



TUGAS AKHIR – RC14 1501

**PENGGUNAAN LIMBAH HASIL PEMBAKARAN BATU
BARA DAN *SUGAR CANE BAGASSE ASH (SCBA)* PADA
PAVING GEOPOLIMER DENGAN PROSES *STEAM
CURING***

DIMAS SETIYO NUGROHO
NRP. 3112106051

Dosen Pembimbing I
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA

Dosen Pembimbing II
Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT – RC14 1501

***APPLICATION OF WASTE COMBUSTION OF COAL
AND SUGAR CANE BAGASSE ASH (SCBA) IN
GEOPOLYMER PAVING WITH STEAM CURING
PROCESS***

DIMAS SETIYO NUGROHO
NRP. 3112106051

Supervisor I
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA

Supervisor II
Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST., MT.

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**PENGUNAAN LIMBAH HASIL PEMBAKARAN BATU
BARA DAN *SUGAR CANE BAGASSE ASH (SCBA)* PADA
PAVING GEOPOLIMER DENGAN PROSES *STEAM
CURING***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Struktur
Program Studi S-1 Lintas Jalur Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
DIMAS SETIYO NUGROHO
NRP. 3112 106 051

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA
NIP. 195103091974122001

(Pembimbing I)

Dr. Eng. Januarti J. Ekaputri, ST,
NIP. 197401122005012001

(Pembimbing II)

**SURABAYA
JUNI, 2015**

**PENGUNAAN LIMBAH HASIL PEMBAKARAN
BATUBARA DAN SUGAR CANE BAGASSE ASH (SCBA)
PADA PAVING GEOPOLIMER DENGAN PROSES STEAM
CURING**

Nama Mahasiswa : Dimas Setiyo Nugroho
NRP : 3112 106 051
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Konsultasi : Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.
Dr. Eng. Januarti J.E, ST. MT.

Abstrak

Bottom ash merupakan limbah sisa pembakaran batu bara disamping fly ash yang saat ini jarang digunakan. 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 agregat. Selain itu bahan lain yang digunakan adalah SCBA (Sugar Cane Bagasse Ash / abu ampas tebu) untuk menambah sumber silika dari bottom ash yang digunakan.

Dalam penelitian ini, benda uji yang digunakan adalah paving berukuran 20cm x 10cm x 8cm. Mix design dalam pembuatan paving geopolimer antara lain perbandingan berat antara agregat : binder adalah 65 : 35, bottom ash : alkali 65 : 35, NaOH : Na₂SiO₃ 1 : 2.5, dengan penambahan air sebanyak 5% dari berat binder. Variasi penambahan SCBA untuk mengurangi berat bottom ash adalah 0%, 15%, 20%, 25%, 30%, dan 35% yang sebelumnya sudah dikalsinasi pada suhu 850°C selama 7 jam. Metode perawatan pada benda uji yaitu dengan menggunakan steamer pada suhu 60°C selama 24 jam. Selain itu dibuat benda uji dengan menggunakan variasi pembakaran SCBA antara lain 450°C selama 6 jam; 600°C selama 3 jam; dan 850°C selama 3 jam sebagai pembanding. Selain itu, digunakan fly ash dari PT. Petrokimia sebagai pembanding terhadap bottom ash. Paving dicetak dengan menggunakan alat pres manual.

Didapat hasil bahwa semakin banyak berat SCBA dalam campuran, akan menurunkan kualitas paving. Hasil maksimum terdapat pada variasi 0% SCBA pada umur 28 hari dengan hasil rata-rata kuat tekan sebesar 9,65 MPa, resapan air sebesar 8.68%, dan ketahanan aus sebesar 0.61 mm/menit.

Berdasarkan SNI 0691-1996 tentang paving block, paving geopolimer ini tidak memenuhi standar yang telah ditentukan. Selain itu, perawatan steam tidak memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan paving geopolimer yang tidak di-steam.

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium, dan hasil benda uji memungkinkan untuk dijadikan bata dinding. Menurut SNI 03-0349-1989, campuran paving masuk ke dalam mutu 1.

Kata kunci : bottom ash, geopolimer, paving, SCBA, steam curing

APPLICATION OF WASTE COMBUSTION OF COAL AND SUGAR CANE BAGASSE ASH (SCBA) IN PAVING GEOPOLYMER WITH STEAM CURING PROCESS

Student's Name : Dimas Setiyo Nugroho
NRP : 3112 106 051
Departement : Civil Engineering FTSP-ITS
Supervisors : Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.
Dr. Eng. Januarti J.E, ST. MT.

Abstract

Bottom ash is a by-product of coal combustion beside fly ash which is rarely used as pozzolan. In this research the materials are bottom ash and alkaline solution were mixed to make paving geopolymer. Stone ash used as an aggregate. In addition, SCBA (Sugar Cane Bagasse Ash) was applied as additional silica source in the mixture.

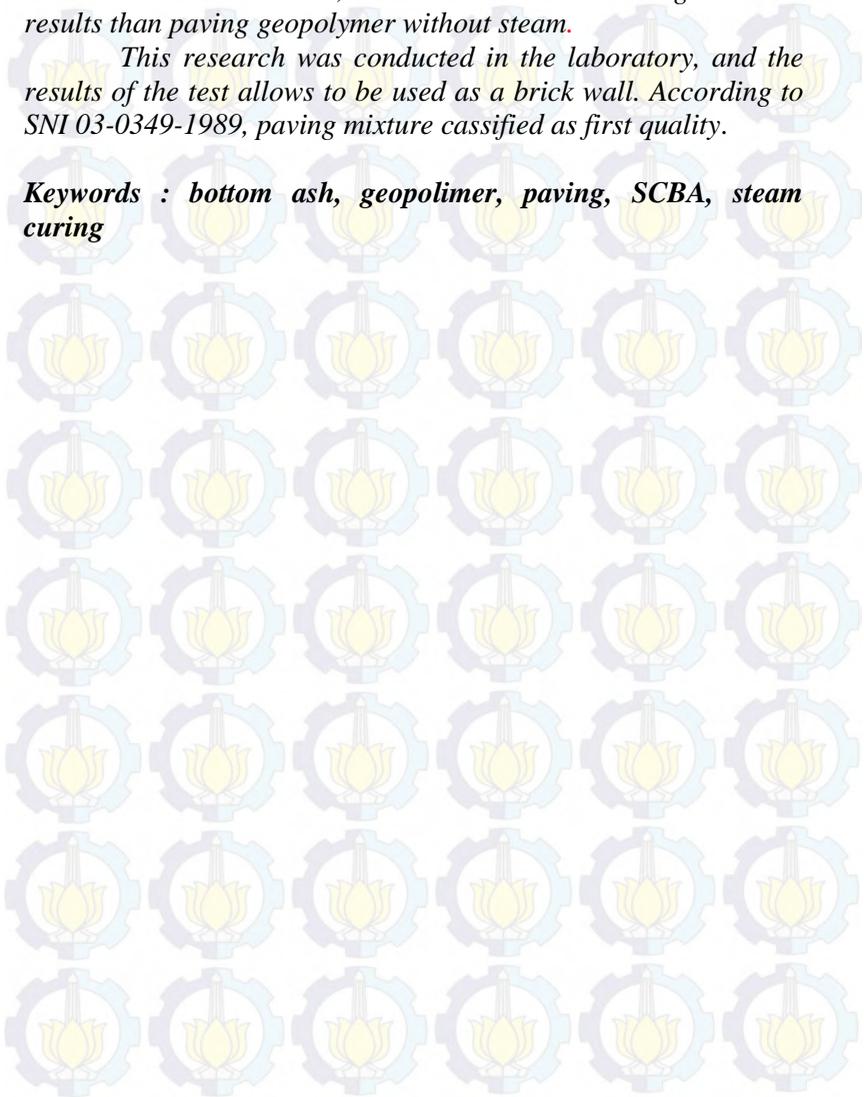
In this research the measure of specimens was 20cm x 10cm x 8cm. Mix design of paving geopolymer are ratio of aggregate to binder weight was kept constant of 65 : 35. The weight ratio of bottom ash to alkaline 65 of 35, and NaOH : Na₂SiO₃ 1 of 2.5. The addition of water is 5% from binder weight. Variations of SCBA addition to reducing weight of bottom ash was 0%, 15%, 20%, 25%, 30%, and 35% which is previously had been calcined at temperature 850°C for 7 hours. Curing method for the specimen by steam curring at 60°C for 24 hours. Additionally made other specimens using variations of SCBA combustion as a comparison, such as 450°C for 6 hours; 600°C for 3 hours; and 850°C for 3 hours. Fly ash from PT. Petrokimia was used as a comparison to bottom ash. After mixing paving formed by manual press tool.

Based on the analysis that had been done the result is that the more adding SCBA in the mixing, it will degrade the quality of paving. Maximum results at 0% SCBA variation at 28 days with an average of compressive strength is 9,65 MPa, water

absorption 8.68%, and the abrasion resistance 0.61 mm / min. According to SNI 0691-1996, paving geopolymer did not meet the standards set. In addition, steam treatment does not give better results than paving geopolymer without steam.

This research was conducted in the laboratory, and the results of the test allows to be used as a brick wall. According to SNI 03-0349-1989, paving mixture cassified as first quality.

Keywords : bottom ash, geopolymer, paving, SCBA, steam curing



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah wa syukurillah, puji dan syukur kehadirat Allah SWT, Yang Maha Segalanya karena atas rahmat dan kasih sayang-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Tugas akhir ini ditujukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada bidang studi struktur di Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya.

Dalam pengerjaan tugas akhir ini penulis memperoleh banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua dan saudara yang telah memberikan doa, dukungan, motivasi, dan semangat yang begitu besar untuk menyelesaikan tugas akhir.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA., selaku dosen pembimbing I yang telah sabar membimbing, memberikan banyak bantuan dan masukan dalam mengerjakan tugas akhir ini.
3. Ibu Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST., MT., selaku pembimbing II yang selalu setia memberikan masukan, nasehat, dan motivasi dalam mengerjakan tugas akhir ini.
4. Bapak Budi Suswanto, ST., M.Sc., PhD., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.
5. Bapak Dr. Ir. Edijatno, DEA., selaku Sekretaris II Jurusan Teknik Sipil dan Kepala Program Studi Lintas Jalur Teknik Sipil ITS.
6. Segenap staff dan karyawan jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.
7. Laboran dari Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan, Bapak Suharjo, Bapak Totok, dan Laboran dari Laboratorium Struktur, Bapak Ridwan.
8. Bapak Budi Saparno dari PT. Kasmaji Inti Utama dan Bapak Affandi dari Pabrik Gula Gempol Krep, terima kasih atas bantuan material yang selama ini telah diberikan.

9. Teman-teman seperjuangan, Pepi, Dini, Yulia, Desak, Henry, Mas Lutfi, Anas, Novema, dan rekan-rekan LBE Green Concrete, terima kasih atas bantuan dan dukungannya.

Penulis sangat menyadari bahwa tugas akhir ini jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu segala kritik dan saran akan penulis terima. Besar harapan penulis agar buku laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi siapapun yang membaca tugas akhir ini.

Surabaya, Maret 2015

Penulis

DAFTAR ISI

Abstrak	i
<i>Abstract</i>	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Umum.....	7
2.2 Geopolimer	7
2.2.1 Penelitian Sebelumnya.....	9
2.3 Bahan-Bahan Dasar <i>Paving</i> Geopolimer.....	15
2.3.1 <i>Fly ash</i> dan <i>bottom ash</i>	15
2.3.2 Abu batu.....	16
2.3.3 SCBA (<i>Sugar Cane Bagasse Ash</i>)	16
2.3.4 Aktivator dan katalisator.....	17
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Flowchart Metode Penelitian.....	19
3.2 Studi Literatur.....	21
3.3 Persiapan Material	21

3.3.1	<i>Bottom Ash</i>	21
3.3.2	SCBA (<i>Sugar Cane Bagasse Ash</i>)	22
3.3.3	Larutan NaOH.....	24
3.3.4	Sodium silikat (NaSiO_2)	25
3.3.5	Air suling.....	26
3.3.6	Abu batu.....	26
3.4	Analisa Material	27
3.4.1	Analisa <i>bottom ash</i>	27
3.4.1.1	Percobaan reaktivitas <i>bottom ash</i> (ASTM C 593-95)	27
3.4.1.2	Uji TCLP (<i>Toxicity Characteristic Leaching Procedure</i>) (USEPA Method 1311).....	30
3.4.2	Analisa abu batu.....	33
3.4.2.1	Pengujian berat jenis abu batu (ASTM C 128-78)	33
3.4.2.2	Pengujian kadar air resapan abu batu (ASTM C 128-93)	35
3.4.2.3	Pengujian kelembaban abu batu (ASTM C 556-89)	36
3.4.2.4	Pengujian berat volume abu batu (ASTM C 29-91)	37
3.4.2.5	Pengujian kadar lumpur dengan pencucian atau metode penyaringan basah (ASTM C117-95)	38
3.4.2.6	Pengujian kadar lumpur dengan cara pengendapan (ASTM C 33-86).....	39
3.4.2.7	Pengujian kandungan zat organik dalam abu batu (ASTM C 40-92).....	40
3.4.2.8	Pengujian analisa saringan abu batu (ASTM C 33-78 & BS 882-1973).....	41
3.4.3	Analisa SCBA.....	42

3.5	Persiapan Bahan <i>Paving</i> Geopolimer	42
3.5.1	Larutan NaOH (Natrium Hidroksida)	42
3.5.2	Sodium silikat (<i>water glass</i>)	45
3.5.3	Aquadess (air suling).....	45
3.5.4	<i>Bottom ash</i>	45
3.5.5	SCBA (<i>Sugar Cane Bagasse Ash</i>).....	47
3.5.3	Abu batu	48
3.6	Pembuatan Larutan Alkali	48
3.7	Pembuatan Benda Uji <i>Paving</i>	49
3.8	Tes Kuat Tekan Mortar Geopolimer (ASTM C 39-94).....	53
3.9	Tes Penyerapan Air (SNI-0691-1996).....	54
3.10	Tes Ketahanan Aus (SNI 0028-1987-A)	56
3.11	Cek Standar Deviasi	58
3.12	Analisa XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	59
3.13	Analisa XRF (<i>X-Ray Fluorescence</i>).....	60
3.14	Analisa SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>).....	60
3.15	Cek Persyaratan <i>Paving</i>	60
3.16	Analisa Hasil.....	60
3.17	Kesimpulan.....	61
BAB 4 HASIL PENGUJIAN & ANALISA DATA		63
4.1	Umum.....	63
4.2	Material.....	63
4.3	Data dan Hasil Analisa Material.....	63
4.3.1	Analisa material <i>bottom ash</i>	63
4.3.1.1	Analisa berat jenis <i>bottom ash</i>	63
4.3.1.2	Analisa XRD <i>bottom ash</i>	64
4.3.1.3	Analisa XRF <i>bottom ash</i>	69

4.3.1.4	Analisa SEM <i>bottom ash</i>	70
4.3.2	Analisa <i>Sugar Cane Bagasse Ash (SCBA)</i>	73
4.3.2.1	Analisa berat jenis <i>SCBA</i>	76
4.3.2.2	Analisa XRD <i>SCBA</i>	77
4.3.2.3	Analisa XRF <i>SCBA</i>	86
4.3.2.4	Analisa SEM <i>SCBA</i>	87
4.3.3	Analisa abu batu.....	89
4.3.3.1	Analisa berat jenis abu batu (ASTM C 128-79)	89
4.3.3.2	Analisa kelembaban abu batu (ASTM C 556-89)	89
4.3.3.3	Analisa air resapan abu batu (ASTM C 128-93)	90
4.3.3.4	Analisa berat volume abu batu (ASTM C 29-91)	91
4.3.3.5	Analisa kebersihan abu batu terhadap bahan organik (ASTM C 40-92).....	91
4.3.3.6	Analisa kebersihan abu batu terhadap lumpur (pengendapan) (ASTM C 33-86)	92
4.3.3.7	Analisa kebersihan abu batu terhadap lumpur (Pencucian) (ASTM C 11-95).....	92
4.3.3.8	Analisa ayak abu batu	93
4.3.3.9	Analisa XRD abu batu	95
4.3.3.10	Analisa SEM abu batu.....	97
4.3.4	Analisa uji reaktivitas.....	98
4.4	Data Dan Analisa Hasil <i>Paving Geopolimer</i>	100
4.4.1	Komposisi paving geopolimer	100
4.4.2	Proses <i>steam curing</i>	101

4.4.3 Tes berat volume <i>paving</i> geopolimer	101
4.4.4 Tes kuat tekan <i>paving</i> geopolimer.....	103
4.4.5 Tes penyerapan air <i>paving</i> geopolimer	107
4.4.6 Tes ketahanan aus <i>paving</i> geopolimer.....	109
4.4.7 Pengaruh berat volume, penyerapan air, dan ketahanan aus terhadap kuat tekan <i>paving</i> geopolimer.....	111
4.4.8 Pengaruh suhu kalsinasi terhadap kuat tekan <i>paving</i> geopolimer	112
4.4.9 Pengaruh <i>steam curing</i> terhadap berat volume, kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus <i>paving</i> geopolimer	114
4.4.9 Pengaruh alat cetak otomatis dan manual terhadap berat volume dan kuat tekan <i>paving</i> geopolimer	117
4.5 Kesesuaian <i>Paving</i> Geopolimer dengan SNI 03-0691-1996 tentang Bata Beton (<i>Paving Block</i>) dan SNI 03-0349-1989 tentang Pasangan Dinding (Batako)	122
4.6 Analisa Silika Reaktif SCBA dan Uji TCLP (<i>Toxicity Characteristic Leaching Procedure</i>)	125
BAB 5 PENUTUP.....	126
5.1 Kesimpulan.....	126
5.2 Saran.....	129
DAFTAR PUSTAKA.....	xxvii
LAMPIRAN	xxxiii
BIODATA PENULIS.....	lv



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Standar Baku Mutu Logam Berat	31
Tabel 3.2 Kode Benda Uji, <i>Temperature Curing</i> dan % SCBA	50
Tabel 3.3 Komposisi Material Tiap 1 m ³ Paving Geopolimer	50
Tabel 3.4 Kovarian Kontrol SNI 03-06813-2002	59
Tabel 4.1 Berat Jenis Bottom Ash	64
Tabel 4.2 Hasil Analisa XRD dan Jumlah Mineral pada Bottom Ash Sebelum Dihaluskan	68
Tabel 4.3 Hasil Analisa XRD dan Jumlah Mineral pada Bottom Ash Setelah Dihaluskan.....	68
Tabel 4.4 Hasil Analisa XRD dan Jumlah Mineral pada Bottom Ash yang Tercampur Ter.....	68
Tabel 4.5 Hasil Analisa XRF Bottom Ash	69
Tabel 4.6 Suhu Pembakaran SCBA.....	73
Tabel 4.7 Berat Jenis SCBA	76
Tabel 4.8 Hasil Analisa XRD dan Jumlah Mineral SCBA Sebelum Dibakar	84
Tabel 4.9 Hasil Analisa XRD dan Jumlah Mineral pada SCBA Setelah Dibakar pada Suhu 450°C Selama 6 Jam	84
Tabel 4.10 Hasil Analisa XRD dan Jumlah Mineral pada SCBA Setelah Dibakar pada Suhu 600°C Selama 3Jam	84
Tabel 4.11 Hasil Analisa XRD dan Jumlah Mineral pada SCBA Setelah Dibakar pada Suhu 850°C Selama 3 Jam	85
Tabel 4.12 Hasil Analisa XRD dan Jumlah Mineral pada SCBA Setelah Dibakar pada Suhu 850°C Selama 7 Jam	85
Tabel 4.13 Hasil Analisa XRF SCBA Setelah Dibakar Manual	86
Tabel 4.14 Berat Jenis Abu Batu	89

Tabel 4.15 Kelembaban Abu Batu.....	90
Tabel 4.16 Air Resapan Abu Batu	90
Tabel 4.17 Berat Volume Abu Batu	91
Tabel 4.18 Kadar Zat Organik Abu Batu.....	91
Tabel 4.19 Kebersihan Abu Batu Terhadap Lumpur (Pengendapan)	92
Tabel 4.20 Kebersihan Abu Batu Terhadap Lumpur (Pencucian)	93
Tabel 4.21 Analisa Ayak Abu Batu	94
Tabel 4.22 Hasil XRD dan Jumlah Mineral pada Abu Batu	97
Tabel 4.23 Hasil Uji Reaktivitas Material	99
Tabel 4.24 Komposisi Paving Geopolimer untuk Setiap Variasi	101
Tabel 4.25 Berat Volume Paving Geopolimer Umur 28 Hari	102
Tabel 4.26 Standar Deviasi Menurut SNI 03-06813-2002 ..	104
Tabel 4.27 Kuat Tekan Paving Geopolimer	104
Tabel 4.28 Hasil Penyerapan Air Paving Geopolimer	107
Tabel 4.29 Hasil Ketahanan Aus Paving Geopolimer	109
Tabel 4.30 Hasil Berat Volume, Kuat tekan, Penyerapan Air, Dan Ketahanan Aus Paving Geopolimer	111
Tabel 4.31 Syarat Fisik Bata Beton	122
Tabel 4.32 Klasifikasi Paving Geopolimer Berdasarkan SNI 03- 0691-1996.....	123
Tabel 4.33 Syarat Fisik Bata Beton	124
Tabel 4.34 Klasifikasi Bata Beton Berdasarkan SNI 03-0349- 1989	124
Tabel 4.35 Persentase SiO ₂ Reaktif	125
Tabel 4.36 Hasil Uji TCLP.....	126

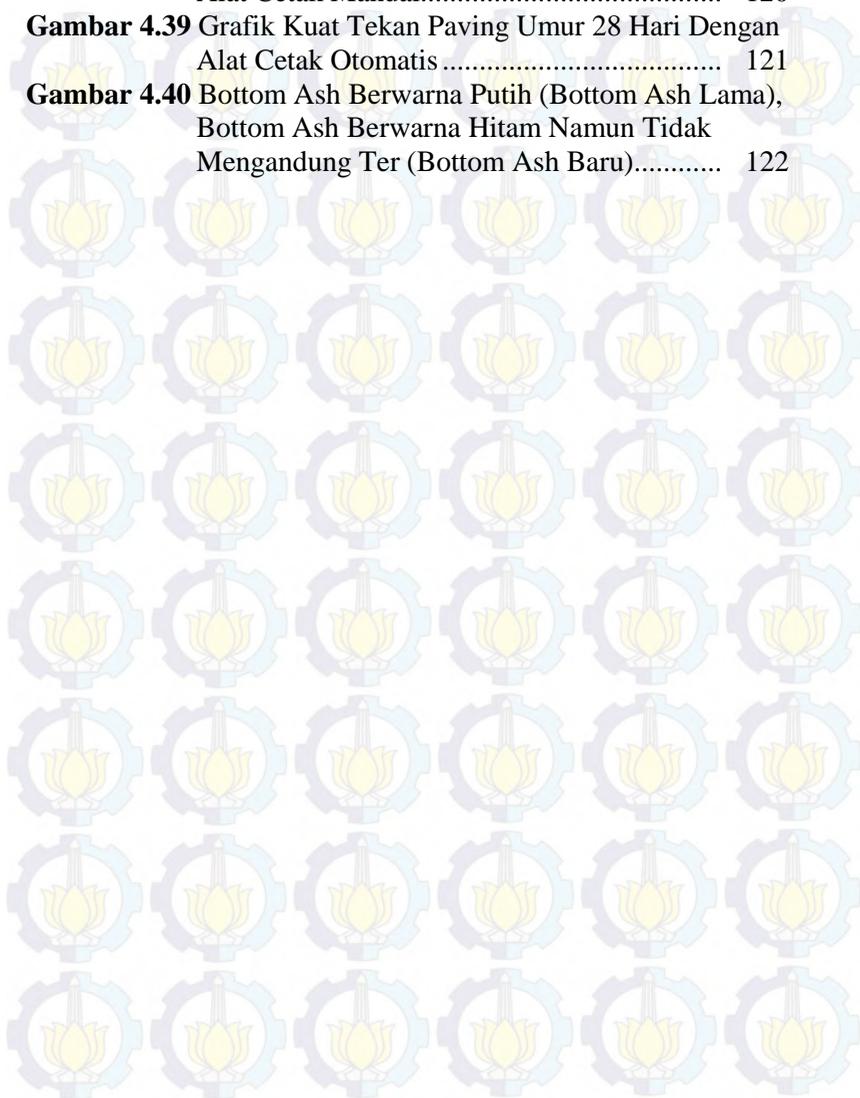
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Kimia Polysialate.....	8
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	18
Gambar 3.2 Bongkahan <i>bottom ash</i> yang keluar dari tungku pembakaran.....	20
Gambar 3.3 Bottom Ash Sebelum dan Sesudah Dihaluskan.....	20
Gambar 3.4 Kolam Penampungan SCBA dari Pabrik Gula Gempol Krep Mojokerto.....	21
Gambar 3.5 SCBA Sebelum dan Sesudah Dikalsinasi.....	21
Gambar 3.6 NaOH Padat.....	22
Gambar 3.7 NaOH 14M.....	23
Gambar 3.8 Sodium Silikat.....	23
Gambar 3.9 Aquades.....	24
Gambar 3.10 Abu Batu.....	24
Gambar 3.11 Pozzolan & Kapur, Air, Pasir dalam Keadaan SSD.....	26
Gambar 3.12 Benda Uji, Proses Steam Curing.....	27
Gambar 3.13 Benda Uji Direndam Dalam Air, Capping Benda Uji, Pengujian Kuat Tekan.....	28
Gambar 3.14 Pengeringan Abu Batu dengan <i>Hair Dryer</i> , Abu Batu Dalam Keadaan SSD.....	32
Gambar 3.15 Abu Batu Didalam Labu Ukur, Setelah Air dan Abu Batu Tercampur, Penimbangan Labu Ukur yang Sudah Terisi Air dan Abu Batu.....	33
Gambar 3.16 Mesin Bond Ballmill.....	46
Gambar 3.17 Bottom Ash Setelah Di- <i>ballmill</i> , Bottom Ash Setelah Diayak.....	46
Gambar 3.18 Mesin Furnace.....	47
Gambar 3.19 Bahan Penyusun Alkali, NaOH, Na ₂ SiO ₃ , Air.....	48
Gambar 3.20 Larutan Alkali.....	49
Gambar 3.21 Bottom Ash, Abu Batu, SCBA, Aquades, Alkali.....	51

Gambar 3.22	Proses Mencetak Paving Geopolimer	52
Gambar 3.23	Proses Curing Paving Dengan Steamer.....	53
Gambar 3.24	Paving Sebelum Direndam, Paving Saat Direndam selama 24 Jam	55
Gambar 3.25	Proses Penimbangan Berat Paving Dalam Keadaan Basah	55
Gambar 3.26	Proses Uji Ketahanan Aus Paving.....	56
Gambar 3.27	Salah Satu Paving Setelah Diuji Aus	57
Gambar 4.1	Grafik Analisa XRD Bottom Ash Sebelum Dihaluskan.....	65
Gambar 4.2	Grafik Analisa XRD Bottom Ash Setelah Dihaluskan di Mesin Bond Ballmill.....	66
Gambar 4.3	Grafik Analisa XRD Bottom Ash yang Tercampur Ter	67
Gambar 4.4	Bentuk Partikel Mullite	70
Gambar 4.5	Bentuk Partikel Cristobalite	70
Gambar 4.6	Partikel Bottom Ash yang Diamati Dengan SEM Sebelum Dihaluskan.....	71
Gambar 4.7	Partikel Bottom Ash yang Diamati Dengan SEM Setelah Dihaluskan Dengan Bond Ballmill...	71
Gambar 4.8	Partikel Bottom Ash Tercampur Ter yang Diamati Dengan SEM	72
Gambar 4.9	Grafik Suhu dan Waktu Pembakaran SCBA...	73
Gambar 4.10	Grafik Analisa TGA Sugar Cane Bagasse Ash	74
Gambar 4.11	Grafik Perbandingan Berat & Heatflow Sugar Cane Bagasse Ash	75
Gambar 4.12	Grafik Analisa XRD SCBA Sebelum Dibakar	78
Gambar 4.13	Grafik Analisa XRD SCBA Setelah Dibakar Suhu 450°C Selama 6 Jam.....	79
Gambar 4.14	Grafik Analisa XRD SCBA Setelah Dibakar Suhu 600°C Selama 3 Jam.....	80
Gambar 4.15	Grafik Analisa XRD SCBA Setelah Dibakar Suhu 850°C Selama 3 Jam.....	81
Gambar 4.16	Grafik Analisa XRD SCBA Setelah Dibakar Suhu 850°C Selama 7 Jam.....	82

Gambar 4.17	Grafik Analisa XRD SCBA Dengan 4 Variasi Pembakaran.....	83
Gambar 4.18	Partikel SCBA yang Diamati Dengan SEM Sebelum Dibakar.....	87
Gambar 4.19	Partikel SCBA yang Diamati Dengan SEM Setelah Dibakar Pada Suhu 850°C Selama 3 Jam.....	82
Gambar 4.20	Grafik Analisa Ayak Abu Batu.....	94
Gambar 4.21	Grafik Analisa XRD Abu Batu.....	96
Gambar 4.22	Bentuk Mineral Albite.....	97
Gambar 4.23	Partikel Abu Batu yang Diamati Dengan SEM.....	98
Gambar 4.24	Perbandingan Hasil Uji Reaktivitas Antar Material.....	99
Gambar 4.25	Grafik Hubungan Berat Volume Dengan Penambahan SCBA Paving Geopolimer.....	103
Gambar 4.26	Grafik Hubungan Kuat Tekan Paving Geopolimer Terhadap Variasi SCBA.....	106
Gambar 4.27	Grafik Hubungan Kuat Tekan Paving Geopolimer Terhadap Umur Pengujian.....	106
Gambar 4.28	Grafik Resapan Air Paving Geopolimer Umur 28 Hari.....	108
Gambar 4.29	Grafik Ketahanan Aus Paving Geopolimer Umur 28 Hari.....	110
Gambar 4.30	Grafik Pengaruh Suhu Kalsinasi SCBA dan Penggunaan Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Paving.....	113
Gambar 4.31	Grafik Pengaruh Steam Curing Terhadap Kuat Tekan Paving Umur 28 Hari.....	114
Gambar 4.32	Grafik Pengaruh Steam Curing Terhadap Berat Volume Paving Umur 28 Hari.....	115
Gambar 4.33	Grafik Pengaruh Steam Curing Terhadap Resapan Air Paving Umur 28 Hari.....	116
Gambar 4.34	Grafik Pengaruh Steam Curing Terhadap Ketahanan Aus Paving Umur 28 Hari.....	117
Gambar 4.35	Alat Cetak Paving Manual, Mesin Cetak Paving Otomatis.....	118
Gambar 4.36	Grafik Berat Volume Paving Umur 28 Hari.....	119

Gambar 4.37 Kuat Tekan Paving Umur 28 Hari..... 120
Gambar 4.38 Grafik Kuat Tekan Paving Umur 28 Hari Dengan
Alat Cetak Manual..... 120
Gambar 4.39 Grafik Kuat Tekan Paving Umur 28 Hari Dengan
Alat Cetak Otomatis 121
Gambar 4.40 Bottom Ash Berwarna Putih (Bottom Ash Lama),
Bottom Ash Berwarna Hitam Namun Tidak
Mengandung Ter (Bottom Ash Baru)..... 122



BIOGRAFI



Penulis dilahirkan di Jakarta, 13 Mei 1990, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Islam Nur Muhammad-Kemang, SDN 12 Pagi Pondok Labu-Cilandak, SMPN 85 Jakarta, dan SMAN 66 Jakarta. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2008, penulis melanjutkan pendidikan Diploma 3 di Politeknik Negeri Jakarta (PNJ) Jurusan Teknik Sipil, program studi Konstruksi Bangunan Gedung. Setelah lulus pada tahun 2011, penulis bekerja selama 2 tahun di PT. Takenaka Indonesia sebagai Estimator dan Quantity Surveyor. Tahun 2012 penulis melanjutkan studi S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya di Jurusan Teknik Sipil program Lintas Jalur dan terdaftar dengan NRP 31121060151.

Selama menjalani perkuliahan baik di PNJ maupun ITS penulis aktif berorganisasi diberbagai bidang, serta aktif mengikuti kegiatan kepanitiaan yang diadakan jurusan maupun kampus. Selain itu, penulis cukup aktif mengikuti seminar, konfrensi, simposium, dan workshop baik dalam bidang teknik maupun non teknik. Untuk mengenal penulis lebih dekat, pembaca dapat menghubungi melalui email: dimasetyo.nugroho@gmail.com

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bata beton (*paving block*) merupakan salah satu bahan bangunan yang digunakan sebagai lapisan atas struktur jalan selain aspal dan beton. Sekarang ini banyak konsumen lebih memilih *paving block* dibandingkan perkerasan jalan seperti lapis beton maupun aspal, hal ini dikarenakan konstruksi perkerasan dengan *paving* merupakan konstruksi yang ramah lingkungan, dimana *paving* sangat baik dalam membantu konservasi air tanah, pelaksanaannya yang lebih cepat, mudah dalam pemasangan dan pemeliharaan, memiliki aneka ragam bentuk yang menambah nilai estetika, serta harganya yang mudah dijangkau (Arif dan Johannes, 2013).

Bata beton (*paving block*) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambah lainnya yang tidak mengurangi mutu *paving block* itu sendiri (SK-SNI 03-0691-1996). Semen Portland merupakan bahan yang paling penting digunakan dalam pembuatan *paving*. Kebutuhan *paving* yang semakin lama semakin meningkat mengakibatkan permintaan akan jumlah semen juga meningkat. Akan tetapi, pada saat proses memproduksi semen, terjadi pelepasan emisi CO₂ ke udara yang besarnya sebanding dengan jumlah semen yang diproduksi. Dengan kata lain, memproduksi 1 ton semen sama dengan memproduksi 1 ton CO₂ ke dalam udara (Davidovits, 1994). Hal inilah yang menjadi salah satu faktor pendorong untuk menemukan bahan alternatif lain yang bisa menggantikan semen dalam campuran *paving*.

Beton geopolimer adalah jenis beton yang 100 % tidak menggunakan semen sebagai bahan pengikat utama (Ekaputri dkk, 2007). Saat ini material yang umum digunakan sebagai

bahan pengganti Semen Portland pada beton geopolimer adalah *fly ash* yang berasal dari limbah sisa-sisa pembakaran batubara. *Fly ash* sangat baik digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran beton karena bahan penyusun utamanya adalah Silika Dioksida (SiO_2), Aluminium Oksida (Al_2O_3) dan Ferrum Oksida (Fe_2O_3) (Abernethy et al, in Bumjoo et al, 2005). *Fly ash* salah satu hasil pembakaran batu bara digunakan sebagai sumber material untuk pembuatan binder yang dibutuhkan dalam campuran beton. Kualitas *fly ash* di Indonesia sangat beragam tergantung pada sumber batubara, pengolahan batubara, proses pembakaran batubara, serta penyimpanan *fly ash*. Faktor-faktor tersebut menentukan sifat dasar kimia dan fisika *fly ash* (Ekaputri dkk, 2013). Faktor fisika *fly ash* di antaranya *specific gravity*, luas permukaan, ukuran butir dan distribusinya. Faktor kimia *fly ash* di antaranya komposisi komponen (senyawa) penyusun, dan kandungan mineral yang terkandung didalamnya

PT. Kasmaji Inti Utama (PT. KIU) adalah pabrik kimia yang memproduksi sodium silikat (Na_2SiO_3), dan dalam setiap produksinya menghasilkan limbah batubara (*fly ash* dan *bottom ash*). Limbah batubara yang dihasilkan dari pabrik ini mempunyai kandungan silika yang rendah sifat amorfnya. Masalah yang dihadapi perusahaan tersebut terkait dengan limbah batubara adalah biaya yang dikeluarkan perusahaan untuk transportasi penjualan limbah ke pabrik semen jauh lebih mahal dari pada hasil penjualan limbah batubara itu sendiri. Untuk menyelesaikan masalah tersebut, PT. KIU telah melaksanakan kerjasama dengan ITS dalam bentuk riset tentang beton geopolimer. Beberapa percobaan telah dilakukan, dan disimpulkan bahwa solusi yang sesuai untuk mengatasi masalah tersebut adalah pemanfaatan limbah batubara sebagai bahan utama pembuatan beton geopolimer. Beton geopolimer yang dibuat dari limbah batubara yang berasal dari PT. KIU memiliki kelemahan, yaitu tidak berpotensi dijadikan bahan bangunan atau perkerasan jalan berkualifikasi tinggi. Diketahui penyebabnya adalah kandungan silikanya tidak reaktif. Untuk memperbaiki kualitas geopolimer yang dibuat dari

bahan utama limbah batubara PT. KIU, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menambahkan silika aktif. Sumber silika yang tersedia dalam jumlah banyak di Indonesia dan merupakan limbah adalah abu sekam dan abu ampas tebu (*Sugar Cane Bagasse Ash*). Penelitian sebelumnya oleh Srinivasan dan Sathiya (2010) menunjukkan bahwa abu ampas tebu mengandung silika yang sangat banyak, yaitu sampai sebesar 78,34%.

Penelitian pendahuluan yang sudah dilakukan di ITS oleh Wijaya (2014) menunjukkan bahwa kuat tekan mortar geopolimer yang dibuat dari *coal ash* berkisar antara 10 – 25 MPa. Nilai ini jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan beton geopolimer yang menggunakan *fly ash* dengan kadar silika amorf yang tinggi. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa material ini hanya bisa diaplikasikan untuk bahan bangunan non struktural seperti *paving* dan bata.

Didalam penelitian ini akan dilakukan beberapa pengujian yang berkaitan dengan penentuan mutu *paving*. Pengujian tersebut meliputi kuat tekan, uji penyerapan air, dan uji ketahanan aus *paving*. Selain itu juga dilakukan beberapa pengujian material antara lain uji XRD, XRF, dan TGA untuk mengetahui karakteristik dari material yang digunakan. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan produk *paving* yang mudah diproduksi secara massal dan dapat mengatasi masalah limbah batubara. Selain itu, hasil penelitian ini akan menjadi contoh pemanfaatan limbah batubara berkualitas rendah yang dihasilkan oleh industri lain yang mempunyai masalah dengan pengendalian limbah batubara.

1.2. Perumusan Masalah

Dalam tugas akhir ini permasalahan yang akan dikaji oleh penulis adalah :

1. Apakah hasil *paving* yang didapatkan sesuai dengan standar SNI 03-0691-1996?
2. Berapa kadar optimum *SCBA* (*Sugar Cane Bagasse Ash*) dalam campuran *paving*?
3. Apakah *steam curing* memberikan pengaruh kuat tekan terhadap *paving* geopolimer?

1.3. Tujuan

1. Didapatkan hasil *paving* yang sesuai dengan standar SNI 03-0691-1996.
2. Mengetahui karakteristik fisik dan kimia dari material penyusun *paving* (*bottom ash*, *SCBA*, abu batu).
3. Mengetahui kadar optimum *SCBA* (*Sugar Cane Bagasse Ash*) dalam *paving* geopolimer terhadap uji kuat tekan, uji ketahanan aus, dan resapan air
4. Mengetahui pengaruh *steam curing* terhadap kuat tekan *paving* geopolimer.

