

KUAT TEKAN BETON HVFA DI AIR GAMBUT

Sopian¹⁾, Ismeddiyanto²⁾, Monita Olivia²⁾

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

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

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

Email: sopian.s@student.unri.ac.id

Abstract

High Volume Fly Ash (HVFA) is a concrete with green building concept. The quantity of fly ash each year increases as coal production increases. HVFA Concrete offers a short-term solution of the growing need for portland cement. Concrete with the use of pozzolanic material has better strength in reducing the effect of organic acid from peat water than Ordinary Portland Cement (OPC). This research examines the compressive strength of OPC concrete and HVFA concrete exposed in peat water environment with a variation of fly ash as many as 50% of the weight of the cement volume. Concrete samples were made with a cylindrical mold with a height of 210 mm and a diameter of 105 mm. The number of samples made in this study was 18 pieces. The OPC and HVFA culinder concrete were cured for 28 days. Later, the specimens were put in a container and cure with peat water for 7 and 28 days. The results of fresh concrete test showed that the greater the amouny of fly ash used in concrete mix, the workability decreased. For the case of specimens immersed in peat water for 28 days, its concrete strength was 31,05% higher than that of immersed in fresh water. Based on the results of these tests it was concluded that HVFA concrete was able to reduce peat acid attack compared to OPC concrete.

Keywords: HVFA, compressive strength, peat environment

1. PENDAHULUAN

Batu bara merupakan sumber energi terpenting untuk pembangkit listrik. Menurut data Badan Pusat Statistik tahun 2016, Indonesia merupakan negara penghasil batu bara dengan jumlah produksi mencapai 405,9 juta ton pada tahun 2015. Safitri (2009) menyatakan bahwa pembakaran batu bara menghasilkan abu terbang sebesar 15-17% setiap tonnya. Maka produksi batu bara yang mencapai 405,9 juta ton akan menghasilkan abu terbang sebesar 69 juta ton pada tahun 2015.

Penggunaan abu terbang ke dalam campuran beton telah dilakukan di

Amerika Utara dengan persentase abu terbang 15-20% terhadap berat semen. Biasanya, jumlah ini memiliki efek menguntungkan pada *workability* dan biaya produksi beton. Abu terbang dengan kisaran 25-35% dari berat semen digunakan apabila ada pertimbangan terjadi keretakan atau serangan sulfat. Akan tetapi proporsi tinggi dari abu terbang menyebabkan perlambatan kekuatan beton pada usia dini (Mehta, 2002).

High volume fly ash (HVFA) adalah campuran beton yang dikemukakan oleh Malhotra dan Mehta (2002) dengan kandungan abu terbang (*fly ash*) 45% atau

lebih dari berat semen. Beton HVFA dengan penggunaan *fly ash* mencapai 70% mengalami kenaikan kuat tekan sampai umur 365 hari. (Atis, 2005).

Menurut Olivia, *et al* (2015), lingkungan gambut dapat merusak beton, menghancurkan struktur kristal, dan menyisakan residu tidak bermanfaat pada kekuatan beton, lalu menimbulkan penurunan kuat tekan beton sehingga masa layan struktur beton dapat berkurang. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Rahmayani, *et al* 2017) mortar OPC dengan perendaman air gambut mengalami penurunan kuat tekan disebabkan oleh kandungan asam yang terdapat dalam air gambut. Selain itu, Alfadh (2017) menyatakan bahwa beton OPC dengan perendaman air gambut mengalami penurunan kekuatan pada umur 91 hari.

Adapun upaya dalam meningkatkan sifat fisik dan mekanik beton di lingkungan gambut ialah dengan menggunakan bahan pozzolan sebagai pengganti sebagian semen. Terdapat 4 jenis bahan pozzolan yang umum digunakan sebagai campuran pada beton yaitu abu terbang, abu kelapa sawit, bubuk kulit kerang, dan abu sekam padi. Pada penelitian yang dilakukan oleh Pranata (2017) menunjukkan bahwa pemakaian 10% abu sekam ke dalam campuran beton meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik belah beton seiring dengan bertambahnya umur beton dan terjadi penurunan kekuatan pada beton OPC kontrol yang direndam di air gambut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton HVFA

Pozzolan yang sering digunakan baik sebagai bahan tambah maupun sebagai pengganti sebagian semen seperti abu terbang (*fly ash*), abu kelapa sawit, bubuk

kulit kerang, dan abu sekam padi. Keempat pozzolan alami dikelompokkan ke dalam pozzolan karena memiliki silika yang tinggi.

