

Perbandingan Nilai Setting Time Mortar Geopolimer dengan Material Organik Berdasarkan Kandungan Kalsium dan Rasio Alkalin Aktivator

Fajri^{1*}, Syauqas Ramadhan², Rizal Syahyadi³, Erna Yusniyanti⁴, Sulaiman⁵, Bakhtiar⁶

^{1,3,4,5,6}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe

²Program Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan,
Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe

*Koresponden email: fajri@pnl.ac.id

Diterima : 13 Februari 2024

Disetujui: 22 April 2024

Abstract

Organic waste from food industry incineration can be used as a partial or complete replacement of cement in geopolymer mortars, as it contains silica (Si), alumina (Al) and calcium (Ca). The aim of this research is to analyse the calcium content of organic wastes and its effect on the setting time of geopolymer mortars. In this research, 3 types of organic wastes, rice husk ash, palm oil ash (POFA) and sugarcane bagasse ash were used. The ratio of alkali activator to material is 1:1.8, 1:2.0 and 1:2.2. The alkali activator consists of 10M NaOH and Na₂SiO₃ and the ratio of Na₂SiO₃/NaOH is 1:3.5. Material testing includes XRD, XRF and the setting time of the mortar, which is tested for 24 hours from the start of mixing. Based on the test results, the calcium content of the rice husk ash, palm oil ash (POFA) and bagasse ash samples was found to be 0.55%, 8.01% and 1.48% respectively. All samples fall into the low calcium material category, with POFA having the highest calcium value. Thus, the three samples showed loss of setting time or no setting within 24 hours. The POFA material shows little evidence of beginning to cure after 24 hours, but is still classified as having lost setting time. The conclusion of this research is that relatively low calcium levels in organic wastes have a slow polymerisation reaction characterised by no setting time (lost setting time).

Keywords: *organic materials, calcium, setting time*

Abstrak

Limbah organik hasil pembakaran dari industri pangan, dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian atau keseluruhan semen pada mortar geopolimer, karena mengandung silika, alumina dan kalsium. Tujuan penelitian adalah menganalisis kandungan kalsium limbah organik tersebut dan pengaruhnya terhadap nilai *setting time* mortar geopolimer. Penelitian menggunakan 3 jenis limbah yaitu abu sekam padi, abu kelapa sawit (POFA) dan abu ampas tebu. Alkali aktivator memakai rasio 1:1.8, 1:2.0 dan 1:2.2 terhadap material. Alkali aktivator terdiri dari NaOH 10M dan Na₂SiO₃, dengan rasio Na₂SiO₃/NaOH 1:3,5. Pengujian material meliputi uji XRD dan XRF, serta pengujian *setting time* mortar. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh kandungan kalsium pada sampel abu sekam padi, abu kelapa sawit (POFA) dan abu ampas tebu masing-masing adalah 0,55%, 8,01% dan 1,48%. Ketiga sampel masuk katagori material *low calcium*, dimana nilai kalsium tertinggi dimiliki oleh POFA. Sehingga pada ketiga sampel terjadi *lost setting time* atau tidak terjadi pengerasan dalam waktu 24 jam. Material POFA sedikit menunjukkan ada indikasi mulai mengeras setelah waktu 24 jam, tetapi tetap dikategorikan *lost setting time*. Kesimpulan penelitian ini adalah kadar Ca yang relatif rendah pada limbah organik memiliki reaksi polimerisasi yang lambat, ditandai dengan tidak terjadinya *setting time* (*lost setting time*).

Kata Kunci: *material organik, kalsium, setting time*

1. Pendahuluan

Seiring waktu, teknologi beton terus mengalami kemajuan. Penggunaan material yang lebih *sustainable* terus dikembangkan untuk mengantisipasi semakin berkurangnya material semen, yang merupakan bahan utama pembuatan beton. Penambahan material lain, baik sebagai pengganti sebagian semen ataupun menggantikan seluruh semen terus diteliti dan telah banyak menghasilkan beton yang lebih ramah lingkungan.

