



PROSIDING

SEMINAR NASIONAL KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA III

"Teori dan Aplikasi Sains dalam Isu Globalisasi Lingkungan, Profesionalisasi Pembelajaran dan Kewirausahaan"

Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP UNS

Surakarta, 7 Mei 2011



MAKALAH PENDAMPING

KIMIA ANORGANIK
(Kode : D-03)

ISBN : 978-979-1533-85-0

PEMBUATAN FOAM DARI ABU LAYANG DAN SERBUK GELAS

Bahrul Ulum^{1,*} dan Lukman Atmaja¹

¹ Jurusan Kimia, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia

* Keperluan korespondensi, tel/fax: 031-5943353/031-5928314, email: bahrul_11@yahoo.com

Abstrak

Foam yang berasal dari abu layang dan sisa-sisa gelas telah disintesis sebagai bagian dari usaha terus menerus untuk memanfaatkan bahan buangan industri. Sodium dodecyl sulfat (SDS) dipakai sebagai *foam agent* dan pengaruhnya terhadap penyerapan air dan kuat tekan telah dievaluasi. Hasil-hasil menunjukkan bahwa penambahan SDS sebesar 0, 4, 8 dan 12% menyebabkan penurunan penyerapan air dengan nilai berturut-turut 129,5; 99,7; 95,3 dan 73,3%. Seiring dengan itu nilai kuat tekannya juga menurun berturut-turut sebagai berikut 2,1; 1,8; 1,6 dan 0,4 MPa. Material foam dari abu layang dan serbuk gelas yang mempunyai nilai penyerapan air dan kuat tekan yang tinggi dapat diperoleh tanpa penambahan *foam agent*.

Kata Kunci: Abu layang, serbuk gelas, material foam, penyerapan air, kuat tekan

PENDAHULUAN

Batubara sebagai bahan bakar banyak digunakan di PLTU dan industri. Sisa hasil pembakaran dengan batubara menghasilkan abu yang disebut dengan abu layang dan abu dasar. Produksi kedua abu batubara ini sejak tahun 1920 telah mencapai jutaan ton [1]. Saat ini produksi abu batubara di dunia telah mencapai sekitar 600 juta ton, yang mana sekitar 500 juta ton merupakan abu layang (fly ash) dari 75-80% total abu yang dihasilkan [2]. Produsen utama adalah negara-negara bekas Uni Soviet (99 miliar ton), diikuti Cina (55 miliar ton), Amerika Serikat (53 miliar ton) dan India (40 miliar ton) [2]. Produksi abu ini akan terus meningkat dari tahun ke tahun.

Di Indonesia, penggunaan batubara juga mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya jumlah pembangunan PLTU berbahan bakar batubara. Hal ini akan mengakibatkan jumlah abu layang yang dihasilkan

juga akan meningkat yaitu pada tahun 2000 sebanyak 1,66 juta ton, sedangkan pada tahun 2006 diperkirakan akan mencapai sekitar 2 juta ton. Sementara itu, berdasarkan rencana pembangunan energi listrik di Indonesia, pada akhir 2010 harus terpenuhi pertambahan energi listrik sebesar 10.000 Mega Watt. Itu artinya perlu dibangun lagi pembangkit listrik sebanyak tidak kurang dari 10 buah. Seluruh pembangkit listrik ini merupakan pembangkit listrik dengan bahan bakar batu bara [3]. Dengan demikian limbah PLTU juga akan meningkat drastis.

Sebagai bahan sisa pembakaran, abu layang biasanya dibuang atau ditumpuk di daratan terbuka. Pembuangan abu layang batubara yang efisien telah menjadi isu di seluruh dunia karena besarnya jumlah abu layang yang diproduksi dan memberikan efek berbahaya terhadap lingkungan, terutama dapat mencemari tanah dan air tanah [4]. Dijelaskan pula oleh Carlsson, dkk. bahwa dampak

negatif yang besar dari pembuangan abu layang terhadap lingkungan termasuk pelepasan zat beracun kedalam tanah dan air tanah, perubahan komposisi unsur vegetasi yang tumbuh dekat dengan abu, dan akumulasi unsur-unsur beracun dalam rantai makanan [5]. Jika limbah abu ini tidak dimanfaatkan maka akan mencemari lingkungan [6]. Oleh karena itu, perlu dicarikan upaya-upaya untuk meningkatkan pemanfaatan limbah abu layang batubara atau daur ulang menjadi produk yang ramah lingkungan dan bernilai ekonomi tinggi.

