

PEMANFAATAN SERAT POHON PISANG DALAM SINTESIS GEOPOLIMER ABU LAYANG BATUBARA

Syaiful Anwar* dan Ella Kusumastuti

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang

Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Pebruari 2016
Disetujui Maret 2016
Dipublikasikan Mei 2016

Kata kunci:
abu layang
geopolimer
material hibrida
serat pohon pisang

Abstrak

Kebutuhan material pengganti OPC (*Ordinary Portland Cement*) semakin meningkat sebagai alternatif bahan bangunan ramah lingkungan. Geopolimer merupakan material yang berfungsi sebagai pengganti OPC namun karena sifatnya yang *brittle* perlu dilakukan penambahan serat untuk meningkatkan kuat tariknya. Penggabungan matriks geopolimer sebagai material anorganik dengan serat pohon pisang sebagai material organik menjadikannya sebagai material hibrida. Sintesis geopolimer dilakukan dengan mencampurkan abu layang, NaOH dan Na silikat pada rasio S/L 1,5 kemudian ditambahkan serat pohon pisang. Penambahan serat optimum terjadi pada 1,5% (b/b) dengan kuat tekan 32,35 MPa dan kuat tarik belah 10,9 MPa. Sampel uji 1,5 % serat mempunyai fasa *amorf* lebih besar jika dibandingkan sampel uji 0% serat. Analisis ikatan kimia geopolimer dengan FT-IR (*Fourier Transform Infra Red*) menunjukkan adanya pita serapan pada 2931,8 cm^{-1} yaitu C-H yang menunjukkan adanya serat. Analisis morfologi partikel menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) menunjukkan bahwa terdapat partikel serat berada di antara matriks geopolimer.

Abstract

The need of OPC (*Ordinary Portland Cement*) substitution material as an alternative environmentally-friendly building material keeps increasing. However, geopolimer as the OPC substitute is brittle, so it needs to add fiber to increase its tensile strength. Combination between geopolimer as inorganic material and banana tree fiber as organic produces a hybrid material. Geopolimer synthesis is done by mixing abu layang, NaOH and Na silicate in ratio S/L 1.5 then banana tree fiber is added. The optimum fiber addition occurred in 1.5% (w/w) with a 32.35 MPa compressive strength and a 10.9 MPa tensile strength. 1.5% fiber test sample had a bigger amorphous phase than 0% one. Analysis of chemical bond geopolimer with FT-IR (*Fourier Transform Infra Red*) showed an absorption band at 2931.8 cm^{-1} and C-H showed fiber presence. Analysis of particle morphology using SEM (*Scanning Electron Microscopy*) showed that there are fiber particles among the geopolimer matrix.

Pendahuluan

Geopolimer merupakan suatu polimer anorganik yang mulai dikembangkan pada dekade 80-an sebagai alternatif pengganti maupun pelengkap semen *portland* dalam konstruksi sipil. Alur produksi geopolimer yang tidak memerlukan pengolahan pada temperatur tinggi menyebabkan bahan ini memiliki residu karbon yang jauh lebih kecil daripada semen *portland*. Geopolimer disintesis dari bahan-bahan yang mengandung silika dan alumina atau disebut aluminosilikat (Davidovits; 2011). Bahan baku aluminosilikat di Indonesia, seperti kaolin dan abu layang mudah didapat.

Geopolimer mempunyai kelebihan seperti bahan yang tersedia melimpah, ketahan terhadap asam, ketahanan termal yang baik dan tidak membutuhkan energi yang besar dalam proses pembuatannya. Geopolimer mempunyai kelemahan yaitu sifatnya yang getas (*brittle*). Hal ini mendorong pengembangan geopolimer lebih lanjut untuk meningkatkan kuat tarik belah geopolimer. Alomayri, *et al.* (2013) mempelajari sifat fisik, mekanik, dan fraktur geopolimer berbasis abu layang yang diperkuat dengan serat kapas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat katun dapat meningkatkan kuat tarik belah komposit geopolimer.

Serat batang pisang merupakan jenis serat yang berkualitas baik, dan merupakan salah satu bahan potensial alternatif yang dapat digunakan sebagai *filler* pada pembuatan komposit disamping itu ketersediaan pohon pisang di Indonesia sangat melimpah sehingga serat pisang dapat diperoleh dengan mudah (Supratiningsih; 2012). Penggabungan dua materi atau lebih yang berbeda dalam hal ini material anorganik dan material organik disebut sebagai material hibrida (Kusumastuti; 2009a). Pembuatan material hibrida bertujuan untuk memperoleh material baru yang mempunyai sifat lebih baik dan menutupi kekurangan masing-masing bahan dasar (*starting material*).

