

## Material Inovatif Ramah Lingkungan: Pemanfaatan Komposit Abu Serabut Kelapa dan *Fly Ash* pada Pasta Semen

Ridho Bayuaji, Riky Wahyu Kurniawan, Abdul Karim Yasin,  
Herta Ahsani Takwim Fatoni, Faizah Maulidya Afifah Lutfi  
Program Studi Diploma Teknik Sipil FTSP ITS, Surabaya  
Email: bayuaji@ ce.its.ac.id

### Abstract

*Indonesia is famous for its local materials wealth. However, these material have not been fully utilized for concrete technology. It is well known that concrete is the backbone material in the construction of infrastructure. The main ingredient of concrete is cement; a material strongly criticized by environmentalists for the manufacture of cement produces significant CO<sub>2</sub>. On the other hand, in the cement material contains material that can be used as material innovations, CaOH. CaOH can react with pozzolan materials and produce strength and durable products, CSH. Pozzolan materials used in this study were coconut fibers ash and fly ash. These materials were used as composite pozzolan to get strength of cement paste at 3 and 7 days using SNI - 03-1974-1990. This study concluded that the optimum composition of coconut fiber ash and fly ash to substitute 30% of cement was 25% of coconut fibers ash and 5% fly ash.*

*Keyword: coconut fiber ash, fly ash, pozzolan, compressive strength, cement paste.*

### Abstrak

Indonesia memiliki kekayaan material lokal yang berlimpah dan belum dimanfaatkan secara maksimal pada teknologi beton. Beton adalah material utama di bidang konstruksi. Konsep utama material beton tersusun dari bahan pengikat dan pengisi. Semen, bahan pengikat utama beton yang disorot oleh pemerhati lingkungan sebagai salah industri yang tidak ramah lingkungan oleh karena pembakaran bahan baku semen di kiln memerlukan energi sampai dengan suhu 1450o C dan keluarannya adalah limbah udara CO<sub>2</sub>. Di sisi lain, senyawa kandungan semen yang dapat dimanfaatkan dalam inovasi adalah Kalsium Hidroksida (CaOH), senyawa ini akan bereaksi dengan material pozzolan dan menghasilkan produk kekuatan dan keawetan tambahan pada beton, Kalsium Silikat Hidrat (C-S-H). Material pozzolan yang akan diteliti adalah abu serabut kelapa dan fly ash sebagai bahan pozzolan komposit pada kekuatan pasta semen dengan standar SNI-03-1974-1990 pada umur hidrasi 3 dan 7 hari. Hasil penelitian ini memberi kesimpulan bahwa komposisi optimum komposit limbah sabut kelapa dan fly ash berhasil mensubtitusi 30% semen dengan komposisi: 25% abu serabut kelapa dan 5% fly ash.

*Kata kunci: abu serabut kelapa, fly ash, pozzolan, kuat tekan, pasta semen.*

### 1. Pendahuluan

Indonesia memiliki kekayaan material lokal yang berlimpah dan belum dimanfaatkan secara maksimal pada teknologi beton. Beton adalah material utama di bidang konstruksi. Konsep utama material beton tersusun dari bahan pengikat dan pengisi. Semen, bahan pengikat utama beton yang disorot oleh pemerhati lingkungan sebagai salah industri yang tidak ramah lingku-

ngan oleh karena pembakaran bahan baku semen di klinker memerlukan energi dengan suhu sampai 1450° C dan keluarannya adalah limbah udara CO<sub>2</sub>.

Fakta yang perlu mendapat perhatian serius untuk isu lingkungan bahwa dalam produksi setiap satu ton semen menghasilkan satu ton emisi CO<sub>2</sub>

dilepaskan ke udara bebas (Van Oss and Padovani 2002).

Di lain sisi, Indonesia merupakan salah satu negara penghasil bahan pangan terbesar, seperti padi, jagung, tebu dan kelapa. Indonesia memiliki lahan untuk kelapa terluas di dunia dengan wilayah mendekati 3,74 ha (Kementan 2005). Kelapa merupakan salah satu komoditas kebutuhan manusia yang nilai konsumsinya tinggi, berbagai olahan dapat dibuat dari buah kelapa.

Dari pengujian abu serabut kelapa (ASK) yang dilakukan Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan (BBTKL), diperoleh komposisi senyawa Silika ( $\text{SiO}_2$ ) sejumlah 67,55%. Komposisi ini membuktikan bahwa ASK mempunyai potensi untuk dikolaborasi dengan *fly ash* (FA) sebagai *supplementary cementitious material* (SCM). Penelitian sebelumnya yang telah memanfaatkan material lokal berkarakter *pozzolan* pada beton sebagai contoh: abu sekam padi (Bayuaji and Nuruddin 2014, Bayuaji 2015), abu lumpur lapindo (Nuruddin and Bayuaji 2010), abu gunung bromo (Bayuaji, 2011) dan material lainnya.

