

KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER POFA YANG DIRAWAT PADA SUHU RUANG

Lora Mona Tambunan¹⁾, Monita Olivia²⁾, Edy Saputra³⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

³⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya J.HR Soebrantas KM12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : loramonatambunan@gmail.com

Abstract

This research focus on study of palm oil fuel ash based geopolymer mortar which use room temperature curing condition. Amount of Portland Cement (OPC) was added to accelerate setting time of geopolymer paste. The main ingredient to make geopolymer mix use palm oil fuel ash (POFA) which contain Silica (Si) and Alumina (Al) from Dumai, Riau province activated by alkaline activator solution. Alkaline activator solution was combined by NaOH 16M and liquid of natrium silikat (Na_2SiO_3) with SiO_2 to Na_2O mass ratio 2,3. Alkaline activator content as 100% of total binder. Rest period of geopolymer mortar for 5 days. The geopolymer paste was cast in cube mould 50x50x50 mm. The research show the compressive strength of geopolymer mortar which addition OPC variation. This study aims that compressive strength were improved simltanesly mount of addition OPC.

Keywords: geopolymer, palm oil fuel ash, room temperature, addition OPC

A. PENDAHULUAN

A.1 Latar Belakang

Produksi semen menghasilkan emisi yang diperkirakan meningkat sebesar 100% dari level saat ini pada tahun 2020 sehingga menunjukkan dampak pemanasan global (Pradip Nath, 2014).

Akhir-akhir ini suatu bahan yang baru dan ramah lingkungan yang disebut dengan geopolimer semakin dikembangkan. Geopolimer merupakan bahan pengikat alternatif selain semen Portland dalam pembuatan beton. Beton geopolimer secara prinsip diproduksi dengan memanfaatkan limbah industri seperti abu terbang, dan bahan aluminosilikat lainnya (Pradip Nath, 2015). Salah satu limbah industri yang komposisi kimianya mengandung kadar silika yang tinggi dan sangat berpotensi untuk digunakan sebagai pengganti semen adalah abu sawit yang disebut dengan *Palm Oil Fuel Ash* (Yuliana, 2013).

Palm Oil Fuel Ash (POFA) dihasilkan dari pembakaran limbah padat kelapa sawit yang dibakar pada suhu sekitar 800-1000°C di pabrik kelapa sawit (Tangchirapat, 2009). Areal perkebunan kelapa sawit di Riau setiap tahun terus meningkat, sehingga abu sawit (POFA) yang dihasilkan juga terus meningkat (Ermiyati, 2007).

Berdasarkan uraian tersebut, maka perlu dilakukan penelitian mortar geopolimer abu sawit pada perawatan suhu ruang.

A.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengkaji properties agregat halus yang digunakan pada pembuatan mortar geopolimer POFA.
2. Mengetahui karakteristik POFA yang digunakan.

3. Mengkaji faktor-faktor yang mempengaruhi mortar geopolimer
4. Mengkaji kuat tekan mortar geopolimer POFA pada umur 7 dan 28 hari dengan variasi persentase penambahan OPC.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Mortar

Menurut SNI 03-6882-2002 mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), air suling dan semen Portland dengan komposisi tertentu. Standar mortar berdasarkan kekuatannya untuk sebuah konstruksi disajikan dalam Tabel 1, berikut ini.

Tabel 1. Spesifikasi Mortar

Tipe Mortar	Kuat Tekan Minimum
Mortar Tipe M	17,2 (Kuat Tekan Tinggi)
Mortar Tipe S	12,4 MPa (kuat tekan sedang)
Mortar Tipe N	5,2 Mpa (kuat tekan rendah)
Mortar Tipe O	2,5 Mpa (kuat tekan rendah)

(Sumber: SNI 03-6882-2002)

Aplikasi mortar berdasarkan tipe mortar adalah sebagai berikut

- a. Mortar Tipe M digunakan untuk dinding dekat tanah, adukan pipa air kotor, adukan dinding penahan tanah, adukan untuk jalan.
- b. Mortar Tipe S digunakan bila tidak diisyaratkan menggunakan tipe M tetapi diperlukan daya rekat tinggi serta adanya gaya gamping,
- c. Mortar Tipe N digunakan untuk pasangan dinding.
- d. Mortar Tipe O digunakan untuk konstruksi dinding yang tidak menahan beban lebih dari 7kg/cm^2 , dan gangguan cuaca tidak berat.

