

KUAT TEKAN DAN WAKTU IKAT BETON ABU TERBANG DI AIR GAMBUT DENGAN METODE STATIS DAN METODE WET-DRY

Zulfario Anugrah Pratama¹⁾, Monita Olivia.²⁾, Iskandar Romey Sitompul²⁾

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

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

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

Email: zulfario.anugrahpratama@student.unri.ac.id

ABSTRACT

This study examines effect of peat water to the setting time and compressive strength of PCC concrete, and PCC fly ash concrete (PCC-FA). In this study, fly ash was used to replace 25% of weight of cement. This specimen was designed to have the compressive strength of 28 MPa at 28 days. All specimens were cured with two different curing system, static and wet-dry system. The concrete sample were cured continuously on peat water for 7 and 28 days. While on wet-dry system, the samples were cured by turns wet (soaked on peat water) and dry for 7 and 28 days. Peat water had a pH value of 3.0-5.0. The results showed that the addition of fly ash was able to extend the final setting time from 113 minutes to 208 minutes. The compressive strength of PCC (static), PCC-FA (static), and PCC-FA (wet-dry) were increased at 28 days immersion in peat water with each increase of 7.24%, 20.45% and 12.89%, respectively. While the compressive strength of PCC concrete (wet-dry) was decreased at 28 days immersion in peat water with a decrease of 4.31%. Based on the test results, it was concluded that the wet-dry cycle adversely affected the concrete strength; however, fly ash addition in the mixture can increase the concrete resistance from the wet-dry cycle.

Keywords: Fly Ash Concrete, Fly Ash, Wet-Dry, Setting Time, Compressive Strength, Peat Water, PCC

1. PENDAHULUAN

Provinsi Riau memiliki lahan gambut terluas di Indonesia, yaitu sebesar 15.932.438 hektar (Badan Restorasi Gambut, 2016). Beberapa sungai di Provinsi Riau memiliki panjang lebih dari 300 km membuat genangan air di lahan tersebut dipengaruhi arus dari sungai membuat lahan tersebut di kategorikan ke dalam rawa pasang surut.

Keadaan pasang surut membuat beton sebagai salah satu material konstruksi mengalami siklus pembasan dan pengeringan yang berulang-ulang. Lahan

gambut di Provinsi Riau memiliki pH yang rendah, membuat air menjadi asam (Ashari,2012). Menurut *Cement Concrete and Aggregates Australia* (2002), serangan asam akan lebih intensif terjadi pada beton yang terkena siklus pembasahan dan pengeringan dibandingkan dengan beton yang terus menerus terendam.

Beton yang mengalami perendaman terus-menerus juga dapat menurunkan kualitas dari beton tersebut. Olivia, et al (2017) menunjukkan bahwa beton yang berada di lingkungan gambut akan

mengalami penurunan kuat tekan dan meningkatnya porositas.

Salah satu cara untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menambah bahan tambah yang bersifat *pozzolan*. Pada penelitian Olivia, et al (2015) menyimpulkan bahwa beton yang menggunakan semen *pozzolan* (PCC) atau menambahkan bahan tambah yang bersifat *pozzolan* menunjukkan ketahanan yang lebih baik di lingkungan gambut dari pada beton yang menggunakan semen OPC. Salah satu bahan tambah yang bersifat *pozzolan* yang sering digunakan adalah abu terbang.

Pada penelitian sebelumnya penggunaan abu terbang dapat berdampak positif pada beton yang direndam secara terus menerus (statis) di lingkungan gambut. Penelitian mengenai perendaman yang mengalami siklus pembasahan dan pengeringan (*wet-dry*) belum pernah diteliti di lingkungan gambut. Penelitian mengenai siklus *wet-dry* tersebut baru diteliti pada lingkungan yang mengalami pasang surut air laut dan mengalami serangan sulfat. Li, et al (2019) menunjukkan bahwa Serangan sulfat pada siklus kering basah mengakibatkan beton mengalami penurunan kuat tekan dan kehilangan berat.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Abu Terbang

Beton abu terbang termasuk ke dalam kategori beton campuran, di mana penggunaan semen yang digunakan sebanyak 60-80% saja dan sisanya dapat digantikan dengan berbagai bahan tambah.

