

SINTESIS GEOPOLIMER DARI METAKAOLIN DAN ABU BAMBU UNTUK APLIKASI SEMEN: KAJIAN WAKTU IKAT DAN MIKROSTRUKTUR

Aprilina Purbasari^{1*} dan Tkokorde Walmiki Samadhi²

¹Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, Kampus Tembalang, Semarang 50275

²Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No. 10, Bandung 40132

*Email: aprilina.purbasari@che.undip.ac.id

Abstrak

Geopolimer merupakan polimer anorganik dengan ikatan polimerik Si-O-Al yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti semen Portland karena proses produksinya berlangsung pada suhu rendah dibandingkan produksi semen Portland dengan bahan baku material alumino-silikat yang dapat berasal dari mineral alam dan limbah padat. Pada penelitian ini geopolimer dibuat dari campuran metakaolin dan abu bambu dengan aktivator alkali campuran larutan KOH 10 N dan larutan Na-Silikat serta campuran larutan NaOH 10 N dan larutan Na-Silikat. Waktu ikat pembentukan geopolimer dan mikrostruktur geopolimer yang dihasilkan telah dikaji pada penelitian ini. Waktu ikat awal dan akhir pembentukan geopolimer dengan aktivator alkali campuran larutan KOH 10 N dan larutan Na-Silikat lebih pendek dibandingkan dengan aktivator alkali campuran larutan NaOH 10 N dan larutan Na-Silikat. Hasil analisis SEM menunjukkan bahwa pada kedua geopolimer terbentuk fase kontinyu. Untuk hasil analisis XRD, pada geopolimer dengan aktivator alkali campuran larutan KOH 10 N dan larutan Na-Silikat terdapat leucite dan quartz, sedangkan pada geopolimer dengan aktivator alkali campuran larutan NaOH 10 N dan larutan Na-Silikat terdapat hydrosodalite dan quartz. Pada kedua geopolimer menunjukkan adanya struktur amorf.

Kata kunci: abu bambu, geopolimer, metakaolin, mikrostruktur, semen, waktu ikat

1. PENDAHULUAN

Semen Portland merupakan material bangunan yang telah banyak digunakan secara luas dan penggunaannya cenderung mengalami peningkatan. Menurut Departemen Perindustrian (2009) konsumsi semen di Indonesia pada tahun 2009 sebesar 40 juta ton dan diasumsikan meningkat sebesar 5 %/tahun. Pada kenyataannya konsumsi semen di Indonesia pada tahun 2015 lebih besar dari yang diasumsikan, yaitu sebesar 60,6 juta ton (Semen Indonesia, 2015).

Proses produksi semen yang melibatkan peleburan bahan baku mineral hingga suhu sekitar 1400 °C membutuhkan energi besar, yaitu sekitar 3 GJ/ton klinker untuk proses kering yang paling efisien, sementara untuk proses basah kebutuhan energinya dapat mencapai lebih dari dua kalinya (Gartner, 2004). Emisi gas CO₂ yang dihasilkan pada produksi semen sekitar 0,9 ton CO₂/ton semen dan telah berkontribusi sekitar 5-7% dari emisi gas CO₂ global (Benhelal dkk., 2013).

Geopolimer dapat digunakan sebagai alternatif pengganti semen Portland. Proses produksi geopolimer berlangsung pada suhu rendah (di bawah 100 °C) dengan mereaksikan

bahan yang mengandung oksida alumino-silikat dan aktivator alkali untuk menghasilkan ikatan polimerik Si-O-Al dengan struktur amorf hingga semikristalin (Davidovits, 2017). Penelitian-penelitian mengenai aplikasi geopolimer sebagai pengganti semen Portland menunjukkan kekuatan mekanik yang tinggi, ketahanan terhadap suhu tinggi/rendah dan kondisi asam/basa, serta pengurangan emisi CO₂ hingga 90%. Selain itu produksi geopolimer dari limbah padat berpotensi mengurangi beban lingkungan dengan biaya produksi yang 10-30% lebih rendah daripada biaya produksi semen Portland (Komnitsas dan Zaharaki, 2007).

