

Penggunaan Limbah Hasil Pembakaran Batu Bara dan *Sugar Cane Bagasse Ash (SCBA)* pada *Paving Geopolimer* dengan Proses *Steam Curing*

Dimas Setiyo Nugroho, Triwulan, dan Januarti Jaya Ekaputri

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, 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— *Bottom ash* merupakan limbah sisa pembakaran batu bara disamping *fly ash* yang saat ini tidak banyak dimanfaatkan. Di dalam penelitian ini bahan dasar yang digunakan adalah *bottom ash* dan larutan alkali sebagai pengikat untuk membuat bahan dasar *paving geopolimer*. Abu batu digunakan sebagai *filler*. Selain itu bahan lain yang digunakan adalah *SCBA (Sugar Cane Bagasse Ash / abu ampas tebu)* untuk menambah sumber silika aktif pada *bottom ash*. Sebelum digunakan *SCBA* dikalsinasi pada suhu 850°C selama 7 jam.

Dalam penelitian ini, benda uji yang digunakan adalah *paving* berukuran 20cm x 10cm x 8cm. Selain itu dibuat variasi pembakaran *SCBA* antara lain 450°C selama 6 jam; 600°C selama 3 jam; dan 850°C selama 3 jam sebagai pembanding. *Paving* yang terbuat dari *fly ash* dari PT. Petrokimia digunakan sebagai pembanding terhadap *bottom ash*. *Seluruh paving* dicetak dengan menggunakan alat pres manual di laboratorium.

Didapat hasil bahwa semakin banyak berat *SCBA* dalam campuran, akan menurunkan kualitas *paving*. Kuat tekan maksimum terdapat pada variasi 0% *SCBA* pada umur 28 hari dengan kuat tekan rata-rata sebesar 9.65 MPa, resapan air sebesar 8.68%, dan ketahanan aus sebesar 0.61 mm/menit. Disimpulkan bahwa, perawatan *steam* tidak memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan *paving geopolimer* yang tidak *di-steam*.

Kata Kunci— *bottom ash*, geopolimer, *paving*, *SCBA*, *steam curing*

I. PENDAHULUAN

BATA beton (*paving block*) merupakan bahan bangunan yang digunakan sebagai lapisan atas struktur jalan selain aspal dan beton. *Paving block* merupakan konstruksi yang ramah lingkungan, pelaksanaannya yang lebih cepat, mudah dalam pemasangan dan pemeliharaan, serta harganya yang mudah dijangkau [1]. *Paving block* merupakan bahan bangunan yang tersusun atas campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis lainnya, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambah yang tidak mengurangi mutu *paving block* itu sendiri [2]. Kebutuhan *paving* yang meningkat menyebabkan kebutuhan akan jumlah semen juga meningkat, sehingga akan menambah jumlah emisi CO₂ di udara. Hal ini dikarenakan dalam memproduksi 1 ton semen sebanding dengan pelepasan 1 ton CO₂ ke udara [3]. Hal ini menjadi salah satu faktor yang mendorong untuk menemukan bahan alternatif yang bisa menggantikan semen dalam campuran *paving*.

Beton geopolimer adalah beton yang 100% tidak

menggunakan semen sebagai bahan pengikat utama [4], sehingga dibutuhkan material yang mengandung Si (silika) dan Al (Aluminium) serta aktivator yaitu larutan alkali yang tersusun atas Na₂SiO₃ (Natrium Silikat) dan NaOH (Natrium Hidroksida) untuk mengikat binder.

PT. Kasmaji Inti Utama (PT. KIU) adalah pabrik kimia yang memproduksi Na₂SiO₃ dengan menggunakan batu bara sebagai bahan bakarnya, dan dalam setiap produksinya menghasilkan limbah batu bara berupa *coal ash* yang terdiri atas *bottom ash* dan *fly ash* yang tercampur ter. Masalah yang dihadapi PT. KIU terkait limbah batu bara adalah biaya yang dikeluarkan untuk transportasi penjualan limbah lebih mahal dibandingkan hasil penjualan batu bara itu sendiri. Maka dari itu dilakukan penelitian tentang pemanfaatan limbah batu bara dalam hal ini yang digunakan adalah *bottom ash* sebagai bahan penyusun beton geopolimer. Setelah dilakukan pengujian yang dilakukan oleh Wijaya (2014) [4] diketahui bahwa beton geopolimer dengan *bottom ash* tidak berpotensi dijadikan bahan bangunan atau perkerasan jalan berkualifikasi tinggi. Diketahui bahwa kandungan silikanya kurang reaktif, sehingga dibutuhkan material yang memiliki sumber silika reaktif salah satunya abu ampas tebu (*Sugar Cane Bagasse Ash*). Abu ampas tebu merupakan material yang mengandung silika yang sangat banyak yaitu sebesar 78,34% [5].