Di sisi lain, perkembangan teknologi yang cepat telah berdampak pada berkurangnya sumber daya alam dan meningkatnya jumlah limbah padat, diantaranya limbah gelas. Menurut Pereira, dkk. negara Uni Eropa memproduksi sekitar 900.000 ton limbah gelas setiap tahun dan di Portugal sekitar 15.000 ton per tahun [5]. Oleh karena limbah gelas tidak dapat terurai oleh mikroorganisme (*non biodegradable*) maka jika terus bertumpuk akan menimbulkan permasalahan lingkungan. Salah satu solusi untuk mengatasinya adalah dengan cara mendaur ulangnya menjadi material foam.

Material foam ini dapat dibuat dengan cara mengkombinasikannya dengan abu layang. Ini didasarkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh Fernandes, dkk. serta Zhao, dkk [4, 5]. Dari eksperimen Fernandes, dkk. (2007) dihasilkan bahwa material foam yang mempunyai mikrostruktur pori besar yang homogen diperoleh dengan cara menambahkan 1-2% berat karbonat dengan suhu sintering rendah (850°C). Sedangkan Zhao, dkk (2009) menyebutkan bahwa material foam untuk bahan penyerap air dapat dibuat dari campuran abu layang dan serbuk gelas dengan menambahkan 13% berat *foam agent* pada suhu 1050°C selama 2 jam setelah diaktivasi alkali.

Material foam mempunyai banyak manfaat diantaranya dapat digunakan sebagai filter air limbah, menjaga kelembapan dan lapisan

permeable [4]. Selain itu dapat juga digunakan sebagai material konstruksi yang cocok untuk isolasi panas dan suara [7].

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk mengkonversi abu layang dan serbuk gelas menjadi material foam dengan menambahkan SDS (*Sodium Dodecyl Sulfate*) sebagai *foam agent*. Penggunaan abu layang dan serbuk gelas dari sisa-sisa gelas sebagai bahan baku untuk material foam akan bermanfaat baik bagi lingkungan sebagai upaya daur ulang terhadap kedua material ini. Selain itu, ada kemungkinan keuntungan ekonomi karena rendahnya biaya abu layang dan serbuk gelas karena keduanya merupakan limbah.

PROSEDUR PERCOBAAN

1. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain cetakan, saringan, pengaduk (mixer), oven, *muffle furnace*, neraca analitik, kaca arloji, pipet tetes, *globe mill*, pemotong dan peralatan plastik (gelas, wadah, dan pengaduk plastik). Peralatan atau instrumen untuk karakterisasi antara lain mesin penguji kuat tekan (Universal Testing Machine), SEM (*Scanning Electron Microscopy*), XRF (*X-Ray Fluorescence*), dan XRD (*X-Ray Diffraction*).

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain abu layang dari PLTU Paiton-Probolinggo, serbuk gelas, natrium hidroksida pelet (NaOH 99%, Merck), aquades (H₂O), dan SDS (*Sodium Dodecyl Sulfate*) sebagai *foam agent*.

2. Metode

2.1 Karakterisasi Bahan Awal

Abu layang dari PLTU Paiton dan serbuk gelas yang diperoleh dari gelas-gelas sisa yang telah dihaluskan awalnya dilakukan proses pretreatment yaitu disaring lalu dioven pada suhu

105°C selama 24 jam. Selanjutnya dianalisis komposisi kimianya dengan menggunakan XRF.

2.2 Pembuatan Material Foam

Campuran abu layang (A) dan serbuk gelas (G) menggunakan rasio A/G = 20/80, yaitu 20% massa abu layang dan 80% massa serbuk gelas. Rasio ini dipilih didasarkan atas hasil penelitian Fernandes, dkk. yang menyebutkan bahwa pada rasio ini akan terbentuk struktur pori yang maksimum sehingga dapat menyebabkan densitasnya menurun [5].

