

KINERJA BETON HIGH VOLUME POFA

Ririn Yuari Farandia

Laboratorium Teknologi Bahan, Program Studi Teknik Sipil S1, Fakultas Teknik
Universitas Riau, Pekanbaru, 28293, email: ririnyuari070711237@yahoo.com

Monita Olivia

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru 28293,
email: monitawibisono@yahoo.com

Lita Darmayanti

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru 28293,
email: litlit98@yahoo.com

ABSTRACT

The use of Palm Oil Fuel Ash (POFA) as a pozzolanic component in concrete continues in the future due to increase amount of POFA as by-product from industries annually. POFA is used as partial cement replacement in concrete and has significant impact on concrete's performance. In this research, high volume POFA concrete with POFA replacement of 45%, 55% and 65% by cement mass were studied. POFA was obtained from local quarry in Riau Province. OPC concrete was used as control mix. Some properties namely workability, setting time, compressive strength, shrinkage and porosity were investigated. Results show that workability and compressive strength decreases as the POFA replacement increases in concrete. Porosity, shrinkage and setting time increases with an increase of POFA in concrete. It can be concluded high volume POFA using local material cannot improve the concrete performance significantly.

Keywords: compressive strength, performance of concrete, POFA, porosity, pozzolans, shrinkage, setting times, workability

1. PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit merupakan industri terpenting di Indonesia karena meningkatkan ekonomi pembangunan. Saat ini diperkirakan jumlah limbah pabrik kelapa sawit (PKS) di Indonesia mencapai 28,7 juta ton limbah cair/tahun dan 15,2 juta ton limbah padat (TKKS)/tahun (Anonim, 2012). Limbah padat yang dihasilkan yaitu sekitar 35-40% dari jumlah tandan buah segar yang diolah (Departemen Perkebunan, 2012).

Limbah padat yang berupa cangkang, serat, dan tandan kosong kelapa sawit bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan uap tenaga listrik dalam upaya penghematan energi. Dari pembakaran ini, dihasilkan limbah berupa abu yang tidak dimanfaatkan dan dikelola dengan baik sehingga dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Abu pembakaran dari boiler tersebut disebut *Palm Oil Fuel Ash* (POFA).

Seiring perkembangan zaman, penelitian tentang POFA mulai dilakukan khususnya dalam pekerjaan beton. Pemanfaatan POFA sebagai suatu bahan pozzolanik untuk menggantikan semen sebanyak 0-30% telah dilakukan dan menunjukkan bahwa POFA dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen dalam campuran beton (Tangchirapat et al., 2006). POFA bersifat pozzolanik, yaitu bahan yang mengandung silika atau silika dan alumina yang bersifat reaktif apabila bersenyawa dengan kapur dan air



Gambar 1. Limbah pengolahan kelapa sawit

Penambahan jumlah POFA sebesar 45% atau lebih disebut *High Volume Palm Oil Fuel Ash (HVPOFA)*. Dengan penggunaan HVPOFA dalam campuran beton, akan mengoptimalkan penggunaan POFA karena meminimalisir penumpukan dan penimbunan POFA sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan.

(ASTM C 618, 2001). POFA juga mengandung kapur, tetapi kandungannya lebih rendah daripada *Ordinary Portland Cement (OPC)*. Oleh karena itu, POFA memiliki potensi sebagai bahan alternatif pengganti sebagian semen pada campuran beton. POFA memiliki karakteristik yang baik terhadap serangan kimia seperti sulfat, asam dan juga bahan kimia lainnya bila digunakan sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton (Awal, 1998).



Gambar 2. POFA

Selain itu juga dapat meneliti material lokal yang berupa limbah.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Material

2.1.1 Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Portland Tipe I (*Ordinary Portland Cement*).

