

KARAKTERISTIK MORTAR GEOPOLIMER ABU SAWIT DENGAN VARIASI MODULUS AKTIVATOR

Winda Astuti Halinda Putri

Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru 28293,
email: winda.toety@yahoo.com

Monita Olivia

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru 28293,
email: monitawibisono@yahoo.com

Lita Darmayanti

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru 28293,
email: litlit98@yahoo.com

ABSTRACT

Geopolymer is an environmentally friendly alternative construction material that is made from activation of source material with rich in silicon (Si) and aluminium (Al) by alkaline activator solution. This research using palm oil ash from Riau Province as based geopolymer mortar. Properties of geopolymer mortar that was studied based variation of modulus activator, dosage activator, curing temperature, type of processing ash, and rest period. Research showed that increasing compressive strength of geopolymer mortar influenced by increasing modulus activator, dosage activator, and curing temperature with optimum condition, as well as combustion of palm oil ash in furnace, and rest period of geopolymer mortar for 3 days.

Keywords: palm oil ash, geopolymer, modulus activator, dosage activator

PENDAHULUAN

Ketergantungan penggunaan semen pada bidang konstruksi menyebabkan peningkatan produksi semen Portland yang berdampak pada kondisi lingkungan. Hal ini dikarenakan selama proses pembakaran bahan baku untuk menghasilkan 1 ton semen melepaskan 1 ton gas CO₂ secara langsung ke udara (Basuki, 2012).

Pada tahun 1980-an, Professor Joseph Davidovits menemukan sebuah perekat alternatif pengganti semen yang dikenal dengan geopolimer. Pembuatan material geopolimer menggunakan bahan yang banyak mengandung unsur-unsur silikon dan aluminium. Unsur-unsur tersebut banyak ditemukan pada limbah industri, seperti abu terbang dan abu sawit. Beton geopolimer memberikan keuntungan dalam hal pemanfaatan limbah hasil buangan pabrik sebagai bahan yang dapat digunakan, meskipun perbedaan tempat asal sumber

material berpengaruh terhadap tingkat hasil kekuatan (Olivia, 2011).

Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat-sifat beton geopolimer, yaitu jenis dan dosis aktivator, modulus aktivator, suhu perawatan, lama waktu perawatan, dan kadar air dalam larutan. Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa dosis dan modulus aktivator optimum yang digunakan pada campuran beton geopolimer abu terbang akan menghasilkan beton geopolimer dengan kuat tekan dan kekecekan tinggi (Adam, 2009). Komposisi aktivator dalam jumlah yang tepat menjadi salah satu parameter untuk menghasilkan beton geopolimer yang bermutu (Hardjito dkk, 2004). Kombinasi aktivator NaOH dan natrium silikat telah banyak digunakan dan memberikan hasil yang terbaik. Menurut Wang (1994) dosis dan modulus aktivator memiliki pengaruh yang sangat penting pada kekuatan beton. Modulus aktivator (Ms) merupakan

perbandingan massa SiO_2 dan Na_2O pada larutan alkali aktivator, sedangkan dosisi aktivator ($\%\text{Na}_2\text{O}$) merupakan perbandingan kandungan Na_2O larutan aktivator dengan massa binder. Modulus aktivator yang digunakan penelitian terdahulu berkisar antara 1,31-1,36 (Hardjito, 2005), 1-1,6 (Skavara dkk, 2006) dan 0,75-1,25 (Adam, 2009), sedangkan dosis optimum Na_2O yang digunakan untuk beton geopolimer bervariasi dengan rentang berkisar 5,3-5,7% (Hardjito, 2005), 6-10% (Skavara dkk, 2006) dan 7,5-15% (Adam, 2009).

Provinsi Riau merupakan salah satu produsen CPO (*crude palm oil*) terbesar di Indonesia. Menurut data dari Dinas Perkebunan Riau, luas area perkebunan kelapa sawit hingga akhir tahun 2010 mencapai 2.103.176 hektar. Peningkatan lahan perkebunan menyebabkan terjadinya penumpukan limbah pabrik kelapa sawit secara terus menerus, khususnya limbah abu sawit. Penggunaan abu sawit hasil pembakaran serabut dan cangkang kelapa sawit merupakan salah satu bahan dasar potensial untuk geopolimer. Penelitian yang menggunakan abu sawit sebagai beton geopolimer pernah dilakukan oleh Surini (2005), dimana diperoleh kuat tarik sebesar 2,004 MPa pada umur 28 hari dan rembesan maksimum sebesar 3,556 cm. Penelitian lainnya dilakukan oleh Donny (2005), dimana diperoleh kuat tekan sebesar 19,9 MPa dan kuat lentur sebesar 3,03 MPa pada umur 28 hari.