Campuran A₂₀G₈₀ ini kemudian dihomogenkan dengan menggunakan *ball mill*. Setelah homogen diambil 60% massa untuk dicampurkan dengan 30% massa larutan NaOH (10% massa) dan larutan SDS dengan konsentrasi yang bervariasi (0, 4, 8, dan 12% massa) sebanyak 10% massa. Setelah semua bahan ini bercampur kemudian dimixer selama ±5 menit hingga terbentuk slurry yang siap dituang kedalam cetakan untuk dioven pada suhu 105°C selama 12 jam. Agregat yang sudah agak kering ini kemudian disinter dengan menggunakan *muffle furnace* pada 900°C selama 2 jam. Setelah dingin maka terbentuklah material foam yang siap untuk dikarakterisasi.

2.3 Karakterisasi Material Foam

Karakterisasi yang akan dilakukan terhadap sampel antara lain analisa kuat tekan untuk mengetahui sifat mekaniknya, analisa penyerapan air dan densitas untuk mengetahui sifat fisiknya, analisa morfologi material foam dengan SEM dan perubahan fasa yang terjadi pada material foam dianalisa dengan XRD.

2.3.1 Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan menggunakan alat uji kuat tekan (Universal Testing Machine) yang berada di Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya. Material foam yang diuji berbentuk balok dengan panjang, lebar dan tingginya masing-masing adalah 3; 1,5 dan 1,5 cm.

Permukaan yang dikenai gaya tekan adalah yang berukuran 1,5 x 1,5 cm.

Setiap variasi konsentrasi SDS diuji dengan masing-masing tiga sampel. Nilai kuat tekan sampel dihitung melalui persamaan:

$$P = \frac{F}{A}$$

dimana:

P = tekanan (Pascal)

F = gaya (Newton)

A = luas bidang tekan (m²)

m = massa beban (Kg)

g = gaya gravitasi (m/s²) = 9,8 m/s²

2.3.2 Penyerapan Air

Penyerapan air (*water absorption*) ditentukan dengan Standar Nasional Cina GB 13545-2003 [4]. Sampel kering direndam dalam air selama 24 jam kemudian peningkatan massanya diukur. Penyerapan air diukur dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$WA = \frac{W2 - W1}{W1} \times 100 \%$$

dimana:

W1 = massa sebelum menyerap air (g)

W2 = massa setelah menyerap air (g)

WA = water absorption (%)

2.3.4 Densitas

Pengukuran densitas material foam dilakukan dengan menggunakan metode Archimedes. Besarnya nilai densitas dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut [8].

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

dimana:

ρ = densitas sampel (g/cm³)

m_s = massa sampel kering (g)

m_b = massa sampel setelah direndam air (g)

m_g = massa sampel digantung dalam air (g)

m_k = massa kawat/tali penggantung (g)

ρ_{air} = densitas air = 1 g/cm³

2.3.4 Analisis Morfologi dengan SEM

Analisis morfologi material foam dilakukan pada foam yang memiliki kuat tekan tertinggi dan terendah. Analisis ini menggunakan alat *Analytical Scanning Electron Microscopy* (SEM) merk Zeiss EVO tipe MA dan LS di Laboratorium Energi dan Rekayasa LPPM ITS Surabaya.

Preparasi sampel dilakukan dengan cara mengambil sampel berukuran $p \times l \times t = 2 \times 2 \times 1$ cm dan diletakkan pada cawan holder. Selanjutnya, struktur mikro atau morfologi sampel dianalisis dengan menggunakan alat SEM. Hasil analisis berupa foto struktur mikro dengan perbesaran tertentu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Bahan Awal

Analisa komposisi kimia terhadap abu layang dan serbuk gelas dilakukan dengan XRF. Analisa komposisi kimia abu layang PLTU Paiton telah dilakukan oleh Hadi L [9]. Data komposisi kimia kedua bahan awal dapat dilihat pada tabel 1 (Terlampir).

