

# KUAT TEKAN DAN *SORPTIVITY* BETON ABU TERBANG DENGAN PERAWATAN *WET-DRY* DI AIR GAMBUT

Fitri Amelia<sup>1)</sup>, Monita Olivia<sup>2)</sup>, Iskandar Romey Sitompul<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

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

Email : [fitri.ameliafitri@student.unri.ac.id](mailto:fitri.ameliafitri@student.unri.ac.id)

## ABSTRACT

*This study examines the compressive strength and sorptivity of PCC concrete and PCC-FA concrete subjected to the exposure of peat water. The specimens were treated with two different, namely static and wet-dry exposure. In the static exposure, the sample were cured continuously in the peat water at the age of 7 and 28 days. In the wet-dry exposure, the samples were put in the cycles of wet and dry during the curing by using peat water. Fly ash was used to increase the compressive strength and sorptivity of concrete during wet-dry cycles immersion since the wet-dry cycle in peat water is considered as the worst environmental condition that can affect the strength of concrete. The compressive strength of PCC (static), PCC-FA (static) and PCC-FA (wet-dry) were increased at 28 days immersion in peat water, respectively by 7.24%, 20.45% and 12.89%. The compressive strength of PCC (wet-dry) decreased at 28 days immersion in peat water by 4.31%. The sorptivity was inversely proportional to the results of compressive strength. Based on the test results, it was concluded that the use of fly ash in concrete that experiences a wet-dry constant state could improve the quality of concrete if immersed in peat water.*

*Keywords : Fly ash concrete, fly ash, wet-dry cycles, peat water, PCC.*

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang termasuk ke dalam urutan negara yang memiliki lahan gambut terluas, yaitu sebesar 15.932.438 ha. Provinsi Riau merupakan wilayah di Indonesia yang memiliki lahan gambut terluas. Berdasarkan Badan Restorasi Gambut (2016), luas lahan gambut di Provinsi Riau sebesar 3.856.751 ha. Lahan gambut di Provinsi Riau sebagian besar merupakan lahan pasang surut. Luas lahan pasang surut di Provinsi Riau tidak kurang dari 61,60% dari luas wilayah Provinsi Riau secara keseluruhan (Rosmimi, Tabrani, & Suseno, 2003).

Lahan pasang surut merupakan lahan yang terletak pada topografi datar, sehingga lahan pasang surut gambut sering terluapi dan tergenang air secara berkala (Ar-Riza & Alkasuma, 2008). Pada lahan ini, terjadi siklus pembasahan dan pengeringan yang terjadi berulang-ulang sesuai dengan musimnya. Menurut Cement Concrete & Aggregates Australia (2002) serangan asam lebih intensif terjadi pada beton yang terkena siklus pembasahan dan pengeringan dari pada beton yang terus menerus tenggelam dalam larutan asam.

Lingkungan asam mengakibatkan kerusakan beton secara perlahan-lahan dengan terjadinya pelepasan butiran-

butiran partikel beton mulai dari tepi dan sudut beton sehingga menjadi keropos (Purba, 2007). Beton keropos akan mengakibatkan ikatan antara pasta beton dengan agregat akan semakin berkurang sehingga terjadi penurunan kuat tekan beton (Pandiangan, Olivia, & Darmayanti, 2014).

Untuk peningkatan ketahanan beton yang terserang asam gambut dapat ditambahkan material pozzolan seperti abu terbang (Wiyono, Vianthi, & Hardjito, 2006). Abu terbang merupakan limbah hasil pembakaran dari batubara dan jika tidak diolah maka akan dapat mencemari lingkungan. Salah satu cara mengolah abu terbang dari hasil pembakaran batu bara tersebut biasanya didaur ulang sebagai bahan tambahan di dalam campuran beton (Punusingon, Handono, & Pandaleke, 2019).

Beton dengan bahan tambah abu terbang memiliki sifat ketahanan larutan asam sulfat yang cukup baik dari pada beton normal (Y. Li et al, 2019). Pada penelitian yang dilakukan Suarnita (2011) menyatakan penggunaan abu terbang sebanyak 25% pada umur 28 hari mendapatkan hasil kuat tekan paling besar dengan hasil kuat tekan sebesar 37,25 MPa. Namun untuk beton dengan variasi campuran abu terbang 25% dari berat semen PCC di lingkungan gambut yang dipengaruhi oleh siklus *wet-dry* gambut belum pernah diteliti.