Mortar geopolimer dapat dijadikan alternatif mortar konvensional berbahan dasar silika dan alumina yang diaktifkan oleh larutan alkali. Sifat-sifat mortar geopolimer dipengaruhi oleh jenis dan dosis aktivator, modulus aktivator, suhu perawatan, lama waktu perawatan, dan kadar air dalam larutan. Dosis dan modulus aktivator juga mempengaruhi kuat tekan dan sifat-sifat mekanis beton geopolimer. Penggunaan bahan dasar yang berbeda memberikan komposisi aktivator yang berbeda pula untuk mendapatkan kuat tekan tinggi. Pada penelitian ini digunakan abu sawit sebagai bahan dasar mortar geopolimer. Penelitian

terdahulu geopolimer abu sawit hanya berkisar pada kuat tekan dan durabilitas, dan tidak banyak penelitian tentang faktor-faktor yang mempengaruhi mortar geopolimer abu sawit, padahal pengetahuan mengenai faktor-faktor ini penting, untuk menghasilkan mortar geopolimer abu sawit yang baik.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian meliputi pengujian karakteristik bahan dasar material campuran yang digunakan dalam pembuatan mortar geopolimer. Pengujian dilakukan meliputi pengujian karakteristik agregat halus dan abu sawit. Pengujian agregat halus meliputi analisa saringan, berat volume, berat jenis, kadar organik, kadar lumpur dan kadar air. Pengujian abu sawit meliputi pengujian karakteristik fisik dan kimia. Abu sawit yang digunakan berasal dari PT. Sarikat Putra, (PKS) Lubuk Raja, Sorek Kabupaten Pelalawan. Pengujian karakteristik fisik abu sawit meliputi pengujian kehalusan dan berat jenis, sedangkan karakteristik kimia dilakukan dengan mengirim sampel abu sawit lolos saringan #200 ke Laboratorium Pusat Sumber Daya Geologi Bandung.

Pembuatan geopolimer membutuhkan larutan alkali aktivator. Kombinasi NaOH konsentrasi 14 M dan natrium silikat digunakan larutan aktivator karena bahan ini mudah diperoleh dan tersedia dipasaran.

Tabel 1. Persentase Padatan NaOH Berbagai Molaritas

Konsentrasi NaOH	Padatan	H ₂ O
8M	26,23	
10M	31,37	
12M	36,09	
14M	40,43	63,91
16M	44,44	59,57

Tabel 2. Kandungan Natrium Silikat

Parameter	Analisa
Na_2O , % ww	14,5
SiO_2 , % ww	31,8
Total solid, % ww	46,3
Rasio ($\text{SiO}_2\%/\text{Na}_2\text{O}\%$)	2.19
Massa jenis	1,56

Penggunaan bahan kimia tambahan bertujuan untuk meningkatkan kelecakan campuran mortar dengan komposisi 1-2% dari berat abu sawit. Bahan tambah kimia yang digunakan adalah jenis Sikamen-NN dengan dosis 1,5% dari berat binder. Produk ini mengandung *sulfonat naphthalin formaldehid* yang dapat meningkatkan kuat tekan dan *workability*.

Perencanaan komposisi campuran (*mix design*) menggunakan metode *absolute*

volume. Metode ini mengasumsikan bahwa volume mortar padat sama dengan total volume keseluruhan bahan-bahan penyusunnya. Beberapa kali *trial* dilakukan untuk memperoleh komposisi dan variasi yang tepat. Lima variasi *mix design* meliputi variasi dosis aktivator (G), modulus aktivator (Ms), suhu perawatan, waktu istirahat (*rest period*), dan pengolahan abu sawit dimana *mix 3* menjadi pembanding setiap variasi.

