

Durabilitas Mortar Geopolimer Di Air Gambut

Chrisfela Wulandari^{1,a}, Monita Wibisono^{2,b}, Iskandar Romey Sitompul^{3,c}

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau

² Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau

³ Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5, Pekanbaru 28293

E-mail: chrisfela_wulandari@yahoo.com^a, monita.olivia@lecturer.unri.ac.id^b,

iskandar006@yahoo.co.uk^c

ABSTRACT

This research studies the durability of OPC mortar, geopolimer mortar based fly ash and geopolimer mortar based palm oil fuel ash in acidic environment like peat water and netral environment like aquadest. This mortars will testing by mechanics and physical behaviour likes visual inspection and compressive strength after submerged in that water at age 7, 28, 91 and 120 days. The range of pH by peat water are 4,0-4,5. Geopolimer mortar based fly ash and geopolimer mortar based palm oil fuel ash use modulus activator (M_s)= $SiO_2/Na_2O= 1$ and $\%Na_2O = 19\%$. This research show that the compressive strength of geopolimer mortar based fly ash (FA) increase in peat water and aquadest immersion, whereas the compressive strength of geopolimer mortar based palm oil fuel ash (POFA) decrease because the two type of this water immersion. The compressive strength of OPC mortar increase in aquadest immersion, but decrease in peat water immersion. Visual inspection of OPC mortar and geopolimer mortar based POFA changes become brown colored in peat water immersion.

Keywords: durability, OPC, fly ash, palm oil fuel ash, geopolimer, peat water, aquadest, compressive strength, pH, alkali activator, and acidic environment

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki lahan rawa gambut yang luasnya mencapai 20,6 juta hektar atau sekitar 10,8% dari luas daratan Indonesia. Dari total luasan tersebut sekitar 7,2 juta hektar atau 35% lahan gambut terdapat di Pulau Sumatera. Penyebaran lahan gambut yang terluas di pulau ini

adalah Propinsi Riau dari tahun 1990-2002 mencapai 4,044 juta hektar (56,1% dari luas total lahan gambut Sumatera) (Wahyunto *et al*, 2003). Berdasarkan data BB Litbang SDLP tahun 2008 luas total lahan gambut di Riau adalah 4.043.600 hektar. Luasnya penyebaran lahan gambut ini menyebabkan pembangunan konstruksi di Riau terus

meningkat akan banyak berhubungan langsung dengan lahan gambut. Lahan gambut itu sendiri termasuk lingkungan agresif karena bersifat asam yang dapat menurunkan kualitas bahan konstruksi seperti beton. Air gambut lebih dominan mengandung asam sulfat (Page, 2007). Berdasarkan Neville (2010) tidak ada semen portland yang tahan terhadap serangan asam. Semakin tinggi derajat keasaman maka akan semakin tinggi pula serangan asam terhadap beton. Serangan asam mulai terjadi pada pH dibawah 6,5, dan bila pH dibawah 4,5 serangan asam akan menjadi parah. Sebagian besar gambut di Sumatera bersifat sangat masam dengan pH antara 3,5–4,0 (Wahyunto *et al*, 2003).

Menurut penelitian Bhutta *et al* (2013) asam menyebabkan degradasi/penurunan kuat tekan pada mortar berbahan semen portland yang direndam sulfat 2% selama 365 hari sebesar 44%, sedangkan pada mortar geopolimer berbahan campuran langsung antara abu sawit dan abu terbang dengan perlakuan perendaman yang sama mengalami penurunan kuat tekan sebesar 40%. Alternatif untuk meningkatkan ketahanan mortar adalah dengan menggunakan bahan yang bersifat pozzolanik. Pozzolan adalah bahan-bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina misalnya abu sawit ataupun abu terbang. Abu terbang sendiri

tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Pencampuran air dan abu terbang berpartikel halus menyebabkan terjadinya reaksi kimia yang bersifat layaknya semen (Neville, 2010). Pemakaian abu sawit dan abu terbang ini dilandasi oleh dua alasan. Pertama, dengan memanfaatkan bahan pozzolanik dapat meningkatkan kuat tekan beton (Neville, 2010). Kedua, tersedianya limbah bahan pozzolanik seperti abu sawit dan abu terbang di Riau. Abu terbang atau FA (*fly ash*) merupakan limbah industri dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan limbah bahan bakar mesin-mesin pabrik. Begitu juga dengan abu sawit atau POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) merupakan limbah yang berasal dari pembakaran cangkang dan serabut buah kelapa sawit. Riau merupakan propinsi penghasil kelapa sawit yang memiliki areal perkebunan seluas 2.372.402 ha, dengan total produksi 7.340.809 ton pada tahun 2012. Luas areal perkebunan dan total produksi ini meningkat dibandingkan dengan tahun 2008, yaitu : 1.673.551 ha dan 5.764.201 ton (BPS 2012). Areal perkebunan kelapa sawit di Riau setiap tahun terus meningkat, menghasilkan abu kelapa sawit (POFA) juga terus meningkat (Ermiyati, 2007) .