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Wijaya (2014) [4] menunjukkan bahwa mortar geopolimer yang dibuat dari *coal ash* memiliki kuat tekan yang rendah berkisar antara 10 – 25 MPa dibandingkan beton geopolimer yang menggunakan *fly ash*. Sehingga disimpulkan bahwa *bottom ash* digunakan sebagai bahan bangunan non struktural yaitu *paving block*. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan produk *paving* yang mudah diproduksi secara massal, dapat mengatasi masalah limbah batu bara, dan dapat menjadi contoh pemanfaatan limbah batu bara berkualitas rendah yang dihasilkan oleh industri.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Material Penyusun

Dalam penelitian ini material penyusun yang digunakan antara lain sebagai berikut.

1. *Bottom ash*

Bottom ash merupakan material limbah batu bara

yang didatangkan dari PT. Kasmaji Inti Utama. Sebelum digunakan *bottom ash di-bond ball mill* dan diayak pada ayakan no. 16 (1.18 mm), karena material awal yang didapat berupa bongkahan besar berukuran ±10 cm.

2. *SCBA (Sugar Cane Bagasse Ash)*

SCBA yang digunakan didapat dari pabrik gula Gempol Krep, Mojokerto. Sebelum digunakan *SCBA* dikalsinasi pada suhu 850°C selama 7 jam. Hal ini dilakukan untuk menambah sumber silika reaktif dalam adukan.

3. Larutan NaOH 14 M

Larutan NaOH didapat dengan mencampur NaOH flakes dengan *aquades*. Setelah didapat larutan NaOH 14 M ditambahkan air sebanyak 5/35 bagian dari berat alkali sehingga molaritas larutan turun menjadi 7,73 M.

4. Sodium silikat (Na₂SiO₃)

Sodium silikat yang digunakan adalah dari PT. Kasmaji Inti Utama, dengan merek BE-58. Kandungan dalam sodium silika ini adalah Na₂O 22,5%, SiO₂ 27,5%, H₂O 50%.

5. Abu batu

Abu batu yang digunakan didapat dari UD. Mulya Jaya – Waru. Abu batu dipakai sebagai filler dalam adukan.

B. *Mix Design*

Dalam penelitian ini direncanakan *mix design* dengan komposisi sebagai berikut :

1. Perbandingan antara berat *binder* (coal ash, *SCBA*, dan larutan alkali) dengan agregat sebesar 35 : 65.
2. Perbandingan antara berat coal ash dengan larutan alkali sebesar 65 : 35.
3. Larutan alkali yang tersusun atas NaOH 7,73M dengan Na₂SiO₃ sebesar 1 : 2,5

Dalam penelitian ini variabel yang dikaji adalah pengaruh penambahan *SCBA* sebesar 0%, 15%, 20%, 25%, 30%, dan 35% terhadap berat *bottom ash*. Benda uji yang dibuat berukuran 20cm x 10cm x 8cm. Pengujian yang dilakukan adalah uji tekan pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Uji serap air dan uji ketahanan aus yang dilakukan pada umur 28 hari. Variasi pembuatan benda uji dijelaskan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Kode Benda Uji, *Temprature Curing*, dan % *SCBA*

| No. | Kode Benda Uji | Temperatur curing (°C) | <i>SCBA</i> (%) terhadap berat coal ash) |
|-----|----------------|------------------------|--|
| 1 | PV - 0 | 60 | 0 |
| 2 | PV - 15 | 60 | 15 |
| 3 | PV - 20 | 60 | 20 |
| 4 | PV - 25 | 60 | 25 |
| 5 | PV - 30 | 60 | 30 |
| 6 | PV - 35 | 60 | 35 |

Komposisi kebutuhan material tiap 1 buah *paving* geopolimer dijelaskan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Komposisi Kebutuhan Material Untuk 1 m³ *Paving* Geopolimer

| Kode Benda Uji | Abu Batu (gr) | <i>Bottom ash</i> (gr) | <i>SCBA</i> (gr) | Air (gr) | NaOH 14M (gr) | Na ₂ SiO ₃ (gr) |
|----------------|---------------|------------------------|------------------|----------|---------------|---------------------------------------|
| PV-0 | 1430 | 22,75 | 0,00 | 1,54 | 1,96 | 8,75 |
| PV-15 | 1430 | 19,34 | 3,41 | 1,54 | 1,96 | 8,75 |
| PV-20 | 1430 | 18,20 | 4,55 | 1,54 | 1,96 | 8,75 |
| PV-25 | 1430 | 17,96 | 5,69 | 1,54 | 1,96 | 8,75 |
| PV-30 | 1430 | 15,93 | 6,83 | 1,54 | 1,96 | 8,75 |
| PV-35 | 1430 | 14,79 | 7,96 | 1,54 | 1,96 | 8,75 |

