

# Paving Geopolimer Berbahan Dasar *Bottom Ash* dan *Sugar Cane Bagasse Ash (SCBA)*

Achmad Freddy Eka Prasadha, Triwulan, dan Januarti Jaya Ekaputri

Jurusan S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

*e-mail*: triwulan@ce.its.ac.id, januarti@ce.its.ac.id

**Abstrak**— Penelitian ini berfokus pada pemanfaatan *bottom ash* sebagai bahan dasar pembuatan paving geopolimer. Diketahui bahwa *bottom ash* merupakan limbah hasil pembakaran batu bara yang jarang dimanfaatkan dibandingkan dengan *fly ash*. Selain itu digunakan SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*) sebagai sumber silika aktif untuk menambah kandungan silika pada *bottom ash*. Agregat atau *filler* pada paving geopolimer menggunakan abu batu, sedangkan untuk binder (pengikat) menggunakan larutan alkali aktifator. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan berat SCBA pada paving geopolimer justru menurunkan kualitas dari paving tersebut. Dari pengujian kuat tekan paving diperoleh hasil kuat tekan maksimal pada umur 28 hari dengan penambahan berat SCBA 0%, yaitu sebesar 11.60 MPa. Nilai keausan paling besar terjadi pada paving dengan penambahan berat SCBA 35%, yaitu yaitu sebesar 3.12 mm/menit, sedangkan keausan paling kecil terjadi pada paving dengan penambahan berat SCBA 30% yaitu sebesar 0.72 mm/menit, terjadi ketimpangan nilai keausan paving dikarenakan benda uji terendam banjir sehingga menyebabkan perbedaan kualitas antar paving dalam pengujian keausan, sedangkan resapan air paving paling kecil terjadi pada paving dengan penambahan berat SCBA 0% yaitu sebesar 10.58%. Sehingga diperoleh kesimpulan akhir bahwa paving geopolimer tidak memenuhi persyaratan standar paving berdasarkan SNI 03-0691-1996 namun memenuhi syarat untuk dijadikan bata sebagai pasangan dinding kelas I berdasarkan SNI 03-0349-1989.

**Kata Kunci**— alkali aktifator, *bottom ash*, Geopolimer, paving, SCBA.

## I. PENDAHULUAN

Paving merupakan salah satu produk bahan bangunan yang cukup marak dipergunakan dewasa ini., paving juga memiliki cukup banyak kelebihan, baik dari segi kekuatan, kemudahan pembuatan, maupun pelaksanaan. Penggunaan paving sangatlah mendukung *go green* yang telah dikumandangkan secara nasional maupun internasional, karena daya serap air melalui pemasangan paving dapat menjaga keseimbangan air tanah [1].

Pada penelitian kali ini akan dibahas tentang pembuatan paving geopolimer berbahan dasar *bottom ash*. Seperti telah diketahui sebelumnya *bottom ash* merupakan limbah hasil pembakaran batu bara yang masih jarang dimanfaatkan dibandingkan dengan *fly ash* sehingga lebih banyak ditimbun. Seperti halnya pada *fly ash*, *bottom ash* yang

ditimbun dalam tanah juga akan mengakibatkan kandungan zat kimia menyebar melalui media air dan udara sehingga mengakibatkan permasalahan lingkungan [2]. *Bottom ash* memiliki ukuran partikel yang lebih besar dan lebih berat dibandingkan dengan *fly ash* [3], selain itu kandungan Si (silika) dan Al (Alumina) pada *bottom ash* kurang begitu reaktif apabila dibandingkan dengan *fly ash*, sehingga dalam penelitian ini digunakan sebagai bahan bangunan non struktural seperti paving [4].

Paving geopolimer sendiri dibuat dengan tanpa menggunakan semen sama sekali. Bahan yang digunakan sebagai pengikat (binder) berupa larutan alkali aktifator yang terdiri dari larutan NaOH (Sodium hidroksida) dengan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (Sodium silikat). Larutan alkali aktifator dibuat dengan perbandingan tertentu akan mempengaruhi sifat mekanik dari beton geopolimer [5].

Selain itu juga digunakan SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*) untuk menambah sumber silika aktif dikarenakan material *bottom ash* memiliki kadar silika dan alumina yang kurang *amorf* jika dibandingkan dengan *fly ash*. SCBA yang akan dipergunakan sebagai bahan tambah dikalsinasi terlebih dahulu dengan mesin *furnace*. SCBA (*Sugarcane Bagasse Ash*) sendiri dihasilkan dari pembakaran ampas tebu pada pabrik gula maupun etanol. SCBA memiliki kandungan utama berupa silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan material karbon [6]. SCBA tersebut merupakan limbah yang dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan karena jarang dimanfaatkan [7].