## **2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Beton Abu Terbang**

Perkembangan teknologi beton dalam beberapa eksperimen telah banyak dilakukan sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas beton, salah satunya adalah dengan penambahan abu

terbang. Beton abu terbang merupakan beton dengan penambahan atau penggantian sebagian semen yang diharapkan dapat meningkatkan kuat tekan. Abu terbang memiliki sifat *pozzolan* yaitu partikel dari abu terbang dengan campuran air akan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat seperti layaknya semen.

Penggunaan sebagian semen dengan abu terbang dapat meningkatkan kuat tekan beton di air gambut. Penelitian oleh Frenki (2018) menyatakan bahwa beton dengan substitusi abu terbang 25% menghasilkan kuat tekan lebih rendah daripada beton normal pada umur 28 hari *curing*, namun beton abu terbang mengalami peningkatan sebesar 8,81% setelah direndam di air gambut dan menghasilkan kuat tekan lebih tinggi daripada beton normal.

### **2.2 Lingkungan Gambut**

Lingkungan gambut merupakan lingkungan tanah organik dengan kadar air tinggi, daya dukung rendah, dan derajat keasaman yang tinggi. Salah satu asam dalam gambut adalah asam sulfat, yaitu senyawa yang terbentuk secara alam di permukaan tanah dan air tanah paling sering dijumpai di lingkungan sekitar serta agresifitasnya yang tinggi dibanding dengan asam lainnya (Song, 2007).

Lingkungan gambut yang memiliki kandungan asam sulfat dapat menyerang kalsium pada beton dan membentuk garam yang menyebabkan *leaching* produk hidrasi beton, meningkatkan porositas, serta dapat menurunkan kekuatan beton. Derajat keasaman yang terkandung dari air gambut dapat menimbulkan masalah korosi pada bahan konstruksi seperti beton (Hutapea, 2014). Kuat tekan pada beton

OPC yang direndam di dalam air gambut semakin berkurang seiring bertambahnya umur beton (Pandiangan et al., 2014).

### 2.3 Beton di Lingkungan Gambut

Salah satu serangan yang dapat dikatakan paling agresif adalah serangan dari zat asam sulfat karena dapat menyebabkan kerusakan beton dan ketahanan struktur beton dalam jangka panjang. Kuat tekan pada beton OPC yang direndam di dalam air gambut semakin berkurang seiring bertambahnya umur beton (Pandiangan, Olivia, & Darmayanti, 2014).

Penelitian yang dilakukan Sinaturi, Olivia, & Saputra (2017) menyatakan bahwa beton dengan penggunaan semen PCC lebih tahan di air gambut dengan mendapatkan hasil kuat lebih tinggi pada umur 28 hari dikarenakan semen PCC merupakan semen yang digunakan untuk pengerjaan yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

### 2.4 Siklus Wet-Dry

Siklus *wet-dry* merupakan sebuah siklus yang mengalami keadaan pembasahan dan pengeringan oleh air secara berkala, di mana material akan mengalami kondisi terendam air dan menjadi kering karena terpapar sinar matahari. Di lahan gambut permasalahan *wet-dry* ini terdapat di lahan pasang surut yang tergenang air saat musim penghujan dan kering dimusim kemarau. Keadaan basah kering ini dianggap sebagai kondisi lingkungan terburuk yang dapat mempengaruhi daya tahan beton.

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Pemeriksaan Material

Material yang digunakan adalah agregat kasar dan agregat halus berasal dari Kabupaten Kampar, Riau. Pegujian agregat kasar dan agregat halus yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Pemeriksaan Material

Jenis Pemeriksaan	Rujukan
Analisa Saringan	SNI 03-1968-1990
Berat Volume	SNI 03-4804-1998
Kadar Air	SNI 02-1971-1990
Ketahanan Aus Ag. Kasar	SNI 03-2417-1991
Berat Jenis Ag. Kasar	SNI 03-1969-1990
Berat Jenis Ag. Halus	SNI 03-1997-1990
Kadar Lumpur	SNI 2461-2014
Pemeriksaan Zat Organik	SNI 2816-2014

### 3.2 Perencanaan Dan Pembuatan Sampel

Perencanaan campuran beton (*mix design*) dilakukan untuk mengetahui besar komposisi seluruh bahan. Pada penelitian ini *mix design* beton dilakukan dengan menggunakan metode ACI 318-08. Kuat tekan rencana yang digunakan pada penelitian ini adalah 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 *sorptivity* menggunakan silinder dengan diameter 105 mm dan tinggi 105 mm.