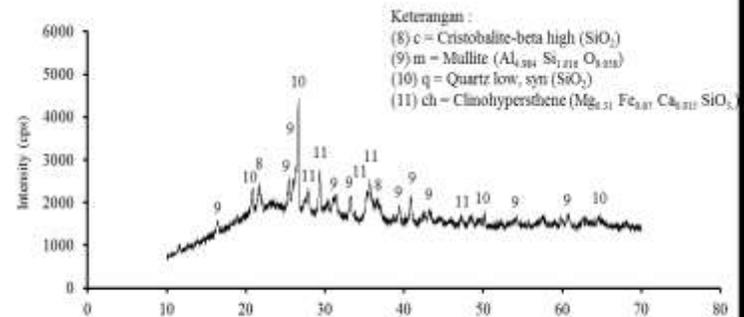
Dalam penelitian ini analisa yang dilakukan dalam pengujian *paving* geopolimer antara lain :

1. Tes berat volume (ASTM C163-11)
2. Tes kuat tekan hancur (ASTM C39-94)
3. Tes penyerapan air (SNI 03-0691-1996)
4. Tes ketahanan aus (SNI 0028-1987-A)

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Analisa *Bottom ash*

Analisa yang dilakukan meliputi berat jenis, XRD, dan XRF. Dari hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium didapat berat jenis *bottom ash* sebesar 2.33 gr/cm³. Hasil pengujian XRD dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Grafik Analisa XRD *Bottom ash*(Mg)

Dari **Gambar 1** diatas disimpulkan bahwa material yang terkandung di dalam *bottom ash* adalah cristobalite-beta *high* (SiO₂), mullite (Al_{4.44} Si_{1.56} O_{9.78}), quartz (SiO₂), dan quartz *low* (SiO₂), Selain itu mineral-mineral tersebut mengandung Si (Silika) dan Al (Aluminium) yang kemungkinan reaktif jika dicampurkan dengan alkali aktifator.

Hasil analisa XRF dapat dilihat pada **Tabel 3**.

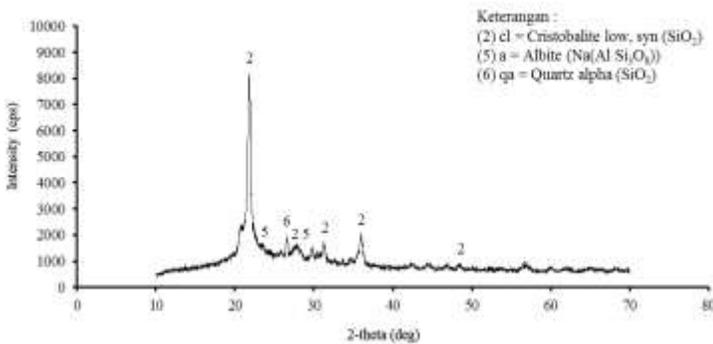
Tabel 3. Hasil Analisa XRF *Bottom Ash*

| Senyawa | (dalam % berat) | |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| | Sebelum Dihaluskan | Sesudah Dihaluskan |
| SiO ₂ | 39.96 | 34.90 |
| Al ₂ O ₃ | 44.56 | 34.87 |
| CaO | 1.67 | 2.57 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.34 | 9.59 |
| K ₂ O | 0.26 | 1.52 |
| MgO | 5.04 | 2.61 |
| Na ₂ O | 0.46 | 0.76 |
| P ₂ O ₅ | 1.11 | 1.25 |
| SO ₃ | 0.58 | 1.52 |

Dari **Tabel 3** dapat disimpulkan bahwa senyawa yang dominan terkandung didalam *bottom ash* adalah SiO₂ dan Al₂O₃.