Bahan tambah menurut Standard *Definitions of Terminology Relating to Concrete and Concrete Agregat* (ASTM C.125-15b) adalah material yang

digunakan selain agregat, air dan semen hidrolik yang dicampurkan ke dalam beton yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung. Menurut Mulyono (2004), bahan tambah dapat memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton, dapat mempermudah pekerjaan, mempercepat pengerasan, menambah kuat tekan, penghematan, ataupun untuk tujuan lainnya.

Pada lingkungan gambut, penambahan bahan tambah yang paling cocok adalah bahan tambah yang memiliki sifat *pozzolanik* yang dapat bereaksi dengan kapur dan memiliki kemampuan mengikat. Menurut Neville & Brooks (2010), abu terbang memiliki sifat *pozzolanik*, di mana ukuran partikel abu terbang yang halus dapat bereaksi dengan kapur yang disertai dengan air sehingga menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat.

Pada penelitian Wardani (2008) menyatakan bahwa penggunaan abu terbang hingga 30% dapat menambah daya tahan dan ketahanan beton terhadap bahan kimia. Pernyataan tersebut juga diperkuat oleh penelitian Mehta (2004) yang menyatakan bahwa penggunaan abu terbang sebanyak 25-35% dapat meningkatkan ketahanan beton terhadap asam sulfat.

2.2 Beton Terpapar Air Gambut

Lingkungan gambut merupakan salah satu lingkungan yang agresif terhadap beton, beton sangat rentan terhadap serangan asam yang terjadi. Neville & Brooks (2010) menyatakan bahwa tidak ada semen Portland yang tahan terhadap serangan asam. Semakin tinggi derajat keasaman maka akan sejalan dengan serangan asam yang terjadi

terhadap beton, yang mempercepat kerusakan pada beton.

Asam dapat merusak beton dengan cara mengurai $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pada pasta semen, kemudian menghancurkan struktur kristal dan menyisakan residu yang tidak bermanfaat pada kekuatan beton. Kemudian secara bertahap beton mengalami kerusakan dan penurunan kuat tekan yang mengakibatkan kurangnya masa layan struktur beton (Zivica & Bajza, 2001).

2.3 Siklus Wetting-Drying

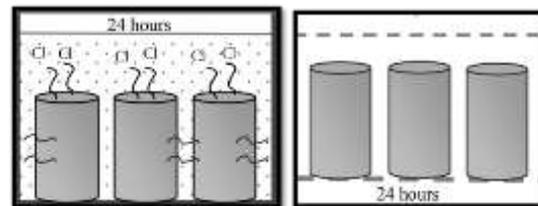
Siklus wetting-drying merupakan sebuah siklus yang mengalami pembasahan dan pengeringan yang terjadi secara berulang-ulang oleh air, di mana material akan mengalami kondisi basah karena terendam oleh air dan mengalami kondisi kering karena terpapar oleh sinar matahari.

Mekanisme siklus basah kering berdampak pada kecepatan masuknya senyawa organik tersebut ke dalam beton. Mekanisme yang terjadi pada siklus ini tidak hanya mekanisme difusi (berpindahnya suatu zat dari konsentrasi tinggi ke bagian konsentrasi rendah) melainkan terjadi juga mekanisme konveksi (perpindahan panas) dan absorpsi (ion memasuki fase ruah, cair atau padat). Struktur beton yang mengalami percikan, pasang surut atau zona fluktuasi akan mengalami dampak gabungan dari serangan sulfat dan siklus kering basah yang lebih serius dari pada yang hanya terendam di larutan sulfat (Mehta, 2000).