2.1.2 POFA (*Palm Oil Fuel Ash*)

POFA yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari PKS Lubuk Raja, Riau. POFA ini dioven dan kemudian disaring dengan menggunakan saringan No.200. Nilai *specific gravity* yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian adalah 2,13. Nilai ini memenuhi standar kriteria pozzolan menurut Nugraha dan Antoni (2007) yaitu berkisar antara 2,0-2,4. Sifat fisik POFA

sangat dipengaruhi oleh kondisi pada saat pembakaran, terutama sekali suhu pembakaran (Abdullah et al. 2006). Komposisi kimia POFA diteliti di Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung. Komposisi utama dari POFA adalah SiO₂. Hasil uji komposisi kimia POFA PKS Lubuk Raja, Riau, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi POFA

Unsur	% berat
SiO ₂	64,36
Al ₂ O ₃	4,36
Fe ₂ O ₃	3,41
CaO	7,92
MgO	4,58
SO ₃	0,04
K ₂ O	5,57
TiO ₂	0,87
MnO	0,1
P ₂ O ₅	3,64
H ₂ O	0,59

Menurut ASTM C-618, kandungan SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ yang termasuk dalam kategori untuk dijadikan pozzolan dalam campuran beton adalah sebesar 50% untuk kelas C serta 70% untuk kelas F dan N. Dari hasil pengujian diperoleh jumlah SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ adalah 72,13% (>70%) serta kandungan SO₃ yaitu 0,04%, dimana bisa dikategorikan sebagai pozzolan kelas N. Awal dan Hussin (1997), melaporkan bahwa jumlah SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ adalah 59,7% (>50%)

serta kandungan SO₃ yaitu 2,8%. Menurut mereka, POFA telah memenuhi syarat sebagai bahan pengganti semen berdasarkan ASTM C-618 dan bisa diklasifikasikan sebagai pozzolan di kelas C. Untuk menentukan klasifikasi POFA, ada banyak pendapat yang disebabkan karena perbedaan dari hasil komposisi kimianya. Perbedaan dari hasil komposisi kimia ini disebabkan oleh kondisi pada saat pembakaran dan sumber dari material tersebut (Sata et al. 2004).

2.1.2 Agregat

Agregat yang digunakan berasal dari *Quarry* Rimbo Panjang. Pengujian agregat kasar ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan

Fakultas Teknik Universitas Riau dengan hasil uji karakteristik sebagai berikut dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Hasil uji karakteristik agregat kasar

No	Pengujian	Satuan	Hasil
1	Berat volume		
	a. Kondisi padat	gr/cm ³	1,525
	b. Kondisi gembur	gr/cm ³	1,385
2	Berat jenis		
	a. <i>Apparent Specific Gravity</i>		2,65
	b. <i>Bulk Specific Gravity</i> (Kering)		2,57
	c. <i>Bulk Specific Gravity</i> (SSD)		2,6
	d. <i>Water Absorption</i>	%	1,41
3	<i>Fine modulus</i>		6,07
4	Kadar air	%	1,63
5	Abrasi	%	36,19

Tabel 3. Hasil uji karakteristik agregat halus

No	Pengujian	Satuan	Hasil
1	Berat volume		
	a. Kondisi padat	gr/cm ³	1.782
	b. Kondisi gembur	gr/cm ³	1.634
2	Berat jenis		
	a. <i>Apparent Specific Gravity</i>		2.64
	b. <i>Bulk Specific Gravity</i> (Kering)		2.62
	c. <i>Bulk Specific Gravity</i> (SSD)		2.63
	d. <i>Water Absorption</i>	%	0.28
3	<i>Fine modulus</i>		3.08
4	Kadar air	%	0.87
5	Kadar lumpur	%	7.34

2.2 Proporsi campuran dan pengujian

Proporsi campuran untuk beton normal sebagai kontrol dan

beton HVPOFA dapat dilihat pada Tabel 4. Sebagian semen digantikan dengan POFA sebesar 45%, 55%, dan 65% dari total berat binder.

Setelah pencampuran, dilakukan pengujian workability pada beton segar dengan uji *slump*. Pengujian *slump* ini dibatasi antara 150-200mm. Silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm digunakan untuk mencetak benda uji pada pengujian kuat tekan dan susut. Sedangkan untuk pengujian

porositas, benda uji dicetak menggunakan cetakan kubus yang berukuran 15x15x15 cm. Setelah 24 jam, semua benda uji dikeluarkan dari cetakan dan dimasukkan ke dalam bak perendaman. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat beton berumur 7, 28, dan 56 hari.