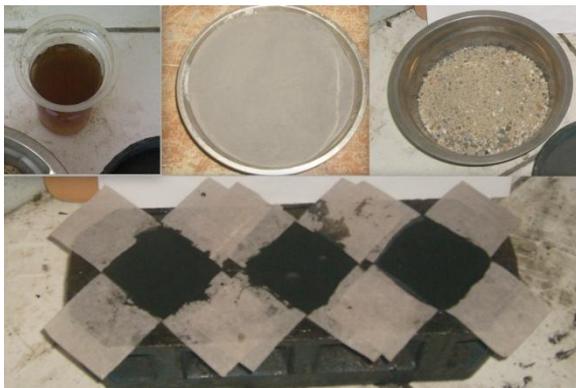
Tabel 3. Variasi *Mix Design*

Mix	G	Ms	Suhu (°C)	Rest Period (hari)	Pengolahan Abu Sawit
1	7,5	0,5	110	3	Pembakaran 800°C, 3 hari
2	7,5	0,75	110	3	Pembakaran 800°C, 3 hari
3	7,5	1,0	110	3	Pembakaran 800°C, 3 hari
4	7,5	1,25	110	3	Pembakaran 800°C, 3 hari
5	5,5	1,0	110	3	Pembakaran 800°C, 3 hari
6	9,5	1,0	110	3	Pembakaran 800°C, 3 hari
7	11,5	1,0	110	3	Pembakaran 800°C, 3 hari
8	7,5	1,0	75	3	Pembakaran 800°C, 3 hari
9	7,5	1,0	60	3	Pembakaran 800°C, 3 hari
10	7,5	1,0	40	3	Pembakaran 800°C, 3 hari
11	7,5	1,0	110	3	Lolos saringan no. 200
12	7,5	1,0	110	3	Pembakaran 500°C, 1 jam (<i>furnace</i>)
13	7,5	1,0	110	3	Tanpa pengolahan
14	7,5	1,0	110	0	Pembakaran 800°C, 3 hari
15	7,5	1,0	110	5	Pembakaran 800°C, 3 hari

Tabel 4. Komposisi Bahan Penyusun Mortar Geopolimer

Mix	w/s	s/b	Fly Ash	Agregat Halus	Add Water	Natrium silikat	NaOH	SP
					kg/m ³			
1	0,53	2,75	506,88	1393,91	133,30	179,32	217,77	7,60
2	0,54	2,75	504,20	1386,56	126,48	267,56	184,64	7,56
3	0,55	2,75	501,56	1379,29	119,74	354,88	151,85	7,52
4	0,56	2,75	498,94	1372,09	113,06	441,28	119,41	7,48
5	0,51	2,75	507,84	1396,57	139,02	263,50	112,75	7,62
6	0,58	2,75	495,43	1362,43	100,93	444,02	189,99	7,43
7	0,61	2,75	489,45	1345,98	82,58	531,00	227,22	7,34
8	0,55	2,75	501,56	1379,29	119,74	354,88	151,85	7,52
9	0,55	2,75	501,56	1379,29	119,74	354,88	151,85	7,52
10	0,55	2,75	501,56	1379,29	119,74	354,88	151,85	7,52
11	0,55	2,75	501,56	1379,29	119,74	354,88	151,85	7,52
12	0,55	2,75	501,56	1379,29	119,74	354,88	151,85	7,52
13	0,55	2,75	501,56	1379,29	119,74	354,88	151,85	7,52
14	0,55	2,75	501,56	1379,29	119,74	354,88	151,85	7,52
15	0,55	2,75	501,56	1379,29	119,74	354,88	151,85	7,52

Larutan alkali aktivator dipersiapkan terlebih dahulu 1 hingga 3 jam sebelum pencampuran. Proses pencampuran mortar dilakukan secara manual dengan urutan pencampuran yaitu pengadukan abu sawit dan pasir kemudian dilanjutkan dengan penuangan larutan alkali aktivator. Adukan mortar yang telah tercampur rata kemudian dimasukkan ke dalam cetakan mortar 5x5x5 cm sebanyak 2 lapisan dengan pemadatan 32 kali tusukan tiap lapisnya dan diikuti penggetaran dengan pemukul karet.



Gambar 1. Bahan Dasar Mortar Geopolimer

Cetakan yang berisi campuran mortar segar ditingkatkan sesuai *rest period* masing-masing *mix* sebelum proses perawatan. Perawatan menggunakan oven dengan suhu sesuai *mix* yang telah ditetapkan selama 24 jam. Setelah itu, benda uji dikeluarkan dari cetakan dan ditempatkan pada suhu ruang hingga hari pengujian. Umur pertama mortar mulai dihitung dari hari dibukanya cetakan.

Pengujian dilakukan pada benda uji umur tujuh hari. Pengujian kuat tekan menggunakan mesin uji tekan (*Compressing Test Machine*) dilakukan untuk semua variasi *mix*. Pembebanan dilakukan hingga benda uji menjadi hancur. Beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan dicatat. Pengukuran kuat tekan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dimana:

$f'c$ = kuat tekan (MPa)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang tertekan (mm²)

Pengujian tingkat penyerapan (*sorptivity*) dilakukan pada benda uji *mix* 3. Pengujian *sorptivity* menggunakan metode GHD (*Determination of Sorptivity*). Benda uji dioven terlebih dahulu pada suhu 105°C hingga berat konstan. Kemudian benda uji diletakkan di atas dua penyangga dalam wadah berisi air dengan ketinggian air 1-2 mm dari bawah permukaan benda uji. Berat benda uji ditimbang pada menit tertentu.



