

SETTING TIME DAN KUAT TEKAN BETON POFA DENGAN TAMBAHAN SILICA FUME DI AIR GAMBUT

Ines Junita Sinuhaji¹⁾, Iskandar Romey Sitompul²⁾, Monita Olivia²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

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

Email: ines.junita4437@student.unri.ac.id, iskandar.romey@lecturer.unri.ac.id,
monita.olivia@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

As a province with the largest area of oil palm plantations in Indonesia, oil palm production in Riau continues to increase. When palm oil production increases, the residual waste of production also increases and has not been optimally utilized. This research aims to analyze characteristics of POFA (Palm Oil Fuel Ash) concrete by using additive silica fume with PCC (Portland Cement Composite) concrete as control. POFA is used as a partially substitute material of cement volume with variations 0% and 20%, which silica fume as addition material has constant levels in 10% of cement volume. In this research, the compressive strength and setting time of the concrete were tested. All variations were made and passed the curing stage for 28 days in plain water. The compressive strength test was carried using a cylindrical mold measuring 105 X 210 mm, while the setting time testing was carried out separately using the vicat tool. After the curing process, the specimens were immersed in peat water with immersion variations, namely 0,7, and 28 days. Setting time of PCC concrete is the longest binding time compared to other variations, in this research there are three variations. The final binding time of 145 minutes and the fastest final binding time, namely the variation with POFA 20% with the final binding time of 96 minutes. Concrete compressive strength was tested mechanically at 0, 7, and 28 days of peat water, while setting time was tested separately. The compressive strength plan is 20 MPa and peat water as immersion water of concrete has a pH 4.0-5.0. The results shows that the compressive strength of POFA variation concrete was higher than control concrete at 0 days of immersion with the highest compressive strength value at POFA 0% of 25,84 MPa. At 28 days of immersion, POFA 0% with silica fume was higher than the control. Increase level of POFA in mixture decrease the compressive strength to 21,18%. The lowest compressive strength than the control at POFA 20% of 25,76 MPa at 28 days. Based on the results of the test, it is concluded that the use of POFA affects the results of compressive strength and setting time. The results of the compressive strength test showed that more POFA in the concrete, the compressive strength tended to decrease at age of 0, 7, and 28 days. In testing the setting time, POFA has the effect of shortening the initial setting time and the final setting time. More levels of POFA decreased the setting time in this study.

Keywords : Palm Oil Fuel ASH, Silica fume, PCC, Peat Water, Setting Time, Compressive Strength.

A. PENDAHULUAN

Provinsi Riau merupakan provinsi dengan areal perkebunan kelapa sawit terluas di Indonesia. Luas areal perkebunan kelapa sawit yang berada di Provinsi Riau yaitu 2,39 juta hektar atau 21,15% dari total luas perkebunan kelapa

sawit di Indonesia (BPS, 2015). Produksi kelapa sawit yang terus meningkat akan menghasilkan limbah sisa dalam jumlah besar dan belum dimanfaatkan secara optimal (Padil, 2005).

Kandungan dalam setiap tandan buah segar kelapa sawit terdiri atas tiga bagian,

yakni minyak sawit sebesar 21% dari massa, cangkang 6% dari massa, dan sabut sawit 11% dari massa (Saputra, Bahri & Edward, 2007). Hal tersebut membuktikan bahwa limbah sawit berupa POFA cukup besar dihasilkan. Penambahan limbah abu sawit yang mengandung silika dapat meningkatkan kuat tekan beton dengan penambahan abu sawit 10%-15% dari berat semen (Gunawan & Fogi, 2013).

Silica fume sebagai tambahan pada campuran beton dapat memperlambat waktu ikat awal dan akhir beton. Menurut penelitian Sebayang (2011), semakin besar kadar penggunaan *silica fume* pada adukan beton dapat menurunkan kelecakan beton. Kuat tekan beton dengan bahan tambah *silica fume* pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari secara umum lebih tinggi dibandingkan beton normal tanpa *silica fume* dengan umur yang sama (Sebayang, 2011).