1.4. Batasan Masalah

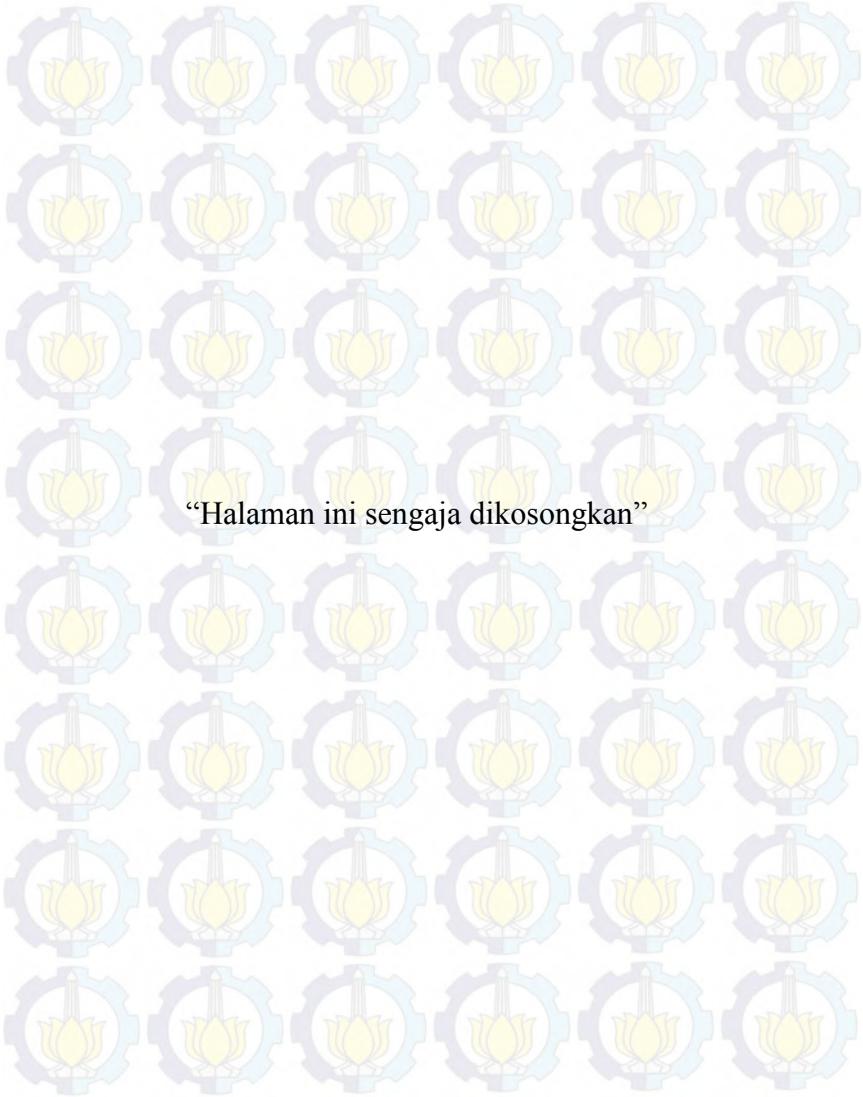
Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Bottom ash* yang digunakan untuk penelitian ini berasal dari PT.Kasmaji Inti Utama.
2. *SCBA* (*Sugar Cane Baggase Ash*) yang digunakan berasal dari Pabrik Gula Gempol Kerep, Mojokerto.
3. Metode pengujian berpedoman pada SNI 03-0691-1996 tentang bata beton (*paving block*)
4. Na_2SiO_3 yang dipakai didapat dari PT. Kasmaji Inti Utama yaitu tipe produk BE-58 dengan kandungan kimia Na_2O (22,5%), SiO_2 (27,5%), H_2O (50%).
5. Benda uji yang akan diuji kuat tekan di-*steam curing* pada suhu 60°C .

1.5. Manfaat

Dengan adanya penelitian ini diharapkan diperoleh manfaat sebagai berikut :

1. Dapat mengetahui karakteristik material *bottom ash* dan *SCBA*
2. Dapat mengurangi limbah batu bara (*bottom ash*) dan limbah abu tebu yang dihasilkan oleh pabrik untuk dimanfaatkan sebagai material penyusun *paving*.
3. Mengurangi emisi CO₂ akibat dari penggunaan semen portland dan menggantinya dengan material geopolimer.
4. Penelitian ini dapat dijadikan alternatif referensi untuk pembuatan *paving* berbahan dasar limbah batubara dan limbah tebu.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

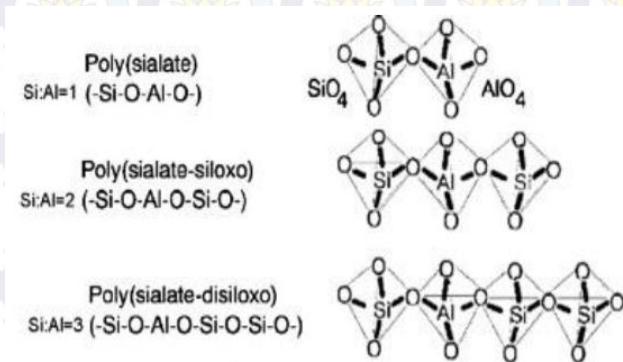
Bata beton (*paving block*) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambah lainnya yang tidak mengurangi mutu *paving block* itu sendiri (SK-SNI 03-0691-1996). *Paving block* merupakan bahan bangunan non struktural yang dapat dibuat dari bahan geopolimer dalam hal ini *bottom ash*. *Paving* geopolimer berbahan dasar *bottom ash* yang ditambah dengan SCBA (Sugar Cane Baggase Ash) belum pernah diterapkan. Penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya tentang penggunaan material alternatif penyusun paving antara lain; pemanfaatan limbah batu pecah sebagai agregat halus pada *paving* (Radikesh et al, 2010), pemanfaatan limbah botol plastik sebagai bahan campuran *paving block* (Arif dan Johannes, 2013), serta pemanfaatan limbah batubara sebagai agregat halus pada *paving block* (Cassiano et al, 2013). Oleh karenanya perlu dilakukan penelitian yang berkelanjutan dalam pemanfaatan *bottom ash* dan SCBA sebagai bahan geopolimer untuk pembuatan bahan bangunan non struktural yang mudah dibuat serta ramah lingkungan.

2.2. Geopolimer

Geopolimer merupakan sintesis bahan-bahan produk sampingan seperti abu terbang (*fly ash*), abu kulit padi (*rice husk ash*) dan lain-lain yang banyak mengandung silika dan alumina yang membentuk sebuah senyawa silikat alumina anorganik (Lloyd dan Rangan, 2010). Geopolimer bisa didapat dari limbah yang mengandung unsur Si dan Al. Limbah ini antara lain : fly ash, hasil limbah besi, metakolin dan limbah lain yang mengandung Si dan Al (Sarker, 2004).

Menurut Davidovits, dalam Ekaputri, 2007 menyarankan penggunaan istilah poly(sialate) sebagai nama kimia dalam beton geopolimer yang berbahan dasar siliko-aluminate. Sialate adalah singkatan dari silicon-oxo-aluminate. Davidovits (1994) menggolongkan polysialate menjadi 3 tipe, yaitu :

- Poly-sialate, yang memiliki ikatan Mn-(-Si-O-Al-O)_n
- Poly-sialate-siloxo, yang memiliki ikatan Mn-(-Si-O-Al-O-Si-O)_n
- Poly-sialate-disiloxo, yang memiliki ikatan Mn-(-Si-O-Al-O-Si-O-Si-O)_n



Gambar 2.1 Struktur Kimia Polysialate (Davidovits, 1994)

Seperti yang dijelaskan di atas bahwa bahan geopolimer terbentuk karena adanya reaksi polimerisasi, sehingga dalam pembuatannya diperlukan bahan tambah lainnya, yaitu larutan sodium hidroksida dan sodium silikat yang berfungsi sebagai zat aktifator. Secara umum geopolimer dapat disintesis oleh aktifator alkali jika bereaksi dengan material yang kaya akan kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 .

2.2.1. Penelitian sebelumnya

Sebelumnya telah dilakukan beberapa penelitian tentang beton geopolimer, beberapa penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton geopolimer sangat bergantung pada sifat material pozolan dan larutan aktivator yang digunakan dalam campuran pastanya. Beberapa penelitian tersebut antara lain sebagai berikut :

2.2.1.1. Januarti J. Ekaputri dan Triwulan (2013)

Dalam papernya menjelaskan tentang sodium sebagai aktivator fly ash, trass dan lumpur sidoarjo dalam beton geopolimer, hasil dari penelitian ini diantaranya :

- a. Semakin tinggi perbandingan berat Na_2SiO_3 dan larutan NaOH tidak selalu menghasilkan kuat tekan dan kuat belah yang tinggi pula, sedangkan semakin tinggi molaritas yang digunakan, maka semakin tinggi pula kuat tekan dan kuat belah yang dihasilkan. Beton geopolimer yang menggunakan molaritas 14 M menghasilkan kuat tekan yang lebih besar jika dibandingkan dengan beton geopolimer dengan molaritas yang lebih rendah.
- b. Berdasarkan hasil tes kuat belah beton geopolimer didapatkan bahwa setiap beton yang memiliki kuat tekan tinggi, juga memiliki kuat belah yang relatif tinggi pula di setiap molaritas aktivatornya. Walaupun demikian, ditemukan bahwa beton geopolimer bersifat lebih getas daripada beton konvensional.
- c. Berdasarkan hasil tes porositas, dapat disimpulkan bahwa beton yang memiliki prosentase pori tertutup optimum mengindikasikan perilaku mikrostruktur yang baik. Hasil tes porositas ini berhubungan erat dengan hasil tes tekan dan belah. Semakin banyak jumlah pori tertutup dalam beton, dan semakin

sedikit jumlah pori terbukanya, maka semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan.

2.2.1.2. Edwin Valentino, David Christianto, Djwantoro Hardjito, dan Antoni (2013)

Melakukan penelitian tentang pemanfaatan lumpur Sidoarjo sebagai bahan dasar batako berlubang geopolimer. Kemudian didapatkan hasil sebagai berikut :

- a. Kuat tekan batako bergantung pada seberapa banyaknya pasir yang digunakan, semakin banyak pasir maka semakin rendah kuat tekannya.
- b. Penggunaan naphthaline yang paling baik untuk menambah kuat tekan batako yaitu penggunaan sebanyak 2%.
- c. Kuat tekan terbesar didapat dari perbandingan 1 lumpur : 5 pasir, yaitu sebesar 9,87 Mpa pada umur 14 hari dengan kandungan NaOH sebesar 7,2 gr.
- d. Semakin tinggi kandungan NaOH maka kuat tekannya akan semakin berkurang juga, hal ini disebabkan oleh kelecakan yang berkurang karena semakin tinggi kandungan NaOH maka campurannya semakin kental.
- e. Semakin tinggi perbandingan pasir yang digunakan maka workability dari campuran akan semakin baik.
- f. Dilihat dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka semua mortar dengan kandungan 7,2 gr NaOH memnuhi syarat batako kelas dua.

2.2.1.3. Petrus Patandung, Moniharapon dan Syamsi-warni Reny Syarif (2011)

Melakukan penelitian tentang pemanfaatan limbah serat sugu untuk bata beton *paving block*, kemudian mendapatkan hasil sebagai berikut :

- a. Paving blok yang dibuat dengan bahan utama semen 25 kg dan pasir 50 kg dengan penambahan serat sugu

bervariasi yaitu 0.5 kg, 1 kg, dan 1.5 kg masing-masing memiliki rata-rata kuat tekan berturut-turut 25.27 Mpa, 21.14 Mpa, 16.07 Mpa dan memiliki rata-rata daya serap air berturut-turut 3.69%, 5.78% , 7.41 %.

- b. Berdasarkan analisis varian, penambahan serat sago dan perawatan produk selama 2 bulan menunjukkan perubahan yang signifikan terhadap kuat tekan ketika penyerapan air tidak lagi mempengaruhi paving block.
- c. Paving block yang dibuat telah memenuhi standar SNI 03-069-1996 dengan mutu B dan C untuk bata beton dan paving block.

2.2.1.4. Radhikesh P. Nanda, Amiya K. Das, Moharana N. C (2010)

Melakukan penelitian tentang pemanfaatan limbah batu pecah sebagai agregat halus pada *paving block*, dengan hasil sebagai berikut :

- a. Penggantian agregat halus dengan limbah batu pecah Sebesar 50% tidak memiliki efek yang berarti untuk sifat fisik dan mekanik seperti kuat tekan dan kuat lentur.
- b. Penyerapan air masih dibawah batas yang diizinkan sesuai dengan standar.
- c. Dapat menghemat biaya sebesar 56 % jika pasir digantikan dengan limbah batu pecah. Persentase penghematan tidak terlalu besar tetapi akan memberikan keuntungan yang besar jika diproduksi dalam skala besar.
- d. Mengurangi beban limbah yang dihasilkan dari proses pemecahan batu.

2.2.1.5. Hendro Suseno, Prastumi, Lilya Susanti, Desy Setyowulan (2012)

Pada penelitiannya yang berjudul “Pengaruh Penggunaan Limbah Bottom Ash Sebagai Pengganti Tanah Liat Pada Campuran Bata Terhadap Kuat Tekan Bata” didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- a. Bottom ash memiliki komposisi kimia yang hampir sama dengan tanah liat, sehingga dapat digunakan untuk menggantikan tanah liat pada pembuatan batu bara
- b. Penggunaan bottom ash untuk menggantikan tanah liat pada pembuatan bata
- c. Nilai kuat tekan batu bata menurun pada saat bottom ash digunakan untuk menggantikan tanah liat lebih dari 45%.
- d. Bottom ash, dalam kondisi dan prosentase tertentu dapat digunakan sebagai pengganti tanah liat dalam pembuatan batu bata tanpa mengurangi kekuatan tekan dari batu bata tersebut

2.2.1.6. Steenie E. Wallah (2014)

Pada penelitian dengan tema “Pengaruh Perawatan dan umur terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang” diperoleh beberapa hasil penelitian antara lain :

- a. Cara perawatan mempengaruhi kuat tekan beton geopolimer berbasis abu terbang.
- b. Perawatan pada temperatur ruang menghasilkan perkembangan kuat tekan yang lebih lambat terutama pada umur-umur muda sampai dengan 6 bulan, dan sampai dengan umur tersebut, perkembangan umur beton sangat mempengaruhi perkembangan kuat tekannya, sedangkan setelah umur tersebut perkembangan umur beton tidak

memberikan pengaruh yang berarti pada peningkatan kuat tekannya.

- c. Kuat tekan beton geolimer berbasis abu terbang dengan perawatan pada temperatur ruang pada umur 6 bulan meningkat sekitar 60% dibandingkan kuat tekannya pada umur 7 hari.
- d. Untuk perawatan pada *elevated temperature* (60° C selama 24 jam), kuat tekan yang diharapkan dapat dicapai sesudah proses perawatan selesai dan sesudah proses tersebut perkembangan umur beton tidak memberikan pengaruh pada peningkatan kuat tekannya termasuk jika mendapat tambahan perawatan dengan perendaman dalam air. Variasi serta fluktuasi nilai kuat tekannya hanya berada pada kisaran sampai dengan 10%.

2.2.1.7. Yulia Putri Wijaya, Triwulan, dan Januarti Jaya Ekaputri (2014)

Dalam penelitiannya yang berjudul “Mortar Geopolimer Dari *Coal Ash* Limbah Pabrik Untuk Bahan Dasar Paving dan Bata” didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- a. Dari 3 mix design mortar geopolimer yang sudah dilakukan, didapat hasil kuat tekan maksimum sebesar 26,762 Mpa, pada mix design C dengan komposisi sebagai berikut, binder : agregat = 35 : 65; coal ash : alkali = 5 : 35; Na₂SiO₃ : NaOH = 2.5 : 1; dan penambahan air 4.6% dari jumlah coal ash yang dipakai.
- b. Variasi penambahan SCBA dalam penelitian ini adalah sebesar 0%, 10%, dan 20% terhadap berat coal ash, dari variasi tersebut penambahan SCBA sebesar 20% merupakan variasi optimum, karena menghasilkan kuat tekan paling maksimum.

- c. Suhu curing yang menghasilkan kuat tekan optimum yaitu dengan steam 60°C selama 6 jam.
- d. Semakin besar penambahan SCBA (Sugar Cane Bagasse Ash) dalam mortar geopolimer, maka berat volume semakin kecil, kuat tekan meningkat, rata-rata resapan air juga meningkat, dan ketahanan ausnya menurun.
- e. Diambil persyaratan SNI 03-0691-1996 tentang bata beton (*paving block*), dilihat dari segi kuat tekan, resapan air dan ketahanan ausnya, mortar geopolimer dari *mix design* C yang tidak menggunakan SCBA tergolong dalam mutu B yaitu mortar tersebut dapat digunakan untuk peralatan parkir, sedangkan mortar geopolimer yang menggunakan SCBA tergolong dalam mutu C yaitu mortar tersebut dapat digunakan untuk pejalan kaki.
- f. Untuk persyaratan SNI 03-0349-1989 tentang bata beton untuk pasangan dinding, dilihat dari segi kuat tekan dan resapan air, mortar geopolimer *mix design* C dari semua variasi tergolong dalam tingkat mutu I, karena kuat tekan rata-rata minimum lebih dari 10 MPa, kuat tekan masing-masing benda uji minimum lebih dari 9 MPa, dan penyerapan air rata-rata maksimum kurang dari 25%.
- g. Benda uji dengan *mix design* C memiliki kuat tekan paling tinggi, akan tetapi benda uji tersebut mengalami retak-retak setelah direndam air selama 24 jam, sedangkan benda uji dengan *mix design* B memiliki kuat tekan yang tidak beda jauh dengan *mix design* C yaitu masuk mutu B dalam SNI 03-0691-1996 dan setelah direndam air selama 24 jam benda uji tersebut tidak mengalami retak-retak, sehingga *mix design* B bisa digunakan acuan untuk membuat bahan dasar paving dan bata.

2.3. Bahan – Bahan Dasar Paving Geopolimer

Bahan dasar pembuatan paving dan bata ini terdiri dari : *Fly Ash*, *Bottom Ash*, abu batu, SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*), dan aktifator katalisator.

2.3.1 *Fly ash* dan *bottom ash* (*coal ash*)

Coal ash adalah residu yang dihasilkan dari pembakaran batu bara. *Coal ash* terdiri dari *fly ash* dan *bottom ash*. *Fly ash* sebagai bahan dasar dalam pembuatan paving geopolimer ini dapat melakukan proses polimerisasi dan juga salah satu dari beberapa mineral admixtures yang biasa digunakan pada beton biasa. Menurut ASTM C618 terdapat 2 jenis *fly ash* yaitu :

a. Kelas C

Fly ash yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batubara (batubara muda).

- Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 50%
- Kadar CaO mencapai 10%

Dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 35% dari berat binder.

b. Kelas F

Fly ash yang mengandung CaO lebih kecil dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batubara.

- Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 70%
- Kadar CaO < 5%

Dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 25% dari berat binder.

Bottom ash adalah bahan buangan hasil industri maupun PLTU yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari flyash, sehingga bottom ash akan jatuh pada tungku pembakaran dan terkumpul pada penampung debu (ash hopper) di bagian bawah, lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian

dibuang atau diunakan (Santoso dkk dalam Suseno dkk, 2012). Komponen utama dari bottom ash adalah oksida-oksida/mineral yang mengandung silika, alumina, besi, kalsium, natrium, dan magnesium. Komponen-komponen tersebut sangat berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan sekitar. Oleh karena itu diperlukan penanganan terhadap limbah bottom ash ini. (Hartanto dkk dalam Suseno dkk, 2012)

2.3.2. Abu batu

Abu batu merupakan hasil sampingan dalam produksi batu pecah. Abu batu yang dapat digolongkan sebagai *filler* adalah abu batu yang memiliki diameter lebih kecil dari 0,125 mm. Menurut Celik dan Marar (1996) dalam Widodo, dkk (2010), agregat halus yang dihasilkan dari lokasi *stone crusher* mengandung kurang lebih 17% sampai 25% fraksi abu batu, sehingga abu batu memiliki volume produksi yang cukup potensial untuk dimanfaatkan lebih lanjut dalam proses pembuatan *paving block*.

2.3.3 SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*)

SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*) merupakan abu dari sisa pembakaran ampas tebu yang diperoleh dari pabrik gula.. Penambahan dari SCBA ini dimaksudkan untuk menambahkan sumber silika dan meningkatkan sifat amorf dari *fly ash* dan *bottom ash* yang digunakan.

SCBA mengandung sekitar 50% selulosa, 25% hemiselulosa, dan 25% lignin. Satu ton SCBA menghasilkan sekitar 26% ampas tebu (pada kelembaban 50%) dan 0.62% terdiri dari sisa berupa abu. Sisa setelah pembakaran sempurna menghasilkan komposisi kimia yang didominasi silika (SiO_2) (Srinivasan dan Sathiya, 2010).

2.3.4 Aktivator dan katalisator

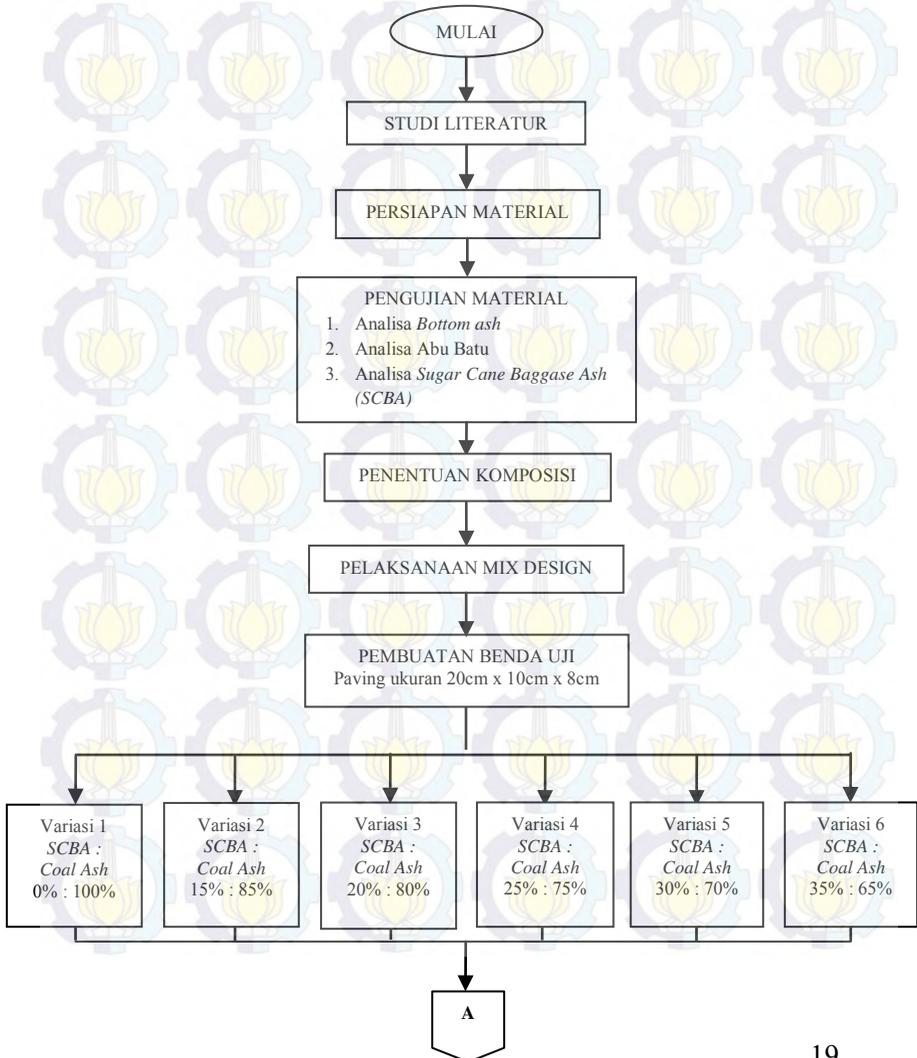
Aktivator adalah zat atau unsur yang menyebabkan zat atau unsur lain bereaksi. Dalam pembuatan paving dan bata, aktivator yang digunakan adalah unsur alkali yang terhidrasi. Penggunaan hidroksida alkali sebagai aktivator ini dikarenakan karena silika merupakan asam kuat maka ia juga akan bereaksi dengan basa kuat. Hidroksida alkali adalah senyawa basa kuat, sehingga penambahan hidroksida alkali pada *fly ash* dapat mereaksi silika.

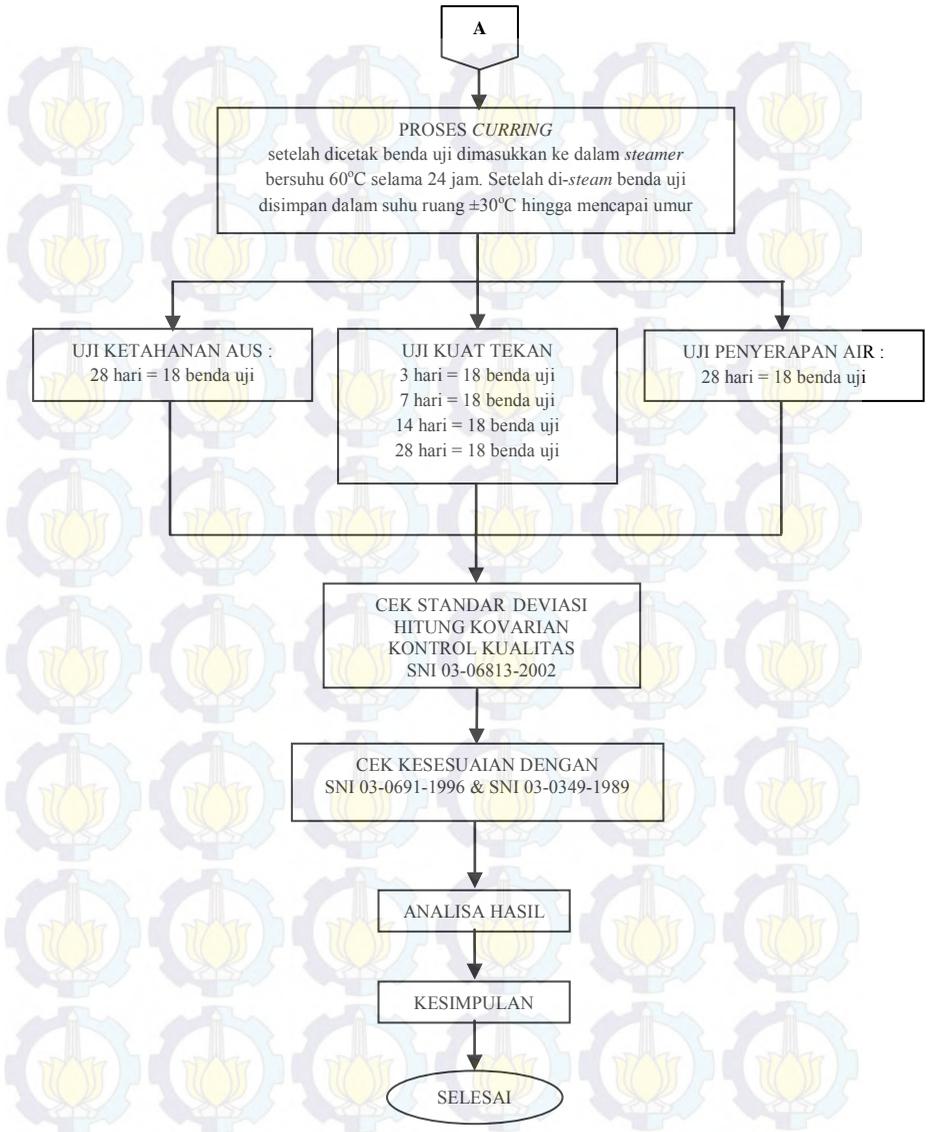
Katalisator adalah zat yang mempercepat terjadinya reaksi kimia. Dalam pembuatan paving dan bata, katalisator juga digunakan. Untuk aktivator Natrium Hidroksida biasanya digunakan katalis Natrium Silikat, hal ini sesuai dengan percobaan yang dilakukan oleh Hardjito (2005). Dalam penelitian ini, aktivator yang digunakan adalah kombinasi antara natrium silikat dan natrium hidroksida.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Flowchart Metode Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2. Studi Literatur

Langkah pertama yang dilakukan untuk menunjang kelancaran dalam penelitian ini adalah dengan melakukan studi literatur. Studi literatur ini dilakukan dengan mencari berbagai informasi mengenai paving berbahan semen geopolimer, bagaimana proses pembuatannya, dan sebagainya. Sumber acuan yang dijadikan referensi dalam studi literatur ini diambil dari jurnal, peraturan-peraturan seperti SNI 03-0691-1996 tentang bata beton (paving *block*), buku-buku yang berkaitan dengan judul tugas akhir, hasil penelitian, dan informasi dari internet.

3.3. Persiapan Material

Bahan – bahan yang perlu dipersiapkan sebelum membuat benda uji antara lain :

1. *Bottom ash*
2. *SCBA (Sugar Cane Bagasse Ash)*
3. Larutan NaOH 14M
4. Sodium silikat (Na_2SiO_3)
5. Air suling
6. Abu batu

3.3.1. *Bottom ash*

Bottom ash yang digunakan adalah *bottom ash* yang didapatkan dari PT.Kasmaji Inti Utama (PT. KIU) dalam bentuk bongkahan kecil yang kemudian di haluskan dengan alat bond ball mill agar *bottom ash* dapat digunakan. Untuk pengujian sifat kimia yang terkandung pada *bottom ash* dilakukan penyaringan pada saringan no.200 kemudian dilakukan pengujian kimia berupa *XRD (X-Ray Diffraction)* dan *XRF (X-Ray Fluorescence)*.



Gambar 3.2 Bongkahan *bottom ash* yang keluar dari tungku pembakaran



Gambar 3.3 (a) *Bottom ash* sebelum dihaluskan, (b) *Bottom ash* setelah dihaluskan

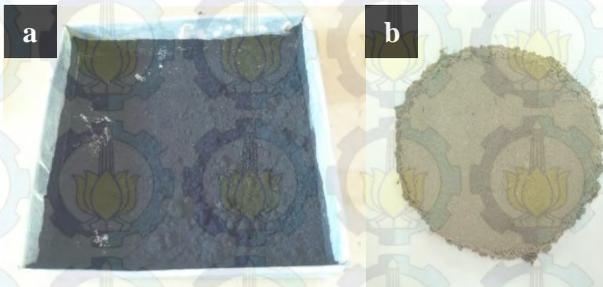
3.3.2. SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*)

SCBA merupakan abu dari sisa pembakaran ampas tebu yang diperoleh dari Pabrik Gula Gempol Krep, Mojokerto yang lokasinya tidak jauh dari PT. Kasmaji Inti

Utama. Penambahan dari *SCBA* ini dimaksudkan untuk menambahkan sumber silika kedalam campuran karena *88bottom ash* memiliki sedikit kandungan silika. *SCBA* yang didapat masih dalam keadaan basah sehingga harus dioven terlebih dahulu, setelah itu *SCBA* dikalsinasi untuk meningkatkan kereaktifitasnya.



Gambar 3.4 Kolam penampungan *SCBA* dari pabrik gula Gempol Krep, Mojokerto



Gambar 3.5 (a) *SCBA* sebelum dikalsinasi, (b) *SCBA* sesudah dikalsinasi

3.3.3. Larutan NaOH

Larutan NaOH digunakan sebagai alkali aktivator yang nantinya akan bereaksi dengan silika dan alumina yang terdapat pada *coal ash* dan *SCBA*. Larutan NaOH berasal dari kristal NaOH yang dibuat larutannya dengan molaritas sebesar 14M. Berikut ini dijelaskan cara pembuatan larutan 1 Liter NaOH 14 M :

$$M = \frac{1}{V} \times \frac{Massa}{Mr} \quad (3.1)$$

Larutan sodium hidroksida adalah :

$$Massa = M \times V \times Mr \quad (3.2)$$

Dengan :

Massa = Massa NaOH (gram)

V = Volume (L)

M = Molaritas (M)

Mr = Massa Relatif

Untuk molaritas 14 M :

Massa = $14 \times 1 \times 40 = 560$ gram



Gambar 3.6 NaOH padat



Gambar 3.7 Larutan NaOH 14 M

3.3.4. Natrium silikat (NaSiO_3)

Sodium silikat digunakan sebagai katalisator dari sodium hidroksida. Sodium silikat didapatkan dari PT. Kasmaji Inti Utama (PT. KIU) dengan keadaan siap pakai. Sodium silikat ini bertekstur cair dan kental. Sodium silikat yang digunakan adalah type BE-58, kandungan dalam sodium silika ini adalah Na_2O 22,5%, SiO_2 27,5%, H_2O 50%.



Gambar 3.8 Sodium silikat

3.3.5. Air suling

Aquades atau air suling, digunakan untuk melarutkan NaOH *flakes* untuk dijadikan larutan NaOH. Pemakaian aquades dimaksudkan agar air yang digunakan lebih murni dan tidak mengandung mineral lain yang bias mengganggu proses reaksi kimia larutan NaOH.



Gambar 3.9 Aquades

3.3.6. Abu batu

Abu batu merupakan hasil sampingan dalam produksi batu pecah. Abu batu yang dapat digolongkan sebagai filler adalah abu batu yang memiliki diameter lebih kecil dari 0,125 mm. Abu batu digunakan sebagai agregat dalam pembuatan paving geopolimer.



Gambar 3.10 Abu batu

3.4. Analisa Material

Percobaan ini dilakukan untuk memastikan bahwa bahan-bahan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan.

3.4.1. Analisa *bottom ash*

Kegiatan ini terdiri dari pengujian sifat kimia, fisika dan mineralogi *bottom ash*. Standar yang digunakan untuk pengujian adalah ASTM C618-00 dan ASTM C311-00. Pengujian juga meliputi tes reaktivitas, *XRF*, *XRD*, dan tes berat jenis. Tes dan analisa *XRD* dan *XRF* dilakukan di laboratorium fisika Universitas Negeri Makassar dan laboratorium PT. Semen Indonesia, Gresik.

3.4.1.1. Percobaan reaktivitas *bottom ash* (ASTM C 593-95)

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui reaktivitas *bottom ash* dibandingkan dengan *pozzolan* lain.

- a. Peralatan yang diperlukan
 1. Timbangan
 2. Gelas ukur
 3. Tempat pengaduk
 4. Alat pengaduk
 5. Alat perojok
 6. Cetakan mortar silinder diameter 5 cm dan tinggi 10 cm
 7. Mesin *steam curing*
- b. Bahan yang diperlukan
 1. *Pozzolan (Bottom ash, fly ash, SCBA)*
 2. Kapur (CaOH_2)
 3. Pasir bergradasi standar
 4. Air
- c. Prosedur pelaksanaan
 1. Siapkan dan timbang material kurang lebih untuk 3 benda uji silinder mortar 5 cm x 10 cm. Dengan

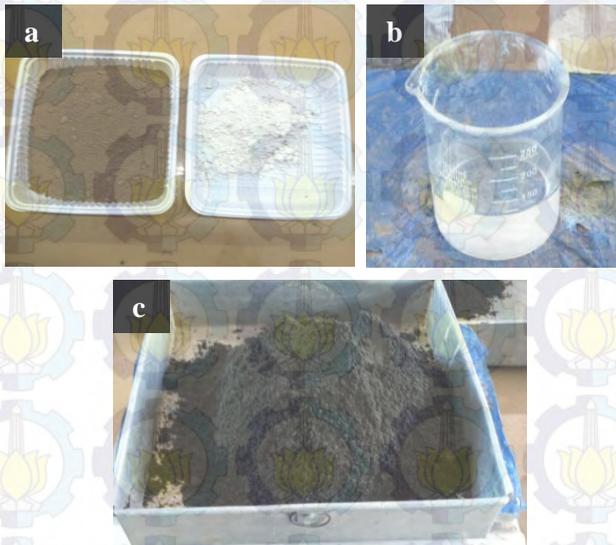
proporsi berat campuran 4% kapur, 24% *bottom ash*, dan 72% pasir dalam kondisi SSD.

2. Tentukan kadar air jenuh material kapur dan *bottom ash* sesuai ASTM D 1557-02 dengan persamaan (3.3):

$$w_{sat} = \frac{(\gamma_w)G_s - \gamma_d}{(\gamma_d)G_s} \times 100 \quad \dots(3.3)$$

Dimana:

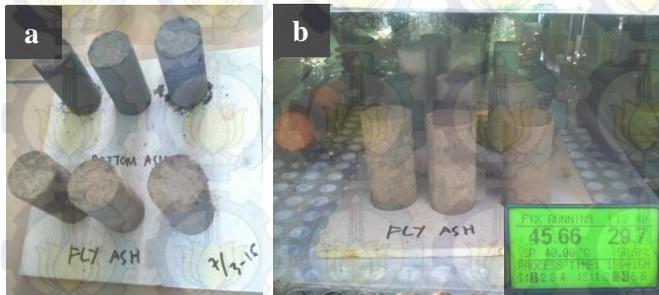
- w_{sat} = Kadar air jenuh material, %
 γ_w = Berat volume air, 1 gr/cm³ pada suhu 20°C
 γ_d = Berat volume kering material, gr/cm³
 G_s = Berat jenis material, gr/cm³



Gambar 3.11 (a) Pozzolan & Kapur (CaOH_2)
 (b) Air, (c) Pasir dalam keadaan SSD

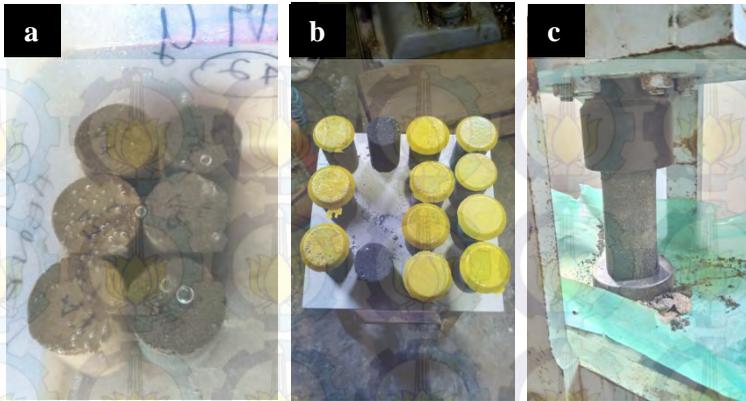
3. Timbang air sesuai dengan kadar jenuh masing-masing material.

4. Campur pozzolan yang akan diuji reaktivitas, kapur, dan pasir samapai merata.
5. Tambahkan air yang sudah ditimbang sedikit demi sedikit sambil tetap diaduk sampai tercapai kondisi jenuh material.
6. Setelah jenuh, masukkan campuran ke dalam cetakan setiap $\frac{1}{3}$ bagian, kemudian setiap bagian dirojok 56 kali dengan alat pematat sesuai metode C ASTM D 1557-02
7. Setelah penuh, permukaan diratakan.
8. Cetakan kemudian dilepas perlahan-lahan karena campuran merupakan *dry mix* dan rawan rapuh.
9. Setelah dilepas, mortar diletakkan pada tempat yang datar. Kemudian langsung dilakukan *curing* dengan memasukkan ke dalam alat *steam* dengan suhu $40 \pm 2^\circ\text{C}$ selama 7 hari.