Inovasi ini berdampak mengurangi emisi gas  $\text{CO}_2$  pada proses pembuatan semen. Efek positif pada teknologi beton meliputi tetap memenuhi standar kekuatan, ekonomis dan ramah lingkungan.

Penelitian ini akan membahas pengaruh pemanfaatan komposit ASK dan FA dalam mereduksi penggunaan semen.

### 1.1 Semen

Senyawa oksida utama yang terdapat pada semen portland dari uji XRF meliputi:  $\text{CaO}$  (60-70%),  $\text{SiO}_2$  (18-22%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (4-6%)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (2-4%). Klinker terdiri dari sekitar 95% oksida-oksida tersebut dan 5% sisanya adalah  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_3$ . Oksida-oksida utama tersebut menyusun mineral utama dari klinker. Selain senyawa oksida, Tabel 1 mencantumkan senyawa utama penyusun semen.

**Tabel 1.** Senyawa utama penyusun semen

Nama Oksida	Rumus Kimia	Senyawa Penyusun	Kadar (%)
Alit	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$	55-56
Belit	$\text{S1O2C2S}$	$\text{C}_2\text{S}$	15-25
Aluminat	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$	8-14
Ferit atau Milerit	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$	8-12

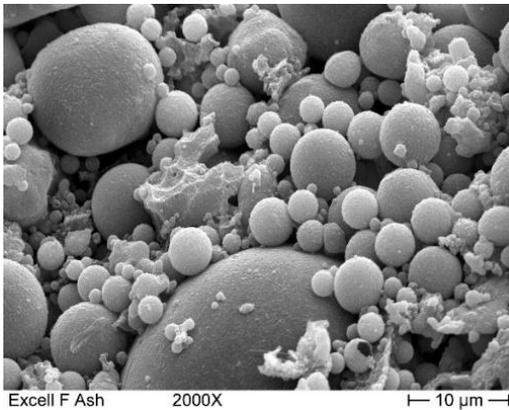
Dampak yang ditimbulkan akibat produksi klinker semen portland biasa dapat dikurangi salah satunya dengan cara menggunakan semen komposit yang sebagian klinkernya digantikan SCM.

### 1.2 Fly Ash

*Fly ash* adalah produk residu dari pembakaran batu bara, yang dikumpulkan dengan metode elektrostatis atau pengendapan mekanik. *Fly ash* mempunyai morfologi yang bulat sehingga memudahkan pengikatan hidrasi dengan semen.

Kandungan reaktif  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dalam material *pozzolan* dapat bereaksi hidrasi dengan kalsium hidroksida yang disediakan oleh hidrasi OPC membentuk bahan perekat yang sama dengan

hasil hidrasi OPC. Reaksi *pozzolanik* secara kualitatif disebut aluminosilikat (AS).



**Gambar 1.** *Fly Ash* pada pembesaran 2000 kali

*Fly ash*, bahan tambahan mineral yang bersifat pozzolan. Standar material internasional (ASTM-C618-03 2003) mengklasifikasi mutu pozzolan dibagi menjadi 3 (tiga) kelas yang mempunyai sifat sesuai Tabel 2.

**Tabel 2.** Tipe *Fly Ash*

Kandungan	<i>Fly ash</i> Tipe		
	N	C	F
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (% min)	70	50	70
SO <sub>3</sub> (% maks)	4	5	5
Na <sub>2</sub> O (% maks)	1,5	1,5	1,5
Kadar Kelembaban (%maks)	3	3	3
Loss Ignition (%maks)	10	6	12

### 1.3 Abu Serabut Kelapa

Penggunaan abu serbuk silika dalam hidrasi OPC telah menjadi fokus diskusi yang menarik beberapa tahun akhir ini. Penggunaan silika sebagai material substitusi semen memberi pengaruh kuat tekan lebih baik, ekonomis dan ramah lingkungan. Permukaan silika akan bertindak sebagai tempat nukleasi atau reaksi awal pembentukan CH dan

CSH, yang akan mempercepat hidrasi dari klinker semen (terutama C<sub>3</sub>S) sehingga meningkatkan kuat tekan pada umur awal. Efek dari nukleasi terhadap kekuatan beton meningkat sesuai kehalusan dan luas permukaan dari bahan silika tersebut (Neville 2010).

## 2. Metodologi

Penelitian ini dilakukan dengan metodologi eksperimen di laboratorium uji material Prodi Diploma Teknik Sipil FTSP ITS.