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik beton dengan penggunaan POFA dan bahan tambah *silica fume* yang meliputi pengujian beton segar dan pengujian beton secara mekanik setelah perendaman beton di air gambut.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Beton

Beton merupakan campuran antara semen *Portland*, agregat kasar, agregat halus dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang membentuk sebuah massa padat (SNI 2847, 2013).

Beton menjadi pilihan banyak konstruksi karena beton memiliki kelebihan antara lain, kuat terhadap tekan yang tinggi, tidak mudah terbakar, mudah dibentuk sesuai keinginan dan kebutuhan dan awet untuk penggunaan jangka panjang. Dibalik kelebihan yang dimiliki beton, konstruksi beton juga memiliki kelemahan, yakni lemah terhadap tarik sehingga saat mendapat tegangan tarik konstruksi beton akan mengalami retak.

B.2 Material Penyusun Beton

B.2.1 Agregat

Agregat merupakan material penyusun beton dengan kandungan terbesar dalam campuran beton. Komposisi agregat berkisar 60%-70% dari berat campuran beton. Agregat kasar merupakan material penyusun beton dengan ukuran 4,80-40 mm atau lebih besar dari 40 mm, misalnya kerikil atau batu pecah dan material yang tertahan diatas ayakan 4,75 mm. Agregat halus merupakan material penyusun beton yang lolos ayakan 4,75 mm (Standar ASTM C33, 1982).

B.2.2 Semen *Portland Composite Cement* (PCC)

Menurut SNI 15-7064-2004, *Portland Composite Cement* (PCC) merupakan bahan pengikat hidrolis hasil pencampuran antara bubuk semen *Portland* dengan bubuk bahan anorganik lainnya. Semen PCC memiliki kualitas lebih baik dari sement *Portland* biasa, ramah terhadap lingkungan, dan memiliki harga yang lebih ekonomis.

B.2.3 Bahan Tambah Mineral (*Additive*)

Bahan tambah adalah bahan yang diberikan dalam campuran beton diluar bahan penyusun beton biasanya (semen, agregat kasar, agregat halus, dan air), dan dapat ditambahkan sebelum, selama dan sesudah pencampuran. Bahan tambah diberikan dengan tujuan memperbaiki karakteristik beton dengan skala pemberiannya yang relatif sedikit.

B.2.4 Air

Air merupakan bahan yang sangat penting dalam pembuatan beton. Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pengerjaan beton (Meidiani & Hartawan, 2017). Berdasarkan SNI 7974:2013, air yang digunakan dalam campuran beton harus bersih, tidak mengandung minyak, asam alkali, garam, zat organik atau bahan

lainnya yang dapat merusak beton atau semua logam yang ada di dinding.

B.3 Lingkungan Asam

B.3.1 Karakteristik Air Gambut

Air gambut merupakan salah satu jenis air permukaan yang dapat ditemukan di daerah berawa seperti Sumatera dan Kalimantan. Air gambut memiliki tampilan fisik berwarna merah kecoklatan, memiliki pH rendah (bersifat asam), dan memiliki kandungan organik tinggi (A'idah, Destiarti & Idiawati, 2018).

Kandungan organik yang terdapat di dalam air gambut adalah penyebab air berbau, berwarna, dan berasa (Riyandini & Iqbal, 2020). Zat organik di air gambut berasal dari tanah gambut yang berasal dari humus yang terlarut dalam jangka waktu yang lama. Air gambut merupakan air tidak layak untuk digunakan baik untuk kebutuhan sehari-hari maupun untuk pekerjaan konstruksi karena memiliki karakteristik yang buruk.

B.3.2 Beton di Air Gambut

Beton yang menggunakan semen *Portland* umumnya memiliki kualitas yang rendah dalam hal ketahanan terhadap serangan asam. Apabila terpapar asam sesekali beton masih dapat bertahan, namun beton normal tidak dapat bertahan terhadap larutan apapun dengan pH 3 atau lebih rendah secara terus-menerus (Barbhuiya & Kumala, 2017).

Sifat asam yang dimiliki gambut sangat berpotensi merusak struktur beton karena kandungan air gambut yakni asam sulfat (H_2SO_4) (ACI 201.2R-08, 2008). Asam sulfat yang terkandung di dalam beton dapat merusak beton dan sifatnya sangat agresif terhadap beton (Pandiangan, 2006).