China merupakan negara penghasil abu terbang terbesar di dunia. Lebih dari 600 juta ton abu batu bara diproduksi, namun hanya 15% abu batubara yang digunakan ke dalam campuran beton (Liu, Chuan, dan Distinguished, 2008). Amerika Serikat menghasilkan sekitar 70 juta ton *fly ash* pada tahun 2003, hanya 38% yang di daur ulang. Dengan pertimbangan bahwa jumlah *fly ash* yang berlimpah, maka beton HVFA merupakan langkah jitu dalam mengurangi limbah berlebih. Kelebihan dari beton *high volume* ialah mengurangi limbah *fly ash*, pengurangan porsi semen, dan membuat beton menjadi lebih ekonomis serta ramah lingkungan (Bilodeau dan Malhotra, 2000).

Perbedaan antara beton normal dengan beton *high volume* terdapat pada komposisi binder (bahan perekat). Menurut Malhotra dan Mehta (2002), beton *high volume* merupakan beton dengan penggunaan bahan pozzolan sebagai alternatif penggantian semen yang mencapai 45% atau lebih dari berat semen. Beton HVFA dikembangkan oleh *Canadian Centre for Mineral and Energy Technology* (CANMET) pada tahun 1985. Selain ramah lingkungan, beton HFVA juga mempunyai kelebihan dalam kekuatan mekanik dan durabilitas yang tinggi (Malhotra, 2004).

2.2 Bahan Penyusun Beton HVFA

2.2.1 Ordinary Portland Cement (OPC)

Menurut ASTM C-150, *Ordinary Portland Cement* (OPC) termasuk semen tipe I yaitu tipe semen umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus. *Portland*

cement merupakan bubuk halus yang diperoleh dengan menggiling *klinker* (yang didapat dari pembakaran suatu campuran alumina, dan oksida besi).

2.2.2 Fly Ash (FA)

Abu terbang (*fly ash*), abu kelapa sawit, bubuk kulit kerang, dan abu terbang merupakan bahan pozzolan yang sering digunakan. Keempat pozzolan alami dikelompokkan kedalam pozzolan karena memiliki silika yang tinggi. *Fly ash* adalah bagian dari sisa pembakaran batu bara pada boiler pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk partikel halus dan bersifat pozzolan. Sifat pozzolan yang dimiliki *fly ash* mempunyai prospek untuk digunakan berbagai keperluan bangunan.

2.2.3 Agregat

Agregat penyusun beton terbagi menjadi dua yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar (kerikil) merupakan agregat yang mempunyai ukuran butiran lebih besar dari 4,75 mm. Sedangkan agregat halus (pasir) berukuran lebih kecil dari 4,75 mm (ASTM C-33). Agregat dalam campuran beton harus memenuhi standar pengujian yang disyaratkan oleh SNI yang tertera pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Standar Pengujian Agregat

Pengujian Agregat	Standar Pengujian	
	Agregat Kasar	Agregat Halus
Berat jenis	SNI 03-1969-1990	SNI 03-1970-1990
Berat volume	SNI 03-4804-1998	SNI 03-4804-1998
Keausan agregat	SNI 03-2417-2008	-
Kadar air agregat	SNI 03-1971-1990	SNI 03-1971-1990
Analisa saringan	SNI 03-1968-1990	SNI 03-1968-1990
Zat organik	-	SNI 03-2816-1992
Kadar lumpur	-	SNI 03-2461-2002

2.2.4 Air

Air dalam campuran beton akan bereaksi dengan semen dan membentuk pasta yang mengikat komponen campuran beton. Kemudahan pengerjaan (*workability*) dipengaruhi oleh air. Semakin banyak air maka *workability* semakin besar namun kekuatan beton akan mengecil.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pemeriksaan Material

Pemeriksaan material terdiri dari pemeriksaan karakteristik agregat kasar dan agregat halus, dan komposisi kimia abu terbang (*fly ash*). Material seperti agregat kasar, agregat halus, dan air gambut berasal dari Kabupaten Kampar, Riau. Sedangkan *fly ash* berasal dari PLTU. Ombilin, Padang.

