



TUGAS AKHIR – RC 141501

PEMANFAATAN *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH* PADA PEMBUATAN PAVING GEOPOLIMER DENGAN MUTU K- 500 UNTUK SKALA INDUSTRI

ADIMAS BAYU RAMANA
NRP 3113 105 044

DOSEN KONSULTASI I:
Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST, MT.

DOSEN KONSULTASI II:
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.

PROGRAM STUDI LINTAS JALUR TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



TUGAS AKHIR – RC 141501

**PEMANFAATAN *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH* PADA
PEMBUATAN *PAVING GEOPOLIMER* DENGAN MUTU *K-500*
UNTUK SKALA INDUSTRI**

ADIMAS BAYU RAMANA
NRP 3114 105 044

DOSEN KONSULTASI I:
Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST, MT.

DOSEN KONSULTASI II:
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.

PROGRAM STUDI LINTAS JALUR TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN
PEMANFAATAN FLY ASH DAN BOTTOM ASH PADA
PEMBUATAN PAVING GEOPOLIMER DENGAN MUTU
K-500 UNTUK SKALA INDUSTRI

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

ADIMAS BAYU RAMANA
NRP. 3114 105 044

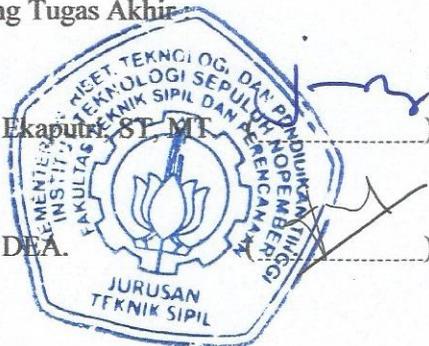
Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Pembimbing I

1. Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST, MT

Pembimbing II

2. Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.



SURABAYA
DESEMBER, 2016

PEMANFAATAN *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH* PADA
PEMBUATAN PAVING GEOPOLIMER DENGAN MUTU K-500
UNTUK SKALA INDUSTRI

Nama Mahasiswa : Adimas Bayu Ramana
NRP : 3114 105 044
Jurusan : S1 Lintas Jalur Teknik Sipil
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Januari JEP,ST, MT.
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.

Abstrak

Kondisi Sistem Ketenagalistrikan di Indonesia di dominasi oleh PLTU batubara sebesar 53,5%, pada tahun 2015 kebutuhan batubara sebesar 87,7 juta ton dan akan meningkat pada tahun 2019 sebesar 166,2 juta ton batubara karena sehubungan dengan adanya program 35000 MW. Limbah batubara yang dihasilkan dari pengopersian PLTU batubara berkisar 5% dari 166,2 juta ton yaitu 8,31 juta ton pada tahun 2019 (kementerian esdm, 2015).

Berdasarkan observasi survei, Penimbunan pada limbah dari sisa pembakaran Batubara dalam 1 Ha maksimal 66900 ton akan tetapi dampak yang ditimbulkan banyak. Paving adalah salah satu alternatif bahan bangunan yang memiliki nilai positif. Dari segi pembuatan dan pelaksanaan juga sangat mudah. Dalam penelitian ini, fly ash dan bottom ash dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan paving geopolimer dengan campuran dari larutan alkali sebagai aktivatornya. Sehingga menemukan komposisi yang tepat mencapai K-500 dan diproduksi dalam skala industri.

Perbandingan komposisi yang digunakan antara lain pasta dengan agregat adalah 30:70, agregat terdiri 34% pasir, 21% batu pecah, dan 13% abu batu ditambah bottom ash. Variasi bottom ash dengan abu batu adalah 80:20, Pasta terdiri dari 22,4% fly ash dan 9,6% larutan alkali , larutan alkali dari

Na₂SiO₃ dan NaOH 8M adalah 1:1, serta penambahan air biasa untuk larutan alkali yang dipakai.

Berdasarkan perhitungan analisa biaya paving geopolimer perbuah sebesar Rp. 1.095,-. Margin Harga Produksi Paving (HPP) GeoPav dengan Harga Jual Produsen lokal sebesar 52%. Didapatkan hasil bahwa paving geopolimer dengan penambahan bottom 80% dari berat volume abu batu memiliki kualitas baik. Berdasarkan SNI 03-0691-1996 tentang paving block dikategorikan paving mutu kelas A dikarenakan dalam nilai kuat tekan rata-rata besar 33,19 MPa, dalam nilai ketahanan aus rata-rata sebesar 0,080 mm/menit, dan dalam nilai resapan air rata-rata sebesar 3,43%.