B.4 POFA (*Palm Oil Fuel Ash*)

Abu sawit atau bisa disebut *palm oil fuel ash* (POFA) merupakan limbah produksi pabrik kelapa sawit. Pabrik kelapa sawit dalam produksinya akan menghasilkan limbah padat berupa serat,

cangkang, dan tandan kosong. Limbah padat ini selanjutnya akan dijadikan sebagai bahan bakar *boiler* untuk menghasilkan energi panas dan mekanik (Yuliana, Muhardi, & Fatnanta, 2009).

POFA adalah limbah kelapa sawit yang mengandung kadar silika yang tinggi dan berpotensi untuk digunakan sebagai bahan pengganti semen yang juga memiliki kandungan silika didalamnya (Tangchirapat et al. 2006). Penggantian semen *Portland* Tipe I dengan POFA sebesar 10% ukuran median partikel dapat memberikan kekuatan tekan beton lebih tinggi pada umur 90 hari (Tangchirapat et al. 2006).

Penggantian sebagian semen oleh abu bahan bakar minyak kelapa sawit (POFA) terbilang menguntungkan, terutama untuk beton massal dimana perengkahan akibat panas yang berlebihan menjadi perhatian besar (Abdul Awal & Warid Hussin, 2011). Panas yang berlebihan pada beton dapat mengakibatkan beton mengalami keretakan, sehingga dapat merusak kualitas beton dan umur rencana beton tidak tercapai.

B.5 Silica Fume

Silica fume merupakan material limbah industri yang dihasilkan dari proses peleburan *silicon* dan *ferrosilicon* yang juga dikenal dengan nama *microsilica*. Ukuran partikel *silica fume* sangat halus dengan ukuran rata-rata ≈ 100 nm, ukuran tersebut 100 kali lebih kecil dibandingkan dengan ukuran partikel semen (Priatmojo, 2015).

Silica fume sebagai *additive* pada campuran beton menghasilkan peningkatan kuat tekan karena *silica fume* memiliki ukuran butiran yang lebih halus dibandingkan semen sehingga memungkinkan untuk mengisi pori-pori beton (Demirel, 2010).

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Pengujian Karakteristik Material

Pengujian karakteristik material yang dilakukan ialah pengujian agregat kasar

dan halus berasal dari PT. Mitra Beton, Pekanbaru. Selain itu dilakukan pengujian berat jenis terhadap POFA di Laboratorium Teknologi Bahan, Fakultas Teknik, Universitas Riau.

C.2 Perencanaan dan Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang dibuat berjumlah 36 buah dengan cetakan silinder berukuran 105×210 mm untuk pengujian kuat tekan beton. Pengujian *setting time* dilakukan secara terpisah dari proses pencampuran beton dengan merencanakan tiga jenis variasi campuran, yakni beton PCC sebagai kontrol yakni beton PCC, beton POFA 0% yakni beton normal dengan tambahan *silica fume* 10% dari volume semen, dan beton POFA 20% yakni beton dengan POFA sebagai pengganti volume semen sebanyak 20% dan bahan tambah *silica fume* 10% dari volume semen. Pengujian kuat tekan dilakukan setelah merendam benda uji pada air gambut selama 0, 7, dan 28 hari. Jumlah benda uji terdiri atas 27 sampel kuat tekan dan 3 variasi uji *setting time*.

C.3 Perawatan Benda Uji

Campuran beton yang telah dimasukkan kedalam cetakan didiamkan selama 24 jam dengan suhu ruangan. Setelah melewati *rest periode*, beton dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan perawatan benda uji dengan melakukan perendaman benda uji di air biasa selama 28 hari. Setelah berusia 28 hari perawatan benda uji, benda uji kemudian direndam di air gambut dengan umur perendaman 0, 7, dan 28 hari.