### 3.3 Pengujian

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian kuat tekan

beton dan *sorptivity*. Pengujian dilakukan setelah benda uji direndam (curing) menggunakan air biasa selama 28 hari dan dilanjutkan dengan perendaman di air gambut selama 7 dan 28 hari. Perendaman dengan metode wet-dry dilakukan dengan cara merendam benda uji selama 24 jam di air gambut dan pengeringan benda uji selama 24 jam di suhu ruang. Proses ini dilakukan selama 7 dan 28 hari.

### 3.3.1 Pengujian Kuat Tekan

Menurut SNI 1974-2011 kuat tekan beton ( $f'_c$ ) adalah besarnya beban per satuan luas permukaan. Sampel beton diuji dengan cara dibebani gaya tekan tertentu hingga hancur, hasil pengujian akan terlihat pada mesin uji kuat tekan beton. Berikut rumus pengujian kuat tekan:

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dengan :

$f'_c$  = kuat tekan beton (N/mm<sup>2</sup> atau MPa)

P = beban tekan (N)

A = luas permukaan benda uji (mm<sup>2</sup>)

### 3.3.2 Pengujian *Sorptivity*

Pengujian *sorptivity* ini dilakukan berdasarkan ASTM C 1585-04. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kemampuan beton dalam menyerap air melalui satu bidang permukaan. Berikut rumus pengujian *sorptivity*:

$$I = C + s \cdot t^{0,5} \quad (2)$$

dengan:

I = Jumlah air persatuan luas (g/mm)

C = Konstanta

S = *Sorptivity* (mm/mm<sup>1/2</sup>)

t = akar waktu hisap (menit)

## 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.3 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar

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

Tabel 2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi
1	Modulus		
	Kehalusan	7,65	5,00 - 8,00
2	Berat Jenis		
	a. <i>Apparent Specific gravity</i>	2,70	2,58 - 2,83
	b. <i>Bulk Specific gravity</i> (kering)	2,54	2,58 - 2,83
	c. <i>Bulk Specific gravity</i> (ssd)	2,60	2,58 - 2,83
	d. <i>Absorption</i> (%)	2,30	2,00 - 7,00
3	Kadar Air (%)	1,80	<5,00
4	Berat Volume (gr/cm <sup>3</sup> )		
	a. Kondisi Padat	1,30	1,40 - 1,90
	b. Kondisi Gembur	1,42	1,40 - 1,90
5	Ketahanan Aus (%)	40,70	<40

Tabel 2 menunjukkan nilai modulus kehalusan agregat kasar yakni 7,65. Nilai ini sudah memenuhi standar spesifikasi yang ditentukan yaitu 5-8. Nilai berat jenis agregat kasar yang digunakan adalah *bulk specific gravity* kondisi jenuh permukaan kering (*SSD*) yaitu 2,60 gr/cm<sup>3</sup> yang sudah memenuhi standar yang ditentukan yaitu 2,58 – 2,83 gr/cm. Nilai ketahanan aus agregat kasar yang diperoleh sebesar 40,70% dan nilai ini belum sesuai standar yang ditentukan yaitu < 40%.