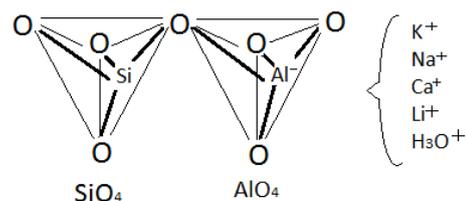
B.2 Geopolimer

Geopolimer merupakan sintesa bahan-bahan alam nonorganik lewat

proses polimerisasi. Bahan dasar utama yang diperlukan untuk pembuatan material geopolimer ini adalah bahan-bahan yang banyak mengandung unsur-unsur silikon dan aluminium (Davidovits, 2002). Davidovits menciptakan istilah "Geopolimer" pada tahun 1979 untuk menggambarkan bahan pengikat yang baru yang menghasilkan ikatan polimerik Si-O-Al-O (*sialate*) dengan cara SiO_4 dan AlO_4 membentuk ikatan segi empat secara bersamaan dalam tiga arah dengan oksigen. Penggantian Al^{3+} dengan Si^{4+} menyebabkan muatan negatif, sehingga membutuhkan alkali atau alkali tanah untuk menyeimbangkan, seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} atau Mg^{2+} . Secara rumus empiris (Davidovits, 1988) adalah:

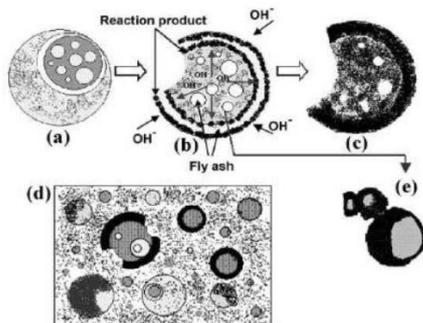
$$\text{Mn} \{ - (\text{SiO}_2)_z - \text{AlO}_2 \}_n, w\text{H}_2\text{O} \quad (1)$$

dengan M = unsur alkali atau kation seperti kalium, natrium atau kalsium; simbol (-) menunjukkan adanya ikatan; n adalah derajat polikondensasi atau polimerisasi; z adalah 1, 2, 3, atau lebih tinggi, hingga 32. Struktur geopolimer dapat didefinisikan dalam tiga jenis: poli (*sialate*) (-Si-O-Al-O-), poli (*sialate-siloxo*) (Si-O-Al-O-Si-O) dan poli (*sialate-disiloxo*) (Si-O-Al-O-Si-O-Si-O) berdasarkan nilai 2, 4 dan 6 dari rasio molar silika/alumina ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$). Pengikatan geopolimer (pengerasan) diyakini merupakan hasil dari hidrolisis aluminat dan polikondensasi silikat (Navid Ranjbar, 2014). Hubungan konfigurasi ion dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Konfigurasi tetrahedral dari *Sialate*, Konsep Ionik
Sumber: Davidovits(1994)