Gambar 3.12 (a) Benda uji (b) Proses *curing steam*

10. Setelah 7 hari, mortar dikeluarkan dan ditimbang, kemudian direndam selama 4 jam di dalam air.
11. Setelah direndam mortar dikeringkan selama 1 jam kemudian di-*capping* dan dites kuat tekan.



Gambar 3.13 (a) Benda uji direndam dalam air, (b) *Capping* benda uji. (c) Pengujian kuat tekan

3.4.1.2. Uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*) (USEPA Method 1311)

Dibeberapa negara limbah *bottom ash* dan *fly ash* termasuk dalam limbah padat bahan berbahaya dan beracun (B3) yang memerlukan pengelolaan khusus. *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) dilakukan untuk mengetahui kandungan ekstraksi logam berat pada limbah *bottom ash* dan *fly ash*. Berikut ini standar baku mutu menurut PP RI No. 85 Tahun 1999 tentang Perubahan PP No. 18 Tahun 1999.

Tabel 3.1 Standar Baku Mutu Logam Berat

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Limit Deteksi (LD)
1	Mercury (Hg)	mg/l	0.2	0.0014
2	Plumbum (Pb)	mg/l	5	0.0405
3	Cadmium (Cd)	mg/l	1	0.0198
4	Chrom (Cr)	mg/l	5	0.0195
5	Copper (Cu)	mg/l	10	0.0378
6	Cobalt (Co)	mg/l	-	0.0200
7	Nickel (Ni)	mg/l	-	0.0378
8	Zink (Zn)	mg/l	50	0.0075
9	Ferro (F)	mg/l	-	0.0037
10	Mangan (Mn)	mg/l	-	0.0491

Pengujian *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) dilakukan untuk material *bottom ash*, *fly ash*, dan paving dengan penggunaan SCBA sebesar 20 % pada usia 28 hari. Pengujian ini dilakukan di laboratorium jurusan Teknik Lingkungan ITS. Adapun tahapan pengujian *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) menurut Wagner (1997) adalah sebagai berikut :

- a. *Preliminary evaluation.*
 1. Ayak sampel hingga lolos saringan 10 mm.
 2. Masukkan 5 gram sampel ke dalam *beaker glass*.
 3. Tambahkan 96,5 gram air dan aduk selama 5 menit.
 4. Cek pH < 5 gunakan cairan ekstraksi 1, sedangkan pH > 5 gunakan cairan ekstraksi 2.

- b. Pembuatan sampel
 1. Rumus yang digunakan = $20 \times \text{berat padatan}$.
 2. Misal : jika keadaan yang diinginkan 25 gram, maka tambahkan cairan aquades 500 ml.
- c. Pembuatan cairan ekstraksi
 1. Cairan ekstraksi 1.
 - Tambahkan 5,7 ml asam asetat untuk tiap liter sampel ke dalam 500 ml aquades.
 - Tambahkan 64,3 ml NaOH 1M untuk tiap liter sampel.
 - Tambahkan aquades hingga volume sampel yang diinginkan.
 - Atur pH hingga $4,93 \pm 0,05$. Jika $\text{pH} < 4,93$ tambahkan NaOH, sedangkan jika $\text{pH} > 4,93$, tambahkan asam asetat.
 2. Cairan Ekstraksi 2.
 - Tambahkan 5,7 ml asam asetat untuk tiap liter sampel ke dalam 500 ml aquades.
 - Atur pH hingga $2,88 \pm 0,05$. Jika $\text{pH} < 2,88$ tambahkan NaOH, sedangkan $\text{pH} > 2,88$ tambahkan asam asetat.
- d. Rotasi Agitasi
 1. Masukkan sampel ke dalam botol plastic berbahan *polyethylene*.
 2. Lakukan rotasi agitasi pada alat *rotation agitation* dengan putaran mesin sebesar 30 rpm selama 18 ± 2 jam.
- e. Filtrasi sampel dengan *vacuum filter*.
- f. Analisa sampel dengan menggunakan metode analisa AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*).

3.4.2. Analisa abu batu

Pengujian material abu batu dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil ITS. Pengujian terhadap abu batu meliputi analisis ayak, kadar lumpur, kadar organik, berat jenis, dan daya serap.

3.4.2.1. Pengujian berat jenis abu batu (ASTM C128- 78)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis abu batu sebagai material *filler* paving geopolimer.

- a. Peralatan yang dipersiapkan dalam pengujian ini antara lain :
 1. Labu ukur 1000 cc
 2. Timbangan atau neraca
 3. Oven
 4. *Hair dryer*/ kipas angin
 5. Kerucut SSD
 6. Pan
- b. Prosedur pelaksanaan dalam pengujian berat jenis abu batu yaitu :
 1. Siapkan material abu batu dalam kondisi SSD dengan cara sebagai berikut :
 2. Rendam abu batu selama 24 jam lalu tiriskan hingga airnya habis.
 3. Keringkan abu batu dengan menggunakan *hair dryer* dan kipas angin untuk membuat kondisi SSD.
 4. Letakkan kerucut SSD diatas pan lalu diisi tiap 1/3 bagian dan dilakukan perojokan tiap 1/3 bagian tersebut masing-masing 8 kali rojokan.
 5. Setelah permukaan diratakan lalu angkat kerucut tersebut, apabila masih berbentuk kerucut maka abu batu tersebut masih dalam kondisi belum kering SSD.

6. Lakukan pengeringan kembali, apabila setelah dilakukan pengangkatan kerucut kondisi abu batutelah roboh namun masih memiliki puncak maka kondisi telah kering SSD dan telah bisa dipergunakan dalam pengujian berat jenis.



Gambar 3.14 (a) Pengeringan abu batu dengan *hair dryer*, (b) Abu batu dalam keadaan SSD

- c. Timbang Labu ukur 1000 cc dalam kondisi kosong.
- d. Timbang Labu ukur kembali setelah diisi abu batu SSD sebanyak 500 gr.
- e. Isi labu ukur yang telah berisi abu batu dengan air bersih sampai batas garis yang ada pada labu ukur tersebut.
- f. Kocok labu ukur tersebut agar air dan abu batu tercampur rata dan sampai gelembung-gelembung udara hilang lalu lakukan penimbangan labu ukur tersebut (W1).
- g. Setelah itu keluarkan seluruh abu batu dan air dari labu ukur tersebut sampai bersih kemudian isi embali labu ukur dengan air bersih sampai batas garis yang ada pada labu ukur.

h. Timbang labu ukur berisi air bersih tersebut (W_2).



Gambar 3.15 (a) Abu batu didalam labu ukur, (b) Setelah air dan abu batu tercampur, (c) Penimbangan labu ukur yang sudah terisi air dan abu batu

Dalam perhitungan berat jenis persamaan yang digunakan adalah :

$$\text{Berat jenis abu batu} = \left(\frac{500}{500 + W_2 - W_1} \right) \dots (3.4)$$

Dimana :

W_2 = Berat labu ukur berisi abu batu dan air (gram)

W_1 = Berat labu ukur berisi air (gram)

3.4.2.2. Pengujian kadar air resapan abu batu (ASTM C128- 93)

Pengujian ini dilakukan untuk menghitung banyaknya air yang dapat terserap abu batu.

a. Peralatan yang dipersiapkan dalam pengujian ini antara lain :

1. Timbangan atau neraca
2. Oven
3. Pan

b. Prosedur pelaksanaan dalam pengujian kadar air resapan abu batu yaitu :

1. Timbang abu batu dalam kondisi SSD sebanyak 500 gram.
2. Masukkan abu batu kedalam oven 100°C selama 24 jam.
3. Setelah 24 jam abu batu dikeluarkan dan setelah dingin ditimbang beratnya (W1).

Dalam menghitung kadar air resapan terhadap abu batu dipergunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Kadar air resapan} = \left(\frac{500 - W_1}{W_1} \right) \times 100\% \quad \dots (3.5)$$

Dimana :

W1 = Berat abu batu kering oven (gram)

3.4.2.3. Pengujian kelembaban abu batu (ASTM C556-89)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kelembaban abu batu sebelum dipakai sebagai benda uji.

a. Alat-alat yang harus dipersiapkan dalam pengujian ini antara lain :

1. Timbangan atau neraca
2. Oven
3. Pan

b. Langkah kerja pengujian kelembaban abu batu sebagai berikut :

1. Timbang abu batu dalam keadaan asli sebanyak 500 gram (W1).

2. Masukkan abu batu kedalam oven 100° C selama 24 jam.
3. Keluarkan abu batu dari oven dan setelah dingin ditimbang beratnya (W2).

Persamaan yang dipakai untuk perhitungan kelembaban abu batu adalah :

$$\text{Kelembaban abu batu} = \left(\frac{W2-W1}{W2}\right) \times 100\% \dots(3.6)$$

Dimana :

W1 = Berat abu batu kering oven (gram)

W2 = Berat abu batu asli (gram)

3.4.2.4. Pengujian berat volume abu batu (ASTM C29-91)

Tujuan pengujian ini untuk menentukan berat volume abu batu baik dalam keadaan lepas maupun padat. Pengujian ini dilakukan dengan dua metode, metode yang pertama dengan perojokan dalam silinder volume sedangkan metode kedua dipadatkan dengan dijatuhkan dari ketinggian.

- a. Peralatan yang dipergunakan dalam pengujian ini antara lain :
 1. Timbangan
 2. Silinder volume 3 liter
 3. Tongkat perojok dari besi
- b. Metode atau langkah-langkah pengujian berat volume yaitu :
 1. Metode tanpa rojokan / lepas
 - Timbang silinder dalam keadaan kosong (W1).
 - Isi silinder dengan abu batu sampai penuh lalu diangkat setinggi 1 cm.

- Silinder dijatuhkan atau dibanting ke lantai sebanyak tiga kali dan permukaannya diratakan.
- Timbang silinder yang sudah terisi abu batu (W2).

2. Metode dengan rojokan

- Timbang silinder dalam keadaan kosong dan bersih (W1).
- Isi silinder dengan abu batu setiap 1/3 bagian dan masing-masing bagian dirojok dengan besi sebanyak 25 kali.
- Ratakan permukaan abu batu pada silinder dan kemudian ditimbang (W2).

Persamaan yang dipergunakan pada pengujian ini yaitu :

$$\text{Berat volume abu batu} = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad \dots(3.7)$$

Kemudian antar pengujian dua metode tersebut dilakukan penghitungan selisih yang nilainya tidak boleh lebih dari 40 Kg/m³.

3.4.2.5. Pengujian kadar lumpur dengan pencucian atau metode penyaringan basah (ASTM C117-95)

Pengujian pemeriksaan kadar lumpur dengan pencucian dilakukan terhadap abu batu, didalam ASTM disebutkan bahwa kadar lumpur tidak boleh melebihi 6%

a. Peralatan yang harus dipersiapkan sebagai berikut:

1. Timbangan atau neraca
2. Saringan no. 200 dan no. 50.
3. Oven
4. Pan

b. Langkah-langkah pengujian pemeriksaan kadar lumpur antara lain :

1. Timbang abu batu dalam keadaan kering oven sampai berat tetap sebanyak 500 gram (W1).
2. Masukkan benda uji ke dalam wadah dan tambahkan air bersih secukupnya hingga keseluruhan terendam.
3. Aduk air cucian dalam wadah sehingga lumpur yang menempel pada agregat lepas
4. Tuang air pencucian ke saringan no.200 berkali-kali, usahakan agar bahan kasar tidak ikut tertuang.
5. Semua bahan yang tertahan saringan dikembalikan ke pan abu batu.
6. Abu batu dioven dengan suhu 110 ± 5 derajat celcius (W2).

Persamaan yang dipakai dalam menghitung kadar lumpur dengan pencucian yaitu :

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{W1-W2}{W1} \times 100\% \quad \dots(3.8)$$

Dimana :

W1 = Berat abu batu kering oven (gram)

W2 = Berat abu batu bersih dan kering (gram)

3.4.2.6. Pengujian kadar lumpur dengan cara pengendapan (ASTM C33-86)

Selain pencucian dilakukan pula pengujian kadar lumpur dengan pengendapan.

- a. Peralatan yang dibutuhkan sebagai berikut :
 1. Botol bening atau silinder ukur
 2. Penggaris
- b. Langkah pengujian kadar lumpur dengan metode pengendapan adalah sebagai berikut :
 1. Masukkan abu batu setinggi ± 6 cm kedalam botol.

2. Isi dengan air bersih sampai penuh atau ukuran tertentu kemudian ditutup.
3. Kocok botol tersebut sampai merata dan dibolak-balik.
4. Diamkan botol tersebut selama 24 jam.
5. Endapan lumpur yang terlihat diukur tingginya.

Persamaan yang digunakan dalam pemeriksaan kadar lumpur dengan pengendapan yaitu :

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{h}{H} \times 100\% \quad \dots(3.9)$$

Dimana :

h = Tinggi pengendapan lumpur dalam botol (cm)

H = Tinggi abu batu dalam botol (cm)

3.4.2.7. Pengujian kandungan zat organis dalam abu batu (ASTM C40-92)

Pengujian kandungan zat organis dalam abu batu bertujuan untuk mengetahui apakah abu batu tersebut tercampur bahan-bahan yang terindikasi zat-zat yang dapat merusak atau mengurangi kualitas campuran material tersebut.

- a. Peralatan yang harus dipersiapkan dalam pengujian ini antara lain :
 1. Gelas Ukur
 2. Penggaris
- b. Langkah-langkah pengujian kandungan zat organis dalam abu batu sebagai berikut :
 1. Isi gelas ukur dengan abu batu \pm 130 ml.
 2. Tambahkan NaOH 3% sampai 200 ml.
 3. Tutup rapat dan kocok selama \pm 10 menit dan diamkan selama 24 jam.

4. Amati warna cairan di atas permukaan abu batu yang ada dalam botol bandingkan warnanya dengan warna cairan pembanding.
5. Apabila warna cairan dalam botol berisi agregat lebih pekat dari warna pembanding, berarti dapat disimpulkan dalam agregat berkadar zat organik terlalu tinggi.

3.4.2.8. Pengujian analisa saringan abu batu (ASTM C33-78 dan BS 882-1973)

Pengujian analisa saringan dilakukan untuk menentukan distribusi ukuran abu batu.

- a. Alat-alat yang dipergunakan pada pengujian ini antara lain :
 1. Set ayakan berdasarkan standar ASTM C 33.
 2. Timbangan atau neraca.
 3. Pan
 4. Sikat besi.
- b. Pengujian analisa ayakan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :
 1. Timbang abu batu sebanyak 1000 gram.
 2. Bersihkan masing-masing ayakan dan susun secara berurutan sesuai ASTM C 33 dari urutan paling besar di atas dan pasang pan di paling bawah.
 3. Masukkan abu batu seluruhnya dan guncangkan set ayakan dengan tangan atau mesin getar ayakan selama 15 menit.
 4. Timbang abu batu disetiap ayakan dan di sisa atau pan.
 5. Lakukan kontrol berat keseluruhan dan setelah selesai sajikan dalam bentuk grafik gradasi saringan.

3.4.3. Analisa SCBA

SCBA didapat dari hasil pembakaran sisa ampas tebu yang telah melalui proses penggilingan. Sebelum dilakukan kalsinasi, terlebih dahulu SCBA dikeringkan dengan cara dioven untuk mengurangi kandungan air yang terdapat didalam abu ampas tebu. Proses kalsinasi dilakukan di Laboratorium Struktur ITS dan untuk pengujian reaktifitas dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan ITS. Selain itu dilakukan pula analisa XRF dan XRD di Laboratorium Fisika – FMIPA Universitas Negeri Makassar. Selain itu, dilakukan juga uji TGA (*Thermogravimetric Analysis*) yang dilakukan di Laboratorium Teknik Material ITS untuk mengetahui suhu optimum pengabuan SCBA yang digunakan.

3.5. Persiapan Bahan Paving Geopolimer

Setelah dilakukan analisa terhadap material yang akan dipergunakan sebagian besar memenuhi syarat terutama sebagai material paving geopolimer lalu dilakukan persiapan bahan bahan tersebut. Kemudian persiapkan bahan-bahan pengikat sebagai pengganti semen atau disebut dengan alkali. Bahan-bahan yang perlu dipersiapkan dalam pembuatan paving geopolimer yaitu :

3.5.1. Larutan NaOH (natrium hidroksida)

Larutan NaOH dibuat sendiri dengan cara melarutkan NaOH padat atau *flakes* yang dibeli di toko kimia dengan air suling. Berdasarkan hasil dari penelitian sebelumnya, Larutan NaOH yang dipergunakan dalam membuat paving geopolimer berkadar 7.73 M. Hal ini dilakukan dengan mengencerkan NaOH 14 M dengan penambahan aquades sebanyak 5/35 dari berat binder.

Proses pembuatan larutan NaOH adalah sebagai berikut :

- a. Timbang NaOH padat (flakes) sebanyak 560 gram untuk 1 liter larutan NaOH 14M kemudian masukkan kedalam

gelas ukur berkapasitas 1 liter. Jumlah NaOH sebanyak 560 gram untuk larutan NaOH 14 M 1 liter dijelaskan sebagai berikut :

1. Diperoleh massa sebesar 560 gram berdasarkan perhitungan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$M = \frac{1}{V} \times \frac{\text{massa NaOH}}{\text{Mr NaOH}} \dots\dots(3.10)$$

Dimana :

M = Molaritas larutan (M)

V = Volume larutan (liter)

massa = Massa NaOH (gram)

Mr = Massa molekul relatif NaOH = 40 (gram/mol)

2. Sehingga untuk mendapatkan larutan NaOH dalam 1 liter air dengan konsentrasi 14 M dihitung sebagai berikut :

$$\text{Massa NaOH} = M \times V \times \text{Mr NaOH}$$

$$= \frac{14 \text{ mol}}{1 \text{ liter larutan}} \times 1 \text{ liter} \times 40 \text{ gram/mol}$$

$$= 560 \text{ gram}$$

3. Tambahkan aquades sampai 1 liter kemudian aduk dengan pengaduk kaca secara merata sampai larut.
4. Setelah larutan NaOH 14 M dingin lakukan penurunan molaritas atau pengenceran dengan menambahkan aquades sebanyak 5/35 dari berai binder sehingga molaritas NaOH berkurang menjadi 7.73 M
5. Aduk hingga tercampur merata dan diamkan hingga suhu larutan turun.

b. Perhitungan untuk menurunkan molaritas larutan NaOH 14 M menjadi larutan NaOH 7.73 M dalam pembuatan 1 buah paving geopolimer adalah sebagai berikut :

1. BJ larutan NaOH 14 M sebesar 1.35 g/ml
2. Larutan NaOH 14 M tiap 1 paving sebesar 100 gr terdiri dari :

$$\begin{aligned} \text{NaOH} &= \frac{14 \text{ mol}}{1000 \text{ ml}} \times 100 \text{ gram} \times \frac{40 \text{ gram}}{\text{mol}} \times \frac{1 \text{ ml}}{1.35 \text{ gram}} \\ &= 41.48 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O} &= \text{massa larutan} - \text{massa NaOH} \\ &= 100 \text{ gr} - 41.48 \text{ gr} \\ &= 58.52 \text{ gram} \end{aligned}$$

3. Penambahan air sebesar 60 gram, maka :

$$\begin{aligned} \text{Volume larutan awal} &= \frac{\text{massa larutan awal}}{\text{massa jenis larutan}} \\ &= 100 \text{ gram} \times \frac{1 \text{ ml}}{1.35 \text{ gram}} = 74.07 \text{ ml} \end{aligned}$$

Volume larutan akhir = Vol Larutan awal + Vol air yang ditambahkan

$$\begin{aligned} \text{karena } \rho \text{ air} &= 1 \text{ g/ml, maka volume air} = 60 \text{ ml} \\ &= 74.07 \text{ ml} + 60 \text{ ml} = 134.07 \text{ ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Molaritas akhir} &= \frac{\text{mol NaOH terlarut}}{\text{volume larutan akhir}} \\ &= 41.48 \text{ gram} \times \frac{1 \text{ mol}}{40 \text{ gram}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ liter}} \times \frac{1}{134.07 \text{ ml}} \\ &= 7.73 \text{ M} \end{aligned}$$

3.5.2. Sodium silikat (*water glass*)

Sodium silikat yang dipakai dalam pembuatan paving geopolimer diperoleh dari PT. Kasmaji Inti Utama. Besarnya senyawa yang terkandung dalam Sodium silikat antara lain Na_2O sebanyak 18% , SiO_2 36%, dan H_2O 46%. Sodium silikat diaktivator dengan NaOH (Natrium Hidroksida) sehingga menjadi larutan alkali. Jika dicampur dengan material yang mengandung senyawa Si dan Al amorf akan beraksi, hal inilah yang berperan sebagai pengganti reaksi kimia antara semen dengan air.

3.5.3. Aquades (*air suling*)

Aquades merupakan air hasil destilasi atau penyulingan sehingga air ini hampir tidak mengandung mineral dan bersifat murni berupa senyawa H_2O . Penggunaan air aquades adalah untuk melarutkan NaOH dalam bentuk padatan. Aquades didapat dengan membeli di toko kimia. Sebelum digunakan, aquades harus dipersiapkan didalam tabung ukur agar volume yang dibutuhkan sesuai dengan mix design yang sudah direncanakan.

3.5.4. *Bottom ash*

Sebelum digunakan kedalam campuran paving terlebih dahulu *bottom ash* dihaluskan dengan menggunakan mesin bond ball mill. Setelah dihaluskan *bottom ash* diayak pada ayakan berukuran lubang 600mm. Berikut ini dijelaskan cara mendapatkan *bottom ash* yang akan digunakan kedalam campuran:

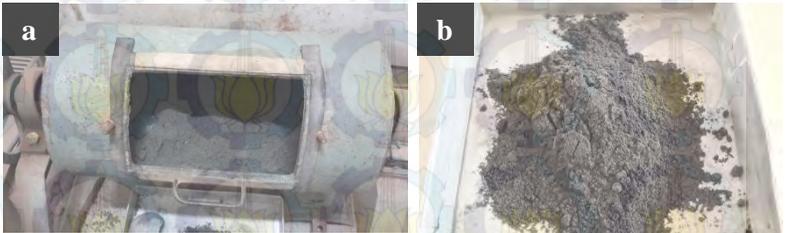
- a. Siapkan *bottom ash* sebanyak 5 kg. Sebelumnya oven *bottom ash* selama 24 jam dengan suhu 100°C , karena apabila *bottom ash* dalam keadaan basah saat dihaluskan akan menempel dan menggumpal didalam mesin bond ballmill.
- b. Setelah dioven, diamkan selama 30 menit kemudian masukkan *bottom ash* ke dalam mesin bond ballmill,

pastikan tabung penggiling dalam keadaan bersih. Setelah itu masukan bola dengan komposisi 20 bola besar, 40 bola sedang, dan 20 bola kecil. Tutup bukaan tabung penggiling, kemudian putar tuas mesin.



Gambar 3.16 Mesin *bond ballmill*

- c. Haluskan *bottom ash* selama 5 jam, kemudian matikan mesin, keluarkan *bottom ash* yang sudah digiling dan bersihkan bola serta tabung penggiling



Gambar 3.17 (a) *Bottom ash* setelah di-*ballmill*, (b) *Bottom ash* setelah diayak

- d. Setelah dikeluarkan dari mesin, ayak *bottom ash* dengan menggunakan ayakan berdiameter lubang 600mm. Sisa

ayakan yang tidak lolos jangan dibuang karena dapat digunakan dan dihaluskan kembali.

3.5.5. SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*)

SCBA yang didapat dari pabrik gula Gempol Krep belum dapat dipergunakan secara langsung. SCBA harus dikalsinasi (*furnace*) terlebih dahulu untuk meningkatkan kereaktifitasnya. Berikut ini dijelaskan langkah-langkah memperoleh SCBA yang akan digunakan kedalam campuran:

- Siapkan SCBA sebanyak 4 pan besar, keringkan SCBA dengan cara dioven selama 24 jam dengan suhu 100°C.
- Setelah dioven, diamkan selama 30 menit. Setelah itu masukan SCBA kedalam kualii, bagi menjadi 2 kualii dan lubangi bagian tengah agar seluruh bagian dapat terkalsinasi secara merata.
- Masukan kualii kedalam mesin furnace yang sebelumnya sudah di-*setting* waktu dan suhu kenaikan. Lakukan proses kalsinasi pada suhu 850°C selama 7 jam.
- Setelah proses kalsinasi selesai, matikan mesin dan diamkan sampai suhu turun menjadi 50°C.
- Buka pintu mesin, dan keluarkan kualii. Haluskan SCBA yang menggumpal setelah dikalsinasi dengan penumbuk.



Gambar 3.18 Mesin *furnace*

3.5.6. Abu batu

Abu batu didapat dari UD. Mulya Jaya, Waru. Kondisi abu batu yang didapat dalam keadaan basah, sehingga harus dikeringkan terlebih dahulu agar dapat digunakan. Abu batu dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 100°C selama 24 jam.

3.6. Pembuatan Larutan Alkali

Pembuatan larutan alkali dilakukan karena larutan ini merupakan bahan pengikat sebagai pengganti semen. Dari keseluruhan bahan dan atau material pembuatan paving geopolimer, larutan alkali merupakan satu-satunya bahan yang berupa zat cair. Larutan alkali terdiri dari campuran NaOH, air dan Na_2SiO_3 (Sodium silikat). Pembuatan larutan alkali untuk pembuatan satu buah paving geopolimer dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Larutkan NaOH padat dengan aquades menjadi larutan NaOH 14 M sebanyak 0,1 kg.
- Lakukan pengenceran atau penurunan molaritas menjadi 7,73 M dengan cara menambahkan air sebanyak 0,06 kg atau 5/35 bagian dari jumlah larutan alkali.
- Campurkan larutan NaOH 7,73 M tersebut dengan Na_2SiO_3 sebanyak 0,24 kg.
- Aduk seluruh campuran tersebut hingga homogen.



Gambar 3.19 Penyusun Alkali (a) NaOH, (b) Na_2SiO_3 , (c) Air



Gambar 3.20 Larutan Alkali

3.7. Pembuatan Benda Uji Paving

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Wijaya (2014), sehingga tersusun mix design sebagai berikut:

- Perbandingan antara binder (coal ash, SCBA dan larutan alkali) dengan agregat 35:65
- Perbandingan antara *coal ash* dan larutan alkali adalah 65:35
- Larutan alkali dari NaOH (7,73M) dan Na_2SiO_3 dengan perbandingan antara Na_2SiO_3 dan NaOH adalah 2,5 : 1.

Variabel yang dikaji dalam penelitian ini adalah pengaruh penambahan SCBA. Kode benda uji, temperature curing dan % SCBA tercantum pada tabel berikut :

Tabel 3.2 Kode benda uji, *temperature curing* dan % SCBA

No.	Kode Benda Uji	Temperatur curing (°C)	SCBA (% 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 material tiap 1 m³ paving geopolimer adalah sebagai berikut :

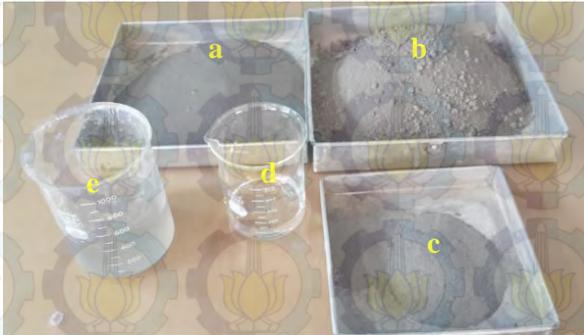
Berat Volume Beton Geopolimer = 2200 Kg/m³ (analisa pembuatan)

Tabel 3.3 Komposisi material paving geopolimer

No.	Kode Benda Uji	Coal ash (%)	NaOH (flake) (%)	Air (%)	Na ₂ SiO ₃ (%)	Agregat (Abu batu) (%)	SCBA (Kg)
1	PV - 0	22,75	1,96	1,54	8,75	65	0
2	PV - 15	19,34	1,96	1,54	8,75	65	3,41
3	PV - 20	18,20	1,96	1,54	8,75	65	4,55
4	PV - 25	17,06	1,96	1,54	8,75	65	5,69
5	PV - 30	15,93	1,96	1,54	8,75	65	6,83
6	PV - 35	14,79	1,96	1,54	8,75	65	7,96

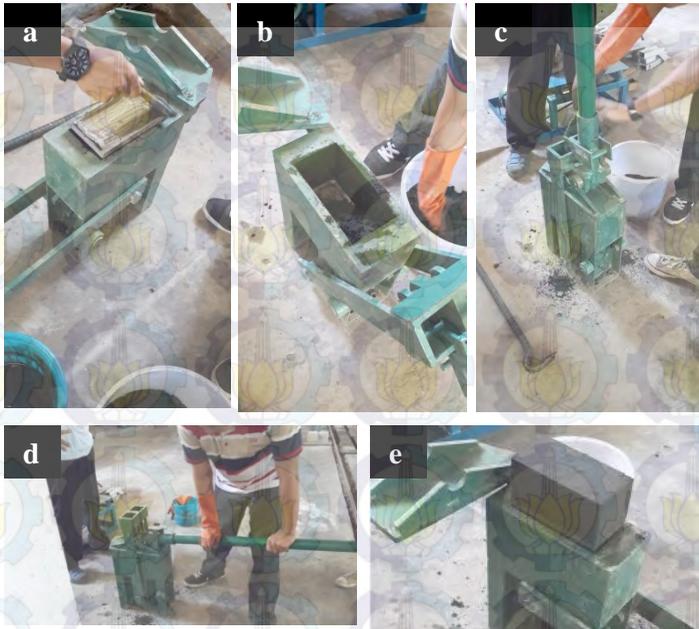
Langkah-langkah pembuatan :

- a. Siapkan bahan sesuai komposisi di atas



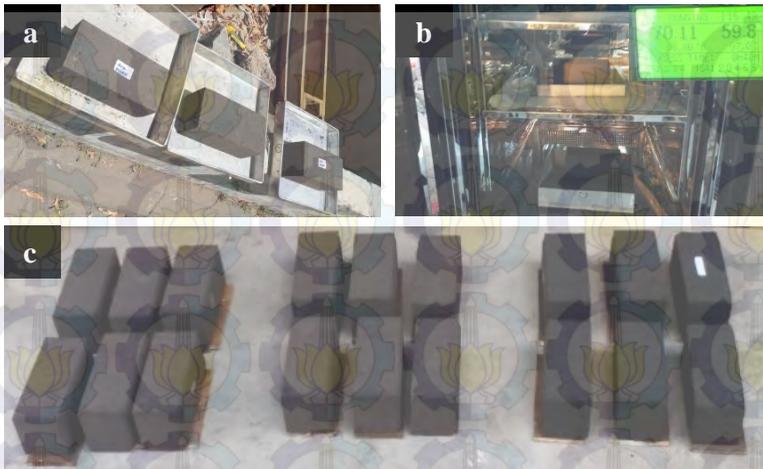
Gambar 3.21 (a) *Bottom ash*, (b) Abu Batu, (c) *SCBA*, (d) Aquades, (e) Alkali

- b. Siapkan alat yang akan digunakan diantaranya :
1. Mixer untuk mencampur binder
 2. Wadah untuk menampung adukan yang sudah dicampur
 3. Mesin pres paving manual
 4. Palet untuk landasan paving setelah dicetak
- c. Campur larutan NaOH dan Na_2SiO_3 hingga tercampur homogen untuk membuat campuran alkali
- d. Masukkan abu batu, *bottom ash*, dan *SCBA* kedalam mixer. Aduk ± 2 menit sampai bahan tercampur rata
- e. Masukkan larutan alkali yang sudah dibuat kedalam adukan. Kemudian aduk ± 2 menit sampai larutan alkali tercampur merata kedalam adukan.
- f. Masukkan mortar kedalam alat pres paving. Setelah dipres kemudian keluarkan dari cetakan dan alasi dengan palet agar paving tidak rusak saat dipindahkan ke mesin *steam*.



Gambar 3.22 (a) Alat cetak dibersihkan & diberikan oli, (b) Campuran paving dimasukkan kedalam alat cetak, (c) Setelah terisi alat cetak ditutup, (d) Proses *press* manual, (e) Produk paving setelah dicetak

- g. Diamkan paving sekitar 2 jam untuk kemudian dimasukkan ke dalam alat *steam* curing dengan suhu 60°C selama 24 jam. Setelah itu keluarkan paving dari alat *steam* dan diamkan pada suhu ruangan ($\pm 25^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$) hingga paving mencapai umur untuk kemudian diuji.



Gambar 3.23 (a) Paving didiamkan selama 2 jam, (b) Proses *curing* paving dengan mesin *steam*, (c) Setelah di-*steam* paving dianginkan pada suhu ruangan sampai umur 28 hari

3.8. Tes Kuat Tekan Paving Geopolimer (ASTM C 39-94)

Tes kuat tekan paving geopolimer ini dilakukan pada usia 3, 7, 14 dan 28 hari. Untuk setiap tes kuat tekan, digunakan 3 benda uji dari setiap komposisi untuk diambil nilai rata – rata dari setiap nilai yang diperoleh.

- a. Tujuan : Untuk mengetahui kekuatan tekan mortar geopolimer terhadap pembebanan.
- b. Alat : Mesin test hidrolik (Torsee Universal Testing Machine)
- c. Bahan : Benda uji paving geopolimer ukuran 20 cm x 10 cm x 8 cm.
- d. Prosedur Pelaksanaan :
 1. Letakkan benda uji paving geopolimer pada alat tekan tes hidrolis dan bidang dengan permukaan yang telah

dilapisi oleh belerang merupakan bidang yang akan dibebani.

2. Gerakkan tuas berwarna merah keatas dan tekan tombol penggerak pada posisi on.
3. Matikan tombol penggerak pada saat benda uji pecah (jarum sudah tidak bergerak lagi).
4. Gerakkan tuas kebawah sehingga benda uji bisa terlepas dari jepitan untuk mengambil kembali benda uji tersebut.

e. Rumus yang digunakan:

$$\text{Kuat Tekan } (\sigma_b) = \frac{P_{\max}}{A} \times (CF) \text{ N/mm}^2 \dots\dots(3.11)$$

$$\text{Kuat Tekan Rata-rata} = \frac{\sum \sigma_b}{n} \text{ N/mm}^2 \dots\dots(3.12)$$

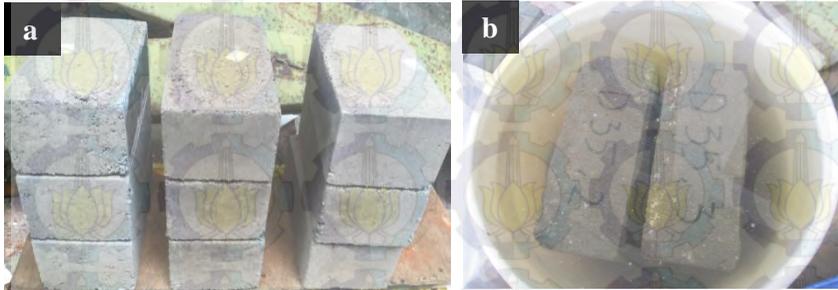
dimana :

- P_{\max} = Beban maksimum yang diberikan
 A = Luas penampang benda uji yang akan ditekan
 N = Jumlah benda uji.
 CF = *Chamfered Factor* (diambil dari "*Spec Precast Concrete Paving Blocks Cement and Concrete Association County Surveyor Society Interpave 1980*)

3.9. Tes Penyerapan Air (SNI 03-0691-1996)

Tes penyerapan paving geopolimer ini dilakukan pada usia 28 hari. Untuk setiap pengujian, digunakan 3 benda uji dari setiap komposisi untuk diambil nilai rata – rata dari setiap nilai yang diperoleh.

- a. Ambil benda uji paving geopolimer dalam keadaan utuh kemudian rendam dalam air selama (24 jam) hingga jenuh.



Gambar 3.24 (a) Paving sebelum direndam, (b) Paving direndam didalam air selama 24 jam

- b. Setelah direndam selama 24 jam timbang berat paving dalam keadaan basah (A).
- c. Kemudian benda uji paving dikeringkan di dalam oven selama kurang lebih 24 jam, pada suhu kurang lebih 105°C sampai beratnya pada dua kali penimbangan berselisih tidak lebih dari 0.2 % penimbangan sebelumnya (B).



Gambar 3.25 Proses penimbangan berat paving dalam keadaan basah

- d. Penyerapan air dihitung sebagai berikut :

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \quad \dots(3.13)$$

Dimana : A = Berat bata beton basah
B = Berat bata beton kering

3.10. Tes Ketahanan Aus (SNI 0028-1987-A)

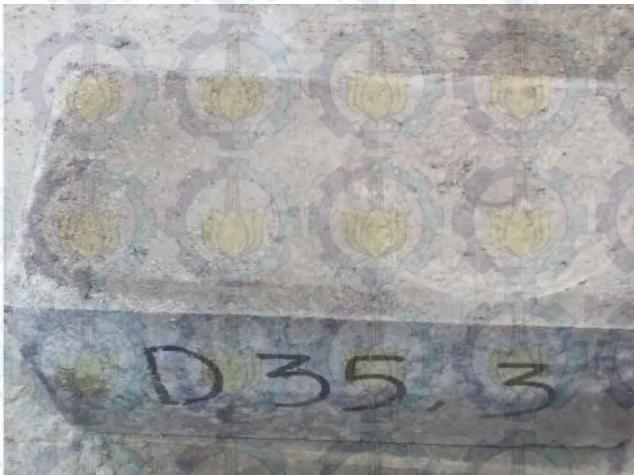
Tes penyerapan paving geopolimer ini dilakukan pada usia 28 hari. Untuk setiap pengujian, digunakan 3 benda uji dari setiap komposisi untuk diambil nilai rata – rata dari setiap nilai yang diperoleh.

- Siapkan benda uji paving geopolimer berukuran 20cm x 10cm x 8cm yang akan diuji.
- Letakan benda uji pada dudukan yang sudah disiapkan, kencangkan kemudian mulai untuk dilakukan pengausan.
- Mesin pengaus dijalankan dan mulai dilakukan pengausan pada salah satu sisi atas permukaan atas paving.



Gambar 3.26 Proses uji ketahanan aus paving

- d. Selama menit-menit pengausan, permukaan yang diaus harus selalu diamati setiap menit apakah lapisan kepala ini telah ada yang habis.
- e. Benda uji yang lapisan kepalanya tidak habis setelah pengausan selama 5menit, dibersihkan dari debu dan serpihan kemudian ditimbang sampai ketelitian 10mg. Jika sebelum pengausan berlangsung 5menit lapisan kepala telah ada yang habis, pengausan dihentikan pada menit terakhir habisnya lapisan kepala, lalu benda uji dibersihkan dari debu dan ditimbang. Catat hasil penimbangan ini dan hitung selisih berat benda uji sebelum dan sesudah diaus. Bagi benda uji yang belum habis lapisan kepalanya, pengausan dapat dilanjutkan sampai pada menit-menit habisnya lapisan kepala atau sampai menit ke-15.

**Gambar 3.27** Salah satu sisi paving setelah diuji aus

f. Ketahanan aus masing-masing benda uji dihitung sebagai berikut:

$$\frac{A \times 10 \text{ mm/menit}}{B.J \times I \times w} \dots(3.14)$$

Dimana:

A = Selisih berat benda uji sebelum dan sesudah diaus, dalam gram.

B.J = Berat jenis benda uji.

I = Luas permukaan bidang aus, dalam cm^2 .