B. Analisa Sugar Cane Bagasse Ash (SCBA)

Analisa yang dilakukan meliputi berat jenis dan XRD. Dari hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium didapat berat jenis *SCBA* yang sudah dikalsinasi pada suhu 850°C selama 7 jam sebesar 2.04 gr/cm³. Hasil pengujian XRD dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Grafik Analisa XRD *SCBA* Setelah Dikalsinasi Pada Suhu 850°C Selama 7 Jam

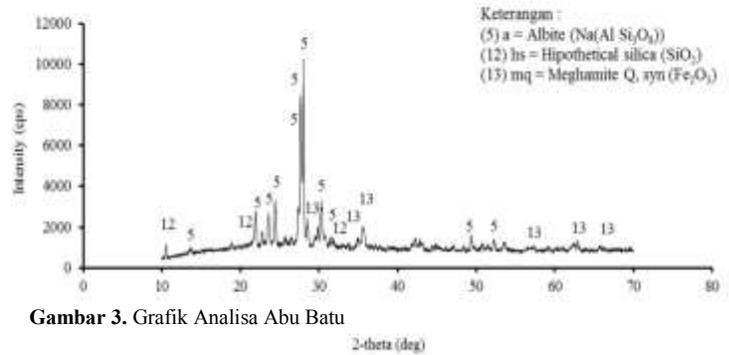
Dari **Gambar. 2** didapat hasil bahwa material yang terkandung didalam *SCBA* setelah dikalsinasi pada suhu 850°C selama 7 Jam adalah cristobalite low, albite, dan quartz alpha. Material *SCBA* memiliki SiO₂ reaktif sebesar 75%, namun karena senyawa Al yang terkandung sedikit, tidak banyak membantu terbentuknya proses polimerisasi.

C. Abu Batu

Analisa yang dilakukan meliputi uji fisik dan uji kimia pada abu batu. Untuk hasil uji fisik yang sudah dilakukan di laboratorium sebagai berikut :

- Berat Jenis (SSD) = 2.41 gr/cm³
- Kelembaban = 1.21 %
- Air Resapan = 3.63 %
- Berat Volume = 38.33 kg/m³
- Kadar Lumpur = 9.80 %
- Grading Zone = 2
- Modulus Kehalusan = 2.65

Untuk uji XRD dapat dilihat pada Gambar. 3



Gambar 3. Grafik Analisa Abu Batu

Pada **Gambar. 3** dapat dilihat bahwa material dominan yang terkandung dalam abu batu adalah albite (Na(AlSi₂O₆)), hal ini dapat dilihat dari banyaknya *peaks* pada analisa XRD.

Hasil analisa XRF dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil Analisa XRF *Bottom Ash*

| Senyawa | % |
|--------------------------------|-------|
| SiO ₂ | 83.00 |
| Al ₂ O ₃ | 3.76 |
| CaO | 3.62 |
| Fe ₂ O ₃ | 1.94 |
| K ₂ O | 2.76 |
| MgO | 1.80 |
| Na ₂ O | 0.42 |
| P ₂ O ₅ | 1.73 |
| SO ₃ | 0.06 |
| TiO ₂ | 0.15 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.01 |
| Mn ₂ O ₃ | 0.16 |

Dari **Tabel 4** dapat disimpulkan bahwa senyawa yang dominan terkandung didalam *SCBA* adalah SiO₂ dan Al₂O₃.

D. Data dan Analisa Paving Geopolimer

Proses Curing

Proses *curing paving* geopolimer dengan di-*steam* pada suhu 60°C selama 24 jam. Setelah di-*steam* benda uji disimpan pada suhu kamar ±25 °C sampai umur pengujian yang telah ditentukan, seperti pada **Gambar. 4** dan **Gambar. 5**



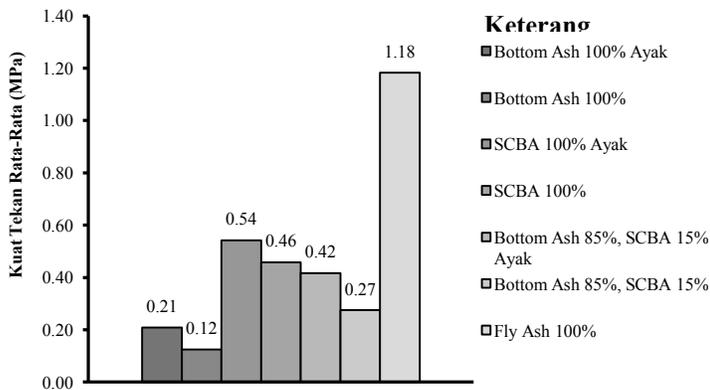
Gambar 4. Proses *Steam Curing Paving*



Gambar 5. Proses *Curing* Pada Suhu Kamar

Hasil Uji Reaktivitas

Pengujian reaktivitas merupakan pengujian awal yang dilakukan untuk menguji sifat material yang akan digunakan kedalam campuran. Selain itu pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan material yang akan dijadikan bahan campuran untuk dapat bereaksi dengan bahan pengikat, dalam hal ini larutan alkali. Hasil uji reaktivitas material dapat dilihat pada Gambar 6.