Pada mekanisme geopolimer, tahap pemutusan dan proses polimerisasi merupakan bagian terpenting dalam mekanisme reaksi geopolimer. Mekanisme geopolimer seperti pada Gambar 2 berikut diawali dengan pemutusan reaksi kimia ion OH^- larutan alkali pada satu titik di permukaan partikel abu (2a & 2b) kemudian meluas hingga membentuk lapisan (hasil reaksi) yang menyelimuti partikel (2c). Reaksi kimia tersebut dari dalam menuju keluar partikel maupun sebaliknya sehingga hasil reaksi tidak hanya terbentuk pada bagian luar, namun juga bagian dalam. Hal ini berlangsung hingga partikel abu telah selesai bereaksi sebagian atau keseluruhan. Pada saat bersamaan larutan alkali menembus bagian yang lebih kecil dalam bulatan-bulatan partikel. Pada bagian dalam partikel mulai terisi dengan hasil reaksi yang membentuk matrik tebal. Proses lain yang terjadi yaitu pembentukan lapisan penghambat oleh bulatan-bulatan yang lebih kecil untuk mencegah terjadinya kontak dengan alkali sehingga dihasilkan abu yang tidak bereaksi (2d & 2e).



Gambar 2. Gambaran Reaksi Larutan Alkali pada Abu Terbang
Sumber: Fernandez-Jimenez, 2007

B.3 Bahan Penyusun Mortar Geopolimer

B.3.1 Palm Oil Fuel Ash (POFA) atau Abu Sawit

Pada pembuatan minyak kelapa sawit, minyak dari buah kelapa sawit segar diekstraksi, sisa padatan dari produk dalam bentuk cangkang, serat dan tandan kosong (lebih dari 70% dari buah kelapa sawit

segar) dikeluarkan dari proses. Limbah ini digunakan kembali di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) yang sama sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan steam yang berfungsi untuk membangkitkan tenaga listrik dan menjalankan operasi internal dan proses pembakaran ini akan menyisakan abu sekitar 5% yang dikenal dengan abu pembakaran biomassa kelapa sawit atau *palm oil fuel ash* (POFA) (Danil Tarmizi, 2014). Abu cangkang kelapa sawit memiliki kandungan utama Silikon oksida (SiO_2) yang memiliki sifat reaktif dan aktivitas.

B.3.2 Agregat Halus

Agregat halus ialah agregat yang semua butirnya menembus ayakan berlubang 4,75 mm (ASTM C33, 1982).

B.3.3 Alkali Aktivator

Alkali aktivator mempunyai fungsi dalam menghasilkan geopolimerisasi dan mempercepat reaksinya (Olivia, 2011). Cairan alkali aktivator yang paling umum digunakan dalam proses geopolimer adalah kombinasi dari natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH) dan natrium silikat atau kalium silikat. NaOH berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur silikon (Si) dan Aluminium (Al) yang terkandung dalam abu sawit sehingga menghasilkan ikatan polimer yang kuat (Hardjito, 2005). Sodium silikat tidak hanya meningkatkan hasil akhir kuat tekan beton tetapi juga berguna sebagai perekat antara material-material sehingga membentuk pasta yang padat (Olivia, 2005).

B.3.4 Air

Air merupakan bahan dasar penyusun mortar yang paling penting dan murah. Kekuatan dan mutu beton umumnya sangat dipengaruhi oleh jumlah air yang dipergunakan.

B.3.5 Bahan tambah kimia

Bahan tambah kimia merupakan bahan yang ditambahkan saat pengadukan dan pengecoran. sehingga dapat

mengurangi jumlah air dan meningkatkan *workability*.

B.3.6 Penambahan Semen

Semen merupakan bahan yang bersifat hidrolis yang bila dicampur dengan air akan berubah menjadi bahan yang mempunyai sifat perekat. Penggunaannya antara lain meliputi beton, adukan mortar, plesteran, bahan penambal, adukan encer, dan sebagainya.

Pada penelitian ini, jenis semen yang digunakan adalah *Ordinary Portland Cement* yaitu tipe I digunakan untuk konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti tidak memerlukan ketahanan sulfat, tidak memerlukan persyaratan panas hidrasi, dan tidak memerlukan kekuatan awal yang tinggi.

Perbandingan komposisi kimia OPC dan POFA yang berasal dari Johor, Malaysia terdapat dalam tabel berikut.