Davidovits (1999) menyebutkan bahwa pengikat pengganti semen bisa dihasilkan oleh reaksi polimer cairan alkali

dengan silikon dan alumunium dari bahan-bahan sampingan industri seperti abu terbang dan abu sekam padi. Bahan mortar inovatif berdasarkan penelitian terdahulu yaitu abu terbang untuk geopolimer sudah banyak diteliti (Adam, 2009; Jaarsveld, 2002; Hardjito, 2005; Thokchom, 2009; Olivia, 2011; Bhutta, 2013; Allahverdi & Skavra, 2005) dapat menjadi salah satu material di lingkungan asam. Hasil- hasil riset selama ini telah menunjukkan bahwa *geopolymer* memiliki sifat-sifat teknik yang amat mengesankan, diantaranya kekuatan dan keawetannya yang tinggi (Hardjito, 2002).

Oleh karena itu, penelitian durabilitas sifat fisik geopolimer dari abu sawit dan abu terbang di air gambut akan dikaji dalam penelitian ini.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Pemeriksaan Karakteristik Material

Pemeriksaan terdiri dari pemeriksaan karakteristik agregat halus dan komposisi kimia FA dan POFA. Pemeriksaan komposisi kimia FA & POFA dilakukan dengan mengirimkan sampel FA & POFA ke Pusat Sumber Daya Geologi di Bandung, komposisi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1:

Tabel 1 Komposisi Kimia Abu Terbang dan Abu Sawit di Pelalawan

Parameter	Abu Terbang % Berat	Abu Sawit % Berat
SiO ₂	37,98	64,36
Al ₂ O ₃	20,52	4,36
Fe ₂ O ₃	2,17	3,41
CaO	2,10	7,92
MgO	23,76	4,58
Na ₂ O	0,41	0,00
K ₂ O	0,58	5,57
Ti ₂ O ₂	0,24	0,87
MnO)	0,03	0,10
P ₂ O ₅	3,54	3,64
SO ₃)	0,18	0,04
Cu (ppm)	85	46
Zn (ppm)	161	60
H ₂ O	1,73	0,59

Sumber : Hasil uji kimia Pusat Sumber Daya Geologi Bandung

2.2 Pelaksanaan Pembuatan dan Pengujian Mortar

Perencanaan campuran mortar OPC menggunakan standar ASTM C 109 dan

SNI 03-6825-2002 yang menetapkan komposisi mortar dengan perbandingan semen, pasir dan air 1:2,75:0,5. Sedangkan untuk mencapai kuat tekan yang diinginkan maka

fas (faktor air semen) bisa berubah. Faktor air semen yang digunakan adalah 0,5. Pada penelitian ini untuk 6 *spesimens* ukuran 5x5x5 cm dibutuhkan 500 gr semen, 1375 pasir dan 250 ml air. Pembuatan mortar OPC diawali dengan menimbang bahan-bahan dasar material mortar berdasarkan komposisi, selanjutnya material pembentuk mortar dicampur menggunakan *mixer* sampai campuran merata, dan homogen. Kemudian campuran ini dicetak, sehari kemudian dikeluarkan dari cetakan dan langsung direndam dalam air biasa selama 28 hari. Kemudian dilanjutkan dengan perendaman di aquades dan air gambut (pH 4,0-4,5).

Perencanaan mortar geopolimer menggunakan metode *absolute volume* yang mengacu pada penelitian Putri (2013) dengan sedikit modifikasi pada larutan alkali aktivator setelah dilakukan pembuatan campuran geopolimer di laboratorium. Modifikasi yang dilakukan adalah pengurangan sebesar 15% terhadap berat natrium silikat dan NaOH dari berat semula hasil perhitungan dengan metode *absolute volume*, sedangkan berat bahan lainnya tetap. Perbandingan pasir dengan binder adalah 2,75 sesuai dengan ASTM C109. Pada larutan alkali terdapat nilai solid yang harus diperhitungkan agar mempermudah pengadukan, maka digunakan w/s ($water/solid$)=0,52.