C.4 Pengujian Benda Uji

C.4.1 *Setting Time* Pasta Semen

Pengujian *setting time* bertujuan untuk mengetahui lamanya waktu ikat yang terjadi pada pasta semen. Semen yang telah bercampur dengan air akan mengalami pengikatan, lalu mengeras. Sebelum melakukan pengujian, perlu dilakukan pengujian konsistensi normal

untuk mengetahui jumlah air yang akan digunakan pada pengujian *setting time*.



Gambar 1. Pengujian *Setting Time*

C.4.2 Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mengetahui beban maksimum yang dapat ditahan oleh beton per satuan luas beton. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan benda uji yang telah melewati masa perawatan selama 28 hari di air biasa kemudian 7, 14, dan 28 hari di air gambut. Benda uji diukur dan ditimbang dalam kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*). Selanjutnya letakkan benda uji pada mesin uji kuat tekan dan diberikan pembebanan hingga benda uji hancur. Kuat tekan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

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

Keterangan:

f_c' : Kuat tekan beton (Kg/cm^2)

P : Beban tekan (Kg)

A : Luas permukaan benda uji (m^2)



Gambar 2. Pengujian Kuat Tekan Beton

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Hasil uji propertis agregat kasar pada Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai berat volume kondisi padat yakni 1,50 gr/cm³ dan modulus kehalusan yakni 6,81 telah memenuhi standar yang ditetapkan. Nilai berat volume kondisi gembur, kadar air, dan keausan menggunakan mesin LA tidak memenuhi standar yang ditetapkan. Adapun berat jenis yang digunakan adalah berat jenis dalam kondisi SSD yakni 2,56 gr/cm³ dengan penyerapan yang rendah yakni 1,63 gr/cm³. Nilai penyerapan tidak memenuhi standar yang ditetapkan.

Tabel 1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Hasil Uji	Standar Spesifikasi
Berat volume (gr/cm ³)		
a. Kondisi gembur	1,33	1,40-1,90
b. Kondisi padat	1,50	1,40-1,90
Kadar air	0,11	3,00-5,00
Modulus kehalusan	6,81	6,00-7,10
Berat jenis (gr/cm ³)		
a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,63	2,50-2,70
b. <i>Bulk specific gravity (dry)</i>	2,52	2,50-2,70
c. <i>Bulk specific gravity (SSD)</i>	2,56	2,50-2,70
d. Absorption (%)	1,63	2,00-7,00
Keausan (%)	40,26	<40

Tabel 2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Jenis Pemeriksaan	Hasil Uji	Standar Spesifikasi
Berat jenis (gr/cm ³)		
a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,67	2,50 – 2,70
b. <i>Bulk specific gravity (dry)</i>	2,59	2,50 – 2,70
c. <i>Bulk specific gravity (SSD)</i>	2,62	2,50 – 2,70
d. Absorption (%)	1,16	2,00 – 7,00
Kadar air	0,02	3,00 – 5,00

Modulus kehalusan	2,98	1,50 – 3,80
Berat volume (gr/cm ³)		
a. Kondisi gembur	1,55	1,40 – 1,90
b. Kondisi padat	1,72	1,40 – 1,90
Kadar organik	2	<No. 3
Kadar lumpur	0,64	<5

Berdasarkan Tabel 2 diketahui bahwa zat organik agregat halus yang digunakan pada penelitian ini yakni pada No. 2 berdasarkan standar warna *organic plate*. Sedangkan nilai kadar lumpur agregat halus diperoleh 0,64%. Nilai zat organik dan kadar lumpur agregat halus yang digunakan telah memenuhi standar dan layak untuk digunakan. Berat jenis agregat halus yang digunakan adalah berat jenis kondisi SSD atau kering permukaan yaitu 2,62 dengan penyerapan sebesar 1,16%. Nilai penyerapan yang rendah menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan tidak memenuhi standar yang ditetapkan.

Berdasarkan Tabel 1 kadar air, *absorption*, dan keausan tidak memenuhi standar. Hal tersebut berpengaruh pada proses pencampuran beton sehingga *mix design* berubah. Pada saat proses pencampuran beton, air ditambahkan karena agregat dengan kadar air dan penyerapan yang rendah cenderung lebih menyerap banyak air. Keausan yang lebih rendah dibandingkan standar juga mempengaruhi nilai kuat tekan dikarenakan agregat yang lebih mudah hancur saat dicampurkan sehingga terjadi segregasi. Tabel 2 terdapat kadar air dan *absorption* yang tidak memenuhi standar.