Metode Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam karakterisasi geopolimer meliputi alat penguji kuat tekan (*universal testing machine*) ELE, XRD (*X-Ray Diffraction*), XRF (*X-Ray Fluorescence*) Bruker, SEM (*Scanning Electron Microscopy*) JEOL. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi abu layang batu bara yang diambil dari PLTU Tanjungjati B Jepara, natrium silikat teknis yang sudah dianalisis dengan metode AAS, natrium hidroksida (*Merck*), aquades, serat batang pisang kepok.

Preparasi abu layang dilakukan dengan diayak menggunakan ayakan 100 *mesh* dan dioven pada suhu 105°C selama 24 jam. Selanjutnya dianalisis komposisi kimia menggunakan XRF untuk mengetahui komponen kimia yang terdapat dalam abu layang PLTU Tanjungjati Jepara B (Puspitasari; 2010). Serat batang pisang dipreparasi dengan dijemur selama 10 hari kemudian dipisahkan seratnya setelah itu serat direndam dalam NaOH 5% selama 2 jam (Pramono; 2012). Pembuatan larutan pengaktif dilakukan dengan melarutkan 4 g NaOH ke dalam 8 g H₂O kemudian didiamkan semalam agar proses eksotermal selesai.

Sintesis geopolimer dilakukan pada rasio S/L 1,5 dan rasio mol SiO₂/Al₂O₃ 5,449. Sintesis geopolimer dilakukan dengan cara abu layang dicampur dengan larutan alkali sesuai dengan komposisi kemudian diaduk hingga homogen dan terbentuk pasta. Pengadukan dilakukan selama 5 menit hingga pasta geopolimer homogen. Pasta tersebut dituang ke cetakan silinder dengan perbandingan diameter dan tinggi 1:2. Penuangan dilakukan bertahap dan divibrasi selama 15 menit. Sampel uji didiamkan sampai mengering dan dilepaskan dari cetakan (selama 1-3 hari). Sampel uji yang sudah dilepaskan dari cetakan, kemudian diletakkan dalam loyang dan ditutup plastik. Sampel uji yang masih terbungkus plastik tersebut dipanaskan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam lalu disimpan selama 28 hari kemudian diukur kuat tekannya berdasarkan *ASTM C39M*, kuat tarik belahnya berdasarkan *ASTM C469*, XRD untuk mengetahui keamorfian geopolimer, FT-IR untuk mengetahui ikatan kimia yang terbentuk dan SEM untuk mengamati morfologi permukaan geopolimer. Komposisi bahan sintesis geopolimer dengan penambahan serat tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi sintesis geopolimer dengan penambahan serat

No	Berat abu layang (g)	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Berat serat batang pisang terhadap abu layang (g)	Berat Na silikat(g)	Berat NaOH (g)	Berat H ₂ O (g)
1	33	5,449	0	10	4	8
2	33	5,449	0,165	10	4	8
3	33	5,449	0,330	10	4	8
4	33	5,449	0,495	10	4	8
5	33	5,449	0,660	10	4	8
6	33	5,449	0,825	10	4	8

Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis XRF abu layang batubara dari PLTU Tanjung Jati B Jepara dengan komponen utama meliputi: 44,49% SiO₂; 19,10% Al₂O₃; 14,25% Fe₂O₃; 6,64% CaO; 4,53% MgO; 4,14% Na₂O. Berdasarkan kandungan kapur yang terdapat pada abu

layang PLTU Tanjungjati B yaitu $\text{CaO} < 10\%$ dapat dikatakan bahwa abu layang termasuk dalam golongan abu layang kelas F (*ASTM C618*). Silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) merupakan komponen utama penyusun abu layang batubara dan beberapa oksida lain seperti oksida besi dan beberapa logam seperti Ca, Mg, Na, Ti dan K dalam jumlah yang lebih kecil. Kandungan SiO_2 sebesar 44,49% menandakan bahwa Abu layang PLTU Tanjungjati B layak untuk dijadikan bahan utama dalam sintesis geopolimer.