Berdasarkan data tersebut abu layang yang digunakan termasuk abu layang tipe C karena memiliki kandungan kapur atau CaO lebih dari 10% yaitu sebesar 32,7% [10]. Selain itu, abu layang ini juga memiliki kandungan Fe_2O_3 dan SiO_2 yang tinggi masing-masing sebesar 43,8% dan 11,4%.

Pada serbuk gelas terlihat bahwa bahan ini paling banyak mengandung SiO_2 , Na_2O dan CaO yang masing-masing adalah 70,64%; 13,66%; dan 9,93%. Unsur-unsur inilah yang berpengaruh terhadap sifat fisik dan sifat mekanik material foam yang terbentuk.

Uji Kuat Tekan

Hasil uji kuat tekan terhadap material foam yang divariasikan dengan penambahan konsentrasi SDS-nya dari 0, 4, 8 dan 12% massa masing-

masing diberi simbol F0A, F4A, F8A, dan F12A. Secara lengkap dapat dilihat pada tabel 2 (Terlampir).

Dari hasil uji tersebut terlihat bahwa semakin besar konsentrasi SDS yang ditambahkan maka kuat tekannya cenderung semakin berkurang. Hal ini dapat terlihat jelas pada gambar 1 (Terlampir). Kecenderungan ini dapat disebabkan oleh penambahan konsentrasi SDS sebagai *foam agent* menyebabkan ukuran pori-pori material foam juga semakin besar yang tidak diimbangi dengan kenaikan dinding pori-pori. Ini mengakibatkan dinding pori-pori semakin menipis sehingga kemampuan untuk menahan gaya yang mengenainya akan semakin berkurang. Hal ini dapat teramati dengan alat SEM

Penyerapan Air

Hasil pengukuran penyerapan air terhadap sampel dengan empat variasi penambahan konsentrasi SDS dapat dilihat pada tabel 3 dan gambar 2 (Terlampir).

Dari data pengukuran ini diperoleh bahwa kemampuan penyerapan air dari material foam yang dibuat semakin berkurang seiring dengan bertambahnya konsentrasi SDS yang ditambahkan. Ini terjadi karena ukuran pori yang semakin besar akibat penambahan konsentrasi SDS serta ketidakhomogenan dari pori-pori yang terbentuk. Akibatnya air yang terserap mudah terlepas karena besarnya ukuran atau volume pori dan ketidakhomogenan pori tersebut. Morfologi pori ini dapat terlihat dengan menggunakan alat SEM.

Densitas

Data pengukuran densitas sesuai prinsip Archimedes dapat dilihat pada tabel 4 dan gambar 3 (Terlampir). Dari data ini menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi SDS yang semakin besar menyebabkan menurunnya densitas material foam yang dihasilkan.

Hal ini tidak terlepas dari semakin besarnya ukuran pori akibat pengaruh penambahan SDS

akan mengakibatkan massa sampel berkurang dengan volume yang tetap. Sebagaimana yang telah kita ketahui bahwa densitas itu sebanding dengan massa dan berbanding terbalik terbalik dengan volume benda. Oleh karena itu, semakin besar ukuran pori pada volume yang tetap maka menyebabkan massanya berkurang dan densitasnya juga berkurang.

Analisa Morfologi dengan SEM

Analisa morfologi yang dilakukan pada dua sampel yaitu sampel dengan kode F0A (penambahan SDS 0% massa) dan F12A (penambahan SDS 12% massa) dapat dilihat pada gambar 4 (Terlampir).

Dari hasil SEM terlihat bahwa pori-pori material foam tanpa penambahan SDS (F0A) terlihat homogen baik struktur maupun ukuran porinya. Inilah yang menyebabkan nilai kuat tekan dan penyerapan airnya tinggi. Disamping itu jumlah pori yang lebih banyak juga dapat menyebabkan nilai penyerapan air yang tinggi pada material foam dengan penambahan SDS 0% massa (F0A).