Mortar geopolimer merupakan mortar yang dibuat dengan tidak menggunakan semen sama sekali, tetapi menggunakan bahan pengikat berupa material alternatif sebagai pengganti semen. Penggunaan geopolimer dapat mengurangi dampak kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh pelepasan CO₂ pada

proses produksi semen [1]. Material alternatif pengganti semen banyak digunakan dari limbah industri, sehingga selain dapat mengurangi pemakaian semen, juga dapat mengurangi dampak lingkungan akibat penumpukan limbah. Limbah yang digunakan dapat berupa limbah an organik seperti *fly ash*, slag atau lumpur yang mengandung silika. Dapat juga digunakan limbah dari industri pangan, yang menghasilkan limbah organik, seperti abu cangkang sawit, abu limbah padat sawit, abu sekam padi, abu ampas tebu, abu cangkang kerang dan lain-lain.

Abu sekam padi saat ini sudah mulai dikembangkan sebagai bahan baku untuk menghasilkan abu yang dikenal di dunia sebagai RHA (Rice Husk Ash). Penggunaan RHA secara umum adalah sebagai pupuk untuk tanaman dan juga sebagai bahan campuran beton, karena abu sekam padi ini mengandung silika yang tinggi [2]. Abu sekam padi mengandung silika sekitar 87-97% [3].

Abu dari limbah padat sawit atau dikenal dengan Palm Oil Fuel Ash (POFA) memiliki unsur kimia SiO_2 sebanyak 29,9%, Al_2O_3 sebanyak 1,9% dan CaO 26,9% [4]. Dengan kandungan senyawa tersebut maka POFA dapat dikatakan memiliki sifat pozzolanic dan memungkinkan dimanfaatkan sebagai bahan pengisi pada pembuatan beton normal maupun beton geopolimer.

Limbah dari pabrik gula, berupa ampas tebu merupakan bahan yang tidak banyak digunakan dan hanya ditempatkan di daerah sekitar pabrik. Penumpukan ampas tebu ini sering membuat polusi pada lingkungan sekitar [5] [6]. Abu ampas tebu dapat dikembangkan untuk menjadi material pozzolanic sebagai campuran untuk beton, karena mengandung unsur silika [7].

Material pozzolanic ditinjau dari kandungan kalsium materialnya, dikelompokkan menjadi 3 kategori, yaitu: Low Calcium materials ($\text{CaO} < 10\%$), Normal Calcium ($10\% \leq \text{CaO} \leq 12\%$) dan High Calcium materials ($\text{CaO} > 12\%$) [8]. Pada geopolimer, penggunaan Low Calcium memiliki waktu setting time 6 (enam) kali lebih lambat dibandingkan High Calcium. Hal ini disebabkan karena High Calcium materials memiliki sifat sebagai pozzolan sekaligus bersifat semen (cementitious), sedangkan Low Calcium hanya memiliki sifat pozzolan saja [9].

Menurut penelitian Diaz et al., 2011 [10], menyebutkan bahwa kandungan Ca yang tinggi pada material meningkatkan kuat tekan pada mortar geopolimer, tetapi juga menyebabkan setting time yang lebih cepat, sehingga membuat workability mortar menjadi rendah. Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, kandungan Ca sangat mempengaruhi setting time pada mortar geopolimer. Fauzi et al., 2021 [11] menyatakan bahwa setting time pada campuran geopolimer segar tergantung pada kandungan Ca dan larutan basa dalam campuran geopolimer segar.

Fauzi et al., 2019 [11] menjelaskan bahwa konsentrasi larutan NaOH yang tinggi dan rasio larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ menyebabkan penurunan setting time pada geopolimer. Hal ini dikaitkan pada konsentrasi tinggi larutan NaOH yang meningkatkan disolusi dalam larutan alkali. Peningkatan laju disolusi mempercepat setting time mortar geopolimer segar. Rasio tinggi larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ menyebabkan campuran geopolimer segar lebih kental sehingga akan menjadi kaku dan mengeras dalam waktu singkat.