Modifikasi juga berpengaruh terhadap nilai %Na₂O yang semula 7,5% menjadi 19%, sedangkan nilai Ms=1 tetap. Pada pembuatan mortar geopolimer, bahan seperti abu sawit/abu terbang, agregat halus, natrium silikat (Na₂SiO₃), natrium hidroksida (NaOH), *superplasticizer*, dan *add water* ditimbang terlebih dahulu sesuai dengan komposisi:

Tabel 2 Berat Material Campuran Mortar Geopolimer POFA

Campuran Mortar Geopolimer POFA	1 sampel 5x5x5 cm (perhitungan) (gram)	3 sampel 5x5x5 cm (perhitungan) (gram)	3 sampel 5x5x5 cm (uji laboratorium) (gram)
<i>Add Water</i>	13,15	39,5	39,5
Natrium Silikat (NS)	33,14	99,45	99,45
NaOH	14,18	42,59	42,59
<i>Superplasticizer</i>	0,83	2,48	2,48

Tabel 3 Berat Material Campuran Mortar Geopolimer FA

Campuran Mortar Geopolimer FA	1 sampel 5x5x5 cm (perhitungan) (gram)	3 sampel 5x5x5 cm (perhitungan) (gram)	4 sampel 5x5x5 cm (uji laboratorium) (gram)
Abu Terbang/FA (furnace)	55,10	165,3	165,3*150% = 248
Pasir	151,53	454,6	454,6*150% = 682
<i>Add Water</i>	13,15	39,5	39,5*150% = 59,4
Natrium Silikat (NS)	33,14	99,45	99,45*150% = 149,2
NaOH	14,18	42,59	42,59*150% = 64
<i>Superplasticizer</i>	0,83	2,48	2,48*150% = 3,8

Agregat halus yang digunakan harus dalam kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*). Abu sawit yang digunakan merupakan abu sawit yang sudah lolos saringan No. 200 dan di-furnace $\pm 500^{\circ}$ C. Abu terbang yang digunakan harus lolos saringan No.200. Perbandingan komposisi Abu Sawit atau Abu Terbang (binder) : Pasir : Air : Natrium Silikat : Natrium Hidroksida : *Superplasticizer* adalah 1 : 2,75 : 0,24 : 0,6 : 0,26 : 0,015. Proses pembuatan larutan untuk campuran mortar geopolimer diawali dengan pembuatan alkali aktivator yaitu dengan mencampur NaOH 14 M ke dalam larutan natrium silikat dan diaduk hingga tercampur rata. Selanjutnya *add water* yang sudah tercampur dengan *superplasticizer* dituangkan ke campuran NaOH dan natrium silikat tersebut. Larutan alkali dibuat 1-3 jam sebelum pencampuran dengan bahan lain pembuat mortar. Proses pencampuran bahan-bahan pembuat mortar geopolimer ini dilakukan secara manual. Pada wadah kering agregat halus dicampur hingga rata dengan abu sawit atau abu terbang. Setelah rata alkali aktivator dapat dimasukkan sedikit demi sedikit sambil diaduk di dalam wadah tersebut. Proses pengadukan terus berlanjut hingga membentuk campuran mortar segar dan terlihat mengkilap pada permukaannya. Campuran mortar kemudian dicetak dengan cetakan 5x5x5

cm dan dibiarkan selama 3 hari sebagai *rest period*/waktu tunda, kemudian dioven selama 24 jam dengan suhu $\pm 110^{\circ}$ C. Setelah mortar geopolimer keluar dari oven menjadi dingin, kemudian mortar ini dikeluarkan dari cetakan dan dibiarkan selama 7 hari pada kondisi suhu ruang.

Pengujian kuat tekan ketiga jenis mortar dilakukan pada umur 7, 28, 91 dan 120 hari setelah direndam baik pada rendaman aquades maupun air gambut. Tata cara pengujian untuk mortar mengacu pada ASTM C109 dan SNI 06-6825-2002.

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

f'_c = kuat tekan (MPa)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang tertekan benda uji (mm^2)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus

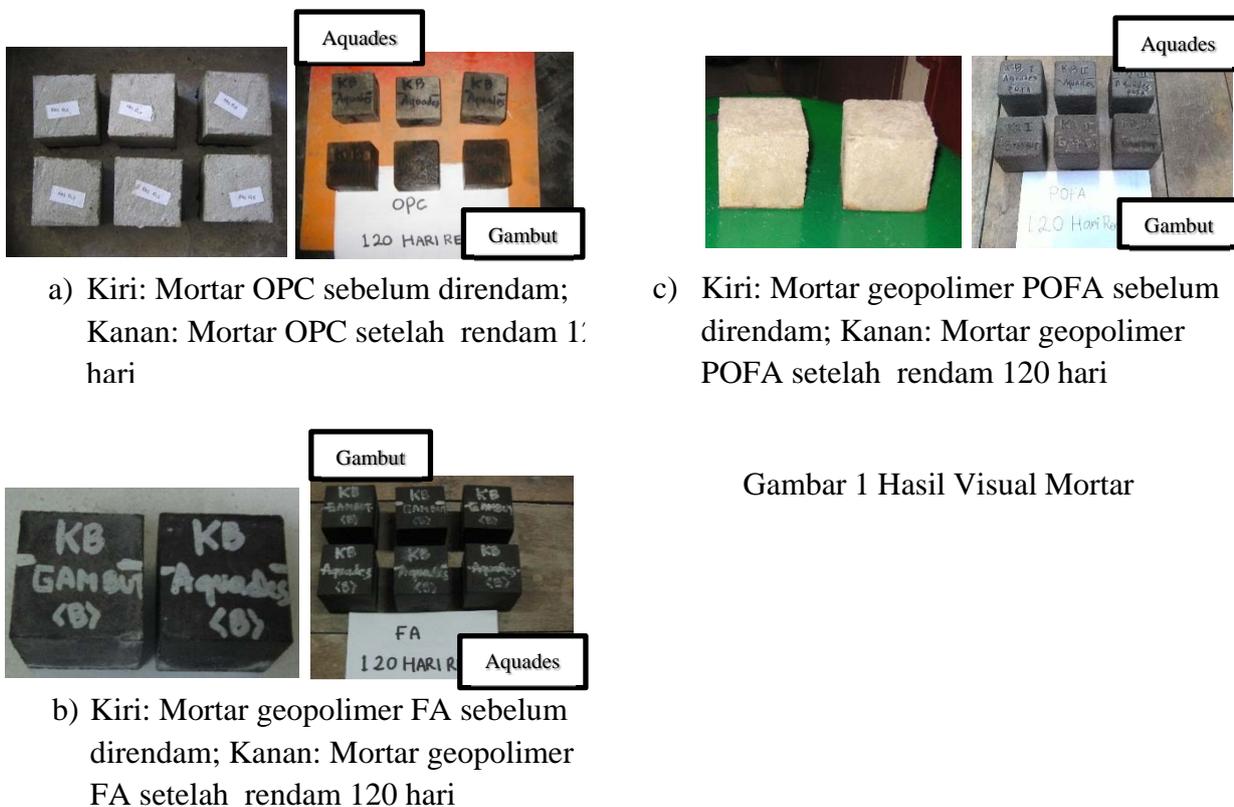
Pengujian karakteristik agregat halus pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	Standar Spesifikasi	Keterangan
1.	Kadar Lumpur (%)	2,74	<5%	OK
2.	Berat Jenis (gr/cm ³)			
	a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,68	2,58-2,84	OK
	b. <i>Bulk specific gravity on dry</i>	2,62	2,58-2,85	OK
	c. <i>Bulk specific gravity on SSD</i>	2,64	2,58-2,86	OK
	d. <i>Absorption (%)</i>	0,93	2-7%	Tidak OK
3.	Kadar air (%)	0,28	3-5%	Tidak OK
4.	Modulus Kehalusan	2,74	1,5-3,8	OK
5.	Berat Volume (gr/cm ³)			
	a. Kondisi padat	1,76	1,4-1,9	OK
	b. Kondisi gembur	1,66	1,4-1,9	OK
6.	Kadar Organik	No. 2	<No. 3	OK

3.2 Hasil Visual Mortar

Tampak visual mortar sebelum direndam dan setelah direndam selama 120 hari dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1 Hasil Visual Mortar

Pada Gambar 1 menunjukkan hasil visual mortar OPC, mortar geopolimer FA dan POFA saat sebelum direndam dan setelah direndam masing-masing dengan air gambut dan aquades selama 120 hari. Mortar OPC yang direndam gambut tetap utuh dan berubah warna menjadi kecoklatan karena air gambut yang meresap kedalam mortar serta berwarna semakin gelap karena permukaannya juga tertutup zat organik dari air gambut. Mortar geopolimer FA yang telah direndam tetap utuh dan tidak menunjukkan perbedaan secara visual karena warna dasar mortar geopolimer FA sebelumnya berwarna gelap. Mortar geopolimer POFA yang telah direndam menunjukkan perbedaan warna menjadi berwarna lebih gelap dari semula. Mortar geopolimer POFA baik yang direndam dengan aquades maupun yang direndam dengan air gambut terlihat lebih rapuh dan materialnya mudah terurai dibandingkan mortar OPC dan mortar geopolimer FA.