Penelitian ini menggunakan natrium silikat teknis. Hasil analisis Na Silikat teknis dengan AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) didapat bahwa kandungan silika (Si) dalam natrium silikat teknis sebesar 53,63% yang berguna untuk memperbesar jumlah Si yang terlarut, sehingga didapatkan cukup silikat oligomerik untuk memperpanjang rantai (Kusumastuti; 2009b).

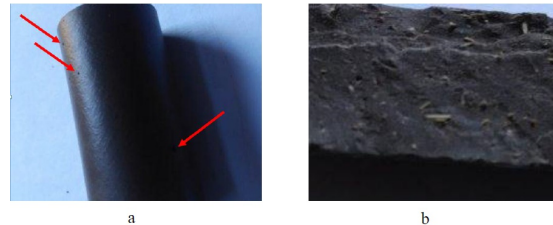


Gambar 1. Serat sebelum preparasi (a), serat setelah preparasi (b)

Gambar 1 merupakan gambar serat batang pisang sebelum dan setelah preparasi. Serat batang pisang setelah dipreparasi memiliki tekstur yang lebih kasar (peningkatan *adhesive*) dibandingkan serat sebelum preparasi dikarenakan lapisan lilin (*lignin*) pada serat berkurang. Serat memiliki peranan yang penting dalam komposit karena menentukan kinerja komposit secara keseluruhan. Kinerja antar muka (*interface*) antara serat dan matrik sangat ditentukan oleh kinerja serat, karena istilah lain untuk mempresentasikan antar muka adalah zona transisi antar muka (ZTA) atau *Interfacial Transition Zona* (ITZ) (Li; 2002).

Sintesis geopolimer dengan penambahan serat dilakukan pada rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 5,449. Sintesis geopolimer dengan penambahan serat dilakukan melalui tiga tahap yaitu pembuatan pasta, penambahan serat dan pencetakan geopolimer dalam cetakan. Pada proses pembuatan pasta dilakukan dengan langkah yang sama seperti pembuatan pasta geopolimer pada penentuan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Serat pada sampel uji geopolimer dengan penambahan serat tidak teramati jika sampel uji masih dalam

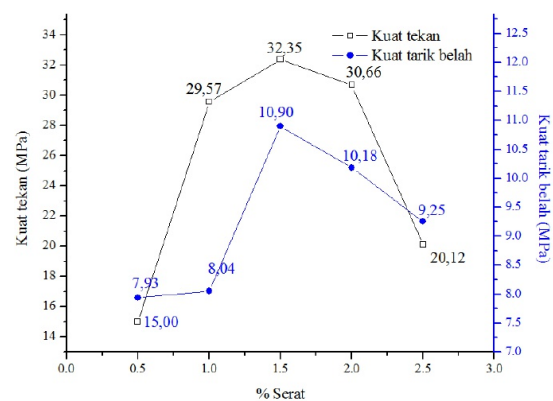
keadaan utuh pada variasi serat 0 sampai 2,5% karena serat pada sampel uji geopolimer dapat bercampur dengan baik dengan pasta geopolimer. Serat akan terlihat saat sampel uji geopolimer dibelah. Gambar 2. merupakan gambar sampel uji utuh dan sampel uji dibelah.



Gambar 2. Sampel uji geopolimer utuh (a) dan sampel uji geopolimer terbelah (b)

Tanda panah merah pada Gambar 2. merupakan pori-pori yang teramati pada permukaan sampel uji geopolimer. Pori-pori ini terjadi diakibatkan vibrasi yang dilakukan pada saat mencetak kurang maksimal.

Kuat tekan dan kuat tarik belah geopolimer sangat penting jika geopolimer diaplikasikan sebagai bahan bangunan. Gambar 3. merupakan gambar hasil analisis kuat tekan dan kuat tarik belah sampel uji geopolimer dengan 1,5% serat (b/b) terhadap abu layang.