Durasi basah dan kering pada suatu lingkungan berbeda satu dengan yang lainnya. Untuk beton yang berada pada kondisi percikan, waktu kering relatif lebih besar dibandingkan dengan waktu basah.

Sedangkan pada beton yang waktu keringnya sama atau kurang dari waktu basah dapat dikategorikan masuk ke dalam kondisi terendam sempurna (*fully submerged*) karena kondisi struktur secara keseluruhan tidak berbeda dengan kondisi *fully submerged*.

Silitonga (2011) meneliti beton yang terkena siklus pembasahan dan pengeringan pada air larutan sulfat dengan menggunakan siklus 24 jam kering dan 24 jam basah. Olivia (2011) juga meneliti skema pembasahan dan pengeringan beton yang dipercepat menjadi 24 jam basah dan 24 jam kering.



Gambar 1. Skema *Wet-Dry*

Sumber : Olivia (2011)

2.4 Bahan Penyusun Beton Abu Terbang

2.4.1 Abu Terbang

Abu terbang merupakan limbah hasil dari pembakaran batubara. Proses pembakaran batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) akan menghasilkan dua jenis abu yaitu abu terbang dan abu dasar (Umboh, et al, 2014). Abu terbang berbentuk partikel halus, bersifat *pozzolan*, banyak mengandung silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3), namun sangat sedikit mengandung kalsium (CaO). *Pozzolan* dapat digunakan sebagai bahan tambah atau sebagai pengganti sebagian semen portland. Bila digunakan sebagai pengganti sebagian semen Portland umumnya kandungan *pozzolan* yang

digunakan berkisar antara 10 sampai 25% dari berat semen (Tjokrodinuljo, 1996).

Dalam SK SNI S-15-1990-F spesifikasi abu terbang sebagai bahan tambahan untuk campuran beton disebutkan ada 3 jenis abu terbang, yaitu :

- a. Abu terbang kelas F, adalah abu terbang yang dihasilkan dari pembakaran batubara, jenis antrasit pada suhu 1560 °C.
- b. Abu terbang kelas N, adalah hasil kalsinasi dari pozolan alam seperti tanah *diatonocce*, *shale* (serpih), *tuft*, dan batu apung.
- c. Abu terbang kelas C adalah abu terbang yang dihasilkan dari pembakaran limit atau batubara dengan kadar karbon kurang lebih 60 %. Abu terbang ini mempunyai sifat pozolan dan sifat seperti semen dengan kadar kapur di atas 10 %.

Pada penelitian ini penggunaan abu terbang digunakan sebagai pengganti sebagian semen sebesar 25% dari berat semen.

2.4.2 Agregat

Agregat merupakan material granular seperti pasir, kerikil atau batu pecah yang sering dipakai secara Bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu semen hidrolik atau adukan.

Kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton karena agregat merupakan material penyusun beton yang komposisinya cukup besar yaitu 60-70% dari berat campuran beton keseluruhan. Sifat-sifat yang signifikan pada agregat adalah kadar air, penyerapan air, porositas, kepadatan, keausan dan kandungan organik yang memberi pengaruh terhadap kekuatan serta ketahanan beton.

Agregat yang digunakan pada campuran beton terbagi dua, yaitu agregat alam dan agregat buatan. Sedangkan secara ukuran, agregat dapat dibedakan menjadi dua bagian pula yaitu agregat halus dan agregat kasar. Agregat halus adalah agregat yang ukuran butirnya lebih kecil dari 4,80 mm (British Standard) atau 4,75 mm (Standar ASTM). Agregat kasar adalah agregat yang ukuran butirnya lebih besar dari 4,80 mm (British Standard) atau 4,75 mm (Standar ASTM).