Salah satu material penyusun pasta semen adalah FA yang diperoleh dari pembakaran PLTU Paiton dengan hasil uji fisik dan kimia. Data uji fisik dan kimia ditampilkan pada Tabel 3

**Tabel 3.** Sifat kimia dan sifat fisika FA

Sifat Kimia	
Silica (SiO <sub>2</sub> )%	54,5
Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )%	23,0
Oksida Besi (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )%	5,3
Kapur (CaO)%	9,5
Oksida Magnesium (MgO)%	2,0
Sulphuric Anyhydrate (SO <sub>3</sub> )%	0,5
Lain-lain %	5,2
Sifat Fisika	
Luas Permukaan (m <sup>2</sup> /kg)	287
Berat Jenis (gram/cm <sup>3</sup> )	2,49

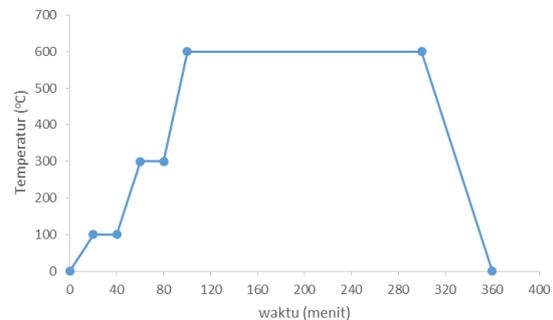
Semen yang digunakan adalah semen Gresik tipe I dengan maksud mengetahui perbedaan perkembangan hidrasi pada kondisi normal dibandingkan dengan penambahan pozzolan. Sifat fisik dan kimia semen diuraikan pada Tabel 3. Densiti dan luas partikel semen diketahui masing-masing 3,15 dan 359 m<sup>2</sup>/kg.

**Tabel 4.** Sifat Fisik dan Kimia Semen

Parameter	SNI 15-2049-2004	Hasil Tes
<b>Komposisi Kimia</b>		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		6.03
SiO <sub>2</sub>		20.65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		3.44
CaO		65.96
MgO	Max 6.00	2.05
SO <sub>3</sub>	Max 3.50	2.22
Loss on Ignition	Max 5.00	3.96
Free Lime		1.09
Insoluble residue		2.37
Alkali (Na <sub>2</sub> O+0,658K <sub>2</sub> O)		0.38
<b>Propoerti X-Ray Difrraction</b>		
Tricalcium Silicate (C <sub>3</sub> S)		56.68
Dicalcium Silicate (C <sub>2</sub> S)		11.00
Tricalcium Aluminate (C <sub>3</sub> A)		7.72
Tetracalcium Aluminate Ferrite (C <sub>4</sub> AF)		8.91
<b>Properti Fisik</b>		
Kehalusan		
-Blaine specific surface (m <sup>2</sup> /kg)	Min 280	359
Waktu setting, Vicat Test:		
- Initial set (minutes)	Min 45	125
- final set (menit)	Max 375	240
Autoclave test:		
-Expansion (%)	Max 0.8	0.10
Kuat Tekan:		
- 3 hari (kg/cm <sup>2</sup> )	Min 125	255
- 7 hari (kg/cm <sup>2</sup> )	Min 200	316
- 28 hari (kg/cm <sup>2</sup> )	Min 280	411
False set (%)	Min 50	77,36

Sabut kelapa yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah kelapa dari pasar mangga dua, wonokromo, Surabaya. Dimana kelapa yang digunakan adalah kelapa tua. Selanjutnya untuk dapat digunakan dalam penelitian dilakukan pembakaran yang fungsinya untuk memperoleh kandungan silica yang tinggi didalam abu sabut kelapa, proses pembakaran dilakukan di laboratorium beton dan material Jurusan Teknik Sipil ITS Sukolilo dengan total waktu pembakaran 6 jam dan suhu

maksimal 600° C, detail proses pembakaran ditampilkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Grafik hubungan waktu dan temperatur pada pembakaran serabut kelapa.

Analisa komposisi optimum penggunaan ASK dan FA sebagai bahan substitusi komposit semen pada pasta semen dilakukan menggunakan pendekatan pengujian kuat tekan pasta dengan benda uji berupa silinder dengan diameter 2,5 cm dan tinggi 5 cm dan standar SNI-03-1974-1990 pada umur hidrasi 3 dan 7 hari.

Presentase semen tipe I jenis OPC, ASK dan FA sebagai bahan pengikat dijadikan beberapa level variabel. Kadar semen direduksi dari 0% hingga 70% dengan rentang 10%. Pada setiap kadar reduksi semen, presentase ASK dan FA diuji seluruh variasinya dengan rentang 10%. diperlukan 13 benda uji untuk mencapai akurasi tinggi. Perbandingan air:bahan pengikat (w/c) dijadikan tetap pada nilai 0,3 sebagai variabel control adalah semen OPC 100 %. Hasil uji berupa kuat tekan umur 1 hari, 3 hari dan 7 hari sebagai variabel respon. Pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) di Laboratorium Uji Material Prodi Diploma Teknik Sipil ITS Surabaya.