Agregat kasar dan agregat halus dilakukan pemeriksaan karakteristik material di Laboratorium Bahan Bangunan, Teknik Sipil, Universitas Riau. Air gambut dilakukan uji karakteristik di Badan Riset dan Standarisasi (BARISTAND), Padang. Sedangkan *fly ash* dianalisis di Sucofindo, Pekanbaru.

3.2 Perencanaan dan Pembuatan Sampel

Perencanaan campuran dilakukan dengan metode ACI 318 dengan kuat tekan rencana sebesar 21 MPa pada umur 28 hari. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter silinder 105 mm dan tinggi silinder 210 mm untuk pengujian kuat tekan. Total sampel untuk beton OPC dan HVFA ialah 18 sampel silinder. Komposisi campuran untuk 1 m³ beton HVFA dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Komposisi Campuran untuk 1 m³ Beton

Tipe	Kerikil (Kg)	Pasir (Kg)	OPC (Kg)	FA (Kg)	Air (Kg)
OPC	932,7	814,8	350,9	0	225,4
HVFA	932,73	814,8	175,4	116,4	225,4

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, dengan rumus:

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots (1)$$

dimana:

- $f'c$ = kuat tekan (MPa)
- P = beban maksimum (N)
- A = luas penampang (mm²)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Abu Terbang

Tabel 3. Komposisi Kimia Fly Ash

No	Unsur	Hasil (%)
1	SiO ₂	52,25
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 Sucofindo Pekanbaru (2018), kadar SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ lebih dari 70%. Disisi lain kadar CaO kurang dari 10%, hal ini

mengisyaratkan abu terbang yang berasal PT. PLTU Ombilin Padang adalah kelas F.

4.2 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Data hasil pemeriksaan karakteristik agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5.

Tabel 4. Karakteristik Agregat Kasar

No	Pengujian	Hasil	Spesifikasi
1	Berat Jenis (gr/cm ³)		
	a. <i>Apparent Specific Gravity</i>	2,61	2,58 - 2,83
	b. <i>Bulk Specific Gravity on dry</i>	2,59	2,58 - 2,83
	c. <i>Bulk Specific Gravity on SSD</i>	2,60	2,58 - 2,83
	d. <i>Absorption (%)</i>	0,28	2 - 7
2	Kadar Air (%)	0,20	3 - 5
3	Modulus Kehalusan	7,64	5 - 8
4	Keausan (%)	34,18	< 40
5	Berat Volume (gr/cm ³)		
	a. Kondisi Gembur	1,32	1,4 - 1,9
	b. Kondisi Padat	1,46	1,4 - 1,9

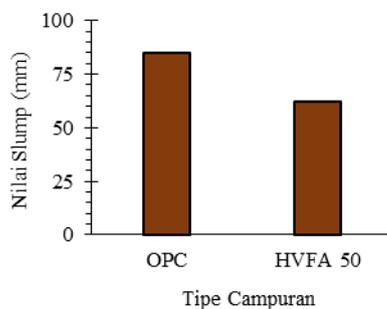
Tabel 5. Karakteristik Agregat Halus

No	Pengujian	Hasil	Spesifikasi
1	Berat Jenis (gr/cm ³)		
	a. <i>Apparent Specific Gravity</i>	2,76	2,58 - 2,83
	b. <i>Bulk Specific Gravity on dry</i>	2,51	2,58 - 2,83
	c. <i>Bulk Specific Gravity on SSD</i>	2,60	2,58 - 2,83
	d. <i>Absorption (%)</i>	3,63	2 - 7
2	Kadar Air (%)	1,01	3 - 5
3	Modulus Kehalusan	3,35	1,5 - 3,8
4	Kadar lumpur (%)	4	< 5
5	Kadar organik	No.3	≤ No.3
6	Berat Volume (gr/cm ³)		
	Kondisi Gembur	1,31	1,4 - 1,9
	Kondisi Padat	1,50	1,4 - 1,9