Gambar 2. Pengujian *Sorptivity*

Nilai *sorptivity* dapat ditentukan berdasarkan garis regresi linier dari grafik hubungan antara jumlah air yang diserap persatuan luas permukaan (I) dengan akar dari waktu hisap (t).

$$I = C + St^{0,5} \quad (2)$$

dimana:

I = jumlah air persatuan luas (g/mm)

S = *sorptivity* (mm/mm^{1/2})

t^{0,5} = akar waktu hisap (menit)

Berdasarkan persamaan garis regresi linier diperoleh nilai *sorptivity* dengan kriteria sebagai berikut:

Tabel 5. Kriteria Nilai <i>Sorptivity</i>	
Nilai <i>Sorptivity</i> (S)	Keterangan
> 0,2 mm/mm ^{0,5}	Tidak Baik
0,1 – 0,2 mm/mm ^{0,5}	Diterima
< 0,2 mm/mm ^{0,5}	Sangat baik

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pemeriksaan Agregat

Hasil pengujian karakteristik agregat halus yang berasal dari Sungai Kampar dapat dilihat pada Tabel 6.

Dari pengujian karakteristik agregat halus diketahui bahwa nilai absorpsi dan

kadar lumpur tidak memenuhi nilai standar. Absorpsi terlalu kecil dikarenakan kondisi agregat yang basah saat pengujian. Agregat yang berada di luar ruangan, terkena hujan sebelum pengujian dilakukan. Kadar lumpur yang berlebihan dapat diatasi dengan cara pencucian agregat halus hingga kadar lumpur berkurang dan masuk nilai standar. Untuk jenis pemeriksaan lainnya telah memenuhi standar spesifikasi.

Tabel 6. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Jenis Pemeriksaan	Hasil	Standar Spesifikasi
Kadar Lumpur (%)	8,84	< 5
Berat Jenis (gr/cm^3)		
a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,65	2,58 - 2,84
b. <i>Bulk specific gravity on dry</i>	2,55	2,58 - 2,85
c. <i>Bulk specific gravity on SSD</i>	2,59	2,58 - 2,86
d. <i>Absorption (%)</i>	1,57	2 - 7
Kadar air (%)	4,07	3 - 5
Modulus kehalusan	3,14	1,5 - 3,8
Berat Volume		
a. Kondisi padat	1,75	< 1,2
b. Kondisi gembur	1,61	< 1,2
Kadar Organik	No. 3	< No. 3

B. Hasil Pemeriksaan Abu Sawit

Abu sawit yang digunakan adalah 100% lolos saringan no. 200. Berat jenis (*specific gravity*) abu sebesar 2,13. Nilai ini mencapai kriteria *specific gravity* pozzolan hasil industri seperti *fly ash*, *silica fume*, dan *rice husk ash* yang ada pada Nugraha dan Antoni (2007) yaitu berkisar antara 2,0 hingga 2,4. Hasil pengujian komposisi kimia dapat dilihat pada Tabel 7.

Hasil analisis kimia abu sawit diperoleh nilai SiO_2 sebesar 64,36%. Menurut ASTM C-618, kadar minimum

silika (SiO_2) ditambah (Al_2O_3) dan (Fe_2O_3) untuk bisa dijadikan sebagai pozzolan alami campuran beton adalah sebesar 50% untuk kelas C, 70% untuk kelas N dan F. Jadi abu sawit yang digunakan pada penelitian ini telah memenuhi syarat sebagai bahan pozzolan dimana jumlah dari ketiga parameter adalah 72,13%.

Tabel 7. Komposisi Kimia dari Abu Sawit PT. Sarikat Putra

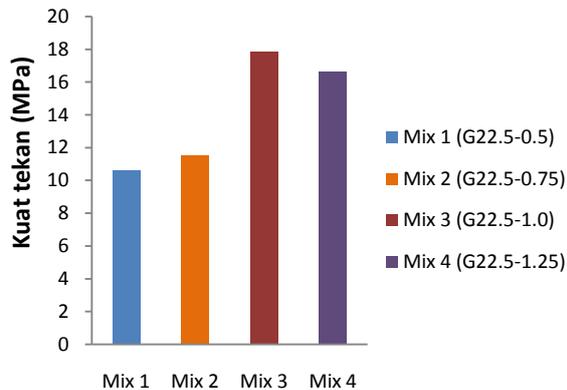
Parameter	% Berat
SiO_2	64,36
Al_2O_3	4,36
Fe_2O_3	3,41
CaO	7,92
MgO	4,58
Na_2O	0,00
K_2O	5,57
TiO_2	0,87
MnO	0,10
P_2O_5	3,64
SO_3	0,04
Cu (ppm)	46
Zn (ppm)	60
H_2O^-	0,59
HD	4,97