Kata kunci : paving, geopolimer, fly ash, bottom ash, analisa biaya, mutu paving block.

UTILIZATION OF FLY ASH AND BOTTOM ASH IN MAKING PAVING GEOPOLIMER WITH QUALITY K-500 FOR SCALE INDUSTRY

Student : Adimas Bayu Ramana
NRP : 3114 105 044
Department : S1 Lintas Jalur Teknik Sipil
Supervisor : Dr. Eng. Januarti JEP,ST, MT.
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.

Abstract

Conditions of Electricity System in Indonesia is dominated by coal power by 53.5%, in 2015 coal demand amounted to 87.7 million tons and will increase in 2019 amounted to 166.2 million tons of coal due in connection with the program of 35000 MW. Coal waste generated from coal power pengopersian about 5% of the 166.2 million tonnes of which 8.31 million tons in 2019 (Ministry of Energy, 2015).

Based on the survey observations, stockpiling the waste from the combustion of coal in a 1 ha maximum of 66 900 tonnes but the impact many. Paving is one alternative building materials that have a positive value. In terms of manufacture and implementation is also very mudah. Dalam this study, fly ash and bottom ash is used as the base material paving geopolymer with a mixture of lye as an activator. So finding the right composition reaches K-500 and manufactured on an industrial scale.

Comparison of composition used include pasta with an aggregate of 30: 70, the aggregate comprising 34% sand, 21% of crushed stone and stone plus 13% ash bottom ash. Variations bottom ash with stone dust is 80:20, Pasta consists of 22.4% and 9.6% fly ash lye, lye from Na_2SiO_3 and 8M NaOH is 1: 1, and the addition of ordinary water to lye used.

Based on the calculation of the cost of paving geopolymer analysis apiece Rp. 1095, -. Paving Production Price Margin (HPP) GeoPav with Local Manufacturers Selling Price by 52%. RESULTS paving geopolymer with the addition of the bottom 80% of the weight of the volume of gray stone have good quality. SNI 03-0691-1996 based on paving block paving categorized quality class A because the value of the average compressive strength of 33.19 MPa great, the wear resistance value by an average of 0.080 mm / min, and the value of the average water infiltration of 3.43%.

Keywords: paving, geopolymer, fly ash, bottom ash, the analysis of costs, quality of paving blocks.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada kami, sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

Selama penyusunan laporan hingga selesai, tidak lepas dari bantuan semua pihak yang membantu baik secara langsung maupun tidak langsung. Dalam kesempatan yang baik ini, kami mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST, MT. dan Ibu Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir
2. Bapak Tri Joko Wahyu Adi, ST, MT, PhD. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS
3. Bapak Dr. Techn. Umboro Lasminto, ST, M.Sc. selaku Ketua Koordinator Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS
4. Bapak/Ibu dosen pengajar dan karyawan Lintas Jalur Teknik Sipil ITS
5. Orang tua kami, saudara-saudara kami yang senantiasa memberikan dorongan, semangat, serta doa
6. Teman-teman LBE *Green Concrete*
7. Semua pihak yang telah membantu sehingga Tugas Akhir ini terselesaikan

Kami menyadari bahwa masih banyak kekurangan pada pembuatan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, besar harapan kami untuk menerima kritik dan saran pembaca. Semoga buku ini bermanfaat.

Surabaya, 11 Oktober 2016

Penyusun

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan.....	i
Abstrak.....	iii
Kata Pengantar.....	vii
Daftar Isi.....	ix
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Tabel.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Batasan Masalah.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Umum.....	7
2.2. Geopolimer.....	7
2.2.1. Penelitian sebelumnya.....	8
2.3. <i>Fly Ash</i>	10
2.4. <i>Bottom Ash</i>	11
2.5. Abu Batu.....	14
2.6. <i>Larutan Alkali</i>	16
2.7. Pasir.....	17
2.8. Air.....	17
BAB 3 METODOLOGI.....	19
3.1. Umum.....	19