2.4.3 Semen Portland

Menurut SNI 03-2847-2002 semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen yang terdiri dari kalsium silikat dengan bahan tambah lain. Semen Portland dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang akan mempunyai kekuatan seperti batu. Berat jenis nya berkisar antara 3,12 dan 3,16 dan berat volume satu sak semen adalah 94 lb/ft³ (Nawy, 1989).

Adapun bahan baku pembentuk semen adalah kapur (CaO), silika (SiO₂) dan alumina (Al²O³) dari lempung

Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen PCC, lebih mudah didapatkan karena tersedia di pasaran. Semen PCC juga lebih mudah dikerjakan, kedap air, tahan terhadap sulfat dan tidak mudah retak. Olivia, et al, (2015) menunjukkan bahwa beton yang menggunakan semen PCC memiliki ketahanan yang lebih baik dari beton yang menggunakan semen OPC di air gambut.

2.4.4 Air

Air adalah material yang sangat diperlukan dalam pembuatan beton. Air diperlukan dalam pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya. Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan-bahan kimia lain, bila dipakai untuk campuran beton akan sangat menurunkan kekuatannya dan dapat juga mengubah sifat-sifat semen. Selain itu, air yang demikian dapat mengurangi afinitas antara agregat dengan pasta semen dan mungkin pula mempengaruhi kemudahan pengerjaan (Nawy, 2001).

Karena karakter pasta semen merupakan hasil reaksi kimiawi antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total (semen ditambah agregat halus ditambah agregat kasar) material yang menentukan, melainkan hanya perbandingan antara air dan semen pada campuran yang menentukan. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai. Sebagai akibatnya beton yang dihasilkan akan kurang kekuatannya (Nawy, 2001).

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pemeriksaan Material

Pemeriksaan material yang dilakukan terdiri dari pemeriksaan karakteristik agregat kasar dan halus serta komposisi kimia abu terbang. Material seperti agregat kasar, agregat halus dan air

gambut berasal dari Kabupaten Kampar, Riau. Sedangkan abu terbang berasal dari PLTU, Ombilin, Padang.

Pemeriksaan agregat kasar dan halus dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan, Teknik Sipil, Universitas Riau. Air gambut diuji karakteristik di Badan Riset dan Standarisasi (BARISTAND), Padang. Sedangkan pemeriksaan abu terbang dilakukan di Sucofindo, Pekanbaru.

3.2 Perencanaan dan Pembuatan Sampel

Perencanaan campuran dilakukan dengan metode ACI 318 dengan kuat tekan rencana 28 MPa. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini berbentuk silinder kecil berukuran diameter 105 mm dengan tinggi 210 mm untuk pengujian kuat tekan. Sedangkan untuk pengujian waktu ikat menggunakan campuran pasta beton segar tanpa perlu cetakan.

3.3 Pengujian Kuat Tekan

Menurut SNI-1974-2011 kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin uji tekan beton dapat dihitung :

$$f_c = \frac{P}{A} \quad \dots\dots (1)$$

di mana:

- f_c = kuat tekan (MPa)
- P = beban maksimum (N)
- A = luas penampang (mm^2)

3.4 Pengujian Waktu Ikat

Menurut SNI 15-2049-2004 waktu ikat pada pasta semen ada dua macam, yaitu waktu ikat awal dan waktu ikat akhir.

Waktu ikat awal adalah waktu yang dibutuhkan campuran semen dan air sampai kehilangan sifat keplastisannya, sedangkan waktu ikat akhir adalah waktu yang dibutuhkan pasta semen untuk menjadi massa yang keras. Waktu ikat akhir awal menurut SNI minimum 45 menit sedangkan waktu ikat akhir maksimum 360 menit.

