

NILAI *SLUMP*, POROSITAS DAN KUAT TEKAN BETON OPC DAN OPC RHA UNTUK APLIKASI DI LINGKUNGAN GAMBUT

Mhd Raja Alfadh¹⁾, Alfian Kamaldi²⁾, Monita Olivia²⁾

¹⁾ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil S1, ²⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil

Program Studi Teknik Sipil S1, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. H.R. Soebrantas KM 12,5 Simpang Baru, Tampan, Pekanbaru, 28293
Email: mhdrajaalfadh@gmail.com

ABSTRACT

The aggressive environment, especially the peat environment contains many chemicals that can unravel the elements in the concrete, causing damage to the concrete. This study examines the strength and physical properties of OPC (Ordinary Portland Cement) concrete and OPC RHA (Rice Husk Ash) concrete exposed in peat environments. RHA as one of pozzolan with high silica is used as a replacement of cement with the substitution of 5% and 10%. This concrete are tested mechanically and physically such as compressive strength and porosity tests after soaking in peat canals for 28 days, in addition to fresh concrete tests such as workability. The concrete strength of the planned concrete is K-250. The peat water used as a test immersion medium has a pH of 3.5-4.5. The results of fresh concrete testing show that the addition of RHA makes the workability decreases. The lowest workability was obtained from a mix containing 10% RHA. The OPC concrete has the highest compressive strength of 20,28 MPa. Porosity of OPC RHA concrete decreased with increase in curing time. The lowest porosity is shown by OPC RHA 10% concrete. Based on the results of the test, it is concluded that the replacement of cement by RHA, has a positive effect on all physical properties of concrete.

Keywords: Peat Environment, OPC, RHA, Compressive strength, Physical Properties

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Provinsi Riau merupakan daerah dengan lahan gambut terbesar kedua di Indonesia dengan luasan mencapai 3,867 juta ha (BB Litbang SDLP, 2011). Berdasarkan SNI 7925:2013, lahan gambut adalah lahan dengan tanah jenuh air, terbentuk dari endapan yang berasal dari penumpukan sisa-sisa jaringan tumbuhan masa lampau yang melapuk dengan ketebalan lebih dari 50 cm. Lahan gambut umumnya mempunyai tingkat kemasaman yang relatif tinggi dengan kisaran pH 3–5 (Agus & Subiksa, 2008).

Semakin berkembangnya populasi dewasa ini membuat lahan gambut menjadi sasaran untuk lokasi pembangunan. Salah satu bahan

konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pembangunan adalah beton, biasa dibuat dengan pencampuran semen Portland dengan agregat kasar, agregat halus dan air. Lingkungan gambut dapat membawa dampak yang merugikan terhadap beton karena di lingkungan ini banyak terkandung zat-zat kimia yang bersifat reaktif terhadap unsur dalam beton dan akhirnya dapat menyebabkan terjadinya disintegrasi pada beton. Tingkat keasaman rendaman (pH) merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi ketahanan beton, semakin rendah pH rendaman, semakin tinggi daya serang terhadap beton dan sebaliknya (Pandiangan, 2006). Ion asam dapat mengurai senyawa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pada pasta semen, menghancurkan struktur kristal, dan menyisakan residu

tidak bermanfaat pada kekuatan beton, lalu menimbulkan penurunan kuat tekan beton sehingga masa layan struktur beton dapat berkurang (Zivica & Bajza, 2002). Penelitian yang dilakukan Rahmayani (2017) menyebutkan mortar OPC yang direndam dalam air gambut mengalami penurunan kuat tekan dikarenakan gangguan dari kandungan asam yang terdapat dalam air.