Bahan baku geopolimer adalah material alumino-silikat, baik berupa mineral alam maupun limbah padat. Mineral alam yang telah banyak dipelajari untuk pembuatan geopolimer adalah kaolin (Al₂O₃.2SiO₂.2H₂O) dan metakaolin (Si₂O₅.Al₂O₂) yang merupakan hasil kalsinasi kaolin pada suhu di atas 550 °C (Davidovits, 2008). Limbah padat yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku geopolimer adalah abu terbang, terak, dan abu biomasa. Abu biomasa yang telah dimanfaatkan untuk pembuatan geopolimer antara lain adalah abu sekam padi (Tippayasam dkk., 2014) dan abu

kelapa sawit (Hawa dkk., 2013). Abu bambu juga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku geopolimer karena mengandung silika pada kadar yang tinggi (Purbasari dkk., 2016). Pada penelitian ini geopolimer dibuat dengan bahan baku campuran metakaolin dan abu bambu dengan aktivator alkali campuran larutan KOH 10 N/NaOH 10 N dan larutan Na-Silikat. Waktu ikat pembentukan geopolimer dan mikrostruktur geopolimer yang dihasilkan akan dikaji pada penelitian ini. Analisis mikrostruktur geopolimer meliputi *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *X-Ray Diffraction* (XRD).

2. METODOLOGI

Metakaolin yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dengan mengkalsinasi kaolin pada suhu 550 °C selama 3 jam. Kaolin berasal dari Kepulauan Bangka Belitung dengan komposisi utama SiO₂ (53,90%) dan Al₂O₃ (42,43%). Abu bambu diperoleh dari hasil pembakaran bambu apus (*Gigantochloa apus*) yang diperoleh di kota Semarang. Abu bambu mempunyai komposisi utama SiO₂ (58,60%) dan K₂O (26,43). Baik metakaolin maupun abu bambu diayak terlebih dahulu dengan ayakan standar 100 mesh sebelum digunakan sebagai bahan baku geopolimer.

Material alumino-silikat yang terdiri dari campuran metakaolin dan abu bambu dengan perbandingan massa 1:0,25 dicampur dengan aktivator alkali dalam *mixer* selama 6 menit sehingga membentuk pasta geopolimer. Perbandingan massa material alumino-silikat terhadap aktivator alkali adalah 1:1,1. Aktivator alkali yang digunakan adalah campuran larutan KOH 10 N dan larutan Na-Silikat serta campuran larutan NaOH 10 N dan larutan Na-Silikat. Perbandingan massa larutan KOH 10 N dan larutan NaOH 10 N terhadap larutan Na-Silikat masing-masing adalah 1:2.

Uji waktu ikat (*setting time*) pasta geopolimer menggunakan alat Vicat sesuai dengan ASTM C191 (2008). Pasta dimasukkan dalam cincin dengan tinggi 40 mm pada alat Vicat. Jarum Vicat berdiameter 1,00±0,05 mm dengan panjang

tidak kurang dari 50 mm yang berada 10 mm di atas pasta dibiarkan berpenetrasi ke dalam pasta.

Setelah jarum Vicat tidak berubah posisi selama 30 detik, kedalaman penetrasi jarum Vicat dari permukaan pasta diamati. Penetrasi jarum Vicat dilakukan secara periodik dengan selang waktu 15 menit dan berjarak minimal 5 mm dari penetrasi sebelumnya dan minimal 10 mm dari tepi cincin hingga jarum Vicat tidak dapat berpenetrasi ke dalam pasta. Waktu ikat awal (*initial setting time*) adalah waktu yang diperlukan saat jarum Vicat mencapai kedalaman penetrasi 25 mm dan waktu ikat akhir (*final setting time*) adalah waktu yang diperlukan saat jarum Vicat tidak dapat berpenetrasi ke dalam pasta.

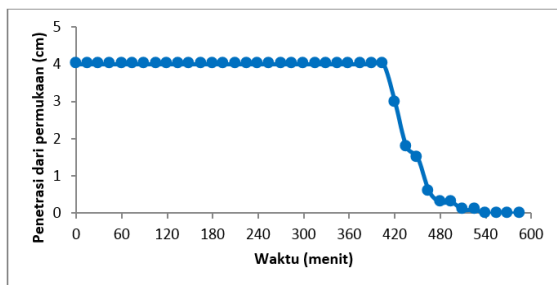
Untuk pengujian mikrostruktur, pasta geopolimer dicetak dalam cetakan berbentuk kubus ukuran 5x5x5 cm selama 24 jam. Pasta geopolimer kemudian dilepas dari cetakan dan dilakukan pematangan (*curing*) pada suhu 60 °C di oven selama 8 jam dan didiamkan pada suhu kamar selama 28 hari. Analisis SEM geopolimer dilakukan dengan alat *Hitachi SU3500* pada *accelerating voltage* 5 kV, *working distance* 20 mm, dan perbesaran 5000x. Sampel yang akan diuji dilapisi dengan emas terlebih dahulu. Adapun analisis XRD geopolimer dilakukan dengan alat *Bruker D8 Advance* pada suhu kamar dengan kondisi 40 kV, 35 mA, radiasi CuK α , dan sudut *scanning* 2 θ : 5-80°.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