Tabel 4. Proporsi campuran dan *slump*

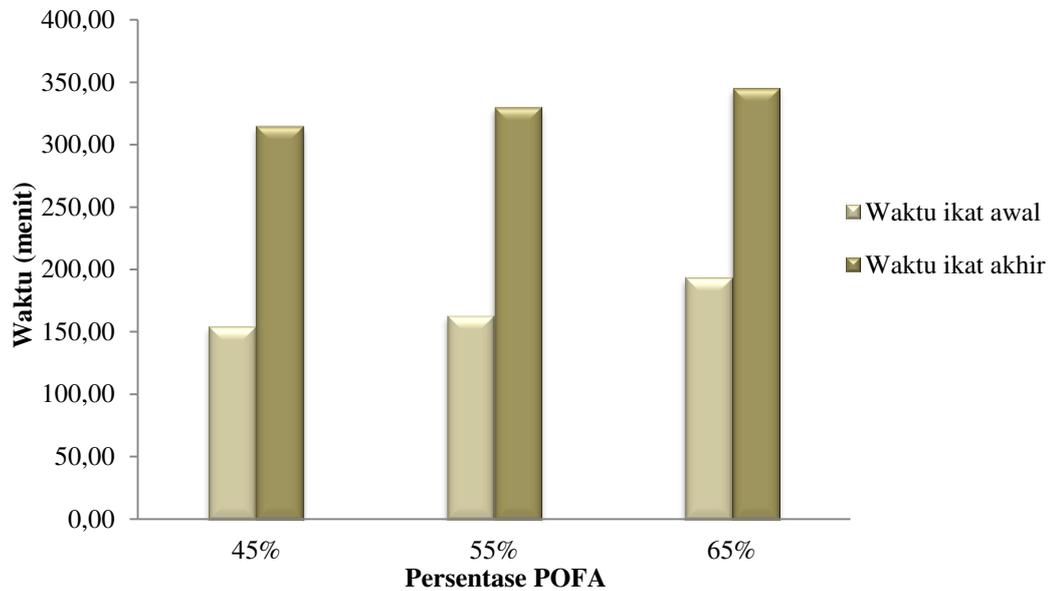
Campuran	Proporsi campuran kg/m ³						<i>Slump</i>
	Semen	POFA	Pasir	Ag. kasar	Air	SP	
OPC	451	0	434	692	172	6	185
POFA 45%	248	203	434	692	249	6	170
POFA 55%	203	248	434	692	266	6	160
POFA 65%	158	293	434	692	283	6	150

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 *Setting times*

Hasil pengujian *setting times* dapat dilihat pada Gambar 5. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada POFA 65% memiliki *setting times* yang lebih lama dibandingkan variasi POFA lainnya. Untuk POFA 65% adalah 3 jam 32 menit untuk *initial setting times* dan 6 jam 30 menit untuk *final setting times*. Semakin banyak jumlah POFA yang digunakan maka *setting times* beton juga akan semakin bertambah. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan POFA memperlambat *setting times*,

maka *initial* dan *final setting times* akan bertambah dengan penambahan jumlah POFA (Tay 1990, Tay and Snow 1995, Tangchirapat et al. 2007). Hal ini disebabkan karena reaksi pozzolanik POFA lebih lambat daripada proses hidrasi pada semen (Tangchirapat et al. 2007). Sebagai tambahan, partikel POFA banyak menyerap air, dimana tidak bisa dengan mudah untuk ikut serta dalam proses hidrasi sehingga meningkatkan *setting times* beton tersebut. *Setting times* dari beton yang mengandung POFA bervariasi tergantung dari tingkat kehalusan dan persentase penggantian POFA (Safiuddin et al. 2011).