Salah satu cara yang banyak dilakukan untuk meningkatkan ketahanan beton terhadap disintegrasi oleh zat kimia yang bersifat agresif yaitu penambahan bahan tambahan mineral seperti pozzolan ke dalam campuran beton. Pozzolan adalah mineral yang terdiri dari mineral silika dan alumina yang sebagian besar bersifat reaktif, yang apabila bersenyawa dengan kapur dan air membentuk massa yang padat, keras dan tidak larut dalam air. Pozzolan yang sering digunakan adalah abu terbang, abu kelapa sawit, bubuk kulit kerang, dan abu sekam padi. Keempat pozzolan alami dikelompokkan kedalam pozzolan karena memiliki silika yang tinggi. Pada penelitian terdahulu yang dilakukan Pradana (2016) membuktikan penambahan pozzolan jenis abu kelapa sawit sebagai pengganti sebagian semen ke dalam campuran beton menunjukkan pozzolan dapat bereaksi dengan baik dengan semen dan menghasilkan ketahanan dan kekakuan terhadap asam lebih baik dari beton OPC. Penambahan bubuk kulit kerang sebagai filler membuat mortar yang direndam air biasa maupun air gambut mengalami kenaikan kuat tekan dan menjadi lebih kedap, karena kandungan CaO pada bubuk kulit kerang dapat menetralkan asam pada air gambut (Rahmayani, 2017). Penelitian lain yang dilakukan oleh Rinanda, Fadillah, Ansyari, Gultom dan Sormin (2017) menunjukkan pemakaian 10% abu kelapa sawit sebagai pengganti semen membuat kuat tekan beton

semakin tinggi baik yang direndam di air biasa maupun air gambut. Untuk abu sekam padi juga menghasilkan peningkatan kekuatan, seperti pada penelitian Ednor (2017) yang menunjukkan mortar abu sekam padi memiliki ketahanan yang lebih baik dibandingkan mortar OPC saat direndam dalam air gambut dengan hasil kuat tekan yang meningkat hingga umur 120 hari. Pada penelitian ini, pozzolan yang akan digunakan adalah abu sekam padi atau yang selanjutnya akan disebut dengan RHA (Rice Husk Ash). RHA merupakan residu padat hasil setelah pembakaran sekam padi, limbah pertanian yang banyak diproduksi di seluruh dunia.

Provinsi Riau, merupakan daerah penghasil padi yang sangat besar, hal ini terlihat dari hasil sensus BPS Provinsi Riau tahun 2016 yang menunjukkan produksi padi daerah Riau mencapai 63.387 ha, meningkat 13,81% dibandingkan tahun sebelumnya (BPS Provinsi Riau, 2016). Setiap satu ton padi menghasilkan sekitar 200 kg kulit sekam padi, setelah dilakukan pembakaran menghasilkan sekitar 40 kg RHA (Mehta & Monteiro, 2006). RHA merupakan pozzolan yang unggul karena banyak mengandung silika yaitu sebesar 93,0% lebih banyak dibandingkan dengan bahan pozzolan lainnya (Xu et al, 2012). Unsur silika (SiO_2) yang terkandung dalam RHA dapat mereduksi kapur bebas Ca(OH)_2 yang dihasilkan dari proses hidrasi. Unsur SiO_2 tersebut akan bereaksi dengan kapur bebas dan air yang akan membentuk senyawa kalsium hidrat yang lebih stabil dan tidak membahayakan mortar (Ednor, 2017). Ukuran partikel RHA yang halus dalam aktivitas pozzolanik menjadi alasan yang sangat baik dalam meningkatkan kekuatan tekan (Ganesan, 2008). Pradana (2016) dalam penelitiannya membuktikan bahwa ukuran butir

pozzolan yang halus dapat membuat beton menjadi lebih padat dan lebih kedap serta dapat meningkatkan kekuatan.

Bertitik tolak pada hal diatas, penelitian lebih lanjut perlu dilakukan pada campuran beton untuk mendapatkan pengaruh penambahan RHA dalam mengantisipasi disintegrasi yang disebabkan oleh lingkungan gambut ditinjau dari sifat fisik betonnya. Penelitian ini mengkaji tentang kuat tekan, *workability* dan porositas.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Pemeriksaan Karakteristik

Material

Pemeriksaan meterial terdiri dari pemeriksaan karakteristik agregat kasar, agregat halus, dan komposisi kimia RHA (*Rice Husk Ash*). Untuk semen tidak dilakukan pengujian karakteristik karena telah memenuhi standar uji (ASTM C150-07) untuk semen portland. Material yang digunakan adalah semen OPC produksi PT. Semen Padang, agregat kasar dari daerah Air Hitam, Pekanbaru. Kemudian agregat halus asal Sungai Kampar di daaerah Teratak Buluh, Kabupaten Kampar. RHA yang diigunakan berasal dari desa Air Tiris, Kabupaten Kampar.