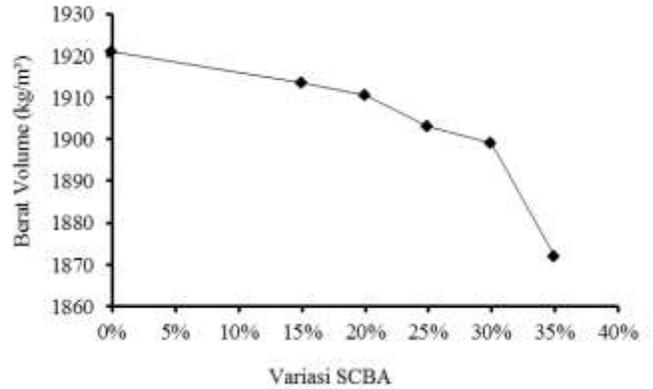


Gambar. 6 Perbandingan Hasil Uji Reaktivitas Antar Material

Dari hasil pengujian reaktivitas didapatkan bahwa *sugar cane bagasse ash (SCBA)* lebih reaktif dibandingkan dengan *bottom ash*. Material *bottom ash* dan *SCBA* yang diayak pada ayakan #200 memiliki nilai reaktivitas yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan material *bottom ash* dan *SCBA* yang tidak diayak. Substitusi *SCBA* sebesar 15% terhadap *bottom ash* meningkatkan kereaktivitasan campuran. Untuk *fly ash* kelas C (*fly ash* yang berasal dari PT. Petrokimia - Gresik) memiliki nilai reaktivitas yang paling tinggi dibandingkan material yang lain.

Hasil Uji Berat Volume

Tes berat volume *paving* geopolimer dilakukan terhadap 3 buah benda uji berukuran 20cm x 10cm x 8cm pada umur 7 hari. Hasil uji berat volume *paving* geopolimer dapat dilihat pada Gambar 7.

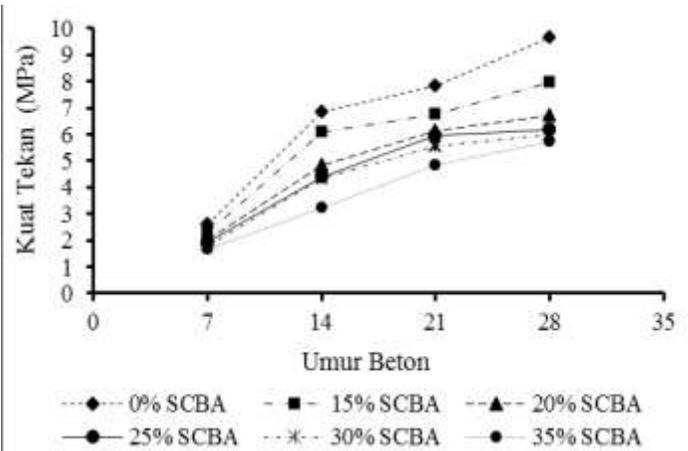


Gambar. 7 Grafik Hubungan Berat Volume dengan Penambahan *SCBA Paving* Geopolimer

Dari Gambar. 7 terlihat bahwa benda uji *paving* dengan variasi *SCBA* 35% memiliki berat volume rata-rata yang paling kecil yaitu sebesar 1871,88 kg/m³. Berat volume mengalami penurunan sebanding dengan penambahan persentase jumlah *SCBA*, hal ini disebabkan oleh berat jenis *SCBA* yang rendah yaitu sebesar 2,16 gr/cm³ dibandingkan dengan berat jenis *bottom ash* yaitu sebesar 2,33 gr/cm³.

Hasil Uji Kuat Tekan

Tes kuat tekan hancur *paving* geopolimer dilakukan terhadap 3 buah benda uji berukuran 20cm x 10cm x 8cm pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Hasil uji kuat tekan *paving* geopolimer dapat dilihat pada Gambar 8.

