

KETAHANAN MORTAR DI LINGKUNGAN ASAM DENGAN BERBAGAI TIPE SEMEN

Uliarta Hutapea

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

Monita Olivia

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

Iskandar Romey Sitompul

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru
28293, email: iskandar006@yahoo.co.uk

ABSTRACT

This research study the compressive strength, porosity, weight changes, visual inspection and acidic penetration of mortar OPC cement, mortar PCC cement, and mortar with made by combine of OPC+10% Palm Oil Fuel Ash (POFA). The object test submerge in aquadest, sulfuric acid (H_2SO_4) with pH 4-5, and peat water. This research result show that the compressive strength increased along with increasing of mortar OPC, mortar PCC and mortar with made by combine of OPC+10% Palm Oil Fuel Ash (POFA) lifes which submerged in aquadest. The compressive strength more decreased, however in mortar PCC cement and mortar with made by combine of OPC+10% POFA have increasing. The porosity test, mortar with made by combine of OPC+10% POFA showed bigger value than mortar OPC and PCC cement. Weigh changes occur with mortar PCC cement when submerged in sulfuric acid and peat water inclined decrease. The mortar PCC cement weight inclined constant. The mortar with made by combine of OPC+10% POFA showed some decreasing but inclined constant. Visual inspection of mortar change become yellow colored when it submerged in peat water. Acid penetration which used phenolphthalein solution showed that mortar OPC cement at 91st day life had onrush by acid effect submerged in sulfuric acid and peat water while the mortar PCC cement and mortar with made by combine of POFA showed more constant condition.

Keyword: OPC, PCC, palm oil fuel ash (POFA), sulfuric acid (H_2SO_4), peat water, aquadest, compressive strength, porosity, weight changes, visual inspection and acidic penetration

1. PENDAHULUAN

Riau merupakan salah satu provinsi di Sumatera yang memiliki lahan gambut yang luas, dengan luas total mencapai lebih kurang 4,8 juta ha (Badan Pusat Statistik Provinsi Riau,

2008). Air yang berada pada lahan gambut tersebut dikenal dengan air gambut (Dedi, 2010). Air gambut yang terdapat pada lahan gambut provinsi Riau memiliki pH yang rendah, yang

mengakibatkan air tersebut bersifat asam (Ashari, 2011). Tingkat keasaman air gambut ini dipengaruhi oleh senyawa-senyawa asam humat dan asam sulfat yang merupakan hasil oksidasi mineral sulfida seperti pirit, dan sisa-sisa tumbuhan yang terdekomposisi oleh bakteri aerobik yaitu *Thiobacillus fero oxidans* (Eglinton, dalam *Lea's Chemistry of Cement*, 2004 dan Ali *et al*, 2000).

Penggunaan beton seperti saluran drainase, pondasi tiang pancang dan konstruksi beton lainnya yang berhubungan langsung dengan lingkungan asam, seperti air gambut di provinsi Riau semakin banyak digunakan. Lingkungan asam akan mempengaruhi sifat fisik dan mekanis beton, karena dapat menyebabkan terjadinya disintegrasi pada beton (Putra, 2006). Serangan asam membuat pasta semen mengalami korosi, sehingga dapat menimbulkan ekspansi, retak dan kehancuran pada beton (Caijun *et al*, 2000 dan Siddique *et al*, 2008).

Salah satu faktor utama yang mempengaruhi performa beton di lingkungan asam adalah tipe semen (Bellie *et al*, 1996; Oueslati *et al*, 2012). Semen portland paling rentan terhadap serangan asam karena mengandung kalsium hidroksida yang tinggi setelah berhidrasi (Eglinton, dalam *Lea's Chemistry of Cement*, 2004). Penggunaan bahan tambahan pada

semen atau yang disebut dengan SCM (*Suplementary Cement Material*) menjadi salah satu strategi untuk meningkatkan ketahanan semen portland terhadap serangan kimiawi (Thomas dan Skalny, 2010). Bahan tambah yang dicampurkan adalah bahan tambah yang mempunyai kandungan silika reaktif, karena dapat mengurangi kalsium hidroksida yang sangat rentan terhadap asam (Chang *et al*, 2007; Oueslati *et al*, 2012).

Semen PCC (*Portland Composite Cement*) merupakan semen hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen *portland* dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozzolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6%-35 % dari massa semen (SNI 15-7064-2004). Sementara itu, abu sawit atau dikenal dengan POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) merupakan salah satu pozzolan dan memiliki kandungan silika (SiO_2) yang cukup tinggi (Tangchirapat *et al*, 2006; Ahmad *et al*, 2008; Safiuddin *et al*, 2011)

Mengamati apa yang terjadi pada mortar dapat mengetahui reaksi yang terjadi dalam matriks semen (Odler, dalam *Lea's Chemistry of Cement*, 2004) dan kuat tekan mortar dapat digunakan sebagai rujukan untuk mengetahui kinerja beton (Neville, 1999 dalam Apriando dan Purwanto, 2011).

2. METODE PENELITIAN

2.1 Pemeriksaan Karakteristik Material

Pemeriksaan material terdiri dari pemeriksaan karakteristik agregat halus, dan komposisi kimia POFA.

