

DURABILITAS MORTAR GEOPOLIMER CAMPURAN ABU TERBANG (FA) DAN ABU SAWIT (POFA) DI LINGKUNGAN GAMBUT

Yudhi Salman Dwi Satya¹⁾, 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 Jl. HR. Soebrantas KM 12,5, Pekanbaru 28293
E-mail: salmansatya2@gmail.com

ABSTRACT

This research study presents the durability of OPC and geopolymer mortars prepared from the combination of palm oil fuel ash (POFA) and fuel ash (FA) as cement replacement and elements of Si and Al was activated by alkaline solution. Alkaline solution was prepared by combining sodium silicate and sodium hydroxide 14 M. The optimum mix proportions of geopolymer mortars with FA:POFA mass ratio of 90:10 was used together with alkaline solution. The ratio of sodium silicate solution to sodium hydroxide solution by mass was 2.5:1. The mass ratio of sand to blended ashes was 2,75:1. Test specimens 5×5×5 cm cube were prepared and cured at room temperature (28°C) for 3 days and heat-cured at 110°C for 24 hours, later cured back at room temperature for 7 days. respectively. Then specimens were immersed in distilled water and peat water. This research resulted in changes of compressive strength the OPC and geopolymer mortars, after immersed in distilled water for 28 days mortar OPC was increasing the compressive strength while geopolymer mortar was decreasing of compressive strength. Furthermore, in the immersed peat water, OPC and geopolymer mortars tend to decreased the compressive strength. The percentage porosity value of both types of mortar were immersed in peat water has increased compared to the immersed in distilled water. The test results revealed that durability of geopolymer mortar in peatlands not as good as OPC mortar due to many factors that lead to a decrease the quality of geopolymer mortar.

Keywords : Durability, mortar geopolymer, fuel ash, palm oil fuel ash, peat water

1. PENDAHULUAN

Beton adalah komponen struktur yang banyak digunakan pada konstruksi bangunan. Penggunaan beton yang dominan dikarenakan pembuatan yang mudah dan harga yang murah. Umumnya penggunaan beton dimulai dari konstruksi bawah sampai konstruksi atas. Pada penggunaan di konstruksi bawah, beton akan berada dalam lingkungan yang beragam (Miswar, 2011). Salah satunya adalah lahan gambut, Indonesia merupakan salah satu negara

yang memiliki lahan gambut terbesar di dunia. Penyebaran lahan gambut yang terluas di Sumatra adalah Provinsi Riau dengan 4,044 juta ha (Wahyunto & Heryanto, 2005; Wibowo, 2009). Air gambut yang terdapat pada lahan gambut provinsi Riau memiliki pH yang rendah, yang mengakibatkan air tersebut bersifat asam (Ashari, 2011). Air yang memiliki tingkat asam akan menyebabkan kerusakan pada beton.

Pembuatan beton konvensional yang menggunakan semen portland akan memperbanyak produksi semen yang mengakibatkan banyaknya gas CO₂ ke atmosfer bumi, karena setiap 1 ton produksi semen akan menghasilkan 1 ton gas CO₂, gas tersebut merupakan salah satu gas terbesar yang ikut menyumbang dalam pemanasan global. Karbondioksida (CO₂) memberikan kontribusi 65% terhadap pemanasan global (McCaffrey 2002; Ariffin et al., 2011). Untuk menanggulangi kedua masalah diatas maka alternatif yang digunakan selain menggunakan semen portland adalah dengan geopolimerisasi yaitu penggantian semen portland dengan limbah hasil pembakaran batu bara yang biasa disebut abu terbang atau fly ash (FA) maupun dengan menggunakan limbah hasil pembakaran cangkang dan serabut buah kelapa sawit yang biasa disebut abu sawit atau Palm Oil Fuel Ash (POFA). Kedua jenis abu tersebut apabila tidak digunakan juga akan menjadi ancaman bagi lingkungan. Oleh karena itu, sangat penting dilakukan penggantian sebagian besar atau seluruh penggunaan semen portland pada produksi beton dan bahan pengganti yang cukup banyak adalah abu terbang maupun abu sawit.