C. Hasil Pengujian Kuat Tekan

1. Variasi modulus aktivator

Pada variasi ini, campuran yang diteliti memiliki nilai modulus aktivator (M_s) 0,5 hingga 1,25 dengan persentase dosis aktivator ($\%\text{Na}_2\text{O}$) tetap sebesar 22,5%. Pengaruh modulus aktivator terhadap kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 3. Secara umum kuat tekan mortar meningkat dengan peningkatan dosis aktivator hingga $M_s = 1,0$, kemudian kuat tekan menurun sedikit pada nilai $M_s = 1,25$. Kuat tekan mortar geopolimer tertinggi diperoleh menggunakan mix 3 (G7.5-1.0) yaitu sebesar 17,85 MPa. Sedangkan kuat tekan terendah sebesar 11,54 MPa diberikan oleh mix 1 (G7.5-0.5). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kuat tekan dipengaruhi kadar silikat dalam campuran. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penambahan silikat mempengaruhi kekuatan beton secara signifikan dibanding menggunakan satu jenis aktivator saja, misalnya NaOH (Stevenson & Sagoe-Crentsil,

2005). Sodium silikat memiliki fungsi merekatkan partikel abu terbang/abu sawit yang telah dilarutkan oleh NaOH dengan agregat, sehingga jumlah sodium silikat dalam campuran membantu menambah kekuatan beton. Akan tetapi, jumlah tersebut mencapai nilai optimum pada $M_s = 1$, karena penurunan kuat tekan terjadi pada $M_s = 1.25$.

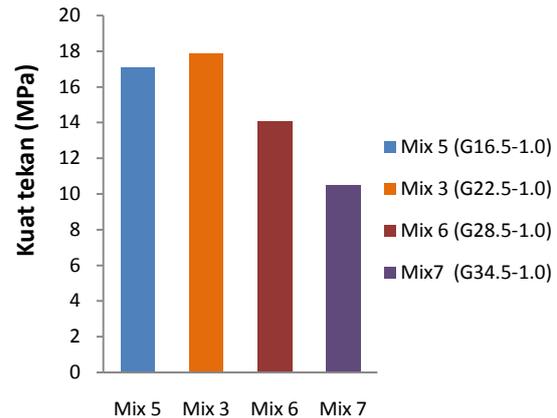


Gambar 3. Pengaruh Modulus Aktivator Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer

2. Variasi dosis aktivator

Penggunaan dosis aktivator ($\%Na_2O$) dalam jumlah yang tepat mempengaruhi kekuatan tekan mortar. Gambar 4 menunjukkan pengaruh kuat tekan terhadap variasi aktivator. Secara umum dapat dilihat bahwa kuat tekan mengalami peningkatan sekitar 4,4% dari $Na_2O = 5,5\%$, lalu mengalami penurunan dengan penambahan kadar aktivator dalam campuran. Nilai optimum diperoleh pada campuran dengan $Na_2O = 7.5\%$ dengan kuat tekan 17.85 MPa.

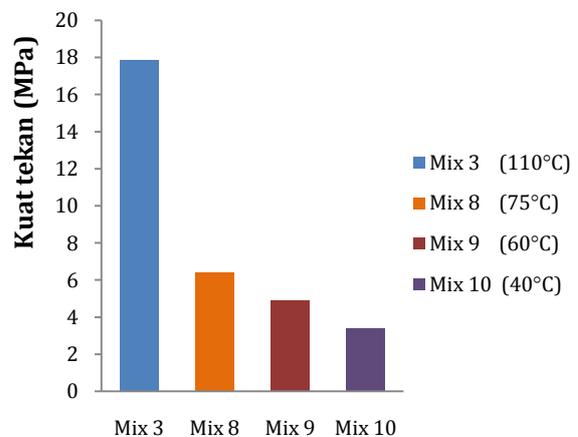
Penggunaan NaOH dalam campuran geopolimer diperlukan untuk melarutkan silika dan alumina pada abu sawit sehingga semakin besar dosisnya akan semakin mempercepat pembentukan produk geopolimer. Peningkatan pH dalam campuran melalui penambahan kadar NaOH, juga diikuti penambahan kadar silikat ternyata tidak menunjang terjadinya reaksi geopolimer yang seimbang dan sempurna. Campuran cenderung lebih kental, lengket, dan sulit dipadatkan. Saat mortar dirawat pada suhu tinggi, kadar silikat yang tinggi akan menunda terjadinya proses kristalisasi geopolimer (Shindunata, 2006).



Gambar 4. Pengaruh Dosis Aktivator Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer

3. Variasi suhu perawatan

Kuat tekan mortar dipengaruhi oleh suhu perawatan setelah pencampuran. Geopolimer perlu diaktifkan dengan pemberian suhu tinggi di atas suhu ruang untuk mempercepat reaksi kimia dalam campuran. Semakin tinggi suhu perawatan umumnya semakin baik dan tinggi kuat tekan yang diperoleh.