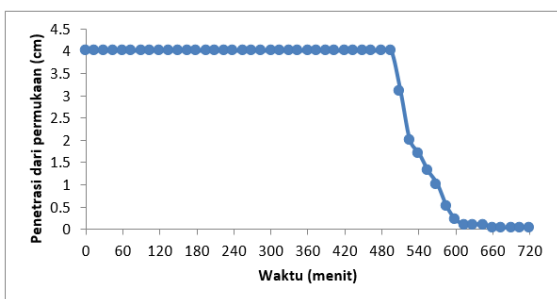
3.1. Waktu ikat

Waktu ikat awal (*initial setting time*) dan waktu ikat akhir (*final setting time*) geopolimer berguna dalam aplikasinya sebagai semen, yaitu memberikan informasi waktu yang tersedia untuk transportasi, penempatan, dan pemadatan geopolimer (Hardjito dkk., 2008). Waktu ikat awal dan waktu ikat akhir geopolimer dari metakaolin dan abu bambu dengan aktivator alkali campuran larutan KOH 10 N dan larutan Na-Silikat masing-masing adalah 426,2 menit dan 540 menit, sedangkan dengan aktivator alkali campuran larutan NaOH 10 N dan larutan Na-Silikat adalah 518,2 menit dan 660 menit

seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Hasil uji waktu ikat geopolimer dari metakaolin dan abu bambu dengan aktivator alkali campuran larutan KOH 10 N dan larutan Na-Silikat.



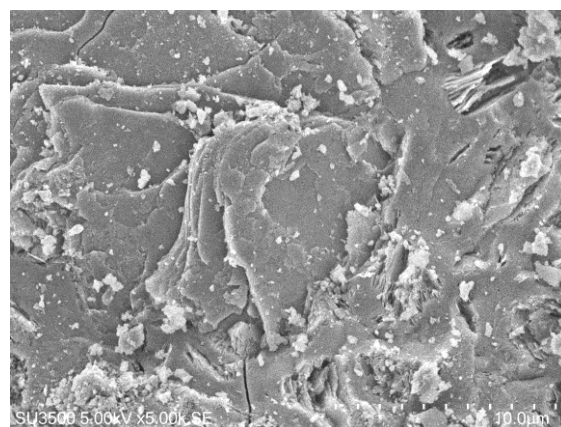
Gambar 2. Hasil uji waktu ikat geopolimer dari metakaolin dan abu bambu dengan aktivator alkali campuran larutan NaOH 10 N dan larutan Na-Silikat.

Waktu ikat awal dan akhir geopolimer dengan aktivator alkali campuran larutan KOH 10 N dan larutan Na-Silikat lebih pendek dibandingkan dengan aktivator alkali campuran larutan NaOH 10 N dan larutan Na-Silikat. Hal ini dapat disebabkan oleh ukuran ion K^+ yang lebih besar dibandingkan ion Na^+ sehingga geopolimer cenderung lebih cepat menjadi padat (van Jaarsveld dan van Deventer, 1999). Hasil ini tidak berbeda jauh dengan yang diperoleh oleh Palumbo dkk. (2018), yaitu waktu ikat akhir geopolimer dari metakaolin dengan aktivator alkali campuran larutan NaOH dan Na-Silikat mencapai 9 jam atau 540 menit. Sementara itu waktu ikat awal geopolimer dari metakaolin dengan aktivator alkali larutan KOH atau larutan NaOH dapat mencapai lebih dari 1 hari (Mehena dkk., 2017).