Sedangkan untuk *filler* digunakan adalah abu batu. Menurut [8] Saat ini abu batu tidak begitu laku untuk dijual karena pemakaian dalam industri konstruksi sudah sangat sedikit mengingat konstruksi perkerasan jalan sudah banyak beralih ke lapisan aspal beton, sehingga perlu untuk diupayakan pemanfaatan sebagai campuran pembuatan paving.

## II. MATERIAL PAVING

Material yang digunakan dalam pembuatan paving geopolimer antara lain :

### a. *Bottom Ash*

*Bottom ash* yang dipergunakan merupakan limbah dari PT Kasmaji, digunakan sebagai bahan dasar. Sebelum digunakan *bottom ash* dihaluskan dengan *bond mill* untuk mendapat gradasi yang lebih halus, kemudian disaring lolos ayakan no. 16.

### b. SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*)

SCBA disebut juga abu ampas tebu, dalam konteks ini dipergunakan untuk menambah silika aktif dikarenakan unsur Si dan Al pada *bottom ash*. Sebelum

dipakai, SCBA dikalsinasi dengan mesin *furnace* dengan suhu 850°C selama 7 jam untuk mendapatkan kondisi *amorf*.

**c. Abu Batu**

Abu batu merupakan sisa dari industri pemecahan batu (*stone crusher*). Abu batu dipergunakan sebagai *filler* atau pengisi pada paving geopolimer.

**d. Larutan Alkali Aktifator**

Larutan alkali aktifator dipakai sebagai bahan pengikat. Larutan ini merupakan dari Sodium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) dan larutan Sodium hidroksida (NaOH) 14 M dengan perbandingan 2.5:1.

**III. URAIAN PENELITIAN**

Pada penelitian ini *mix design* yang dipakai yaitu :

- Perbandingan antara pasta (*bottom ash* dan larutan alkali) dengan agregat 35:65.
- Perbandingan antara *bottom ash* dengan larutan alkali 65:35.
- Perbandingan alkali berupa Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dengan larutan NaOH 14 M adalah 2.5:1.
- Penambahan air untuk pengenceran larutan NaOH 14 M menjadi larutan NaOH 7.73 M sebesar 5/35 bagian dari jumlah larutan alkali atau 8.33% dari berat campuran *bottom ash* dengan SCBA.

Total benda uji yang dibuat berjumlah 90 buah untuk pengujian kuat tekan, uji keausan, dan resapan air paving. Variabel yang dipakai adalah penambahan SCBA sebesar 0%, 15%, 20%, 25%, 30%, dan 35% terhadap berat *bottom ash*.

Komposisi material tiap 1 m<sup>3</sup> paving geopolimer berbentuk balok dengan ukuran perbuah sebesar (20x10x6) cm akan ditunjukkan pada **Tabel 1**. Berat Volume dari Beton Geopolimer adalah 2200 kg/m<sup>3</sup> (berdasarkan dari analisa pembuatan benda uji) dengan total berjumlah 830 buah/m<sup>3</sup>.

Tabel 1. Komposisi Kebutuhan Material Tiap 1m<sup>3</sup> Paving Geopolimer

Kode Benda Uji	Berat (kg) untuk 1 m <sup>3</sup> Paving						Total (kg)
	Abu Batu	Bottom Ash	SCBA	NaOH 14M	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Air	
P0-S	1716.00	600.60	0.00	79.20	198.00	46.20	2640.00
P15-S	1716.00	510.51	90.09	79.20	198.00	46.20	2640.00
P20-S	1716.00	480.48	120.12	79.20	198.00	46.20	2640.00
P25-S	1716.00	450.45	150.15	79.20	198.00	46.20	2640.00
P30-S	1716.00	420.42	180.18	79.20	198.00	46.20	2640.00
P35-S	1716.00	390.39	210.21	79.20	198.00	46.20	2640.00

Penjelasan kode benda uji pada masing-masing variasi adalah sebagai berikut :

- P0-S = Paving geopolimer dengan 0% SCBA
  - P15-S = Paving geopolimer dengan 15% SCBA
  - P20-S = Paving geopolimer dengan 20% SCBA
  - P25-S = Paving geopolimer dengan 25% SCBA
  - P30-S = Paving geopolimer dengan 30% SCBA
  - P35-S = Paving geopolimer dengan 35% SCBA
- Dengan adanya penambahan air untuk menambah *workability*, ternyata Molaritas NaOH turun dari yang sebelumnya 14 M menjadi 7.73 M.