Pemeriksaan karakteristik agregat halus terdiri dari analisa saringan, berat

jenis dan arbsorpsi, berat volume, kadar air, kadar lumpur, kadar silika dan kadar organik. Pemeriksaan komposisi silika agregat halus dan komposisi kimia POFA dilakukan dengan mengirim sebagian sampel ke Laboratorium Pusat Sumber Daya Geologi Bandung. Dari hasil pengujian, diketahui bahwa

komposisi kimia POFA yang digunakan terdapat pada tabel 1

Tabel 1. Komposisi Kimia Abu Sawit PKS Lubuk Raja

Oksida	% Berat
SiO ₂	64,36
Al ₂ O ₃	4,36
Fe ₂ O ₃	3,41
MgO	4,58
CaO	7,92
K ₂ O	5,57
TiO ₂	0,87
MnO	0,1
P ₂ O ₅	3,64
SO ₃	0,04
Cu	46 ppm
Zn	60 ppm
H ₂ O ⁻	0,59
HD	4,97

2.2 Pelaksanaan Pengujian dan Pembuatan Mortar

Perencanaan campuran mortar mengacu pada standar SNI 03-6825-2002 dan ASTM C-109. Material utama yang dibutuhkan adalah semen, pasir dan air. Penelitian ini menggunakan semen OPC, PCC, dan semen campuran OPC dengan 10% POFA. Perbandingan semen, pasir dan air adalah 1:2,75:0,5. Untuk setiap 6 *specimens* ukuran 5x5x5 cm dibutuhkan 500 gr semen, 1375 gr pasir dan 242 ml air. Bahan-bahan dasar material pembentuk mortar dicampur menggunakan mixer sampai campuran merata, dan homogen kemudian dicetak dalam specimens ukuran 5x5x5 cm. Setelah 24 jam pencetakan maka benda uji dilepas dari cetakan dan dilakukan perawatan dalam air biasa selama 28 hari. Kemudian dilanjutkan dengan perendaman dalam aquadest, asam sulfat (H₂SO₄) pH 4-5 dan air gambut.

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 28 dan 91 hari. Pengujian porositas dilakukan pada umur 28 hari. Pengujian perubahan berat dilakukan pada umur 1, 3, 7, 14, 21, 28, 42, 56, 72, dan 91 hari. Pengujian penetrasi asam dan visualitas mortar dilakukan pada umur 7 dan 91 hari.

2.2.1 Pengujian Kuat Tekan

Adapun prosedur pengujian kuat tekan mortar adalah sebagai berikut:

- Mortar diambil dari bak perendam dan ditimbang.
- Mengeringkan benda uji hingga kondisi kering permukaan (SSD), lalu diletakkan mendatar pada kerangka alat uji tekan (Compressing Test Machine).
- Melakukan pembebanan sampai benda uji menjadi pecah.
- Beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan dicatat.
- Kuat tekan mortar dihitung berdasarkan persamaan, yaitu beban maksimum yang bekerja persatuan luas bidang tekan ($f_c = \frac{F}{A}$).

2.2.2 Pengujian Porositas

Prosedur pengujian porositas adalah sebagai berikut:

- Mengeringkan benda uji dengan oven pada suhu 105-110°C selama 24 jam.
- Setelah 24 jam pengeringan, kemudian mendinginkan benda uji pada suhu ruang 20-25°C, lalu menimbang benda uji yang telah kering tersebut (M_k).
- Merendam benda uji selama 48 jam. Setelah perendaman, mengeringkan benda uji dengan kain penyerap lalu ditimbang (M_b).

- d. Selanjutnya menghitung nilai porositas dengan menggunakan persamaan $\frac{m_b - m_k}{V_b} \times \frac{1}{\rho_{air}} \times 100$

2.2.3 Pengujian Perubahan Berat

Pengujian perubahan berat mortar dilakukan dengan cara sikat dan tidak sikat. Cara pengujian yaitu, mengambil mortar dari rendaman, kemudian diletakkan diatas wadah yang tidak menyerap air lalu dibiarkan kering permukaan dan selanjutnya ditimbang (untuk metode sikat, mortar disikat terlebih dahulu, kemudian ditimbang). Setelah mencatat berat mortar pada hari pertama perendaman, kemudian mortar

direndam kembali dan dilakukan pengujian pada umur selanjutnya.

2.2.4 Pengujian Penetrasi Asam dan Visualitas Mortar

Prosedur pengujian dilakukan dengan cara:

- Mengambil benda uji dari dalam bak perendaman
- Membuat garis tengah pada sisi benda uji sebagai garis alur pemotongan.
- Melakukan pemotongan benda uji menjadi 2 bagian.
- Melakukan penyemprotan larutan *phenolphthalein*.
- Mengamati perubahan warna dan mendokumentasikannya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus

Hasil pemeriksaan karakteristik agregat halus yang berasal dari danau Bingkuang, Kampar-Riau, dapat dilihat pada tabel 2, berikut ini.

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus

Jenis Pemeriksaan	Hasil	Standar
Kadar lumpur (%)	4,35	< 5
Kadar air (%)	4,51	3-5
<i>Bulk specific gravity on SSD</i>	2,63	2,58 - 2,86
<i>Absorption (%)</i>	0,72	2 - 7
Modulus kehalusan	3,14	1,5 – 3,8
Berat Volume padat	1,75	1,4-1,9
Kadar Organik	No. 3	< No. 3
Kadar Silika	97,97%	

3.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar

Kuat tekan mortar dilakukan pada umur 7, 28 dan 91 hari. Hasil uji kuat tekan mortar yang direndam dalam air biasa dapat dilihat pada tabel 3, dan hasil pengujian kuat tekan mortar yang direndam dalam aquadest, asam sulfat

Hasil pemeriksaan penyerapan (absorption) agregat halus sebesar 0,72%. Nilai ini tidak memenuhi standar spesifikasi penyerapan yaitu 2–7%. Hal ini terjadi karena agregat terlalu basah sebelum dilakukan pengujian.