W = Lamanya pengausan, dalam menit.

3.11. Cek Standar Deviasi & Kovarian

Setiap campurab perlu diketahui kualitasnya agar dapat diketahui mutu dari campuran yang telah dibuat. Salah satu indikator kualitas campuran adalah standar deviasi atau koefisien variasi (kovarian) dari benda uji campuran yang telah dibuat.

$$\text{Standar deviasi} = S^2 = \frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1} \dots(3.15)$$

$$\text{Kovarian} = V = \frac{s}{x} \dots(3.16)$$

Dimana :

S = Standar deviasi

v = Koefisien variasi (kovarian)

x = Nilai benda uji

\bar{x} = Rata-rata nilai benda uji

n = Jumlah benda uji

Tabel 3.4 Kovarian Kontrol SNI 03-06813-2002

Standar Deviasi (Mpa)		Kovarian (%)		Kontrol Kualitas
Kelas		Lapangan	Laboratorium	
< 2.8	< 1.4	< 9.33	< 4.67	Istimewa
2.8 - 3.5	1.4 - 1.7	9.33 - 11.67	4.67 - 5.67	Sangat Baik
3.5 - 4.2	1.7 - 2.1	11.67 - 14.00	5.67 - 7.00	Baik
4.2 - 4.9	2.1 - 2.4	14.00 - 16.33	7.00 - 8.00	Cukup
> 4.9	> 2.4	> 16.33	> 8.00	Kurang

3.12. Analisa XRD (*X-Ray Diffraction*)

Tes XRD ini bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia dari campuran yang telah dibuat. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium fisika Universitas Negeri Makassar. Langkah-langkah yang harus dilakukan sebelum proses pengujian XRD antara lain:

- Menyiapkan sampel yang akan diuji, dalam praktikum ini diambil hasil yang optimum dari mortar yang telah dibuat.
- Sampel tersebut berupa mortar yang telah berumur 28 hari, ditumbuk halus.
- Kemudian sampel diayak menggunakan ayakan no 200 (lolos ayakan $150\mu\text{m}$).
- Jumlah sampel yang dibutuhkan disesuaikan dengan houlder (cetakan/ tempat meletakkan serbuk material tersebut), $\pm 1-3$ gram
- Hasil dari X ray tersebut didapat kemudian di cocokan dengan hasil dari program *Rietica* untuk diketahui apa saja kandungan mineral di dalamnya.

3.13. Analisa XRF (*X-Ray Fluorescence*)

Uji *XRF* bertujuan untuk mengetahui besarnya komposisi senyawa oksida yang terkandung dalam material. Dari pengujian ini didapat besarnya senyawa Silika dan Alumina yang terkandung didalam material penyusun geopolimer. Pengujian *XRF* dilakukan laboratorium PT. Sucofindo Surabaya. Sampel yang akan diuji harus diyak terlebih dahulu dengan ayakan no. 200.

3.14. Analisa SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Uji *SEM* dilakukan untuk melihat bentuk partikel dari material yang digunakan kedalam campuran paving. Dari pengujian ini dapat dilihat apakah partikel bahan dasar penyusun paving memiliki bentuk yang berbeda setelah dicampur dengan bahan lain dan dijadikan paving. Uji *SEM* dilakukan di laboratorium fisika Universitas Negeri Makassar.

3.15. Cek Persyaratan Paving

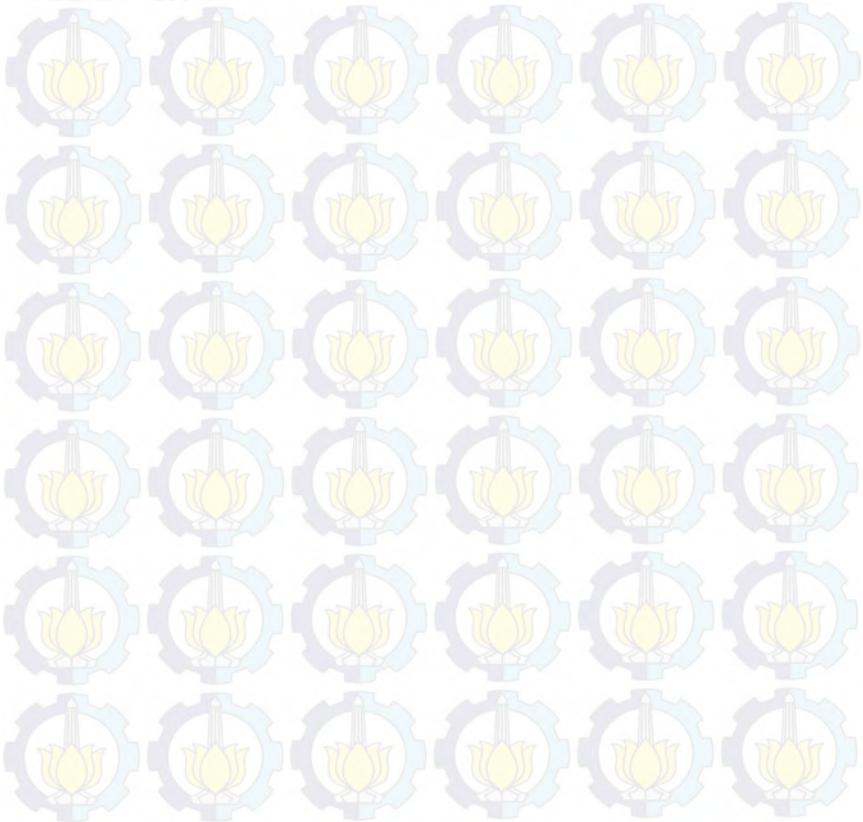
Dari hasil pengetesan benda uji yang telah dilakukan sebelumnya dicatat dan kemudian dilihat hasilnya apakah memenuhi standar SNI 03-0691-1996 tentang paving (block). Selain itu dilakukan pengecekan persyaratan bata beton untuk pasangan dnding sesuai dengan standar SNI 03-0349-1989.

3.16. Analisa Hasil

Setelah dilakukan pengujian dari masing-masing variasi, didapat data untuk kemudian dianalisa dan dibandingkan dengan persyaratan yang sudah ditentukan pada SK-SNI 03-0691-1996 untuk hasil uji kuat tekan, uji keausan, dan porositas pada paving. Kemudian dilihat dari tiga pengujian yang lakukan, apakah benda uji yang dibuat memenuhi standar yang sudah ditetapkan sesuai dengan kelas paving yang sudah ditentukan.

3.17. Kesimpulan

Dari analisa hasil yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan hasil dari masing-masing analisa, serta dapat diketahui pengaruh penggunaan *bottom ash* dan *sugar cane bagasse ash (SCBA)* terhadap mutu paving yang dicapai sesuai dengan standar SK-SNI 03-0691-1996. Dari penelitian yang telah dilakukan juga dapat disimpulkan campuran optimum untuk selanjutnya dapat dijadikan paving geopolimer berbahan botom ash dan SCBA.





BAB IV

HASIL PENGUJIAN & ANALISA DATA

4.1 Umum

Setelah melalui serangkaian percobaan, di dalam bab ini akan dijelaskan hasil dari seluruh percobaan yang telah dilakukan di laboratorium untuk kemudian ditarik kesimpulan. Hasil percobaan meliputi hasil uji material dan hasil uji paving geopolimer. Data-data hasil pengujian akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan dalam menganalisa.

4.2 Material

Secara keseluruhan bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan paving geopolimer adalah :

1. *Bottom ash*
2. *SCBA (Sugar Cane Baggase Ash)*
3. Abu batu
4. NaOH
5. Na_2SiO_3 (Sodium Silikat)
6. Aquades

4.3 Data dan Hasil Analisa Material

Dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat fisik dan kimia dari material-material yang digunakan. Meliputi percobaan tes berat jenis yang berfungsi untuk mengetahui sifat fisik, tes *XRF* dan tes *XRD* yang berfungsi untuk mengetahui sifat kimia material melalui kandungan kimianya

4.3.1 Analisa material *bottom ash*

4.3.1.1 Analisa berat jenis *bottom ash*

Untuk mencari berat jenis *bottom ash*, percobaan perlu dilakukan dua kali untuk menghindari kesalahan dari percobaan sekaligus untuk validasi data yang telah didapatkan semula. Hasil dari percobaan dapat dilihat pada **Tabel 4.1** berikut.

Tabel 4.1 Berat Jenis *Bottom Ash*

Percobaan Nomor	1	2
Berat Labu + <i>Bottom ash</i> + Air (w_1) (gram)	1395	1390
Berat <i>Bottom ash</i>	250	250
Berat Labu + Air (w_2) (gram)	1250	1250
Berat Jenis (gram/cm ³)	2.38	2.27
Rata-Rata (gram/cm ³)	2.33	

Dari hasil pengukuran didapat rata-rata berat jenis *bottom ash* sebesar 2.33 gr/cm³. Berat jenis ini sedikit lebih kecil dari hasil pengukuran yang pernah dilakukan oleh Wijaya (2014) yaitu sebesar 2.37 gr/cm³. Dibandingkan dengan *fly ash* kelas C dari PT. Petrokimia Gresik, berat jenis *bottom ash* lebih rendah karena *fly ash* memiliki berat jenis sebesar 2.44 gr/cm³.

4.3.1.2 Analisa XRD *bottom ash*

Analisa XRD ini digunakan untuk mengetahui mineral yang terkandung dalam *bottom ash*. Dalam pengujian XRD ada dua *sample* yang digunakan yaitu *bottom ash* yang belum dihaluskan dan *bottom ash* yang sudah dihaluskan dengan mesin *bond ball mill*. Hasil analisa XRD dapat dilihat pada **Gambar 4.1** dan **Gambar 4.2**. Selain itu ditampilkan pula XRD *bottom ash* yang tercampur ter pada **Gambar 4.3**

Intensity (cps)

6000
5000
4000
3000
2000
1000
0

0

10

20

30

40

50

60

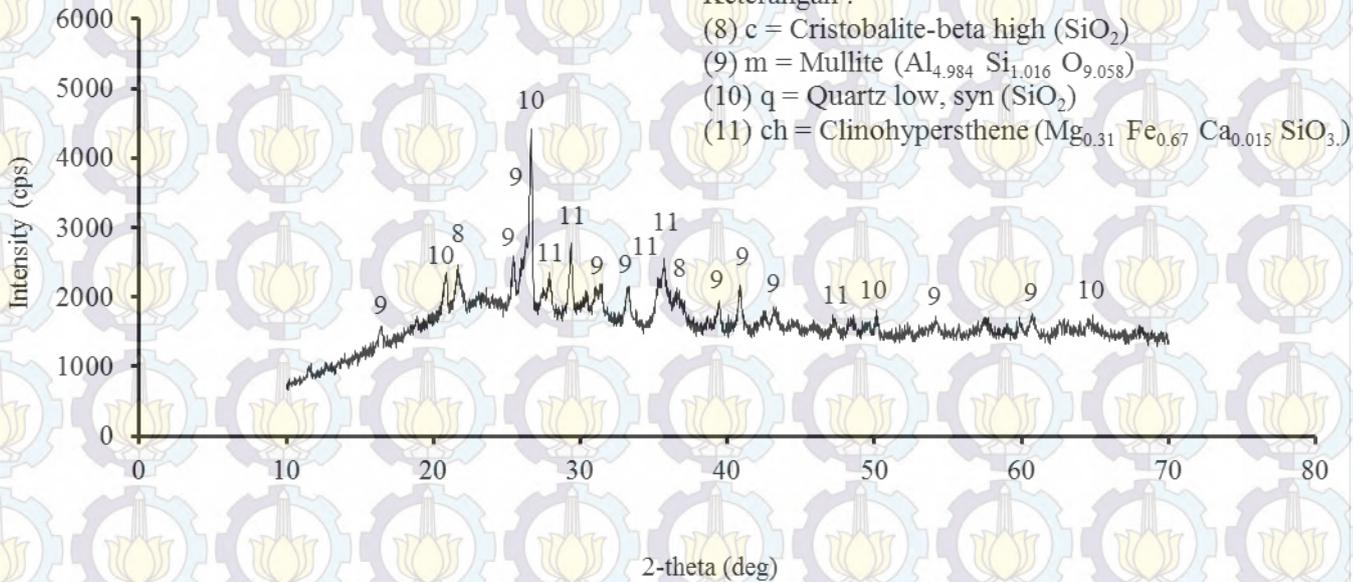
70

80

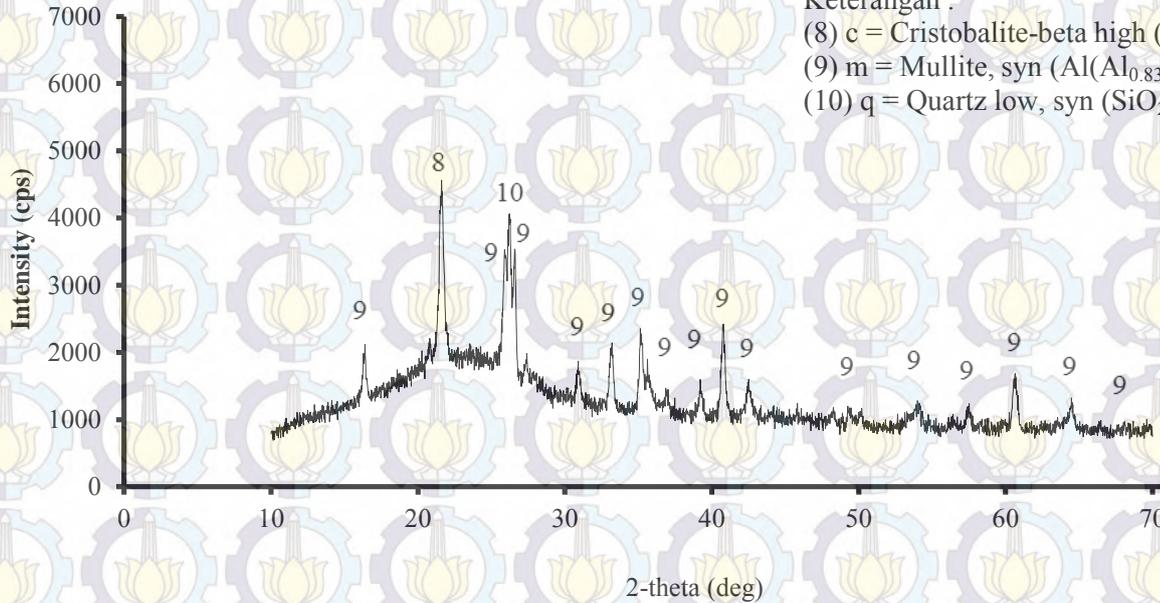
2-theta (deg)

Keterangan :

(1) Q = Quartz (SiO_2)(8) c = Cristobalite-beta high (SiO_2)(9) m = Mullite ($\text{Al}_{4.44} \text{Si}_{1.56} \text{O}_{9.78}$)(10) q = Quartz low, syn (SiO_2)**Gambar 4.1** Grafik Analisa XRD *Bottom Ash* Sebelum Dihaluskan



Gambar 4.2 Grafik Analisa XRD *Bottom Ash* Setelah Dihaluskan di Mesin *Bond Ball Mill*



Gambar 4.3 Grafik Analisa XRD *Bottom Ash* yang Tercampur Ter

Selanjutnya komposisi mineral masing-masing hasil analisa *XRD* akan dijelaskan dalam bentuk tabel. Berikut adalah komposisi mineral *bottom ash* setelah dihaluskan pada **Tabel 4.2**, dan *bottom ash* sesudah dihaluskan dengan mesin *bond ball mill* pada **Tabel 4.3**. Serta *bottom ash* yang tercampur ter pada **Tabel 4.4**

Tabel 4.2 Hasil Analisa *XRD* dan Jumlah Mineral pada *Bottom Ash* Sebelum Dihaluskan

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Jumlah (%)
Q	Quartz	SiO ₂	15
c	Cristobalite-beta high	SiO ₂	21,8
m	Mullite	Al (Al _{4,44} Si _{1,56} O _{9,78})	60
q	Quartz low, syn	SiO ₂	3,2

Tabel 4.3 Hasil Analisa *XRD* dan Jumlah Mineral pada *Bottom ash* Setelah Dihaluskan

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Jumlah (%)
c	Cristobalite-beta high	SiO ₂	6
m	Mullite, syn	Al _{4,984} Si _{1,016} O _{9,058}	41
q	Quartz low, syn	SiO ₂	33
ch	Clynohypersthene	Mg _{0,31} Fe _{0,67} Ca _{0,015} SiO ₃	20

Tabel 4.4 Hasil Analisa *XRD* dan Jumlah Mineral pada *Bottom ash* yang Tercampur Ter

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Jumlah (%)
c	Cristobalite-beta high	SiO ₂	14
m	Mullite, syn	Al (Al _{1,83} Si _{1,08} O _{4,85})	71
q	Quartz low, syn	SiO ₂	15

Di dalam penelitian ini *bottom ash* yang digunakan adalah *bottom ash* setelah dihaluskan dengan mesin *bond ball mill*. Dari **Gambar 4.2** dan **Tabel 4.3** dapat disimpulkan bahwa material yang terkandung di dalam *bottom ash* adalah cristobalite-wbeta *high* (SiO_2), mullite ($\text{Al}_{4,44} \text{Si}_{1,56} \text{O}_{9,78}$), quartz *low* (SiO_2), dan clynohypersthene ($\text{Mg}_{0,31} \text{Fe}_{0,67} \text{Ca}_{0,015} \text{SiO}_3$), Selain itu mineral-mineral tersebut mengandung Si (Silika) dan Al (Aluminium) yang kemungkinan reaktif jika dicampurkan dengan alkali aktivator. Selain itu mineral yang banyak terkandung di dalam *bottom ash* adalah mullite dimana jumlahnya sebesar 41%.

4.3.1.3 Analisa XRF *bottom ash*

Analisa XRF ini digunakan untuk mengetahui kandungan oksida yang terdapat di dalam *bottom ash*. Analisa ini dilakukan pada *bottom ash* sebelum dihaluskan dan yang sudah dihaluskan dengan menggunakan mesin *bond ball mill*. Hasil analisa dapat dilihat pada **Tabel 4.5**.

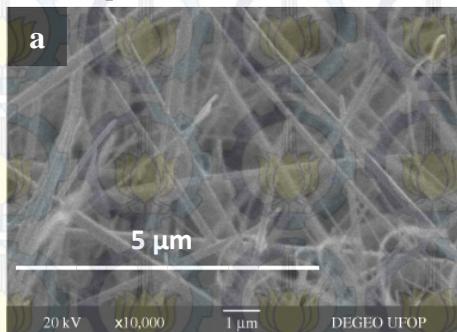
Tabel 4.5 Hasil Analisa XRF *Bottom Ash*

Senyawa	%	
	Sebelum Dihaluskan	Sesudah Dihaluskan
SiO_2	39.96	34.90
Al_2O_3	44.56	34.87
CaO	1.67	2.57
Fe_2O_3	2.34	9.59
K_2O	0.26	1.52
MgO	5.04	2.61
Na_2O	0.46	0.76
P_2O_5	1.11	1.25
SO_3	0.58	1.52

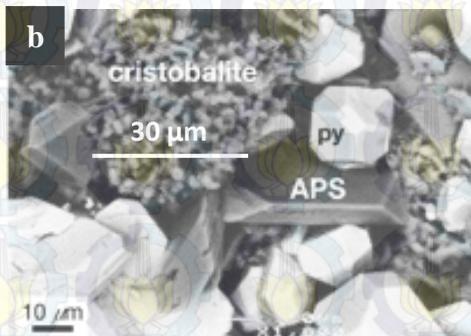
Dari Tabel 4.5 dapat disimpulkan bahwa komposisi *bottom ash* sebelum dan sesudah dihaluskan yang paling dominan adalah SiO_2 dan Al_2O_3 . Total persentase silika oksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3), dan feri oksida (Fe_2O_3) melebihi 70% sehingga *bottom ash* diklasifikasikan sebagai *pozzolan* kelas F (ASTM C618)

4.3.1.4 Analisa SEM *bottom ash*

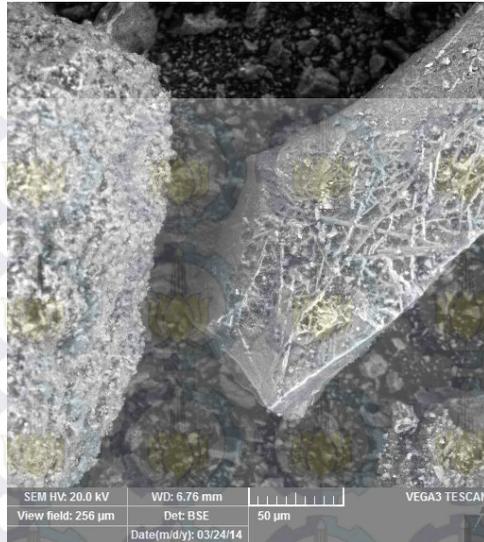
Hasil analisa SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada *bottom ash* sebelum dan sesudah dihaluskan dengan mesin *bond ball mill* dapat dilihat pada **Gambar 4.6** dan **Gambar 4.7**.



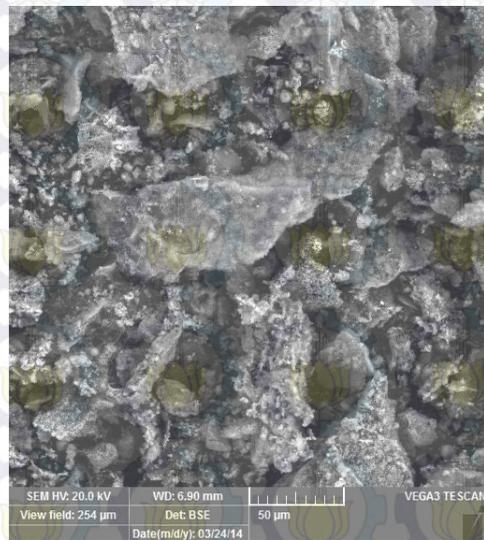
Gambar 4.4 Bentuk Partikel Mullite (Miranda Soares, et al; 2007)



Gambar 4.5 Bentuk Partikel Cristobalite (economic.org, 2015)

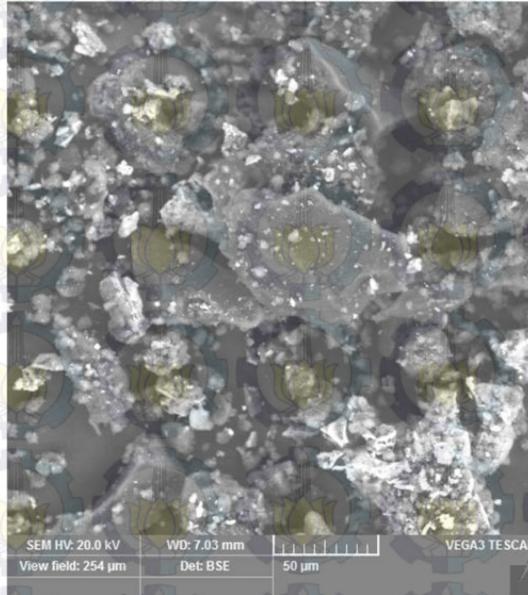


Gambar 4.6 Partikel *Bottom ash* yang Diamati dengan SEM Sebelum Dihaluskan



Gambar 4.7 Partikel *Bottom ash* yang Diamati dengan SEM Setelah Dihaluskan Dengan *Bond Ball Mill*

Dari **Gambar 4.6** dapat dilihat bahwa partikel pada material *bottom ash* sebelum dihaluskan berukuran besar dan **Gambar 4.7** menunjukkan bahwa setelah dihaluskan dengan mesin *bond ball mill* ukuran partikel pada material *bottom ash* lebih kecil. Bentuk partikel yang lebih halus dan bervariasi memungkinkan *bottom ash* lebih reaktif. Bila kita amati beberapa bentuk partikel pada *bottom ash* menyerupai bentuk partikel senyawa mullite dan cristobalite pada **Gambar 4.4** dan **Gambar 4.5**.



Gambar 4.8 Partikel *Bottom ash* Tercampur Ter yang Diamati dengan SEM

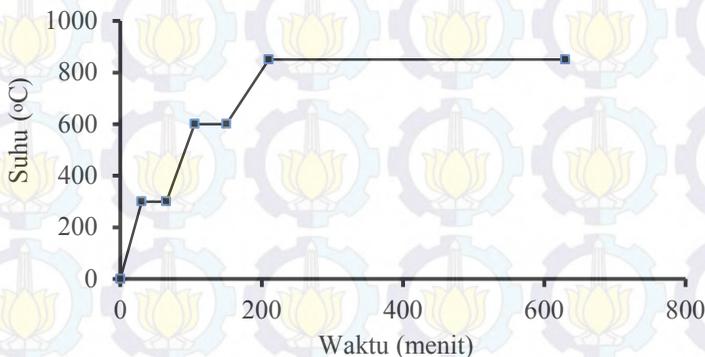
Dari **Gambar 4.8** dapat dilihat bentuk partikel pada *bottom ash* yang tercampur ter. Jika diperhatikan terdapat selubung pada sekeliling partikel, kemungkinan ini adalah minyak/ter yang menyebabkan material tidak reaktif.

4.3.2 Analisa *Sugar Cane Bagasse Ash (SCBA)*

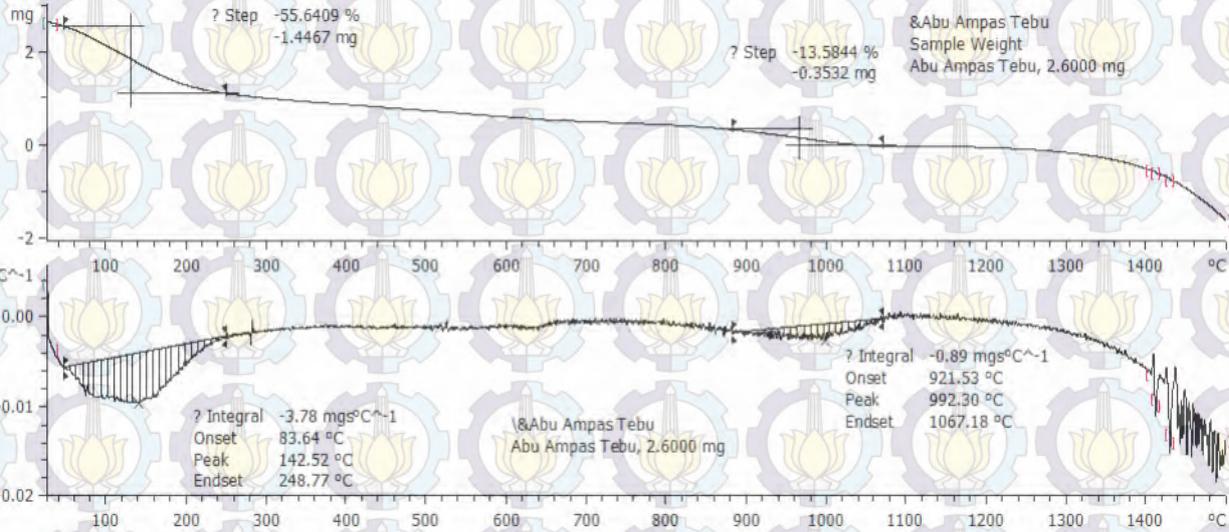
SCBA harus mendapatkan perlakuan khusus sebagai material sumber silika dalam paving geopolimer. Dalam penelitian ini perlakuannya adalah dengan terlebih dahulu *SCBA* dioven pada suhu 100°C selama ± 24 jam untuk menghilangkan kadar air di dalamnya. Kemudian *SCBA* dipindahkan kedalam wadah kuali dan dibakar di mesin *furnace* pada suhu 850°C . Penentuan suhu bakar *SCBA* tersebut bersasarkan dari data *Thermo Gravimetric Analysis (TGA)* seperti pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9. Lama waktu pembakaran dalam penelitian ini adalah 630 menit dengan lama waktu bakar bersuhu konstan 850°C adalah 7 jam seperti pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.9

Tabel 4.6 Suhu Pembakaran *SCBA*

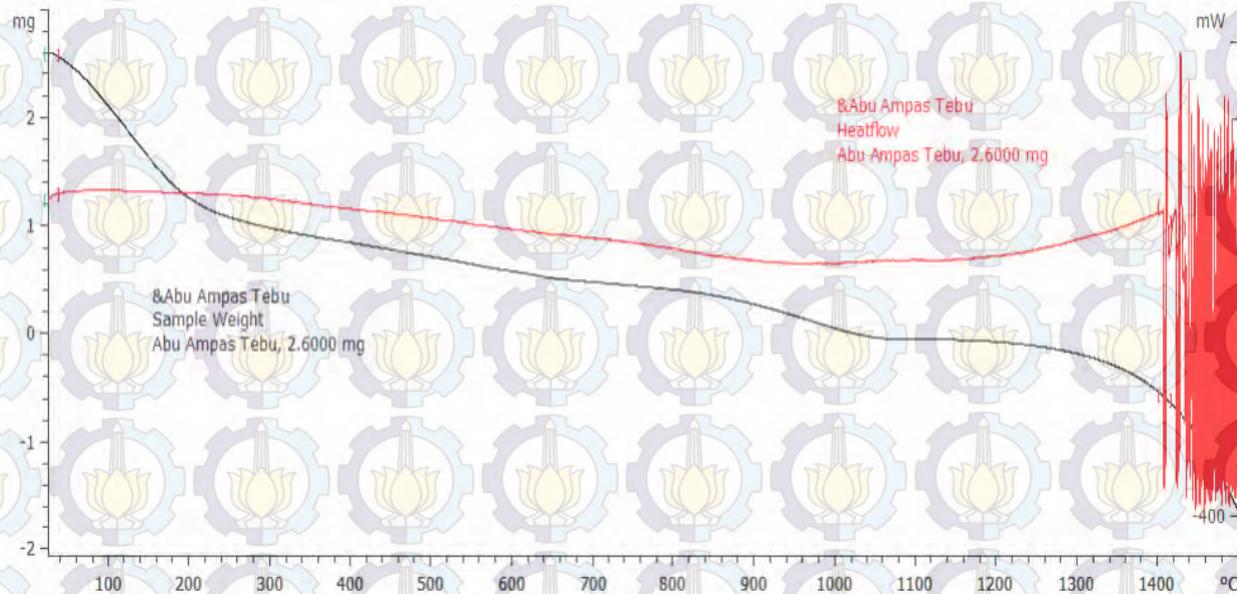
Waktu (menit)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
0	0
30	300
65	300
105	600
150	600
210	850
630	850



Gambar 4.9 Grafik Suhu dan Waktu Pembakaran *SCBA*



Gambar 4.10 Grafik Analisa TGA Sugar Cane Bagasse Ash



Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Berat & Heatflow Sugar Cane Bagasse Ash

Dari **Gambar 4.10** dapat dilihat bahwa pada suhu 30°C – 260°C terjadi penurunan berat *sample*, hal ini diakibatkan karena hilangnya air bebas antar partikel. Penurunan berat *sample* secara signifikan juga terjadi diantara suhu 880°C – 1080°C . Dientang suhu ini material mengalami proses hidroksilasi/penguraian. Didalam penelitian ini proses kalsinasi *SCBA* dilakukan pada suhu 850°C dibawah batas suhu pembakaran dari hasil pengujian TGA, hal ini dilakukan untuk menghindari material mengalami proses kristalisasi. Dari **Gambar 4.11** dapat dilihat grafik perbandingan antara berat *SCBA* dengan kenaikan suhu saat dilakukan proses pengujian.

4.3.2.1 Analisa berat jenis *SCBA*

Untuk mencari berat jenis *SCBA*, percobaan perlu dilakukan dua kali untuk menghindari kesalahan dari percobaan sekaligus untuk validasi data yang telah didapatkan semula. Pengujian berat jenis dilakukan untuk *SCBA* yang sudah dibakar pada suhu 850°C selama 7 jam. Hasil dari percobaan dapat dilihat pada **Tabel 4.7** berikut.

Tabel 4.7 Berat Jenis *SCBA*

Percobaan Nomor	1	2
Berat serbuk kaca (w_1) (gram)	250	250
Berat serbuk kaca + air + labu takar (w_2) (gram)	1375	1380
Berat labu takar + air (w_3) (gram)	1250	1250
Berat jenis (gram/cm^3)	2.00	2.08
Rata-Rata (gram/cm^3)	2.04	

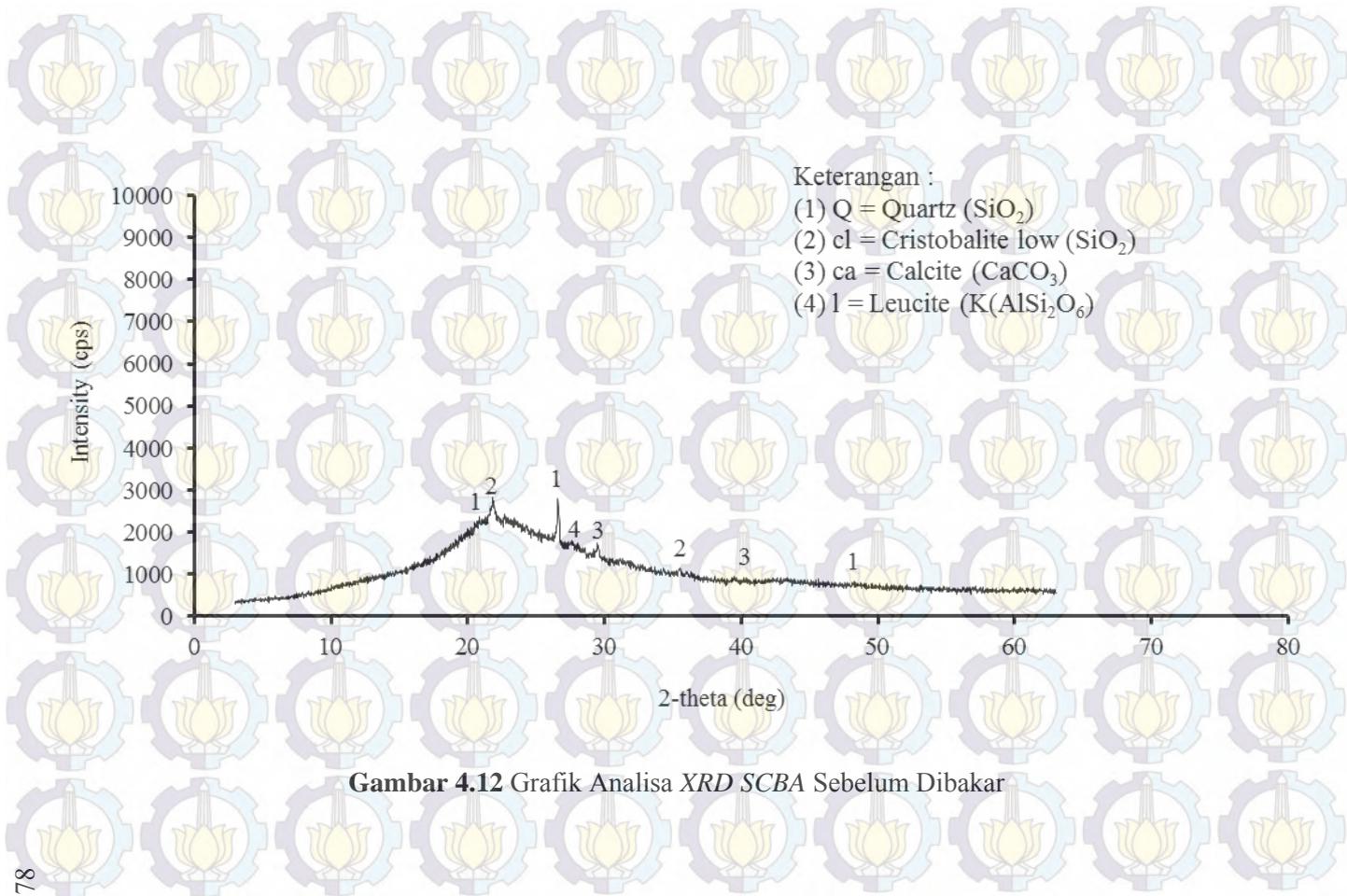
Dari **Tabel 4.7** didapat hasil pengukuran rata-rata berat jenis *SCBA* yang sudah dikalsinasi pada suhu 850°C selama 7 jam sebesar $2.04 \text{ gr}/\text{cm}^3$. Berat jenis ini lebih kecil dari berat jenis *bottom ash* yaitu sebesar $2,33 \text{ gr}/\text{cm}^3$ dan *fly ash* kelas C sebesar $2,44 \text{ gr}/\text{cm}^3$ sehingga semakin banyak penggunaan *SCBA* ke

dalam campuran paving geopolimer, maka berat volume akan semakin menurun.