**IV. HASIL DAN DISKUSI**

**A. Analisa Bottom Ash**

Analisa yang dilakukan terhadap material ini berupa XRD, SEM, XRF, Reaktivitas, dan berat jenis. Dari pengujian berat jenis *bottom ash* diperoleh nilai sebesar 2.33 gr/cm<sup>3</sup>.

Tabel 2. Analisa XRF Bottom Ash

Senyawa	%
SiO <sub>2</sub>	39.96
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	44.56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.34
SO <sub>3</sub>	0.58
CaO	1.67
MgO	5.04
Na <sub>2</sub> O	0.46
K <sub>2</sub> O	0.26
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.11

Dari hasil analisa yang terdapat pada **Tabel 2** diketahui bahwa kandungan senyawa kimia yang terdapat pada material *bottom ash* didominasi oleh senyawa SiO<sub>2</sub> (Silikon oksida), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Aluminium oksida), dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Fero oksida). Jumlah total dari persentase dari ketiga senyawa tersebut melebihi 70% dan jumlah senyawa CaO kurang dari 5% sehingga berdasarkan ASTM C618 material *bottom ash* tersebut termasuk kedalam material *pozzoland* kelas F.

**B. Analisa SCBA**

Analisa yang dilakukan pada SCBA antara lain XRD, XRF, SEM, TGA, dan berat jenis. Berat jenis SCBA yang telah dikalsinasi pada suhu 850°C selama 7 jam adalah 2.04 gr/cm<sup>3</sup>.

Tabel 3. Analisa XRF SCBA

Oksida	%
SiO <sub>2</sub>	83.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.76
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.94
TiO <sub>2</sub>	0.15
CaO	3.62
MgO	1.80
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01
K <sub>2</sub> O	2.76
Na <sub>2</sub> O	0.42
SO <sub>3</sub>	0.06
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.73

Dari hasil analisa XRF pada **Tabel 3** diperoleh hasil bahwa senyawa kimia didominasi SiO<sub>2</sub> (Silikon oksida), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Aluminium oksida), dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Fero oksida). Persentase dari jumlah ketiga senyawa tersebut melebihi 70% serta jumlah senyawa CaO kurang dari 5%, namun karena material tersebut bersifat alami atau berasal dari proses pembakaran sehingga berdasarkan ASTM C618 material tersebut termasuk kedalam material *pozzoland* kelas N.

**C. Analisa Abu Batu**

Hasil analisa fisik terhadap material abu batu antara lain :

Berat Jenis (SSD)	= 2.41 gr/cm <sup>3</sup>
Kadar air Resapan	= 3.63%
Kelembaban	= 2.57%
Berat Volume (dengan rojokan)	= 1.60 kg/lit
Berat Volume (tanpa rojokan)	= 1.56 kg/lit
Kadar Lumpur (pencucian)	= 9.8%
Kadar Lumpur (pengendapan)	= 10.1%
Modulus Kehalusan	= 2.66%
Grading Zone	= 2

**D. Data dan Analisa Paving Geopolimer**

**1. Pembuatan benda uji**

Hasil benda uji yang dibuat berupa paving geopolimer berbentuk balok dengan dimensi (20x10x8) cm. Benda uji dicetak menggunakan alat pres paving manual.

**2. Curing dan Storage**

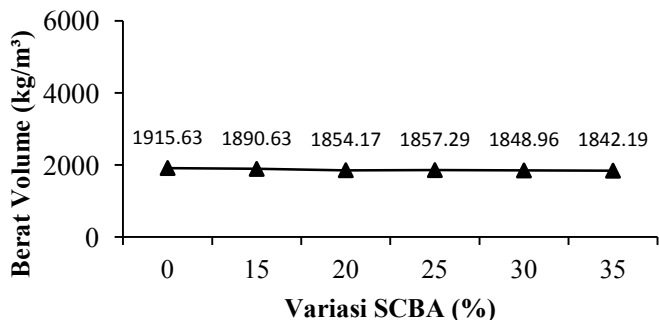
Setelah selesai dicetak benda uji disimpan atau diletakkan diluar ruangan seperti pada paving pada umumnya atau bisa juga diletakkan dalam gudang. Apabila kondisi memungkinkan paving dijemur dengan suhu wilayah Kota Surabaya atau sekitar 30°C-34°C dan kelembaban udara 70%-80%. Sampai saat waktu pengujian, hindarkan benda uji dari air atau hujan apabila benda uji diletakkan di lapangan dengan cara ditutup terpal.



Gambar 1. Curing dan Storage Paving

**3. Hasil Pengujian Berat Volume**

Pengujian berat volume paving dilakukan pada umur 28 hari. Hasil pengujian berat volume paving ditunjukkan pada Gambar 2.