Geopolimerisasi sendiri sudah ada sejak tahun 1980-an saat Professor Joseph Davidovits menemukan sebuah perekat alternatif pengganti semen portland. Umumnya, beton geopolimer diproduksi menggunakan abu sawit rendah kalsium atau low-calcium fly ash (FA) karena kadar silika yang tinggi dan aluminium oksida sekitar 80% massa dari abu tersebut, dengan rasio Si-Al berkisar 2 yang berkontribusi untuk mengaktifkan reaksi kimia dengan aktivator alkali. Di sisi lain, abu sawit memiliki oksida silika tinggi yang akan memicu reaksi fly ash dengan rasio Si:Al yang tepat (Ariffin et al., 2011). Unsur-unsur tersebut banyak ditemukan pada material-material buangan hasil sampingan industri, seperti abu terbang maupun abu sawit. Kedua bahan limbah tersebut sebagai pengganti sebagian semen

portland pada beton konvensional untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton telah dibuktikan dengan penelitian sebelumnya oleh (Hardjito et al., 2004) maupun (Hussin & Awal, 1996). Beton geopolimer memberikan keuntungan dalam hal pemanfaatan limbah hasil buangan pabrik sebagai bahan yang dapat digunakan, meskipun perbedaan tempat asal sumber material berpengaruh terhadap tingkatan hasil kekuatan (Olivia, 2011).

Ketahanan beton geopolimer campuran abu terbang dan abu sawit terhadap asam menunjukkan tampilan visual yang cukup baik dimana setelah benda uji beton setelah 18 bulan dari paparan asam sulfat. Benda uji tersebut tidak mengalami perubahan yang signifikan secara struktural terlihat tetap utuh. Kuat tekan beton geopolimer campuran abu terbang dan abu sawit menunjukkan kinerja terbaik dengan rata-rata penurunan kekuatan 7,3% pada bulan pertama terpapar asam dan 1,6% penurunan kekuatan setiap bulan sesudahnya. Benda uji beton geopolimer campuran abu terbang dan abu sawit hanya kehilangan 35% kekuatan setelah terkena paparan asam selama 18 bulan (Ariffin et al., 2011).

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Pemeriksaan Karakteristik Material

Pemeriksaan material terdiri dari pemeriksaan karakteristik agregat halus, dan komposisi kandungan kimia FA & POFA. Material yang digunakan adalah agregat agregat halus asal Sungai Kampar, Riau. Abu terbang maupun abu sawit yang digunakan berasal dari Kab. Pelalawan, Riau. Air gambut yang digunakan sebagai perendaman berasal dari Rimbo Panjang, Pekanbaru, dengan nilai pH 4,5-5.

Adapun jenis pemeriksaan material agregat halus yang dilakukan tertera pada Tabel 1 berikut. Pemeriksaan komposisi kandungan kimia FA & POFA dilakukan dengan mengirim sebagian sampel ke Laboratorium Pusat Sumber Daya Geologi Bandung.

Tabel 1. Pengujian Material

No	Jenis Pemeriksaan	Sumber
1	Kadar lumpur (%)	ASTM C117-90
2	Berat jenis	SNI 03-1970-1990
3	Kadar air (%)	SNI 03-1971-1990
4	Modulus kehalusan	SNI-03-1968-1990
5	Berat volume (gr/cm ³)	SNI 03-4804-1998
6	Kandungan organik	SNI 03-2816-1992

2.2 Perencanaan dan Pembuatan Benda Uji

Desain campuran (*mix design*) mortar pada penelitian ini mengikuti SNI 03-6825-2002 untuk mortar jenis OPC dengan menetapkan komposisi mortar yaitu perbandingan antara semen, pasir dan air adalah 1:2,75:0,5. Untuk setiap 6 benda uji ukuran 5x5x5 cm dibutuhkan 500 gr semen, 1375 gr pasir dan 242 ml air. Sedangkan, untuk mortar geopolimer desain campuran (*mix design*) dilakukan dengan menggunakan metode *trial and error* dengan proporsi campuran mortar geopolimer mengacu pada hasil penelitian (Ariffin et al., 2011) maupun (Bhutta et al., 2013).