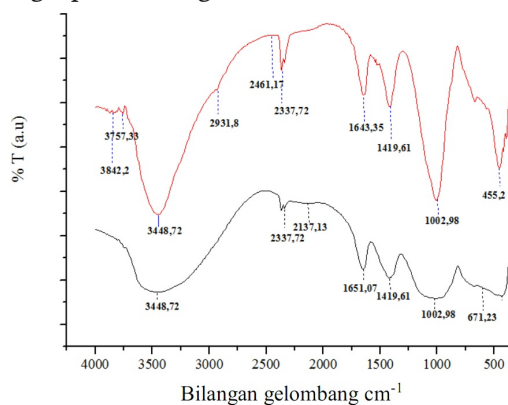


Gambar 3. Hasil analisis kuat tekan dan kuat tarik belah sampel uji geopolimer 1,5% serat (b/b)

Natali, *et al.* (2011) mempelajari bahwa penambahan serat pada geopolimer dapat meningkatkan kekuatan mekanik geopolimer 30-70% jika dibandingkan geopolimer tanpa penambahan serat namun ketika serat telah mencapai batasi optimum penurunan akan terjadi secara signifikan. Seperti yang terlihat pada Gambar 3. bahwa penambahan serat sebesar 0,5% mempunyai kuat tekan dan kuat tarik belah awal masing-masing 14,995 MPa dan 7,939 MPa. Penambahan serat 1% menyebabkan kenaikan kuat tekan maupun kuat tarik belah sampel uji geopolimer menjadi 29,569 MPa dan 8,049 MPa dan mencapai keadaan

optimum pada penambahan serat 1,5% (b/b) dengan kuat tekan dan kuat tarik belah masing-masing 32,349 MPa dan 10,896 MPa. Penambahan serat lebih besar dari 1,5% mengakibatkan penurunan pada kuat tekan maupun kuat tarik sampel uji geopolimer. Penurunan kuat tekan pada sampel uji diakibatkan karena serat yang mengisi sampel uji akan mengakibatkan ruang diantara matriks geopolimer. Penambahan serat dapat memperkuat geopolimer namun ketika jumlahnya telah melebihi keadaan optimum maka kuat tekannya akan menurun karena serat batang pisang akan menyebabkan lebih banyak ruang diantara matriks geopolimer.

Analisis dengan FT-IR dilakukan untuk mengetahui ikatan kimia yang terjadi pada geopolimer. Analisis FT-IR dilakukan pada sampel geopolimer dengan kuat tekan dan kuat tarik belah optimal yaitu pada sampel uji penambahan serat 1,5% dan sampel uji 0% serat sebagai pembanding.

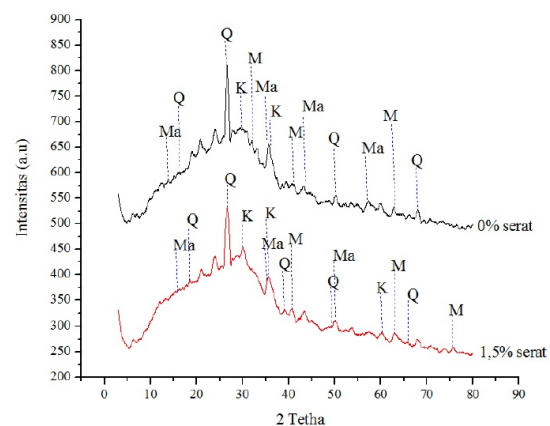


Gambar 4. Spektra IR geopolimer 0% serat dan 1,5% serat

Terbentuknya geopolimer dapat ditandai dengan adanya pita serapan yang terletak pada bilangan gelombang 1200-950 cm^{-1} (Bakharev; 2005) yang menunjukkan vibrasi ulur asimetri Si-O-Si atau Si-O-Al dan pita serapan pada 447,49 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi tekuk Si-O-Si atau Si-O-Al (Panias, *et al.*; 2007). Pada sampel 0% serat maupun 1,5% serat keduanya terjadi serapan pada bilangan gelombang 1002,98 cm^{-1} , serapan gelombang 455,2 cm^{-1} untuk 1,5% serat dan serapan gelombang 439,77 untuk 0% serat hanya saja untuk sampel 1,5% serat intensitasnya lebih besar dibandingkan 0% serat. Bilangan gelombang pada geopolimer 1,5% serat lebih besar dibandingkan pada geopolimer 0% serat hal ini menunjukkan semakin tinggi energi vibrasinya, maka ikatan Si-O-Si dan/atau Si-O-Al pada geopolimer tersebut semakin kuat, sehingga memiliki kuat tekan yang lebih besar (Ekawati & Lukman;

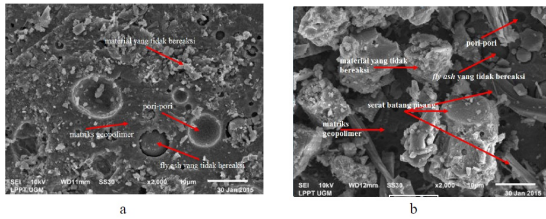
2011). Perbedaan Spektra FT-IR pada sampel uji geopolimer dengan penambahan serat 1,5% dan 0% serat terletak pada bilangan gelombang 2931,8 cm^{-1} yang merupakan serapan C-H yang menandakan adanya selulosa yang terdapat pada geopolimer.