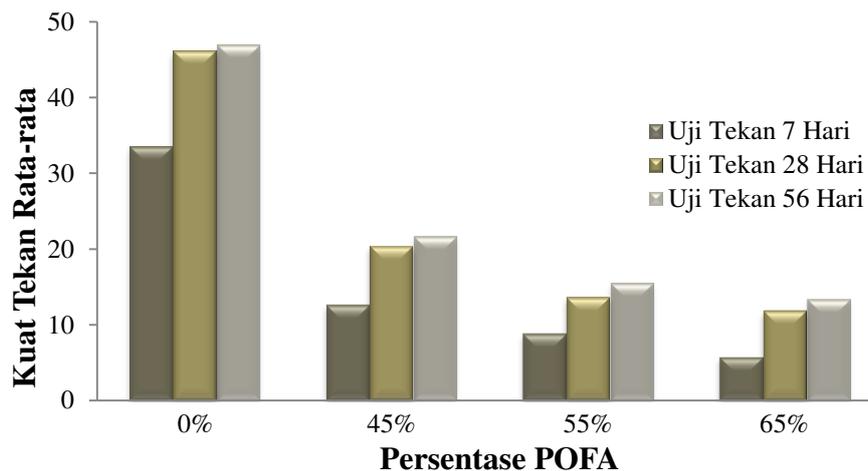


Gambar 3. Grafik hubungan antara persentase POFA dan lamanya *setting times* beton

3.2 Uji tekan

Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin bertambahnya umur beton maka semakin bertambah pula kuat tekan beton. Hasil pengujian kuat tekan beton maksimal terjadi pada umur 56 hari. Persentase

kenaikan kuat tekan untuk beton kontrol (POFA 0%) dari umur 7 hari sampai 56 hari adalah mencapai 28%. Kekuatan beton akan naik secara cepat (linier) sampai umur 28 hari, setelah itu kenaikannya akan kecil (Mulyono, 2004).



Gambar 4. Grafik hubungan antara umur beton dengan kuat tekan pada setiap variasi persentase POFA

Kuat tekan terbesar pada beton dengan campuran POFA

adalah pada penggantian POFA 45%. Penggunaan POFA yang terlalu

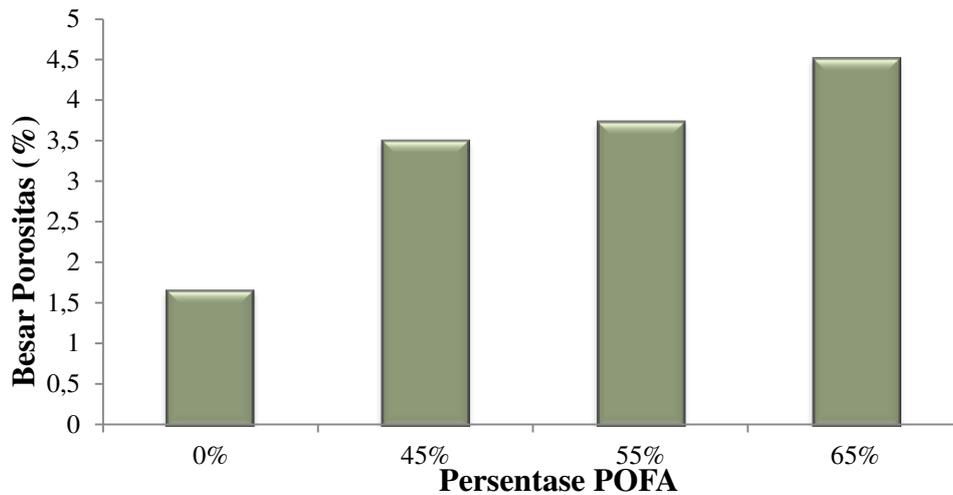
banyak akan menyebabkan penurunan pada kuat tekan. Beberapa penelitian (Tay 1990, Tay dan Snow 1995) menyatakan bahwa kuat tekan beton mengalami penurunan apabila jumlah POFA meningkat. Hal ini disebabkan oleh reaksi pozzolanik yang tidak sempurna. Penggunaan POFA yang terlalu banyak memiliki kelebihan unsur SiO_2 yang tidak dapat bereaksi dengan kapur bebas (CaO) maupun kapur mati (Ca(OH)_2) sehingga tidak terbentuk kapur hidrolis yang menyebabkan proses hidrasi beton menjadi tidak sempurna. Persentase penurunan kuat tekan beton pada umur 56 hari antara POFA 45% dan 55% adalah sebesar 28%, sedangkan antara POFA 55% dan 65% adalah sebesar 13%.