Tabel 2. Komposisi *mix design*

Material	Komposisi (kg/m ³)
<i>Blended Ash</i>	495,73
<i>Sand</i>	1364,00
<i>Sodium Hydroxide</i>	141,64
<i>Sodium Silicate</i>	354,09
<i>Extra water</i>	79,57
<i>Superplasticizer</i>	7,44

Larutan aktivator yang digunakan adalah gabungan dari larutan natrium hidroksida (NaOH) 14M dan larutan natrium silikat (Na₂SiO₃) dengan Ms =2,3. Kuat tekan rencana diatas 17,2 MPa selama 7 hari. Pada penelitian ini digunakan bahan *superplasticizer* yang berguna untuk mengurangi air dalam jumlah besar, memperbaiki *workability* adukan dan meningkatkan kuat tekan mortar. *Superplasticizer* yang digunakan adalah Sikament-NN dengan dosis sebesar 1,5% dari berat binder/*blended ash*. Komposisi

campuran yang didapat dapat dilihat pada tabel 2.

2.3 Pengujian Mortar

Perawatan benda uji mortar OPC dilakukan dengan cara merendamnya dalam air selama 28 hari proses ini dilakukan agar proses hidrasi semen berlangsung secara sempurna. Selanjutnya, mortar OPC direndam dalam air aquades maupun air gambut hingga proses pengujian berlangsung.

Perawatan benda uji mortar geopolimer dilakukan dengan cara benda uji dioven pada suhu $\pm 110^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam, kemudian dibiarkan dalam suhu ruang selama 7 hari. Selanjutnya, mortar geopolimer tersebut direndam dalam air aquades maupun air gambut dengan nilai pH 4,5-5 hingga proses pengujian berlangsung.

Pengujian yang akan dilakukan untuk mengetahui durabilitas mortar geopolimer itu sendiri yaitu pengujian fisik yang diakibatkan oleh pembebanan struktural dengan pengujian kuat tekan (SNI 03-6825-2002) dan pengujian porositas mortar setelah mengalami serangan kimiawi yang bersifat asam dari perendaman air gambut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang dapat dibahas meliputi hasil pengujian karakteristik material, hasil pengujian kandungan kimia FA & POFA, hasil pengujian kuat tekan mortar dan hasil pengujian porositas pada mortar.

3.1 Hasil Pengujian Karakteristik Material Agregat Halus

Hasil pengujian karakteristik material agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3. Untuk jenis pemeriksaan lainnya telah memenuhi standar spesifikasi. Hasil pengujian ini akan digunakan untuk perencanaan campuran (*mixdesign*) benda uji.

Tabel 3. Hasil pengujian karakteristik agregat halus

Jenis Pemeriksaan	Hasil	Standar
Kadar lumpur (%)	4,49	< 5
Berat jenis		
a. <i>Apperent Spesific Gravity</i>	2,68	2,58-2,84
b. <i>Bulk Spesific Gravity on dry</i>	2,6	2,58-2,85
c. <i>Bulk Spesific Gravity on SSD</i>	2,63	2,58-2,86
d. <i>Absorpsion (%)</i>	1,24	2-7
Kadar air (%)	1,85	3-5
Modulus kehalusan	2,95	1,5-3,8
Berat volume (gr/cm ³)		
a. Kondisi padat	1,703	1,4-1,9
b. Kondisi gembur	1,599	1,4-1,9
Kadar Organik	No. 3	< No.3

3.2 Hasil Pengujian Kandungan Kimia FA & POFA

Abu terbang dan abu sawit yang diuji adalah 100% lolos saringan No. 200. Hasil analisis kimia untuk abu terbang yang berasal dari daerah Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau memiliki sifat *pozzolanic* dengan komposisi kandungan kimia SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ sebesar 60,67%. Maka dari itu, abu terbang tersebut termasuk kedalam golongan kelas C yang tinggi kalsium (ASTM C618) dan termasuk golongan dari batu bara jenis *lignit* atau *subbituminous* bara menghasilkan abu terbang yang memiliki kadar kalsium tinggi yang baik sama halnya seperti semen dan bahan *pozzolan* alam memiliki kandungan silika serta alumina yang rendah tapi memiliki kandungan CaO yang lebih tinggi (Dhir, 1986; Adam, 2009).