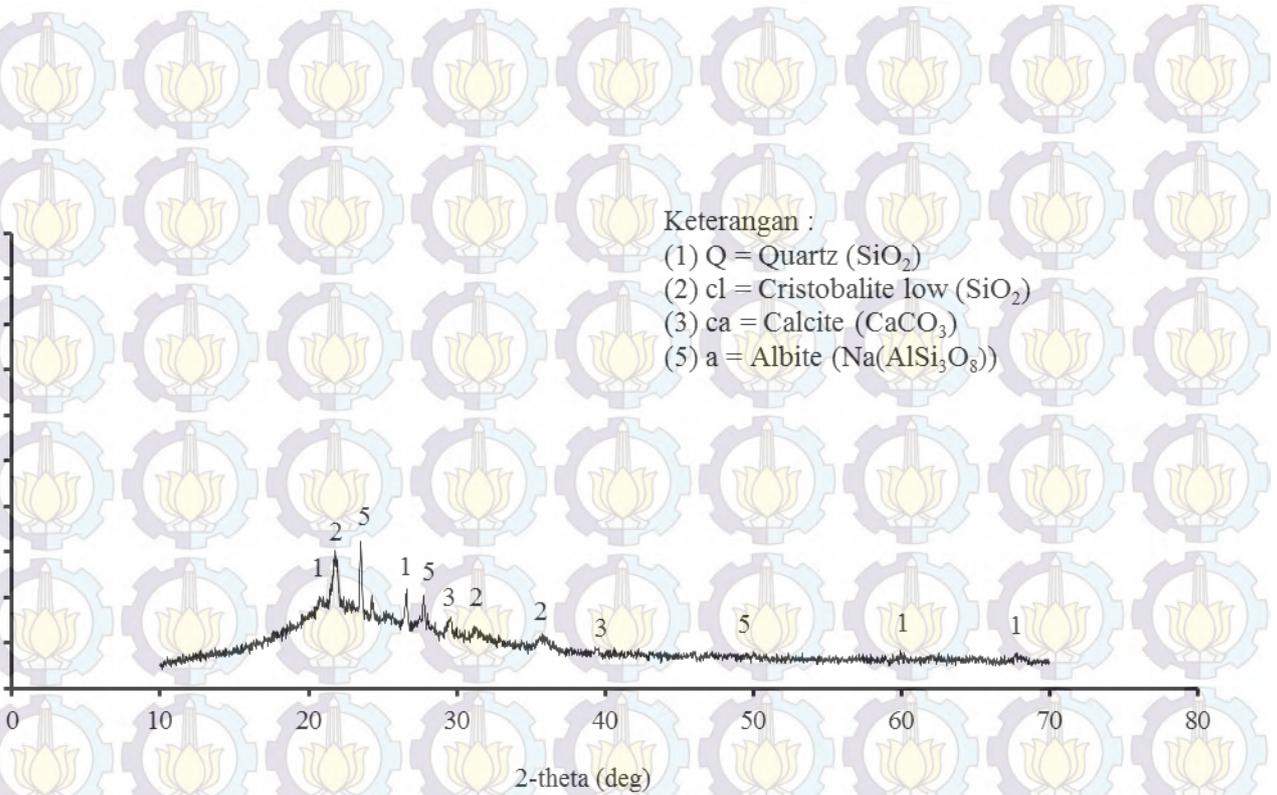
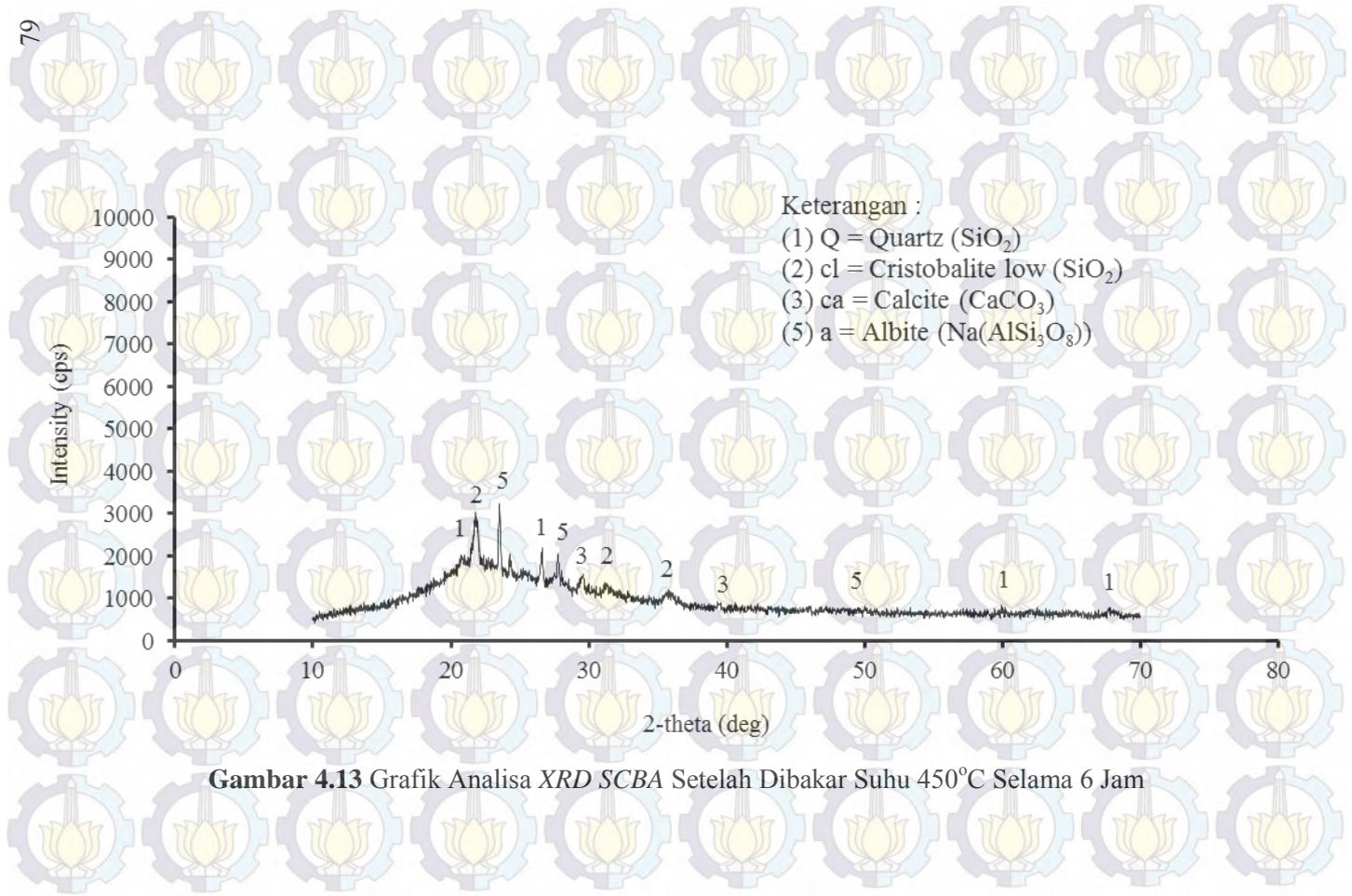
4.3.2.2 Analisa *XRD* SCBA

Analisa *XRD* ini digunakan untuk mengetahui mineral yang terkandung dalam *SCBA* yang digunakan kedalam campuran paving geopolimer. Lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.11** untuk *SCBA* sebelum dibakar dan **Gambar 4.12** untuk *SCBA* yang sudah dibakar dengan mesin furnace sebesar 850°C selama 7 jam.

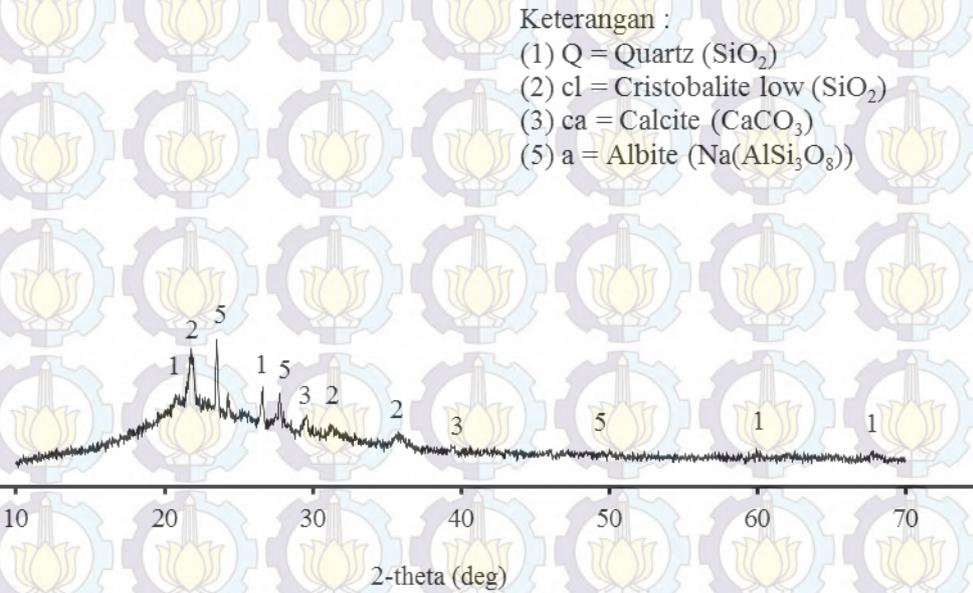
Selain dibakar pada suhu 850°C selama 7 jam, dilakukan beberapa percobaan variasi suhu dan lamanya pembakaran. Variasi tersebut antara lain pembakaran pada suhu 450°C selama 6 jam; pembakaran pada suhu 600°C selama 3 jam; dan pembakaran pada suhu 850°C selama 3 jam. Pada **Gambar 4.17** ditampilkan perbandingan grafik analisa *XRD* dari semua variasi pembakaran.



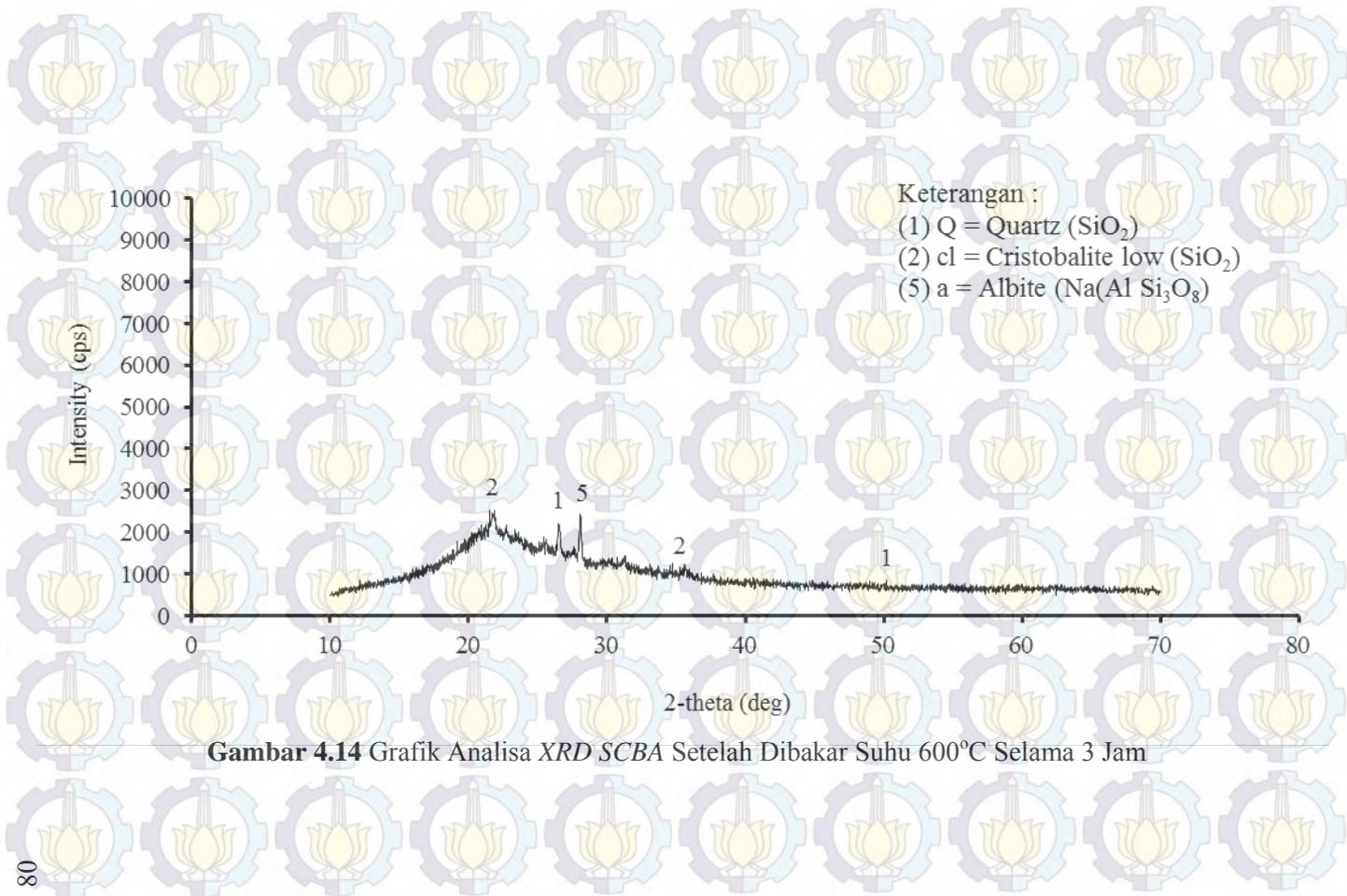
Gambar 4.12 Grafik Analisa XRD SCBA Sebelum Dibakar



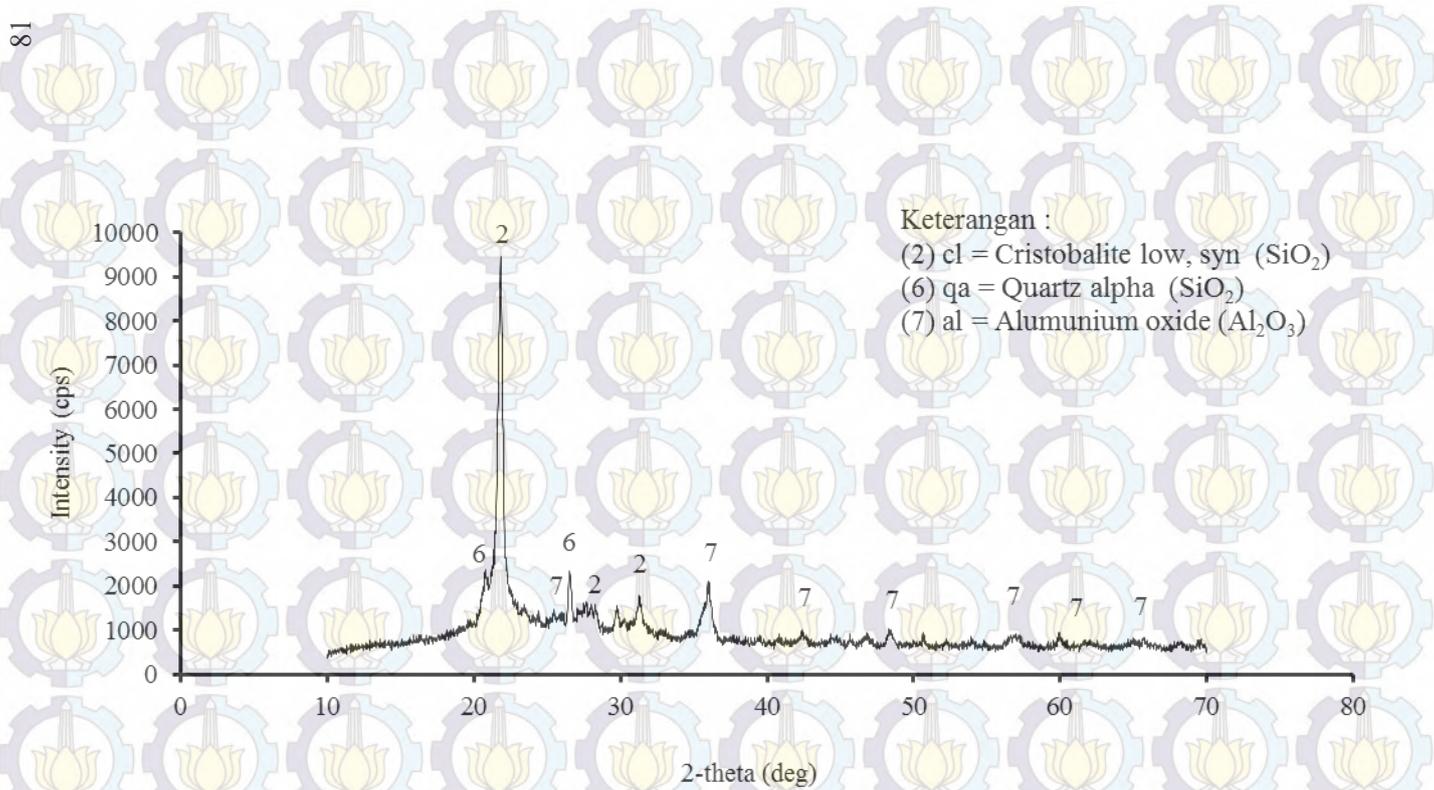
- Keterangan :
- (1) Q = Quartz (SiO_2)
 - (2) cl = Cristobalite low (SiO_2)
 - (3) ca = Calcite (CaCO_3)
 - (5) a = Albite ($\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$)



Gambar 4.13 Grafik Analisa XRD SCBA Setelah Dibakar Suhu 450°C Selama 6 Jam



Gambar 4.14 Grafik Analisa XRD SCBA Setelah Dibakar Suhu 600°C Selama 3 Jam



Gambar 4.15 Grafik Analisa XRD SCBA Setelah Dibakar Suhu 850°C Selama 3 Jam

Intensity (cps)

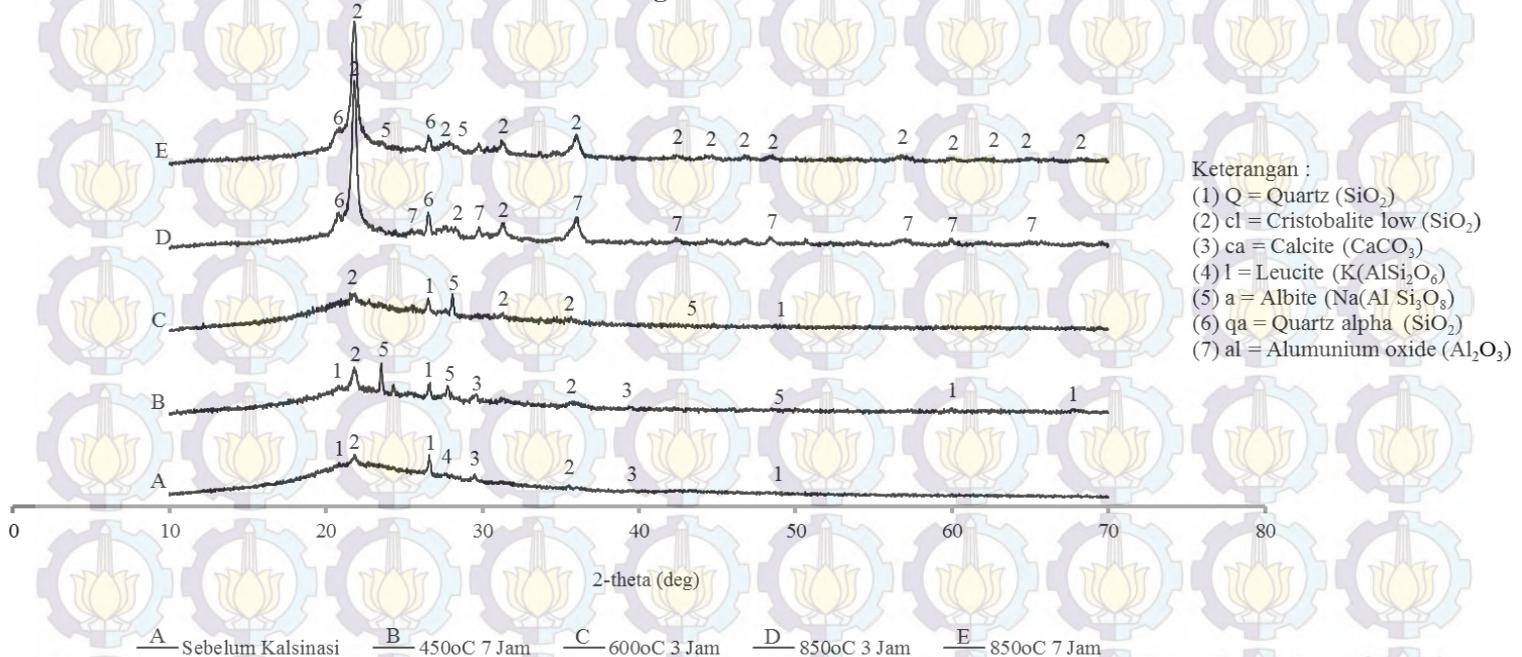
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0

0 10 20 30 40 50 60 70 80
2-theta (deg)

Keterangan :
(2) cl = Cristobalite low, syn (SiO_2)
(5) a = Albite ($\text{Na}(\text{Al Si}_3\text{O}_8)$)
(6) qa = Quartz alpha (SiO_2)

Gambar 4.16 Grafik Analisa XRD SCBA Setelah Dibakar Suhu 850°C Selama 7 Jam

SCBA Dengan 4 Variasi Pembakaran



Gambar 4.17 Grafik Analisa XRD SCBA Dengan 4 Variasi Pembakaran

Selanjutnya komposisi mineral masing-masing hasil analisa *XRD* akan dijelaskan dalam bentuk tabel. Berikut adalah komposisi mineral *SCBA* sebelum dibakar pada **Tabel 4.8**, dan *SCBA* setelah dibakar pada variasi suhu 450°C selama 6 jam, 600°C selama 3 jam, 850°C selama 3 jam, dan 850°C selama 7 jam pada **Tabel 4.9** hingga **Tabel 4.12**.

Tabel 4.8 Hasil Analisa *XRD* dan Jumlah Mineral pada *SCBA* Sebelum Dibakar

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Jumlah (%)
Q	Quartz	SiO ₂	35
cl	Cristobalite low	SiO ₂	40
ca	Calcite	CaCO ₃	22
l	Leucite	K(AlSi ₂ O ₆)	3

Tabel 4.9 Hasil Analisa *XRD* dan Jumlah Mineral pada *SCBA* Setelah Dibakar pada Suhu 450°C Selama 6 Jam

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Jumlah (%)
Q	Quartz	SiO ₂	44
cl	Cristobalite low	SiO ₂	36
ca	Calcite	CaCO ₃	8
a	Albite	Na(AlSi ₃ O ₃)	11

Tabel 4.10 Hasil Analisa *XRD* dan Jumlah Mineral pada *SCBA* Setelah Dibakar Pada Suhu 600°C Selama 3 Jam

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Jumlah (%)
Q	Quartz	SiO ₂	36
cl	Cristobalite low	SiO ₂	55
a	Albite	Na(AlSi ₃ O ₃)	9

Tabel 4.11 Hasil Analisa *XRD* dan Jumlah Mineral pada *SCBA* Setelah Dibakar Pada Suhu 850°C Selama 3 Jam

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Jumlah (%)
cl	Cristobalite low, syn	SiO ₂	47
qa	Quartz alpha	SiO ₂	13
al	Aluminium oxide	Al ₂ O ₃	16

Tabel 4.12 Hasil Analisa *XRD* dan Jumlah Mineral pada *SCBA* Setelah Dibakar Pada Suhu 850°C Selama 7 Jam

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Jumlah (%)
cl	Cristobalite low, syn	SiO ₂	36
a	Albite	Na(AlSiO ₈)	11
qa	Quartz alpha	SiO ₂	44

Di dalam penelitian ini *SCBA* yang digunakan adalah *SCBA* setelah dibakar pada suhu 850°C selama 7 jam dengan mesin *furnace*. Dari **Gambar 4.14** dan **Gambar 4.15** dapat dilihat ada perubahan nilai intensity yang cukup besar pada mineral cristobalite low (SiO₂) dan muncul puncak baru. Hal ini dimungkinkan material banyak yang sudah tidak amorf (kristal).

Jika melihat perbandingan grafik analisa *XRD* antar variasi pembakaran *SCBA* puncak (*peaks*) mineral tertinggi terdapat pada variasi pembakaran *SCBA* pada suhu 850°C selama 3 jam dimana puncak mineral terdiri atas cristobalite low (SiO₂). Sedangkan grafik analisa *XRD* yang memiliki puncak mineral seragam terdapat pada variasi pembakaran *SCBA* pada suhu 600°C selama 6 jam dimana puncak mineral terdiri atas cristobalite low (SiO₂) quartz (SiO₂), dan albite Na(AlSi₃O₈). Jika dilihat mineral-mineral tersebut merupakan mineral yang mengandung silika dan aluminium. Dari **Tabel 4.12** dapat dilihat bahwa kandungan mineral terbesar dalam *SCBA* setelah dibakar

pada suhu 850°C selama 7 jam adalah quartz alpha (SiO_2) yaitu sebesar 44%.

4.3.2.3 Analisa XRF SCBA

Hasil XRF SCBA yang dikalsinasi pada suhu 850°C selama 7 jam dan dapat dilihat pada Tabel 4.13.

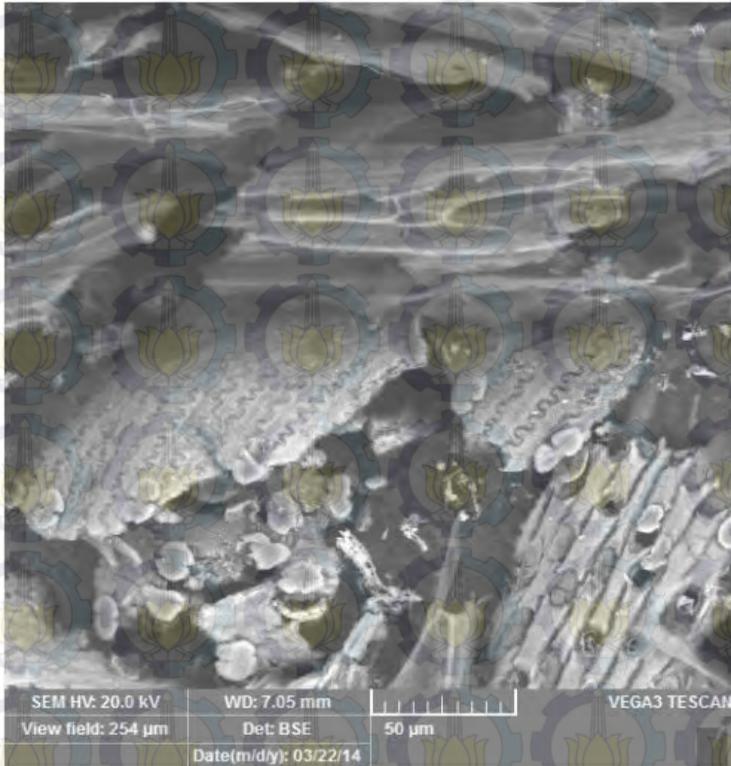
Tabel 4.13 Hasil Analisa XRF SCBA Setelah Dibakar Suhu 850°C

Senyawa	%
SiO_2	83.00
Al_2O_3	3.76
CaO	3.62
Fe_2O_3	1.94
K_2O	2.76
MgO	1.80
Na_2O	0.42
P_2O_5	1.73
SO_3	0.06
TiO_2	0.15
Cr_2O_3	0.01
Mn_2O_3	0.16

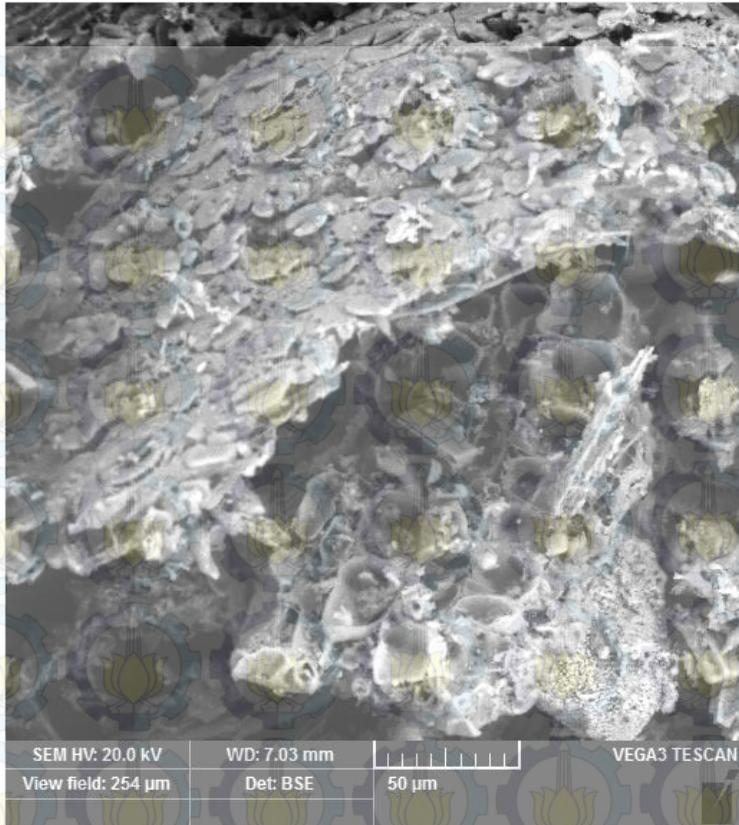
Pada Tabel 4.13 diatas disebutkan bahwa persentase senyawa yang paling besar adalah SiO_2 dan Al_2O_3 . Sedangkan total dari ketiga kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 yang terdapat dalam SCBA melebihi 70%, sehingga dapat dikatakan bahwa SCBA merupakan *natural pozzolan* (kelas N) sesuai dengan ASTM C618.

4.3.2.4 Analisa SEM SCBA

Hasil analisa SEM (*Scanning Electron Microscope*) SCBA dapat dilihat pada **Gambar 4.12** untuk SCBA sebelum dibakar dan **Gambar 4.13** untuk SCBA setelah dibakar dengan mesin *furnace* pada suhu 850°C selama 3 jam.



Gambar 4.18 Partikel SCBA yang Diamati dengan SEM Sebelum Dikalsinasi



Gambar 4.19 Partikel SCBA yang Diamati dengan SEM Setelah Dikalsinasi Pada Suhu 850°C selama 3 jam

Dari **Gambar 4.18** dapat dilihat bahwa partikel pada material SCBA sebelum dikalsinasi memiliki bentuk yang utuh. Sedangkan pada **Gambar 4.19** partikel pada material SCBA setelah kalsinasi pada suhu 850°C selama 3 jam sudah mulai hancur/terlepas, ditandai dengan munculnya retakan-retakan pada partikel. Bentuk partikel yang terlepas/hancur memungkinkan

material lebih reaktif dibandingkan material yang memiliki bentuk partikel utuh.

4.3.3 Analisa abu batu

Dalam penelitian ini abu batu digunakan sebagai agregat untuk membuat paving geopolimer. Sebelumnya dilakukan analisa-analisa kelayakan abu batu yang akan digunakan dalam penelitian ini.

4.3.3.1 Analisa berat jenis abu batu (ASTM C128 – 78)

Hasil dari analisa berat jenis abu batu dapat dilihat pada **Tabel 4.14**.

Tabel 4.14 Berat Jenis Abu Batu

Percobaan Nomor	1	2
Berat abu batu SSD	500 gr	500 gr
Berat labu + air (W2)	1250 gr	1250 gr
Berat labu + abu batu + Air (W1)	1540 gr	1545 gr
Berat jenis abu batu = $500/(500+W2-W1)$	2.38	2.44
Rata - rata (gram/cm ³)	2.41	

Berdasarkan ASTM C128-78 berat jenis abu batu yang disyaratkan adalah yang berada di batas 2.4 gr/cm³ sampai dengan 2.7 gr/cm³. Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan berat jenis abu batu sebesar 2.41 gr/cm³, dapat disimpulkan bahwa abu batu yang digunakan memenuhi persyaratan yang sudah ditentukan. sebesar 2.04 gr/cm³. Dibandingkan material lain didalam campuran paving, berat jenis abu batu lebih besar dari berat jenis *bottom ash* yaitu sebesar 2,33 gr/cm³ dan berat jenis SCBA yang sudah dikalsinasi pada suhu 850°C selama 7 jam sebesar 2.04 gr/cm³.

4.3.3.2 Analisa kelembaban abu batu (ASTM C556 – 89)

Hasil dari analisa kelembaban abu batu dapat dilihat pada **Tabel 4.15**.

Tabel 4.15 Kelembaban Abu Batu

Percobaan Nomor	1	2
Berat abu batu asli (W2)	500 gr	500 gr
Berat abu batu kering oven (W1)	495 gr	493 gr
Kelembaban abu batu = $(W2 - W1)/W1 \times 100\%$	1.01%	1.42%
Rata - rata	1.21%	

Berdasarkan ASTM C556-89 mengenai kelembaban abu batu disebutkan bahwa abu batu dinyatakan benar-benar kering kelembabannya jika menjadi angka kurang dari 0.1%. Dari percobaan yang telah dilakukan didapat kelembaban abu batu sebesar 1.21%, dapat disimpulkan bahwa abu batu yang ada di lapangan tidak dalam kondisi benar-benar kering.

4.3.3.3 Analisa air resapan abu batu (ASTM C128 – 93)

Hasil dari analisa air resapan abu batu dapat dilihat pada

Tabel 4.16.**Tabel 4.16** Air Reasapan Abu Batu

Percobaan Nomor	1	2
Berat abu batu SSD	500 gr	500 gr
Berat abu batu kering oven (W1)	485 gr	484 gr
Kadar air resapan = $(500-W1)/W1 \times 100\%$	3.09%	4.17%
Rata - rata	3.63%	

Berdasarkan ASTM C128-93, diketahui bahwa kadar air resapan yang baik antara 1% - 4%. Dari percobaan yang telah dilakukan didapat kadar air resapan abu batu sebesar 3.63%, sehingga dapat disimpulkan bahwa abu batu yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.3.3.4 Analisa berat volume abu batu (ASTM C29 – 91)

Hasil dari analisa berat volume abu batu dapat dilihat pada **Tabel 4.17**.

Tabel 4.17 Berat Volume Abu Batu

Percobaan Nomor	Dengan Rojokan	Tanpa Rojokan
Berat silinder kosong (W1)	2580 kg	2580 kg
Berat silinder + abu batu (W2)	7365 kg	7250 kg
Berat abu batu (W2 - W1)	4785 kg	4670 kg
Volume silinder	3 lt	3 lt
Rata - rata	1.60	1.56
Selisih berat volume	0.04 kg/lt = 38.33 kg/m ³	

Berdasarkan ASTM C29-91 ditetapkan bahwa selisih percobaan berat volume abu batu antara percobaan yang dilakukan dengan rojokan dan percobaan tanpa rojokan yang dilakukan oleh operator yang sama tidak boleh lebih dari 40 kg/m³. Dari percobaan yang dilakukan selisih berat volume antara abu batu dengan rojokan dan tanpa rojokan sebesar 38.33 kg/m³, sehingga dapat disimpulkan bahwa abu batu yang digunakan dalam pembuatan paving geopolimer memenuhi persyaratan.

4.3.3.5 Analisa kebersihan abu batu terhadap bahan organik (ASTM C40 – 92)

Hasil dari analisa kebersihan abu batu terhadap bahan organik dapat dilihat pada **Tabel 4.18**

Tabel 4.18 Kadar Zat Organik Abu Batu

Percobaan Nomor	1	2
Volume abu batu	130 cc	130 cc
Larutan NaOH 3%	200 cc	70 cc
Warna yang timbul	jernih	jernih

Berdasarkan ASTM C40-92, dalam penentuan kadar zat organik warna hasil percobaan harus tidak lebih tua dari warna NaOH. Jika warna percobaan lebih tua dari warna zat pembanding yaitu NaOH. Jika warna percobaan lebih tua dari warna NaOH, maka abu batu tidak dapat digunakan sebagai material pembuat paving geopolimer. Dari hasil percobaan yang telah dilakukan didapat hasil bahwa warna yang timbul adalah putih bening, sehingga dapat disimpulkan bahwa abu batu dapat digunakan karena memenuhi persyaratan.

4.3.3.6 Analisa kebersihan abu batu terhadap lumpur (pengendapan) (ASTM C33 – 86)

Hasil dari analisa kebersihan abu batu terhadap lumpur (penendapan) dapat dilihat pada **Tabel 4.19**.

Tabel 4.19 Kebersihan Abu Batu Terhadap Lumpur (Pengendapan)

Percobaan Nomor	1	2
Tinggi lumpur (h)	0.6	0.5
Tinggi abu batu (H)	5.4	5.5
Kadar lumpur = $(h/H) \times 100\%$	11.10%	9.10%
Rata - rata	10.10%	

Berdasarkan ASTM C33-86 tentang uraian syarat-syarat agregat disebutkan bahwa batas maksimum kadar lumpur adalah sebesar 3% dari total sample percobaan. Dari percobaan yang telah dilakukan, didapatkan hasil sebesar 10.1%. Dapat disimpulkan bahwa abu batu yang akan digunakan tidak memenuhi persyaratan.

4.3.3.7 Analisa kebersihan abu batu terhadap lumpur (pencucian) (ASTM C117 – 95)

Hasil dari analisa kebersihan abu batu terhadap lumpur (pencucian) dapat dilihat pada **Tabel 4.20**.

Tabel 4.20 Kebersihan Abu Batu Terhadap Lumpur (Pencucian)

Percobaan Nomor	1	2
Berat abu batu kering (W1)	500 gr	500 gr
Berat abu batu bersih kering (W2)	452 gr	450 gr
Kadar lumpur = $(W2-W1)/W1 \times 100\%$	9.60%	10.00%
Rata - rata	9.80%	

Menurut ASTM C117-95 tentang batas kadar material yang lebih halus dari butiran yang lolos ayakan no. 200 untuk klasifikasi beton umum diperbolehkan tidak lebih dari 6% dari total sampel percobaan. Dari percobaan yang telah dilakukan kadar lumpur cukup besar yaitu 9.8%, selain itu dicoba pengujian abu batu dengan titik pengambilan sample yang berbeda namun tetap didapatkan hasil diatas 6%. Hal ini dimungkinkan karena banyaknya serpihan abu dari proses pemecahan batu, jadi tidak 100% yang lolos ayakan no. 200 adalah lumpur. Namun jika dilihat dari syarat ASTM C117 abu batu yang akan digunakan tidak memenuhi persyaratan.

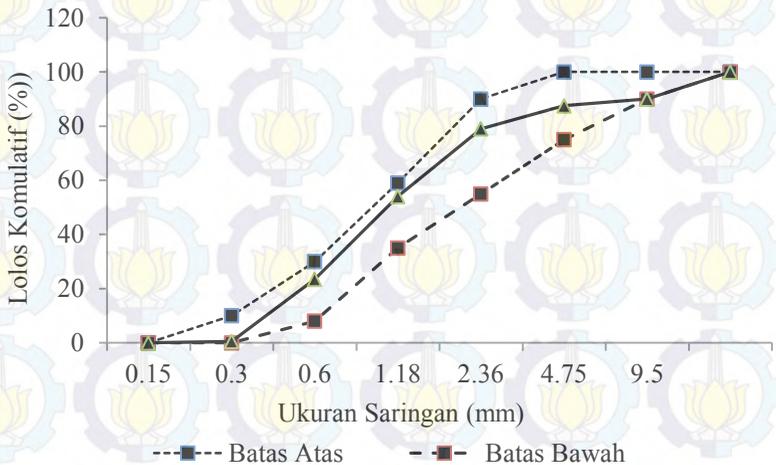
4.3.3.8 Analisa ayakan abu batu

Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat dengan menggunakan saringan. Gradasi agregat ini diketahui dengan melakukan penyaringan terhadap agregat kemudian akan diperoleh berat agregat yang tertahan dalam setiap saringan. Dari berat tersebut dapat dibuat grafik gradasi agregat dengan menghitung persen agregat yang tertahan pada setiap nomor saringan. Selain itu juga didapat nilai modulus kehalusan agregat.