D.2 Hasil Pengujian Setting Time

Hasil pengujian *setting time* dapat dilihat pada Tabel 3 berikut:

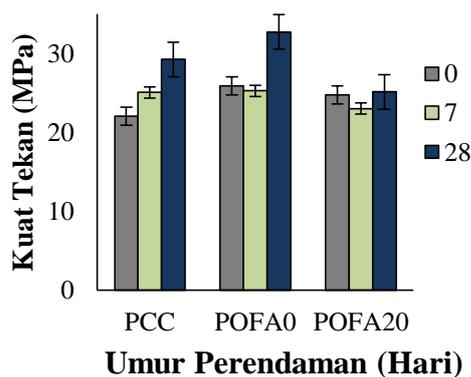
Tabel 3 Hasil Pengujian *Setting Time* Pasta Semen

Variasi Campuran	<i>Initial Setting Time</i> (Menit)	<i>Final Setting Time</i> (Menit)
PCC	104	145
POFA0	60	99
POFA20	59	96

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa binder variasi campuran semen, POFA sebagai pengganti sebagian semen dengan bahan tambah *silica fume* 10% dari volume semen memiliki waktu ikat lebih cepat dibandingkan dengan binder PCC. Variasi campuran dengan jumlah POFA lebih besar menunjukkan waktu ikat paling sedikit sehingga dapat dikatakan jumlah POFA mempengaruhi waktu ikat. *Silica fume* merupakan mikro partikel yang mudah menyerap air sehingga proses pembentukan pasta semen sampai menjadi kaku menjadi lebih cepat (Febrianto, 2016).

D.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3 Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Berdasarkan Gambar 3 nilai kuat tekan beton PCC terus mengalami peningkatan yang signifikan sejak umur perendaman 0 hari sampai umur 28 hari. Sedangkan pada beton variasi POFA dengan bahan tambah *silica fume* mengalami penurunan pada umur perendaman 7 hari. Menurunnya nilai kuat tekan dapat disebabkan karena reaksi pozzolan POFA yang bersifat lama, sehingga kuat tekan maksimum akan dihasilkan pada umur perendaman lebih lama (Sianturi, Olivia, & Saputra, 2017).

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan pengujian *setting time* beton PCC mengalami waktu ikat paling lama dibandingkan variasi lainnya dengan lama waktu ikat akhir 145 menit dan waktu ikat akhir paling cepat yakni variasi dengan POFA 20% dengan lama waktu ikat akhir 96 menit. Pada pengujian kuat tekan, variasi POFA 0% mendapatkan nilai kuat tekan paling tinggi sedangkan beton variasi POFA 20% mendapatkan nilai kuat tekan paling rendah dibandingkan variasi lainnya dengan nilai kuat tekan secara berurut 32,69 MPa dan 25,76 MPa dengan umur perendaman 28 hari. Pada umur 28 hari, kuat tekan menurun sebanyak 21,18% antara variasi POFA 0% dengan POFA 20%. Pada umur 7 hari, kuat tekan menurun sebanyak 13,18% antara variasi POFA 0% dengan POFA 20%. Sedangkan pada umur 0 hari, kuat tekan menurun sebanyak 4,27% antara variasi POFA 0% dengan POFA 20%. Kuat tekan beton PCC meningkat secara signifikan seiring bertambahnya usia perendaman.

E.2 Saran

Setelah melakukan penelitian berbasis laboratorium ini, maka penulis dapat memberikan beberapa saran yang semoga bermanfaat dalam penelitian lanjutan.

1. Melakukan penelitian lanjutan mengenai susut untuk mengetahui pengaruh penggunaan POFA terhadap penyusutan yang terjadi pada beton.
2. Melakukan penelitian lanjutan mengenai penggunaan POFA sebagai material pengganti semen dengan bahan tambah *silica fume* dengan kadar (%) lebih bervariasi, misalnya dengan variasi *silica fume* 15% dan 20%.