Hasil analisis kimia untuk abu sawit yang berasal dari PT. Sarikat Putra, Pelalawan dapat dilihat pada tabel 3, dengan kandungan SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ sebesar 72,13% dan termasuk kedalam golongan abu kelas F menurut ASTM C618. Abu sawit tersebut memiliki sifat *pozzolanic* yang selanjutnya dapat bereaksi

dengan Ca(OH)₂ yaitu produk hidrasi dari semen portland yang akan membentuk gel kalsium hidrat silikat CSH (Datta, 2014). Oleh karena itu adanya kandungan pozzolan dalam abu sawit dapat mereduksi jumlah Ca(OH)₂ yang selanjutnya terbentuk menjadi gel CSH, sehingga stabilitas semen dilingkungan asam dapat meningkat. Abu sawit tersebut dapat digunakan sebagai bahan dasar beton geopolimer dalam penelitian ini. Untuk lebih jelasnya kandungan komposisi kimia abu terbang dan abu sawit dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 4. Komposisi kimia dari abu terbang (FA) dan abu sawit (POFA)

Parameter	Komposisi	
	FA	POFA
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
TiO ₂	% 0,24	0,87
MnO	% 0,03	0,10
P ₂ O ₅	% 0,18	3,64
SO ₃	% 3,54	0,04
Cu	(ppm) 85	46
Zn	(ppm) 161	60
H ₂ O ⁻	% 1,73	0,59
HD	% 8,64	4,97

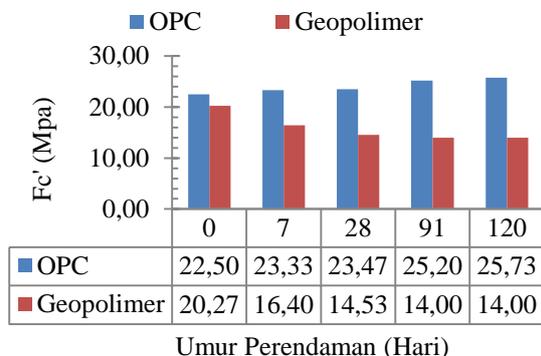
Sumber: Badan Geologi Pusat Sumber Daya Geologi, 2012 & 2014.

3.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar

Dari penelitian ini, sebelum benda uji mortar OPC dimasukkan ke dalam rendaman air gambut, terlebih dahulu benda uji berada pada rendaman air biasa selama 28 hari. Setelah masa perawatan pada air biasa selama 28 hari selesai, lalu dilanjutkan pada rendaman air gambut maupun aquades. Perawatan selama 28 hari ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi mortar OPC dalam keadaan matang dan kuat tekan pada 28 hari ini menjadi kuat

tekan untuk hari ke-0 untuk mortar OPC, sedangkan untuk mortar geopolimer benda uji didiadakan pada suhu ruang selama 7 hari dan pada hari ke 7 mortar geopolimer tersebut menjadi kuat tekan untuk hari ke-0. Perhitungan umur 7, 28 dan 91 dan 120 hari dimulai setelah mortar berada pada rendaman air gambut maupun air aquades.

Hasil kuat tekan mortar OPC pada perendaman air aquades (Gambar 1) mengalami peningkatan sejak umur 0 hari didapat kuat tekan sebesar 22,50 Mpa yang selanjutnya kuat tekan tersebut meningkat secara bertahap setelah 28 hari hingga umur 120 hari, hal ini disebabkan proses hidrasi beton berjalan dengan baik. Panas hidrasi semen umumnya telah membebaskan sekitar 50% panas totalnya pada satu hingga 3 jam pertama, 70% pada hari ketujuh, serta 83-91% setelah 6 bulan. Perkembangan kuat tekan mortar semen umur 28 hari sudah cukup sempurna sehingga untuk umur selanjutnya peningkatan kuat tekan tersebut sudah tidak terlalu signifikan (Mulyono, 2005).

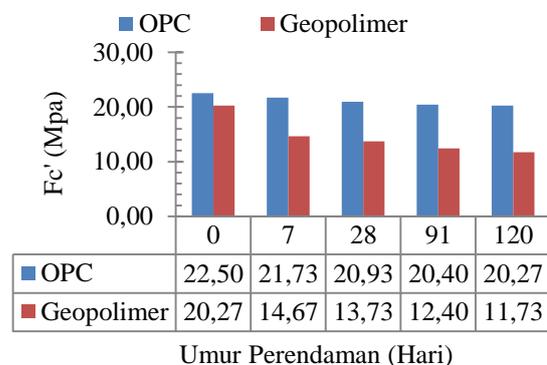


Gambar 1. Kuat tekan mortar pada perendaman aquades

Mortar geopolimer pada perendaman air aquades mengalami penurunan kuat tekan seiring bertambahnya umur. Pada umur 28 hari kuat tekan umur mortar geopolimer mengalami penurunan kuat tekan dari 20,27 Mpa hingga 14,53 Mpa (Gambar 1) dan terus menurun pada umur selanjutnya. Penurunan kuat tekan ini dikarenakan proses leaching atau larutnya Na (Natrium) pada larutan alkali aktivator akibat perendaman di dalam air, sehingga menyebabkan berkurangnya kandungan