Secara keseluruhan agregat halus berkarakteristik baik dan memenuhi standar yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, penggunaan agregat halus tetap digunakan pada penelitian ini.

4.3 Hasil pengujian *Workability*

Nilai *slump* digunakan untuk menentukan *workability* beton HVFA. Pengujian nilai *slump* pada penelitian ini dilakukan dengan mengukur penurunan pada tiap-tiap variasi persentase FA. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Hasil Pengujian *Slump* Beton OPC dan HVFA

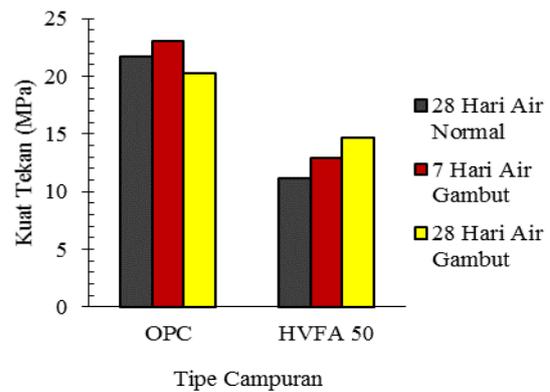
Gambar 1 menunjukkan nilai *slump* yang berbeda antara beton OPC dengan beton HVFA dengan penggunaan FA 50%. Semakin besar penggunaan FA ke dalam campuran beton, maka nilai *slump* akan semakin rendah. Hal ini karena FA menyerap banyak air. Campuran beton dengan jumlah FA 50% penggantian semen memiliki nilai *slump* terendah yaitu 60 mm. Nilai *slump* tertinggi sebesar 85 mm pada campuran beton OPC.

Persentase pozzolan yang besar akan mengakibatkan penyerapan air dalam campuran beton semakin tinggi dan menurunkan nilai *slump* (Fadillah, 2017).

4.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pada penelitian ini, beton OPC kontrol (OPC 100%), beton HVFA 50

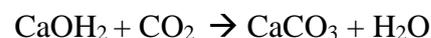
dilakukan *curing* selama 28 hari dan perendaman di air gambut selama 7 dan 28 hari. Setelah perendaman selesai, dilakukan pengujian kuat tekan pada masing-masing umur pengujian.



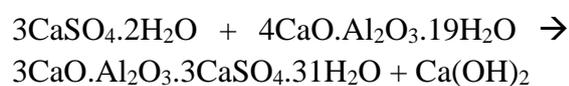
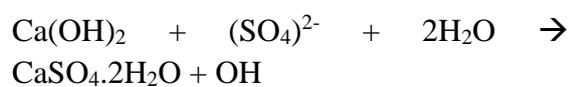
Gambar 2. Perbandingan Kuat Tekan Terhadap Umur Perendaman untuk Beton OPC dan HVFA

Gambar 2 menunjukkan penurunan nilai kuat tekan yang terjadi pada beton OPC dan kenaikan nilai kuat tekan beton HVFA. Kuat tekan beton OPC turun 7,1% dari beton kontrol, sedangkan kenaikan signifikan terjadi pada beton yang menggunakan FA 50% dengan kenaikan kuat tekan sebesar 31% pada umur 28 hari rendaman air gambut.