Daftar Pustaka

- A'idah E, Destiarti L, Idiawati N (2018) Penentuan Karakteristik Air Gambut Di Kota Pontianak. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 7(3), 91–96.

- Abdul AA, Warid HM (2011) Effect of palm oil fuel ash in controlling heat of hydration of concrete. *Procedia Engineering*, 14, 2650–2657.
- ACI 201.2R-08 (2008) Guide to Durable Concrete, American Concrete Institute, Michigan L Romben (1978), Aspects of testing methods for acid attack on concrete. CBI research 1:78, 61 pp (Swedish Cement and Concrete Research Inst)
- Barbhuiya S, Kumala D (2017). Behaviour of a Sustainable Concrete in Acidic Environment.
- BPS (2015) Statistika Kelapa Sawit Indonesia. In *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2015* (Vol. 1, Issue 4).
- Demirel B (2010) Effect of elevated temperature on the mechanical properties of concrete produced with finely ground pumice and silica fume. 45, 385–391.
- Febrianto E (2016) Pengaruh Penambahan Silica Fume Pada Porous Concrete Block Terhadap Nilai Kuat Tekan dan Permeabilitas. *Jurnal Mahasiswa UNESA*, 3(3), 1–8.
- Gunawan A, Fogi DH (2013) Perilaku Kuat Tekan Mortar Semen Pasangan Dengan Abu (1), 1–9.
- Meidiani S, Hartawan FS (2017) Penggunaan Variasi Ph Air (Asam) Pada Kuat Tekan Beton Normal F'C 25 Mpa. *Jurnal BENTANG*, 5(2), 127–134.
- Padil (2005) Rancangan proses pengolahan limbah padat sawit menjadi asap cair (Liquid Smoke). *Prosiding Seminar Teknik Kimia – Teknologi Oleo dan Petrokimia Indonesia (STK-TOPI)*. Pekanbaru. 21 Desember.
- Pandiangan J, Olivia M, Darmayanti L (2006) Ketahanan Beton Mutu Tinggi di Lingkungan Asam. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*.
- Priatmojo RN (2015) Studi Pengaruh Penambahan 10% Silica Fume Terhadap Kekuatan dan Durabilitas Beton Geopolimer di Lingkungan Air Danau.
- Riyandini VL, Iqbal M (2020) Pengaruh Koagulan Biji Asam Jawa (*Tamarindus Indica*) Terhadap Efisiensi Penurunan Zat Organik Pada Air Gambut. *Jurnal Serambi Engineering*, 5(3), 1222-1227.
- Saputra E, Bahri S, Edward HS (2007) Bio-Oil dari Limbah Padat Sawit. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 6(2), 45–49.
- Sebayang S. (2011) Tinjauan Sifat-Sifat Mekanik Beton Alir Mutu Tinggi Dengan Silica Fume Sebagai Bahan Tambahan. *Jurnal Rekayasa*, 15(2).
- Sianturi R, Olivia M, Saputra E (2017) Kuat Tekan dan Sifat Fisik Beton OPC, OPC POFA, dan PCC Menggunakan Air Gambut Sebagai Air Pencampur beton. 1–8.
- SNI 03-6827 (2002) Metode Pengujian Waktu Ikat Awal Semen Portland dengan Menggunakan Alat Vicat untuk Pekerjaan Sipil. Badan Standar Nasional Indonesia.
- SNI 7974:2013 (2013) Spesifikasi air pencampur yang digunakan dalam produksi beton semen hidraulis (ASTM C1602–06, IDT). Badan Standardisasi Nasional, 27(5), 596–602.
- Tangchirapat W, Saeting, Jaturapitakkuul, Kiattikolol K (2006) Evaluation Of Sulfate Resistance Of Concrete Containing Palm Oil Fuel Ash. Thailand. Departement Of Civil University Of Technology Thonburi, Bangmod, Tungkrui, Bangkok.
- Yuliana R, Muhardi, Fatnanta F (2009) Karakteristik Fisis dan Mekanis Abu Sawit (Palm Oil Fuel Ash) dalam Geoteknik. *Teknik Sipil, Universitas Riau*.