

## Pengaruh Kandungan Dan Ukuran Serbuk Genteng Sokka Terhadap Ketahanan Bakar Komposit Geopolimer

Kuncoro Diharjo<sup>1</sup>, Bambang Kusharjanta<sup>1</sup>, Roy Aries P Tarigan<sup>2</sup>, Albert Raga Andhika<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

<sup>2</sup> Program Sarjana – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret  
Universitas Sebelas Maret Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta Solo.

### Abstract

*The objective of this research is to investigate the effect of particle content and grain size of Sokka roof tile powder on the burning endurance of the composite of Sokka roof tile powder - ripoxy R-802. The materials used were a Sokka roof tile powder (SGS), ripoxy R-802 resin, MEKPO catalyst and P-EX promotor. The Sokka roof tile powder was generated from the rejected Sokka roof tile which was crushed into powder. The powder was sieved to result in three size variances, which were mesh 80 retained in mesh 100 (177 $\mu$ m-149 $\mu$ m), mesh 150 retained in mesh 200 (99 $\mu$ m-74 $\mu$ m), and breaking away from mesh 200 ( $\leq$ 74 $\mu$ m). Prior to getting mixed with the resin, SGS was heated in an oven for 45 minutes in the temperature of 105 $^{\circ}$ C. Afterwards, the powder was mixed with ripoxy R-802 resin for 3 minutes. The variances of SGS content were determined to be 10%, 20%, 30% and 40% composition. Making composite was conducted by press mould. Fixed composites was given post curing treatment in the temperatures of 80 $^{\circ}$ C for 120 minutes. The burning testing on the composite was conducted on the basis of the standard of ASTM D-635. The indicator of burning endurance was determined by the data of time of burning (TOB) and rate of burning (ROB). The TOB resulted from the time of ignition and the ROB resulted from the time of fire propagation time in the composite. The results of this research are as follows: (1) the addition of SGS can improve the burning endurance of the composite of SGS-riproxy R-802 as indicated by the increase in the TOB but the decrease of ROB due to the addition of the content of SGS; (2) the small size of the particle of SGS can increase the burning endurance of the composite of SGS-riproxy R-802 as signified by the increase in the TOB but the decrease in the ROB due to the small size of the particle of SGS which breaks away from mesh 200 ( $\leq$ 74 $\mu$ m).*

### PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komposit sangat pesat seiring meningkatnya kebutuhan dunia industri terhadap material dengan karakteristik sepadan dengan logam. Teknologi komposit geopolimer merupakan terobosan teknologi yang menjanjikan bagi masa depan dunia perindustrian. Teknologi geopolimer memiliki keunggulan dalam kemampuannya menghasilkan *binder* kinerja tinggi dari berbagai sumber aluminosilikat. Sumber aluminosilikat yang dimaksud adalah *silica* dan *alumina* yang dominan terdapat pada geomaterial genteng Sokka/lempung MMt.

Geomaterial lempung MMt adalah segumpal tanah liat yang plastis dan mudah dibentuk. Unsur penyusun utama lempung MMt adalah *silica* (SiO<sub>2</sub>) dan *alumina* (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Kandungan *silika* dan

*alumina* memberikan sifat tahan api yang baik pada lempung MMt. Penelitian limbah FA (*fly ash*) yang didominasi oleh SiO<sub>2</sub> (48%) dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (32%). Ketahanan nyala api *test piece* komposit meningkat seiring dengan peningkatan kandungan FA. Panel komposit yang memiliki ketahanan nyala api tertinggi adalah komposit dengan kandungan FA 40% (w/w). Pemberian *cover* logam di bagian tepi panel komposit akan memperlama waktu pembakaran panel[1].

Berdasarkan uraian tersebut di atas, studi tentang komposit geopolimer merupakan hal yang sangat menarik untuk dikaji lebih lanjut. Penggunaan resin yang mengandung *flame resistance* (FR) yaitu *riproxy* R-802 akan mendukung peningkatan sifat tahan api komposit geopolimer. Keberhasilan studi ini akan

menghasilkan inovasi teknologi tahan api/bakar dengan memanfaatkan geomaterial genteng Sokka yang potensial sebagai pengganti logam yang akan berkembang pada komponen roket.

## DASAR TEORI

Sifat mekanik dan ketahanan api dari komposit *montmorillonite – polyamide 66*. Penambahan kandungan OMMT (*organophilic montmorillonite*) dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan bakar komposit OMMT-PA66 [2].