Material yang memiliki high calcium, yang cepat mengeras, seharusnya dikombinasikan dengan material low calcium untuk mendapatkan nilai setting time ideal. Namun penelitian terhadap material low calcium perlu dikembangkan lebih dahulu untuk mendapatkan komposisi campuran yang optimum. Untuk itu, pada penelitian ini akan dicari secara spesifik, pola hubungan kandungan Ca dalam material low calcium terhadap nilai setting time mortar geopolimer. Pengujian juga dilakukan terhadap beberapa variasi rasio alkali aktivator. Penelitian akan dilakukan terhadap 3 jenis material limbah organik, yaitu abu sekam padi, POFA dan abu ampas tebu.

2. Metode Penelitian

Material pengganti semen yang digunakan pada penelitian ini berupa abu sekam padi dari kilang padi Keude Aron Kec. Syamtalira Aron, POFA dari Pabrik sawit PT IBAS Kota Lhokseumawe dan abu ampas tebu dari UMKM sekitar. Material dibakar di furnace dan disaring dengan saringan ukuran 0,3 mm atau saringan No.50. Ketiga jenis material yang telah disaring diperlihatkan pada **Gambar 1.A, 1.B dan 1.c** berikut.



Gambar 1. Material Limbah Organik, (a) Abu sekam padi, (b) POFA, (c) Abu ampas tebu
Sumber: Penulis

Mortar geopolimer menggunakan larutan alkali aktivator natrium hidroksida (NaOH) dengan molaritas 10M, dan natrium silikat (Na_2SiO_3) dengan rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 1:3,5. Variasi rasio alkali activator terhadap material organik adalah 1:1,8, 1:2,0 dan 1:2,2.

Agregat halus (pasir) yang digunakan pada penelitian ini berupa pasir sungai Krueng Manee lolos saringan No 4 dengan ukuran $\pm 4,75$ mm. Pengujian sifat fisis pasir dilakukan untuk memastikan pasir tersebut memenuhi standar untuk digunakan

Pengujian mikrostruktur material meliputi uji XRD atau x-ray diffraction yang dilakukan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dan amorf dalam material, yang mana data yang dihasilkan dalam bentuk grafik akan mengacu kepada grafik yang ada dalam data base material [12]. XRD bertujuan untuk mengidentifikasi kandungan mineral maupun senyawa, seperti: Quartz, Mulite, Kaolinit dan mineral lainnya. untuk mengetahui reaksi amorf campuran.

Pengujian mikrostruktur material juga meliputi uji XRF, x-ray fluorescence, yang dilakukan untuk mengetahui jumlah persentase kandungan kimia yang ada pada material. X-ray fluorescence menunjukkan sifat dominan dari material pada umumnya, posisi 20-30 mengidentifikasikan apakah material tersebut bisa dijadikan sebagai material yang bersifat semen (cementitions) [13]. Pada geopolimer, persentase material yang diharapkan dalam jumlah yang besar adalah silika, alumina dan kalsium. Ini dikarenakan silika dan alumina berkonsentrasi pada kuat tekan benda uji, sedangkan kalsium berkontribusi terhadap setting time [12].

Pengujian setting time dilakukan setelah pencampuran mortar selesai dilakukan. Pengujian ini bertujuan agar dapat mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya perubahan mortar geopolimer dari keadaan fluid (cair) ke keadaan rigid (kaku) menggunakan alat vicat test sesuai standar [14]. Setting time atau waktu ikat adalah waktu yang diperlukan mortar untuk mengeras [15]. Larutan alkali aktivator berupa natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3) diperlukan pada proses geopolimer untuk membuat adukan mortar atau beton berubah sifat dari keadaan plastis ke keadaan statis (mengeras). Durasi pengukuran waktu ikat adalah 1 x 24 jam.