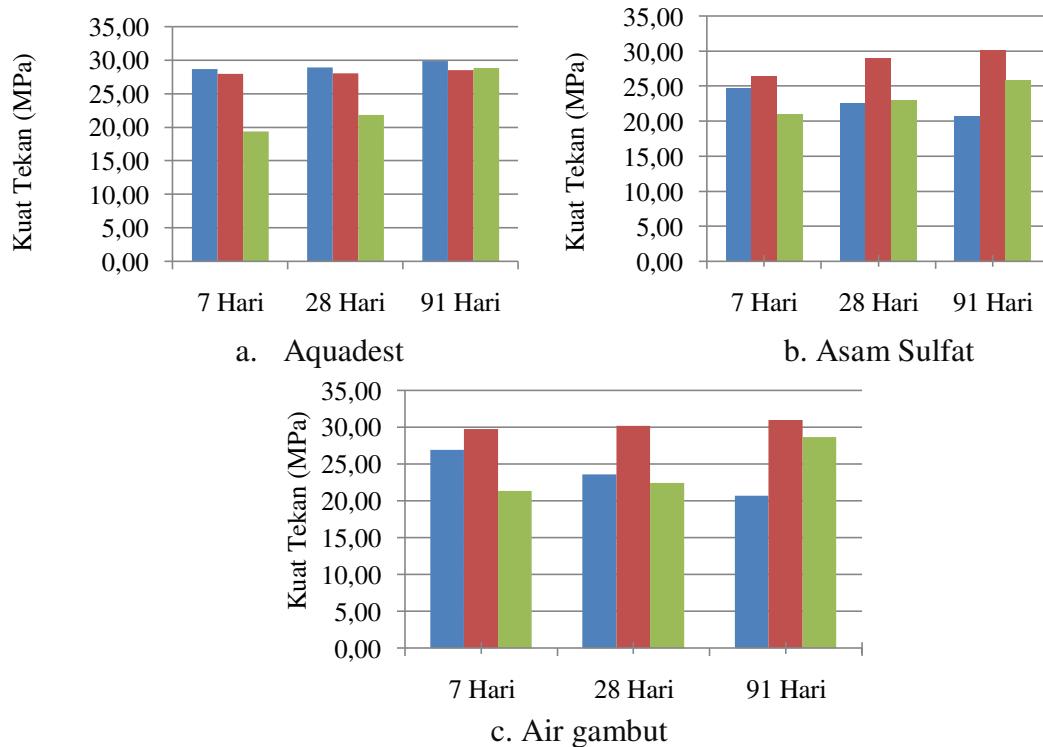
(pH 4-5), dan air gambut dapat dilihat pada gambar 1. Pada tabel 3 dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan tertinggi ditunjukkan oleh mortar semen OPC. Semen OPC yang merupakan 100% semen portland tanpa bahan tambahan,

mengalami hidrasi sempurna (Bamaga *et al*, 2010; Mulyono, 2005). Sementara itu, reaksi pozzolanik yang terjadi pada semen PCC dan semen campuran OPC+10% POFA menyebabkan pembentukan CSH membutuhkan waktu yang lama (Tangchirapat *et al*, 2006).

Penggunaan 10% POFA pada mortar semen campuran, menyebabkan berkurangnya kadar kapur dari semen portland. Hal ini menjadi faktor rendahnya nilai kuat tekan pada umur 28 hari (Tangchirapat *et al*, 2006; Ahmad *et al*, 2008; Safiuddin, 2011).

Tabel 3. Nilai Kuat Tekan Mortar dalam Rendaman Air Biasa

Tipe Semen	Berat Sampel (gr)	Kuat Tekan		Rata-rata (Mpa)
		kN	MPa	
OPC	282,40	80	32	
	278,30	65	26	28,67
	283,30	70	28	
PCC	286,50	73	29,2	
	283,40	65	26	27,73
	286,00	70	28	
OPC+10% POFA	283,10	50	20	
	284,80	55	22	19,33
	285,40	40	16	



Gambar 1. Nilai Kuat Tekan Mortar

Gambar 1.a menunjukkan hasil kuat tekan mortar OPC yang direndam

dalam aquadest lebih tinggi dari mortar PCC dan mortar yang terbuat dari semen

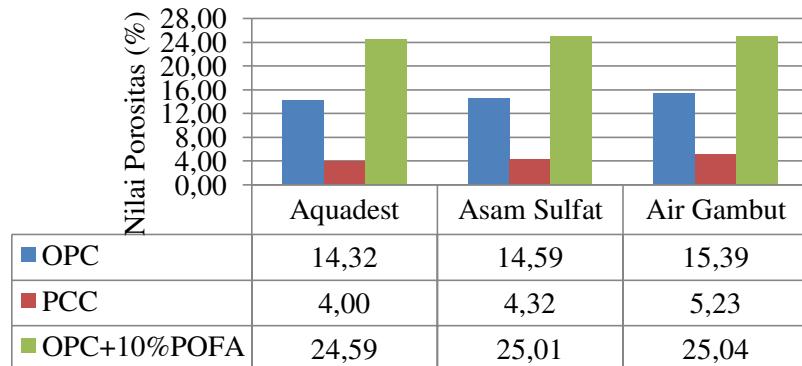
OPC+10% POFA. Kuat tekan meningkat seiring bertambahnya umur mortar. Kuat tekan mortar semen PCC dan mortar yang terbuat dari semen OPC+10% POFA, dipengaruhi oleh reaksi pozzolanik yang mengakibatkan lambatnya pembentukan CSH, yaitu hasil hidrasi yang mempengaruhi kekuatan semen (Massazza dalam *Lea's Chemistry of Cement*, 2004; Mehta, 2006; Ahmad *et al*, 2008).