Konduktivitas termal dan ketahanan api dari komposit *epoxy* dengan *filler* senyawa  $\text{Si}_3\text{N}_4$  dan  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . *Filler*  $\text{Si}_3\text{N}_4$  memiliki pengaruh besar pada konduktivitas termal komposit, sedangkan *filler* ATH (*aluminium hydroxide*) dapat meningkatkan ketahanan api dari EMC (*epoxy molding compounds*). Kehadiran  $\text{Si}_3\text{N}_4$  dan ATH (*aluminium hydroxide*) sebagai *filler* di EMC (*epoxy molding compounds*) positif mempengaruhi ketahanan api komposit. Kombinasi dari pengisi ditemukan untuk fraksi total volume pengisi dalam EMC (*epoxy molding compounds*) dari 60% dan rasio volume  $\text{Si}_3\text{N}_4$ :ATH dari 3:2. Komposit ini memiliki konduktivitas termal dari 2.15W/m K, LOI (*limiting oxygen index*) dari 53,5 dan 94-UL (*underwriters laboratories*) pembakaran uji peringkat vertikal V-0. Hasil pengujian ini memenuhi syarat komposit sebagai pertimbangan lebih lanjut dan eksperimentasi dalam aplikasi kemasan elektronik[3].

Hasil penelitian biokomposit propilena/limbah serat kenaf menyatakan bahwa pada kandungan 20% dari campuran nCC (*nano particle size CaCO<sub>3</sub>*) dan NaPP (*sodium polyphosphate*) dengan perbandingan kandungan 7:13 dapat meningkatkan TTI (*time to ignition*) sampai 129% dari rata rata data TTI (*time to ignition*) dan pada kandungan yang sama, nilai *burning rate* turun sampai 49% dari rata rata data BR (*burning rate*). Biokomposit propilena/limbah serat kenaf dengan kandungan 20% dari campuran nCC (*nano particle size CaCO<sub>3</sub>*) dan DAP (*diammonium phosphate*) dengan

perbandingan kandungan 7:13 dapat meningkatkan TTI (*time to ignition*) sampai 149% dari rata rata data TTI (*time to ignition*) dan nilai BR *burning rate* turun sampai 54% dari rata rata data BR *burning rate* [4].

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan adalah genteng Sokka *reject*, *ripxoxy* R-802, promoter P-EX, katalis MEKPO.

Alat yang digunakan adalah timbangan digital, oven listrik, cetakan kaca, gelas kaca dan pengaduk, *cruser/crushing machine*, ayakan.

### Alat Uji

Alat uji yang digunakan adalah alat uji bakar dan pengamatan struktur mikro serta kandungan di dalam SGS. Pengamatan struktur mikro menggunakan SEM (*scanning electron microscope*) dan pengamatan kandungan SGS menggunakan XRF (*x-ray flourescence*).



Gambar 1. Alat Uji Bakar

Proses pengujian bakar dilakukan dengan menggunakan alat sesuai ASTM D 635 yang dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

### Crushing dan Sieving

Genteng Sokka *reject* diolah menjadi serbuk genteng Sokka dengan bantuan alat *cruser/crushing machine*. Setelah itu, SGS diayak (*sieving*) menjadi 3 variasi ukuran serbuk. SGS dengan mesh 80 tertahan di mesh 100 ( $177\mu\text{m}$ - $149\mu\text{m}$ ), mesh 150

tertahan di mesh 200 (99 $\mu$ m-74 $\mu$ m), dan lolos mesh 200 ( $\leq$ 74 $\mu$ m).

#### Pengeringan Serbuk Genteng Sokka

Sebelum serbuk genteng Sokka dicampur dengan resin *riproxy* terlebih dahulu dikeringkan di dalam oven dengan suhu 105°C selama 45menit. Hal tersebut dilakukan untuk mengurangi kadar air dalam serbuk genteng Sokka.

#### Pencetakan Spesimen

Pembuatan komposit menggunakan proses cetak-tekan. Serbuk genteng Sokka dicampur dengan resin *riproxy* R-802 berdasarkan perhitungan fraksi berat dan variasi ukuran serbuk genteng Sokka.