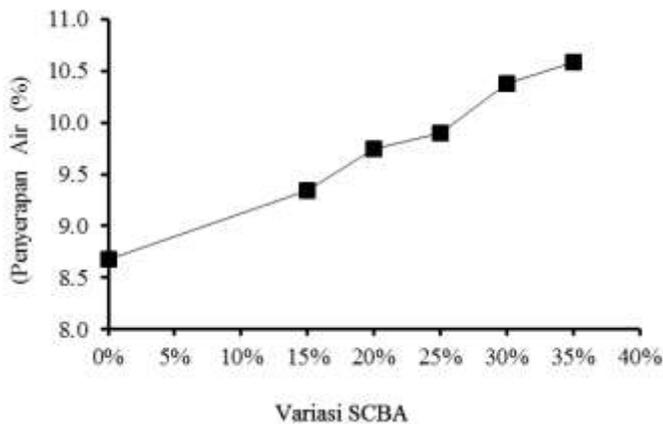


Gambar.8 Grafik Hubungan Kuat Tekan *Paving* Geopolimer Terhadap Umur Pengujian

Dari Gambar 8. dapat dilihat bahwa benda uji dengan variasi 0% *SCBA*/tanpa penambahan *SCBA* mempunyai kuat tekan paling tinggi sebesar 9,65 MPa. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin banyak penambahan *SCBA* semakin rendah kuat tekan *paving* geopolimer.

Hasil Uji Penyerapan Air

Tes penyerapan air pada *paving* geopolimer dilakukan terhadap 3 buah benda uji berukuran 20cm x 10cm x 8cm pada umur 28 hari. Hasil uji penyerapan air dapat dilihat pada **Gambar 9**.

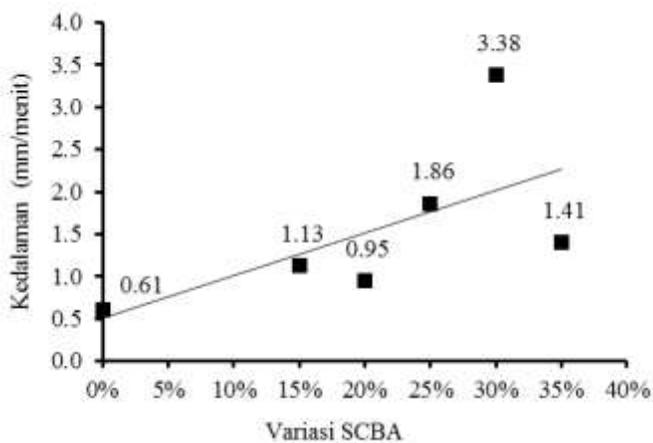


Gambar. 9 Grafik Resapan Air *Paving* Geopolimer Umur 28 Hari

Dari **Gambar 9**, dapat dilihat bahwa semakin banyak penambahan *SCBA* maka resapan air pada *paving* geopolimer juga semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena kemampuan *SCBA* dalam menyerap air lebih tinggi dibandingkan *bottom ash*, selain itu jika kita lihat struktur *SCBA* dari uji SEM menunjukkan bahwa terdapat banyak rongga di dalamnya sehingga membuat air mengisi rongga/pori-pori pada *SCBA* yang terdapat di dalam campuran *paving* geopolimer.

Hasil Uji Ketahanan Aus

Tes ketahanan aus pada *paving* geopolimer dilakukan terhadap 3 buah benda uji berukuran 20cm x 10cm x 8cm pada umur 28 hari. Hasil uji ketahanan aus dapat dilihat pada **Gambar 10**.



Gambar. 10 Grafik Ketahanan Aus *Paving* Geopolimer Umur 28 Hari

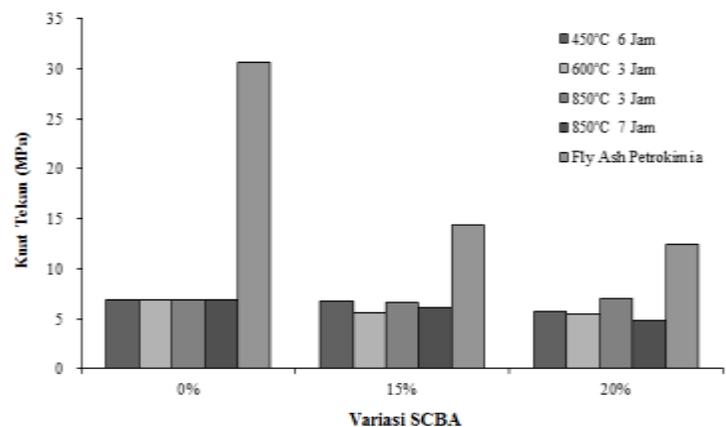
Dari **Gambar 10** dapat dilihat bahwa semakin banyak penambahan jumlah *SCBA* ke dalam campuran, tren/kecenderungan ketahanan aus semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh *SCBA* tidak memberikan pengaruh terhadap

campuran. Walaupun jumlah silika reaktifnya cukup besar yaitu sebesar 75%, namun senyawa Al yang dimilikinya sedikit sehingga tidak banyak terbentuk polysialate yang menyebabkan ikatan pada *paving* geopolimer tidak baik.