Tabel 2.3 Komposisi Kimia OPC dan Abu Sawit

Komposisi Kimia	OPC %	POFA %
<i>Silicon Dioxide</i> (SiO_2)	20,2	43,6
<i>Aluminium Oxide</i> (Al_2O_3)	5,7	11,4
<i>Ferric Oxide</i> (Fe_2O_3)	3,0	4,7
<i>Calcium Oxide</i> (CaO)	62,5	8,4
<i>Magnesium Oxide</i> (MgO)	2,6	4,8
<i>Sodium Oxide</i> (Na_2O)	0,16	0,39
<i>Potassium Oxide</i> (K_2O)	0,87	3,5
<i>Sulphur Trioxide</i> (SO_3)	1,8	2,8
<i>Loss On Ignition</i> (LOI)	2,7	18

Sumber : Awal dan Hussin, 1997

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Persiapan Bahan Penelitian

Sebelum pembuatan benda uji, bahan dasar abu sawit dan agregat halus yang digunakan dipersiapkan dan diuji terlebih dahulu. Pengujian abu sawit

bertujuan untuk mengetahui komponen kimia dan berat jenis abu sawit, Pengujian agregat halus bertujuan untuk mengetahui karakteristik agregat halus.

C.2 Pembuatan benda Uji

Pada tahap pembuatan benda uji mortar, campuran bahan mortar geopolimer dipersiapkan secara manual untuk mendapatkan campuran yang seragam. Rancangan komposisi campuran yang digunakan berdasarkan *trial* yang dilakukan. Larutan alkali aktivator dipersiapkan 1-3 jam sebelum pencampuran bahan. Perbandingan abu sawit dan alkali (Ms) yang digunakan adalah 100%. Variasi penambahan semen yang digunakan yaitu 20%, 25%, 30%, 35% dan 40% dari abu sawit yang digunakan dengan memakai larutan NaOH 16 M dan Na_2SiO_3 2,3 mol dengan perbandingan Na_2SiO_3 dan NaOH adalah 2.

C.3 Pengujian

Pada proses ini pengujian yang dilakukan meliputi uji kuat tekan. Jumlah benda uji yang digunakan adalah 36 sampel dengan masing-masing variasi setiap pengujian adalah 3 sehingga hasil akhir diperoleh dengan merata-ratakan hasil pengujian. Uji kuat tekan dilakukan dengan menggunakan mesin uji tekan (*Compression Machine Test*) pada umur 7 dan 28 hari.

D. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

D.1 Karakteristik Agregat Halus

D.1.1 Kadar Lumpur Agregat Halus

Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus yang digunakan pada penelitian ini telah memenuhi standar spesifikasi kadar lumpur yaitu <5%, dengan nilai pengujian sebesar 4,12%. Nilai kadar lumpur menandakan kandungan lempung atau kotoran pada agregat. Kadar lumpur yang menempel pada permukaan agregat dapat

menghalangi lekatan yang baik antar agregat dan pasta semen.

D.1.2 Berat Jenis Agregat Halus

Berat jenis yang digunakan adalah *bulk specific gravity on SSD*. Hasil pengujian berat jenis agregat halus telah memenuhi spesifikasi berat jenis yaitu 2,58 s/d 2,86 gr/cm³ dengan nilai pengujian sebesar 2,60 gr/cm³. Sedangkan untuk hasil pengujian penyerapan (*absorption*) agregat halus tidak memenuhi spesifikasi yaitu 2-7% dengan nilai pengujian sebesar 2,11%. Hal tersebut disebabkan agregat terlalu basah sebelum dilakukan pengujian.

D.1.3 Kadar Air Agregat Halus

Hasil pengujian kadar air agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini tidak memenuhi standar spesifikasi yaitu 3-5 % dengan nilai pengujian yang diperoleh sebesar 4,11%.