3.2.	Studi Literatur.....	21
3.3.	Persiapan Material.....	22
3.3.1.	Pasir.....	22
3.3.2.	Batu Pecah.....	22
3.3.3.	Abu Batu.....	23
3.3.4.	<i>Fly Ash</i>	24
3.3.5.	<i>Bottom Ash</i>	25
3.3.6.	Sodium Hidroksida.....	25
3.3.7.	Sodium Silikat.....	26
3.3.8.	Air Bersih.....	26
3.4.	Analisa Material.....	27
3.4.1.	Pasir.....	27
3.4.2.	Abu Batu.....	34
3.4.3.	Batu Pecah.....	41
3.4.4.	<i>Fly Ash</i>	46
3.4.5.	<i>Bottom Ash</i>	46
3.5.	Penentuan Komposisi Campuran.....	49
3.5.1.	Komposisi <i>Paving</i> Geopolimer.....	53
3.5.2.	Analisa Biaya pada <i>Paving</i> Geopolimer.....	55
3.6.	Langkah-langkah pembuatan <i>Paving Block</i>	56
3.6.1.	Proses pembuatan <i>Paving</i> Geopolimer menggunakan mesin press manual.....	56
3.6.2.	Proses pembuatan <i>Paving</i> Geopolimer menggunakan mesin press hidrolik masinal..	57
3.7.	Proses Curing <i>Paving</i> Geopolimer.....	59
3.8.	Pengujian <i>Paving</i> Geopolimer.....	59

3.8.1.	Tes Kuat Tekan (SNI 03-0691-1996).....	60
3.8.2.	Tes Ketahanan Aus (SNI 03-0691-1996).....	62
3.8.3.	Tes Penyerapan Air (SNI 03-0691-1996).....	64
3.9.	Kontrol Standar Deviasi.....	65
3.10.	Analisa Data.....	65
3.11.	Uji toxicity characteristic leaching procedure.....	65
3.12.	Uji kadar pH dan <i>Total Dissolve</i> (TDS) pada <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i>	66
3.12.1.	Analisa kadar pH menggunakan alat pHmeter.....	66
3.12.2.	Analisa <i>Total Dissolve Solid</i> (TDS) menggunakan alat TDSmeter.....	68
3.13.	Kesimpulan.....	69
BAB 4	HASIL PENGUJIAN & ANALISA DATA.....	71
4.1.	Umum.....	71
4.2.	Data dan Hasil Analisa Material.....	71
4.2.1.	Analisa Pasir.....	72
4.2.2.	Analisa Abu Batu.....	79
4.2.3.	Analisa Batu Pecah.....	86
4.2.4.	Analisa <i>Fly Ash</i>	91
4.2.5.	Analisa <i>Bottom Ash</i>	96
4.3.	Data dan Hasil Analisa <i>Paving</i> Geopolimer.....	97
4.3.1.	Hasil Komposisi <i>Paving</i> Geopolimer.....	97
4.3.2.	Hasil Analisa Biaya <i>Paving</i> Geopolimer per m ²	104
4.3.3.	Proses Pembuatan <i>Paving</i> Geopolimer.....	107
4.3.4.	Proses <i>Curing Paving</i> Geopolimer.....	109

4.3.5.	Hasil Analisa Pengujian <i>Paving Geopolimer</i>	110
4.4.	Kesesuaian <i>Paving Geopolimer</i> terhadap SNI 03-0691-1996 tentang <i>Paving Block</i>	122
4.5.	Uji <i>Toxicity Characteristic Leaching Procedure</i> (TCLP) terhadap <i>fly ash, bottom ash, dan paving geopolimer</i>	124
4.6.	Uji pH dan <i>Total Dissolve Solid</i> (TDS) terhadap <i>fly ash dan bottom ash</i>	129
BAB 5	HASIL PENGUJIAN & ANALISA DATA	133
5.1.	Kesimpulan.....	133
5.2.	Saran.....	135
	Daftar Pustaka	xxi
	Lampiran	xvii
	Biodata Penulis	xix