Gambar 1.b menunjukkan hasil kuat tekan mortar OPC yang direndam dalam asam sulfat (pH 4-5) semakin menurun seiring bertambahnya umur mortar. Semen OPC adalah semen yang sangat rentan terhadap serangan asam (Eglinton, dalam Lea, 2004). Proses hidrasi semen, menghasilkan senyawa CSH yang bersifat sebagai bahan perekat, dan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang angka kelarutannya tinggi. Jika terkena asam, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ akan bereaksi menghasilkan gipsum. Gipsum akan bereaksi kembali dengan CAH yang akan menghasilkan *ettringite* (Goyal *et al*, 2008; Kasih, 2011). *Ettringite* memiliki bentuk kristal memanjang seperti jarum. *Ettringite* ini menyebabkan pengembangan volume hingga menimbulkan keretakan semen (Foxid, 2009; Bamaga *et al*, 2010).

3.3 Hasil Pengujian Porositas Mortar

Hasil pengujian porositas dapat dilihat pada gambar 2 berikut ini. Gambar 2 menunjukkan nilai porositas mortar semen OPC, semen PCC, dan semen OPC+10% POFA pada umur 28 hari, yang direndam dalam aquadest, asam sulfat, dan air gambut. Karakteristik fisik POFA yang mempunyai ukuran partikel yang tidak seragam dan bersifat poros menjadi faktor porositas yang tinggi (Sata, 2005; Tangchirapat, 2009; Foo, 2009; Safiuddin, 2011).

Pembentukan *ettringite* yang berlebihan dapat menyebabkan penurunan kekuatan dari semen OPC. Adanya pozzolan yang mengandung silika reaktif pada semen PCC dan semen OPC+10% POFA, akan mereduksi kapur bebas ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) hasil hidrasi, dan sekaligus menghasilkan produk hidrasi tambahan yang bersifat perekat yaitu CSH. Adanya tambahan bahan perekat ini akan mengisi ronggarongga kapiler besar yang terbentuk pada proses hidrasi semen portland (Ahmad *et al*, 2008; Oueslati *et al*, 2011; Zivica *et al*, 2012). Gambar 1.c menunjukkan kuat tekan mortar semen OPC semakin menurun seiring bertambahnya umur mortar dalam rendaman air gambut. Kondisi lingkungan asam yang korosif menyebabkan pasta semen Portland mudah rusak (Caijun *et al*, 2000). Selain itu, CO_2 yang terkandung dalam air gambut (Eglinton, dalam Lea, 2004) akan bereaksi dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen, membentuk kalsium bikarbonat ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) yang larut dalam air (Allahverdi *et al*, 2000; Hariawan, 2007).