Pemeriksaan agregat kasar dan halus terdiri berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang terdiri dari analisa saringan, kadar air, berat jenis, berat volume, abrasi los angeles, kadar lumpur dan kadar organik. Pemeriksaan komposisi kimia RHA dilakukan dengan mengirim sebagian sampel ke Balai Riset dan Standarisasi Industri Padang.

2.2 Perencanaan dan Pembuatan Benda Uji

Campuran benda uji dihitung menggunakan metode ACI 211.1-9 dengan mutu rencana K-250 dan faktor air semen (FAS) 0,55. Variasi benda uji

terdiri atas tiga macam yaitu: OPC, OPC RHA 5% dan OPC RHA 10%, persentase komposisi abu sekam padi diambil dari komposisi semen dan abu sekam padi digunakan sebagai pengganti semen. Benda uji silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 5 cm untuk pengujian kuat tekan dan porositas.

2.3 Pengujian

2.3.1 Nilai *Slump*

Pengujian nilai *slump* pada beton segar (SNI 03-1972-1990) dilakukan dengan uji *slump*. Pengujian nilai *slump* dilakukan dengan prosedur berikut:

- Membasahi cetakan dan pelat dengan kain basah.
- Meletakkan cetakan di atas pelat dengan kokoh.
- Mengisi cetakan sampai penuh dengan beton segar dalam 3 lapis; tiap lapis berisi kira-kira 1/3 isi cetakan; setiap lapis ditusuk dengan tongkat pemadat sebanyak 25 tusukan secara merata.
- Setelah selesai penusukan, meratakan permukaan benda uji dengan tongkat dan semua sisa benda uji yang jatuh di sekitar cetakan harus disingkirkan, kemudian cetakan diangkat perlahan-lahan tegak lurus ke atas.
- Membalikkan cetakan dan letakkan perlahan-lahan di samping benda uji, kemudian mengukur *slump* yang terjadi dengan menentukan perbedaan tinggi cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji.
- Pengukuran *slump* harus segera dilakukan dengan cara mengukur tegak lurus antara tepi atas cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji. Dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengukuran *Slump*

2.3.2 Porositas

Porositas merupakan persentase pori-pori atau ruang kosong yang dalam beton terhadap volume beton. Porositas juga dapat diakibatkan adanya partikel-partikel bahan penyusun beton yang relatif besar, sehingga kerapatan tidak maksimal. Nilai yang dihasilkan menunjukkan tingkat kepadatan butiran pori pada suatu beton. Rumus yang digunakan untuk menghitung porositas adalah:

$$\text{Porositas} = \frac{W_2 - W_1}{W_2 - W_3} \times 100\%$$

dengan:

W_1 = Berat sampel setelah dioven (kg)

W_2 = Berat sampel setelah direndam/jenuh ditimbang di udara (kg)

W_3 = Berat sampel setelah direndam/jenuh ditimbang di air (kg)



Gambar 2. Pengujian Porositas

2.3.3 Kuat Tekan

Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Menurut (SNI 03-1974-1990, 1990), 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, dengan rumus:

$$f_c = \frac{P}{A}$$

dengan :

f_c = Kuat tekan beton (Mpa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas permukaan yang dibebani (mm^2)

Berdasarkan SNI 03-1974-1990 prosedur pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut.

- Mengambil benda uji dari bak perendam kemudian mengeringkannya selama ± 24 jam.
- Benda uji yang telah kering lalu diberi *capping* (diberi lapisan belerang) pada permukaan beton agar permukannya rata.
- Menimbang benda uji.
- Meletakkan benda uji dengan posisi tegak pada kerangka alat uji tekan (*Compressing Test Machine*).
- Melakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur.
- Mencatat beban maksimum yang terjadi selama pengujian.
- Menghitung kuat tekan beton dihitung yaitu beban maksimum per satuan luas permukaan silinder.