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Grafik analisa <i>XRD bottom ash</i>	13
Gambar 2.2	Grafik analisa <i>XRD</i> abu batu.....	15
Gambar 3.1	Diagram alir tugas akhir.....	21
Gambar 3.2	Pengambilan Pasir di SBI dan Pasir dalam kondisi SSD	22
Gambar 3.3	Batu Pecah ukuran 1cm x 1 cm.....	23
Gambar 3.4	Abu batu (tidak diayak).....	23
Gambar 3.5	Fly Ash tipe C Petrokimia Gresik	24
Gambar 3.6	<i>Bottom Ash</i> Petrokimia Gresik	24
Gambar 3.7	NaOH <i>flakes</i> dan larutan NaOH 8M	26
Gambar 3.8	Sodium Silikat (Na_2SiO_3).....	26
Gambar 3.9	Air PDAM.....	27
Gambar 3.10	Percobaan 1 untuk menentukan komposisi yang terbaik dengan kubus 5x5x5cm.....	50
Gambar 3.11	Komposisi Paving Geopolimer	54
Gambar 3.12	Universal Testing Machine di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Teknik Sipil-ITS	62
Gambar 3.13	Alat untuk tes ketahanan aus di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan D3 Teknik Sipil-ITS	64
Gambar 3.14	Hasil <i>paving</i> geopolimer yang sudah dilakukan di Lab Beton ITS dengan tebal 6 cm sampai saat ini dengan komposisi <i>bottom ash</i> 0% hingga mencapai K-500.	70
Gambar 4.1	Proses Uji Berat Jenis Pasir.....	73
Gambar 4.2	Proses Uji Kelembaban Pasir	74
Gambar 4.3	Proses Uji Air Resapan Pasir	75
Gambar 4.4	Proses Uji Berat Volume Pasir.....	76
Gambar 4.5	Hasil dari Uji Kadar Zat Organik Pasir.....	77
Gambar 4.6	Hasil Uji Kadar Lumpur Pasir.....	78
Gambar 4.7	Proses Uji Pencucian Pasir terhadap Lumpur	79
Gambar 4.8	Proses Uji Berat Jenis Abu Batu	80
Gambar 4.9	Proses Uji Kelembaban Abu Batu.....	81
Gambar 4.10	Proses Uji Berat Volume Abu Batu	83
Gambar 4.11	Hasil Uji Kadar Zat Organik Abu Batu.....	84

Gambar 4.12	Hasil Uji Pencucian Pasir terhadap Lumpur	85
Gambar 4.13	Proses Uji Berat Jenis Batu Pecah	87
Gambar 4.14	Proses Uji Kelembaban batu pecah	88
Gambar 4.15	Proses Uji Air Resapan batu pecah	89
Gambar 4.16	Proses Uji Berat Volume batu pecah	90
Gambar 4.17	Proses Uji Pencucian batu pecah terhadap Lumpur.....	91
Gambar 4.18	Proses Uji Berat Jenis <i>Bottom Ash</i>	94
Gambar 4.19	Proses Uji Air Resapan <i>Bottom Ash</i>	95
Gambar 4.20	Diagram hasil komposisi maksimal dari percobaan 1	98
Gambar 4.21	Diagram hasil komposisi percobaan 2	100
Gambar 4.22	Diagram harga <i>paving block</i> tebal 6cm dengan mutu beton K400.....	106
Gambar 4.23	Diagram harga <i>paving block</i> tebal 6cm dengan mutu beton K400.....	106
Gambar 4.24	Hasil proses pembuatan paving geopolimer dengan cara manual yaitu memakai alat cetak manual..	108
Gambar 4.25	Hasil proses pembuatan <i>paving</i> geopolimer dengan cara masinal yaitu memakai mesin press hidrolis	108
Gambar 4.26	Proses perawatan / <i>curing paving</i> geopolimer..	110
Gambar 4.27	Diagram hubungan kuat tekan dan variasi penambahan <i>bottom ash</i> pada <i>paving</i> geopolimer berukuran 5 x 5 x 5 cm.....	111
Gambar 4.28	Diagram hubungan kuat tekan dan variasi penambahan bottom 80% pada <i>paving</i> geopolimer dengan cara manual.....	113
Gambar 4.29	Uji Kuat Tekan <i>Paving</i> Geopolimer menggunakan <i>Universal Testing Machine</i> di Lab. Beton dan Bahan Bangunan S1 Teknik Sipil-ITS.....	115
Gambar 4.30	Diagram hubungan kuat tekan dan variasi penambahan bottom 80% pada <i>paving</i> geopolimer dengan cara masinal pada umur 7 hari.....	116