Pada material foam dengan penambahan SDS 12% massa (F12A) terlihat ukuran pori yang tidak homogen serta terlihat dinding pori yang lebih tipis jika dibandingkan dengan sampel F0A. Hal inilah yang menyebabkan nilai kuat tekannya lebih rendah. Penyerapan airnya yang lebih rendah diakibatkan karena jumlah pori yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan sampel F0A.

KESIMPULAN

- 1 Penambahan konsentrasi SDS sebesar 0, 4, 8 dan 12% massa menyebabkan penurunan penyerapan air dan kuat tekan dengan nilai masing-masing berturut-turut 129,5; 99,7; 95,3 dan 73,3% dan 2,1; 1,8; 1,6 dan 0,4 MPa.
- 2 Material foam dari abu layang dan serbuk gelas yang mempunyai nilai penyerapan air

dan kuat tekan yang tinggi dapat diperoleh tanpa penambahan *foam agent*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Departemen Agama RI yang mendanai penelitian ini dan PT. IPMOMI Paiton Probolinggo sebagai penyedia sampel abu layang.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Temuujin, J., Minjigmaa, A., Rickard, W., Lee, M., Williams, I., Riessen, A., 2010, *Fly ash based geopolymer thin coatings on metal substrates and its thermal evaluation*, Journal of Hazardous Materials, Vol. 180, Hal. 748–752.
- [2] Ahmaruzzaman, M., 2009, *A review on the utilization of fly ash*, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 36, Hal. 327–363.
- [3] Maryoto, A., 2008, *Pengaruh Penggunaan High Volume Fly Ash Pada Kuat Tekan Mortar*, Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan, Nomor 2 Volume 10 – Juli 2008, Hal.103 – 114.
- [4] Zhao, Y., Ye, J., Lu X., Liu, M., Lin, Y., Gong, W. dan Ning G., 2009, *Preparation of sintered foam materials by alkali-activated coal fly ash*, Journal of Hazardous Materials, Vol. 174, Hal. 108–112.
- [5] Fernandes, H.R., Tulyaganov, D.U. dan Ferreira, J.M.F., 2007, *Preparation and characterization of foams from sheet glass and fly ash using carbonates as foaming agents*, Ceramics International, Vol. 35, Hal. 229–235.
- [6] Ardha, N., 2007, *Pemanfaatan Abu Layang PLTU-Suralaya untuk Castable Refractory (Penelitian Pendahuluan)*, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara.
- [7] Steiner, A.C., 2006, *Foam Glass Production From Vitrified Municipal Waste Fly Ashes*, Eindhoven University Press, Netherland.
- [8] Simbolon, T., 2009, *Pembuatan Dan Karakterisasi Batako Ringan Yang Terbuat Dari Styrofoam-Semen*,

Tesis, Program Studi Magister Ilmu Fisika, Universitas Sumatera Utara Medan.

[9] Hadi, L., 2011, *Amobilisasi Kation Logam Berat Cd²⁺ Pada Sintesis Geopolimer Dengan Variasi Rasio Mol SiO₂/Al₂O₃ Dari Abu Layang PLTU Paiton*, Skripsi, Program Sarjana, Jurusan

Kimia, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

[10] ASTM C 618, 1994, *Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan For Use as Mineral Admixture in Portland Cement Concrete*, American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02. West Conshohocken, Pennsylvania.

LAMPIRAN

Tabel 1 Data komposisi kimia abu layang dan serbuk gelas (% massa)

| Oksida | Abu layang | Serbuk gelas |
|--------------------------------|------------|--------------|
| Fe ₂ O ₃ | 43,8 | 0,18 |
| CaO | 32,7 | 9,93 |
| SiO ₂ | 11,4 | 70,64 |
| PbO | 4,0 | - |
| Al ₂ O ₃ | 3,0 | 0,68 |
| TiO ₂ | 1,55 | - |
| K ₂ O | 1,47 | 0,29 |
| Na ₂ O | - | 13,66 |
| SO ₃ | 0,46 | 0,21 |
| MgO | - | 3,55 |