3. Hasil dan Pembahasan

Sifat Fisis Pasir

Hasil pengujian sifat fisis pasir diperlihatkan pada **Tabel 1** berikut ini.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sifat Fisi Pasir

No.	Jenis Pengujian	Hasil Analisa Rata-rata	Satuan	Range Standar	Standar /Referensi
1.	Kadar Air	1,116	%	Max 10 %	SNI 03-1971-1990
2.	Berat Jenis (SSD)	2,66	Kg/m ³	1,6 – 3,2	SNI 03 –1750-1990
3.	Fine Modulus	2,08	%	1,5%-3,8%	SNI 03 –1750-1990
4.	Absortion	1,985	%	Max 12%	SNI 03-1971-1990

No.	Jenis Pengujian	Hasil Analisa Rata-rata	Satuan	Range Standar	Standar /Referensi
5.	Kadar Lumpur	0,58	%	5%	SNI 03-4142-1996
6.	Kadar Organik	Orange	-	Standart color chart organic impurities	ASTM C.40-60

Sumber: Penulis

Berdasarkan **Tabel 1** menunjukkan hasil pengujian sifat fisis agregat halus semuanya memenuhi ketentuan yang disyaratkan sesuai standar yang digunakan. Hasil analisa saringan pada agregat halus diperlihatkan pada grafik **Gambar 2** berikut.



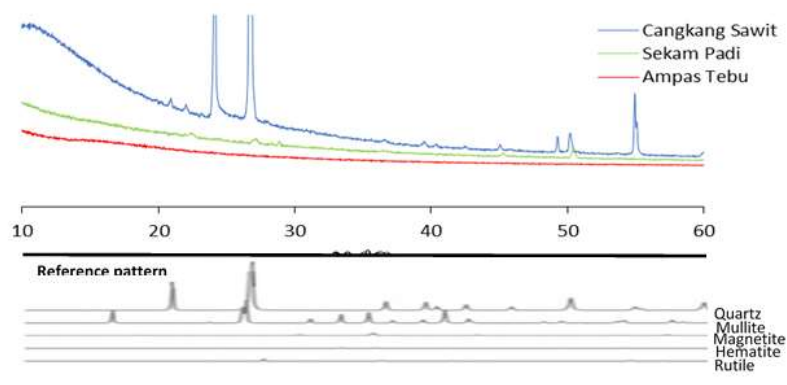
Gambar 2. Kurva Gradasi Agregat Halus

Sumber: Penulis

Pasir tersebut masuk dalam kurva zona 3, yaitu dengan kondisi pasir sedikit lebih halus. Modulus kehalusan agregat 2.08 dan telah memenuhi persyaratan SNI 03 –1750-1990 .

Pengujian XRD

Hasil identifikasi material organik untuk melihat sifat amorf atau reaktif material dengan menggunakan analisa XRD diperlihatkan pada **Gambar 3**. Hasil XRD ketiga material organik digabung dalam satu grafik.



Gambar 3. Pola Grafik XRD Material Organik

Sumber: Penulis

Berdasarkan grafik pada **Gambar 3** di atas terlihat bahwa puncak utama dari POFA memiliki daerah puncak pada daerah 24 sampai 28 2θ ($^{\circ}$) dan puncak rendah pada 50 sampai 52 2θ ($^{\circ}$), sedangkan abu sekam padi memiliki daerah puncak pada 50 sampai 52 2θ ($^{\circ}$) dan abu ampas tebu tidak memiliki puncak

yang spesifik. Analisis pada grafik diatas daerah ini menunjukkan bahwa, POFA memiliki senyawa kimia utama pada Quartz (Si) dan mullite yang bersifat kristalin. Adapun abu sekam padi memiliki senyawa kimia pada Quartz (Si) yang bersifat amorf juga, karna puncak tertingginya terdapat pada puncak rendah Quartz (Si). Sedangkan abu ampas tebu tidak memiliki puncak signifikan, yang menunjukkan tidak terjadinya kristalin ataupun sifat amorf pada senyawa yang dimilikinya, akibat proses pembakaran yang tidak maksimal. Sifat amorf material tersebut akan mempengaruhi ikatan polimer pada mortar geopolimer. Semakin amorf suatu material, maka akan semakin reaktif material tersebut saat beraksi dengan larutan alkalin activator, sehingga meningkatkan kekuatan lekat pasta geopolimer.