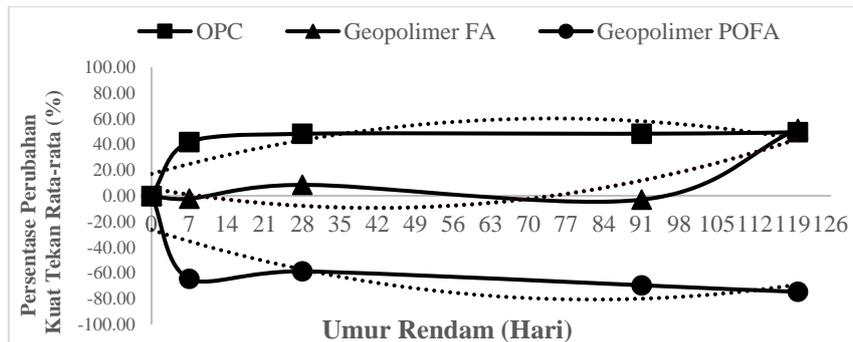
3.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan mortar umur 0 hari rendam yang digunakan dalam penelitian ini sebelum direndam dalam aquades dan air gambut (pH 4-5) terlebih dahulu sudah berumur 28 hari untuk mortar OPC dan berumur 7 hari untuk mortar geopolimer abu terbang serta abu sawit. Perbedaan umur ini berhubungan dengan masa perawatan mortar yang berbeda sesuai jenisnya. Mortar OPC membutuhkan perawatan 28 hari di air biasa agar menjadi matang, mortar geopolimer yaitu abu terbang dan abu sawit sudah terjadi selama satu hari di dalam oven dengan suhu tinggi yaitu 110° C kemudian didinginkan dengan suhu ruang selama 7 hari. Hal ini sesuai dengan penelitian Ariffin *et al* (2011), beton geopolimer memiliki kuat tekan terbesar pada suhu tinggi karena proses polimerisasi telah selesai pada saat terpapar suhu yang tinggi. Hasil uji kuat tekan mortar saat berumur 0 hari (sebelum rendam aquades dan air gambut) dapat dilihat pada Tabel 5.

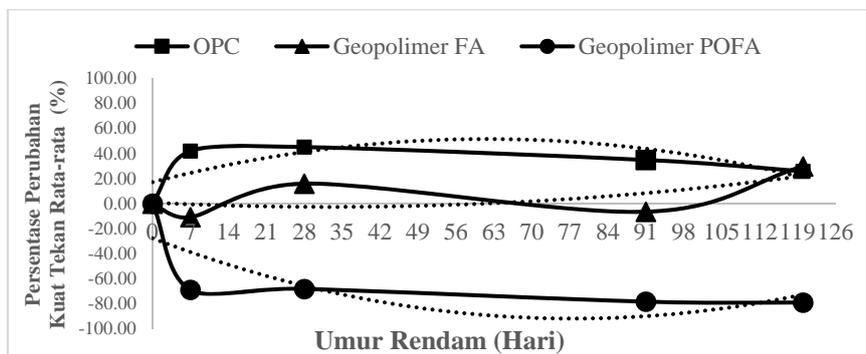
Tabel 5 Nilai Kuat Tekan Mortar Umur 0 Hari Rendam

Mortar	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)
OPC	22	20,67
	18	
	22	
Geopolimer FA	20,4	18,4
	17,2	
	17,6	
Geopolimer POFA	17,6	18,4
	18	
	19,6	

Persentase perubahan kuat tekan setelah direndam aquades dan air gambut dapat dilihat pada Gambar 3.



a) Mortar dalam rendaman air aquades



b) Mortar dalam rendaman gambut (pH 4-5)

Gambar 2 Grafik Persentase Perubahan Kuat Tekan Rata-rata Mortar (%)

Gambar 2.a menunjukkan hasil persentase perubahan kuat tekan rata-rata mortar OPC, geopolimer FA, dan geopolimer POFA setelah direndam dengan aquades. Mortar OPC mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 0 hingga 120 hari perendaman sebesar 49,64% dari semula. Hasil ini disebabkan karena aquades memiliki pH yang netral, tidak mengandung asam yang dapat mengganggu proses hidrasi mortar. Proses hidrasi dapat memperbaiki pori-pori beton atau mortar yang semakin kecil dan menyebabkan ikatan agregat didalam beton atau mortar semakin rapat sehingga menghasilkan kuat tekan yang semakin meningkat seiring bertambahnya umur beton atau mortar (Neville, 2010). Mortar geopolimer FA mengalami peningkatan kuat tekan pada umur 0 menuju 28 hari perendaman sebesar 8,7% terhadap umur 0 hari perendaman, kemudian peningkatan kuat tekan mengalami penurunan pada umur 28 menuju 91 hari perendaman sebesar 10,65% terhadap umur 28 hari perendaman. Mortar geopolimer FA ini selanjutnya mengalami peningkatan kuat tekan pada umur 91 menuju 120 hari perendaman sebesar 56,69% terhadap umur 91 hari perendaman. Peningkatan kuat tekan geopolimer dipengaruhi oleh kristalisasi dari aluminosilikat pada campuran geopolimer dengan alkali tinggi (Lloyd, 2009). Kuat