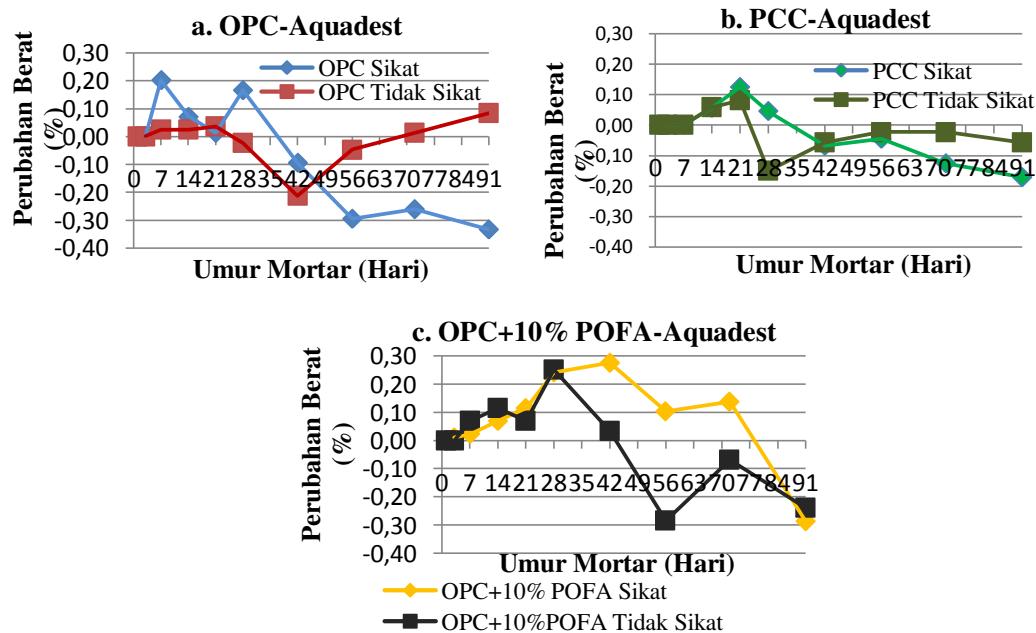


Gambar 2. Hasil pengujian porositas

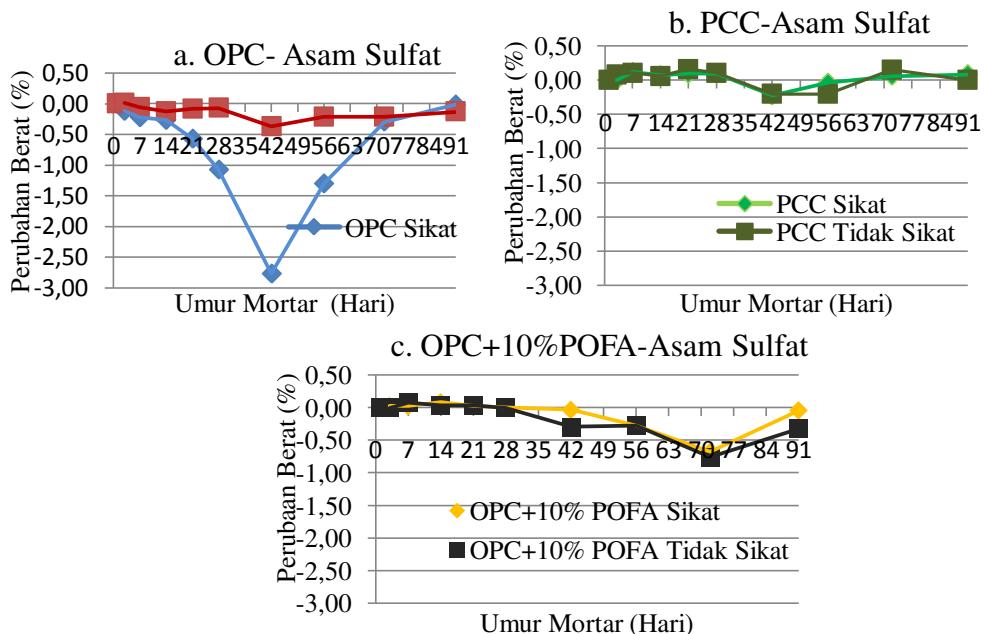
Porositas mortar semen PCC lebih rendah, karena ukuran partikel semen PCC seragam, dan kandungan bahan anorganiknya lebih dari satu (terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozzolan, senyawa silikat, dan batu kapur), membuat semen tipe ini, lebih kedap. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa semen portland yang mengandung pozzolan, dan bahan organik lebih dari satu jenis, dapat menambah kekedapan semen (Goyal *et al* 2008; Oueslati *et al*, 2012; Zivica *et al*, 2012).

3.4 Hasil Pengujian Perubahan Berat Mortar

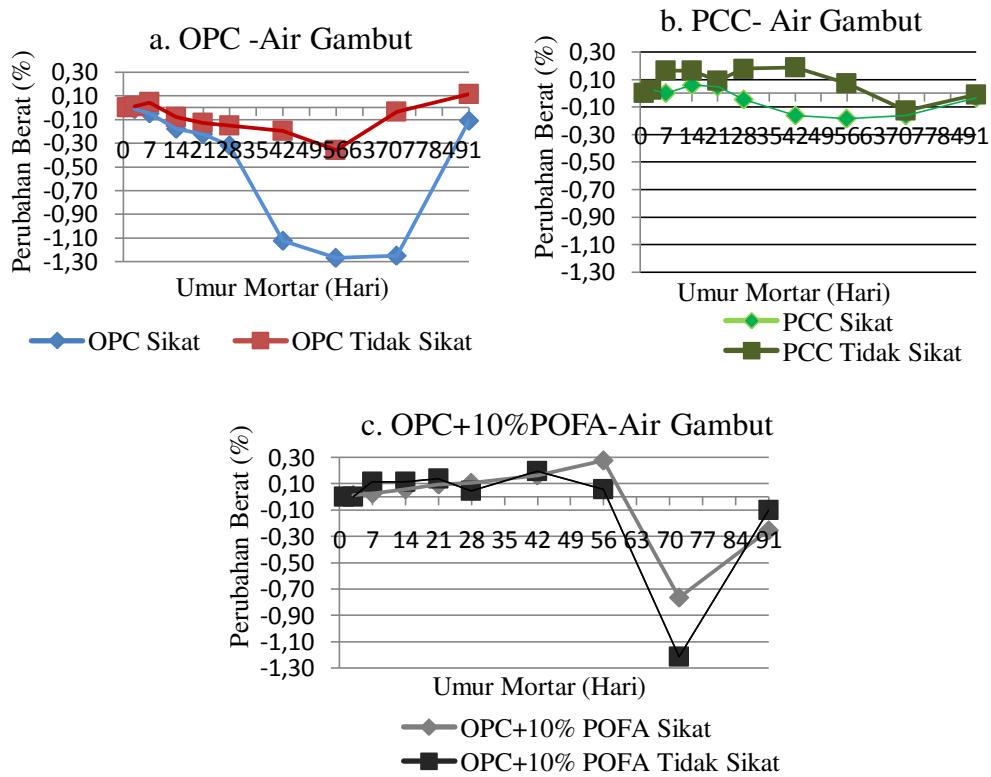
Pengujian perubahan berat dilakukan sesuai dengan metode pengujian yang ada pada ASTM C267 *Standard Test Methods for Chemical Resistance of Mortars, Grouts, and Monolithic Surfacings and Polymer Concretes*. Benda uji diukur beratnya secara berkala kemudian dianalisa persentase terjadinya perubahan berat dari waktu ke waktu pengujian. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 3, gambar 4, dan gambar 5 berikut ini:



Gambar 3 Perubahan Berat Mortar dalam Rendaman Aquadest



Gambar 4 Perubahan Berat Mortar dalam Media Asam Sulfat (pH 4-5)



Gambar 5 Grafik Perubahan Berat Mortar dalam Media Air Gambut

Gambar 3, menunjukkan terjadinya penurunan berat pada mortar semen OPC disebabkan oleh jumlah kelarutan kapur yang dihasilkan akibat reaksi hidrasi yang

bertambah seiring pertambahan umur mortar (Thomas *et al*, 2010). Pengujian tanpa sikat menunjukkan peningkatan berat, karena kapur yang keluar tetap menempel pada permukaan mortar. Pada mortar semen PCC terjadi penurunan berat di awal, kemudian berat mortar cenderung stabil hingga umur 91 hari. Sementara itu, mortar semen OPC+10% POFA mengalami peningkatan berat di awal. Kenaikan berat di awal terjadi karena pengaruh dari partikel POFA yang menyerap air (Sata, 2004; Safiuddin *et al*, 2011).