Pengujian XRF

Berdasarkan hasil pengujian kandungan kalsium melalui X-ray fluorescence (XRF), diperoleh hasil abu sekam padi mengandung nilai kalsium CaO sebesar 0,55%, POFA mengandung kalsium CaO sebesar 8,01% dan abu ampas tebu sebesar 1,48%. Kandungan kalsium POFA paling tinggi diantara ketiga sampel, namun ketiga material masuk katagori *low calcium materials* (CaO < 10%), yang berarti hanya bersifat pozzolanik dan tidak bersifat sementatius. Sehingga memerlukan alkali activator untuk memancing terjadinya reaksi polimerisasi pada mortar geopolimer.

Pengujian Setting Time

Setting time dari campuran geopolimer segar tergantung pada kandungan kalsium (Ca) dan tingkat amorf dari material. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, hasil pengujian XRF mendeskripsikan bahwa kandungan senyawa kimia pada abu sekam padi, POFA dan abu ampas tebu memiliki senyawa kimia kalsium (Ca) yang relatif rendah. Setelah dilakukan pengujian setting time pada ketiga material organik tersebut, tidak terjadi pengerasan.

Pengujian dilakukan dengan durasi waktu 1 x 24 jam sejak selesai pengadukan. Untuk mencari waktu ikat yang mungkin terjadi, setiap variasi rasio alkali aktivator terhadap material organik, yaitu 1:1.8, 1:2.0 dan 1:2.2 dilakukan pengujian setting time. Tetapi hasil pengujian tetap menunjukkan tidak terjadi peningkatan pengikatan. Pada saat pengujian terakhir di jam ke 24, semua sampel menunjukkan belum terjadi waktu pengikatan, ditandai dengan jatuhnya jarum vicat ke dasar sampel. Sehingga ketiga material organik tersebut tidak setting atau disebut juga lost setting time. Proses pengujian setting time diperlihatkan pada **Gambar 4 - Gambar 6**.



Gambar 4. Pengujian Setting Time Abu Sekam Padi
Sumber: Penulis



Gambar 5. Pengujian Setting Time POFA
Sumber: Penulis



Gambar 6. Pengujian Setting Time Abu Ampas Tebu
Sumber: Penulis

4. Kesimpulan

Kandungan kalsium (Ca) pada material limbah organik termasuk katagori *low calcium materials*. Hal ini menyebabkan proses reaksi polimerisasi material dengan larutan alkali aktivator lambat bereaksi. Kandungan kalsium tertinggi dimiliki oleh POFA dengan nilai 8,01%. Ketiga material limbah organik, yaitu, abu sekam padi POFA dan abu ampas tebu tidak terjadi pengikatan dalam waktu 1 x 24 jam, sehingga terjadi lost setting time. Rasio alkali aktivator terhadap material juga tidak memberikan kontribusi terhadap pengikatan mortar geopolimer. Penggunaan material limbah organik sebagai bahan campuran mortar geopolimer harus digunakan bersama dengan material lain yang lebih reaktif. Material organik sebaiknya di substitusikan terhadap material lain yang memiliki nilai setting time rendah, sehingga dapat berfungsi untuk memperlambat waktu pengerasan.