Gambar 3. Pengujian kuat tekan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Pada penelitian ini pemeriksaan karakteristik material dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Fakultas Teknik Universitas Riau untuk agregat sedangkan kandungan kimia abu sekam padi (RHA) di Laboratorium Balai Riset dan Standarisasi Padang.

Pemeriksaan dilakukan berdasarkan standar uji yang terdapat pada SNI terkait dan selanjutnya akan ditentukan kelayakan material tersebut untuk dijadikan campuran beton. Berikut adalah hasil pemeriksaan karakteristik material:

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi
Agregat Kasar			
1	Modulus		
	Kehalusan	3,85	6 - 7,1
2	Berat Jenis		
	a. <i>Bulk Specific Gravity on SSD</i>	2,56	2,58 - 2,83
	b. <i>Absorption (%)</i>	1,81	< 2
3	Kadar Air (%)	0,20	< 5
4	Berat Volume (gr/cm ³)		
	a. Kondisi Padat	1500,51	1,4 - 1,9

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi
Agregat Halus			
	b. Kondisi Gembur	1357,60	1,4 - 1,9
5	Ketahanan Aus (%)	32,32	< 40
Agregat Halus			
1	Modulus		
	Kehalusan	4,07	1,5 - 3,8
2	Berat Jenis		
	a. <i>Bulk Specific Gravity on SSD</i>	2,65	2,58 - 2,83
	b. <i>Absorption (%)</i>	1,42	< 2
3	Kadar Air (%)	0,20	< 5
4	Berat Volume (gr/cm ³)		
	a. Kondisi Padat	1598,51	1,4 - 1,9
	b. Kondisi Gembur	1456,57	1,4 - 1,9
5	Kadar Lumpur (%)	0,95	< 5
6	Kadar Zat Organik	No.3	≤ No.3

3.2 Pemeriksaan Karakteristik Abu Sekam Padi (RHA)

Berdasarkan hasil penelitian Bakri (2005) abu sekam padi tidak dapat digolongkan sebagai matriks semen karena tidak mengandung C₃S dan C₂S tetapi dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen untuk menghasilkan CSH sekunder dalam pembuatan komposit semen. Adapun rincian kandungan kimia abu sekam padi yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil pemeriksaan kandungan kimia abu sekam padi

No.	Kandungan (%)	Nilai
1	SiO ₂	86,89

No.	Kandungan (%)	Nilai
2	Al ₂ O ₃	1,58
3	Fe ₂ O ₃	0,48
4	CaO	1,99
5	MgO	1,29
6	K ₂ O	5,35
7	Na ₂ O	0,82
8	So ₃	0,71
9	Kadar Air	0,52

Sumber: Balai Riset dan Standarisasi Industri Padang (2017)

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa jumlah kandungan SiO₂ pada RHA sebesar 86,89% sudah lebih dari kebutuhan minimum untuk digolongkan kedalam pozzolan yaitu 50%. Berdasarkan ASTM C 618, RHA pada penelitian ini termasuk ke dalam bahan pozzolan tipe F disebabkan jumlah SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃ adalah 88,95% > 70% serta kandungan SO₃ yaitu 0,71% < 5%.

3.3 Hasil Pengujian Nilai Slump

Nilai *slump* digunakan untuk menentukan *workability* beton OPC dan OPC RHA. Pada pengujian ini direncanakan nilai *slump* adalah 90 ± 20 mm. Nilai *slump* ini menunjukkan kemudahan pengerjaan (*workability*) beton segar. Nilai *slump* dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