Waktu ikat pasta semen dipengaruhi oleh jumlah air yang dipakai dan lingkungan sekitarnya. Diperlukan kondisi suhu stabil atau ruang agar hasil yang didapat lebih tepat.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Abu Terbang

Data hasil pemeriksaan karakteristik abu terbang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia *Fly Ash*

No	Unsur	Hasil (%)
1	SiO ₂	59,25
2	Al ₂ O ₃	29,25
3	Fe ₂ O ₃	5,45
4	MgO	0,31
5	CaO	1,54
6	Na ₂ O	0,68
7	P ₂ O ₅	0,04
8	SO ₃	0,29
9	LOI	18,98

Sumber: Sucofindo Pekanbaru (2018)

Berdasarkan data analisa abu terbang pada Tabel 1, maka abu terbang yang digunakan tergolong pada kelas F. Hal ini sesuai dengan ASTM C 618 tentang klasifikasi abu terbang, dengan kadar SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ lebih dari 70% dan kadar SO₃ maksimum 5%. Kadar CaO pada abu terbang kurang dari 10%, hal ini menjelaskan bahwa abu terbang tersebut tergolong rendah kalsium.

4.2 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Data hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar dan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Karakteristik Agregat Kasar

No	Pengujian	Hasil	Spesifikasi
1	Berat jenis (gr/cm ³)	2,70	2,58 - 2,83
	a. <i>Apparent Specific Gravity</i>		
	b. <i>Bulk Specific Gravity on dry</i>	2,54	2,58 - 2,83
	c. <i>Bulk Specific Gravity on SSD</i>	2,60	2,58 - 2,83
	d. <i>Absorption</i> (%)	2,30	2 - 7
2	Keausan (%)	40,7	<40
3	Kadar air	1,80	3,0 - 5,0
4	Modulus kehalusan	7,65	5,0 - 8,0
5	Berat Volume (gr/cm ³)	1,30	1,4 - 1,9
	Kondisi Gembur		
	Kondisi Padat	1,42	1,4 - 1,9

Berdasarkan data hasil pengujian agregat kasar pada Tabel 2, berat jenis yang digunakan untuk pembuatan beton adalah *bulk specific gravity* atau kondisi jenuh permukaan kering (*SSD*). Hasil pengujian menunjukkan berat jenis kerikil adalah 2,60 gr/cm³ dan sudah memenuhi standar yang ditentukan. Agregat kasar yang digunakan berada dalam kondisi jenuh permukaan kering (*SSD*) agar tidak mempengaruhi jumlah air dalam perencanaan campuran.

Tabel 3. Karakteristik Agregat Halus

No	Pengujian	Hasil	Spesifikasi
1	Berat jenis (gr/cm ³)	2,65	2,58 - 2,83
	e. <i>Apparent Specific Gravity</i>		
	f. <i>Bulk Specific Gravity on dry</i>	2,64	2,58 - 2,83
	g. <i>Bulk Specific Gravity</i>	2,65	2,58 - 2,83

No	Pengujian	Hasil	Spesifikasi
	<i>Gravity on SSD</i> <i>h. Absorption(%)</i>	0,20	2 – 7
2	Kadar lumpur	0,85	<5
3	Kadar air	2,20	3,0 - 5,0
4	Modulus kehalusan	2,94	1,5 - 3,8
5	Berat Volume (gr/cm ³)		
	Kondisi Gembur	1,63	1,4 - 1,9
	Kondisi Padat	1,72	1,4 - 1,9

Berdasarkan data hasil pengujian agregat halus pada Tabel 3, berat jenis yang digunakan untuk pembuatan beton adalah *bulk specific gravity* dan berada dalam kondisi jenuh permukaan kering (*SSD*). Hasil pengujian menunjukkan berat jenis pasir sebesar 2,65 gr/cm³ dan sudah memenuhi standar yang ditentukan. Agregat halus yang digunakan berada dalam kondisi jenuh permukaan kering (*SSD*) agar tidak mempengaruhi jumlah air dalam perencanaan campuran.