#### Post Curing

Spesimen dilakukan *post curing* (perlakuan panas pada komposit) sebelum pengujian dilakukan. Proses ini dilakukan dengan tujuan agar dapat mengoptimalkan *crosslinking* pada ikatan polimer dengan serbuk genteng Sokka. *Post curing* dilakukan pada suhu 80°C selama 120 menit.

#### Pengujian Bakar

Data yang bisa diperoleh dari pengujian bakar sesuai ASTM D 635 adalah data TOB (*time of burning*) dan ROB (*rate of burning*). Nilai TOB diperoleh saat waktu pertama penyalaan api merambat pada sampel uji selama kurang dari 30 detik pada interval jarak 0 – 25 mm, sedangkan nilai ROB diperoleh data waktu awal api merambat pada jarak 25 mm sampai menuju jarak L = 100 mm. Dengan kata lain nilai ROB diperoleh dari jarak sejauh 75 mm. Pengujian dilakukan dengan posisi sampel spesimen horisontal dan miring 45° mengarah pada ujung spesimen uji. Bahan bakar yang digunakan adalah gas metana dan tinggi api diisyaratkan 20 mm dan jarak terdekat ujung *burner* dengan spesimen adalah 2 mm.

#### Pengolahan Data

Data TOB (*time of burning*) dan ROB (*rate of burning*) dapat dianalisis dari hasil pengujian. Data hasil pengujian selanjutnya dapat disusun grafik hubungan antara TOB terhadap perbedaan fraksi berat serbuk

genteng Sokka dan ROB terhadap perbedaan fraksi berat serbuk genteng Sokka. Setelah itu dapat pula dibuat grafik TOB dan ROB terhadap pengaruh ukuran serbuk genteng Sokka.

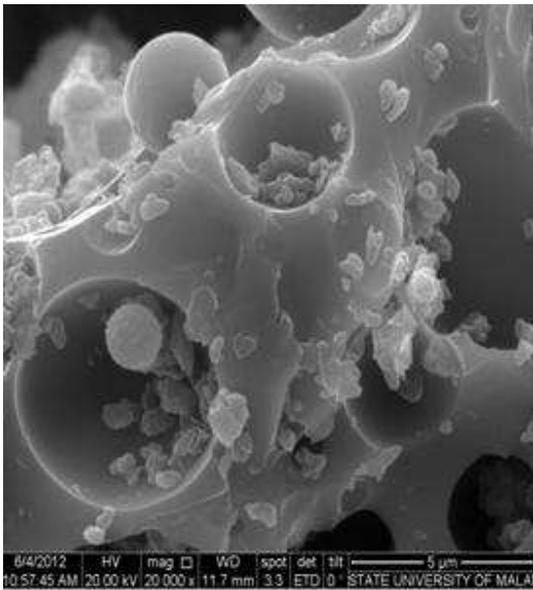
## HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Karakteristik Serbuk Genteng Sokka

Tabel 1. Kandungan unsur utama serbuk genteng Sokka berdasarkan hasil uji XRF

Formula	Konsentrasi	Dominan
SiO <sub>2</sub>	54.59%	Si
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.62%	Al
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.30%	Fe
CaO	3.55%	Ca
MgO	3.03%	Mg
K <sub>2</sub> O	2.25%	K
TiO <sub>2</sub>	1.40%	Ti
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.69%	P
SO <sub>3</sub>	0.37%	S
Cl	0.35%	Cl

hasil XRF menunjukkan beberapa kandungan utama dari serbuk genteng Sokka. Kandungan yang dominan pada serbuk genteng Sokka adalah SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan konsentrasi kandungan 54,59% dan 19,62%. Kedua kandungan tersebut dapat menghambat adanya perambatan api (*flame resistance*) [5]. *Flame resistance* merupakan komponen atau kombinasi komponen yang dapat menghambat nyala bila ditambahkan pada suatu kandungan sehingga dihasilkan suatu material yang memiliki kemampuan hambat nyala [6].