tekan geopolimer cenderung meningkat sejalan dengan bertambahnya umur (Lloyd, 2010; Olivia, 2011). Penurunan kuat tekan mortar geopolimer FA yang terjadi pada umur 7 dan 91 hari dapat disebabkan karena melarutnya kandungan alkali pada mortar ke dalam aquades, hal ini terbukti dengan terus meningkatnya pH aquades yang netral menjadi lebih basa setiap dilakukannya pengecekan pH sebulan sekali. Selain itu pengadukan campuran geopolimer yang tidak satu adukan dapat memberikan hasil kuat tekan yang berbeda dalam menerima efek saat direndam dengan aquades yang dapat terjadi pada mortar geopolimer umur 7 dan 91 hari ini. Secara keseluruhan bila diambil dari *trendine* grafik persentase perubahan kuat tekan mortar geopolimer FA setelah direndam dengan aquades menunjukkan mortar geopolimer FA mengalami peningkatan kuat tekan hingga umur 120 hari. Berbeda dengan mortar geopolimer FA, mortar geopolimer POFA cenderung menurun setelah direndam dengan aquades. Mortar geopolimer POFA mengalami penurunan kuat tekan pada umur 120 hari sebesar 74,62% terhadap umur 0 hari. Hal ini terjadi karena partikel POFA (abu sawit) yang lebih porus dan materialnya yang terurai didalam aquades menyebabkan mortar ini bila semakin lama terendam akan menjadi rapuh.

Gambar 2.b menunjukkan hasil persentase perubahan kuat tekan rata-rata mortar OPC, geopolimer FA, dan geopolimer POFA setelah direndam dengan air gambut (pH 4-5). Mortar OPC mengalami peningkatan kuat tekan pada umur 0 menuju 28 hari sebesar 45,14% terhadap umur 0 hari perendaman, kemudian peningkatan kuat tekan menurun pada umur 28 menuju 120 hari perendaman hanya sebesar 13,33%. Peningkatan kuat tekan mortar OPC di awal umur perendaman terjadi karena proses hidrasinya yang masih berlangsung, namun setelah lebih dari 28 hari direndam dengan air gambut proses hidrasi tersebut mulai terganggu terbukti dengan adanya penurunan kuat tekan mortar OPC. Peningkatan kuat tekan awal dapat terjadi karena kondisi tertentu. Peningkatan kuat tekan pada umur 7 hari dan 28 hari di rendam air gambut dapat terjadi karena didalam air gambut terdapat mineral, bakteri, dan bahan-bahan organik yang berpotensi menutup pori-pori mortar sehingga kerusakan mortar tidak sampai kedalam mortar dan membuat proses hidrasi tetap berlangsung didalam inti mortar yang kemudian membuat peningkatan kuat tekan mortar. Penurunan kuat tekan mortar OPC ini terjadi karena komponen semen OPC sangat reaktif dengan kandungan air gambut. Hal ini telah

dijelaskan oleh Lamond & Pielert (2006), hasil produk hidrasi dari semen, yaitu kalsium hidroksida atau Ca(OH)_2 sebesar 25-30% dari berat pasta semen terhidrasi dan mudah larut serta lebih reaktif secara kimia dari produk hidrasi lainnya. Hasil produk hidrasi tersebut reaktif terhadap ion asam, karbon dan sulfat. Solusi penggunaan semen yaitu menggunakan material yang mengandung CaO yang rendah. Kerusakan pada beton (atau mortar) dari semen *portland* karena serangan sulfat dapat menyebabkan pembentukan gipsium dan *ettringite* yang meluas, retakan dan pecahan pada beton (atau mortar) (Lea,1970; Neville, 2000). Ion sulfat pada beton bereaksi dengan *portland* untuk membentuk gipsium atau bereaksi dengan *calcium aluminate hydrate* untuk membentuk *calcium sulfoaluminate* atau *ettringite*. Selain menyebabkan kerusakan yang meluas dan menimbulkan retakan, serangan sulfat juga dapat menyebabkan kehilangan kekuatan pada beton (atau mortar) karena adanya pengurangan kohesi pada pasta semen terhidrasi dan adhesinya dengan partikel agregat (Neville, 2000).

Penurunan kuat tekan mortar OPC di air gambut tidak terlalu signifikan. Hal ini disebabkan oleh kondisi perendaman mortar yang statis yang ditandai dengan tertutupnya pori-pori permukaan mortar OPC oleh bahan-bahan organik. Prinsip

kondisi perlakuan dan kelarutan menurut Bajza dan Zivica (2009) terbagi atas dua permodelan, yaitu (1) kondisi statis atau diam, dimana tidak terjadi pergerakan dan perputaran siklus pada rendaman; (2) kondisi dinamis (bergerak) dimana terjadi perputaran siklus rendaman. Oleh karena itu perendaman benda uji perlu dilakukan di kondisi nyata (lapangan) agar pergerakan dan perputaran siklus pada rendaman dapat terjadi agar pori-pori beton tak tertutup bahan-bahan organik dan dapat berkontak dengan air gambut hingga sebagian terdalam benda uji hingga merusak produk hidrasi benda uji yang mengakibatkan penurunan kuat tekan. Mortar geopolimer FA mengalami peningkatan kuat tekan pada umur 0 menuju 28 hari perendaman sebesar 15,92% terhadap umur 0 hari perendaman, kemudian peningkatan kuat tekan mengalami penurunan pada umur 28 menuju 91 hari perendaman sebesar 19,36% terhadap umur 28 hari perendaman. Mortar geopolimer FA ini selanjutnya mengalami peningkatan kuat tekan pada umur 91 menuju 120 hari perendaman sebesar 38,78% terhadap umur 91 hari perendaman. Penurunan kuat tekan mortar geopolimer FA yang terjadi pada umur 7 dan 91 hari dapat disebabkan karena melarutnya kandungan alkali pada mortar ke dalam gambut, hal ini terbukti dengan terus meningkatnya pH gambut yang netral