5. Referensi

- [1] I. P. Loekito And A. Wardhono, "Pengaruh Variasi Naoh Dan Na₂ Sio₃ Terhadap Kuat Tekan Dry Geopolymer Mortar Pada Kondisi Rasio Fly Ash Terhadap Aktifator 2 , 5 : 1," *Jur. Tek. Sipil, Fakultas Tek. Univ. Negeri Surabaya*, Pp. 1–8, 2019.
- [2] M. R. Fadhillah And R. N. Arini, "Pengaruh Abu Sekam Padi Dan High Density Polyethylene Sebagai Subtitusi Semen Dan Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Mortar Effect Of Rice Husk Ash And High Density Polyethylene As Cement Substitution And Fine Aggregate On Compressive Strength Of Mortar," *J. Spektran*, Vol. 11, No. 1, P. 36, 2023, Doi: 10.24843/Spektran.2023.V11.I01.P05.
- [3] I. Faridmehr, M. L. Nehdi, G. F. Huseien, M. H. Baghban, A. R. M. Sam, And H. A. Algaifi, "Experimental And Informational Modeling Study Of Sustainable Self-Compacting Geopolymer Concrete," *Sustain.*, Vol. 13, No. 13, 2021, Doi: 10.3390/Su13137444.
- [4] F. Asyri, K. N. Hafni, And A. H. Simamora, "Pengaruh Limbah Abu Pembakaran Biomassa Kelapa Sawit Terhadap Sifat-Sifat Fisika Dan Mekanik High Impact Polystyrene," 2015.
- [5] M. M. Adi, B. Burhanuddin, And D. Darwis, "Pengaruh Rasio Agregat Binder Terhadap Prilaku Mekanik Beton Geopolimer Dengan Campuran Abu Sekam Padi Dan Abu Ampas Tebu," *Teras J.*, Vol. 7, No. 1, P. 163, Feb. 2018, Doi: 10.29103/Tj.V7i1.109.
- [6] A. Lisantono And J. T. Hatmoko, "The Compressive Strength Of Baggase Ash-Based Geopolymer Concrete."
- [7] H. W. Cahyaka, A. Wibowo, K. D. Handayani, A. Wiyono, And E. H. Santoso, "Tim Ejournal Ketua Penyunting : Penyunting : Mitra Bestari : Penyunting Pelaksana : Redaksi : Jurusan Teknik Sipil (A4) Ft Unesa Ketintang - Surabaya Website : Tekniksipilunesa . Org Email : Rekats," *J. Rekayasa Tek. Sipil*, Vol. 1, No. 1, Pp. 186–194, 2018.
- [8] A. Muhammad Fikrie Haikal And L. Herlina, "Pengaruh Kalsium Oksida Dan Boraks Terhadap Waktu Ikat Beton Geopolimer Berbasis Dasar Fly Ash Effect Of Calcium Oxide And Borax On Base Time Of Fly Ash Based Geopolymer Concrete," *J. Rekayasa Lingkung. Terbangun Berkelanjutan*, Vol. 01, No. 02, Pp. 336–340, Doi: 10.25105/Jrltb.V1i2.17849.

- [9] Astm C618 (1993), "Standard Specification For Coal Fly Ash And Raw Or Calcined Natural Pozzolan For Use," Pp. 1–5, 2014, Doi: 10.1520/C0618.
- [10] E. I. Diaz-Loya, E. N. Allouche, And S. Vaidya, "Mechanical Properties Of Fly-Ash-Based Geopolymer Concrete," *Aci Mater. J.*, 2011, Doi: 10.14359/51682495.
- [11] A. Fauzi, A. Muladi Keliat, E. Majuar, C. Nurmala Hajani, H. Mahyar, And M. Fahmi, "Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe A-71," *J. Tek. Sipil*, Vol. 5, No. 1, 2021.
- [12] A. Fauzi, Fazliah, H. Mahyar, Mulizar, And Syukri, "Penerapan Teknologi Geopolimer Berbasis Limbah Fly Ash Dalam Konstruksi Non Struktural," *Semin. Nas. Politek. Negeri Lhokseumawe*, Vol. 3, No. 1, Pp. 32–36, 2019.
- [13] A. Utama And N. Oemiati, "Studi Mikrostruktur Beton Ringan Geopolimer Dengan Scanning Electron Microscope (Sem) Dan X-Ray Diffraction (Xrd)," Vol. 7, No. 2.
- [14] Astmc191-08, "Standard Test Methods For Time Of Setting Of Hydraulic Cement By Vicat Needle," *Astm Int.*, Vol. 04, No. C, Pp. 1–8, 2009.
- [15] R. Rius Sitanggang And E. Saputra, "Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sipil Pengaruh Binder Akrilik Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Mortar," *J. Teknol. Dan Rekayasa Sipil*, Vol. 1, Pp. 1–09, 2023.