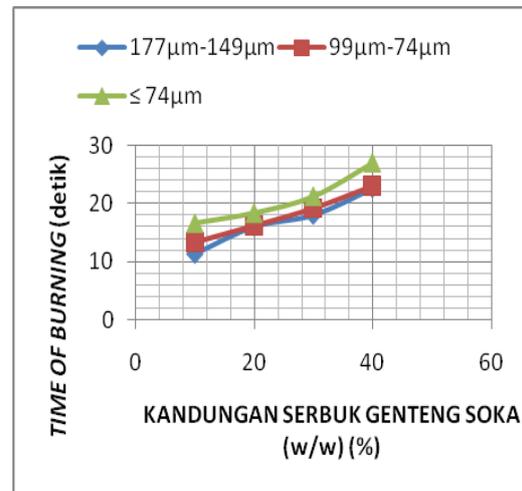


Gambar 2. Hasil SEM serbuk genteng Sokka dengan perbesaran 20000X

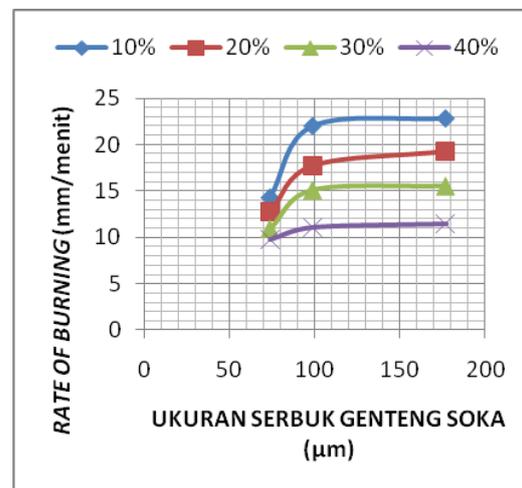
Hasil SEM (*scanning electron microscope*) yang dilakukan pada penelitian ini digunakan sebagai penunjang keakuratan hasil pengujian bakar komposit. Hasil SEM dengan perbesaran 20000 X ini dapat diamati bentuk dan struktur dasar dari serbuk genteng Sokka. Hasil karakterisasi bentuk partikel dengan SEM menunjukkan bahwa serbuk genteng Sokka memiliki kombinasi partikel berbentuk *amorf* (tidak bersegi) dan bulat berdiameter sekitar 5 $\mu$ m. Gambar 2 menunjukkan kombinasi bentuk partikel cenderung ber-aglomerasi menjadi satu. Ini menunjukkan bahwa serbuk genteng Sokka memiliki sifat mudah menyerap air [5]

**Ketahanan Bakar**

Pengujian bakar yang dilakukan telah memperoleh hasil berupa data dan kurva. Ada pun kurva tersebut dibagi menjadi 4 kurva, yaitu kurva pengaruh fraksi berat serbuk genteng Sokka terhadap *time of burning* dan *rate of burning* komposit geopolimer serta kurva pengaruh ukuran serbuk genteng Sokka terhadap *time of burning* dan *rate of burning* komposit geopolimer.



( a )



( b )

Gambar 3. Kurva pengaruh fraksi berat serbuk genteng Sokka terhadap (a) *time of burning* dan (b) *rate of burning*

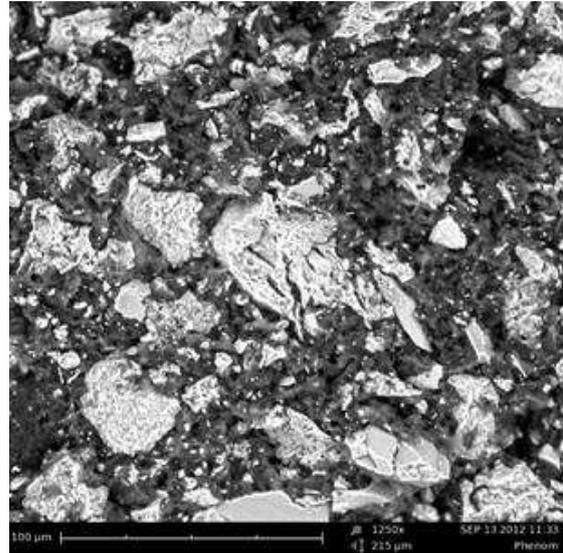
Kurva di atas menunjukkan ketahanan bakar komposit geopolimer serbuk genteng Sokka-*ripoxy* R-802 dikategorikan baik berdasarkan standar ketahanan bakar/api yaitu UL 94 [7]. Gambar 3a dapat dilihat nilai tertinggi TOB adalah 27,16 detik dengan variasi kandungan SGS 40% (w/w). Nilai TOB tinggi menunjukkan penyalaan api pada komposit membutuhkan waktu yang lama. Gambar 3a dapat diamati bahwa setiap kandungan SGS 40% (w/w) memperlihatkan garis kurva yang meningkat. Ini berarti semakin banyak

kandungan SGS, maka nilai TOB semakin meningkat pula.