Analisis XRD bertujuan untuk mengetahui kandungan fasa mineral dalam geopolimer dan keberadaan fasa *amorf* di dalamnya. Kandungan mineral dalam geopolimer dapat diperoleh dengan mencocokkan setiap puncak sudut difraksi (2θ) dengan pola difraktogram standar. Keberadaan fasa *amorf* dalam geopolimer dapat ditandai dengan adanya gundukan (*hump*) pada pola difraktogram yang diperoleh. Gambar 5. merupakan difraktogram hasil analisis sampel uji geopolimer 0% serat dan 1,5% serat.



Gambar 5. Difraktogram geopolimer dengan penambahan 1,5% serat dan 0% serat dengan (Q) *quartz* (SiO_2); (K) *kaolinite* ($\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$), (Ma) *magnetite* (Fe_3O_4), dan (M) *mullite* ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)

Gambar 5. menunjukkan bahwa geopolimer dengan penambahan 1,5% serat batang pisang kapok maupun tanpa penambahan didominasi oleh mineral (Q) *quartz* (SiO_2), (K) *kaolinite* ($\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$), (Ma) *magnetite* (Fe_3O_4), dan (M) *mullite* ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$). Geopolimer dengan penambahan 1,5% serat batang pisang kepok mengandung fasa *amorf* lebih besar yang ditandai dengan adanya gundukan (*hump*) pada 2θ sekitar 15-45° yang lebih luas jika dibandingkan dengan sampel uji 0% serat. Geopolimer yang mempunyai fasa *amorf* lebih besar mempunyai kuat tekan lebih besar. Geopolimer dengan fasa kristal lebih besar mempunyai kuat tekan yang lebih rendah karena sifat kristal yang *brittle*. Penambahan luas pada sampel uji dengan penambahan serat diakibatkan adanya serat (selulosa) yang terdapat dalam sampel uji. Adanya serat dalam geopolimer mengakibatkan kuat tekan dan kuat tarik belah meningkat.



Gambar 6. Hasil analisis SEM sampel uji geopolimer 0% serat dan 1,5% serat

Analisis SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan sampel uji geopolimer. Tujuan dilakukan analisis SEM yaitu untuk mengetahui terbentuknya matriks geopolimer, material yang tidak bereaksi, pori-pori dan masuknya serat batang pisang kepori ke dalam matriks geopolimer. Gambar 6. merupakan hasil analisis SEM sampel 0% serat dan 1,5% serat dengan perbesaran 2000 kali.

Gambar 6. dapat dilihat bahwa baik sampel 0% serat maupun 1,5% serat keduanya terbentuk matriks geopolimer. Matriks pada geopolimer merupakan hasil reaksi dari monomer-monomer alumina dan silika yang membentuk polimer (Rattanasak, *et al.*; 2011). Gambar 6. terlihat bahwa sampel dengan 0% serat dan 1,5% serat teramati material yang tidak bereaksi. Keberadaan material yang tidak bereaksi ini sangat berpengaruh terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah. Selain material yang tidak bereaksi, adanya pori-pori yang mempengaruhi kuat tekan dan kuat tarik belah. Pori-pori yang terdapat dalam geopolimer terjadi akibat adanya gelembung udara yang terjebak dalam pasta geopolimer pada saat proses pencetakan.

Serat batang pisang dapat terlihat dengan jelas pada hasil SEM dengan 1,5% serat. Gambar 6. menunjukkan bahwa sampel uji geopolimer 0% serat lebih homogen dibandingkan dengan sampel uji 1,5% serat. Sampel uji 1,5% serat terlihat tidak homogen dikarenakan masih terdapatnya serat yang tidak masuk ke dalam matriks geopolimer. Hal ini diakibatkan oleh ukuran serat yang cenderung masih kurang halus. Serat batang pisang dengan ukuran lebih kecil dapat masuk ke dalam matriks geopolimer yang mengakibatkan kuat tekan dan kuat tarik belah geopolimer meningkat jika dibandingkan dengan sampel uji tanpa penambahan serat.