Gambar 5. Pengaruh Suhu Perawatan Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer

Gambar 5 memperlihatkan pengaruh suhu perawatan terhadap kuat tekan dalam pembuatan geopolimer abu sawit. Mortar geopolimer yang dirawat pada suhu tinggi, 110°C memberikan kuat tekan tertinggi dibandingkan campuran yang dirawat pada suhu di bawahnya. Saat geopolimer abu sawit dirawat pada suhu 110°C, terjadi peningkatan kuat tekan mortar sekitar lima kali dibanding saat mortar dirawat pada suhu

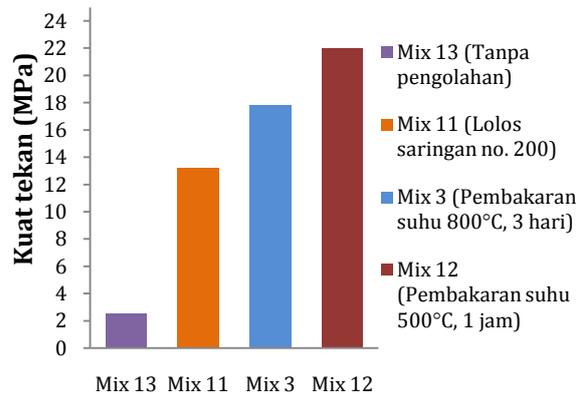
40°C. Penelitian terdahulu untuk geopolimer abu sawit, lebih banyak menggunakan suhu perawatan yang lebih tinggi daripada geopolimer abu terbang. Hal ini disebabkan karena abu sawit kurang reaktif dan memerlukan suhu perawatan yang lebih ekstrim.

4. Variasi pengolahan abu sawit

Geopolimer abu sawit merupakan campuran yang kurang reaktif dibandingkan dengan geopolimer abu terbang. Abu sawit yang diambil langsung dari lapangan memiliki kandungan karbon cukup tinggi karena memiliki warna sangat gelap sehingga setelah dibakar kembali akan berwarna lebih cerah. Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa abu sawit memiliki partikel kurang reaktif sehingga memerlukan pengolahan partikel abu sawit seperti dibakar ulang maupun dihaluskan kembali untuk mendapatkan karakteristik geopolimer yang lebih baik. Pengolahan POFA dengan pembakaran kembali selama 1.5 jam di gas furnace dengan suhu 500±50°C bertujuan untuk mengurangi karbon tidak terbakar dalam abu (Johari dkk, 2012). Kandungan karbon tidak terbakar cukup tinggi dalam abu menjadikan geopolimer abu sawit yang dihasilkan menjadi material getas, porous dan memiliki kuat tekan rendah (Chandara dkk, 2010). Gambar 6 memperlihatkan bahwa abu sawit yang tidak diolah memiliki kuat tekan paling rendah (2.56 MPa), sedangkan pembakaran kembali abu sawit menggunakan furnace dengan suhu 500°C selama 1 jam dapat meningkatkan kuat tekan sangat signifikan (21.97 MPa).

Geopolimer abu sawit yang langsung digunakan tetapi lolos saringan no. 200 menunjukkan kuat tekan lebih rendah daripada mortar dengan abu sawit dibakar pada suhu 800°C selama 3 hari. Pembakaran tersebut dilakukan di pabrik batu bata secara tertutup dan tidak langsung terkena panas api, sehingga kandungan karbon abu sawitnya hanya berkurang sedikit. Pengolahan terbaik adalah menggunakan furnace sehingga partikel abu dihasilkan memiliki kandungan karbon rendah dan

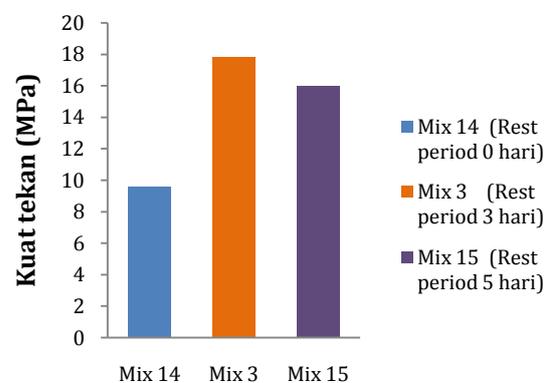
partikel dengan fase glassy yang lebih reaktif (Chandara dkk, 2012).