4.3 Hasil Pengujian Waktu Ikut

Pada penelitian ini dilakukan pengujian waktu ikat pada suhu ruang. Komposisi yang digunakan pada pembuatan pasta memiliki perbandingan yang sama dengan komposisi pembuatan benda uji mortar namun tidak menggunakan agregat halus. Hasil pengujian waktu ikat pasta semen PCC dan PCC-FA menggunakan air biasa ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Waktu Ikut

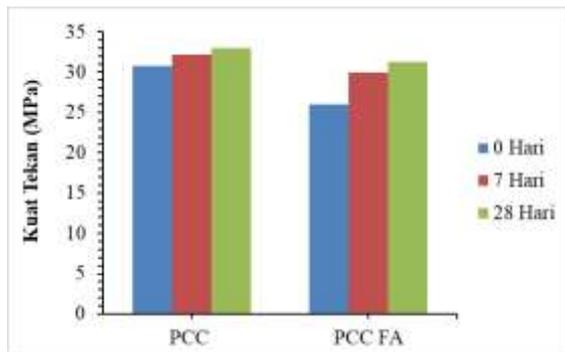
Waktu (menit)	Jenis Pasta Semen	
	PCC	PCC-FA
Initial Setting Time	65	130
Final Setting Time	113	208

Hasil pada Tabel 4 menunjukkan bahwa pasta semen PCC-FA mempunyai waktu

ikat yang lebih lama dibandingkan pasta semen PCC. Hasil waktu ikat awal adalah 113 menit dan waktu ikat akhir adalah 208 menit. Pasta semen PCC memiliki waktu ikat awal 65 menit dan waktu ikat akhir 130 menit. Penundaan *setting time* pada penggunaan FA ini disebabkan oleh lambatnya reaksi pozzolanik yang terjadi antara Ca(OH)₂ hasil hidrasi semen dengan SiO₂ yang terkandung dalam FA. Hal ini juga disampaikan oleh Afrian (2017) di mana hasil penelitiannya menunjukkan pemakaian pozzolan 10% dapat memperlambat waktu ikat dibandingkan dengan beton tanpa pozzolan. Selain itu, waktu ikat juga dipengaruhi oleh suhu sekitar. Semakin tinggi suhu sekitar akan semakin cepat terjadinya pengerasan. Hasil pengujian waktu ikat pada Tabel 3 masih memenuhi standar SNI 15-2049-2004, yakni waktu ikat awal lebih besar dari 45 menit dan waktu ikat akhir tidak lebih besar dari 360 menit.

4.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan

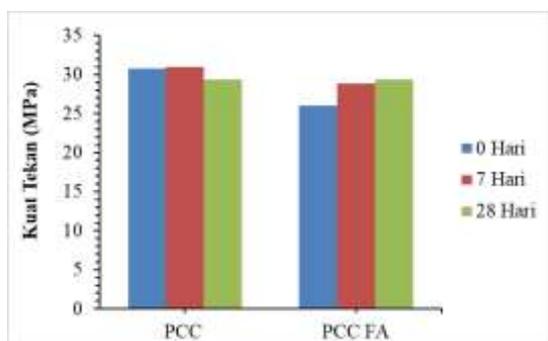
Pada penelitian ini beton PCC dan PCC-FA dilakukan perawatan di dalam air biasa selama 28 hari. Setelah itu beton direndam di air gambut menggunakan dua metode perendaman, yaitu perendaman statis dan perendaman *wet-dry*, masing-masing selama 7 dan 28. Setelah perendaman selesai, beton diuji kuat tekan pada masing-masing umur pengujian.



Gambar 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Sebelum dan Setelah direndam di Air Gambut dengan Menggunakan Metode Statis

Hasil Pengujian pada Gambar 2 menunjukkan perubahan kuat tekan beton PCC dan beton PCC-FA sebelum dan setelah perendaman di air gambut menggunakan metode statis. Secara umum dapat dilihat bahwa kuat tekan beton PCC dan PCC-FA mengalami peningkatan kuat tekan seiring penambahan umur perendaman di air gambut, masing masing sebesar 7,24% dan 20,45%.