Tabel 2 Data Pengukuran dan Perhitungan Kuat Tekan

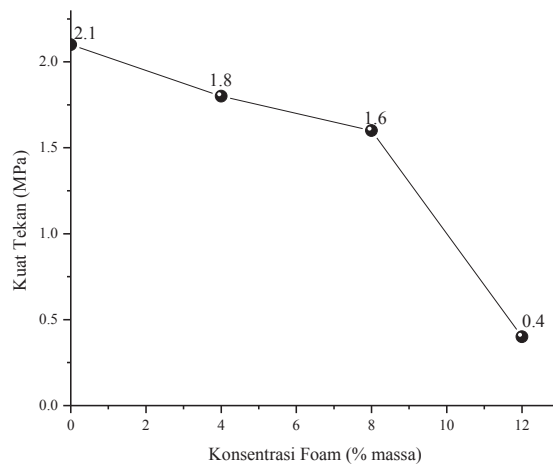
| Sampel | | Massa beban (Kgf) | Kuat Tekan (MPa) | Kuat Tekan Rata-rata (Mpa) |
|--------|---|-------------------|------------------|----------------------------|
| F0A | 1 | 43.9 | 1.91 | 2.1 |
| | 2 | 50.5 | 2.20 | |
| | 3 | 50.0 | 2.18 | |
| F4A | 1 | 40.9 | 1.78 | 1.8 |
| | 2 | 44.9 | 1.96 | |
| | 3 | 39.0 | 1.70 | |
| F8A | 1 | 36.4 | 1.59 | 1.6 |
| | 2 | 35.0 | 1.52 | |
| | 3 | 37.5 | 1.63 | |
| F12A | 1 | 8.8 | 0.38 | 0.4 |
| | 2 | 8.5 | 0.37 | |
| | 3 | 8.0 | 0.35 | |

Tabel 3 Data Pengukuran dan Perhitungan Penyerapan Air (*Water Absorption*)

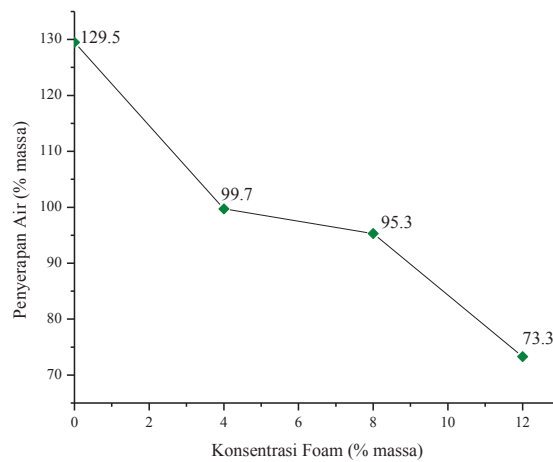
| Sampel | | W1 | W2 | WA (%) | WA rata-rata (%) |
|--------|---|--------|---------|--------|------------------|
| F0A | 1 | 3.5258 | 7.9386 | 125.2 | 129.5 |
| | 2 | 1.5412 | 3.5650 | 131.3 | |
| | 3 | 1.9775 | 4.5855 | 131.9 | |
| F4A | 1 | 6.4212 | 12.5926 | 96.1 | 99.7 |
| | 2 | 2.4743 | 4.9240 | 99.0 | |
| | 3 | 1.9124 | 3.9010 | 104.0 | |
| F8A | 1 | 4.5455 | 8.8314 | 94.3 | 95.3 |
| | 2 | 1.2414 | 2.4398 | 96.5 | |
| | 3 | 2.0145 | 3.9279 | 95.0 | |
| F12A | 1 | 5.3802 | 8.9837 | 67.0 | 73.3 |
| | 2 | 1.8053 | 3.1132 | 72.4 | |
| | 3 | 1.2591 | 2.2741 | 80.6 | |

Tabel 4 Data Pengukuran dan Perhitungan Densitas (g/cm^3)