#### 4.4 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus

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

Tabel 3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi
1	Modulus Kehalusan	2,94	1,50 - 3,80
2	Berat Jenis		
	a. <i>Apparent Specific gravity</i>	2,65	2,58 -2,83
	b. <i>Bulk Specific gravity</i> (kering)	2,64	2,58 -2,83
	c. <i>Bulk Specific gravity</i> (ssd)	2,65	2,58 -2,83
	d. <i>Absorption</i> (%)	0,20	<2,00
3	Kadar Air (%)	2,20	<5,0
4	Berat Volume (gr/cm <sup>3</sup> )		
	a. Kondisi Padat	1,63	1,40 - 1,90
	b. Kondisi Gembur	1,72	1,40 - 1,90
5	Kadar Zat Organik	No.1	No.3
6	Kadar Lumpur	0,85	<5

Tabel 3 menunjukkan nilai modulus kehalusan, *bulk specific gravity* (SSD), *absorption*, dan kadar air secara berturut turut menunjukkan nilai 2,94, 2,64, 2,65, dan 0,20%. Nilai – nilai tersebut sudah memenuhi standar spesifikasi yang disyaratkan. Berat volume agregat halus pada kondisi padat adalah 1,63 gr/cm<sup>3</sup> dan kondisi gembur 1,72 gr/cm<sup>3</sup>, nilai ini sudah memenuhi standar spesifikasi. Kadar zat organik agregat halus ini berada pada No.3. Nilai ini memenuhi standar yakni ≤ No.3.

#### 4.5 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Abu Terbang

Tabel 4 Hasil Pengujian Abu Terbang

Parameter Uji	Satuan	Hasil Analisa
LOI	%	18,98
SiO <sub>2</sub>	%	59,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	29,25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	5,45
CaO	%	1,54
MgO	%	0,31
K <sub>2</sub> O	%	2,23
Na <sub>2</sub> O	%	0,68
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,04
SO <sub>3</sub>	%	0,29

Sumber : PT. Sucofindo Cabang Pekanbaru (2018)

Berdasarkan data analisa abu terbang pada Tabel 4 maka abu terbang yang digunakan tergolong pada kelas F. Hal ini sesuai dengan ASTM C 618 tentang klasifikasi abu terbang, dengan kadar SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lebih dari 70% dan kadar SO<sub>3</sub> maksimum 5%. Kadar CaO pada abu terbang kurang dari 10%, hal ini menjelaskan bahwa abu terbang tersebut tergolong rendah kalsium.

#### 4.6 Hasil Pemeriksaan Air Gambut

Data hasil pemeriksaan karakteristik air gambut dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Pemeriksaan Air Gambut

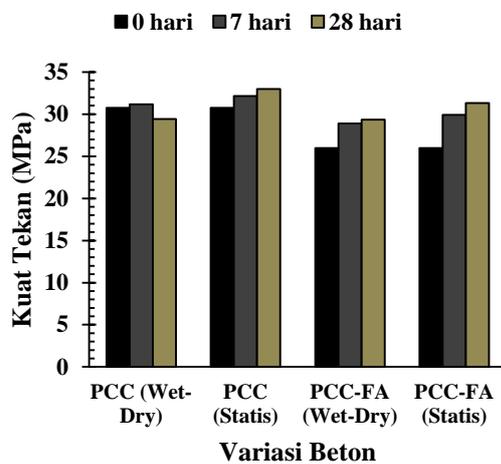
No	Parameter	Satuan	Hasil Uji
<b>A Fisika</b>			
1	Warna	Skala TCU	34,60
2	Kekeruhan	Skala TCU	15,90
3	Daya Listrik	Hantar µs/cm	7,46
<b>B Kimia Anorganik</b>			
1	pH	-	5,01
2	Zat Orgabik	mg/L	28,38

	sebagai $\text{KMnO}_4$		
3	Kesadahan	mg/L	4,59
4	Besi (sebagai logam terlarut)	mg/L	0,8845
5	Mangan (Sebagai logam terlarut)	mg/L	0,2321
6	Khlorida	mg/L	2,34
7	Sulfat	mg/L	68,20

Sumber : Balai Riset dan Standardisasi Industri Padang (2018)

Berdasarkan tabel di atas menunjukkan bahwa air gambut yang digunakan dalam penelitian ini memiliki nilai pH sebesar 5,01 dan memiliki sifat asam atau nilai  $\text{pH} < 7$ .