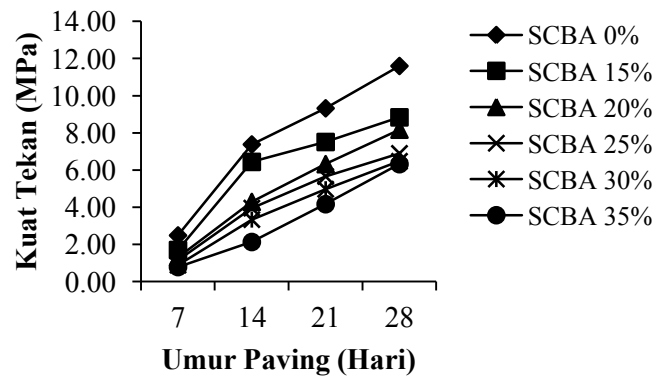


Gambar 2. Grafik Analisa Berat Volume Paving

Terjadi penurunan berat volume seiring dengan penambahan SCBA kedalam paving geopolimer. Hal ini dikarenakan dari keseluruhan material pada paving geopolimer, SCBA yang dikalsinasi dengan suhu 850° C selama 7 jam memiliki berat jenis paling rendah yaitu sebesar 2.04 gr/cm<sup>3</sup>. Sehingga semakin banyak penambahan berat SCBA akan mengurangi berat volume paving geopolimer [9].

**4. Hasil Pengujian kuat Tekan Paving**

Pengujian kuat tekan dilakukan pada paving umur 7,14,21 dan 28 hari pad masing-masing variasi. Setiap variasi terdiri dari 3 benda uji. Hasil kuat tekan paving ditunjukkan masing-masing pada Gambar 3.

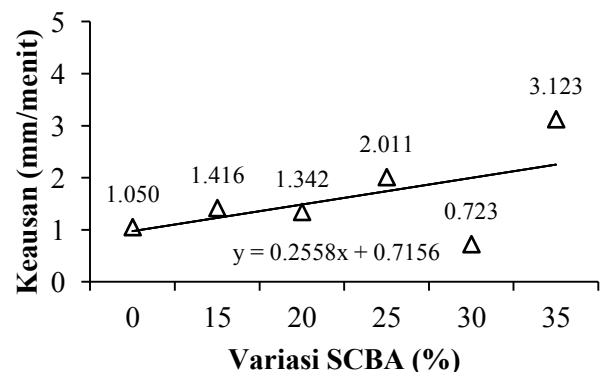


Gambar 3 Analisa Kuat Tekan Paving

Dari pengujian kuat tekan terhadap paving geopolimer yang ditunjukkan pada grafik diketahui bahwa kuat tekan paving tertinggi terdapat pada paving dengan kandungan SCBA 0% yaitu sebesar 10.13 MPa pada umur 28 hari. Terjadi penurunan kuat tekan seiring penambahan berat SCBA [9]. Kuat tekan meningkat seiring peningkatan umur paving [10]. Dengan demikian paving pada umur 28 hari dengan kandungan SCBA 0% termasuk kedalam paving kelas D sesuai dengan SNI 03-0691 96 tentang bata beton dan dapat dipergunakan untuk taman dan penggunaan lainnya.

**5. Hasil Pengujian Ketahanan Aus Paving**

Analisa ketahanan aus paving dilakukan pada saat umur paving mencapai 28 hari. Hasil analisa ketahanan aus paving ditunjukkan pada Gambar 4.



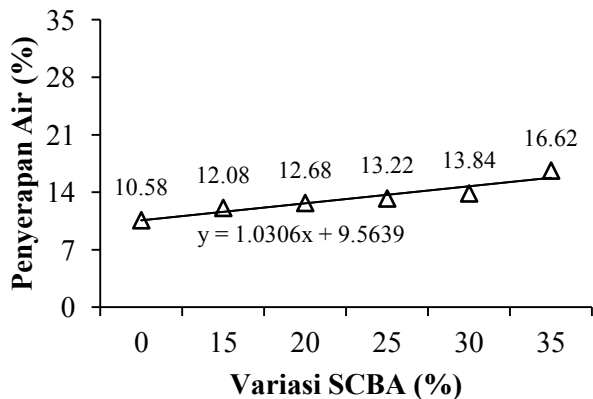
Gambar 4. Grafik Analisa Ketahanan Aus Paving

Dari grafik analisa ketahanan aus dapat dilihat keausan paling tinggi terjadi pada paving dengan penambahan komposisi SCBA 35% yaitu sebesar 3.123 mm/menit. keausan paling kecil terjadi pada paving dengan penambahan berat SCBA 30%, terjadi ketimpangan grafik analisa keausan.