Pengujian kuat tekan beton terendah terjadi pada komposisi POFA 65% yaitu sebesar 13.43 MPa. Pada penelitian sebelumnya, penggantian dengan POFA 65% menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi yaitu mencapai 28 Mpa (Awal dan Ibrahim 2011). Hal ini dikarenakan POFA yang digunakan memiliki partikel yang lebih halus dibandingkan yang POFA yang digunakan dalam penelitian ini. Pada penelitiannya, Awal dan Ibrahim menggiling POFA yang lolos saringan no.200 ($75 \mu\text{m}$) untuk memperoleh POFA yang tertahan saringan no. 325 ($45 \mu\text{m}$) maksimal sebesar 35%. Reaksi pozzolanik dari POFA akan meningkat dengan melakukan penggilingan (Hussin dan

Awal 1996 dan Sukuntapree et al. 2002). POFA dengan kehalusan yang tinggi adalah material pozzolan yang reaktif, dimana dapat bereaksi dengan Ca(OH)_2 untuk menghasilkan *calcium silicate hydrate* (C-S-H) yang berfungsi untuk menambah kuat tekan beton sehingga bisa digunakan dalam pembuatan beton mutu tinggi (Awal dan Hussin 1999, Sata et al. 2004).

3.3 Porositas beton

Gambar 5 menunjukkan bahwa hasil pengujian porositas tertinggi diperoleh pada komposisi POFA 65% yaitu sebesar 4.51% sedangkan porositas terendah diperoleh pada komposisi POFA 0% yaitu sebesar 1,66%. Porositas yang tinggi disebabkan oleh banyaknya penyerapan jumlah air pada POFA sehingga mengurangi kandungan air bebas yang dibutuhkan untuk *workability* (Safiuddin et al. 2011). Meskipun demikian, pada ukuran POFA yang lebih halus akan menghasilkan ukuran pori yang lebih halus dan meminimalkan tingkat porositas beton, sehingga diperoleh beton dengan kepadatan yang baik (Tangchirapat et al. 2009). Selain itu, penggunaan POFA yang lebih halus akan meningkatkan kandungan Ca(OH)_2 yang dihasilkan dari proses hidrasi sehingga mengurangi porositas dan meningkatkan kepadatan beton (Jaturapitakkul et al. 2007).