logam alkali yang menghambat proses geopolimerisasi. Reaksi pada geopolimerisasi sendiri dipengaruhi oleh beberapa faktor yang salah satunya adalah konsentrasi silikat ($\text{SiO}_2/\text{M}_2\text{O}$ rasio) dan konsentrasi larutan alkali ($\text{H}_2\text{O}/\text{M}_2\text{O}$ rasio, dimana M adalah sama dengan Na dan K) (Shindunata, 2006).

Pada perendaman di dalam air gambut dengan rentang nilai pH 4,5-5, mortar OPC mengalami penurunan (Gambar 2). Di umur 7 hari perendaman mortar OPC mengalami penurunan dari 22,50 Mpa di umur 0 hari menjadi 21,73 Mpa dan mengalami penurunan kuat tekan pada umur berikutnya hingga 20,40 Mpa pada umur 91 hari. Penurunan ini terjadi akibat reaksi kimia yang terjadi antara mortar dengan lingkungan asam. Reaksi ion-ion sulfat dari asam tersebut bereaksi sehingga membuat proses hidrasi dari semen terganggu, hingga menghasilkan reaksi Kalsium Sulfat atau *gypsum* dan Kalsium Sulphoaluminat atau *Ettringite*.



Gambar 2. Kuat tekan mortar pada perendaman air gambut

Mortar geopolimer pada perendaman air gambut juga mengalami penurunan kuat tekan, penurunan tersebut lebih besar dibandingkan dengan pada perendaman air aquades. Pada umur 7 hari setelah masa perendaman dalam air gambut, mortar geopolimer mengalami perubahan kuat tekan sebesar 14,67 Mpa dari 20,27 Mpa di umur 0 hari perendaman (gambar 2) dan cenderung terus menurun pada umur berikutnya. Penurunan tersebut dikarenakan proses *leaching*-nya larutan alkali aktivator kedalam air perendaman.

Penurunan yang besar pada mortar geopolimer disebabkan terganggunya beberapa komponen pembentuk geopolimerasi yang diakibatkan proses migrasi larutan alkali dari benda uji kedalam larutan perendaman yang diperburuk oleh larutan asam tersebut (Bakharev T, 2005). Kerusakan bahan geopolimer di larutan asam berkaitan dengan proses depolimerisasi dari aluminosilikat polimer dan pembebasan asam silikat, penggantian kation Na dan K oleh hidrogen atau ion hidronium dan dealuminasi dari struktur geopolimer itu sendiri. Hal ini juga terhubung pada proses kondensasi polimer yang mengandung silika dan *zeolite* dimana pada beberapa kasus menyebabkan kerugian yang signifikan terhadap kekuatan beton (Bakharev T, 2005).

3.4 Hasil Uji Porositas

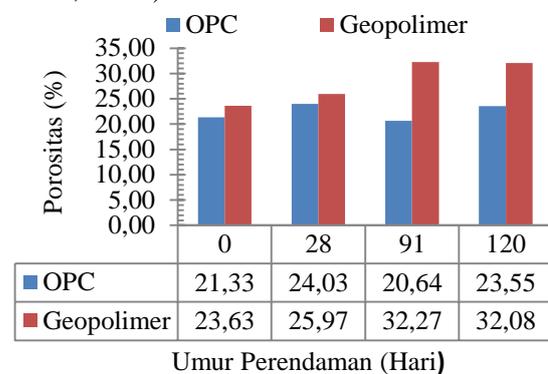
Pengujian porositas mengacu pada ASTM C642-90 dengan tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai porositas yaitu ukuran dari ruang kosong di antara material dan merupakan fraksi dari volume ruang kosong terhadap total volume suatu mortar. Pengujian porositas ini diuji pada umur 0, 28, 91 dan 120 hari setelah mortar OPC maupun mortar geopolimer mengalami perendaman di dalam air gambut.