menjadi lebih basa setiap dilakukannya pengecekan pH sebulan sekali. Selain itu pengadukan campuran geopolimer yang tidak satu adukan dapat memberikan hasil kuat tekan yang berbeda dalam menerima efek saat direndam dengan air gambut yang dapat terjadi pada mortar geopolimer umur 7 dan 91 hari ini. Secara keseluruhan bila diambil dari *trendine* grafik persentase perubahan kuat tekan mortar geopolimer FA setelah direndam dengan air gambut menunjukkan mortar geopolimer FA mengalami peningkatan kuat tekan hingga umur 120 hari. Hal ini sesuai dengan penelitian Singh (2013) yang melakukan perendaman sampel geopolimer dengan berbagai jenis larutan asam (*sulphuric acid*, *sodium sulfate* dan *sodium chloride*) menghasilkan kuat tekan cenderung meningkat. Kandungan CaO *fly ash* yang digunakan pada penelitian ini tergolong sangat rendah yaitu 2,10% menyebabkan pengaruh kandungan air gambut tidak terlalu berpengaruh. Faktor penting yang berkontribusi tahan terhadap serangan asam (menggunkan sulfat) termasuk diantaranya rendahnya kandungan kalsium oksida (CaO) pada fly ash atau kalsium hidroksida pada beton dan kehalusan serta pori-pori strukturnya (Wallah & Rangan, 2006). Berbeda dengan mortar geopolimer FA, mortar geopolimer POFA cenderung menurun setelah direndam dengan air

gambut. Mortar geopolimer POFA mengalami penurunan kuat tekan pada umur 120 hari sebesar 78,97% terhadap umur 0 hari. Hal ini terjadi karena partikel POFA (abu sawit) yang lebih porus dan materialnya yang terurai didalam aquades menyebabkan mortar ini bila semakin lama terendam akan menjadi rapuh. Kandungan CaO POFA yang digunakan pada penelitian ini memiliki kandungan CaO yang lebih besar dari kandungan CaO FA yaitu 7,92%. Hal ini bisa menyebabkan banyak ion asam dapat bereaksi dengan CaO yang terdapat pada mortar geopolimer POFA. Bereaksinya ion asam dengan CaO menyebabkan gangguan pada mortar sehingga berpengaruh pada kuat tekannya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang dilakukan terhadap mortar OPC, mortar geopolimer FA, dan mortar geopolimer POFA, yang direndam dalam 2 jenis air yaitu aquades dan air gambut pH 4-5 maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kuat tekan mortar geopolimer FA setelah direndam aquades secara menyeluruh mengalami peningkatan lebih besar daripada mortar OPC dan mortar geopolimer POFA yaitu sebesar 56,69% dari semula.

2. Kuat tekan mortar geopolimer setelah terpapar air gambut menunjukkan peningkatan sebesar 38,78% dari semula. Sedangkan kuat tekan mortar OPC mengalami penurunan.

4.2 Saran

1. Menggunakan abu sawit yang murni mengandung cangkang sawit.
2. Abu yang akan digunakan sebaiknya dilakukan *treatment* sedemikian rupa terlebih dahulu.
3. Pembuatan benda uji mortar sebaiknya dilakukan dalam satu pengadukan campuran yang sama.
4. Perendaman benda uji dengan air gambut sebaiknya dilakukan di lingkungan asli (lapangan).
5. Pada penelitian selanjutnya diperlukan ketelitian data mengenai komposisi semen pada mortar OPC maupun komposisi *fly ash* dan abu sawit pada mortar geopolimer serta komposisi komponen material lainnya.
6. Perlu adanya perencanaan waktu yang baik dalam pembuatan benda uji agar memperoleh kemudahan dalam membuat jadwal pengujian benda uji sesuai jatuh tempo waktu pengujian.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

1. Orang tua, abang, adik, dan adik yang selalu tanpa henti memberikan motivasi serta kepercayaan selama penelitian ini.
2. Dosen Pembimbing, Ibu Monita Olivia dan Bapak Iskandar Romey Sitompul yang telah membimbing dan selalu memberikan motivasi serta masukan hingga penelitian ini dapat terselesaikan.
3. Teman satu perjuangan Tugas Akhir, Nisa, Yuri, Salman, Reny, Nanda, Aldy, dan Bang Hari yang senantiasa memberikan saran dan bantuan.
4. Teman-teman seperjuangan yang selalu sabar dan semangat membantu baik dalam diskusi, motivasi, do'a, dan tenaga.
5. Para asisten Laboratorium Bahan Bangunan Fakultas Teknik Universitas Riau.
6. Rekan-rekan seperjuangan mahasiswa/i Teknik Sipil S-1 2009 seangkatan terkhusus buat teman-teman sekelas di Kelas C.