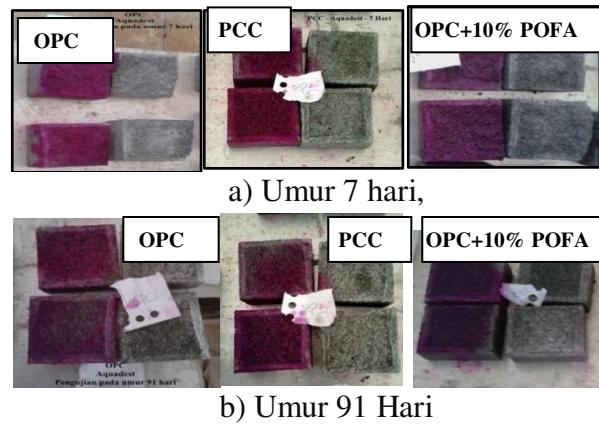
Gambar 4, menunjukkan mortar OPC mengalami penurunan berat mulai di awal perendaman, hingga umur 91 hari. Serangan asam sulfat pada semen menyebabkan hancurnya senyawa hasil hidrasi, karena adanya pengikatan unsur CaO bebas oleh H_2SO_4 , yang mudah mengurai menjadi $Ca(OH)_2$ yang bersifat larut (Ali *et al*, 2000). Mortar semen PCC menunjukkan perubahan berat yang tidak signifikan, sehingga berat mortar semen PCC cenderung stabil, sedangkan mortar yang terbuat dari semen OPC+10% POFA mengalami kenaikan berat di awal karena sifat POFA yang menyerap air, kemudian berat cenderung stabil hingga umur 91 hari. Semen yang mempunyai bahan pozzolanik lebih tahan asam. Silika reaktif yang terkandung pada pozzolan, mereduksi kapur bebas dan menghasilkan kalsium silikat tambahan (Goyal *et al*, 2008).

Gambar 5, menunjukkan hasil pengujian perubahan berat mortar semen OPC, PCC dan semen OPC+10% POFA dalam rendaman air gambut. Pembentukan *ettringite* sebagai reaksi dari ion asam dan mineral silikat hasil hidrasi, memicu ekspansi hingga terjadi pelepasan partikel pada mortar semen OPC. Sementara itu, perubahan berat mortar semen PCC cenderung stabil karena adanya pozzolan yang dapat mereduksi kapur bebas hasil hidrasi, menjadi kalsium silikat hidrat (CSH).

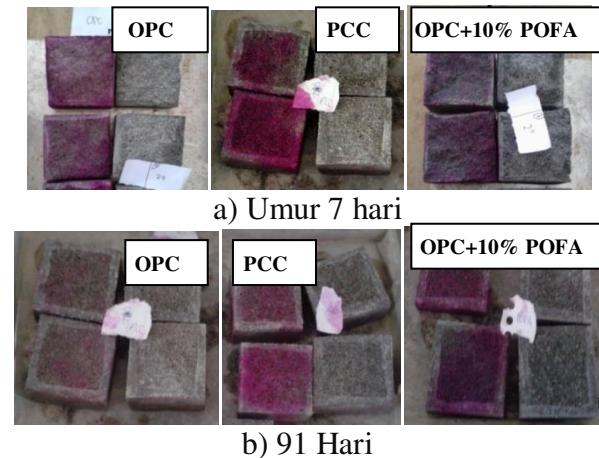
Pada mortar yang terbuat dari semen OPC+10% POFA menunjukkan kenaikan berat di awal. Kenaikan berat dapat terjadi karena penyerapan air oleh partikel POFA, dan pembentukan CSH oleh pozzolan. Sedangkan perubahan yang menunjukkan penurunan, bisa terjadi karena proses pengujian yang mengharuskan mortar diangkat lalu direndam kembali. Proses ini, dapat mengakibatkan partikel POFA luntur, karena sifat porus yang dimiliknya.

3.5 Hasil Pengujian Tampak Visual dan Penetrasi Asam

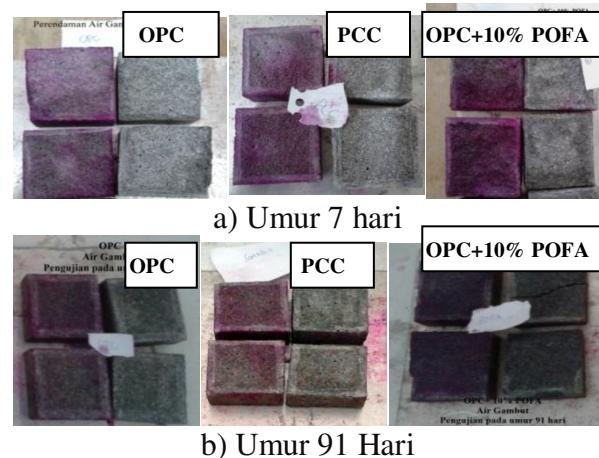
Pengujian penetrasi asam dilakukan pada umur uji 7 dan 91 hari. Pengujian ini dilakukan dengan larutan *phenolphthalein* yang akan memberi efek warna pada benda uji ketika disemprotkan. Pada pengujian ini, perubahan warna mortar setelah disemprot indikator *phenolphthalein* menjadi acuan untuk pembeda antara bagian mortar yang telah terserang asam dengan bagian yang belum terserang. Jika mortar berubah menjadi warna merah keunguan (magenta) maka hal ini menunjukkan mortar bersifat basa. Jika mortar tidak berubah warna (bening) maka hal ini menunjukkan mortar bersifat asam (terserang asam). Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 6, 7 dan 8.