Tabel 4.21 Analisa Ayak Abu Batu

No	Ukuran ayakan mm	Tertahan Pada Ayakan		Persen Kumulatif		Spesifikasi	
		gram	%	% tertahan	% lolos	Gradasi Zone 2	
3/8	9.5	0	0.00	0.00	100.00	100	100
4	4.75	100	10.00	10.00	90.00	90	100
8	2.36	25	2.50	12.50	87.50	75	100
16	1.18	85	8.50	21.00	79.00	55	90
30	0.6	25	25.00	46.00	54.00	35	59
50	0.3	305	30.50	76.50	23.50	8	30
100	0.15	23	23.00	99.50	0.50	0	10
pan		5	0.50	100.00	0.00		0
Jumlah			100.00	265.50			
Finess Modulus (FM)			=	2.655			

Dari hasil analisa ayak pada **Tabel 4.21** dapat dibuat grafik gradasi seperti **Gambar 4.20** berikut

**Gambar 4.20** Grafik Analisa Ayak Abu Batu

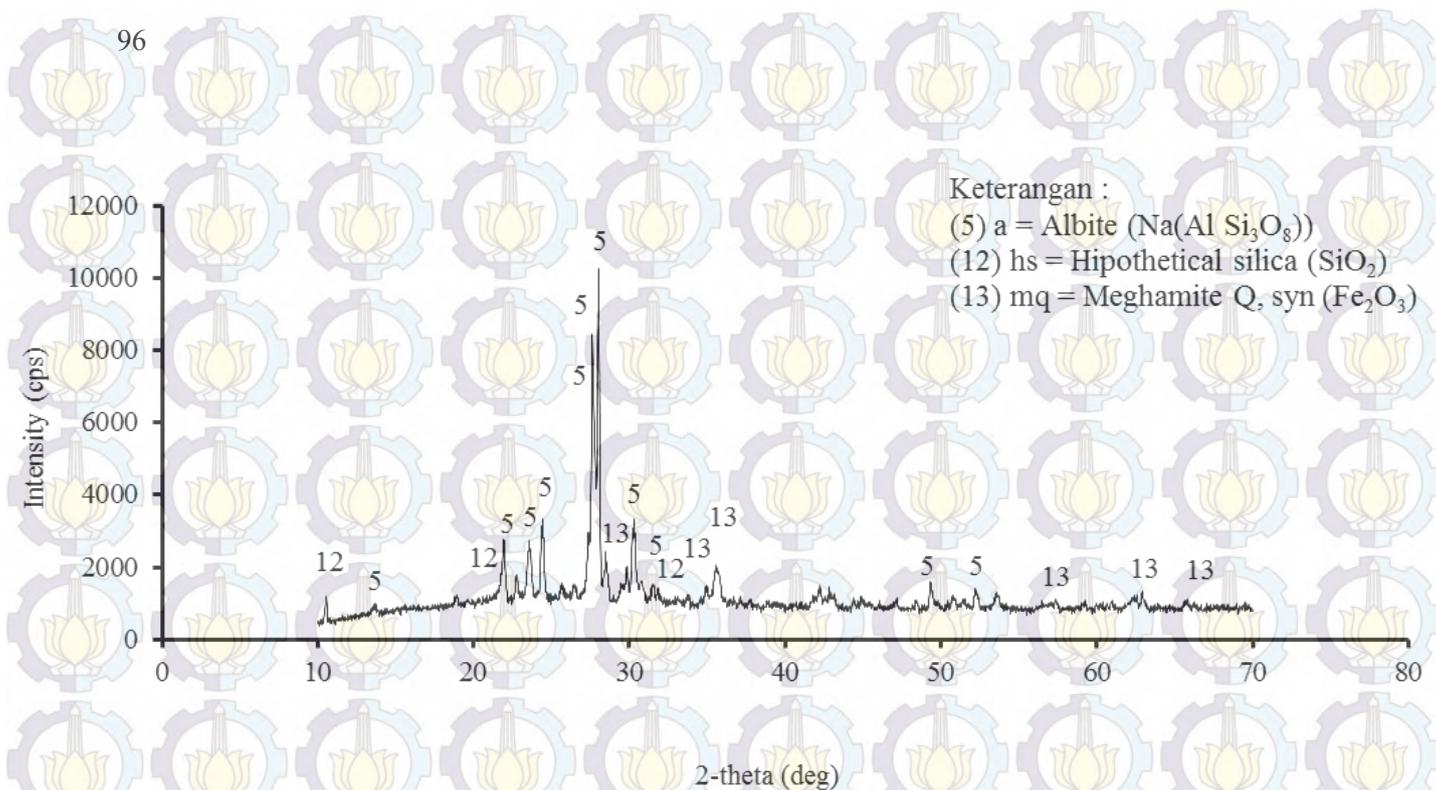
Dari hasil analisa ayakan abu batu dapat disimpulkan bahwa abu batu yang digunakan termasuk dalam *zona 2* menurut SNI 03-2834-1992. Nilai finess modulus yang diperoleh sebesar 2.65 dimana nilai ini memenuhi standar ASTM 33-78 yaitu berkisar antara 2.2 sampai 3.1

Dari analisa abu batu yang dilakukan, kondisi abu batu yang digunakan dapat dirangkum sebagai berikut :

Berat Jenis (SSD)	= 2.41 gr/cm ³
Kelembaban	= 1.21 %
Air Resapan	= 3.63 %
Berat Volume	= 38.33 kg/m ³
Kadar Lumpur	= 9.80 %
<i>Grading Zone</i>	= 2
Modulus Kehalusan	= 2.65

4.3.3.9 Analisa XRD abu batu

Analisa *XRD* ini digunakan untuk mengetahui kandungan mineral yang terdapat di dalam abu batu. Hasil analisa *XRD* dapat dilihat pada **Gambar 4.21**.



Gambar 4.21 Grafik Analisa XRD Abu Batu

Selanjutnya komposisi mineral hasil analisa *XRD* akan dijelaskan dalam bentuk tabel. Berikut adalah komposisi mineral abu batu pada **Tabel 4.22**.

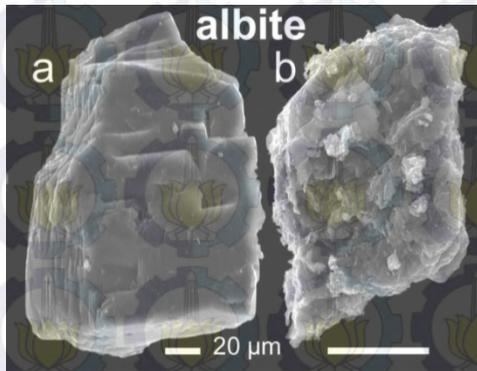
Tabel 4.22 Hasil *XRD* dan Jumlah Mineral Abu pada Batu

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Jumlah (%)
a	Albite	$\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	98
hs	Hypothetical silica	SiO_2	1
mq	Maghemite-Q, syn	Fe_2O_3	1

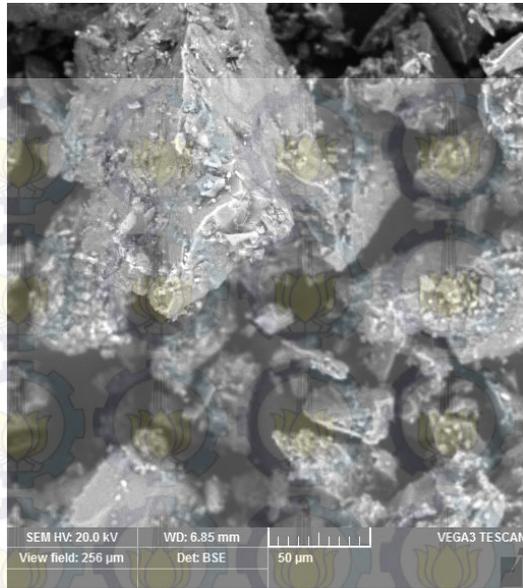
Dari **Gambar 4.21** dan **Tabel 4.22** dapat disimpulkan bahwa material yang banyak terkandung di dalam abu batu adalah Albite ($\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_3)$) dimana jumlahnya mencapai 98%. Selain itu mineral yang terdapat di abu batu mengandung Si (Silika) dan Al (Aluminium) dimana senyawa tersebut sangat dibutuhkan dalam proses geopolimerisasi.

4.3.3.8 Analisa SEM abu batu

Hasil analisa SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada abu batu dapat dilihat pada **Gambar 4.23**



Gambar 4.22 Bentuk Mineral Albite (www.geoscience.com)



Gambar 4.23 Partikel Abu Batu yang Diamati Dengan SEM

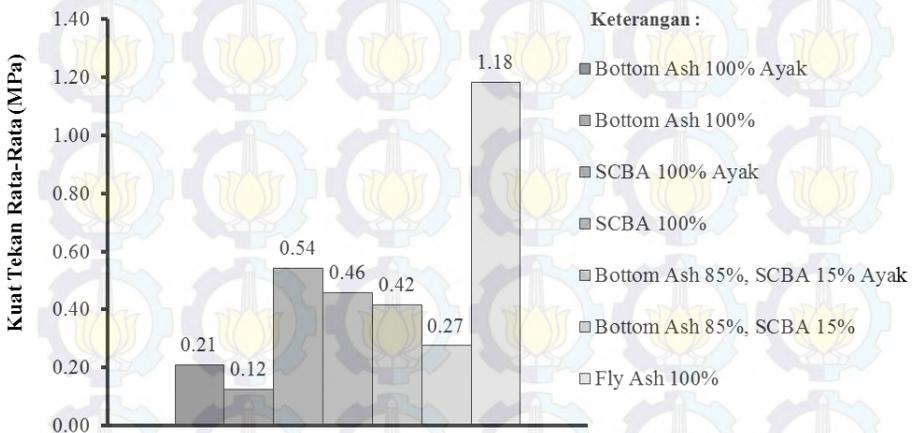
Dari **Gambar 4.23** dapat dilihat bahwa bentuk partikel pada abu batu memiliki bentuk yang hampir sama dengan bentuk partikel pada mineral albite. Hal ini dimungkinkan karena komposisi abu batu didominasi oleh mineral albite.

4.3.4 Analisa 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. Material yang akan dilakukan uji reaktivitas antara lain : *bottom ash*, *fly ash*, dan *sugar cane bagasse ash (SCBA)* baik yang diayak dengan ayakan #200 maupun yang tidak diayak. Berikut ini hasil pengujian reaktivitas yang dijelaskan pada **Tabel 4.23** dan **Gambar 4.25**.

Tabel 4.23 Hasil Uji Reaktivitas Material

Material Uji	Kuat Tekan (MPa)			Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
<i>Bottom ash</i> 100% Ayak	0.15	0.22	0.25	0.21
<i>Bottom ash</i> 100%	0.17	0.10	0.10	0.12
SCBA 100% Ayak	0.60	0.42	0.60	0.54
SCBA 100%	0.52	0.47	0.37	0.46
<i>Bottom ash</i> 85%, SCBA 15% Ayak	0.42	0.40	0.42	0.42
<i>Bottom ash</i> 85%, SCBA 15%	0.30	0.30	0.22	0.27
<i>Fly ash</i> 100%	1.27	1.37	0.90	1.18

**Gambar 4.24** 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.

4.4 Data dan Hasil Analisa Paving Geopolimer

4.4.1 Komposisi paving geopolimer

Komposisi paving geopolimer ini terdiri atas abu batu, *bottom ash*, *SCBA* (*Sugar Cane Bagasse Ash*), NaOH, dan sodium silikat. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh penambahan *SCBA* terhadap paving campuran abu batu, *bottom ash*, NaOH, dan sodium silikat. Oleh karena itu, penggunaan *SCBA* dibuat berbeda pada setiap variasi, yaitu 0%, 15%, 20%, 25%, 30%, dan 35% terhadap berat *bottom ash*.

Kebutuhan material paving geopolimer ukuran 20cm x 10cm x 8cm sebanyak 3 paving untuk setiap variasi seperti diuraikan dalam **Tabel 4.24** dengan penjelasan kode benda uji untuk masing-masing variasi di *steam* pada suhu 60°C selama 24 jam.

PV-0	= Untuk benda uji tanpa penambahan <i>SCBA</i>
PV-15	= Untuk benda uji dengan penambahan <i>SCBA</i> sebanyak 15% terhadap berat <i>bottom ash</i>
PV-20	= Untuk benda uji dengan penambahan <i>SCBA</i> sebanyak 20% terhadap berat <i>bottom ash</i>
PV-25	= Untuk benda uji dengan penambahan <i>SCBA</i> sebanyak 25% terhadap berat <i>bottom ash</i>
PV-30	= Untuk benda uji dengan penambahan <i>SCBA</i> sebanyak 30% terhadap berat <i>bottom ash</i>
PV-35	= Untuk benda uji dengan penambahan <i>SCBA</i> sebanyak 35% terhadap berat <i>bottom ash</i>

Tabel 4.24 Komposisi Paving Geopolimer untuk 1 m³

Kode Benda Uji	Abu Batu (kg)	Bottom ash (kg)	SCBA (kg)	Air (kg)	NaOH 14M (kg)	Na ₂ SiO ₃ (kg)
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

Keterangan :

PV – 10 → PV = Paving
 10 = Penggunaan SCBA sebesar 10% (SCBA yang digunakan adalah SCBA yang sudah dikalsinasi pada suhu 850°C selama 7 jam)

4.4.2. Proses *steam curing*

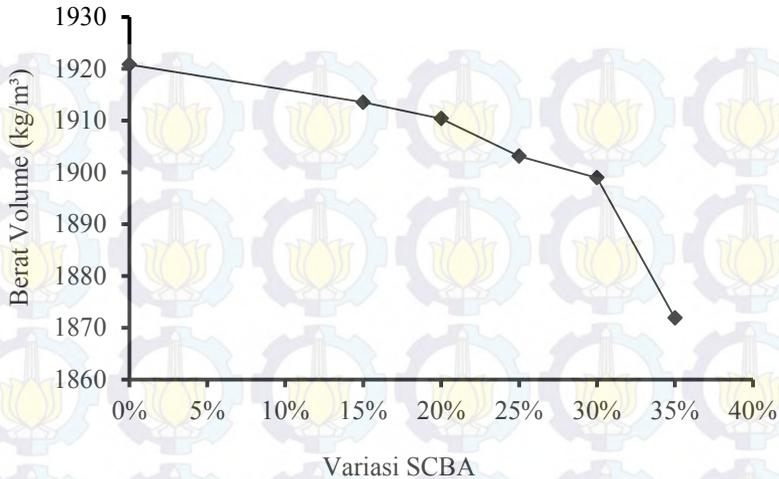
Dalam penelitian ini proses *curing* paving geopolimer dilakukan dengan menggunakan mesin *steam*. Benda uji setelah dicetak kemudian dimasukkan ke dalam mesin *steam* dengan suhu 60°C selama 24 jam. Setelah di-*steam* paving kemudian dikeluarkan dan dibiarkan/di-*curing* pada suhu kamar ± 25°C hingga mencapai umur uji.

4.4.3 Tes berat volume paving geopolimer

Tes berat volume paving geopolimer dilakukan pada umur 28 hari terhadap 3 buah benda uji balok berukuran 20cm x 10cm x 8cm . Berikut ini adalah berat volume paving geopolimer umur 28 hari yang dapat dilihat pada **Tabel 4.25**.

Tabel 4.25 Berat Volume Paving Geopolimer Umur 28 Hari

Kode Benda Uji	Berat Benda Uji (kg)	Volume Benda Uji (cm³)	Berat Volume (kg/m³)	Rata-rata (kg/m³)
PV0- 1	3.075	1600	1921.88	
PV0 - 2	3.060	1600	1912.50	1920.83
PV0 - 3	3.085	1600	1928.13	
PV15 - 1	3.080	1600	1925.00	
PV15 - 2	3.040	1600	1900.00	1913.54
PV15 - 3	3.065	1600	1915.63	
PV20 - 1	3.060	1600	1912.50	
PV20 - 2	3.035	1600	1896.88	1910.42
PV20 - 3	3.075	1600	1921.88	
PV25 - 1	3.030	1600	1893.75	
PV25 - 2	3.050	1600	1906.25	1903.13
PV25 - 3	3.055	1600	1909.38	
PV30 - 1	3.040	1600	1900.00	
PV30 - 2	3.035	1600	1896.88	1898.96
PV30 - 3	3.040	1600	1900.00	
PV35 - 1	2.990	1600	1868.75	
PV35 - 2	2.995	1600	1871.88	1871.88
PV35 - 3	3.000	1600	1875.00	



Gambar 4.25 Grafik Hubungan Berat Volume dengan Penambahan SCBA Paving Geopolimer

Dari **Tabel 4.25** dan **Gambar 4.25** di atas 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.

4.4.4 Tes kuat tekan paving geopolimer

Tes berat volume paving geopolimer dilakukan terhadap 3 buah benda uji balok berukuran 20cm x 10cm x 8cm yang diuji pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari dengan *steam curing* sebesar 60°C selama 24 jam. Untuk mengetahui kualitas dari campuran paving geopolimer perlu dilakukan kontrol kualitas agar nantinya dapat diketahui mutu dari setiap campuran yang dibuat.

Berikut ini adalah standar deviasi kontrol beton sesuai dengan kelasnya yang dapat dilihat pada **Tabel 4.26** berikut.

Tabel 4.26 Standar Deviasi Menurut SNI 03-06813-2002

Standar Deviasi (Mpa)		Kovarian (%)		Kontrol Kualitas
Kelas				
Lapangan	Laboratorium	Lapangan	Laboratorium	
< 2.8	< 1.4	< 9.33	< 4.67	Istimewa
2.8 - 3.5	1.4 - 1.7	9.33 - 11.67	4.67 - 5.67	Sangat Baik
3.5 - 4.2	1.7 - 2.1	11.67 - 14.00	5.67 - 7.00	Baik
4.2 - 4.9	2.1 - 2.4	14.00 - 16.33	7.00 - 8.00	Cukup
> 4.9	> 2.4	> 16.33	> 8.00	Kurang

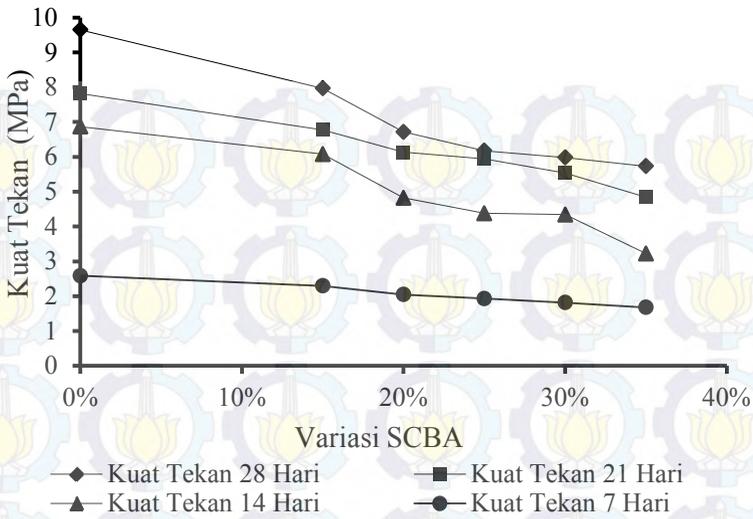
Hasil kuat tekan hancur dan kontrol kualitas untuk paving geopolimer dapat dilihat pada **Tabel 4.27** berikut.

Tabel 4.27 Kuat Tekan Paving Geopolimer

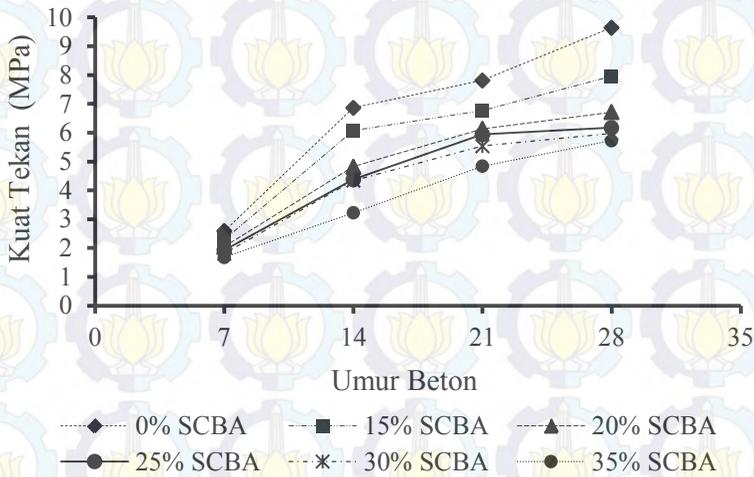
Kode Benda Uji	Umur Pengujian	Nilai Kuat Tekan (MPa)			Rata-Rata (MPa)	Standard Deviasi (MPa)	Kovarian (%)	Kontrol Kualitas
		P1	P2	P3				
PV-0	7 hari	2.720	2.431	2.605	2.585	0.146	5.634	Sangat Baik
PV-15	7 hari	2.315	2.142	2.431	2.296	0.146	6.344	Baik
PV-20	7 hari	2.199	1.910	2.026	2.045	0.146	7.122	Cukup
PV-25	7 hari	1.852	1.910	2.026	1.929	0.088	4.583	Istimewa
PV-30	7 hari	1.794	1.910	1.736	1.814	0.088	4.875	Sangat Baik
PV-35	7 hari	1.678	1.736	1.621	1.678	0.058	3.448	Istimewa
PV-0	14 hari	6.656	6.772	7.177	6.868	0.274	3.982	Istimewa
PV-15	14 hari	5.788	6.540	5.904	6.077	0.405	6.667	Baik
PV-20	14 hari	5.209	4.688	4.572	4.823	0.339	7.031	Cukup
PV-25	14 hari	4.572	4.283	4.283	4.380	0.167	3.815	Istimewa

Lanjutan Tabel 4.27

Kode Benda Uji	Umur Pengujian	Nilai Kuat Tekan (MPa)			Rata-Rata (MPa)	Standard Deviasi (MPa)	Kovarian (%)	Kontrol Kualitas
		P1	P2	P3				
PV-30	14 hari	4.572	4.109	4.341	4.341	0.232	5.333	Sangat Baik
PV-35	14 hari	3.299	3.241	3.125	3.222	0.088	2.744	Istimewa
PV-0	21 hari	7.987	8.161	7.293	7.814	0.459	5.879	Baik
PV-15	21 hari	7.235	6.482	6.598	6.772	0.405	5.983	Baik
PV-20	21 hari	6.540	6.193	5.672	6.135	0.437	7.122	Cukup
PV-25	21 hari	5.904	6.367	5.556	5.942	0.407	6.841	Baik
PV-30	21 hari	5.788	5.325	5.499	5.537	0.234	4.225	Istimewa
PV-35	21 hari	5.035	4.920	4.572	4.843	0.241	4.976	Sangat Baik
PV-0	28 hari	9.724	9.839	9.376	9.647	0.241	2.498	Istimewa
PV-15	28 hari	7.929	8.392	7.582	7.968	0.407	5.102	Sangat Baik
PV-20	28 hari	6.309	7.061	6.772	6.714	0.380	5.653	Sangat Baik
PV-25	28 hari	6.309	6.482	5.730	6.174	0.394	6.381	Baik
PV-30	28 hari	6.367	5.614	5.962	5.981	0.377	6.297	Baik
PV-35	28 hari	6.193	5.672	5.325	5.730	0.437	7.626	Cukup



Gambar 4.26 Grafik Hubungan Kuat Tekan Paving Geopolimer Terhadap Variasi SCBA



Gambar 4.27 Grafik Hubungan Kuat Tekan Paving Geopolimer Terhadap Umur Pengujian

Dari **Tabel 4.27** dan **Gambar 4.26** serta **Gambar 4.27** dapat dilihat bahwa benda uji dengan variasi 0% *SCBA* mempunyai kuat tekan paling tinggi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin banyak penambahan *SCBA* semakin rendah kuat tekan paving geopolimer. Hal ini sebanding dengan berat paving. Semakin besar penggunaan *SCBA* ke dalam campuran, semakin rendah berat paving

Selain itu jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Prasandha (2015) yaitu paving geopolimer tanpa di-*steam* memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan paving yang di-*steam* pada suhu 60°C selama 24 jam. Hal ini disebabkan oleh tidak rapatnya paving karena proses pencetakan dengan cara manual, sehingga pada saat di-*steam curing* uap air masuk sehingga paving menjadi basah dan mengakibatkan kuat tekan menurun. Ini dibuktikan dengan berat volume pada paving yang di-*steam* lebih berat yaitu sebesar 1920 kg/m³ dibandingkan paving tanpa *steam* yang memiliki berat volume sedikit lebih kecil yaitu sebesar 1915 kg/m³

4.4.5 Tes penyerapan air paving geopolimer

Tes penyerapan air pada paving geopolimer dilakukan terhadap 3 buah benda uji berukuran 20cm x 10cm x 8cm pada umur 28 hari untuk masing-masing variasi. Hasil tes dari masing-masing variasi dapat dilihat pada **Tabel 4.28** dan **Gambar 4.28**.

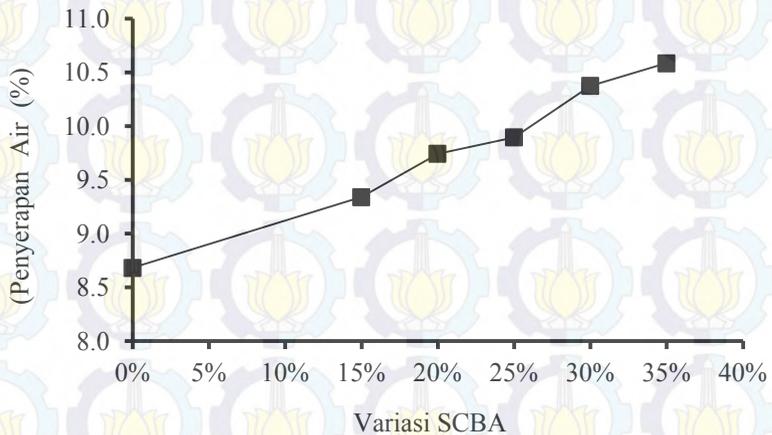
Tabel 4.28 Hasil Penyerapan Air Paving Geopolimer

Kode Benda Uji	A	B	C = B - A	Persentase	Rata - Rata
	(kg)	(kg)	(kg)	(%)	%
PV0- 1	3.240	2.955	0.285	8.796	
PV0 - 2	3.275	2.985	0.290	8.855	8.68
PV0 - 3	3.335	3.055	0.280	8.396	
PV15 - 1	3.215	2.915	0.300	9.331	
PV15 - 2	3.250	2.945	0.305	9.385	9.34
PV15 - 3	3.170	2.875	0.295	9.306	

Lanjutan Tabel 4.28

Kode Benda Uji	A	B	C = B - A	Persentase	Rata - Rata
	(kg)	(kg)	(kg)	(%)	%
PV20 - 1	3.265	2.945	0.320	9.801	
PV20 - 2	3.250	2.940	0.310	9.538	9.74
PV20 - 3	3.235	2.915	0.320	9.892	
PV25 - 1	3.220	2.920	0.300	9.317	
PV25 - 2	3.245	2.905	0.340	10.478	9.90
PV25 - 3	3.285	2.960	0.325	9.893	
PV30 - 1	3.270	2.920	0.350	10.703	
PV30 - 2	3.195	2.870	0.325	10.172	10.37
PV30 - 3	3.220	2.890	0.330	10.248	
PV35 - 1	3.240	2.890	0.350	10.802	
PV35 - 2	3.280	2.935	0.345	10.518	10.59
PV35 - 3	3.210	2.875	0.335	10.436	

Keterangan :
 A = Berat benda uji setelah direndam air 24 jam
 B = Berat benda uji setelah dioven 24 jam
 C = Persentase penyerapan air



Gambar 4.28 Grafik Resapan Air Paving Geopolimer Umur 28 Hari

Dari **Tabel 4.28** dan **Gambar 4.28** 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.

4.4.6 Tes ketahanan aus paving geopolimer

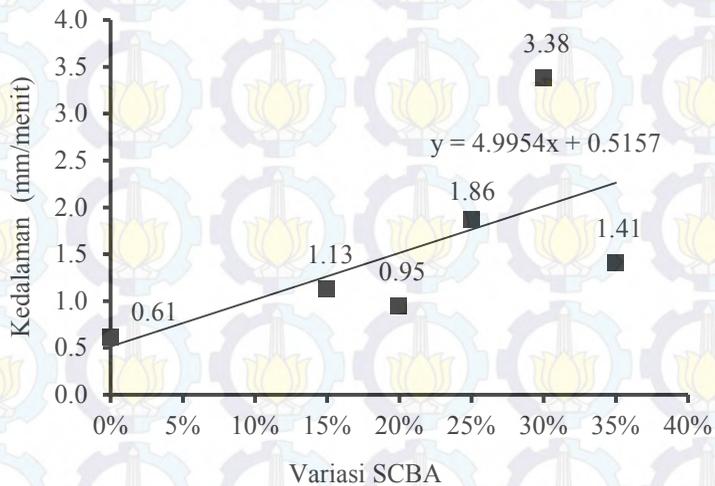
Tes ketahanan aus pada paving geopolimer dilakukan pada umur 28 hari dari setiap variasi campuran penambahan *SCBA* dan pengujian dilakukan di Laboratorium Beton D3 Sipil ITS. Hasil dari tes ketahanan aus paving geopolimer pada masing-masing variasi dapat dilihat pada **Tabel 4.29**, dan grafik hubungan ketahanan aus dan penambahan *SCBA* pada tiap variasi dapat dilihat pada **Gambar 4.29**.

Tabel 4.29 Hasil Ketahanan Aus Paving Geopolimer

Kode Benda Uji	Berat Benda Uji (kg)	Hasil	Rata - rata
		mm/menit	mm/menit
PV0- 1	3.036	0.439	0.61
PV0 - 2	3.113	0.550	
PV0 - 3	3.133	0.854	
PV15 - 1	3.000	1.064	1.13
PV15 - 2	3.038	0.955	
PV15 - 3	2.963	1.365	
PV20 - 1	3.010	0.851	0.95
PV20 - 2	3.009	0.743	
PV20 - 3	2.985	1.245	

Lanjutan Tabel 4.29

Kode Benda Uji	Berat Benda Uji (kg)	Hasil	Rata - rata
		mm/menit	mm/menit
PV25 - 1	3.010	1.229	
PV25 - 2	3.062	0.689	1.86
PV25 - 3	3.050	3.669	
PV30 - 1	2.912	6.786	
PV30 - 2	3.037	2.149	3.38
PV30 - 3	3.030	1.212	
PV35 - 1	3.068	1.636	
PV35 - 2	3.052	0.963	1.41
PV35 - 3	3.055	1.617	



Gambar 4.29 Grafik Ketahanan Aus Paving Geopolimer Umur 28 Hari

Dari **Tabel 4.29** dan **Gambar 4.29** 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 yaitu hanya sebesar 3.76% sehingga tidak banyak terbentuk polysialate yang menyebabkan ikatan pada paving geopolimer tidak baik.

4.4.7 Pengaruh berat volume, penyerapan air, dan ketahanan aus terhadap kuat tekan paving geopolimer

Dari seluruh percobaan yang dilakukan akan dianalisa pengaruh dari besarnya berat volume, penyerapan air, dan ketahanan aus terhadap kuat tekan paving geopolimer yang berumur 28 hari. Pengaruh tersebut dapat dilihat dari **Tabel 4.30** berikut.

Tabel 4.30 Hasil Berat Volume, Kuat Tekan, Penyerapan Air, dan Ketahanan Aus Paving Geopolimer

Kode Benda Uji	Rata-rata Berat Volume (Kg/m ³)	Rata-rata Kuat Tekan Umur 28 Hari (MPa)	Rata-rata Penyerapan Air (%)	Rata-rata Ketahanan Aus (mm/menit)
PV-0	1920.83	9.647	8.68	0.61
PV-15	1913.54	7.968	9.34	1.13
PV-20	1910.42	6.714	9.74	0.95
PV-25	1903.13	6.174	9.90	1.86
PV-30	1898.96	5.981	10.37	3.38
PV-35	1871.88	5.730	10.59	1.41

Dari **Tabel 4.30** dapat disimpulkan bahwa semakin besar persentase penambahan *SCBA* dalam paving geopolimer, maka rata-rata berat volume semakin kecil, rata-rata kuat tekan pada

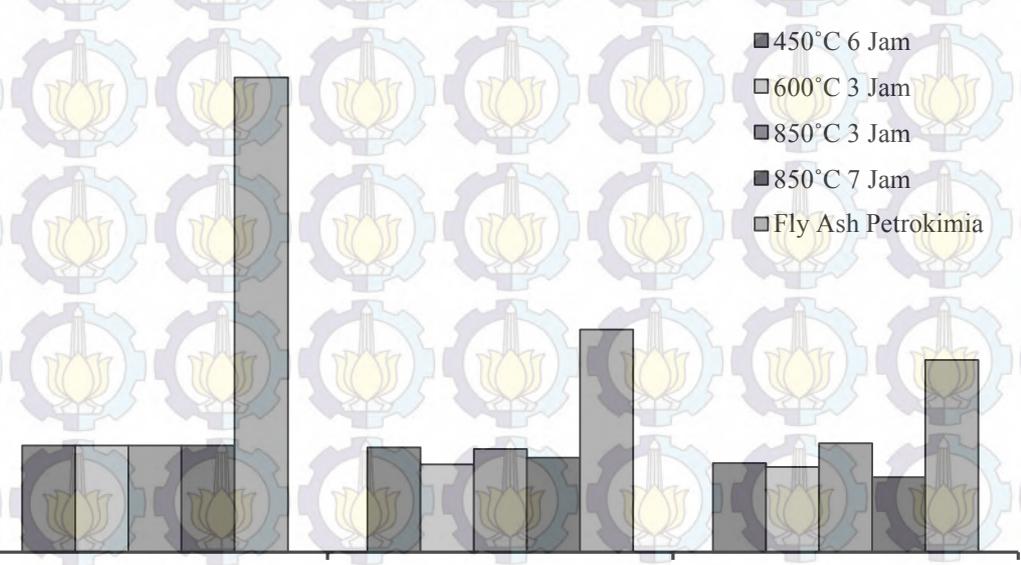
umur 28 hari menurun, rata-rata penyerapan air yang tinggi, dan rata-rata ketahanan aus semakin rendah. Penambahan *SCBA* yang semakin banyak menurunkan mutu dan kualitas paving.

4.4.8 Pengaruh suhu kalsinasi *SCBA* 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 yaitu 14 hari.

Berikut ini adalah hasil kuat tekan ditunjukkan pada **Gambar 4.30**.

Kuat Tekan (MPa)

35
30
25
20
15
10
5
0

0%

15%

20%

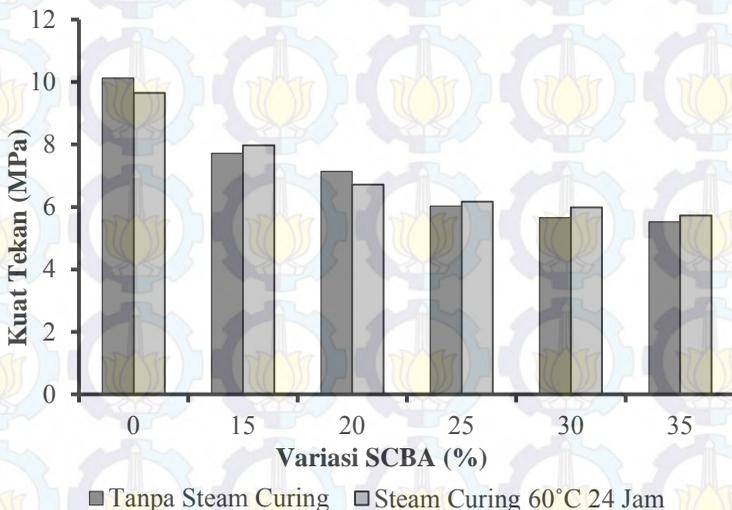
Variasi SCBA

Gambar 4.30 Grafik Pengaruh Suhu Kalsinasi SCBA dan Penggunaan *Fly ash* Terhadap Kuat Tekan Paving Umur 14 Hari

Dari **Gambar 4.30** 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

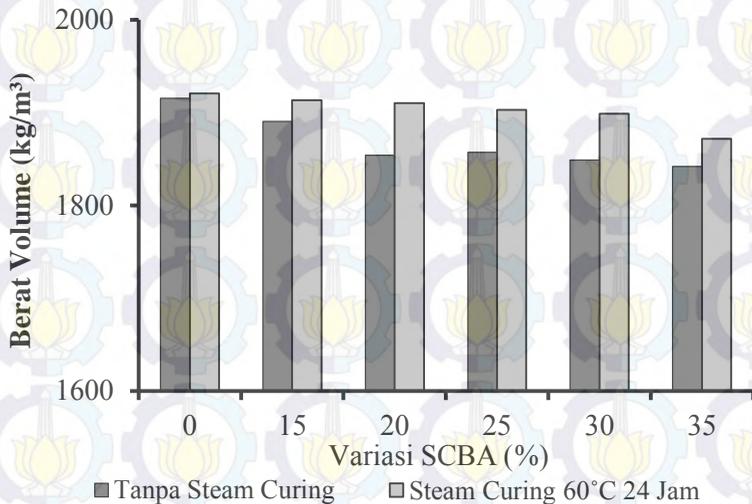
4.4.9 Pengaruh *steam curing* terhadap berat volume, kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus paving geopolimer

Sesuai dari pengujian yang dilakukan oleh Prasandha (2015) tentang paving geopolimer dengan *bottom ash* dan *SCBA* tanpa dilakukan proses *steam curing*, dilakukan perbandingan berat volume, kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus terhadap paving yang di-*steam*. Hasil perbandingan ditunjukkan pada **Gambar 4.31** sampai **Gambar 4.34**



Gambar 4.31 Grafik Pengaruh *Steam Curing* Terhadap Kuat Tekan Paving Umur 28 Hari

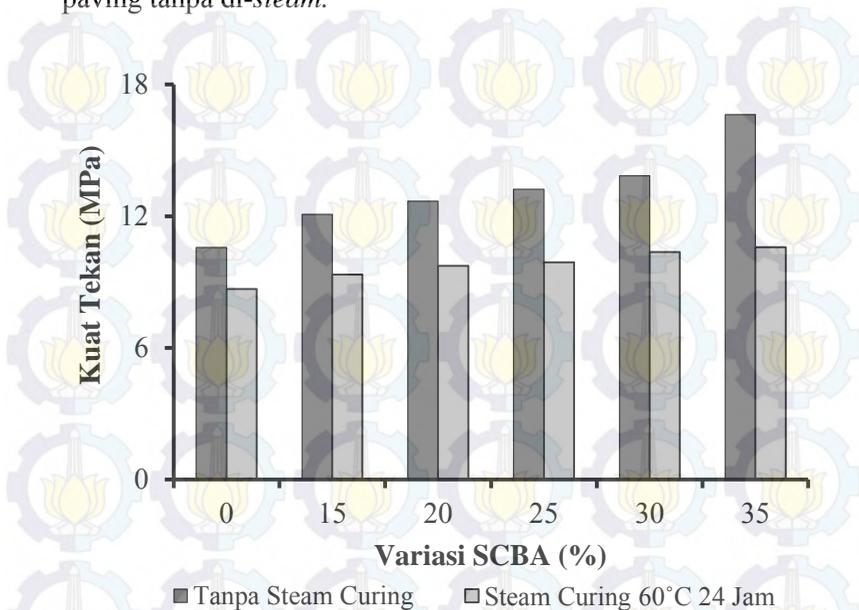
Dari **Gambar 4.31** dapat dilihat bahwa semakin besar jumlah penambahan *SCBA*, kuat tekan paving geopolimer baik yang di-*steam* maupun yang tidak di-*steam* mengalami penurunan. Untuk kuat tekan tertinggi terdapat pada campuran paving dengan persentase 0% *SCBA* tanpa *steam curing* yaitu sebesar 10.13 MPa, sedangkan paving dengan *steam curing* memiliki kuat tekan sebesar 9.65 MPa. Jika dianalisa perbedaan kuat tekan paving geopolimer dengan atau tanpa di-*curing* memiliki perbedaan yang tidak besar.