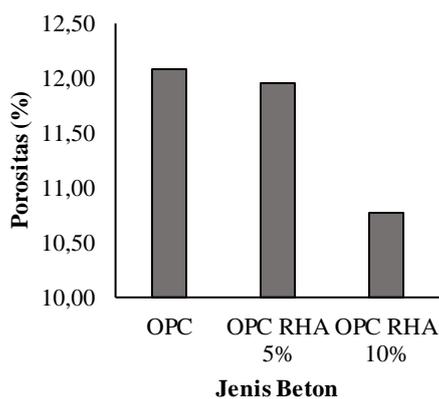
Tabel 3. Hasil Pengujian *Slump*

No	Jenis Beton	Slump (mm)
1	OPC	106,67
2	OPC RHA 5%	86,00
3	OPC RHA 10%	73,33

Hasil pada Tabel 3 menunjukkan *slump* beton OPC dan OPC RHA masuk dalam nilai *slump* yang direncanakan. Penggantian sebagian semen oleh RHA dapat menurunkan nilai *slump*. Semakin besar persentase RHA maka akan semakin turun nilai *slump*, hal ini karena kemampuan pozzolan yang dapat meresap atau mengurangi kandungan air sehingga dapat mengurangi kemampuan pengerjaan. Hal ini sesuai dengan penelitian Fadillah (2017) penambahan pozzolan pada campuran beton juga dapat mengurangi *workability*. RHA adalah bahan yang sangat porous dengan makro dan meso-pori di dalamnya dan pada permukaan yang menghasilkan luas permukaan spesifik yang sangat besar, RHA kemudian akan menyerap sejumlah campuran air di permukaannya dan mengakibatkan penurunan nilai *slump* (Le et al, 2012).

3.4 Hasil Pengujian Porositas

Pengujian porositas ini bertujuan untuk mengetahui besarnya persentase pori yang terdapat pada beton umur 28 hari. Pori-pori beton biasanya berisi udara atau berisi air yang saling berhubungan dan dinamakan dengan kapiler beton. Kapiler beton akan tetap ada walaupun air yang digunakan telah menguap, sehingga kapiler ini akan mengurangi kepadatan beton yang dihasilkan. Dengan bertambahnya volume pori maka nilai porositas juga akan semakin meningkat dan hal ini memberikan pengaruh buruk terhadap kekuatan beton. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 10 cm. Hasil pengujian ini dapat terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil pengujian porositas beton

Pada Gambar 4 menunjukkan Porositas beton OPC lebih tinggi dibandingkan beton OPC RHA yang direndam di air gambut. Pada OPC RHA 10% merupakan nilai terendah porositas, hal ini karena senyawa silikat dan batu kapur yang terkandung dalam semen membuat beton ini menjadi lebih kedap.

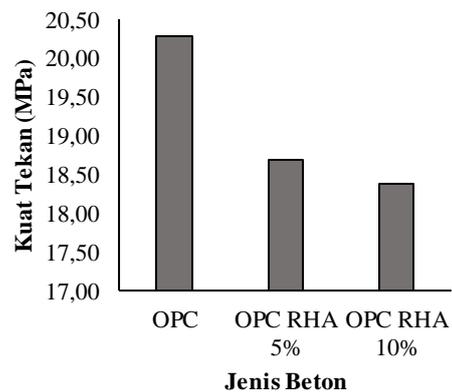
Penelitian Rinanda, (2017) menghasilkan kesimpulan bahwa porositas beton OPC dengan penambahan pozzolan lebih rendah dibandingkan beton OPC. Menurut Bui (2017) ukuran partikel RHA yang halus dan superplastis dapat mengisi ruang transisi antara agregat dan pasta semen.

3.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan merupakan nilai perbandingan antara tekanan dan luas. Nilai kuat tekan yang diperoleh dapat merepresentasikan kekuatan beton tersebut. Pengujian kuat tekan merupakan salah satu pengujian yang bersifat *destructive* yaitu pengujian yang merusak benda uji secara fisik. Pengujian kuat tekan dilakukan saat beton matang (pre-cast) berumur 28 hari setelah direndam di air gambut. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder 10x20 cm.