Gambar 4.31	Kegagalan campuran <i>jobmix</i> saat pengecoran paving geopolimer dengan alat press masinal.....	117
Gambar 4.32	Diagram hubungan Ketahanan aus dan Benda uji umur 28 hari pada <i>paving</i> geopolimer manual..	119
Gambar 4.33	Uji Ketahanan Aus Paving Geopolimer di Lab. Beton dan Bahan Bangunan D3 Teknik Sipil-ITS	120
Gambar 4.34	Diagram hubungan Penyerapan Air dan Benda uji umur 28 hari pada <i>paving</i> geopolimer manual..	121
Gambar 4.35	Uji Penyerapan Air <i>Paving</i> Geopolimer di Lab. Beton dan Bahan Bangunan S1 Teknik Sipil-ITS.....	122
Gambar 4.36	Diagram hubungan senyawa kimia (Ag, Cd, Cr, dan Pb) dan 3 benda uji TCLP pada <i>paving</i> Geopolimer manual.....	127
Gambar 4.37	Diagram hubungan senyawa kimia (Cu, NO ₃ , dan Zn) dan 3 benda uji TCLP pada <i>paving</i> Geopolimer manual.....	128
Gambar 4.38	Diagram hubungan kadar pH dan 3 benda uji TCLP pada <i>paving</i> Geopolimer manual.	128
Gambar 4.39	Diagram hubungan kadar pH dan Material pada <i>paving</i> Geopolimer menggunakan PHmeter.	130
Gambar 4.40	Diagram hubungan kadar TDS dan Material pada <i>paving</i> Geopolimer menggunakan TDSmeter...	131
Gambar 4.41	Proses pengujian pH dan TDS yang dilakukan di Lab Kimia ITS Surabaya.....	132

Halaman sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian tentang sodium aktifator fly ash, trass, dan lumpur sidoarjo dalam beton geopolimer	9
Tabel 2.2 Persyaratan Kandungan Kimia Fly Ash	11
Tabel 2.3 Persyaratan Kandungan Fisika Fly Ash.....	11
Tabel 2.4 Hasil analisa <i>XRF bottom ash</i>	12
Tabel 2.5 Hasil analisa <i>XRF Abu batu</i>	16
Tabel 3.1 Kode benda uji, Perbandingan abu batu dengan <i>bottom ash</i> , umur beton dan jumlah <i>paving</i> untuk percobaan 1 memakai kubus 5x5x5cm.	51
Tabel 3.2 Hitungan kebutuhan <i>fly ash</i> dan <i>bottom ash</i> dengan menggunakan mesin <i>press paving</i> uk. 20 x 10 x 6 cm.....	55
Tabel 3.3 Hitungan harga <i>paving</i> geopolimer tebal 6 cm tiap komposisi per buah sampai saat ini.	55
Tabel 3.4 Persyaratan setiap jenis mutu <i>paving</i> sesuai dengan SNI 03-0691-1996.....	58
Tabel 4.1 Hasil Uji Berat Jenis Pasir	72
Tabel 4.2 Hasil Uji Kelembaban Pasir.....	73
Tabel 4.3 Hasil Uji Air Resapan Pasir.....	74
Tabel 4.4 Hasil Berat Volume Pasir	75
Tabel 4.5 Hasil Kadar Zat Organik Pasir.....	76
Tabel 4.6 Hasil Uji Pengendapan Lumpur pada Pasir	77
Tabel 4.7 Hasil Uji Pencucian Pasir terhadap Lumpur.....	78
Tabel 4.8 Hasil Uji Berat Jenis Abu Batu.....	80

Tabel 4.9 Hasil Uji Kelembaban Abu Batu	81
Tabel 4.10 Hasil Uji Air Resapan Abu Batu.....	82
Tabel 4.11 Hasil Berat Volume Abu Batu	82
Tabel 4.12 Hasil Kadar Zat Organik Abu Batu	83
Tabel 4.13 Hasil Uji Pencucian Abu Batu terhadap Lumpur	84
Tabel 4.14 Hasil Uji Pengendapan Lumpur pada Abu Batu.....	85
Tabel 4.15 Hasil Uji Berat Jenis Batu Pecah	86
Tabel 4.16 Hasil Uji Kelembaban batu pecah	87
Tabel 4.17 Hasil Uji Air Resapan batu pecah.....	88
Tabel 4.18 Hasil Berat Volume batu pecah	89
Tabel 4.19 Hasil Uji Pencucian batu pecah terhadap Lumpur....	91
Tabel 4.20 Hasil analisa XRF <i>fly ash</i> Petrokimia Gresik	92
Tabel 4.21 Persyaratan kandungan kimia <i>fly ash</i> menurut ASTM C 618.....	93
Tabel 4.22 Hasil Uji XRF <i>fly ash</i> yang mencapai mutu K600 ...	93
Tabel 4.23 Hasil Uji Berat Jenis <i>Bottom Ash</i>	94
Tabel 4.24 Hasil Uji Resapan Air <i>Bottom Ash</i>	95
Tabel 4.25 Hasil analisa XRF <i>bottom ash</i> Petrokimia Gresik	96
Tabel 4.26 Persyaratan kandungan kimia <i>bottom ash</i> menurut ASTM C 618.....	97
Tabel 4.27 Kebutuhan material per 1 buah <i>paving</i> geopolimer ukuran 5cm x 5m x 5cm dengan penambahan variasi <i>bottom ash</i> dari berat kebutuhan abu batu.	99