Gambar 6 Perubahan Warna Setelah Pemberian Larutan Indikator *Phenolphthalein* Pada Mortar Direndam Dalam Aquades



Gambar 7 Perubahan Warna Setelah Pemberian Larutan Indikator *Phenolphthalein* Pada Mortar Direndam Dalam Asam Sulfat pH 4-5



Gambar 8 Perubahan Warna Setelah Pemberian Larutan Indikator *Phenolphthalein* Pada Mortar Direndam Dalam Air Gambut

Gambar 6 menunjukkan setelah pemberian larutan indikator *phenolphthalein* pada umur 7 hari maupun 91 hari, mortar semen OPC, semen PCC, dan mortar yang terbuat dari semen OPC+10% POFA berwana merah keunguan (magenta). Hal ini mengindikasi bahwa mortar dalam rendaman aquadest bersifat basa.

Gambar 7 menunjukkan setelah pemberian larutan indikator *phenolphthalein* pada umur 7 hari, mortar semen OPC, semen PCC, dan mortar yang terbuat dari semen OPC+10% POFA berwana merah keunguan (magenta). Hal ini mengindikasi bahwa pada umur 7 hari mortar belum mendapat serangan asam akibat direndam dalam asam sulfat. Tetapi pada umur 91 hari, mortar semen OPC menunjukkan perubahan warna dari merah keunguan menjadi bening. Sementara mortar semen PCC dan mortar yang terbuat dari semen OPC+10% POFA juga mengalami perubahan warna menjadi bening, namun hanya pada bagian tepinya saja. Hal ini mengindikasi bahwa pada umur 91 hari mortar semen OPC telah terserang asam, dan mortar semen . Sementara itu, serangan asam dari air gambut belum mempengaruhi

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang dilakukan terhadap mortar yang menggunakan semen OPC (Portland Tipe 1), semen PCC dan semen OPC+10% POFA, yang direndam dalam 3 jenis larutan yaitu aquadest, asam sulfat (H_2SO_4) pH 4-5, dan air gambut maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

PCC serta mortar semen OPC+10% POFA telah terserang asam pada bagian permukaannya.

Gambar 8 menunjukkan warna setelah pemberian larutan indikator *phenolphthalein* pada mortar semen OPC, semen PCC, dan mortar yang terbuat dari semen OPC+10% POFA setelah 7 dan 91 hari dalam rendaman air gambut. Setelah pemberian larutan indikator *phenolphthalein* pada umur 7 hari, mortar semen OPC, semen PCC, dan mortar yang terbuat dari semen OPC+10% POFA tidak mengalami perubahan warna dari merah keunguan (magenta) menjadi bening. Hal ini menunjukkan bahwa pada umur 7 hari mortar belum mendapat pengaruh akibat direndam dalam air gambut. Pada umur 91 hari, mortar semen OPC menunjukkan perubahan warna dari merah keunguan menjadi semakin terlihat bening. Sementara warna mortar semen PCC dan mortar yang terbuat dari semen OPC+10% POFA cenderung stabil berwarna merah keunguan (magenta). Hal ini mengindikasi bahwa pada umur 91 hari mortar OPC telah mendapat serangan asam dari air gambut mortar semen PCC dan mortar yang terbuat dari semen OPC+10% POFA.

1. Hasil pengujian kuat tekan mortar yang direndam dalam aquadest, menunjukkan kuat tekan yang semakin meningkat seiring pertambahan umur, baik mortar semen OPC, mortar semen PCC, dan mortar yang terbuat dari semen OPC+10% POFA. Kuat tekan di awal yang lebih rendah pada mortar semen PCC dan mortar yang terbuat dari semen OPC+10% POFA mengindikasikan bahwa

- pembentukan kalsium silikat hidrat berjalan lambat, akibat pengaruh reaksi pozzolanik.
2. Hasil pengujian kuat tekan mortar yang direndam dalam larutan asam sulfat (pH 4-5) dan air gambut menunjukkan kuat tekan yang semakin menurun seiring pertambahan umur. Sementara itu, hasil pengujian kuat tekan mortar semen PCC menunjukkan kuat tekan yang cenderung stabil dan mortar yang terbuat dari semen OPC+10% POFA menunjukkan kuat tekan yang meningkat. Berdasarkan hal ini, maka mortar semen PCC dan mortar yang terbuat dari semen OPC+10% POFA menunjukkan ketahanan terhadap asam yang lebih baik dari mortar yang menggunakan semen OPC setelah direndam dalam asam sulfat (pH 4-5) dan air gambut.
 3. Hasil pengujian porositas mortar yang terbuat dari semen OPC+10% POFA menunjukkan nilai porositas yang tinggi dari nilai porositas mortar semen OPC dan mortar semen PCC. Hal ini terjadi akibat ukuran yang tidak seragam dan sifat poros yang dimiliki oleh partikel POFA.
 4. Perubahan berat yang cenderung menurun terjadi pada mortar semen OPC akibat direndam dalam asam sulfat dan air gambut. Perubahan berat yang cenderung stabil terjadi pada mortar PCC dan mortar yang terbuat dari semen OPC+10% POFA. Adanya pozzolan pada semen dapat memberikan pengaruh baik terhadap ketahanan mortar di lingkungan asam.
 5. Pengujian tampak visual dan penetrasi asam setelah pemberian larutan indikator *phenolphthalein* menunjukkan perubahan warna pada umur 91 hari. Mortar semen OPC berubah warna menjadi semakin bening, yang mengindikasikan bahwa mortar semen OPC mendapat serangan asam akibat direndam dalam asam sulfat (pH 4-5) dan air gambut. Sementara itu, mortar semen PCC dan mortar yang terbuat dari semen OPC+10% POFA yang direndam dalam air gambut menunjukkan warna merah keunguan (magenta) yang cenderung stabil. Perubahan hanya terjadi pada bagian tepi mortar semen PCC dan mortar yang terbuat dari semen OPC+10% POFA yang direndam dalam asam sulfat.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil pengalaman penulis dalam melakukan penelitian di laboratorium, maka dapat dikemukakan saran yang mungkin dapat dipergunakan untuk penelitian lanjutan yaitu sebagai berikut:

1. Perlu adanya penelitian lanjutan karena penelitian ini hanya dilakukan hingga umur perendaman 91 hari. Semakin lama umur perendaman, maka akan semakin tampak perbedaan pengaruh lingkungan asam terhadap mortar.
2. Sebaiknya suhu ruang yang dipakai adalah suhu ruang normal dan sama untuk setiap waktu, baik pada saat pembuatan benda uji maupun pada saat pengujian dilakukan, sehingga pengujian mendapat perlakuan yang sama tanpa dipengaruhi oleh suhu ruang.