6. DAFTAR PUSTAKA

Adam, A. A. 2009. Strength and durability properties of alkali activated slag and fly ash-based geopolymer concrete. PhD Thesis of Civil, Environmental, and Chemical

Engineering. Melbourne: RMIT University.

Allahverdi, Ali, & Skvara, F. 2005. Sulfuric acid attack on hardened paste of geopolymer cements part1. Mechanism of corrosion at relatively high concentrations. *Ceramics – Silikaty*. 4: 225 – 229.

Ariffin, M.A.M., Hussin, M.W. & Bhutta, M.A.R. 2011. Mix Design and Compressive Strength of Geopolymer Concrete containing Blended Ash from Agro-Industrial Wastes. *Advanced Materials Research*. 339: 452-457.

Bajza, A. & Zivica, V. 2009. Acidic attack of cement-based-a review Part.2 Factor of Rate of Acidic and Protective Measure. Slovak Republic: Slovak University of Technology.

Bhutta, M. A. R., Arifin, N. F., Husin, M. W., & Lim, N. H. A. S. 2013. Sulfate and sulfuric acid resistance of geopolymer mortars using waste blended ash. *Jurnal Teknologi*. 61(3): 1 - 5.

Davidovits, Joseph. 1994. Properties of geopolimer cements. *Proceedings First International Conference on Alkaline Cements and Concretes*. pp.131-149.

- Ermiyati. 2007. Abu kelapa sawit sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan dan resapan air pada mortar. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 6(2): 31-34.
- Ghosh, G. & Ghosh P. 2012. Effect of $\text{Na}_2\text{O}/\text{AlO}_3$ and w/b Ratio on Setting Time and Workability of Fly Ash Based Geopolymer. *International Journal of Engineering Research and Application (IJERA)*. 2(4): 2142-2147.
- Hardjito, Djwantoro. 2005. Studies of fly ash-based geopolymer concrete. PhD Thesis of Civil Engineering & Computing Department. Perth: Curtin University of Technology.
- Hewlett, P.C. 2004. *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. Publisher: Elsevier Science & Technology Books.
- Jaarsveld, J. G. S., van Deventer, J. S. J., & Lukey, G. C.. 2002. The effect of composition and temperature on the properties of fly ash – and kaolinite – based geopolymers. *Chemical Engineering Journal* 89: 63 – 73.
- Lamond, J.F, & Pielert, J.H. 2006. Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials. Philadelphia, PA: ASTM.
- Lloyd, N. A., & Rangan, B. V. 2010. Geopolymer concrete with fly ash. *Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*. 3 : pp. 1493 - 1504. Ancona, Italy: UWM Center for By-Products Utilization.
- Lloyd, R.R. 2009. Accelerated Ageing of Geopolymers. *Geopolymers: Structure, processing, properties, and industrial applications*. Washington, D.C.: CRC Press.
- Neville, Adam M., & Brooks, J.J. 2010. *Concrete Technology*. London: Pearson.
- Olivia, Monita. 2011. Durability related properties of low calcium fly ash based geopolymer concrete. Doctoral Thesis of Civil & Mechanical Engineering Department. Perth: Curtin University of Technology.
- Olivia, Monita. 2011. Strength and Water Penetrability of Fly Ash Geopolymer Concrete. Repository University of Riau.
- Page, C.L., Page, M.M. 2007. Durability of concrete and cement composite. Washington, D.C.: CRC Press.
- Provis, L., & van Deventer, J.SJ. 2009. *Geopolymers: Structure, processing, properties, and industrial applications*. Washington, D.C.: CRC Press.

- Singh, N. 2013. Effect of Agressive Chemical Environment on Durability of Green Geopolymer Concrete. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*. 4(3): 2277-3754.
- Thokchom, S., Ghosh, P., & Ghosh, S. 2009. Effect of water absorption, porosity, and sorptivity on durability of geopolymer mortars. *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 4(7), ISSN 1819 - 6608.
- Thokchom, S., Ghosh, P., & Ghosh, S. 2009. Resistance of fly ash based geopolymer mortar in sulfuric acid. *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 4(1), ISSN 1819 - 6608.
- Wahyunto, Ritung, S., & Subagio, H. (2003). Peta Luas Sebaran Lahan Gambut dan Kandungan Karbon di Pulau Sumatera/ Maps of Area of Peatland Distribution and Carbon Content in Sumatera , 1990 – 2002. *Wetlands International – Indonesia Programme & Wildlife Habitat Canada (WHC)*.