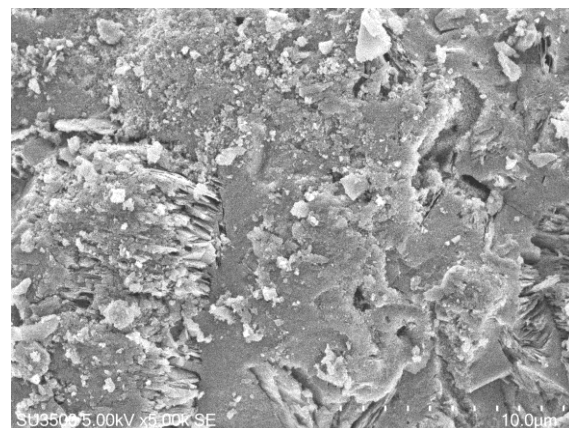
3.2. Analisis SEM

Gambar 3 dan 4 masing-masing menunjukkan hasil analisis SEM terhadap geopolimer dari metakaolin dan abu bambu

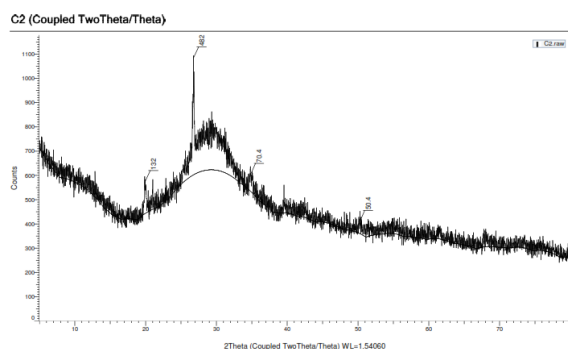
dengan aktivator alkali campuran larutan KOH 10 N dan larutan Na-Silikat serta campuran larutan NaOH 10 N dan larutan Na-Silikat. Pada kedua geopolimer terlihat adanya fase kontinu (amorf) yang menunjukkan terbentuknya geopolimer (Davidovits, 2008). Permukaan geopolimer dengan aktivator alkali campuran larutan KOH 10 N dan larutan Na-Silikat tampak lebih padat dibandingkan permukaan geopolimer dengan aktivator alkali campuran larutan NaOH 10 N dan larutan Na-Silikat.



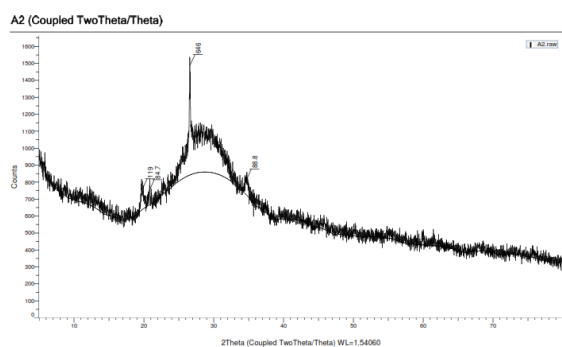
Gambar 3. Hasil analisis SEM geopolimer dari metakaolin dan abu bambu dengan aktivator alkali campuran larutan KOH 10 N dan larutan Na-Silikat.



Gambar 4. Hasil analisis SEM geopolimer dari metakaolin dan abu bambu dengan aktivator alkali campuran larutan NaOH 10 N dan larutan Na-Silikat.



Gambar 5. Hasil analisis XRD geopolimer dari metakaolin dan abu bambu dengan aktivator alkali campuran larutan KOH 10 N dan larutan Na-Silikat.



Gambar 6. Hasil analisis XRD geopolimer dari metakaolin dan abu bambu dengan aktivator alkali campuran larutan NaOH 10 N dan larutan Na-Silikat.

3.3. Analisis XRD

Hasil analisis XRD terhadap geopolimer dari metakaolin dan abu bambu dengan aktivator alkali campuran larutan KOH 10 N dan larutan Na-Silikat ditunjukkan oleh Gambar 5, sedangkan dengan aktivator alkali campuran larutan NaOH 10 N dan larutan Na-Silikat ditunjukkan oleh Gambar 6. Puncak difraksi yang lebar pada 27-29° 2θ menunjukkan telah terbentuk geopolimer (Davidovits, 2008). Berdasarkan hasil analisis XRD kedua geopolimer mempunyai kandungan struktur amorf yang hampir sama. Kandungan struktur amorf dalam geopolimer dengan aktivator alkali campuran larutan KOH 10 N dan larutan Na-Silikat sebesar 65,5% dan kandungan struktur amorf dalam geopolimer dengan aktivator alkali campuran larutan NaOH 10 N dan larutan Na-Silikat sebesar 66,9%.