Gambar 4.32 Grafik Pengaruh Sream *Curing* Terhadap Berat Volume Paving Umur 28 Hari

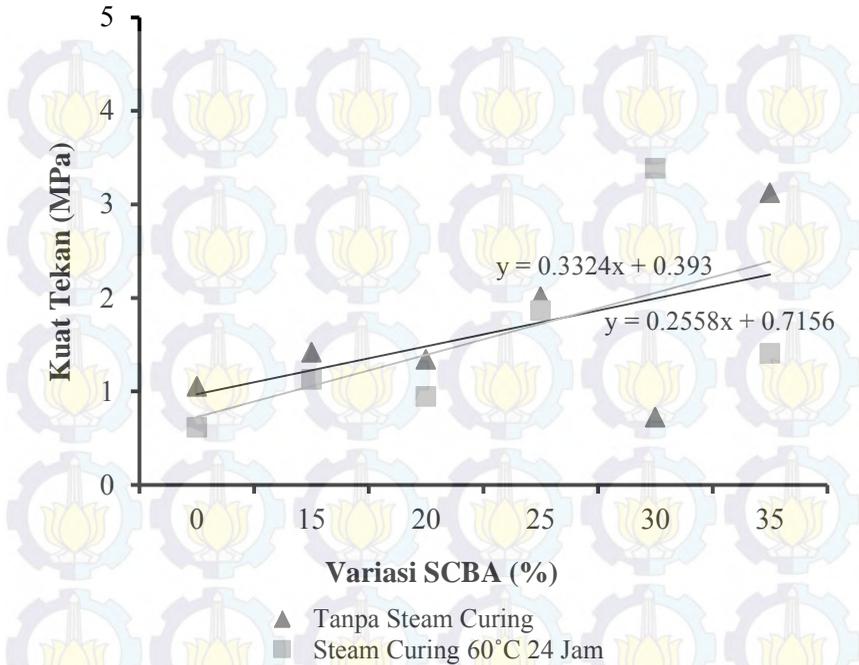
Dari **Gambar 4.32** dapat dilihat bahwa semakin besar jumlah penambahan *SCBA*, berat volume paving geopolimer baik yang di-*steam* maupun yang tidak di-*steam* mengalami penurunan. Jika dilihat berat volume paving geopolimer yang di-*steam* memiliki berat volume yang lebih tinggi dibandingkan paving tanpa *steam*, hal ini dikarenakan air yang terdapat di dalam paving yang di-

steam lebih banyak dibandingkan air yang masuk ke dalam paving tanpa di-*steam*.



Gambar 4.33 Grafik Pengaruh Sream *Curing* Terhadap Resapan Air Paving Umur 28 Hari

Dari **Gambar 4.33** dapat dilihat bahwa semakin besar jumlah penambahan *SCBA*, resapan air paving geopolimer baik yang di-*steam* maupun yang tidak di-*steam* mengalami peningkatan. Resapan air pada paving tanpa *steam* lebih tinggi jika dibandingkan paving yang di-*steam*. Ini diakibatkan paving tanpa *steam* memiliki kondisi yang lebih kering dibandingkan dengan di-*steam*.



Gambar 4.34 Grafik Pengaruh Sream *Curing* Terhadap Ketahanan Aus Paving Umur 28 Hari

Dari **Gambar 4.34** dapat dilihat bahwa semakin besar jumlah penambahan SCBA, ketahanan aus paving geopolimer baik yang di-*steam* maupun yang tidak di-*steam* cenderung mengalami penurunan, berbanding lurus dengan kuat tekan paving.

4.4.10 Pengaruh alat cetak otomatis dan manual terhadap berat volume dan kuat tekan paving geopolimer

Selain dicetak dengan menggunakan alat cetak paving manual, dilakukan pula pencetakan paving dengan menggunakan mesin cetak otomatis. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh proses pencetakan terhadap kuat tekan paving.. Proses

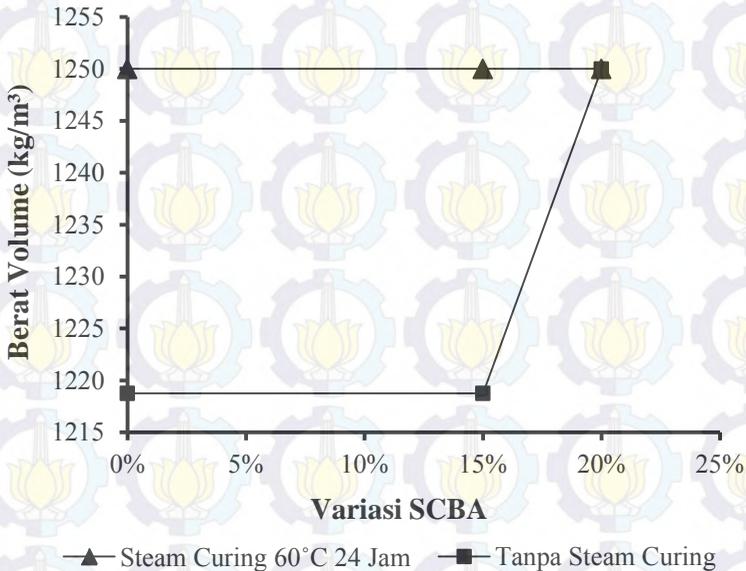
pencetakan dilakukan di Workshop Paving D3 Teknik Sipil ITS Manyar. Proses pencetakan dilakukan untuk paving geopolimer dengan variasi campuran SCBA terhadap *bottom ash* sebesar 0%, 15%, dan 20%.. Dimensi paving yang direncanakan sebesar 20cm x 10cm x 6cm. Selain itu dibandingkan juga kuat tekan paving yang di-*steam* dengan paving tanpa di-*steam curing*..



Gambar 4.35 (a) Alat cetak paving manual, (b) Mesin cetak paving otomatis

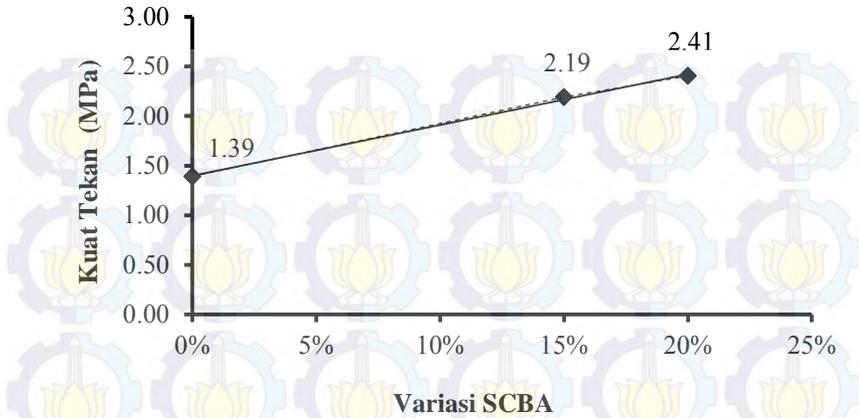
Dari proses pencetakan paving dengan menggunakan mesin cetak otomatis didapatkan bentuk yang lebih presisi dan tebal paving yang sesuai dengan rencana mix design yaitu sebesar 6cm. Selain itu tingkat produktivitas juga meningkat bila dibandingkan dengan alat cetak manual. Sebagai gambaran, untuk membuat 8 buah paving dengan alat cetak manual dibutuhkan waktu sekitar 30 menit, sedangkan dengan mesin otomatis hanya dibutuhkan waktu 5 menit.

Pada **Gambar 4.35** dijelaskan hasil berat volume paving geopolimer dan pada **Gambar 4.36** dijelaskan kuat tekan paving geopolimer umur 28 hari yang dicetak dengan alat cetak otomatis dan di-*steam* pada suhu 60°C selama 24 jam.



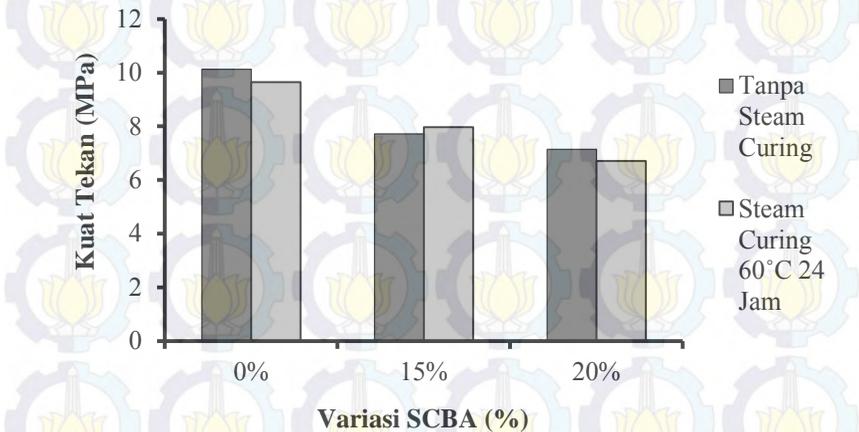
Gambar 4.36 Grafik Berat Volume Paving Umur 28 Hari

Dari hasil pengujian rata-rata berat volume paving dengan menggunakan mesin, didapat bahwa berat volume paving yang di-*steam* untuk persentase SCBA 0% dan 15% lebih tinggi bila dibandingkan dengan paving yang tidak di-*steam*. Sedangkan untuk paving dengan persentase SCBA 20% memiliki berat volume yang sama antara paving yang di-*steam* maupun yang tidak.

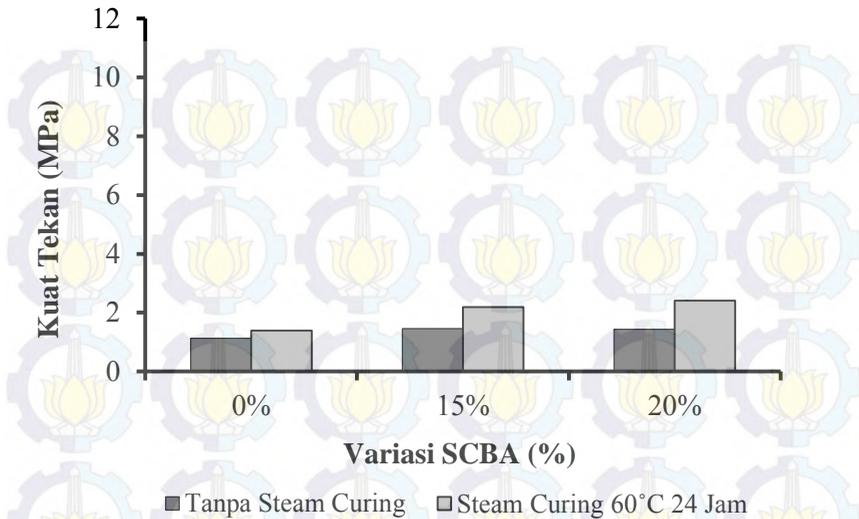


Gambar 4.37 Grafik Kuat Tekan Paving Umur 28 Hari

Selain itu pada **Gambar 4.38** dan **Gambar 4.39** dijelaskan perbandingan kuat tekan paving geopolimer yang di-steam maupun yang tidak, baik yang dicetak dengan alat cetak otomatis maupun yang dicetak dengan alat cetak manual.

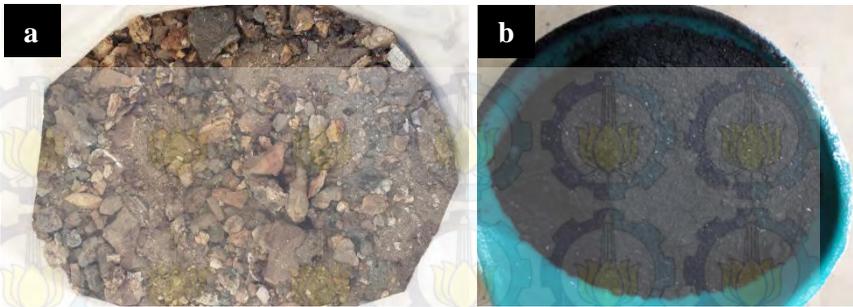


Gambar 4.38 Grafik Kuat Tekan Paving Umur 28 Hari Dengan Alat Cetak Manual



Gambar 4.39 Grafik Kuat Tekan Paving Umur 28 Hari Dengan Alat Cetak Otomatis

Dari hasil pengujian uji tekan paving dengan menggunakan mesin didapat bahwa kuat tekan paving semakin meningkat, dan paving yang di-*steam curing* memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan paving yang tidak di-*steam*. Hasil ini terbalik bila dibandingkan dengan hasil kuat tekan dengan alat press manual dimana kuat tekan paving yang di-*steam* lebih rendah dibandingkan yang tidak, hal ini diakibatkan material *bottom ash* yang digunakan berbeda. Dilihat dari tren kuat tekan paving semakin meningkat, ini sesuai dengan hasil uji reaktivitas dimana penambahan *SCBA* meningkatkan reaktivitas pada campuran. Pada **Gambar 4.40** dapat dilihat perbedaan antara *bottom ash* saat pertama kali diambil dari PT. Kasmaji Inti Utama dengan *bottom ash* saat terakhir kali diambil.



Gambar 4.40. (a) *Bottom ash* berwarna putih (*bottom ash* lama), (b) *Bottom ash* berwarna hitam namun tidak mengandung ter (*bottom ash* baru)

4.5 Kesesuaian Paving Geopolimer dengan SNI 03-0691-1996 tentang Bata Beton (*Paving Block*) dan SNI 03-0349-1989 tentang Pasangan Dinding (*Batako*)

Menurut SNI 03-0691-1996, bata beton (*paving block*) dibedakan menurut tingkat mutunya yaitu :

1. Bata beton mutu A : untuk jalan
2. Bata beton mutu B : untuk peralatan parkir
3. Bata beton mutu C : untuk pejalan kaki
4. Bata beton mutu D : untuk taman dan penggunaan lain

Bata beton (*paving block*) harus memenuhi syarat-syarat fisik seperti pada **Tabel 4.31** berikut.

Tabel 4.31 Syarat Fisik Bata Beton

Mutu	Kuat Tekan (Mpa)		Ketahanan aus (mm/menit)		Penyerapan air rata - rata maks.
	Rata - rata	Min.	Rata - rata	Min.	(%)
A	40	35	0,090	0,103	3
B	20	17	0,130	0,149	6
C	15	12,5	0,160	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

Tabel 4.32 Klasifikasi Paving Geopolimer Berdasarkan SNI 03-0691-1996

Kode Benda Uji	Rata-rata Berat	Rata-rata Kuat Tekan	Rata-rata Penyerapan Air	Rata-rata Ketahanan Aus	Klasifikasi Mutu Sesuai SNI 03-0691-1996
	Volume	(MPa)	(%)	(mm/menit)	
PV-0	1920.83	9.647	8.68	0.61	Tidak Memenuhi Syarat
PV-15	1913.54	7.968	9.34	1.13	Tidak Memenuhi Syarat
PV-20	1910.42	6.714	9.74	0.95	Tidak Memenuhi Syarat
PV-25	1903.13	6.174	9.90	1.86	Tidak Memenuhi Syarat
PV-30	1898.96	5.981	10.37	3.38	Tidak Memenuhi Syarat
PV-35	1871.88	5.730	10.59	1.41	Tidak Memenuhi Syarat

Dari **Tabel 4.32** di atas dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan *SCBA* dalam paving geopolimer akan menurunkan kuat tekan, ketahanan aus, dan meningkatkan penyerapan air sehingga dapat menurunkan mutu geopolimer.

Menurut SNI 03-0349-1989, bata beton pejal maupun berlubang untuk pasangan dinding dibedakan menurut tingkatan mutunya, yaitu :

1. Tingkat mutu I
2. Tingkat mutu II
3. Tingkat mutu III
4. Tingkat mutu IV

Bata beton untuk pasangan dinding harus memenuhi syarat-syarat fisik seperti pada **Tabel 4.33** berikut

Tabel 4.33 Syarat Fisik Bata Beton

Syarat Fisik	Satuan	Tingkat Mutu Bata Beton Pejal				Tingkat Mutu Bata Beton Berlubang			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
Kuat Tekan Bruto Rata-rata Minimum	Mpa	10	7	4	2.5	7	5	3.5	2
Kuat Tekan Bruto Masing-masing Benda Uji Minimum	MPa	9	6.5	3.5	2.1	6.5	4.5	3	1.7
Penyerapan Air Rata-rata Maksimum	%	25	35	-	-	25	35	-	-

Berdasarkan persyaratan di atas mortar geopolimer dapat diklasifikasikan dalam mutu sebagai berikut :

Tabel 4.34 Klasifikasi Bata Beton Berdasarkan SNI 03- 0349-1989

Kode Benda Uji	Kuat Tekan Umur 28 Hari (MPa)	Rata-rata Kuat Tekan Umur 28 Hari	Rata-rata Penyerapan Air	Kesesuaian Mutu SNI 03-0349-1989
	Rata-rata	Minimum	(%)	
PV-0	9.647	9.38	8.68	II
PV-15	7.968	7.58	9.34	II
PV-20	6.714	6.31	9.74	III
PV-25	6.174	5.73	9.90	III
PV-30	5.981	5.61	10.37	III
PV-35	5.730	5.32	10.59	III

Dari **Tabel 4.34** di atas dapat disimpulkan bahwa paving dengan 0% dan 15% *SCBA* diklasifikasikan kedalam tingkat mutu II, sedangkan untuk paving dengan penambahan *SCBA* sebesar 20%, 25% 30% dan 35% diklasifikasikan kedalam tingkat mutu III. Semakin besar penambahan jumlah *SCBA* kedalam campuran, mutu bata beton semakin rendah.

4.6 Analisa Silika Reaktif *SCBA* dan Uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*)

Penambahan material *SCBA* (*Sugar Cane Bagasse Ash*) bertujuan untuk menambahkan senyawa Si di dalam campuran paving geopolimer karena senyawa Si yang terkandung didalam material bottom ash rendah. Pengujian persentase SiO_2 reaktif dilakukan di laboratorium TekMIRA. Kandungan senyawa Si bebas dan reaktif pada material *SCBA* dibandingkan dengan material lain dapat dilihat pada **Tabel 4.35** berikut.

Tabel 4.35. Persentase SiO_2 Reaktif

Material	Persentase (%)		
	SiO_2 Total	SiO_2 Bebas	SiO_2 Reaktif
Metakaolin	49.5	0.67	48.8
Lusi (Lumpur Sdoarjo) Bakar	53.0	10.29	42.7
Fly Ash Kelas C (Semen Gresik)	35.1	5.73	29.4
Fly Ash Kelas F (Petrokimia)	53.4	18.75	33.7
<i>SCBA</i> Kalsinasi 500°C 5 jam	69.6	6.71	62.9
<i>SCBA</i> Kalsinasi 850°C 7 jam	80.0	4.78	75.2

Dari **Tabel 4.35** di atas dapat disimpulkan bahwa persentase SiO_2 reaktif tertinggi terdapat pada *SCBA* yang dikalsinasi pada suhu 850°C selama 7 jam. Kadar SiO_2 reaktif yang tinggi tidak diimbangi dengan kadar Al pada *SCBA* yang

hanya sebesar 3.76%. Sehingga tingginya kadar Si tidak dapat meningkatkan kualitas paving geopolimer. Hal ini dikarenakan rendahnya ikatan antar partikel untuk membentuk senyawa polysialate dalam adukan paving geopolimer, karena dalam proses geopolimerisasi dibutuhkan senyawa Si dan Al yang cukup.

Selain analisa SiO₂ reaktif dilakukan pula uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*) pengujian ini dilakukan karena di beberapa negara, *bottom ash* dan *fly ash* termasuk dalam limbah padat bahan berbahaya dan beracun (B3) yang memerlukan pengelolaan khusus. TCLP dilakukan untuk mengetahui kandungan ekstraksi logam berat pada limbah *bottom ash* dan *fly ash*. Pengujian TCLP dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Hasil pengujian dijelaskan pada **Tabel 4.36**.

Tabel 4.36. Hasil Uji 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 **Tabel 4.36** di atas dapat disimpulkan bahwa baik *fly ash*, *bottom ash*, maupun paving geopolimer yang di-*steam* maupun yang tidak di-*steam* memiliki kadar Cr dan Zn dibawah baku mutu yang ditetapkan oleh PP. RI No. 85 tahun 1999.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM C128. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. Philadelphia, PA. 1993.

ASTM C192 – 90a. Standard Test for Making and Curing Concrete Test Speciment in The Laboratory. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials. 2013.

ASTM C29. Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials. 1991.

ASTM C33. Standard Specification for Concrete Aggregates. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials. 2013.

ASTM C39/C39M. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials . 2001

ASTM C40. Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials. 1992.

ASTM C556. Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials. 1989.

ASTM C593. Standard Specification for Fly Ash and Other Pozzolans for Use With Lime. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials. 1995.

ASTM C618. Standard Spesification for Coal Ash and Raw of Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete.

Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials. 2013

Belderman, Andre. et al ., 2013. The Rate and Mechanism of Deep Sea Glauconite Formation at The Ivory Coast-Ghana Marginal Ridge. GeoScienceWorld. 2013
<URL:<http://ccm.geoscienceworld.org/content/61/3/258/F4.expansion.html>>

Bumjoo, Kim., Prezzi, Monica., dan Salgado, Rodrigo. “Geotechnical Properties of Fly and Bottom Ash Mixtures for Use in Highway Embankment.” *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE*, 2005: 914 - 924.

Davidovits, Joseph. “Properties of Geopolymer Cement.” *Geopolymer Institute*, Saint Quentin, France, 1994

Dos Santos, Cassiano Rossi., do Amaral Filho, Juarez Ramos., Tubino, Rejane Maria Candiota., Schneider, Ivo Andre Homrich. “Use of Coal Waste as Fine Aggregates in Concrete Paving Blocks.” *Scientific Research Geomaterials Journal*, 2013: 54 - 59

Ekaputri, Januarti Jaya., dan Triwulan. “Sodium sebagai Aktivator Fly Ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer.” *Jurnal Teknik Sipil volume 20 No. 1*, 2013: 1 - 10.

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*, 2007 ISSN 0985-814X: 124 - 134.

Freddya, Ahmad., Triwulan., dan Ekaputri, Januarti Jaya. *Paving Geopolimer Berbahan Dasar Bottom Ash dan Sugar Cane*

Bagasse Ash ISCBA). Tugas Akhir, Surabaya: Jurusan Teknik Sipil, FTSP - ITS, 2015

Hannington, Mark., Jonasson, Ian R., Submarine Gold Mineralization Near Lihir Island, New Ireland Fore-Arc, Papua New Guinea. *Economic Geology*. 2002

<URL:<http://economicgeology.org/content/97/8/1795/F7.expansion.html>>

Hardjito, D., Wallah, S., Sumajouw, M., Rangan, B. V. "Fly Ash Based Geopolymer Concrete." *Australian Journal of Structural Engineering*, 2005: 77 - 85.

Lloyd, N., dan Rangan, B. V. "Geopolymer Concrete: A Review of Development and Opportunities." *35th Confrence on Our World in Concrete Materials and Technologies: "The Challenge of Low Carbon Age"*. Singapore: CI-Premier Pte Ltd, 2010.

Method 1311, *Toxicity Characteristic Leaching Prochedure (TCLP)*. U.S Environmental Protection Agency. 2011

Nanda, Rhadikesh P., Das Amya K., dan Moharana. "Stone Crusher Dust As A Fine Agregate In Concrete For Paving Block." *Internatioanal Journal of Civil and Structural Engineering volume 1 No. 3*, 2010 : 1 - 10.

Patandung, Petrus., Moniharapon, A., dan Syarif, Syamsiwarni Reny. "Penelitian Pemanfatan Limbah Serat Sagu Untuk Bata Beton Paving Block." *Jurnal Penelitian Teknologi Industri volume. 3 No. 1*, 2011 ISSN No. 2085 - 590X: 13 - 19.

Rukzon, Sumrerng., dan Chindapasirt, Prinya. "Strength and Porosity of Baggase Ash-baed Geopolymer Mortar." *Journal*

of Applied Sciences volume. 6 No. 14, 2014 ISSN No. 1812 - 5654: 586 - 591

Sai, Ramai., Amir, Juna., Prakash, D. V. A. K, dkk. “An Experimental Study on Synergic Effect of Sugar Cane Baggase Ash with Rice Husk Ash on Self Compaction Concrete.” *Advance in Computer Science and Its Application (ACSA) volume. 1 No. 2, 2012 ISSN 2166 - 2944: 164 - 170*

Sarker, Prabir. “Making Geopolymer Concrete using Sarawak Fly Ash.” *The First International Conference of Asian Concrete Federation*. Thailand: Asian Concrete Federation, October 2004.

Sarker, Prabir. “A Constitutive Model For Fly Ash Based Geopolymer Concrete.” *Architecture Civil Engineering Environment*. Perth: Department of Civil Engineering, Curtin University of Technology, 2008. 113 - 120.

Satpute, Manesh B., Wakchaure, Madhukar R., dan Patankar, Subhash V. “Effect of Duration and Temperature of Curing on Compressive Strength of Geopolymer Concrete.” *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) volume. 1 No. 5, 2012 ISSN No. 2277-3754: 152- 155*

Sibuea, Arif Frasan., 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, Medan: Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara , 2005.

SNI 03-0349. Bata Beton Untuk Pasangan Dinding. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional. 1989

SNI 03-0691. Bata Beton (*Paving Block*). Jakarta : Badan Standarisasi Nasional. 1996.

SNI 03-06815. Mengevaluasi Uji Kekuatan Beton. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional. 2002.

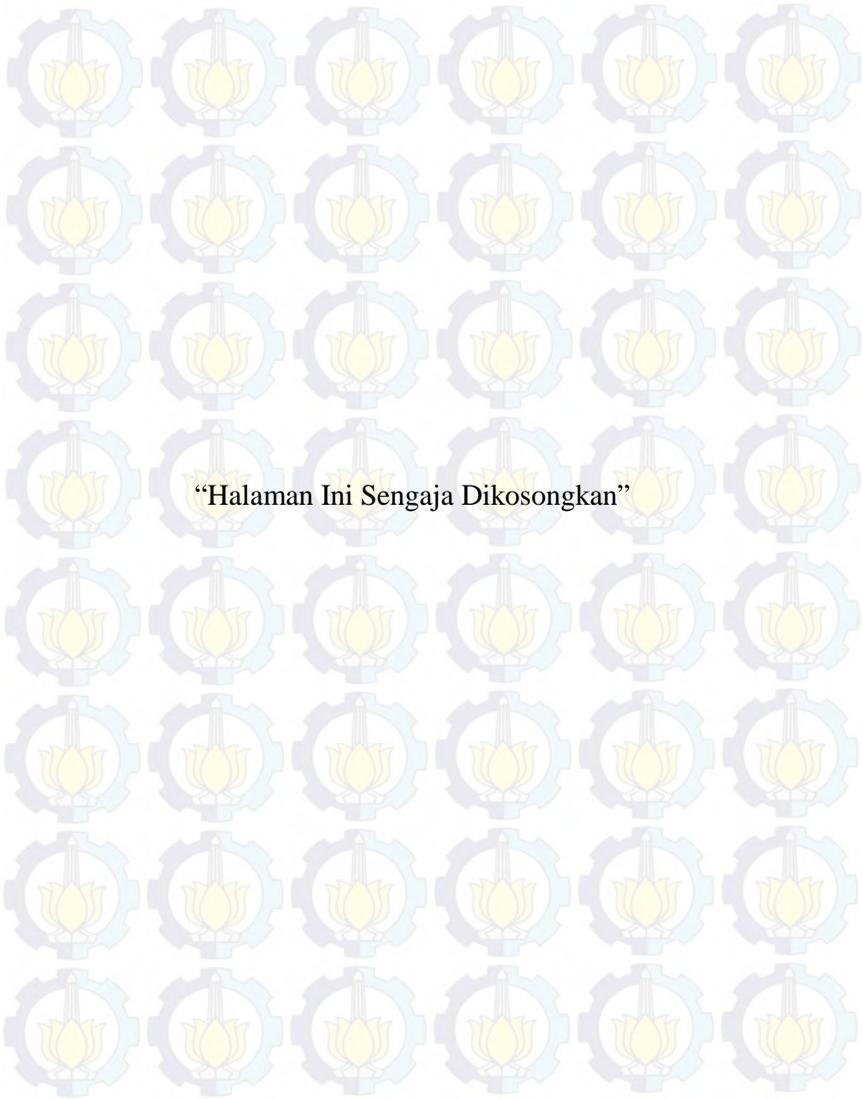
Srinivasan, R., dan Sathiya, K. "Experimental Study on Baggase Ash in Concrete." *International Journal for Service Learning in Engineering* volume. 5 No. 2, 2010 ISSN 1555-9033: 60 - 66

Suseno, Hendro., Prastumi., Susanti, Lilya., dkk, "Pengaruh Penggunaan *Bottom Ash* Sbagai Pengganti Tanah Liat Pada Campuran Bata Terhadap Kuat Tekan Bata." *Jurnal Rekayasa Sipil*, volume 6 No 3, 2012 ISSN 1978-5658: 272 - 281.

Valentino, Edwin., Christanto, David., Hardjito, Djwantoro., dan Antoni. *Batako Berlubang Geopolimer Berbahan Dasar Lumpur Sidoarjo*. Skripsi, Surabaya: Universitas Kristen Petra, 2013.

Widodo, Selamat., Santosa, Agus., dan Prapto, Pusoko. *Pemanfaatan Limbah Abu Batu Sebagai Bahan Pengisi Dalam Produksi Self-Compacting Concete*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta, 2010.

Wijaya, Yulia Putri., Triwulan., dan Ekaputri, Januarti Jaya. *Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Coal Ash dan SCBA*. Tugas Akhir, Surabaya: Jurusan Teknik Sipil, FTSP - ITS, 2014.



“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain :

1. 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.
2. 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%.
3. Reaktivitas terbesar didapat pada campuran dengan penggunaan *fly ash* kelas C. Penambahan SCBA sebesar 20% yang diyak dengan saringan $200\mu\text{m}$ meningkatkan reaktivitas bila dibandingkan dengan tidak menambahkan SCBA ke dalam campuran.
4. 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.

5. *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.
6. *Paving* geopolimer dengan proses *steam curing* memiliki berat volume, penyerapan air, dan ketahanan aus yang hampir sama dengan paving geopolimer tanpa steam. Jadi proses steam pada paving geopolimer tidak cukup membantu untuk meningkatkan mutu paving.
7. *Bottom ash* yang sudah tercampur ter tidak dapat digunakan kemungkinan ikatan polimer yang tidak baik antar partikel akibat adanya selubung minyak bila diamati dengan SEM. Akibatnya kuat tekan tekan paving pada umur 28 hari dengan penambahan 20% SCBA hanya memiliki kuat tekan sebesar 2.1 MPa.
8. 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.
9. Berdasarkan persyaratan SNI-0349-1989 tentang bata beton pasangan dinding, bata beton geopolimer dengan 0% dan 15% SCBA masuk kedalam mutu II. Untuk bata beton dengan 20%, 25%, 30%, dan 35% SCBA termasuk kedalam mutu III.

10. Paving geopolimer yang dicetak dengan alat cetak otomatis memiliki bentuk yang lebih baik, semakin besar penambahan SCBA kedalam campuran kuat tekan semakin meningkat. Selain itu *steam curing* memberikan efek peningkatan kuat tekan pada paving. Namun dibandingkan dengan menggunakan mesin cetak manual kuat tekan paving justru jauh lebih rendah. Hal ini diakibatkan karena material bottom ash yang digunakan berbeda dengan bottom ash saat pencetakan dengan alat cetak manual.
11. 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.

5.2. Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain :

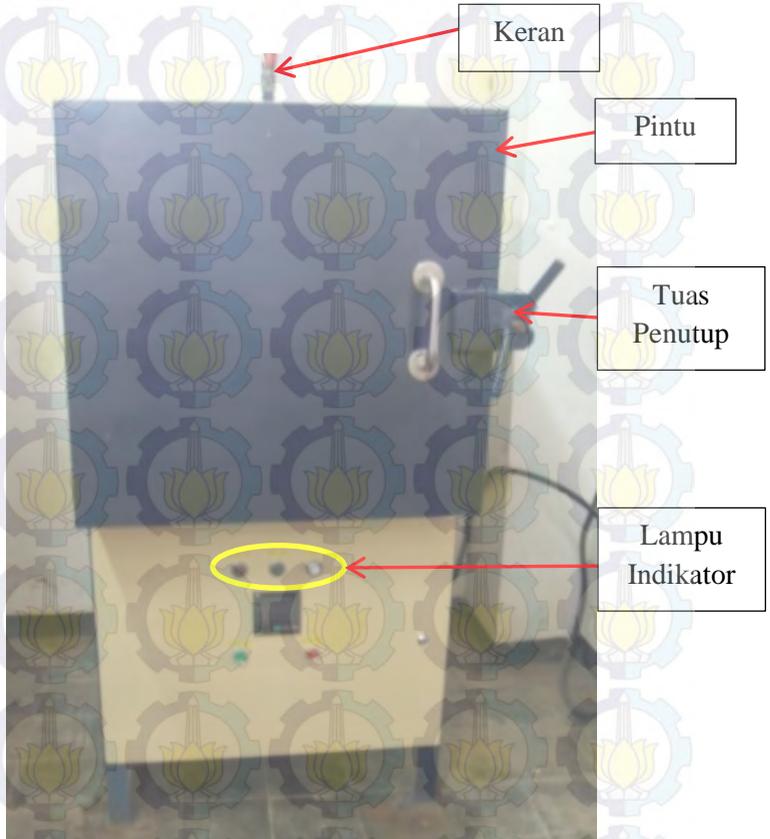
1. Perlu diadakan penelitian selanjutnya dengan pencampuran bottom ash dari sumber lain untuk menambahkan sumber senyawa Al kedalam campuran. Hal ini bertujuan untuk membantu proses polimerisasi didalam campuran.
2. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya pada variasi pembakaran SCBA untuk mengetahui suhu dan waktu pembakaran yang tepat agar reaktivitas SCBA dapat meningkat.
3. Sebaiknya paving dicetak dengan menggunakan alat cetak otomatis untuk menghindari penyimpangan deviasi yang besar dan mempercepat proses kerja.



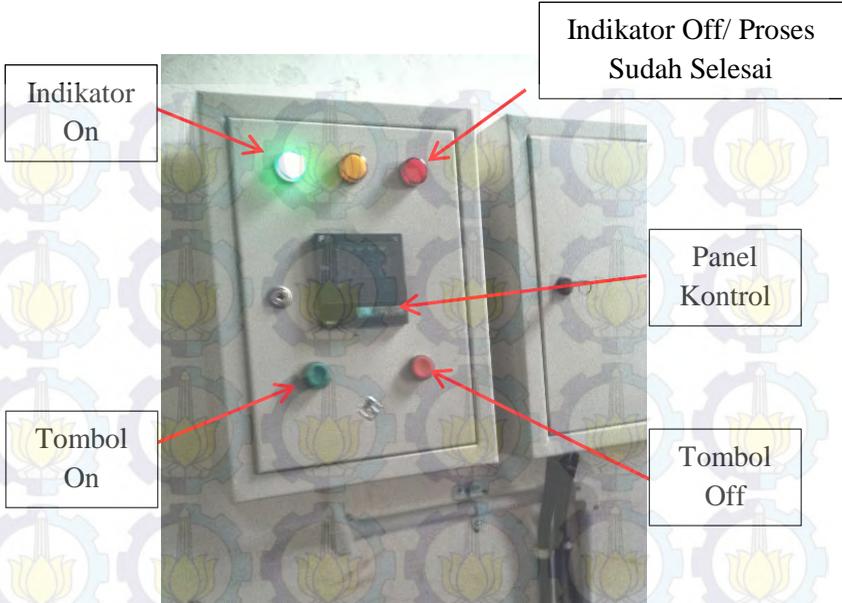
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

L.1 Petunjuk Pemakaian Mesin Furnace



Gambar : Mesin Furnace



Gambar : Alat Kontrol Furnace

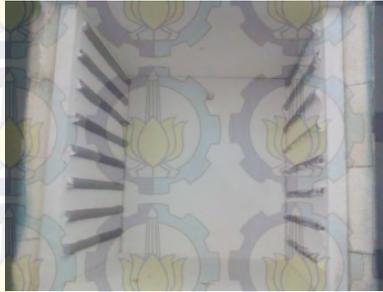


1. Menyalakan mesin furnace

- Buka pintu panel saklar pada mesin furnace yang terletak di kanan mesin.
- Nyalakan mesin dengan mendorong tuas saklar ke atas.
- Tutup kembali pintu panel.

2. Memasukkan material

- a. Buka pintu atas
- b. Masukkan material ke dalam furnace



Gambar : Bagian dalam Furnace

- c. Tutup kembali pintu, kunci sampai rapat

3. Mengatur suhu dan waktu pembakaran

Suhu pembakaran 850°C konstan selama 7 jam. Grafik hubungan antara waktu dan suhu seperti pada gambar berikut

- a. Tekan tombol heat on (warna hijau)



Gambar : Tombol Heat On

- b. Tekan tombol  ± 7 detik sampai muncul tulisan **P** pada panel control



Gambar : Tulisan P

- c. Tekan tombol  sampai muncul tulisan **SO-1** pada panel kontrol
- d. Tekan tombol  kemudian atur suhu dengan menekan tombol  atau  sampai tercapai suhu yang direncanakan (300⁰C)
- e. Tekan tombol 



Gambar : SO-1

- f. Tekan tombol  sampai muncul tulisan **rn1r** pada panel kontrol
- g. Tekan tombol  kemudian atur waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu dengan

menekan tombol  atau  sampai tercapai waktu yang direncanakan (30 menit)

h. Tekan tombol 



Gambar : rn1r

i. Tekan tombol  sampai muncul tulisan **rn1s** pada panel kontrol

j. Tekan tombol  kemudian atur waktu yang dibutuhkan untuk menjaga suhu konstan dengan menekan tombol  atau  sampai tercapai waktu yang direncanakan (35 menit)

k. Tekan tombol 



Gambar : rn1s

l. Tekan tombol  sampai muncul tulisan **SO-2** pada panel kontrol

- m. Tekan tombol  kemudian atur suhu dengan menekan tombol  atau  sampai tercapai suhu yang direncanakan (600⁰C)
- n. Tekan tombol 
- o. Tekan tombol  sampai muncul tulisan **rn2r** pada panel kontrol
- p. Tekan tombol  kemudian atur waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu dengan menekan tombol  atau  sampai tercapai waktu yang direncanakan (40 menit)
- q. Tekan tombol 
- r. Tekan tombol  sampai muncul tulisan **rn2s** pada panel kontrol
- s. Tekan tombol  kemudian atur waktu yang dibutuhkan untuk menjaga suhu konstan dengan menekan tombol  atau  sampai tercapai waktu yang direncanakan (45 menit)
- t. Tekan tombol 
- u. Tekan tombol  sampai muncul tulisan **SO-3** pada panel kontrol
- v. Tekan tombol  kemudian atur suhu dengan menekan tombol  atau  sampai tercapai suhu yang direncanakan (850⁰C)
- w. Tekan tombol 
- x. Tekan tombol  sampai muncul tulisan **rn3r** pada panel kontrol
- y. Tekan tombol  kemudian atur waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu dengan menekan tombol  atau  sampai tercapai waktu yang direncanakan (60 menit)
- z. Tekan tombol 
- aa. Tekan tombol  sampai muncul tulisan **rn3s** pada panel kontrol

- bb. Tekan tombol  kemudian atur waktu yang dibutuhkan untuk menjaga suhu konstan dengan menekan tombol  atau  sampai tercapai waktu yang direncanakan (420 menit)
- cc. Tekan tombol 
- dd. Tekan tombol  ± 4 detik sampai muncul tulisan **srby** pada panel control



Gambar : Srby Off

- ee. Tekan tombol  sampai muncul tulisan **prog** pada panel kontrol
- ff. Tekan tombol  tekan tombol  sampai muncul tulisan **run** pada panel kontrol. Furnace telah beroperasi dan data akan tersimpan. Jika akan menggunakan kembali tanpa merubah waktu dan suhu tinggal mengulang langkah dd-ff.