Namun bisa dilihat terjadi kecenderungan peningkatan keausan paving seiring dengan penambahan SCBA dalam campuran paving geopolimer. Sehingga hasil uji paving tidak memenuhi syarat berdasarkan SNI 03-0691-1996.

**6. Hasil Pengujian Resapan Air Paving**

Pengujian resapan air paving geopolimer dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Resapan Air Paving

Dapat dilihat bahwa resapan air maksimum terjadi pada paving dengan penambahan SCBA 35% yaitu sebesar 16.62% dan penyerapan air terendah pada paving dengan penambahan SCBA 0%. Sehingga dapat diperoleh kesimpulan bahwa penambahan SCBA menyebabkan resapan air pada paving semakin besar. Merujuk pada penelitian [11], bahwa bahwa semakin banyak penggantian BFS (*Blast Furnace Slag*) oleh SCBA akan meningkatkan porositas dari mortar yang dibuat. Dengan demikian paving tidak memenuhi persyaratan uji resapan air berdasarkan SNI 03-0691-1996.

**7. Kesesuaian Paving Geopolimer Terhadap SNI 03-0691-1996 dan SNI 03-0349-1989**

Dari keseluruhan hasil pengujian diperoleh data hasil uji mekanik paving geopolimer yang disesuaikan dengan persyaratan standar pada SNI 03-0691-1996 tentang bata beton (*paving block*) dan SNI 03-0349-1989 tentang bata untuk pasangan dinding. Hasilnya ditunjukkan masing – masing pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Kesesuaian Paving Geopolimer dengan SNI03-0691-1996

Kode Benda Uji	Kuat Tekan Umur 28		Rata-rata Resapan Air	Ketahanan Aus (mm/mnt)		Kesesuaian Mutu SNI 03-0691-1996
	Rata-rata	Min.		Rata-rata	Min.	
P0-S	10.13	9.61	10.58	1.050	0.883	-
P15-S	7.72	7.41	12.08	1.416	1.201	-
P20-S	7.14	6.71	12.68	1.342	1.262	-
P25-S	6.02	5.64	13.22	2.011	1.487	-
P30-S	5.65	5.52	13.84	0.723	0.589	-
P35-S	5.52	5.21	16.62	3.123	1.953	-

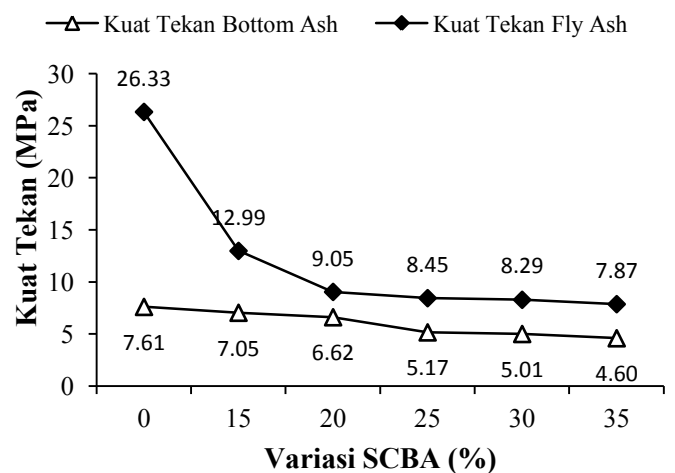
Tabel 5. Kesesuaian Paving Geopolimer dengan SNI 03-0349-1989

Kode Benda Uji	Kuat Tekan Umur 28		Rata-rata Resapan Air	Kesesuaian Mutu SNI 03-0349-
	Rata-rata	Min.		
P0-S	10.13	9.61	10.58	I
P15-S	7.72	7.41	12.08	II
P20-S	7.14	6.71	12.68	II
P25-S	6.02	5.64	13.22	III
P30-S	5.65	5.52	13.84	III
P35-S	5.52	5.21	16.62	III

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4 paving geopolimer tidak masuk sesuai persyaratan SNI 03-0691-1996. akan tetapi apa bila ditinjau hanya berdasarkan kuat tekan, paving dengan penambahan berat SCBA 0% masuk kedalam mutu paving kelas D, yang dapat diaplikasikan pada taman atau penggunaan lainnya. Berdasarkan Tabel 5 diketahui bahwa paving geopolimer masuk pada mutu kelas I sesuai SNI 03-0349-1989 sebagai bata beton untuk pasangan dinding.