D.1.4 Modulus Kehalusan Agregat Halus

Hasil pengujian modulus kehalusan agregat halus telah memenuhi standar spesifikasi yaitu 1,5-3,8% dengan nilai pengujian sebesar 2,83.

D.1.5 Berat Volume Agregat Halus

Hasil pengujian berat volume agregat halus telah memenuhi standar spesifikasi agregat halus dengan rentang 1400 kg/m³-1900 kg/m³. Nilai pengujian kondisi gembur sebesar 1580 kg/m³ dan kondisi padat sebesar 1760 kg/m³.

D.1.6 Kadar Organik Agregat Halus

Hasil pengujian kadar organik agregat halus telah memenuhi standar spesifikasi kadar organik yaitu tidak boleh lebih dari warna no.3. Hasil pengujian yang diperoleh adalah warna no.2. Hal tersebut menandakan bahwa agregat halus yang digunakan tidak mengandung organik yang tinggi sehingga bisa dimanfaatkan untuk pembuatan benda uji mortar.

D.2 Analisa Karakteristik Abu Sawit

Pengujian karakteristik abu sawit bertujuan untuk mengetahui komponen kimia abu sawit. Pengujian ini dilakukan dengan mengirimkan sebagian sampel abu sawit ke Balai Riset dan Standardisasi Industri Padang. Berikut komponen kimia abu sawit yang berasal dari Dumai.

Tabel 2. Komposisi Kimia Abu Sawit

No	Parameter Uji	Hasil Analisis (%)
1	SiO ₂	54,53
2	Al ₂ O ₃	15,90
3	Fe ₂ O ₃	3,86
4	CaO	7,49
5	MgO	1,21
6	Na ₂ O	0,09
7	K ₂ O	4,31
8	MnO	0,07
9	P ₂ O ₅	4,90
10	SO ₃	0,87
11	Cu	0,02
12	Zn	0,01

Sumber: Balai Riset dan Standardisasi Padang, 2015

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai SiO₂ sebesar 54,53 %. Jumlah SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ adalah sebesar 74,29 %. Nilai tersebut menunjukkan bahwa abu sawit tersebut telah memenuhi syarat kimia pozzolan.

D.3 Hasil Pengujian *Trial* Mortar Geopolimer POFA

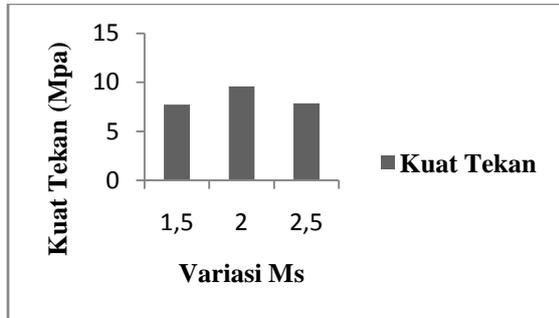
D.3.1 Variasi Modulus Aktivator (Ms)

Pada pengujian ini, pembuatan benda uji dilakukan dengan memvariasikan perbandingan silikat dan larutan NaOH yang digunakan yaitu 1,5, 2, dan 2,5. Jumlah OPC dan molaritas NaOH yang digunakan konstan. Semakin besar rasio yang digunakan sebanding dengan jumlah silikat dalam larutan.

Tabel 3. Kuat Tekan Sampel

No. Benda Uji	Kuat Tekan (Mpa)		
	Variasi Ms		
	1,5	2	2,5
1	9,2	11,2	8,0
2	6,8	8,8	8,8
3	7,2	8,8	6,8
Rata-rata	7,7	9,6	7,9