Gambar 3b menunjukkan nilai terendah ROB adalah 9.79 mm/menit dengan variasi kandungan SGS 40% (w/w). Nilai ROB rendah menunjukkan rambatan api pada komposit membutuhkan waktu yang lama. Gambar 3b menunjukkan bahwa pada kandungan SGS 40% (w/w) memperlihatkan garis kurva yang menurun. Ini berarti semakin banyak kandungan SGS, maka nilai ROB semakin menurun.

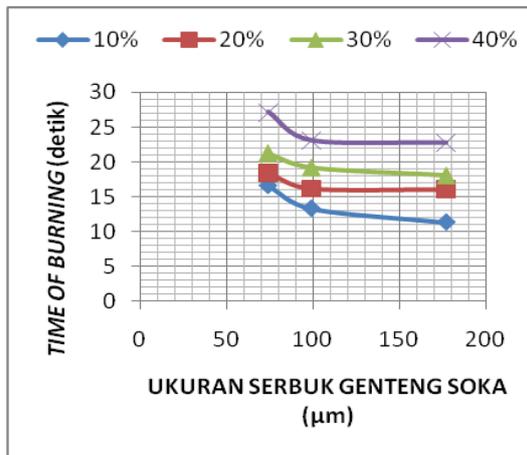
Jumlah kandungan SGS di dalam komposit mempengaruhi nilai TOB dan ROB. Serbuk genteng Sokka terdiri dari beberapa kandungan unsur penyusun seperti dari hasil XRF pada tabel 4.1. Unsur penyusun tersebut diantaranya adalah silika (senyawa yang terbentuk dari sisa sisa senyawa silikat yang memiliki kemampuan tahan suhu tinggi), alumina (senyawa yang memiliki titik lebur  $660^{\circ}\text{C}$ ), oksida besi III (senyawa yang memiliki titik lebur  $1535^{\circ}\text{C}$ ), magnesium oksida (senyawa yang memiliki titik lebur  $650^{\circ}\text{C}$ ), kalsium oksida (senyawa yang memiliki titik lebur  $845^{\circ}\text{C}$ )[8]. Senyawa yang dikenal tahan api dapat dikelompokkan sebagai berikut yaitu senyawa anorganik garam (silikat), senyawa miscellaneous (titanium), senyawa organik fosfor dan halogen (klorida) yang dapat menghambat lajunya api[6].

Semakin tinggi kandungan SGS pada komposit, maka nilai TOB akan meningkat dan ROB akan menurun. Ini disebabkan karena penambahan kandungan SGS memungkinkan terjadinya kontak antar partikel (kerapatan) di dalam komposit semakin bertambah [9]. Pengamatan struktur mikro komposit dapat menjadi acuan penjelasan yang valid.

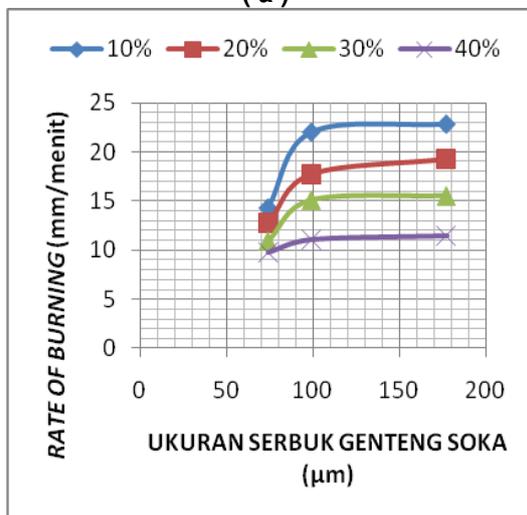


Gambar 4. Hasil SEM penampang patah komposit dengan kandungan SGS 40% (w/w) (ukuran serbuk  $\leq 74\mu\text{m}$ )

Hasil SEM di atas dapat dijelaskan bahwa penambahan kandungan SGS membuat ikatan antar partikel pada komposit semakin bertambah. Komposisi SGS:resin yaitu 2:3 menjadikan kombinasi yang baik pada komposit tahan api. Penambahan kandungan SGS membuat kepadatan partikel semakin menambah dan pendistribusian SGS menjadi merata karena pembasahan resin pada komposisi ini menjadi lebih maksimal. Penambahan material anorganik dapat meningkatkan efektifitas senyawa penghambat nyala [10] Penambahan kandungan OMMT (*organophilic montmorillonite*) dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan bakar komposit OMMT-PA66 [2].