**8. Komparasi Mortar dengan Bahan Dasar Bottom Ash dengan Fly Ash**

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan hasil yang diperoleh dari pengujian paving dengan bahan dasar *bottom ash*. Komparasi dilakukan menggunakan mortar kubus (5x5x5) cm pada umur 7 hari untuk masing-masing benda uji, baik mortar berbahan *bottom ash* ataupun mortar berbahan *dasar fly ash*. Hasil komparasi bisa dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Perbandingan Kuat Tekan Mortar Pada umur 7 Hari

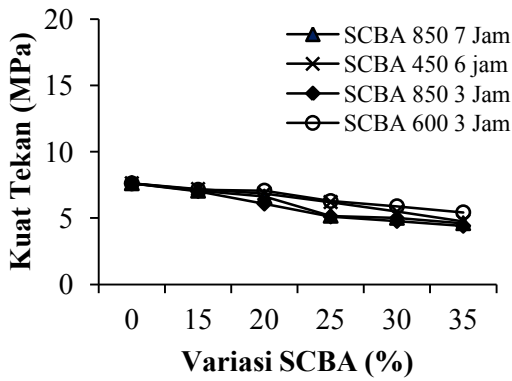
Apabila dibandingkan dengan mortar geopolimer yang sama dengan mortar berbahan dasar dari *bottom ash* PT Kasmaji, kuat tekan mortar berbahan *fly ash* paling maksimum sebesar 26.33 MPa jauh lebih besar dari mortar berbahan dasar *bottom ash* yaitu sebesar 7.46 MPa pada umur yang sama.

Hal ini menunjukkan bahwa *fly ash* PT Petrokimia lebih reaktif jika dibandingkan dengan *bottom ash* PT Kasmaji. Akan tetapi dari dua penelitian tersebut sama-sama mengalami penurunan kuat tekan seiring dengan penambahan jumlah SCBA seperti yang ditunjukkan grafik pada Gambar 6.

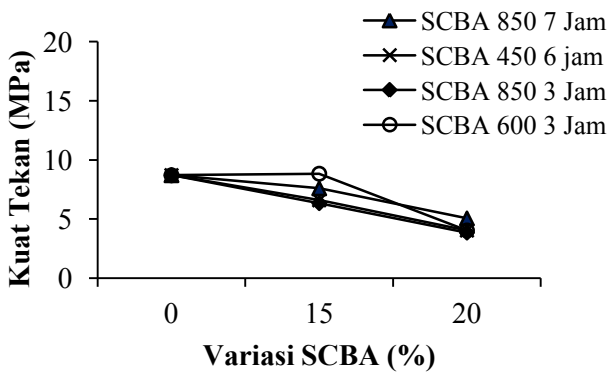
**9. Karakterisasi Suhu Kalsinasi SCBA Terhadap Kuat Tekan Mortar dan Paving**

Dilakukan percobaan terhadap mortar dan paving dengan menggunakan SCBA yang dikalsinasi dengan suhu berbeda,

antara lain pada suhu 450°C selama 6 jam, suhu 600°C selama 3 jam, serta suhu 850° masing-masing selama 3 dan 7 jam. Hasil analisa ditunjukkan pada **Gambar 7** untuk mortar dan **Gambar 8** untuk paving.



Gambar 7. Karakterisasi suhu SCBA pada Mortar Geopolim

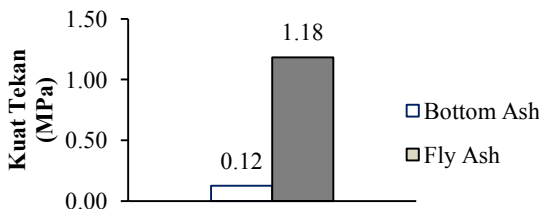


Gambar 8. Karakterisasi suhu SCBA pada Paving Geopolimer

Kecenderungan dari seluruh percobaan pada masing-masing suhu kalsinasi SCBA adalah berkurangnya kuat tekan seiring dengan penambahan jumlah SCBA. Meskipun terdapat beberapa perbedaan kuat tekan, namun tidak cukup besar tiap masing-masing suhu kalsinasi SCBA seperti ditunjukkan oleh grafik perbandingan kuat tekan mortar dan paving pada umur 7 hari.