Beton OPC akan mengalami kerusakan apabila terpapar oleh lingkungan gambut. Reaksi kimia beton yang terpapar lingkungan gambut ada dua reaksi. pertama adalah reaksi kalsium hidroksida dengan karbondioksida (CO₂) menghasilkan zat yang tidak dapat larut dalam air dan tidak merusak beton yaitu kalsium karbonat (CaCO₃). Selanjutnya CaCO₃ akan bereaksi lagi dengan CO₂ menghasilkan kalsium bikarbonat (Ca(HCO₃)₂) yang larut dalam air. Mekanisme reaksi yang terjadi adalah:



Reaksi kimia berikutnya ialah reaksi antara C-S-H atau kalsium silikat hidrat dengan kalsium aluminat hidrat ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$) membentuk gipsum ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *calcium sulphoaluminate* ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 31\text{H}_2\text{O}$) disebut *ettringite*. Pengaruh *ettringite* dapat menyebabkan kerusakan pada beton karena memiliki volume yang lebih besar daripada komponen penyusunnya (Goyal, 2009). Mekanisme reaksi yang terjadi adalah:



Selain itu, menurut Elington (1988), semen OPC merupakan jenis semen yang paling rentan diserang oleh asam. Beton OPC dengan perendaman air gambut akan terus mengalami penurunan kuat tekan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Alfadh (2017) kuat tekan beton OPC akan terus menurun seiring bertambahnya umur beton.

Berbeda dengan beton OPC yang mengalami penurunan kuat tekan, beton HVFA 50 menunjukkan nilai kuat tekan yang meningkat seiring bertambahnya umur beton. Kenaikan kuat tekan beton HVFA 50 sebesar 31,05% pada umur 28 hari perendaman air gambut. Peningkatan kuat tekan beton HVFA yang terpapar air gambut menunjukkan bahwa penggunaan FA memiliki dampak positif bagi kekuatan beton. Ketika proses hidrasi semen berlangsung, kandungan SiO_2 dalam FA akan bereaksi dengan kapur bebas ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) sehingga membentuk perekat (C-S-H) yang berdampak baik bagi kekuatan beton dan mengurangi dampak serangan asam yang terjadi.

Kuat tekan beton HVFA pada penelitian ini tidak mencapai kuat tekan

rencana 21 MPa karena beton HVFA pada penelitian ini mengandung FA yang tidak *amorf*. Hal ini berdasarkan nilai LOI (kadar karbon) yang terkandung dalam FA melebihi standar yang ditetapkan oleh ASTM C 618, sehingga reaksi yang terjadi berjalan lambat. Kuat tekan yang rendah juga terjadi karena nilai FAS pada beton HVFA mencapai 0,57, sedangkan menurut Bentz, *et al.*, (2013), kuat tekan beton dengan konsep HVFA akan memuaskan apabila angka FAS yang digunakan $\leq 0,4$.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian *workability* dan kuat tekan beton OPC dan HVFA yang terpapar di lingkungan gambut maka diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai *slump* beton OPC lebih tinggi daripada beton HVFA. Semakin besar penggantian FA maka *workability* akan semakin rendah. Kandungan FA yang besar pada beton HVFA mengakibatkan penyerapan air dalam campuran beton semakin tinggi dan menurunkan nilai *slump*.
2. Kuat tekan beton OPC memiliki nilai yang lebih tinggi daripada beton HVFA. Akan tetapi, beton HVFA mampu menurunkan pengaruh air gambut dengan meningkatnya nilai kuat tekan. Peningkatan kuat tekan beton HVFA 50 sebesar 31,05% setelah 28 hari perendaman air gambut. Hal ini menunjukkan dampak positif penggunaan FA dalam mereduksi pengaruh air gambut. Beton OPC rentan terhadap air gambut, saat beton OPC terpapar air gambut maka lama kelamaan beton akan mengalami disintergrasi dan mengurangi kekuatan beton.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini maka dapat dikemukakan saran yang bisa dijadikan sebagai rekomendasi untuk penelitian lanjutan:

1. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan menggunakan jenis abu terbang (*fly ash*) yang berbeda dari PLTU lain.
2. Untuk mengetahui pengaruh asam dan pengaruh abu terbang lebih lanjut, perlu dilakukan penambahan umur rendaman guna mengetahui batasan peningkatan kekuatan yang terjadi.
3. Untuk mengkorelasikan nilai kuat tekan dengan nilai kuat tarik belah sebaiknya menggunakan benda uji dengan dimensi yang sama.