#### 4.7 Hasil Pengujian Kuat Tekan

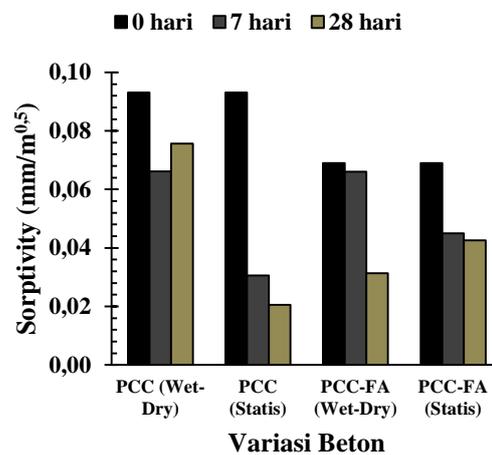


Gambar 1 Hasil Uji Kuat Tekan

Gambar 1 menunjukkan peningkatan kuat tekan beton PCC yang direndam dengan cara statis di air gambut sampai dengan 28 hari. Beton PCC mengalami peningkatan kekuatan seiring dengan lama perendaman sampai dengan 12,89%. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Olivia (2015), di mana beton PCC yang direndam di air gambut mengalami peningkatan kuat tekan terus menerus seiring bertambahnya umur perendaman. Peningkatan kuat tekan disebabkan karena pozzolan yang dikandung semen PCC dapat mereduksi

kapur bebas ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) dari hasil hidrasi dan menghasilkan C-S-H. Sehingga mampu mencegah kerusakan beton lebih lanjut akibat serangan asam pada air gambut. Sedangkan pada beton yang direndam dengan metode *wet-dry*, peningkatan kuat tekan beton terjadi pada lama perendaman 7 hari, kemudian kuat tekan akan menurun pada perendaman 28 hari. Penurunan kuat tekan tersebut terjadi dikarenakan beton PCC belum mencapai umur untuk kekuatan maksimalnya namun telah mendapatkan perlakuan pembasahan dan pengeringan. Pada beton PCC-FA (statis) dan PCC-FA (*wet-dry*) mengalami peningkatan hingga umur 28 hari pada perendaman air gambut. Kenaikan kuat tekan pada beton PCC-FA tersebut terjadi karena silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang terkandung pada abu terbang masih mereduksi jumlah kapur bebas ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) serta memberikan tambahan hidrasi yaitu gel C-S-H.

#### 4.8 Hasil Pengujian Sorptivity



Gambar 2 Hasil Uji Sorptivity

Gambar 2 menunjukkan nilai sorptivity beton PCC dan PCC-FA akibat pengaruh variasi perendaman di air gambut. Nilai sorptivity untuk beton PCC *wet-dry*, PCC (statis), PCC-FA (*wet-dry*),

dan PCC-FA (statis) pada umur perawatan 7 hari di air gambut masing-masing sebesar 0,0662 mm/menit<sup>0,5</sup>, 0,0306 mm/menit<sup>0,5</sup>, 0,0660 mm/menit<sup>0,5</sup> dan sebesar 0,0211 mm/menit<sup>0,5</sup>, beton PCC-FA (*wet-dry*) sebesar 0,0313 mm/menit<sup>0,5</sup> dan beton PCC-FA (statis) sebesar 0,426 mm/menit<sup>0,5</sup>.

Pada beton PCC-FA menunjukkan penurunan nilai *sorptivity*, hal tersebut terjadi karena pada beton PCC-FA mengalami perbaikan partikel gel dan mulai mengisi pori-pori beton. Nilai *sorptivity* tidak memiliki pengaruh khusus terhadap kuat tekan, mengingat *sorptivity* merupakan penyerapan air ke pori dari satu sisi. Namun berdasarkan Gambar 2 dapat disimpulkan bahwa variasi beton PCC dan PCC-FA (statis) memiliki kriteria *sorptivity* yang baik karena nilai *sorptivity* <0,2 mm/menit<sup>0,5</sup>.

## 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Hasil kuat tekan beton PCC (statis), PCC-FA (statis), dan PCC-FA (*wet-dry*) terus mengalami peningkatan hingga umur 28 hari perendaman air gambut, sedangkan beton PCC (*wet-dry*) mengalami peningkatan di umur 7 hari perendaman air gambut kemudian turun pada umur 28 hari perendaman air gambut.
2. Nilai *sorptivity* pada beton PCC (statis), PCC-FA (statis), dan PCC-FA (*wet-dry*) terus mengalami penurunan nilai *sorptivity* hingga umur 28 hari perendaman air gambut, dan pada beton PCC (*wet-dry*) mengalami penurunan di umur 7 hari perendaman air gambut kemudian naik pada umur 28 hari perendaman gambut. Nilai *sorptivity*

0,0450 mm/menit<sup>0,5</sup>. Nilai *sorptivity* yang diperoleh untuk umur perawatan 28 hari pada beton PCC (*wet-dry*) yakni sebesar 0,0756 mm/menit<sup>0,5</sup>, beton PCC statis ini berbanding terbalik dengan hasil kuat tekan.