Sumber: Data Penelitian



Gambar 3. Kuat Tekan Mortar Geopolimer POFA

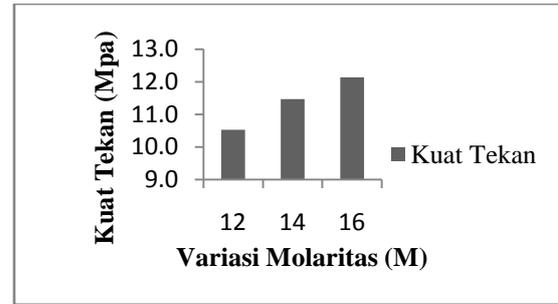
D.3.2 Variasi Molaritas NaOH

Pada pengujian ini, pembuatan benda uji dilakukan dengan variasi molaritas larutan NaOH yang digunakan yaitu 12M, 14M, dan 16M. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan mortar meningkat seiring dengan peningkatan molaritas larutan. Hal ini disebabkan ion OH⁻ yang terkandung dalam larutan NaOH bereaksi dengan unsur Si dan Al yang terdapat dalam abu sawit.

Tabel 4. Kuat Tekan Sampel

No. Benda Uji	Kuat Tekan (Mpa)		
	Variasi Molaritas NaOH		
	12	14	16
1	11,2	10,0	12,8
2	10,4	12,0	11,2
3	10,0	12,4	12,4
Rata-rata	10,5	11,5	12,1

Sumber: Data Penelitian



Gambar 4. Kuat Tekan Mortar Geopolimer POFA

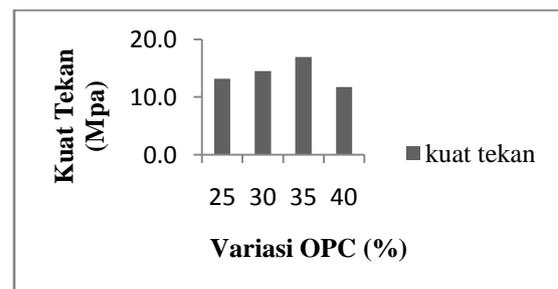
D.3.4 Variasi Penambahan OPC (%)

Pada campuran ini digunakan variasi OPC 25%, 30%, 35% dan 40% dari jumlah abu sawit yang digunakan dengan larutan NaOH 16 M dan Ms Na₂SiO₃. Penambahan OPC dilakukan untuk mempercepat waktu ikat dan meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer pada suhu ruang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar jumlah OPC dalam campuran dapat mempercepat waktu ikat dan dapat meningkatkan nilai kuat tekan mortar geopolimer POFA.

Tabel 5. Kuat Tekan Sampel

No. Benda Uji	Kuat Tekan (Mpa)			
	Variasi OPC (%)			
	25	30	35	40
1	10,4	14,4	18,8	11,6
2	13,6	14,8	16,0	12,0
3	15,6	14,4	16,0	11,6
Rata-rata	13,2	14,5	16,9	11,7

Sumber: Data Penelitian



Gambar 5. Kuat Tekan Mortar Geopolimer POFA

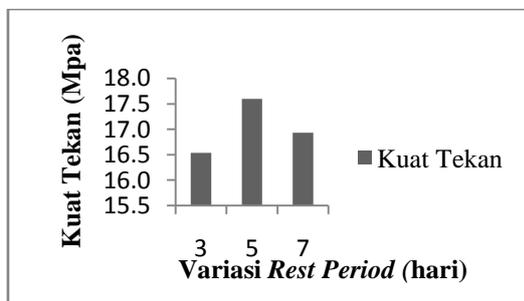
D.3.5 Variasi Rest Period

Pada campuran ini digunakan variasi *rest period* 3 hari, 5 hari, dan 7 hari dengan menggunakan larutan NaOH 16 M dan Ms Na₂SiO₃ adalah 2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu *rest period* yang digunakan berpengaruh terhadap kuat tekan mortar. *Rest period* diperlukan karena waktu ikat mortar geopolimer abu sawit yang lama pada suhu ruang.