Gambar 6. Pengaruh Pengolahan Abu Sawit Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer

4.2.5 Variasi Rest Period

Gambar 7 menunjukkan variasi *rest period* (waktu istirahat) yang digunakan dalam penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *rest period* 3 hari memberikan kuat tekan tertinggi dibanding *rest period* 5 hari atau tidak ada *rest period* sama sekali. Penelitian Hardjito dkk, (2004) menunjukkan bahwa *rest period* atau *delay* memberikan peningkatan kuat tekan lebih besar daripada tidak diberi *rest period*. Geopolimer dalam *rest period* mengalami proses awal geopolimerisasi yang kemudian dipercepat dengan pemberian suhu tinggi setelah beberapa saat. Hal ini mengadopsi pembuatan material di pabrik beton pracetak dengan memberikan penundaan berupa *rest period* untuk tiap elemen yang akan dicetak.

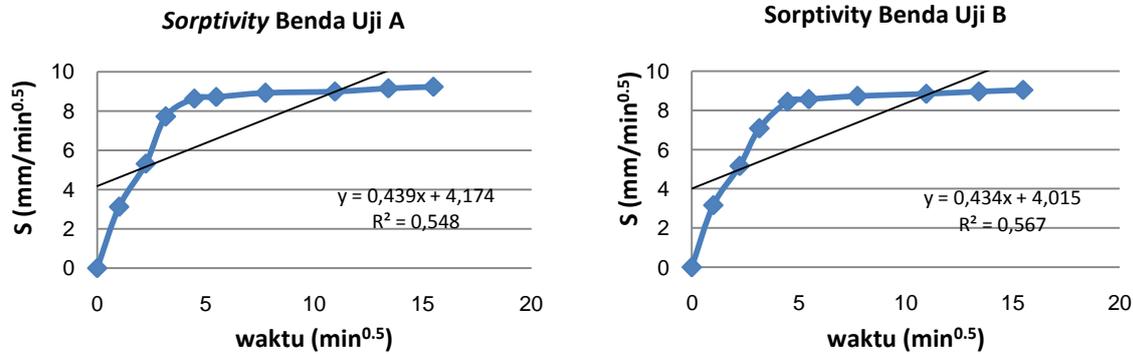


Gambar 7. Pengaruh Rest Period Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer

D. Hasil Pengujian *Sorptivity*

Hasil grafik penelitian *sorptivity* menunjukkan bahwa nilai *S* rata-rata sebesar 0,4365 termasuk dalam kriteria tidak baik. Hal ini sebanding dengan rendahnya hasil kuat tekan.

Nilai *sorptivity* yang tinggi menunjukkan adanya banyak rongga pori yang terdapat di dalam mortar geopolimer yang menyebabkan penyerapan menjadi cepat.



Gambar 8. Grafik Pengujian *Sorptivity*

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang dilakukan terhadap mortar geopolimer, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kuat tekan mortar abu sawit dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti variasi modulus aktivator (M_s), dosis aktivator ($\%Na_2O$), suhu perawatan, pengolahan abu sawit dan *rest period*.
2. Peningkatan jumlah modulus aktivator dalam campuran geopolimer abu sawit akan meningkatkan kuat tekan mortar. Nilai optimum dicapai saat $M_s = 1.0$.
3. Peningkatan dosis aktivator dalam campuran akan meningkatkan kuat tekan mortar. Kuat tekan optimum diperoleh pada $Na_2O = 22.5\%$.
4. Peningkatan suhu perawatan akan meningkatkan kuat tekan mortar abu sawit.
5. Pembakaran kembali abu sawit dalam keadaan terpapar panas langsung dalam *furnace* memberikan kuat tekan lebih tinggi daripada pembakaran tertutup.
6. *Rest period* dapat meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer abu sawit, tetapi tidak lebih dari 3 hari.

7. Abu sawit yang *porous* menyebabkan meningkatnya nilai *sorptivity*.

B. Saran

Berdasarkan hasil pengalaman dalam melakukan penelitian di laboratorium, dapat dikemukakan saran yang mungkin dapat dipergunakan untuk penelitian lanjutan:

1. Pembakaran abu sawit sebaiknya dalam keadaan terpapar langsung agar hasil penelitian selanjutnya lebih maksimal.
2. Perlu adanya penelitian lanjutan terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik geopolimer lainnya.
3. Perlu adanya pengujian tambahan untuk mortar geopolimer agar hasil penelitian lebih lengkap.
4. Perlu adanya penelitian lanjutan dengan menggunakan abu sawit yang diambil dari beberapa tempat yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada semua pihak yang telah membantu selama penelitian terutama kepada:

1. Orang tua, kakak, adik, serta abang yang selalu tanpa henti memberikan motivasi serta kepercayaan selama penelitian ini.