Tabel 4.28 Kebutuhan material per 1 buah <i>paving</i> geopolimer ukuran 20cm x 10cm x 6cm untuk penambahan <i>bottom ash</i> 80% dari berat kebutuhan abu batu menggunakan mesin press manual.....	101
Tabel 4.29 Kebutuhan material per 1 buah <i>paving</i> geopolimer ukuran 20cm x 10cm x 6cm untuk penambahan <i>bottom ash</i> 80% dari berat kebutuhan abu batu menggunakan mesin press masinal.	101
Tabel 4.30 Perhitungan kebutuhan <i>fly ash</i> dan <i>bottom ash</i> dengan menggunakan mesin press paving uk. 20 x 10 x 6cm.	103
Tabel 4.31 Harga material per 1 buah <i>paving</i> geopolimer ukuran 20cm x 10cm x 6cm yang pembuatannya dilakukan secara manual.....	104
Tabel 4.32 Harga material per 1 buah <i>paving</i> geopolimer ukuran 20cm x 10cm x 6cm yang pembuatannya dilakukan menggunakan mesin <i>press</i> hidrolik.	105
Tabel 4.33 Hasil Uji Kuat Tekan terhadap <i>paving</i> Geopolimer kubus berbentuk ukuran 5 x 5 x 5cm.....	112
Tabel 4.34 Hasil Uji Kuat Tekan terhadap <i>paving</i> Geopolimer manual berukuran 20 x 10 x 6cm.....	112
Tabel 4.35 Hasil Uji Kuat Tekan terhadap <i>paving</i> Geopolimer masinal berukuran 20 x 10 x 6cm.....	116
Tabel 4.36 Hasil Uji ketahanan aus <i>paving</i> Geopolimer manual.....	118
Tabel 4.37 Hasil Uji Penyerapan Air <i>paving</i> Geopolimer manual.....	121

Tabel 4.38	Syarat fisis berdasarkan SNI 03 – 0691 -1996.....	123
Tabel 4.39	Kesesuaian <i>paving</i> geoplimer manual terhadap SNI 03 – 0691 -1996	123
Tabel 4.40	Hasil analisa TCLP <i>fly ash</i> Petrokimia Gresik	124
Tabel 4.41	Hasil analisa TCLP <i>bottom ash</i> Petrokimia Gresik	125
Tabel 4.42	Hasil analisa TCLP material <i>paving</i> geopolimer	125
Tabel 4.43	Hasil analisa pH menggunakan alat PH meter pada material <i>paving</i> geopolimer	130
Tabel 4.44	Hasil analisa TDS menggunakan alat TDS meter...	130

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kondisi Sistem Ketenagalistrikan di Indonesia di dominasi oleh PLTU batubara sebesar 53,5%, pada tahun 2015 kebutuhan batubara sebesar 87,7 juta ton dan akan meningkat pada tahun 2019 sebesar 166,2 juta ton batubara karena sehubungan dengan adanya program 35000 MW. Limbah batubara yang dihasilkan dari pengopersian PLTU batubara berkisar 5% dari 166,2 juta ton yaitu 8,31 juta ton pada tahun 2019 (kementerian esdm, 2015). Berdasarkan hasil observasi survei pada tahun 2016 di PLTU Suralaya, tiap hari produksi batubara mencapai 35000 ton per hari yang berarti setiap harinya PLTU Suralaya menghasilkan limbah batubara sebesar 1750 ton.