**10. Pengujian reaktivitas Material Paving**

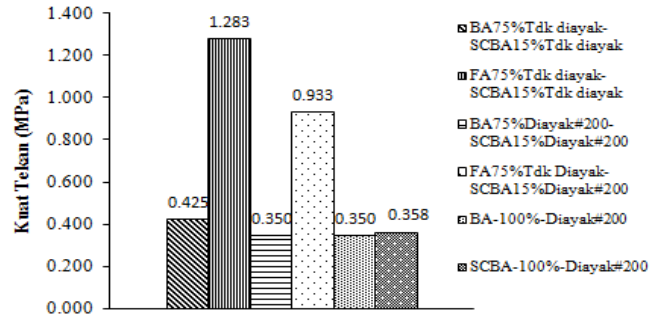
Pengujian reaktivitas dilakukan terhadap material *bottom ash*. pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kereaktifan suatu material untuk berikatan dengan senyawa Ca(OH)<sub>2</sub>.



Gambar 9 Reaktivitas Material Dasar Paving

pengujian ini juga dilakukan pada *fly ash* kelas F sebagai komparasi terhadap *bottom ash* Hasil pengujian reaktivitas ditunjukkan pada **Gambar 9**.

Selain pada *bottom ash* pengujian rektivitas juga dilakukan terhadap campuran material paving. Hasil dari analisa tersebut ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Reaktivitas Material Campuran Paving

Dari hasil analisa rektivitas terhadap campuran material paving geopolimer dapat dilihat bahwa campuran material *fly ash* yang tidak diayak dengan SCBA yang telah dikalsinasi pada suhu 850° C selama 7 jam yang tidak diayak juga memiliki hasil rektivitas paling tinggi yaitu sebesar 1.283 MPa. Hal ini telah sesuai dengan pengerjaan yang telah dilakukan sebelumnya.

**11. Hasil Pengujian Kadar SiO<sub>2</sub> Reaktif SCBA yang Dikalsinasi pada Suhu 850° dalam Waktu 7 Jam.**

Dari pengujian kandungan SiO<sub>2</sub> yang dilakukan terhadap beberapa jenis material, ternyata SCBA yang telah dikalsinasi pada suhu 850°C selama 7 jam memiliki SiO<sub>2</sub> reaktif yang paling besar diantara material lain yaitu sebesar 75.2%. Akan tetapi dari pengujian XRF sebelumnya material SCBA ini memiliki kandungan oksida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang rendah yaitu hanya sebesar 3.76%, sehingga perlu peninjauan ulang untuk penggunaan material SCBA ini, atau perlu di cari alternatif sumber SCBA aktif lain seperti abu sekam dll. Hasil pengujian SiO<sub>2</sub> tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil Pengujian SiO<sub>2</sub> Material Geopolimer

Material	SiO <sub>2</sub> Total (%)	SiO <sub>2</sub> Bebas (%)	SiO <sub>2</sub> Reaktif (%)
Fly Ash C	35.1	5.73	29.4
Fly Ash F	52.4	18.75	33.7
SCBA 500°C	69.6	6.71	62.9
SCBA 850°C	80.0	4.78	75.2
Lumpur Sidoarjo	53.0	10.29	42.7

**12. Analisa Pengujian TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure)**

Pengujian TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*) dilakukan untuk mengetahui kandungan ekstraksi logam berat pada limbah *bottom ash* dan *fly ash*. Pengujian ini dilakukan karena *bottom ash* dan *fly ash* termasuk dalam limbah padat bahan berbahaya dan beracun (B3) yang memerlukan pengelolaan khusus. Hasil pengujian TCLP dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian TCLP

Material	mg/L	
	Cr	Zn
Fly Ash	0.23	0.29
Botom Ash	0.24	1.25
Paving dengan penambahan SCBA 20% steam	0.36	1.27
Paving dengan penambahan SCBA 20% non steam	0.34	1.28

PP. RI No. 85 Tahun 1999, tentang Baku Mutu Uji TCLP untuk :  
Kromium (Cr) = 5 mg/L  
Seng (Zn) = 50 mg/L

Dari hasil analisa pengujian TCLP yang ditunjukkan pada Tabel 7 dapat disimpulkan bahwa material paving geopolimer berupa fly ash dan bottom ash yang digunakan memiliki kadar Cr dan Zn dibawah baku mutu yang ditetapkan oleh PP. RI No. 85 tahun 1999, sehingga aman untuk dipergunakan dan ramah terhadap lingkungan.