Pengaruh Suhu Kalsinasi SCBA dan Penggunaan Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Paving Geopolimer

Selain *SCBA* dikalsinasi pada suhu 850°C selama 7 jam, dilakukan beberapa percobaan untuk mengkalsinasi *SCBA* pada beberapa suhu antara lain pada suhu 450°C selama 6 jam, 600°C selama 3 jam, 850°C selama 3 jam. Hal ini dilakukan untuk mengkonfirmasi hasil dari pengujian *TGA (Thermo Gravimetric Analysis)*. Setelah itu dibuat benda uji *paving* geopolimer dengan dimensi 20 cm x 10 cm x 8 cm dan diuji tekan pada umur 14 hari. Setelah dicetak benda uji di-steam di dalam *steamer* pada suhu 60°C selama 24 jam setelah itu disimpan dalam suhu ruang ±25 °C sampai umur pengujian. Selain itu dilakukan pengujian dengan mengganti *bottom ash* dengan *fly ash* kelas F dari PT. Petrokimia dan *SCBA* yang dikalsinasi pada suhu 850°C selama 7 jam

Berikut ini adalah hasil kuat tekan ditunjukkan pada **Gambar. 11**.

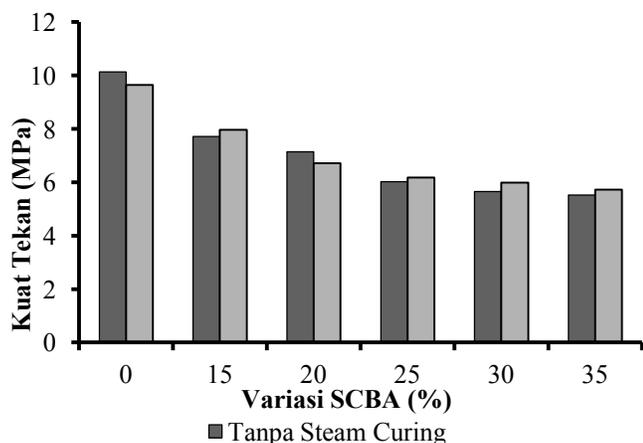


Gambar. 11 Grafik Pengaruh Suhu Kalsinasi *SCBA* dan Penggunaan Fly Ash Terhadap Kuat Tekan *Paving*

Dari **Gambar 11** dapat dilihat bahwa semakin besar penambahan *SCBA*, kuat tekan semakin menurun. Penurunan kuat tekan tertinggi terdapat pada kalsinasi *paving* pada suhu 850°C selama 7 jam. Sedangkan penggantian *bottom ash* dengan *fly ash* kelas F dari PT. Petrokimia dan tetap menggunakan *SCBA* yang dikalsinasi pada 850°C selama 7 jam mengalami penurunan kuat tekan.

Pengaruh Steam Curing Terhadap Kuat Tekan Paving Geopolimer

Sesuai dari pengujian yang dilakukan oleh Prasandha (2015) [6] tentang *paving* geopolimer dengan *bottom ash* dan *SCBA* tanpa dilakukan proses *steam curing*, dilakukan perbandingan kuat tekan umur 28 hari terhadap *paving* yang di-steam. Hasil perbandingan ditunjukkan pada **Gambar 12**.



Gambar. 12 Grafik Pengaruh *Steam Curing* Terhadap Kuat Tekan *Paving Geopolimer* Umur 28 Hari

Dari Gambar 12 dapat dilihat bahwa semakin besar jumlah penambahan SCBA, kuat tekan *paving* geopolimer baik yang di-*steam* maupun yang tidak di-*steam* mengalami penurunan. Untuk kuat tekan tertinggi terdapat pada campuran *paving* dengan persentase 0% SCBA tanpa *steam curing* yaitu sebesar 10,13 MPa. Jika dianalisa perbedaan kuat tekan *paving* geopolimer dengan atau tanpa di-*curing* memiliki perbedaan yang tidak besar.