Pada kedua geopolimer terlihat adanya kristal. Geopolimer dengan aktivator alkali campuran larutan KOH 10 N dan larutan Na-Silikat mengandung kristal dari mineral leucite atau KAlSi_2O_6 (2θ:19,949°) dan quartz atau

SiO_2 (2θ:26,776°). Adapun geopolimer dengan aktivator alkali campuran larutan NaOH 10 N dan larutan Na-Silikat mengandung kristal dari mineral hydrosodalite atau $\text{Na}(\text{AlSiO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$ (2θ:19,753°) dan quartz (2θ:26,606°).

4. KESIMPULAN

Geopolimer telah dibuat dari campuran metakaolin dan abu bambu dengan dua macam aktivator alkali, yaitu campuran larutan KOH 10 N dan larutan Na-Silikat serta campuran larutan NaOH 10 N dan larutan Na-Silikat serta dikaji waktu ikat dan mikrostrukturnya. Geopolimer dengan aktivator alkali campuran larutan KOH 10 N dan larutan Na-Silikat mempunyai waktu ikat awal dan akhir yang lebih pendek serta mengandung mineral leucite dan quartz, sedangkan geopolimer dengan aktivator alkali campuran larutan NaOH 10 N dan larutan Na-Silikat mempunyai waktu ikat awal dan akhir yang lebih panjang serta mengandung mineral hydrosodalite dan quartz. Kedua geopolimer menunjukkan adanya fase kontinu dan kandungan struktur amorf yang relatif sama.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C191. 2008. *Standard test methods for time of setting of hydraulic cement by Vicat needle*. West Conshohocken: ASTM International.
- Benhelal, E., Zahedi, G., Shamsaei, E., dan Bahadori, A. 2013. Global strategies and potentials to curb CO₂ emissions in cement industry. *Journal of Cleaner Production*, 51: 142-161.
- Davidovits, J. 2008. *Geopolymer: Chemistry and applications*, 2nd ed. Saint-Quentin: Institut Géopolymère.
- Davidovits, J. 2017. Geopolymers: Ceramic-like inorganic polymers. *Journal of Ceramic Science and Technology*, 8(3): 335-350.
- Depperin. 2009. *Roadmap industri semen*. Jakarta: Direktorat Jenderal Industri Agro dan Kimia, Departemen Perindustrian.
- Gartner, E. 2004. Industrially interesting approaches to "low-CO₂" cements. *Cement and Concrete Research*, 34: 1489-1498.

- Hardjito, D., Cheak, C., C., dan Ing, C.H.L. 2008. Strength and setting times of low calcium fly ash-based geopolymer mortar. *Modern Applied Science*, 2(4): 3-11.
- Hawa, A., Tonayopas, D., Prachasaree, W., dan Taneerananon, P. 2013. Investigating the effects of oil palm ash in metakaolin based geopolymer. *Ceramics-Silikaty*, 57(4): 319-327.
- Komnitsas, K. dan Zaharaki, D. 2007. Geopolymerisation: A review and prospects for the minerals industry. *Minerals Engineering*, 20: 1261-1277.
- Mehena, O., Amar, I., dan Raoul, J. 2017. Strength and setting times of metakaolin-cement-based geopolymer pastes. *American Journal of Civil and Environmental Engineering*, 2(4): 30-36.
- Palumbo, G., Iadicicco, A., Messina, F., Ferone, C., Campopiano, S., Cioffi, R., dan Colangelo, F. 2018. Characterization of early age curing and shrinkage of metakaolin-based inorganic binders with different rheological behavior by Fiber Bragg Grating sensors. *Materials*, 11(10): 1-14.
- Purbasari, A., Samadhi, T.W., and Bindar, Y. 2016. Thermal and ash characterization of Indonesian bamboo and its potential for solid fuel and waste valorization. *International Journal of Renewable Energy Development*, 5(2): 95-100.
- Semen Indonesia, PT. 2015. *Laporan Tahunan*. Jakarta: PT Semen Indonesia (Persero) Tbk.
- Tippayasam, C., Keawpapasson, P., Thavorniti, P., Panyathanmaporn, T., Leonelli, C., dan Chaysuwan, D. 2014. Effect of Thai kaolin on properties of agricultural ash blended geopolymers. *Construction and Building Materials*, 53: 455 - 459.
- van Jaarsveld, J.G.S. dan van Deventer, J.S.J. 1999. Effect of the Alkali Metal Activator on the Properties of Fly Ash-Based Geopolymers. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 38, 3932 - 3941.