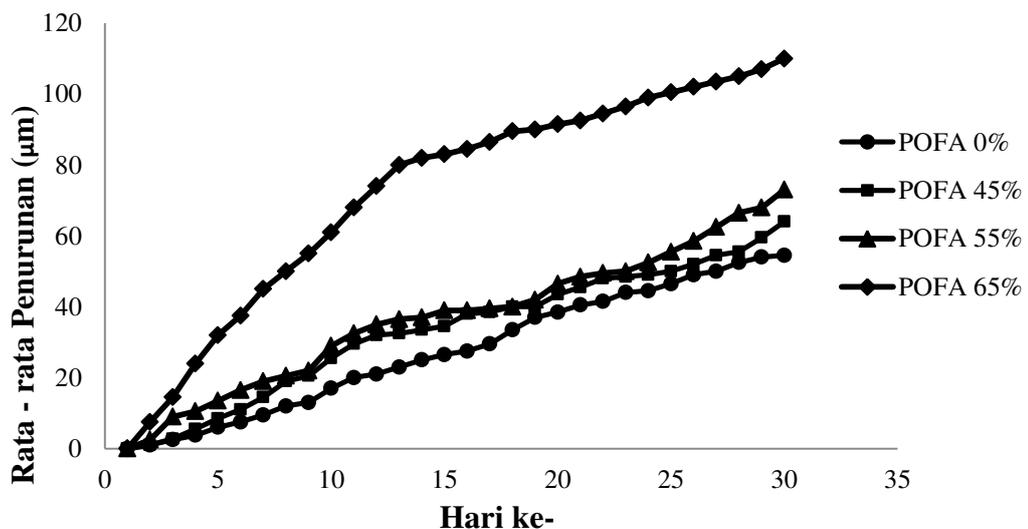


Gambar 5. Grafik hubungan antara persentase POFA dan besarnya porositas

3.4 Susut

Gambar 6 menunjukkan bahwa hasil pengujian susut kering beton maksimal terjadi pada POFA 65% yaitu sebesar 110 μ m sedangkan susut minimal terjadi pada POFA 0% yaitu sebesar 54,5 μ m. Menurut Tay (1990), susut kering beton akan meningkat seiring bertambahnya jumlah POFA. Dari gambar juga dapat dilihat bahwa nilai susut beton POFA 45% dan 55% mendekati POFA 0%, sementara pada POFA

65% terjadi kenaikan yang sangat signifikan. Tingginya nilai susut beton pada komposisi POFA 65% ini disebabkan karena banyaknya jumlah air yang banyak diserap oleh POFA. Semakin banyak penggantian jumlah POFA dalam beton akan meningkatkan jumlah air yang diserap oleh POFA dan kehilangan air di udara sehingga menyebabkan nilai susut beton bertambah (Hussin et al. 2010).



Gambar 6. Grafik hubungan antara persentase POFA dan besarnya susut beton

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan pengujian beton HHVPOFA yang menggunakan POFA sebagai substitusi terhadap *binder* adalah sebagai berikut:

- a. Semakin besar persentase POFA maka semakin besar penyerapan airnya sehingga penurunan nilai *slump* juga akan semakin kecil.
- b. Berdasarkan hasil uji tekan beton HVPOFA pada umur 7, 28, dan 56 hari dapat disimpulkan bahwa semakin besar penambahan jumlah POFA pada beton maka kuat tekan yang dihasilkan semakin kecil.
- c. Berdasarkan hasil uji porositas beton HVPOFA dapat disimpulkan bahwa semakin besar penambahan jumlah POFA pada beton maka semakin besar pula angka porositas beton tersebut.
- d. Berdasarkan hasil uji susut beton HVPOFA dapat disimpulkan bahwa susut terbesar terjadi pada POFA 65% karena banyaknya kandungan air yang diserap oleh POFA sehingga meningkatkan nilai susut beton.
- e. Semakin besar penambahan jumlah POFA pada beton maka akan semakin besar pula nilai susut yang terjadi pada beton.
- f. Berdasarkan hasil uji *setting times* beton HVPOFA dapat disimpulkan bahwa semakin besar penambahan jumlah POFA maka semakin besar *setting times* yang diperlukan oleh beton tersebut karena semakin besar kebutuhan airnya.

- g. Berdasarkan seluruh hasil pengujian, HVPOFA tidak memperbaiki mutu dan kualitas beton.

4.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disarankan:

1. Dilakukan dengan mencoba jenis bahan tambah mineral POFA dari sumber yang berbeda.
2. Untuk penelitian selanjutnya, dapat dicoba dengan menambahkan *superplasticizer* jenis lain pada beton HVPOFA untuk mengurangi penggunaan jumlah air.
3. Dapat dicoba dengan melakukan penggilingan pada POFA sehingga diperoleh kehalusan partikel yang lebih tinggi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2012. *Kebun Sawit Rakyat di Riau capai 1,1 Juta Hektar*. <<http://www.riauterkini.com/usa/aha.php?arr=43212>> [accessed: 12 Oktober 2012]
- ASTM. 1983. *Annual Book of ASTM Standards: Part 14, Concrete and Mineral Aggregates*. Philadelphia.
- ASTM, C., 618. 2001. *Standard specification for coal ash and raw or calcinated natural pozzolan for use as a mineral admixture in concrete*. Annual Book ASTM Standard: 310-313.
- Awal, A. S. M. A., dan Hussin, M. W. 1997. *The effectiveness of palm oil fuel ash in preventing expansion due to alkali-silica reaction*. Cement and Concrete Composites: 367-372.