6. DAFTAR PUSTAKA

- ACI 318. (2008). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08)* (Vol. 2007).
- Alfadh, R. M. (2017). Kuat Tekan dan Sifat Fisik Beton OPC dan OPC-RHA untuk Aplikasi di Lingkungan Gambut.
- ASTM C33. (2008). *Standard Specification for Concrete Aggregates*.
- ASTM C 618 – 00. (2000). *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete I* (Vol. 04).
- ASTM C150. (1998). *Standard Specification for Portland Cement*, 552.
- Atis. (2005). Strength Properties of High Volume Fly Ash Roller Compacted and Workable Concrete , and Influence of Curing Condition, 35, 1112–1121.
- Badan Pusat Statistik. (2016). Statistik Pertambangan Non Minyak dan Gas Bumi.
- Bilodeau, A., & Malhotra, V. M. (2000). High-Volume Fly Ash System : Concrete Solution for Sustainable Development, (97), 41–48.
- Elington. (1988). *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*.
- Fadillah, M. L., & Olivia, M. (2017). Densitas , Nilai Slump , dan Kuat Tekan Beton OPC dan OPC POFA dengan Campuran Air Gambut Terpapar di Lingkungan Gambut, 4(2), 1–9.
- Goyal, S., Kumar, M., Sidhu, D. S., & Bhattacharjee, B. (2009). Resistance of Mineral Admixture Concrete to Acid Attack. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 7(2), 273–283.
- Liu, T. C., Chuan, J., & Distinguished, C. (2008). Sustainable Concrete Technology for The 21th Century, 1168–1174.
- Malhotra, V.M., & Mehta, P. K. (2002). High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development. Canada: Ottawa. 101 pp.
- Malhotra, V. M. (2004). Properties of The High Volume Fly Ash Concrete and its Role in Sustainability of Cement and Concrete Potential Advantages of Using High Volumes of Fly Ash in Concrete.
- Mehta, P. K. (2002). High-Performance , High-Volume Fly Ash Concrete for Sustainable Development, 3–14.
- Olivia, M., Darmayanti, L., Kamaldi, A., & Djauhari, Z. (2015). Kuat Tekan Beton dengan Semen Campuran Limbah Agro-Industri di Lingkungan Asam, 294–301.
- Pranata, Y. (2017). Sifat Mekanik Beton OPC dan OPC Abu Sekam Padi di Lingkungan Gambut.
- Rahmayani, I. S., Olivia, & M., Saputra, E., Jurusan, M., Sipil, T., Teknik, F., ... Riau, U. (2017). Durabilitas

- Mortar Bubuk Kulit Kerang di Air Gambut, 4(1), 1–5.
- Safitri, E. (2009). Kajian Teknis dan Ekonomis Pemanfaatan Limbah Batu Bara (*Fly Ash*) pada Produksi Paving Block, IX, 36–40.
- SNI 1974:2011. (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*.
- SNI 03-2417-1991. (1991). *Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angles*. Jakarta: Badan Standar Nasional.
- SNI 03-4804-1998. (1998). *Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat*, 1–6.
- SNI 03-1968-1990. (1990). *Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*.
- SNI 03-1969-1990. (1990). *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Bandung: Badan Standardisasi Indonesia, 1–17.
- SNI 03-1970-1990. (1990). *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*.
- SNI 03-2461-2002. (2002). *Spesifikasi Agregat Ringan untuk Beton Ringan Struktural*.
- SNI 03-2816-1992. (1992). *Metode Pengujian Kotoran Organik dalam Pasir untuk Campuran Mortar atau Beton* (Vol. 4).
- SNI 03-1971-1990. (1990). *Metode Pengujian Kadar Air Agregat*.
- SNI 03-1972-1990. (1990). *Metode Pengujian Slump Beton*.
- SNI 15-2049-2004. (2004). *Semen Portland*.