Peningkatan kuat tekan disebabkan karena pozzolan yang dikandung semen PCC dan abu terbang dapat mereduksi kapur bebas (Ca(OH)_2) dari hasil hidrasi dan menghasilkan C-S-H, sehingga mampu mencegah kerusakan beton lebih lanjut akibat serangan asam pada air gambut (Goyal *et al.* 2009).



Gambar 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Sebelum dan Setelah direndam di

Air Gambut dengan Menggunakan Metode *Wet-Dry*

Hasil Pengujian pada Gambar 3 menunjukkan perubahan kuat tekan beton PCC dan beton PCC-FA sebelum dan setelah perendaman di air gambut menggunakan metode *wet-dry*. Secara umum dapat dilihat bahwa kuat tekan beton PCC mengalami peningkatan di umur 7 hari kemudian mengalami penurunan di umur 28 hari perendaman di air gambut sebesar 12,89%, sedangkan kuat tekan beton PCC-FA mengalami peningkatan di umur 28 hari perendaman di air gambut sebesar 4,31%.

Siklus *wet-dry* mengakibatkan bertambahnya kecepatan serangan asam yang terjadi pada beton yang membuat beton menjadi lebih rapuh. Hal itu disebabkan karena untuk mendapatkan kekuatan 100% dari beton PCC dibutuhkan waktu yang relatif lama. Hal itu membuat beton yang belum mencapai kekuatan penuhnya sudah mendapatkan perilaku yang dapat mengganggu proses dari hidrasi yang terjadi pada beton. Pada umur 29 hari perendaman atau 1 hari perendaman di air gambut beton sudah mengalami gangguan berupa pengeringan dan pembasahan secara berulang-ulang yang berakibat rusaknya struktur pada beton.

Peningkatan kuat tekan beton PCC-FA disebabkan karena abu terbang dapat mengoptimalkan struktur pori dari beton yang mengakibatkan peningkatan daya tahan terhadap siklus kering basah dibanding beton yang tidak menggunakan abu terbang (Li *et al.*, 2019). Peningkatan daya tahan terhadap siklus kering basah yang membuat beton

PCC-FA dapat bertahan lebih lama dibandingkan beton PCC.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian berupa waktu ikat dan kuat tekan beton normal (PCC) sebagai beton control dan beton substitusi abu terbang sebanyak 25% (PCC-FA) yang direndam di air gambut dengan menggunakan metode statis dan *wet-dry* maka diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Setting time (waktu ikat) semen PCC-FA lebih lama dari pada semen PCC. Initial setting time (waktu ikat awal) semen PCC-FA adalah 130 Menit sedangkan semen PCC yakni 65 Menit. Final setting time (waktu ikat akhir) semen PCC-FA adalah 208 menit sedangkan semen PCC yakni 113 menit. Kedua jenis campuran menunjukkan setting time yang memenuhi syarat yang ada pada SNI 15-2049-2004, yakni waktu ikat awal lebih besar dari 45 menit dan waktu ikat akhir tidak lebih besar dari 360 menit.
2. Kuat tekan beton PCC (statis), PCC-FA (statis), dan PCC-FA (*wet-dry*) mengalami peningkatan di umur 28 hari perendaman di air gambut dengan masing masing peningkatan sebesar 7,24%, 20,45% dan 12,89% sedangkan kuat tekan beton PCC (*wet-dry*) mengalami penurunan di umur 28 hari perendaman di air gambut dengan penurunan sebesar 4,31%.
3. Siklus *wet-dry* dapat memperparah kerusakan dari beton. Hal ini dibuktikan dengan kuat tekan beton PCC (*wet-dry*) yang mengalami

penurunan di umur 28 hari perendaman di air gambut.