**Tabel 5.** Variasi Benda Uji

No.	Kebutuhan (%)			Kebutuhan Massa (gram)			
	Semen	Fly Ash	Sabut Kelapa	Air	Semen	Fly ash	Sabut Kelapa
1	100	0	0	14,73	108,97	0	0
2	90	0	10	14,74	98,07	0	4,37
3	80	0	20	14,75	87,18	0	8,73
4	70	0	30	14,76	76,28	0	13,1
5	90	5	5	14,77	98,07	4,23	2,18
6	80	5	15	14,78	87,18	4,23	6,55
7	80	10	10	14,79	87,18	8,46	4,37
8	80	15	5	14,80	87,18	12,68	2,18
9	70	5	25	14,81	76,28	4,23	10,91
10	70	10	20	14,82	76,28	8,46	8,73
11	70	15	15	14,83	76,28	12,68	6,55
12	70	20	10	14,84	76,28	16,91	4,37
13	70	25	5	14,85	76,28	21,14	2,18

### 3. Hasil dan Pembahasan

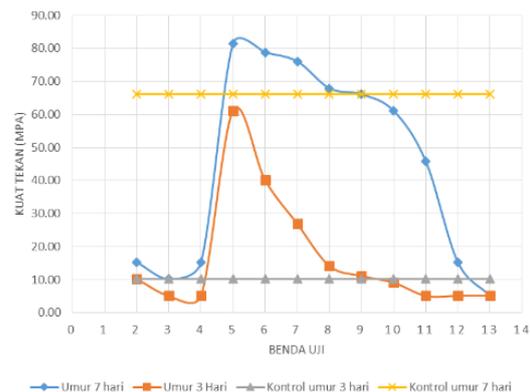
Hasil kuat tekan dari komposisi pasta semen yang meliputi OPC, ASK dan FA dengan umur rencana 3 hari dan 7 hari ditunjukkan pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Hasil Kuat Uji Tekan Pasta Semen pada umur 3 hari dan 7 hari

No.	Tegangan hancur kuat tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	
	3 hari	7 hari
1	10,18	66,18
2	10,18	15,27
3	5,09	10,18
4	5,09	15,27
5	61,09	81,45
6	40,11	78,77
7	26,89	76,05
8	14,13	67,91
9	11,12	66,1
10	9,08	61,08
11	5,09	45,82
12	5,09	15,27
13	5,09	5,09

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa komposisi semen 100% sebagai sampel

no 1 yaitu *variable control*. Pasta semen memenuhi standar adalah jika dapat mereduksi penggunaan semen terbanyak namun juga tetap mempunyai karakteristik yang sama. Dari Tabel 6, dapat ditarik kesimpulan yang mendekati variabel kontrol adalah sampel komposisi no 9 dengan 70% semen, 5% *fly ash*, dan 25% sabut kelapa.



**Gambar 3.** Grafik Hubungan variasi benda uji pasta semen dengan korelasi kuat tekan dan jenis komposisi

### 4. Kesimpulan

Hasil penelitian ini memberi kesimpulan bahwa komposisi optimum komposit limbah sabut kelapa dan *fly ash* berhasil mensubstitusi 30% semen dengan komposisi: 25% abu serabut kelapa dan 5% *fly ash*.

### Daftar Pustaka

- ASTM-C618-03. (2003). *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. Philadelphia, USA.
- Bayuaji, R., (2015). *The Influence Of Microwave Incinerated Rice Husk Ash On Foamed Concrete Workability And Compressive Strength Using Taguchi Method*. Jurnal Teknologi 75:1: 265–274.
- Bayuaji, R., M. S. Darmawan, I. P. Rahardjo and N. A. Husin. (2011).

- Characterization of Pozzolanicity Bromo's Volcanic Ash International Seminar on Applied Technology, Science, and Arts (3rd APTECS), Surabaya.*
- Bayuaji, R. and M. F. Nuruddin. (2014). *Influence of Microwave Incinerated Rice Husk Ash on Hydration of Foamed Concrete. Advances in Civil Engineering.*
- Kementan. (2005). *Prospek dan Arah Pengembangan Agribisnis Kelapa.*
- Neville, A. M., (2010). *Properties of Concrete (4th edn).* Longman, London, Pearson.
- Nuruddin, M. F. and R. Bayuaji. (2010). *Sidoarjo mud: A potential cement replacement material. Civil Engineering Dimension 12.1: 18-22.*
- Van Oss, H. G. and A. C. Padovani. (2002). *Cement manufacture and the environment-Part I: Chemistry and technology. Journal of Industrial Ecology 6(1): 89-106.*