Tabel 6. Kuat Tekan Sampel

No. Benda Uji	Kuat Tekan (Mpa)		
	Variasi Rest Period (hari)		
	3	5	7
1	16,8	18,4	18,8
2	16,4	17,2	16,0
3	16,4	17,2	16,0
Rata-rata	16,5	17,6	16,9

Sumber: Data Penelitian



Gambar 6. Kuat Tekan Mortar Geopolimer POFA

D.4 Perencanaan campuran (Mix Design)

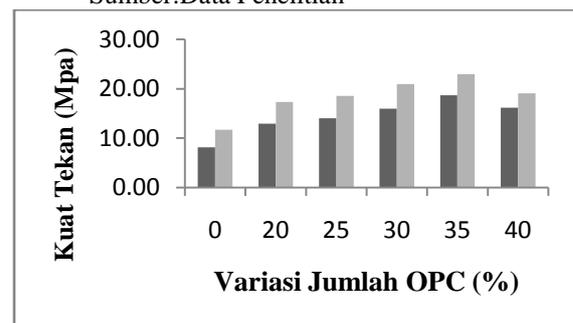
Perencanaan komposisi campuran mortar diperoleh dari modifikasi perhitungan dan *trial mix* campuran yang optimal pada mortar geopolimer campuran POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) dan FA (*Fly Ash*) yang telah diteliti sebelumnya. Campuran 1 yang didesain dengan *binder* hanya POFA saja digunakan sebagai campuran kontrol. Kemudian semen OPC ditambahkan sesuai persentase masing-masing yaitu 20%, 25%, 30% dan 35 % pada campuran 2,3,4,dan 5. Campuran benda uji menggunakan larutan NaOH 16 M, rasio perbandingan silikat dan NaOH adalah 2, dan *rest period* 5 hari. Hasil

pengujian menunjukkan pada campuran kontrol (*Mix* 1) dengan *binder* abu sawit saja ditemukan masih lemah untuk menunjukkan kekuatan meskipun setelah 5 hari pencetakan ketika dirawat pada suhu ruang. *Mix* 1 hanya memiliki kuat tekan sebesar 8,13 Mpa. Seiring dengan adanya penambahan persentasi OPC ke dalam campuran, pada *Mix* 5 dengan jumlah penambahan 35% OPC memiliki peningkatan kuat tekan yang cukup tinggi yakni lebih dari 100% menjadi 18,80 Mpa seperti pada Gambar 7 berikut.

Tabel 7. Kuat Tekan Mortar Geopolimer POFA

Mix	Uji Kuat Tekan (MPa)	
	7 Hari	28 Hari
P0	8,13	11,73
P20	12,93	17,33
P25	14,00	18,53
P30	16,00	20,93
P35	18,67	22,93
P40	16,13	19,07

Sumber: Data Penelitian



Gambar 7. Kuat Tekan Mortar Geopolimer POFA dengan Penambahan OPC.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

1. Variasi modulus aktivator, molaritas larutan, penambahan OPC dan *rest period* berpengaruh terhadap kuat tekan mortar geopolimer.
2. Kuat tekan tertinggi sebesar pada umur 7 hari 17,60 MPa meningkat

menjadi 22,93 MPa pada umur 28 hari diperoleh pada campuran dengan modulus aktivator 2, molaritas larutan NaOH 16 M, *rest period* 5 hari dan penambahan OPC sebesar 35 %.