Berdasarkan hasil dari kuat tekan pada subbab sebelumnya, dimana kuat tekan mortar yang mengalami penurunan mengindikasikan naiknya nilai persen porositas pada mortar. Kuat tekan akan menjadi kurang baik apabila terdapat rongga pori yang tidak terisi oleh butiran pasir maupun pasta, terlalu banyak dalam mortar. Rongga pori tersebut berisi udara (*air voids*) dan air (*water filled space*), apabila mortar mengering akan dapat membentuk kapiler yang mengakibatkan mortar bersifat tembus air (*porous*).

Hasil pengujian mortar dapat dilihat pada (gambar 3) nilai porositas pada perendaman air gambut diumur 28 hari sebesar 24,03% mengalami peningkatan

dari umur 0 hari sebelum perendaman sebesar 21,33%. Hal tersebut dikarenakan, proses hidrasi semen tidak berjalan dengan baik. Proses hidrasi semen dalam mortar telah terganggu karena adanya serangan asam yang berasal dari air gambut.

Hampir semua asam melarutkan semen yang sudah mengeras dengan mengubahnya menjadi garam yang mudah larut, yang kemudian akan tersapu atau terkikis keluar. Jika beton yang sudah mengeras dihadapkan pada asam nitrat atau hidroklorik dan sulfurik maka akan terbentuk kalsium klorida, kalsium sulfat atau nitrat, aluminium dan besi, yang semuanya mudah larut dalam air dan mengakibatkan beton menjadi porous. Batas toleransi keasaman adalah sampai nilai pH 5,5-6. Asam bisa terkandung di dalam air yang secara alamiah memang mengandung asam, atau air dari limbah industri. Kebanyakan serangan asam pada beton oleh air adalah karena aktivitas dari karbon dioksida di dalam air (Nugraha, P & Antoni, 2007)



Gambar 3. Porositas mortar pada perendaman air gambut

Nilai porositas umur 91 hari mortar OPC perendaman air gambut (gambar 3) mengalami penurunan nilai porositas dimana seharusnya mengalami peningkatan. Data tersebut mengalami kontradiksi dengan data hasil kuat tekan mortar. Hasil yang kontradiksi ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah kondisi dan pH rendaman asam yang tidak terkontrol dengan baik, proses pengadukan beton yang

tidak satu adukan serta jumlah sampel yang terlalu sedikit. Faktor-faktor di atas tersebut memberikan hasil yang berbeda dan menimbulkan data yang kontradiksi dengan pengujian lainnya (Pandiangan JA, 2013).

Hasil pengujian nilai porositas pada mortar geopolimer di rendaman air gambut mengalami peningkatan nilai porositas. Pada umur 0 hari sebelum perendaman nilai porositas mortar geopolimer sebesar 23,63%, mengalami peningkatan di umur 91 hari menjadi 32,27% pada perendaman air gambut (gambar 3). Peningkatan nilai porositas tersebut dikarenakan selain hilangnya sebagian larutan alkali aktivator yang terlarut dalam air perendaman, seperti yang dijelaskan pada hasil pengujian kuat tekan pada subbab sebelumnya dan juga adanya proses dari serangan asam yang terkandung dalam air gambut yang dapat merusak struktur dari geopolimer itu sendiri, sehingga membuat mortar geopolimer menjadi lebih *porous* yang berakibat adanya penurunan kuat tekan yang terjadi pada mortar geopolimer.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang dilakukan terhadap durabilitas mortar geopolimer campuran abu terbang (FA) dan abu sawit (POFA) di lingkungan gambut, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kuat tekan mortar OPC pada perendaman air aquades, semakin bertambahnya umur kuat tekannya semakin meningkat, hal tersebut dikarenakan proses hidrasi semen berjalan dengan baik berbanding terbalik pada mortar OPC rendaman air gambut, unsur asam yang terkandung dalam air gambut dapat merusak hidrasi semen.
2. Mortar geopolimer dalam perendaman air aquades maupun air gambut mengalami penurunan kuat tekan, penurunan kuat tekan yang terjadi pada perendaman air gambut lebih besar, dikarenakan hilangnya larutan alkali aktivator pembentuk

geopolimerisasi dan terbentuknya struktur *zeolite* yang membuat mortar menjadi lebih rapuh.