- Awal, A.S.M.A & Shehu Ibrahim Abubakar. (2011). *Properties of Concrete Containing High Volume Palm Oil Fuel Ash : Short-Term Investigation*. Malaysian Journal of Civil Engineering: 54-66.
- Chandara, C., Sakai, E., Mohd Azizli, K.A., Ahmad, Z.A. 2010. *The effect of unburned carbon in palm oil fuel ash on fluidity of cement pastes containing superplasticizer*. Construction and Building Materials: 1590-1593.
- Chindaprasirt, P., Rukzon, S. and Sirivivatnanon, V. (2008). *Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash*. Construction and Building Material: 932-938.
- Dinas Perkebunan Provinsi Riau. 2012. *Riau dalam angka*. <http://riau.bps.go.id/attachment/s/tabel%206.2.2.pdf>
- Donny, W. 2005. *Kuat Lentur Beton Geopolimer*. Skripsi. Program Studi S1 teknik sipil UR, Pekanbaru.
- Eldagal, O.E.A. 2008. *Study on behaviour of high-strength palm oil fuel ash (POFA) concrete*. Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia.
- Hao, Ooi Wei. 2010. *Effect of Chemical Admixture on Strength Development of POFA Concrete*. Universiti Teknologi Malaysia.
- Husin, M. W., dan Awal, A. S. M. A. 1996. *Palm oil fuel ash-a potential pozzolanic material in concrete construction*. Proceeding of the International Conference on Urban Engineering in Asian Cities in the 21st Century, Bangkok, Thailand: D.361-D.366.
- Mulyono, Tri. 2005. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Jaturapitakul, C., Kiattikomol, K., Tangchirapat, W., Sacting, T. 2007. *Evaluation of the sulfate resistance of concrete containing palm oil fuel ash*. Construction and building Materials : 1399-1405.
- Mehta, P. Kumar & Malhotra. 2002. *High Performance High Volume Fly Ash for Sustainable Development*. University of California: USA.
- Mehta, P. Kumar & Malhotra. 2005. Olivia, M., Rachmadan O, Indrawar, R Juni Indrawan B & Damon. 2005. *Pemanfaatan Abu Sawit sebagai Bahan Tambah pada Beton*. Jurnal Sains dan Teknologi: 10-15.
- Salain, I.M.A.K. 2011. *Pemanfaatan Abu Terbang dalam Jumlah Besar pada Pembuatan Beton*. Universitas Udayana: Bali.
- Sastrosaryono, S. 2003. *Budidaya Kelapa Sawit*. Agromedia Pustaka: Jakarta.
- Sata, V., C. Jaturapitakkul and R. Chaiyanunt. 2010. *Compressive Strength and Heat Evolution of Concretes Containing Palm Oil Fuel Ash*. Journal of Materials in Civil Engineering, 22(10): 1033-1038.
- SNI 1990-2002. *Metode Pengujian tentang Analisis saringan Agregat Halus dan Kasar*.

- Bandung: Badan Standar Nasional.
- SNI 03-1969-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Bandung: Badan Standar Nasional.
- SNI 03-1970-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Bandung: Badan Standar Nasional.
- SNI 03-1971-1990. *Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles*. Bandung: Badan Standar Nasional.
- Sumadi, S. R., dan Hussin, M. W. 1995. *Palm Oil Fuel Ash (POFA) as a Future Partial Cement Replacement Material in Housing Construction*. Journal of Ferrocement: 25-34.
- Tay, J. H. 1990. *Ash from Oil-Palm Waste as a Concrete Material*. Singapore: Nanyang University.
- Tangchirapat, W., Saeting, Jaturapitakkul, T.C., Kiattikomol, K., Siripanichgorn, A. 2006. *Use of Waste Ash from Palm Oil Industry in Concrete*. Thailand: Department of Civil Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Tungkru, Bangkok.
- Tangchirapat, W., Tangpagasit, J., Waew-kum, S., Jaturapitakkul, C. 2003. *A new pozzolanic material from palm oil fuel ash*. KMUTT Research and Development Journal: 459-473.
- Tangchirapat, W., C Jaturapitakkul and P. Chindaprasirt. 2009. *Use of Palm Oil Fuel Ash as Supplementary Cementitious Material for Producing High-Strength Concrete*. Construction and Building Materials: 2641-2646.
- Tjokrodimulyo, Kardiyono. 1995. *Teknologi Beton*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM: Yogyakarta