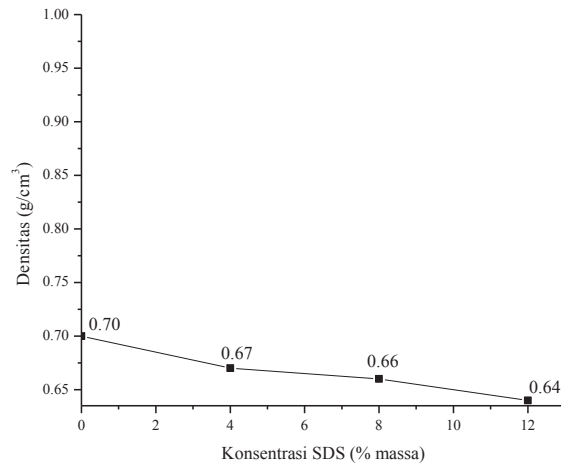
| Sampel | | ms | mb | Mg | mk | Densitas | Densitas rata-rata |
|--------|---|--------|---------|--------|--------|----------|--------------------|
| F0A | 1 | 3.5258 | 7.9386 | 1.9166 | 0.0636 | 0.5794 | 0.70 |
| | 2 | 1.5412 | 3.5650 | 1.6168 | 0.0636 | 0.7661 | |
| | 3 | 1.9775 | 4.5855 | 2.0067 | 0.0636 | 0.7484 | |
| F4A | 1 | 6.4212 | 12.5926 | 2.6794 | 0.0636 | 0.6436 | 0.67 |
| | 2 | 2.4743 | 4.9240 | 1.3366 | 0.0636 | 0.6777 | |
| | 3 | 1.9124 | 3.9010 | 1.2117 | 0.0636 | 0.6947 | |
| F8A | 1 | 4.5455 | 8.8314 | 1.8826 | 0.0636 | 0.6482 | 0.66 |
| | 2 | 1.2414 | 2.4398 | 0.7164 | 0.0636 | 0.6947 | |
| | 3 | 2.0145 | 3.9279 | 0.8822 | 0.0636 | 0.6479 | |
| F12A | 1 | 5.3802 | 8.9837 | 0.6717 | 0.0636 | 0.6424 | 0.64 |
| | 2 | 1.8053 | 3.1132 | 0.3561 | 0.0636 | 0.6400 | |
| | 3 | 1.2591 | 2.2741 | 0.3574 | 0.0636 | 0.6358 | |



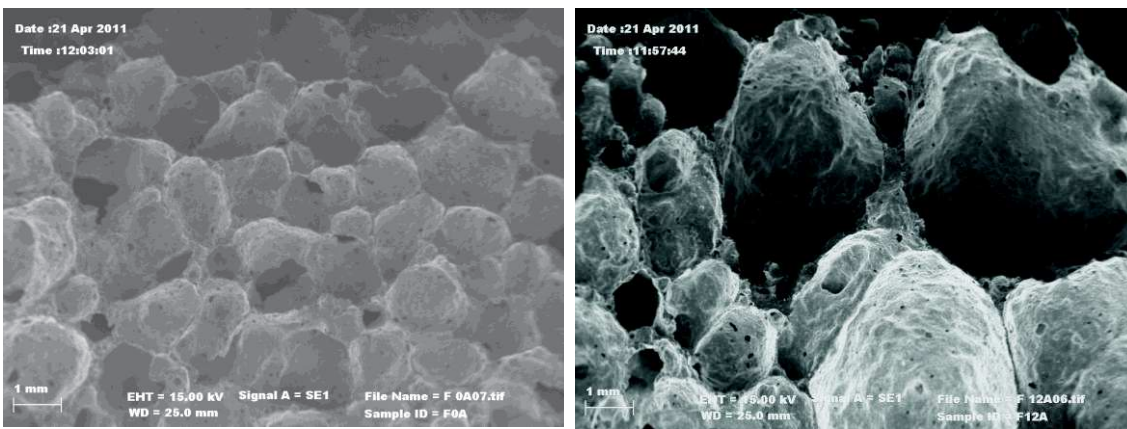
Gambar 1 Grafik Kuat Tekan Material Foam



Gambar 2 Grafik Penyerapan Air Material Foam



Gambar 3 Grafik Densitas Material Foam



(a) (b)
Gambar 4 Foto SEM (a) Foam dengan SDS 0% dan (b) Foam dengan SDS 12%