IV. KESIMPULAN

- Variasi penambahan SCBA dalam penelitian ini adalah sebesar 0%, 15%, 20%, 25%, 30%, dan 35% terhadap berat *bottom ash*. Dari variasi tersebut 0% SCBA merupakan variasi optimum karena memiliki kuat tekan yang paling maksimal.
- Semakin besar penambahan SCBA ke dalam campuran *paving* geopolimer, maka :
 - Berat volume semakin kecil, dimana berat volume terbesar pada variasi 0% SCBA yaitu $1920,8 \text{ kg/m}^3$ dan yang paling rendah pada variasi 35% SCBA yaitu sebesar $1871,8 \text{ kg/m}^3$.
 - Kuat tekan semakin menurun. Kuat tekan pada 0% SCBA sebesar 9,65 MPa dan variasi 35% SCBA sebesar 5,73 MPa
 - Rata-rata resapan airnya meningkat. Pada variasi 0% SCBA resapan air sebesar 8.68% dan pada variasi 35% SCBA resapan air sebesar 10.59% .
 - Ketahanan ausnya menurun. Ketahanan aus paling rendah terdapat pada variasi campuran SCBA 30%.
- Reaktivitas terbesar didapat pada campuran dengan penggunaan *fly ash* kelas C. Penambahan SCBA sebesar 20% yang diayak dengan saringan $200\mu\text{m}$ meningkatkan reaktivitas bila dibandingkan dengan tidak menambahkan SCBA ke dalam campuran.
- Dari perbandingan penambahan SCBA dan pengaruh suhu kalsinasi SCBA terhadap kuat tekan paving, penambahan SCBA dengan kalsinasi pada suhu 850°C selama 7 jam memiliki penurunan kuat tekan terbesar dibandingkan dengan suhu kalsinasi yang lain. Walaupun silika reaktif yang terkandung didalam SCBA cukup besar yaitu 75.2%

dimungkinkan Al yang terkandung tidak banyak sehingga tidak cukup membantu proses polimerisasi.

- Paving* geopolimer dengan proses *steam curing* memiliki kuat tekan tertinggi yaitu 9,65 MPa, tidak jauh berbeda bila dibandingkan dengan *paving* geopolimer yang tidak dirawat dengan *steam curing*, dimana kuat tekannya sebesar 10,13 MPa.
- Dilihat persyaratan SNI-0691-1996 tentang *paving block* dari segi kuat tekan dan resapan air, paving geopolimer dengan 0% SCBA pada umur 28 hari masih masuk kedalam mutu D yaitu untuk taman. Tetapi karena ketahanan ausnya yang sangat rendah yaitu sebesar 0.61 mm/menit paving geopolimer tidak masuk persyaratan SNI-0691-1996 yang mensyaratkan 0.22 mm/menit untuk mutu D.
- Sebaiknya digunakan bottom ash yang berwarna putih kecokelatan, bukan yang mengandung ter ataupun bottom ash yang berwarna hitam, karena setelah dilakukan pengujian dalam pembuatan campuran paving. Hasil kuat tekan, keausan, dan penyerapan paving tidak lebih baik dan tidak memenuhi persyaratan mutu paving yang telah ditetapkan SNI-0691-1996.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis D.S.N mengucapkan terima kasih kepada PT. Kasmaji Inti Utama atas dukungan bantuan material *bottom ash* dan sodium silikat. Dan pabrik gula Gempol Krep untuk bantuan material *sugar cane bagasse ash (SCBA)*

DAFTAR PUSTAKA

- Sibuea, Arif F., dan Tarigan, Johannes. "Pemanfaatan Limbah Botol Plastik Sebagai Bahan *Eco Plafie (Economic Plastic Fiber) Paving Block* yang Berkonsep Ramah Lingkungan dengan Uji Tekan, Uji Kejut, dan Serapan Air". Skripsi, Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Medan (2005).
- SNI 03-0691. Bata Beton (*Paving Block*). Badan Standarisasi Nasional (1996).
- Davidovits, J. "*Properties of Geopolymer Cement*". Geopolymer Institute. Saint Quentin, France (1994).
- Wijaya, Yulia Putri., Triwulan., dan Ekaputri, Januarti Jaya. "Mortar Geopolimer dari Coal Ash Limbah Pabrik untuk Bahan Dasar Paving dan Bata." Tugas Akhir, Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya (2014).
- Ekaputri, Januarti Jaya., Triwulan., dan Damayanti, Oktavina. "Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Jawa Power Paiton Sebagai Material Alternatif." PONDASI, volume 13 No 2, ISSN 0985-814X, (2007) 124 - 134.
- Prasandha, Ahmad Freddy Eka., Triwulan., dan Ekaputri, Januarti Jaya. "Paving Geopolimer Berbahan Dasar *Bottom Ash* dan *Sugar Cane Bagasse Ash (SCBA)*." Tugas Akhir, Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya (2015).