3. Agregat yang akan digunakan sebagai material benda uji, perlu dijaga kualitasnya agar pada saat pengujian karakteristik agregat, nilai-nilai karakteristiknya sesuai standar spesifikasi yang telah ditetapkan.
4. Perlu adanya perencanaan waktu yang baik dalam pembuatan benda uji, agar pengujian dapat dilakukan sesuai jadwal yang telah diperhitungkan.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

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

1. Ibu Monita Olivia, MSc, PhD dan Bapak Iskandar Romey Sitompul, MSc selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan motivasi, saran, arahan, dan membimbing sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Bapak Alex Kurniawandy MT, Bapak Dr. Zulfikar Djauhari, dan Bapak Soewigno Nugroho, MT sebagai dosen penguji yang memberi masukan, koreksi, dan kelancaran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Dosen, staf jurusan, dan keluarga besar Teknik Sipil Universitas Riau.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M.H.** 2008. *Compressive Strength of Palm Oil Fuel Ash*. Malaysia: Universiti Tun Hussein Onn.
- Apriando, Proylin.** 2011. *Pengaruh Perawatan Air Laut Terhadap Kuat Tekan Mortar dengan Bahan Tambah Berbasis Gula*. Semarang. Tugas Akhir Mahasiswa Universitas Katolik Soegijapranata.
- Ashari, Frangky.** 2012. *Variasi Ketebalan Lapisan dan Ukuran Butiran Media Penyaringan pada Biosand Filter untuk Pengelolahan Air Gambut*. Pekabaru. Tugas Akhir Mahasiswa Universitas Riau.
- Bamaga, S.O.** 2011. *Evaluation of Sulfate Resistance of Mortar Containing Palm Oil Fuel Ash from Different Sources*. Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia
- Beddoe, Robin.E.** 2005. *Modelling Acid Attack on Concrete (Part I. The Essential Mechanism)*. Germany: The University of Munchen.
- Chang, Zhentian.** 2007. *Using Limestone Aggregates and Different Cements for Enhancing Resistance of Concrete to Sulphuric Acid Attack*. Sydney, Australia: The University of New South Wales.
- Foo, K.Y.** 2009. *Value-Added Utilization of Oil Palm Ash: a Superior Recycling of The Industrial Agricultural Waste*. Malaysia: University Sains Malaysia
- Girardi, F.** 2010. *Resistance of Different Types of Concretes to Cyclic Sulfuric Acid and Sodium Sulfate Attack*. Italy: The University of Trento.
- Goyal, Shweta.** 2008. *Resistance of Mineral Admixture Concrete to Acid Attack*. India: Thapar University
- Hewlett, Peter.C.** 1997. *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. Publisher: Elsevier Science & Technology Books.
- Husin, Adriati.** 2010. *Penelitian Pengaruh Larutan Garam Sulfat Terhadap Kualitas Beton Ringan*. Bandung: Jurnal Permukiman, Vol. 5 No.2 Oktober 2010: 78-84

- Kroehong, Wunchock.** 2011. *Effect Of Palm Oil Fuel Ash Fineness On Packing Effect And Pozzolanic Reaction Of Blended Cement Paste.* Thailand: Suranaree University of Technology
- Meliala, Shandy.** 2010. *Pemanfaatan Abu Sawit Sebagai Campuran Semen Pada Pembuatan Mortar.* Medan: Tugas Akhir Mahasiswa Universitas Sumatera Utara
- Novalina, Tetty.** 2007. *Kapur Tohor Dan Abu Sawit Sebagai Bahan Tambah Atau Substitusi Semen Pada Mortar.* Pekanbaru: Tugas Akhir Mahasiswa Universitas Riau.
- Olivia, Monita.** 2005. *Pemanfaatan Abu Sawit Sebagai Bahan Tambah Pada Beton.* Pekanbaru: Jurnal Sains dan Teknologi, Vol 4 No.1 Maret 2005: 10-15.
- Ouleslati, O. 2011.** *The Effect of SCMs on The Corrosion of Rebar Embedded in Mortars Subjected to an Acetic Acid Attack.* Canada: The University of Laval.
- Rosanti, Ade Meily.** 2011. *Pengaruh Penggunaan Air Gambut Tembilahan terhadap Kuat Tekan Beton.* Pekanbaru: Tugas Akhir Mahasiswa Universitas Riau
- Safiuddin, Md.** 2011. Utilization of Palm Oil Fuel Ash in Concrete. Malaysia: University of Waterloo
- Sata, Vanchai.** 2005. *Influence of Pozzolan From Various By-Product Materials on Mechanical Properties of High-Strength Concrete.* Thailand: The University of North Eastern.
- Song, Xiujiang.** 2007. *Development and Performance of Class F Fly Ash Based Geopolymer Concretes against Sulphuric Acid Attack.* Australia: The University of New South Wales.
- Tangchirapat.** 2009. *Use Of Palm Oil Fuel Ash As a Supplementary Cementitious Material For Producing High-Strength Concrete.* Thailand University of Technology Thonburi