## V. KESIMPULAN

1. Dari keseluruhan variasi penambahan SCBA diketahui kuat tekan maksimal terdapat pada benda uji dengan perbandingan 0% SCBA pada umur 28 hari yaitu sebesar 10.13 MPa. Sehingga berdasarkan SNI 03 0691 96 tentang bata beton, paving geopolimer dengan variasi SCBA 0% termasuk kedalam mutu paving kelas D jika hanya ditinjau dari kuat tekan, yang diaplikasikan pada taman dan penggunaan lain. Akan tetapi apabila ditinjau dengan peraturan SNI 03-0349-1989 memenuhi persyaratan mutu bata untuk pasangan dinding kelas I.
2. Ikatan geopolimerisasi terjadi dengan baik tidak hanya bergantung pada kandungan unsur Si (Silika) reaktif yang tinggi akan tetapi perlu diimbangi dengan unsur Al (alumina) pada material campuran paving geopolimer.
3. Sistem pemadatan atau pres paving dengan tenaga manual menyebabkan terjadinya penurunan kualitas karakteristik mekanik berupa kuat tekan, uji keausan, dan daya serap air yang lebih besar pada paving geopolimer dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dengan benda uji berupa mortar, sehingga perlu dipertimbangkan pemadatan paving dengan mesin pres otomatis.

## VI. SARAN

1. Melakukan karakterisasi ulang suhu bakar SCBA sehingga diperoleh waktu dan suhu bakar yang benar-benar tepat untuk memperoleh silika *amorf*.
2. Mencari sumber silika baru selain abu ampas tebu, misalnya abu sekam padi dengan kandungan unsur Si dan Al berimbang, sehingga proses geopolimerisasi berjalan dengan sempurna.
3. Menggunakan mesin pres semi otomatis dengan material yang sama atau menggunakan *fly ash* tipe F sehingga diharapkan kepadatan lebih tinggi dan meningkatkan kuat tekan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adibroto, Fauna. "Pengaruh Penambahan Berbagai Jenis Serat Pada Kuat Tekan Paving Block", Jurnal Rekayasa Sipil, Volume 10 No.1, Februari 2014, ISSN:1858-2133:1-14.
- [2] Ekaputri, Januarti J. and Maekawa, K., "Time-Dependent Modeling of Boron Leaching from Fly Ash and Adsorption to Solid", Journal of Basic and Applied Scientific Research 2(7)2012 pp7393-7403, textroad, ISSN 2090-4304.
- [3] Soehardjono, Agoes. "Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Sbagai Pengganti Semen terhadap Nilai Kuat Tekan Dan Kemampuan Resapan Air Struktur Paving." *JURNAL REKAYASA SIPIL* Volume 7, No. 1-ISSN 1978-5658 (2012): 74-80.
- [4] Wijaya, Yulia Putri, Januarti Jaya Ekaputri, Triwulan. "Paving Geopolimer dari Coal Ash limbah Pabrik", Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (ATPW), Surabaya, 18 Juni 2014, ISSN 2301-6752 : 33-42.
- [5] Risdanareni, Puput, Januarti Jaya Ekaputri, Triwulan, "The Influence of Alkali Activator Concentration to Mechanical Properties". *Materials Science Forum Vol. 803 (2015) pp 125-134 © (2015) Trans Tech Publications, Switzerland*
- [6] D. Govindarajan and G. Jayalakshmi, "XRD, FTIR and Microstructure Studies of Calcined Sugarcane Bagasse Ash". *Department of Physics, Annamalai University, Annamalai Nagar. Pelagia Research Library Advances in Applied Science Research*, 2011, 2 (3):544-549.
- [7] G.Sivakumar, V.Hariharan and S.Barathan, "Preparation of Bio-cement using sugarcane bagasse ash and its Hydration behavior". *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR) Volume 2, Issue 10, October 2013* ISSN: 2278 – 7798.
- [8] Sutarno, "Pemanfaatan Abu Batu Limbah Stone Crusher Untuk Bahan Paving Block". *Jurnal Wahana TEKNIK SIPIL Vol. 12 No. 3 Desember 2007: 185-193*.
- [9] Firmansyah, Dedy, "Pemanfaatan Sisa Pembakaran Ampas Tebu Sebagai Bahan Pengisi Dalam Proses Pembuatan Paving Dengan Semen Jenis PCC", *Jurnal Scaffolding Jurusan Teknik Sipil UNNES 2012* ISSN 2252-682X :8-16.
- [10] Abdulkadir, D. O. Oyejobi, A. A. Lawal, "Evaluation of Sugarcane Bagasse Ash as A Replacement for Cement in Concrete Works". *Department of Civil Engineering, University of Ilorin, Ilorin, NIGERIA ACTA TEHNICA CORVINIENSIS – Bulletin of Engineering Tome VII [2014] Fascicule 3 [July – September] ISSN: 2067 – 3809*
- [11] Sahmaran Castadelli, Vinicius dkk "Use of Slag/Sugar Cane Bagasse Ash (SCBA) Blends in the Production of Alkali-Activated Materials", *Materials* 2013, 6, 3108-3127; doi:10.3390/ma6083108, ISSN 1996-1944 : 3108-3127.