3. Nilai porositas mortar OPC selalu lebih rendah dibandingkan nilai porositas mortar geopolimer setelah, hal tersebut yang mengakibatkan mortar geopolimer lebih porous dan memiliki kuat tekan yang lebih rendah dari mortar OPC.
4. Tingkat keasaman rendaman (pH) merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi ketahanan mortar.. Khusus untuk mortar geopolimer apabila keasaman rendaman (pH) tidak terkontrol dengan baik, akan mengakibatkan berubahnya kandungan pH tersebut menjadi basa, karena pengaruh NaOH pada mortar geopolimer.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada semua pihak yang telah membantu selama penelitian terutama kepada teman satu perjuangan tugas akhir, Nanda, Aldi, Bang Harry, Kak Fela, Reni dan Rizky (Fekon), serta para teknisi Lab Teknologi Bahan yang telah senantiasa memberikan bantuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, A. A. 2009. Strength and durability properties of alkali activated slag and fly ash-based geopolymer concrete. Tesis Pascasarjana, School of Civil, Environmental and Chemical Engineering, RMIT University, Melbourne, Australia.
- Ariffin, M., M Azreen., M.W. Hussin., M.A.R. Bhutta. 2011. Mechanical Properties of Geopolymer Concrete Using Blended Ash from Agro-Industrial Waste. *Advanced Materials Research* Vol 339 pp 452-457.
- Ariffin, M., M Azreen., M.W. Hussin., M.A.R. Bhutta. 2013. Sulfuric Acid Resistance of Blended Ash Geopolymer Concrete. *Journal*

- Construction and Building Materials 43 (2013) 80–86.
- Ashari, Frangky. 2012. Variasi Ketebalan Lapisan dan Ukuran Butiran Media Penyaringan pada Biosand Filter untuk Pengelolaan Air Gambut. Pekanbaru. Tugas Akhir Mahasiswa Universitas Riau.
- Bakharev, T. 2005. Resistance of Geopolymer Materials to Acid Attack. Cement and Concrete Research. 35(4):658–70.
- Bhutta, M.A.R., N. F. Ariffin., M.W. Hussin., N.H.A.S. Lim. 2013. Sulfate and Sulfuric Acid Resistance of Geopolymer Mortars Using Waste Blended Ash. Jurnal Teknologi, ISSN 0127-9696, 61:3.
- Datta, Gaurav. 2014. Study on Blended Alkali Activated Composites. Tesis Pascasarjana. Department of Civil Engineering Faculty Of Engineering And Technology. Jadavpur University. India.
- Davidovits, J. 1994. Properties of Geopolymer Cements. First International Conference on Alkaline Cements and Concretes, SRIBM, Kiev State Technical University, Kiev, Ukraine.
- Miswar, Khairul. 2011. Kuat Tekan Beton Terhadap Lingkungan Agresif. Jurnal Portal, ISSN 2085-7454, Vol 3 No 2.
- Mulyono, T. 2005. Teknologi Beton. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Nugraha, P., Antoni. 2007. *Teknologi Beton Dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Andi Offset: Yogyakarta.
- Olivia, M. 2011. Durability related properties of low calcium fly ash based geopolymer concrete. Tesis PhD, School of Civil and Mechanical Engineering Department of Civil Engineering, Curtin University of Technology, Perth, Australia.
- Pandiangan, JA. 2013. Ketahanan Beton Mutu Tinggi Di Lingkungan Asam. Skripsi Sarjana, Program Studi Teknik Sipil S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Ranjbar, Navid., Mehdi M., Arash B., U Jhonson A., Mohd Zamin J. 2014. Compressive Strength and Microstructural Analysis of Fly Ash/Palm Oil Fuel Ash Based Geopolymer Mortar. Materials and Design 59 (2014) 532–539.
- Shindunata. 2006. A Conceptual Model of Geopolymerisation. Tesis PhD, Department of Chemical and Biomolecular Engineering. The University of Melbourne, Australia.
- SNI 03-1968-1990. (1990). *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1970-1990. (1990). *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1971-1990. (1990). *Metode Pengujian Kadar Air Agregat*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1974-1990. (1990). *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-2816-1992. (1990). *Metode Pengujian Kotoran Organik Dalam Pasir untuk Campuran Mortar atau Beton*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-6825-2002. (2002). *Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- Wibowo, Ari. 2009. Konversi Hutan Menjadi Tanaman Kelapa Sawit pada Lahan Gambut: Implikasi Perubahan Iklim dan Kebijakan. Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan Vol 7 No 4 Edisi Khusus.