( a )



( b )

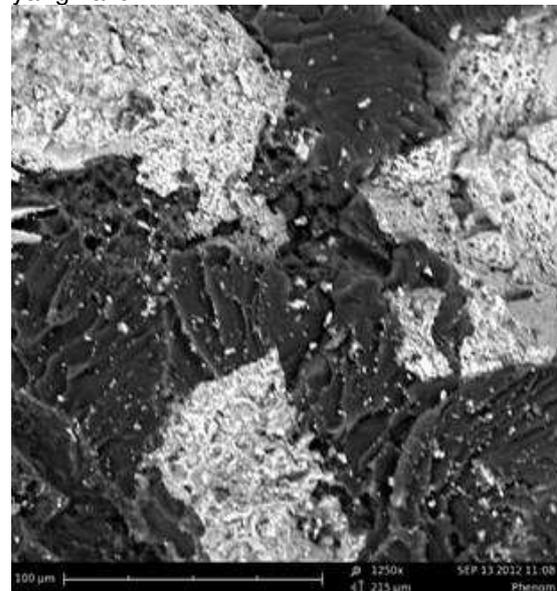
Gambar 5. Kurva pengaruh ukuran serbuk genteng Sokka terhadap (a) *time of burning* dan (b) *rate of burning*

Kurva di atas menunjukkan ketahanan bakar komposit geopolimer serbuk genteng Sokka-*ripoxy* R-802 dikategorikan baik berdasarkan standar ketahanan bakar/api yaitu UL 94. Gambar 5a dapat dilihat nilai tertinggi TOB adalah 27,16 detik dengan variasi ukuran serbuk  $\leq 74\mu\text{m}$ . Nilai TOB tinggi menunjukkan bahwa penyalaan api pada komposit membutuhkan waktu yang lama. Gambar 5a dapat diamati bahwa penurunan ukuran serbuk genteng Sokka memperlihatkan garis kurva TOB yang meningkat. Ini berarti semakin kecil ukuran SGS, maka nilai TOB semakin meningkat.

Gambar 5b menunjukkan nilai

terendah ROB adalah 9.79 mm/menit dengan variasi ukuran serbuk  $\leq 74\mu\text{m}$ . Nilai ROB rendah menunjukkan rambatan api pada komposit membutuhkan waktu yang lama. Gambar 5b dapat diamati bahwa setiap penurunan ukuran serbuk genteng Sokka memperlihatkan garis kurva yang menurun. Ini berarti semakin kecil ukuran SGS, maka nilai ROB semakin menurun.

Ukuran SGS di dalam komposit mempengaruhi nilai TOB dan ROB. Variasi ukuran SGS dibagi menjadi 3 yaitu mesh 80 tertahan di mesh 100 ( $177\mu\text{m}$ - $149\mu\text{m}$ ), mesh 150 tertahan di mesh 200 ( $99\mu\text{m}$ - $74\mu\text{m}$ ), dan lolos mesh 200 ( $\leq 74\mu\text{m}$ ). Semakin kecil ukuran SGS pada komposit tahan api, maka nilai TOB akan meningkat dan ROB akan menurun. Hasil ini disebabkan karena ukuran serbuk yang kecil (cenderung halus) akan meningkatkan gesekan antar partikel yang akan meningkatkan kekuatan adhesi [11]. Ukuran serbuk yang besar (cenderung kasar) memiliki kepadatan yang besar namun luas permukaan kontak antar partikel menjadi kecil sehingga memungkinkan terjadinya banyak pori pada komposit [9]. Pengamatan struktur mikro komposit dapat menjadi acuan penjelasan yang valid.