2. Dosen Pembimbing, Ibu Monita Olivia dan Ibu Lita Darmayanti yang telah membimbing dan selalu memberikan motivasi serta masukan hingga penelitian ini dapat terselesaikan.
3. Bapak Heri Kurniawan dan semua Staf PT. Sarikat Putra yang telah bersedia dengan senang hati membantu dalam penyediaan abu sawit.
4. Teman seperjuangan, Rika, Jaya, Uli, Ririn dan Fahrul Izwar yang selalu memberikan semangat dan bantuan selama penelitian.
5. Asisten Laboratorium Bahan Bangunan Fakultas Teknik Universitas Riau.
6. Teman-teman senasib seperjuangan sesama mahasiswa Teknik Sipil Universitas Riau.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, A.A. 2009. Strength and Durability Properties of Alkali Activated Slag and Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. PhD Thesis School of Civil, Environmental and Chemical Engineering. RMIT University. Melbourne.
- Ariza, Y. 2010. Pengaruh Pemanfaatan Abu Cangkang Kerang Jenis Kijing (*Pilsbryconcha exilis*) Sebagai Pengganti Sebagian Semen Dalam Campuran Beton. Skripsi S1 Universitas Bengkulu. Bengkulu.
- Chandara, C., Sakai, E., Azizli, K.A.M., Ahmad, Z.A., and Hashim, S.F.S. 2010. The effect of unburned carbon in palm oil fuel ash on fluidity of cement pastes containing superplastizer. *Construction and Building Materials* 24: 1590-1593.
- Chandara, C., Azizli, K.A.M., Ahmad, Z.A., and Hashim, S.F.S., and Sakai, E. 2012. Heat of hydration of blended cement containing treated ground palm oil fuel ash. *Construction and Building Materials*. 27: 78-81.
- Hardjito, D., Wallah, S.E., Sumajouw, D.M.J. & Rangan, B.V. 2004. On the development of fly ash-based geopolymer concrete. *ACI Materials Journal* Vol 101(6): 467-472.
- Putranto, D. 2011. Bahaya Semen Untuk Dunia. <URL: <http://kimiadahsyat.blogspot.com/2011/02/bahaya-semen-untuk-dunia.html>> [diakses 07 Agustus 2012]
- Shindunata, 2006. A Conceptual Model of Geopolymerisation. PhD Thesis Chemical and Biomolecular Engineering. The University of Melbourne.
- Siregar, S.M. 2009. Pemanfaatan Kulit Kerang dan Resin Epoksi Terhadap Karakteristik Beton Polimer. Skripsi S1 Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Stevenson, M. & Sagoe-Crentsil, K. 2005. Relationships between composition, structure and strength of inorganic polymers. *Journal of Materials Science* 40(6): 4247-4259.
- Susanti, N. 2009. Pembuatan Ekosemen dari Abu Sampah dan Uji Aplikasinya untuk Panel Beton. Skripsi S1 Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Warman, P.B. 2011. Pengaruh Penambahan Abu Cangkang Lokan Terhadap Kuat Tekan Beton. Skripsi S1 Universitas Bengkulu. Bengkulu.
- Davidovits, J. 1994. High alkali cements for 21st century concretes. In *Concrete Technology, Past, Present and Future. Proceedings of V Mohan Malhotra Symposium*. Mehta, K. (ed.). ACI SP.
- Sofi, M., van Deventer, J.S.J., Mendis, P.A. & Lukey, G.C. 2007. Engineering properties of inorganic polymer concretes (IPCs). *Cement & Concrete Research* 37: 251-257.
- Hardjito, D., Wallah, S.E., Sumajouw, D.M.J, & Rangan, B.V. 2004. On the development of fly ash based geopolymer concrete. *ACI Materials Journal* 101: 467-472.
- Hardjito, D. 2005. Development and properties of low calcium fly ash based geopolymer concrete. PhD Thesis of Civil Engineering & Computing Department. Perth: Curtin University of Technology.

- Johari, M.A.M., Zeyad, A.M., Bunnori, N.M., Ariffin, K.S. 2012. Engineering and transport properties of high-strength green concrete containing high volume of ultrafine palm oil fuel ash. *Construction and Building Materials* 30: 281-288.
- Miranda, J.M., Fernandez-Jimenez, A., Gonzalez, J.A. & Palomo, A. 2005. Corrosion resistance in activated fly ash mortars. *Cement & Concrete Research* 35: 1210-1217.
- Skvara F, Kopecky L, Nemecek J, Bittnar Z. Microstructure of geopolymer materials based on fly ash. *Ceramics-Silikaty*. 2006; 50(4):208-215.
- Song X. Development and performance of class F fly ash based geopolymer concretes against sulphuric acid attack. Sydney: University of New South Wales; 2007.
- Wang, S.-D., Scrivener, K. L., & Pratt, P. L. (1994). Factors affecting the strength of alkali-activated slag. *Cement and Concrete Research*, 24(6), 1033-1043