Simpulan

Persentase serat optimum terjadi pada penambahan 1,5% (b/b) dengan kuat tekan 32,35 MPa dan kuat tarik belah 10,9 MPa. Penambahan serat 0-2,5% menunjukkan kenaikan kuat tekan dan kuat tarik belah geopolimer dan optimum pada penambahan 1,5% serat. Sampel uji

penambahan 1,5% (b/b) serat mempunyai fasa amorf lebih besar jika dibandingkan dengan sampel uji 0% (b/b) serat setelah dianalisis XRD. Analisis ikatan kimia geopolimer dengan FT-IR menunjukkan telah terbentuk geopolimer baik pada sampel 0% (b/b) serat maupun 1,5% (b/b) serat yang ditandai dengan adanya pita serapan pada 1002,98 cm^{-1} dan pita serapan pada 455,2 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur asimetri Si-O-Si atau Si-O-Al. Pita serapan pada 2931,8 cm^{-1} menunjukkan ikatan C-H serat selulosa juga muncul pada geopolimer dengan penambahan serat. Analisis morfologi partikel menggunakan SEM menunjukkan bahwa terdapat partikel serat berada di antara matriks geopolimer.

Daftar Pustaka

- Alomayri, T., Shaikh F.U.A., & Low I.M. 2013. Characterisation of cotton fibre-reinforced geopolymer composites. *Composites Part B*, 50:1
- ASTM C39M. 2014. *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. United States: West Conshohocken
- ASTM C469. 2011. *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. United States: West Conshohocken
- 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. United States: West Conshohocken
- Bakharev, T. 2005. Resistance of Geopolymer Materials to Acid Attack. *Cement and Concrete Research*, 35: 658-670
- Davidovits J. 2011. *Geopolymer Chemistry and Applications (3rd ed.)*. France: Institute of Geopolymer
- De, Silva, P., K. Sagoe-Crenstil, & V. Sirivivatnanon. 2007. Kinetics of Geopolymerization: Role of Al_2O_3 and SiO_2 . *Cement and Concrete Research*, 37: 512-518
- Ekawati, D., & Lukman, A. 2011. *Studi Perbandingan Sintesis Geopolimer Secara Normal dan Terpisah dari Abu Layang PLTU Surabaya*. Prosiding Skripsi. Surabaya: Jurusan Kimia FMIPA ITS
- Kusumastuti, A. 2009a. Aplikasi Serat Sisal sebagai Komposit Polimer. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 1: 27-32
- Kusumastuti, E. 2009b. *Geopolimer Abu Layang Batubara: Studi Rasio Mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dan Sifat-Sifat Geopolimer yang dihasilkan*. Thesis. Surabaya: Program Magister FMIPA ITS
- Li, V.C. 2002. Reflections on the Research and Development of Engineered Cementitious

- Composites (ECC). *Proceedings of the JCI International Workshop on Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites*: 1-21
- Natalie, A., Manzi, S. & Bignozzi, M.C. 2011. *Novel Fiber-Reinforced Composite Materials Based on Sustainable Geopolymer Matrix*. Procedia Engineering, Italy: University Bologna
- Panias, D., Ioanna P., Giannopoulou, & Theodora, P. 2007. Effect of synthesis parameters on the mechanical properties of fly ash-based geopolymers. *Physicochem Engineering Aspects*, 301: 246-254
- Pramono, C., & S. Widodo. 2012. Pengaruh Perlakuan Alkali Kadar 5% dengan Lama Perendaman 0 Jam, 2 Jam, 4 Jam, 6 Jam terhadap Sifat Tarik Serat Batang Pisang Kepok. *Jurnal Penelitian Inovasi*, 37:47-59
- Puspitasari, Y., & L. Atmaja. 2010. *Sintesis dan Karakterisasi Geopolimer Berdasarkan Variasi Rasio Mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dari Abu Layang PLTU Suralaya*. Prosiding Skripsi. Surabaya: Jurusan Kimia. FMIPA. ITS
- Rattanasak, U., Kanokwan P., & Prinya, C. 2011. Effect of chemical admixtures on properties of high-calcium fly ash geopolymer. *International Journal of Minerals: Metallurgy and Materials*, 18: 364-369
- Supratningsih. 2012. *Pengaruh Serbuk Serat Batang Pisang sebagai Filler terhadap Sifat Mekanis Komposit PVC- CaCO_3* . Yogyakarta: Balai Besar Kulit, Karet dan Plastik