Gambar 6. Hasil SEM penampang patah komposit  $177\mu\text{m}$ - $149\mu\text{m}$  dengan kandungan SGS 40% (w/w)

Hasil SEM pada gambar 4.5 dapat dijelaskan bahwa ukuran serbuk yang besar (cenderung kasar) memiliki kepadatan yang besar namun luas permukaan kontak antar partikel menjadi kecil sehingga memungkinkan terjadinya banyak pori pada komposit [9] Gambar 4.5 dapat diamati bahwa ukuran serbuk yang besar kurang dapat terdistribusi secara merata. Kerapatan/aglomerasi serbuk berada pada tingkat yang tinggi, namun pembasahan resin pada serbuk kurang maksimal karena luas permukaan serbuk yang besar. Ukuran butir kecil mengakibatkan semakin besarnya luasan area partikel yang akan diikat oleh matrik[12]. Distribusi ukuran partikel sangat menentukan kemampuan partikel dalam mengisi ruang kosong antar partikel untuk mencapai volume terpadat dan pada akhirnya akan menentukan besarnya porositas dan kekuatan [11].

#### KESIMPULAN

Penambahan kandungan serbuk genteng Sokka, kandungan 40% serbuk genteng Sokka, menyebabkan peningkatan *time of burning* dan penurunan *rate of burning*. Perilaku ini menunjukkan bahwa penambahan serbuk genteng Sokka mampu meningkatkan ketahanan bakar komposit SGS-*ripoxy* R-802.

Ukuran serbuk genteng Sokka yang lebih kecil, lolos mesh 200 ( $\leq 74\mu\text{m}$ ), menyebabkan peningkatan *time of burning* dan penurunan *rate of burning*. Perilaku ini menunjukkan bahwa ukuran butir SGS yang kecil mampu meningkatkan ketahanan bakar komposit SGS-*ripoxy* R-802.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Diharjo, K, dkk. 2007. *Effect of Particulate Size of Fly Ash and Fly Ash Weight Fraction to Flexural Properties of Fly Ash Polyester Composite*. Proceeding ICCS. Yogyakarta.
- [2] Yang, X, dkk. 2009. *Mechanical Properties and Flame Retardancy Research of Montmorillonite Intercalate Polyamide* 66 *Composites*. Journal of Composite Materials 43 : 2785– 2792.
- [3] Shi,Z,dkk. 2012. *Thermal Conductivity and Fire Resistance of Epoxy Molding Compounds Filled with  $\text{Si}_3\text{N}_4$  and  $\text{Al}(\text{OH})_3$* . Materials and Design 34: 820–824.
- [4] Suharty, N.S, dkk. 2012. *Flammability, Biodegradability and Mechanical Properties of Bio-Composites Waste Polypropylene / Kenaf Fiber Containing Nano  $\text{CaCO}_3$  with Diammonium Phosphate*. Procedia Chemistry 4 : 282-287.
- [5] Wibisono, R. 1998. *Penentuan Jenis Lempung Serta Pengaruhnya pada Genteng Keramik*. Fakultas MIPA Universitas Diponegoro, Semarang.
- [6] Tesoro, G.C. 1978. *Chemical modification of Polymer with Flame Retardant Compounds*. Journal of Polymer Science : Macromolecular Reviews, Vol. 13, 283-353.
- [7] Tesoro, G. 1976. *Current Research on Chemical Modification of Cellulose*. Pure & Application Chemistry. Vol. 46, pp. 239-245.
- [8] Vogel dan Svehla .G. 1979. *Text Book of Macro and Semi Micro Qualitative Inorganic Analysis*. Longman Group Limited. London.
- [9] Wildan, M.W, dkk. 2005. *Pengaruh Serbuk Alumina terhadap Kekerasan dan Kekuatan Bending Komposit Paduan Al-Si/Alumina* Jurnal Mesin dan Industri, Volume 2, nomor 1, Edisi Januari, ISSN 1693-704X, Hal. 29-34.
- [10] Lee,J.H, dkk. 2003. *Flame Retardancy and Mechanical Property of Polypropylene/Nylon Nanocomposite Reinforced with Montmorillonite*. Polymer (Korea), Vol 27. No.6, 576-582.
- [11] Lestari, F.P. 2008. *Pengaruh Temperatur Sinter dan Fraksi Volume Penguat  $\text{Al}_2\text{O}_3$  terhadap Karakteristik Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  Produk Metalurgi Serbuk*. FT Universitas Indonesia.

- [12] Siswanto dan Diharjo. K. 2011. *Pengaruh Fraksi Volume dan Ukuran Partikel Komposit Polyester Resin Berpenguat Partikel Genting Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekuatan Bending*. Politekonosains X No. 2 : 91-99.