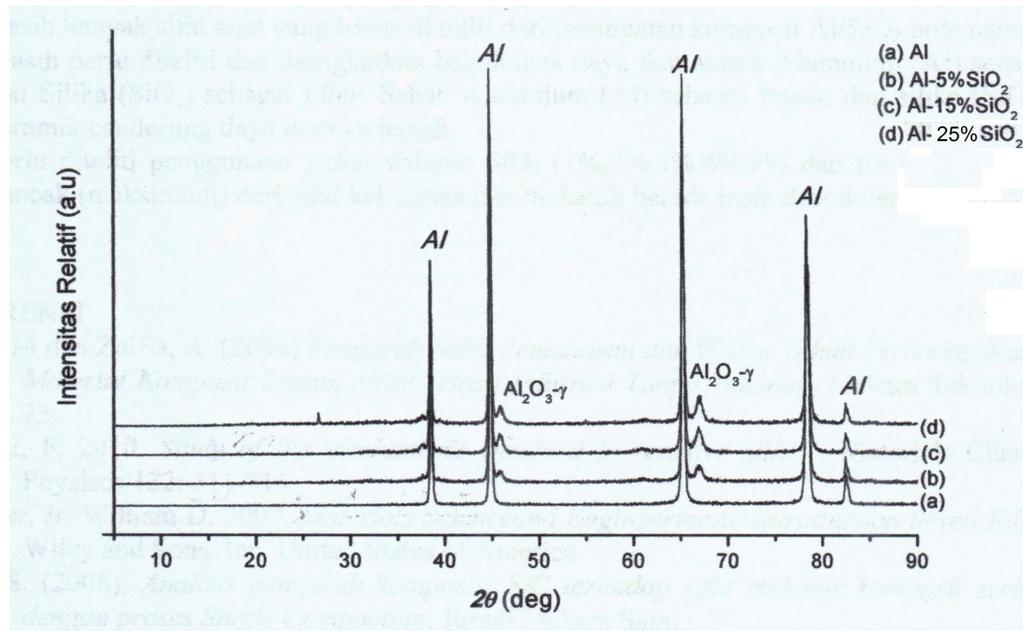
Sintesis komposit Al/SiO₂ pada penelitian ini dilakukan dengan metode proses padat. Mekanisme pembuatan komposit tersebut melalui beberapa tahapan, mulai dari proses penyampuran sampai tahapan proses akhir sintering. Identifikasi kualitas bahan komposit dapat dikarakterisasi secara kualitatif dari fase-fase yang terbentuk pada bahan komposit yang terdiri dari fase utama matriks dan penguat, dan fase perantara yang merupakan fase yang terbentuk diantara interaksi matriks dan penguat atau fase yang timbul akibat adanya oksidasi. Pada penelitian ini difokuskan pada fraksi volume penguat (SiO₂) dari fraksi terendah 5% sampai yang tertinggi 30%. Semua fraksi volume yang ada diamati spektrum XRD seperti ditunjukkan Gambar 5.

Berdasarkan Gambar 5, menunjukkan fase yang muncul dalam bahan komposit Al/SiO₂, diantaranya matriks Al, fase oksida dari matriks (Al₂O₃), dan fase amorfus pengisi SiO₂. Komposisi Al/SiO₂, Al, dan SiO₂ masing-masing 5%, 15%, dan 25%. Sudut difraksi fase Al pada 38,5; 44,7; 65,1; 78,2; dan 82,4, sedangkan fase Al/SiO₂ pada sudut 45,9; 67. Fase amorfus terlihat melebar dan tidak beraturan, hal tersebut mengindikasikan fase SiO₂. Semakin tinggi fraksi volume penguat partikel nano silika pada bahan komposit isotropik, menunjukkan penurunan puncak-puncak kristalin dari Al maupun Al₂O₃. Pada spektrum XRD dari analisis komposit Al/SiO₂ menunjukkan fase-fase utama berdiri sendiri, sehingga menunjukkan bahwa tidak terjadi adanya sistem kelarutan padat atau pembentukan senyawa hasil reaksi antara matriks dan pengisi, dan bukan merupakan ikatan utama dalam interaksinya melainkan ikatan kedua seperti gaya elektrostatis atau gaya mekanik yang disebabkan oleh kekasaran permukaan.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dan pengamatan kuantitatif dan kualitatif dapat disimpulkan bahwa

1. bahan komposit Al/SiO₂ dengan menggunakan penguat SiO₂ orde nano, mempunyai densitas dan porositasnya serta sifat mekanik cenderung turun terhadap kenaikan fraksi volume SiO₂ diatas 5%,
2. kekerasan dan sifat mekaniknya komposit Al/SiO₂ mencapai nilai terbaik ketika fraksi volume SiO₂ dengan nilai kekerasan 9,28 kg/mm² atau 92,8 MPa (uji Brinel), nilai yield strength 131,93 MPa, nilai *Ultimate Compression Strength* 141,56 MPa, nilai modulus elastis 62,43 MPa. Penurunan densitas, kekerasan, kuat luluh, kuat luluh maksimum dan modulus elastis terjadi ketika bahan komposit Al/SiO₂ semakin porus ketika fraksi volume SiO₂ diatas 5%,
3. orde nano silika cenderung menimbulkan aglomerasi pada fraksi volume SiO₂ diatas 5%, dan hal ini menyebabkan pembentukan rongga, selanjutnya akan mempengaruhi sifat-sifat mekaniknya.



Gambar 5: Pola difraksi Al dan AlSiO₂ pada fraksi volume SiO₂ 5%.

- [1] W.D. Callister Jr, *Materials Science and Engineering: An Introduction* (7th edition, John Wiley and Sons, Inc., United States of America, 2007).
- [2] M. Ariati, dan A. Zulfia, *Makara*, **10**, 18-23 (2006).
- [3] S. Deni, *Jurnal Makara Sains*, **12**, 126-133 (2008).
- [4] J. Hasim, L. Looney, M.S.J. Hashmi, *J. Material Processing Technology*, **119**(1-3), 329-335 (2001).
- [5] H.L. Rizkalla, A. Abdulwahed, *J. Material Processing Technology*, **56**, 398-403 (1996).
- [6] H. Zuhailawati, P. Samayamuththirian, M.C.H. Haizu, *Fabrication of Low Cost of Aluminium Matrix Composite Reinforced with Silica Sand*, Scholl of Materials and Mineral Resource Engineering, University Science Malaysia, Engineering Campus, 2007.
- [7] M. Sayuti, *et al.*, *J. Material Processing Technology*, **201**(1), 731-735 (2008).
- [8] Surahmat, Munasir, Triwikantoro, *J. Fis. dan Apl.*, **7**(2), 110202:1-4 (2011).
- [9] Munasir, Triwikantoro, M. Zainuri, Darminto, *JPFA-Unesa*, **3**(2), 12-17 (2013).
- [10] Widyastuti, *dkk.*, *Makara Sains*, **12**(2), 113-119 (2008).
- [11] S. Suresh, A. Mortensen, *Fundamental of Metal Matrix Composites* (Butterworth-Heinemann, London, 1993).
- [12] N. Chabibah, *Pengaruh Media Pencampur terhadap Kualitas Mekanik Bahan Komposit Al/SiC*, Skripsi, Fisika, FMIPA-ITS, Surabaya, 2011.
- [13] R.M. Springgs, T. Vasilos, *J. Am. Ceram. Soc.*, **40**(4), 187 (1961).