3. Penggunaan abu terbang pada beton yang direndam menggunakan metode *wet-dry* dapat meningkatkan kuat tekan dan material pozzolan pada abu terbang mulai mengisi pori-pori pada beton yang terserang siklus pembasahan dan pengeringan.

### 5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut apabila menggunakan jenis abu terbang yang berbeda dan berasal dari PLTU yang berbeda.
2. Perlu dilakukan penambahan umur perendaman untuk mengetahui pengaruh asam dan abu terbang lebih lanjut terhadap ketahanan beton substitusi abu terbang di air gambut.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI 318-14. 2014. *Building Code Requirements for Structural Concrete*.
- Ar-Riza, & Alkasuma. (2008). Pertanian lahan rawa pasang surut dan strategi pengembangannya dalam era otonomi daerah. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 2(2), 95–104.
- ASTM. (2004). ASTM C 1585:2004 Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes. *American Society for*

- Testing and Materials.*, 1–6.
- ASTM C 618, 2003. Standard Specification for Pozzoland and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. United States: Association of Standard Testing Materials.
- Balai Riset dan Standardisasi Industri Padang. (2018). *Laporan Hasil Uji Abu Terbang dan Laporan Hasil Uji Air Gambut* (pp. 1–2). pp. 1–2.
- BRG. (2016). *Rencana Strategis Badan Restorasi Gambut 2016-2020*. (November 2016), 1–53.
- Cement Concrete & Aggregates Australia. (2002). Sulfate-resisting concrete. *Technical Note*, 1–8.
- Frenki, A., Kamaldi, A., & Olivia, M. (2018). Kuat Tekan Beton OPC Abu Terbang ( Fly Ash ) di Air Gambut. *Jom FTEKNIK*, 5, 1–7.
- Hutapea, U. (2014). Ketahanan Mortar di Lingkungan Asam dengan Berbagai Tipe Semen. *Fakultas Teknik Universitas Riau*, 1–14.
- 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*, 210.
- Olivia, M. (2015). Kuat Tekan Beton dengan Semen Campuran Limbah Agro-Industri di Lingkungan Asam. *Andalas Civil Engineering National Conference*, 306–312.
- Pandiangan, J., Olivia, M., & Darmayanti, L. (2014). *Ketahanan Beton Mutu Tinggi Di Lingkungan Asam*. 12(7), 1483–1490.
- Punusingon, M., Handono, B. D., & Pandaleke, R. (2019). *Uji Eksperimental Kuat Tekan Beton Daur Ulang Dengan Bahan Tambah Abu Terbang (Fly Ash) dan Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen*. 7(1).
- Purba, P. (2007). *Pengaruh Kandungan Sulfat Terhadap Kuat Tekan Beton*. 37–42.
- Rosmimi, Tabrani, G., & Suseno. (2003). *Ameliorasi Lahan Pasang Surut Tipe C dengan Pemberian Kotoran Ayam dan Kapur untuk Tanaman Jagung Manis (Zea mays saccharata Sturt)*.
- SinatURI, R., Olivia, M., & Saputra, E. (2017). *Kuat Tekan dan Sifat Fisik Beton OPC, OPC POFA, dan PCC Menggunakan Air Gambut Sebagai Air Pencampuran Beton*. 1–8.
- Song, X. (2007). Development and Performance of Class F Fly Ash Based Geopolymer Concretes against Sulphuric Acid Attack.
- Suarnita, I. wayan. (2011). Kuat tekan beton dengan aditif fly ash ex. pltu mpanau tavaeli. *Smartek*, 9(1), 1–10.
- Wiyono, D., Vianthi, A., & Hardjito, D. (2006). *Durabilitas Mortar Geopolymer Berbasis Lumpur Sidoarjo*. 1–8.