Curing benda uji dilakukan untuk menjaga proses hidrasi pada beton

tersebut menjadi sempurna. Benda uji dicuring dengan cara merendam beton di dalam air biasa terlebih dahulu selama 28 hari untuk mendapatkan kondisi matang lalu 28 hari di air gambut daerah Rimbo Panjang, Kab. Kampar. Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah proses *curing* dan berikut hasil pengujian kuat tekan tersebut yang dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Hasil pengujian kuat tekan beton

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan pada Gambar 5 menunjukkan bahwa kuat tekan terbesar terdapat pada beton OPC dan semakin bertambah kadar RHA kuat tekan beton semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh kandungan kalsium pada beton semakin menjadi lebih sedikit sehingga proses hidrasi semen menjadi lebih lama sementara kandungan silika pada abu sekam padi hanya mampu bereaksi setelah hidrasi terjadi. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Pradana (2016) yang menunjukkan bahwa beton OPC akan memperoleh kuat tekan yang lebih tinggi jika direndam di air gambut dibandingkan dengan beton OPC dengan penambahan RHA pada umur 28 hari setelah kondisi matang. Menurut Mehta (2006) reaksi antara pozzolan dan kalsium hidroksida dinamakan reaksi pozzolan. Reaksi ini berjalan lambat,

sehingga pengembangan kekuatan juga akan berjalan lambat, namun akan meningkat seiring bertambahnya umur dan rendaman. Serangan asam seperti HCl 0,01 N dapat meningkatkan reaksi pozzolan RHA (Vayghan, Khaloo, & Rajabipour, 2013).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

1. Penggantian sebagian semen dengan RHA pada campuran beton dapat menurunkan nilai *slump*. Hal ini terjadi karena RHA bersifat banyak menyerap air.
2. Beton yang menggunakan RHA menghasilkan porositas yang lebih rendah dibandingkan dengan beton OPC jika terpapar dilingkungan gambut, karena RHA dengan partikelnya yang halus mampu mengisi pori-pori antara agregat dan pasta semen.
3. Kuat tekan pada beton OPC tanpa penambahan RHA memberikan hasil paling tinggi (20,28 MPa) pada umur 28 hari. Sedangkan penggunaan RHA belum memberikan efek peningkatan kuat tekan, karena proses reaksi pozzolan berjalan lambat.

4.2 Saran

1. Perlu penambahan umur beton agar diperoleh hasil yang lebih realistis.
2. Perlu penelitian lebih lanjut jika menggunakan jenis RHA yang berbeda dari daerah lain.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 201. (2008). 201.2R-08 Guide to Durable Concrete. Concrete.
- ACI 211.1-91. (1997). Standard Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91) Reapproved 1997, 1–38.

Afrian, M. (2017). Kuat Tekan Mortar Opc Abu Sekam Padi Pada Suhu Tinggi, 4(1), 1–5.

Agus, F., & Subiksa, I. G. M. (2008). Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan. Bogor: Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF).

Ansyari, B. (2017). Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton OPC dan OPC POFA dengan Air Gambut sebagai Air Pencampur dan Air Perendaman, 1–7.

Antoni; Nugraha, P. (2007). Teknologi Beton dari Material, Pembuatan ke Beton Kinerja Tinggi. Yogyakarta: Andi.

ASTM C 142/C142M-10. (2004). Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates. Annual Book of American Society for Testing materials ASTM Standards (Vol. 97).

ASTM C 618. (2010). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use. Annual Book of ASTM Standards, 04(September), 3–6.

ASTM C-150. (1994). Standard specification for Portland cement. ASTM International (Vol. 552).

ASTM C29/C. (1997). Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate. ASTM International (Vol. 04).

ASTM C39. (2015). Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. ASTM Standards.

ASTM C40. (2010). Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete 1.

ASTM C 618. (2007). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use.

- Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Pertanian (BB Litbang SDLP). (2011). PETA LAHAN GAMBUT INDONESIA Skala 1:250.000, 11.
- British Standard, E., & Specification, P. (2005). Concrete — (Vol. 3).
- Bakri. (2005). Komponen kimia dan fisik abu sekam padi sebagai scm untuk pembuatan komposit semen, 5(1), 9–14.
- Balai Riset dan Standarisasi Industri Padang. (2017). Komposisi Kimia RHA.
- BPS Provinsi Riau. (2016). Produksi Padi, Jagung, dan Kedelai Provinsi Riau.
- Chopra, D., & Siddique, R. (2015). ScienceDirect Strength, permeability and microstructure of self-compacting concrete containing rice husk ash. *Biosystems Engineering*, 130, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.12.005>
- Bui, D.D. (2001). Rice Husk Ash A Mineral Admixture for High Concrete. Netherlands : DUP Science.
- Ednor, M. (2017). Kuat Tekan Dan Perubahan Berat Mortar Menggunakan Bahan Tambah Abu Sekam Padi (Rice Husk Ash) Di Air Gambut.
- Fadillah, M. L. (2017). Densitas, Nilai Slump, Dan Kuat Tekan Beton OPC Dan OPC POFA Dengan Campuran Air Gambut Terpapar Di Lingkungan Gambut, 4(2), 1–9.
- Ganesan, K. (2008). Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete, 22, 1675–1683. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.06.011>
- Gultom, G. (2017). KUAT TEKAN DAN PERUBAHAN BERAT BETON OPC DAN OPC POFA DENGAN MENGGUNAKAN AIR GAMBUT SEBAGAI AIR PENCAMPUR DI LAHAN GAMBUT, 4(2), 1–9.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2006). *Concrete Microstructure Properties and Materials* (third edit). United States of America: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Mulyono, T. (2003). *Teknologi Beton* (Andi Office). Jakarta.
- Nehdi, M., Duquette, J., & Damatty, A. El. (2003). Performance of rice husk ash produced using a new technology as a mineral admixture in concrete, 33, 1203–1210. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00038-3](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00038-3)
- Olivia, M. (2015). Kuat Tekan Beton Dengan Semen Campuran Limbah Agro-Industri di Lingkungan Asam, 294–301.
- Pandiangan, J. A. (2006). Ketahanan Beton Mutu Tinggi di Lingkungan Asam.
- Pradana, T. (2016). Sifat Mekanik Dan Porositas Beton Semen Opc, Pcc, Dan Opc POFA di Lingkungan Gambut.
- Rahmayani, I. S. (2017). KUAT TEKAN DAN POROSITAS MORTAR.
- Rinanda, R. (2017). Kuat tekan dan porositas beton opc dan opc pofa dengan air pencampur gambut menggunakan bahan aditif.
- SNI 14-2049-2004. SNI 15-2049-2004 Semen Portland, Semen Portland 132 (2004).
- SNI 7925:2013. (2013). Pemetaan Lahan Gambut Skala 1:50.000 Berbasis Citra Penginderaan Jauh. Badan Standardisasi Nasional.
- SK SNI T-15-1991-03. (1991). Tata Cara Penghitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.

- Bandung: LPMB Dep. Pekerjaan Umum RI.
- SNI 03-1968. (1990). Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. Badan Standar Nasional Indonesia.
- SNI 03-1970. (1990). Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Balitbang PU.
- SNI 03-1971. (1990). Metode Pengujian Kadar Air Agregat. Balitbang PU.
- SNI 03-2417-1991. (1991). Metode pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi los angeles, 12(12), 1–5.
- SNI 03-2834-2002. (2002). Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal, 1–34.
- SNI 03-2847-2013. (2013). Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-4804. (1998). Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat. Balitbang PU, 1–6.
- SNI 15-2049-2004. (2004). Pengujian Waktu Pengikatan, 85–90.
- Suprasman, & Ermiyati. (2003). Kuat Tekan Mortar dengan Penambahan Abu Sekam Padi Sebagai Pengganti Sebagian Semen.
- Vayghan, A. G., Khaloo, A. R., & Rajabipour, F. (2013). Cement & Concrete Composites The effects of a hydrochloric acid pre-treatment on the physicochemical properties and pozzolanic performance of rice husk ash, 39, 131–140.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.03.022>
- Xu, W., Lo, T. Y., & Memon, S. A. (2012). Microstructure and reactivity of rich husk ash. *Construction and Building Materials*, 29, 541–547.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.005>
- Zivica, V., & Bajza, A. (2002). Acidic Attack of Cement-Based Materials. Slovakia: University of Technology.