E.2 Saran

1. Perlu adanya kontrol terhadap perawatan suhu ruang yang digunakan untuk memberikan hasil yang akurat.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan memperkecil rentang persentasi OPC yang digunakan sehingga dapat memberikan hasil yang lebih teliti.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk membandingkan hasil pengujian dengan menggunakan abu sawit dari tempat yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C 109. 2007. *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. Or [50-mm] Cube Specimens)*. United States: ASTM.
- ASTM C 128. 2004. *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*. United States: ASTM.
- ASTM C 136. 1996. *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. United States: ASTM.
- ASTM C 142. 1997. *Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates*. United States: ASTM.
- ASTM C 29. 2003. *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*. United States: ASTM.
- ASTM C 33-03. 2003. *Standard specification for concrete aggregates*. United States: ASTM
- ASTM C 29. 2003. *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*. United States: ASTM.
- ASTM C 40. 2004. *Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete*. United States: ASTM.
- ASTM C 494. 2001. *Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete*. United States: ASTM.
- ASTM C 566. 1997. *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*. United States: ASTM.
- Awal, A. S. M. Abdul & M. Warid Hussin. (1997). *The Effectiveness of Palm Oil Fuel Ash in Preventing Expansion Due to Alkali-silica Reaction*. *Cement and Concrete Composites*, 367-372.
- Bakrie A.M. Mustafa Al, dkk. 2013. *Review on Processing of Low Calcium Fly Ash Geopolymer Concrete*. *Australia Journal of Basic and Applied Sciences*. 342-349.
- Danil Tarmizi, K. N. (2014). *Sifat-sifat Mekanik Komposit Propilena Berpengisi Abu Pembakaran Biomassa Kelapa Sawit*. *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 3, No.1.
- Deepak T.J, A. E. (2014). *Investigation on Properties of Concrete with Palm Oil Fuel Ash as Cement Replacement*. *International Journal of Scientific and Technology Research* Volume 3, Issue 1.
- Hardjito, D. (2005). *Studies on Fly ash-Based Geopolymer Concrete*. Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy Faculty of Engineering and Computing Departement of Civil Engineering. Perth: Curtin University of Technology.
- Navid Ranjbar, M. M. (2014). *Compressive Strength and Microstructural Analysis of Fly Ash/Palm Oil Fuel Ash Based Geopolymer Mortar*. *Material and Design*, 532-539.

Olivia, M. (2011). *Durability Related Properties of Low Calcium Fly Ash Based Geopolymer Concrete*. Tesis Sarjana, School of Civil and Mechanical Engineering Department of Civil Engineering, Curtin University of Technology, Perth, Australia.

Prabir K. Sarker, R. H. (2013). *Fracture behaviour of heat cured fly ash based geopolymer concrete*. *Materials and Design* , 580-586.

Pradip Nath, P. K. (2015). *Use of OPC to improve setting and early strength properties of low calcium fly ash geopolymer concrete cured at room*. *Cement and Concrete and Composites* , 205-212.

Pradip Nath, P. K. (2014). *Effect of GGBFS on setting, workability and early strength properties of fly ash geopolymer concrete cured in ambient condition*. *Construction and Building Material* , 163-171.

Putri, Winda H. A. 2013. *Karakteristik Mortar Geopolimer Abu Sawit*. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Riau, Pekanbaru.

Satya, Yudhi S. D. 2015. *Durabilitas Mortar Geopolimer Campuran Abu Terbang (FA) dan Abu Sawit (POFA) di Lingkungan Gambut*. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Riau, Pekanbaru.

Tanakorn Phoo-ngernkham, P. C. (2013). *Properties of high calcium fly ash geopolymer pastes with Portland cement as additive*. *International Journal of Mineral, Metallurgy and Material* , 214.

Veliyati. (2010). *Pengaruh faktor air binder terhadap kuat tekan dan workability fly ash based geopolymer mortar*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

Zafri, Muhd Azzuri B. 2010. *Self Healing Concrete by Incorporating Palm Oil Fuel*

Ash (POFA) as cement Replacement Material. A thesis submitted in fulfillment of the requirement for the award of degree in Bachelor of Civil Engineering. Faculty Civil Engineering and Environment Resources, University Malaysia, Pahang.

Wulandari, Chrisfela. 2013. *Durabilitas Mortar Geopolimer Abu Terbang dan abu Sawit di Air Gambut*. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Riau, Pekanbaru.

Yuliana, R. (2013). *Karakteristik Fisis dan Mekanis Abu Sawit (Palm Oil Fuel Ash) dalam Geoteknik*.