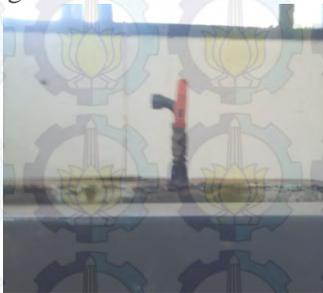
Gambar : Prog Run

4. Tunggu waktu pembakaran selama 630 menit
5. Setelah waktu pembakaran selesai, tekan tombol heat off (warna merah)



Gambar : Tombol Heat Off

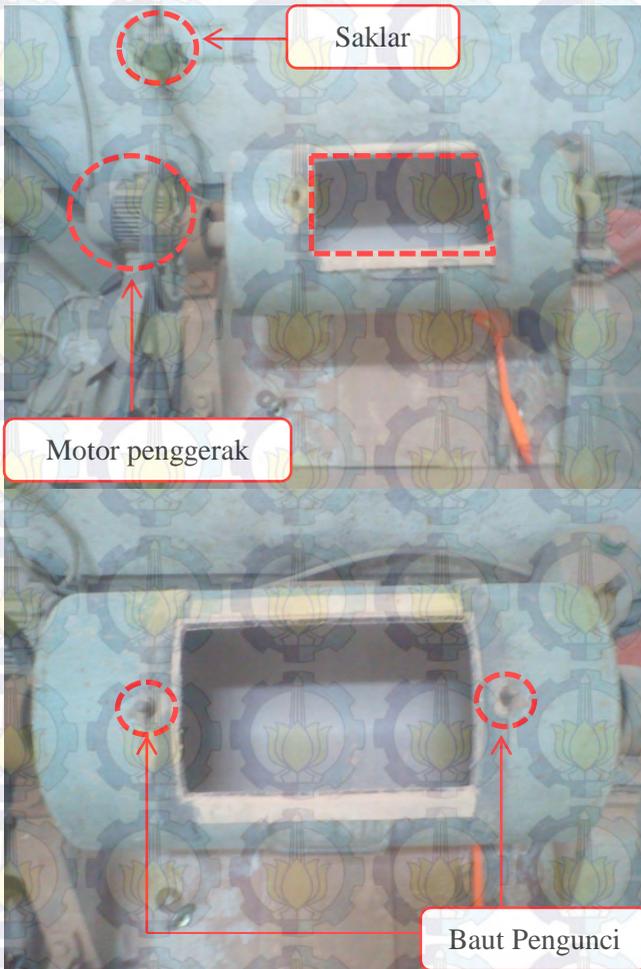
6. Mematikan furnace
 - a. Buka pintu bawah
 - b. Matikan (tekan ke bawah) kedua saklar yang ada di sudut kiri
 - c. Tutup kembali pintu
7. Buka kran bagian atas



Gambar : Kran Furnace

8. Tunggu proses pendinginan \pm 24 jam sampai suhu di dalam furnace sama dengan suhu ruangan.

L.2 Petunjuk Pemakaian Mesin Bond Ballmill



Gambar : Mesin Bond Ball Mill

1. Persiapan material



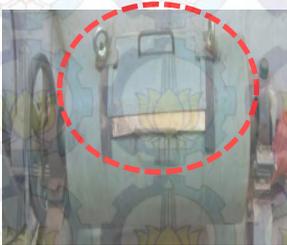
- a. Siapkan material yang ingin dihaluskan dengan *bond ball mill*.
- b. Bersihkan mesin sebelum pemakaian.

2. Memasukkan material

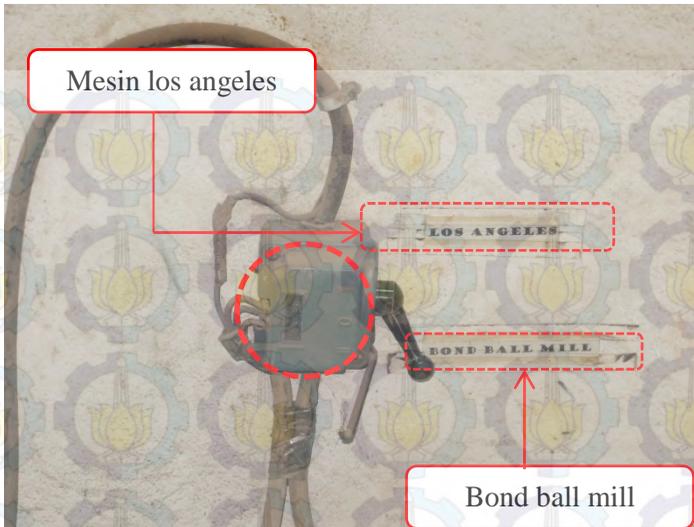


- a. Masukkan material kedalam mesin.
- b. Masukkan bola-bola baja kedalam mesin. Bola-bola baja ini yang akan menghancurkan dan menghaluskan material.

3. Menghidupkan mesin *bond ball mill*



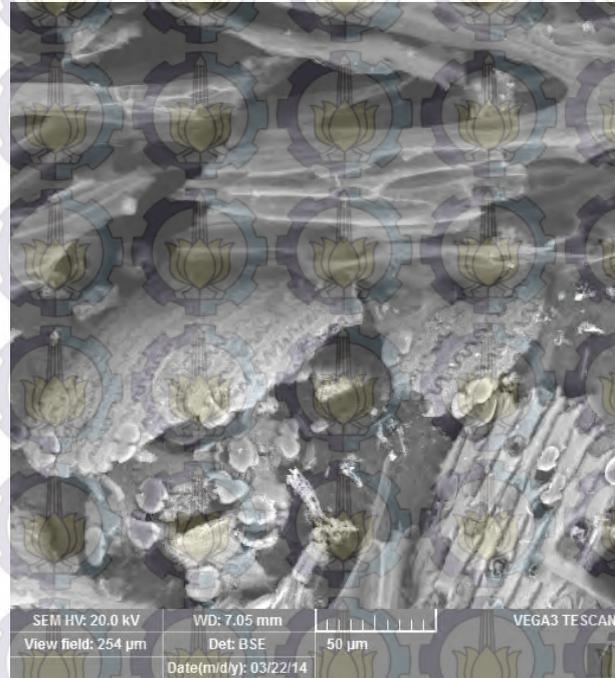
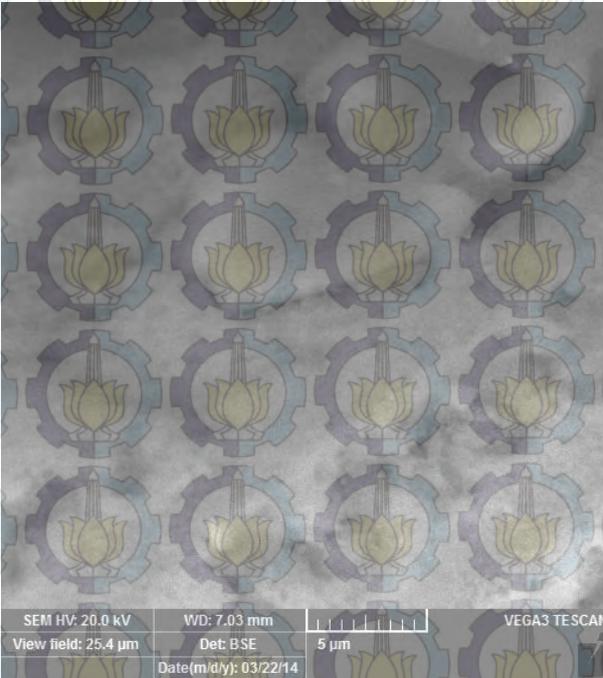
- a. Setelah material dan bola-bola baja dimasukkan kedalam mesin, tutup mesin dengan penutupnya hingga rapat.
- b. Pastikan penutup tidak terbalik dengan menempatkan penutup sesuai tanda yang tertera.
- c. Kencangkan baut pengunci hingga rapat.
- d. Hidupkan mesin dengan memutar saklar kebawah.
- e. Proses penghalusan selama ± 2 jam.



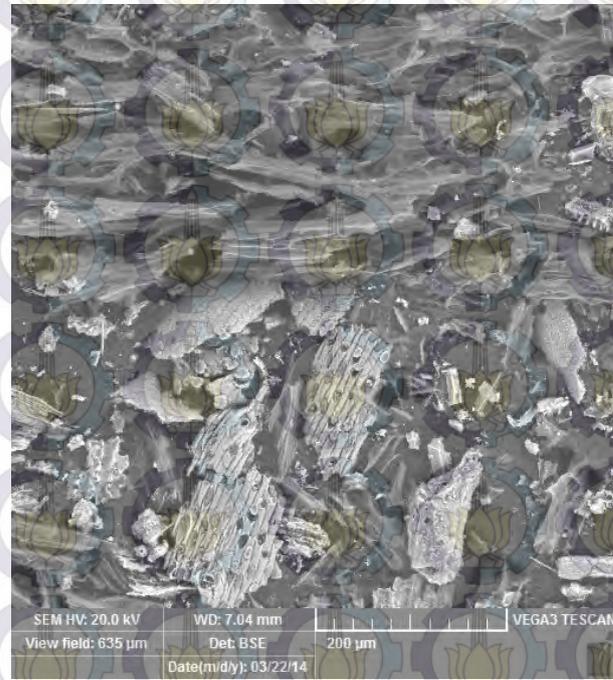
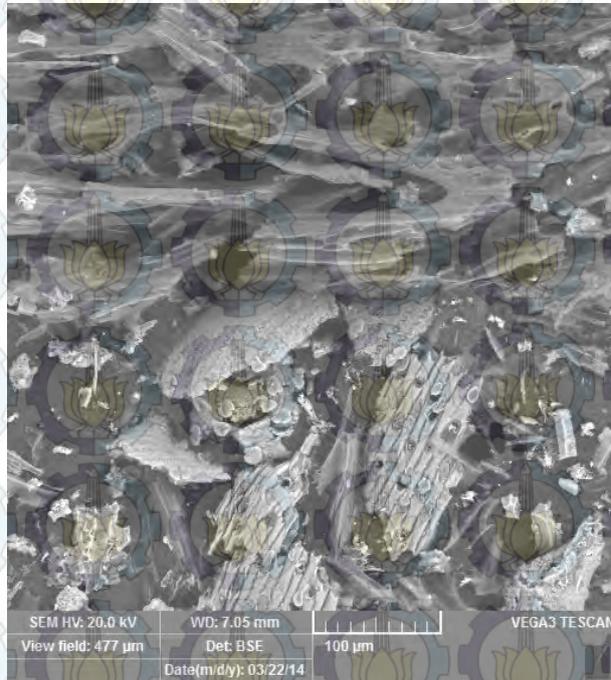
4. Mematikan mesin



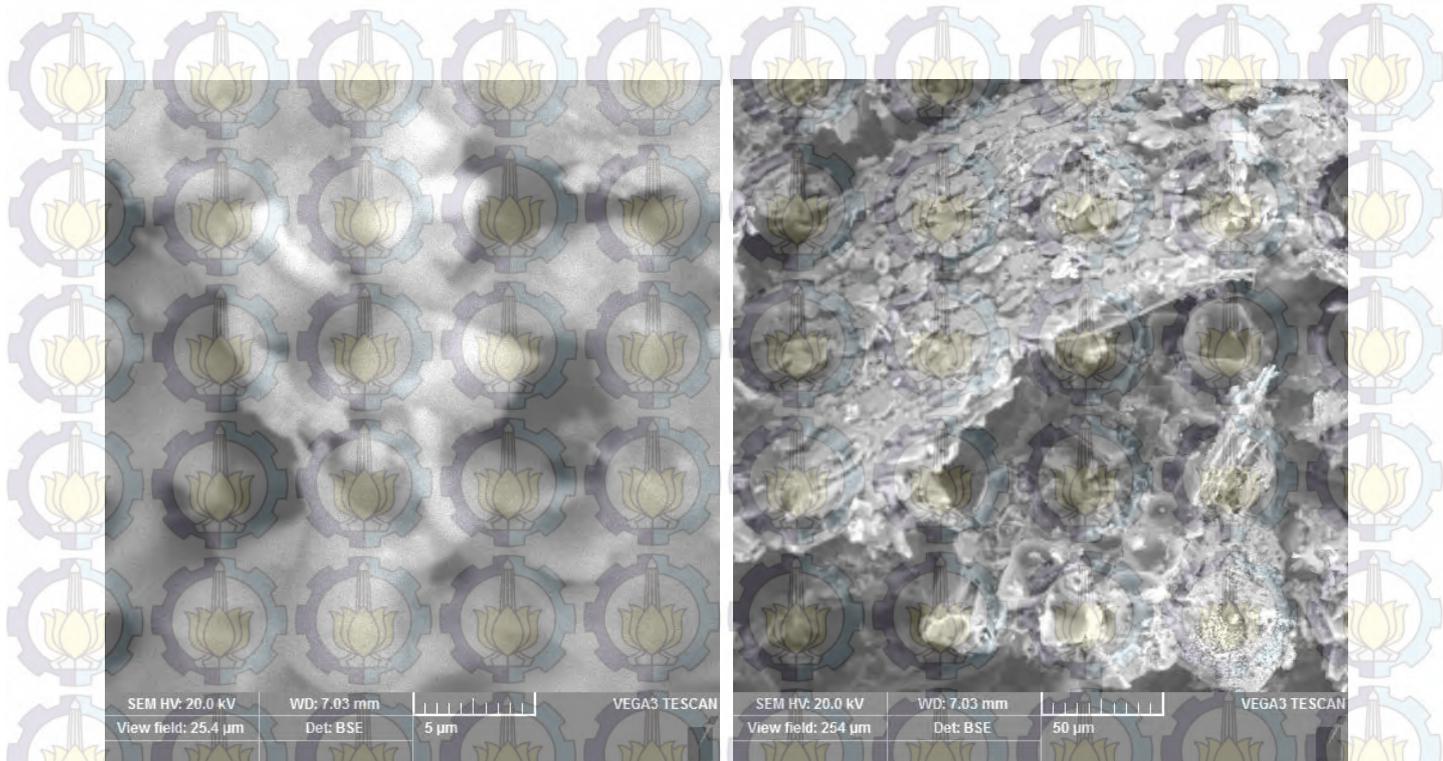
- Setelah ± 2 jam, matikan mesin.
- Buka baut pengunci dan keluarkan bola-bola baja terlebih dahulu.
- Kemudian keluarkan material yang telah halus.
- Tempatkan material pada wadah yang telah disediakan.
- Bersihkan mesin *bond ball mill* dan mesin dapat digunakan untuk proses selanjutnya.



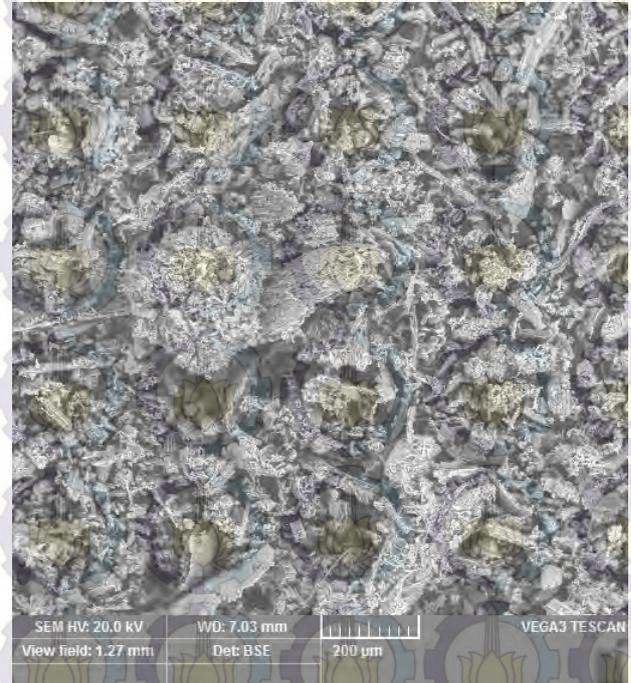
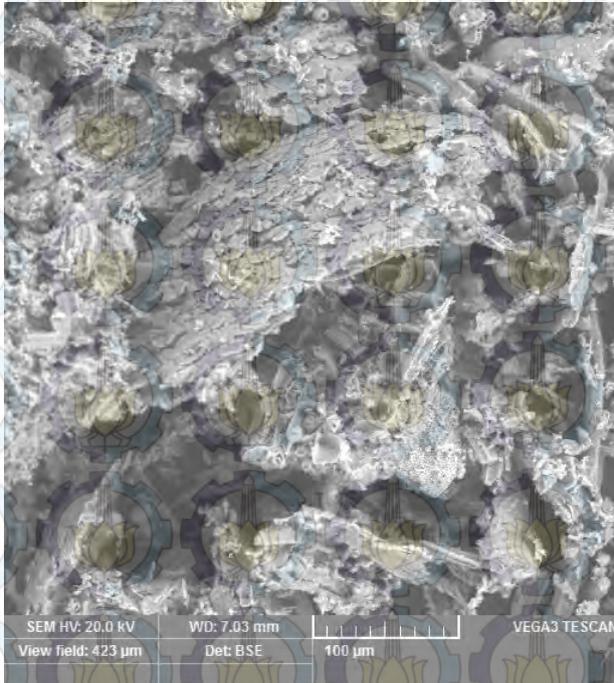
Gambar : SEM SCBA Sebelum Dikalsinasi Skala 5μm & 50μm



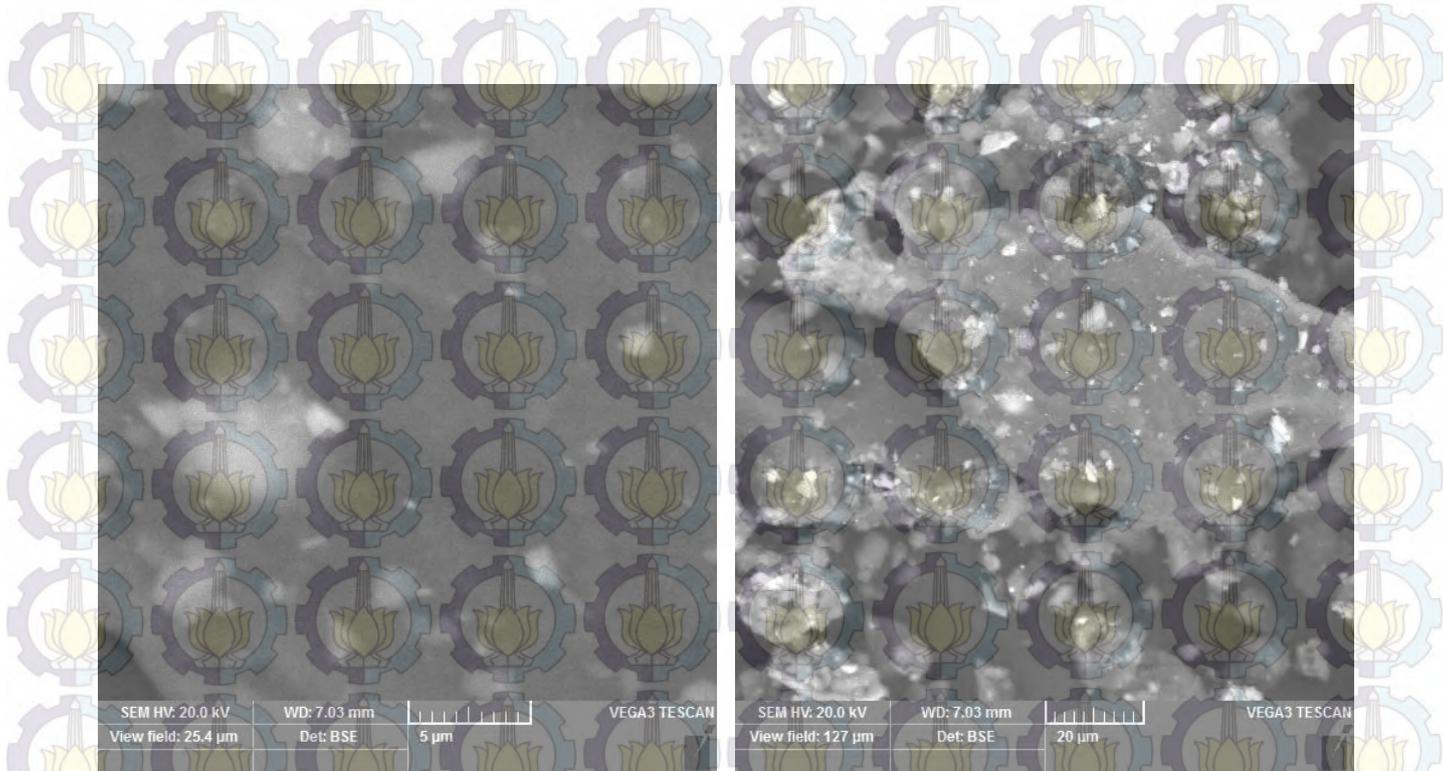
Gambar : SEM SCBA Sebelum Dikalsinasi Skala 100µm & 200µm



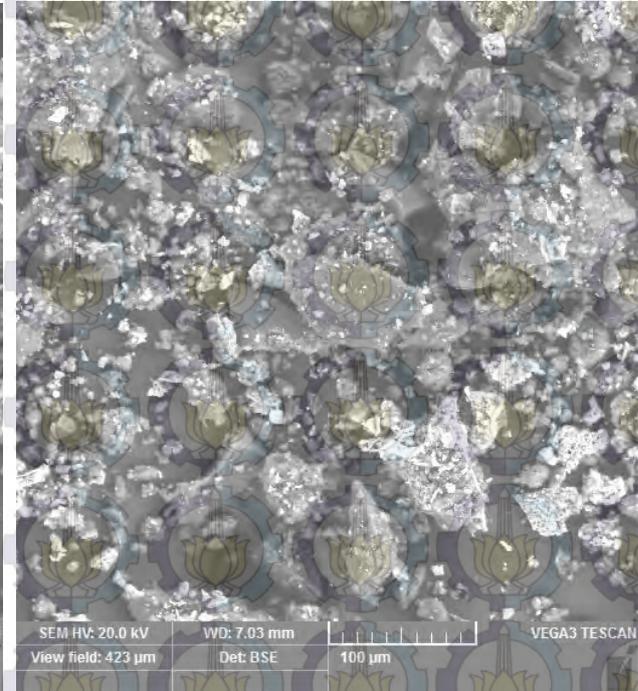
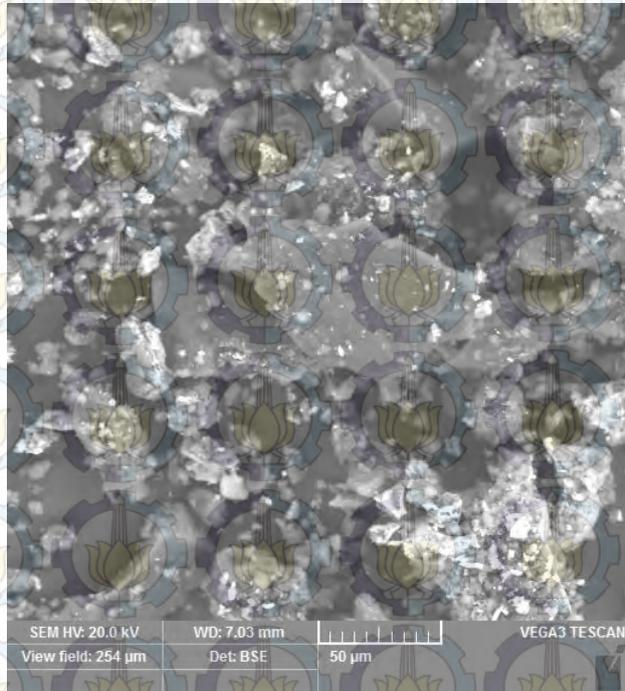
Gambar : SEM SCBA Kalsinasi 450°C 6 Jam Skala 5μm & 50μm



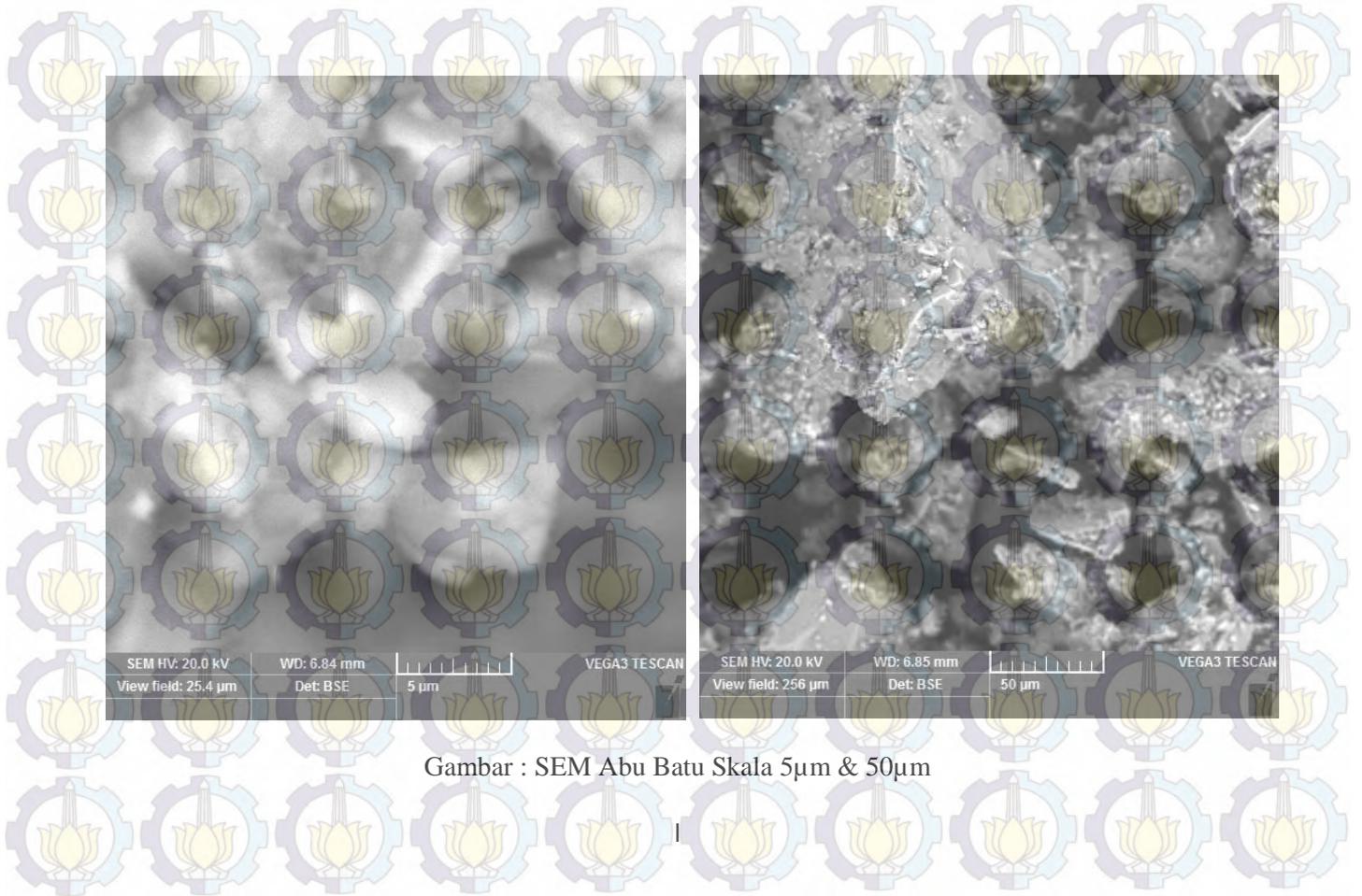
Gambar : SEM SCBA Kalsinasi 450°C 6 Jam Skala 100µm & 200µm



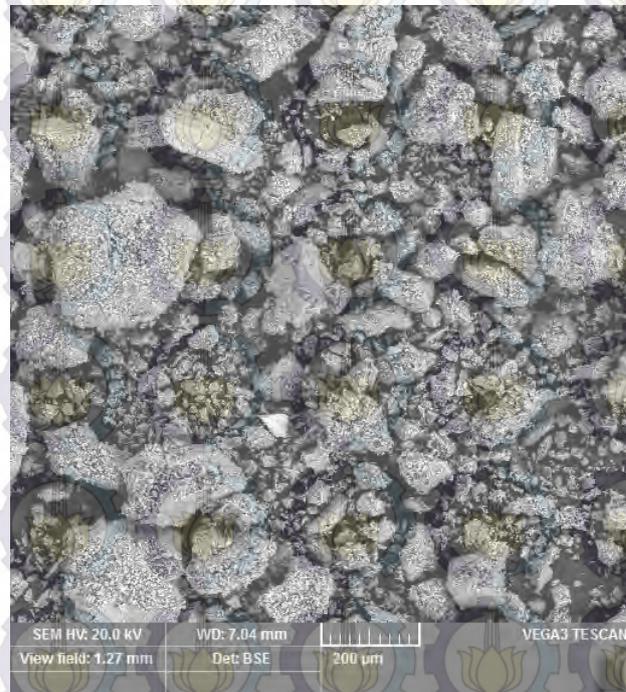
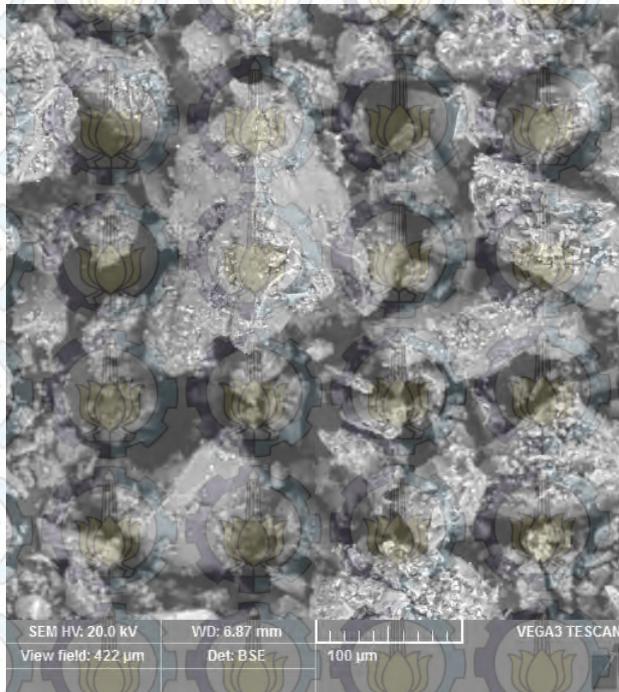
Gambar : SEM Bottom Ash Tercampur Ter Skala 5μm & 50μm



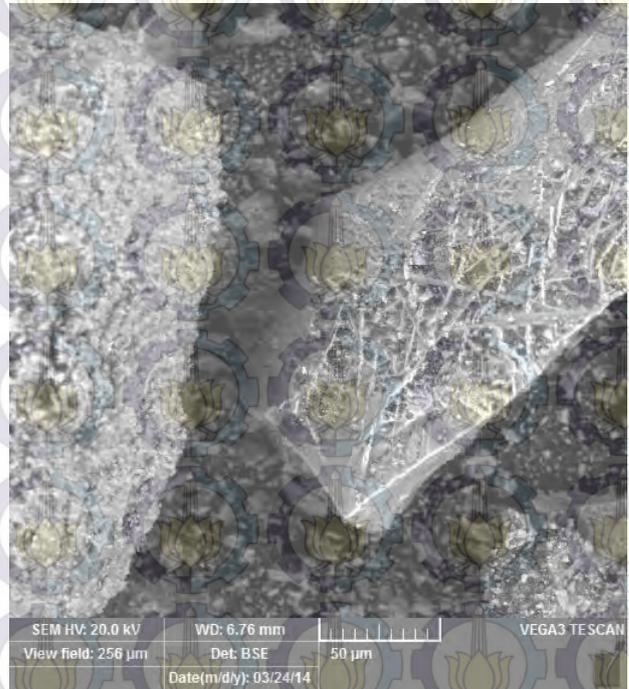
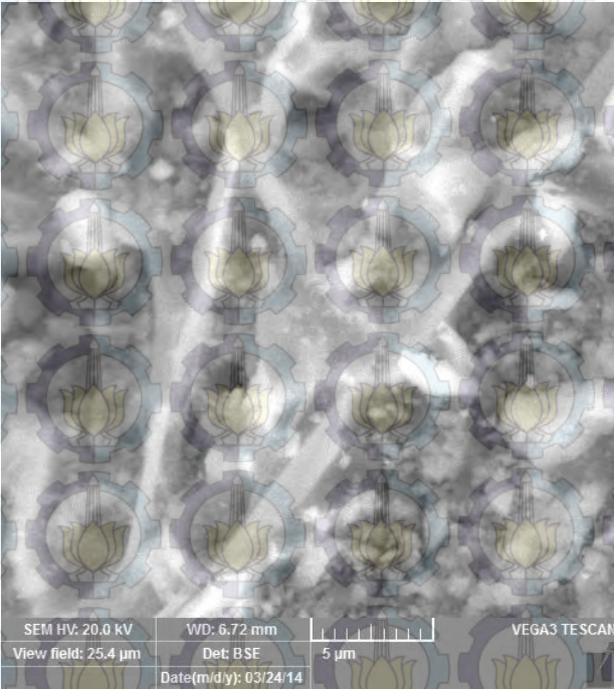
Gambar : SEM Bottom Ash Tercampur Ter Skala 50μm & 100μm



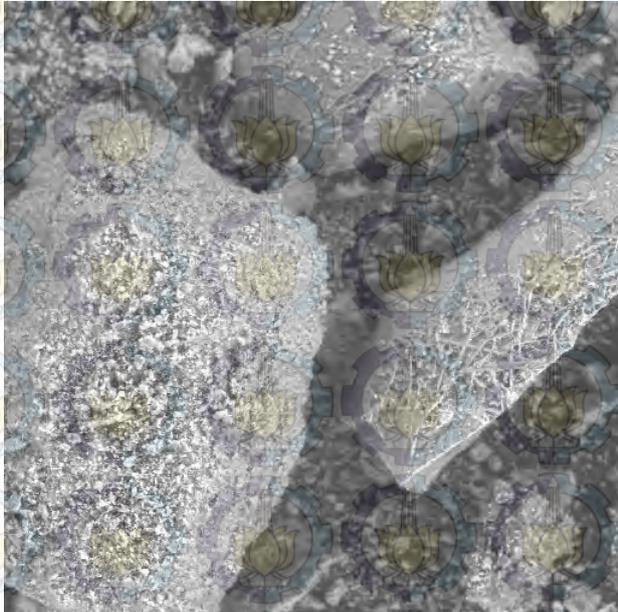
Gambar : SEM Abu Batu Skala 5µm & 50µm



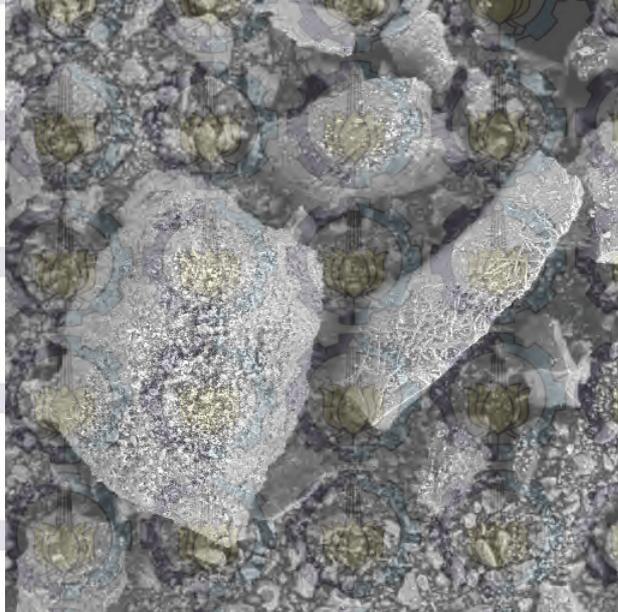
Gambar : SEM Abu Batu Skala 100µm & 200µm



Gambar : SEM Bottom Ash Skala 5µm & 50µm

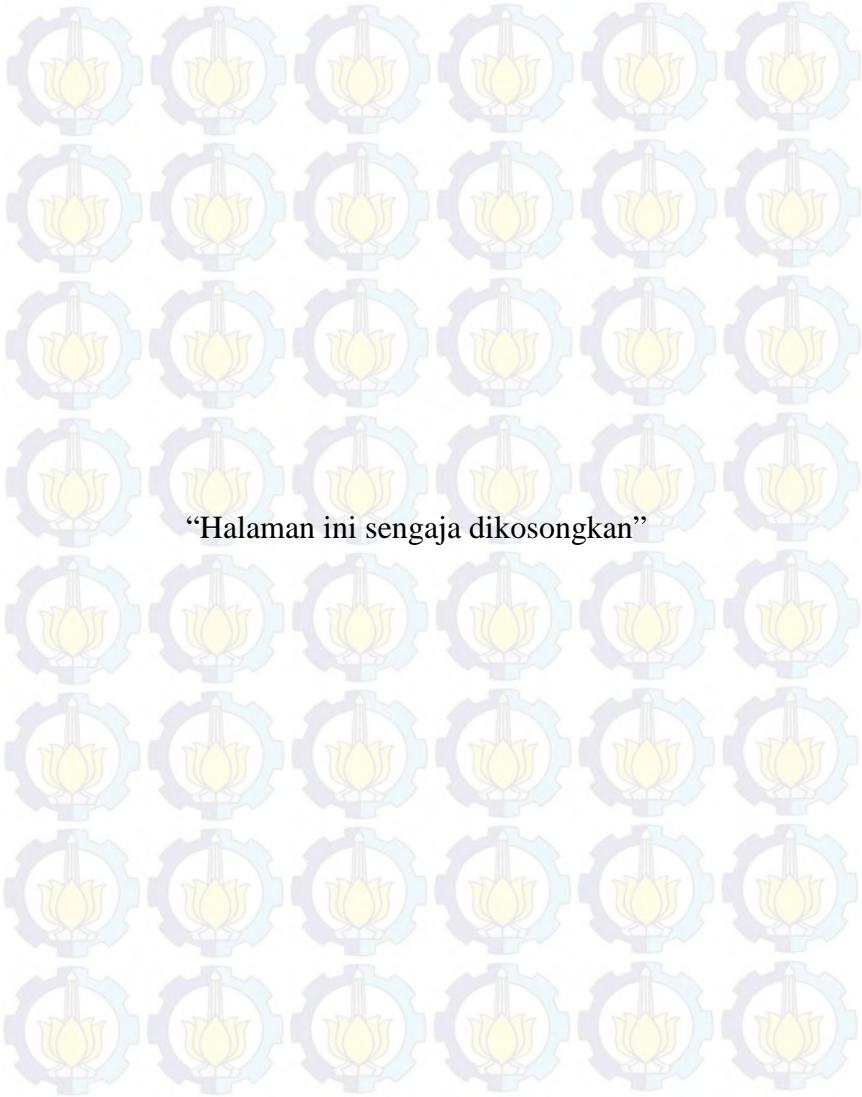


SEM HV: 20.0 kV	WD: 6.66 mm	VEGA3 TESCAN
View field: 423 µm	Det: BSE	100 µm
Date(m/d/y): 03/24/14		



SEM HV: 20.0 kV	WD: 6.66 mm	VEGA3 TESCAN
View field: 635 µm	Det: BSE	200 µm
Date(m/d/y): 03/24/14		

Gambar : SEM Bottom Ash Skala 100µm & 200µm



“Halaman ini sengaja dikosongkan”