4. Abu terbang dalam jumlah tertentu dapat mengurangi dampak kerusakan yang terjadi pada beton yang mengalami siklus *wet-dry*. Hal ini dibuktikan dengan kuat tekan beton PCC-FA (*wet-dry*) yang tetap mengalami kenaikan kuat tekan di umur 28 hari perendaman di air gambut.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian tersebut maka peneliti memberikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan menggunakan jenis abu terbang yang berbeda dari PLTU lain.
2. Perlu dilakukan penambahan umur perendaman untuk mengetahui pengaruh asam dan abu terbang lebih lanjut terhadap ketahanan beton substitusi abu terbang di air gambut.
3. Perlu dilakukan penambahan variasi persentase substitusi abu terbang untuk mendapatkan hasil yang maksimal dari pengaruh abu terbang pada beton di lingkungan gambut yang mengalami siklus *wet-dry*.
4. Perlu penelitian lebih lanjut apabila benda uji direndam secara langsung di lingkungan gambut.

6. DAFTAR PUSTAKA

- ACI 318. (2008). *Building Code Requirements for Structural Concrete*.
- Ashari, F. (2012). Variasi Ketebalan Lapisan dan Ukuran Butiran Media Penyaringan pada Biosand Filter

- untuk Pengolahan Air Gambut. *Tugas Akhir*.
- ASTM C 618. (2005). *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*.
- ASTM C125-15b. (2015). *Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*. ASTM Int.
- Cement Concrete and Aggregates Australia. (2002). *Drying Shrinkage of Cement and Concrete*. Sydney: CCAA OFFICES.
- Goyal, S., Kumar, M., Sidhu, D. S., & Bhattacharjee, B. (2009). Resistance of mineral admixture concrete to acid attack. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 273-283.
- Li, Y., Shi, T., Li, Y., Bai, W., & Lin, H. (2019). Damage of Magnesium Potassium Phosphate Cement Under Dry and Wet Cycles and Sulfate Attack. *Construction and Building Materials*, 111-117.
- Mehta, P. K. (2000). Sulfate attack on concrete separating myths from reality. *Concrete International* 22.8, 57-61.
- Mehta, P. K. (2004). High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete for Sustainable Development. *Proceedings of the International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*, (pp. 3-14).
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Nawy, E. G. (2001). *Beton Prategang : Suatu Pendekatan Mendasar Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). *Concrete Technologi*. Harlow: Pearson Education Limited.
- Olivia, M., & Nikraz, H. (2011). Properties of Fly Ash Geopolymer Concrete Designed by Taguchi Method. *Materials and Design*, 36, 191-198.
- Olivia, M., Darmayanti, L., Kamaldi, A., & Djauhari, Z. (2015). Kuat Tekan Beton dengan Semen Campur Limbah Agro-Industri di Lingkungan Asam. *Prosiding 2nd Andalas Civil Engineering National Conference*, (pp. 306-312). Padang.
- Olivia, M., Ismeddiyanto, Wibisono, G., & Sitompul, I. R. (2017). Early age compressive strength, porosity, and sorptivity of concrete using peat water to produce and cure concrete. *AIP Conference Proceedings (Vol. 1887, No. 1, p. 020027)*. AIP Publishing.
- Silitonga, D. (2011). Pengaruh Pemakaian Portland Composite Cement (PCC) Terhadap Ketahanan Sulfat Pada Self Compacting Concrete (SCC). SNI 03-2847-2002. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 15-2049-2004. (2004). *Sement Portland*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI-1974-2011. (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Tjokrodinuljo, K. (1996). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada.

- Umboh, A. H., Sumajouw, M. D., & Windah, R. S. (2014). Pengaruh Pemanfaatan Abu Tebang (Fly Ash) dari PLTU Sulawesi Utara sebagai Substitusi Parsial Semen terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Sipil Statik Vol.2 No.7*, 352-358.
- Wardani, S. P. (2008). Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan. 1-71.
- Zivica, V., & Bajza, A. (2001). Acidic attack of cement based materials - a review . Part 1 . Principle of acidic attack. *Construction and Building Materials*, 15.