Limbah batubara berupa abu terbang (fly ash) dengan presentase 80% dari 1750 ton dan abu endap (bottom ash) dengan presentase 20% dari 1750 ton. Penanganan abu batu bara umumnya yang dilakukan di Indonesia masih dalam bentuk penimbunan pada landfill, sedangkan penyerapan maksimal dalam penimbunan yaitu 1 Ha menampung 66.900 ton. Limbah PLTU berbahan bakar batu bara yang berupa fly ash dan bottom ash dikategorikan oleh Bapedal sebagai limbah berbahaya (B3) dalam Peraturan Pemerintah Nomor 101 tahun 2014 sehingga penimbunan ini akan menimbulkan dampak pada aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan sekitarnya.

Paving adalah salah satu alternatif bahan bangunan yang memiliki nilai positif. Dari segi pembuatan dan pelaksanaan juga sangat mudah dan juga menjaga stabilisasi air tanah melalui daya serap air pada rongga-rongga pemasangan *paving* (Freddy, 2015). Berdasarkan SNI 03-0691-1996, 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 tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu. Dengan syarat mutu *paving block* harus memiliki permukaan rata, ukuran dengan tebal minimal 60 mm dengan toleransi + 8% dan memiliki ketahanan terhadap natrium sulfat.

Beton geopolimer adalah beton tidak menggunakan semen *portland* melainkan fly ash sebagai perekatnya. Beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* terbentuk dari reaksi polimerisasi akibat reaksi alkali-aluminosilikat yang menghasilkan material kuat berstruktur. Beton Geopolimer ini terbentuk dari reaksi kimia dan bukan dari reaksi hidrasi seperti beton biasa sehingga jenis komposisinya harus tepat sehingga bisa terjadi reaksi kimia. Umumnya Aktivator yang digunakan *Sodium Hidroksida* (Na_2SiO_3) 8M sampai 14M dan *sodium silikat* (NaOH) dengan perbandingan antara 0,4 sampai 2,5. Dengan tujuan diperoleh suatu jenis beton yang ramah lingkungan sehingga bisa memanfaatkan material sisa (Limbah) Dan mengurangi kadar emisi CO_2 yang dihasilkan semen Portland (Ekaputri dan Triwulan, 2013).

Bottom ash memiliki kandungan silika yang kurang reaktif sehingga tidak berpotensi dalam bahan bangunan struktural yang berkualifikasi tinggi sehingga dapat diaplikasikan sebagai bahan bangunan *non struktural* seperti digunakan dalam pembuatan *paving block* karena terdapat beberapa keunggulan antara lain memberikan nilai ekonomis dan mengurangi dampak kerusakan lingkungan. (Wijaya, 2014).

PT. Petrokimia Gresik adalah salah satu pabrik terbesar di Indonesia yang memproduksi pupuk kimia dan pupuk organik, *fly ash* dan *bottom ash* adalah hasil limbah PT. Petrokimia Gresik yang dihasilkan dari pembakaran batu bara sebagai bahan bakar yang menyebabkan memiliki biaya dalam pembuangan limbah tersebut dan PT. Merak Jaya Beton adalah salah satu pabrik menghasilkan *paving block* dalam skala besar

yang berkualitas untuk didistribusikan kebutuhan konsumen dikawasan sekitar Jawa Timur. PT. Petrokimia Gresik dan PT. Merak Jaya Beton melakukan kerjasama dengan ITS dalam bentuk riset tentang beton geopolimer. Untuk memperbaiki kualitas geopolimer yang dibuat dari bahan utama *fly ash* dan *bottom ash*, maka perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan komposisi terbaik agar sesuai dengan targetan pada tugas akhir ini.

Berdasarkan perhitungan analisa biaya paving geopolimer perbuah sebesar Rp. 1.095,-. Margin antara Harga Produksi Paving (HPP) GeoPav dengan Harga Produksi Paving (HPP) Pabrik Produksi Paving skala industri sebesar -34 % sedangkan Margin Harga Produksi Paving (HPP) GeoPav dengan Harga Jual Produsen lokal sebesar +52%.

Pada penelitian ini menggunakan komposisi dari Annas, 2015 antara lain Perbandingan komposisi pasta dengan agregat adalah 30:70, agregat terdiri 34% pasir, 21% batu pecah, dan 13% abu batu ditambah bottom ash. Variasi bottom ash dengan abu batu adalah 80:20, Pasta terdiri dari 22,4% fly ash dan 9,6% larutan alkali, larutan alkali dari Na_2SiO_3 dan NaOH 8M adalah 1:1, serta penambahan air sebesar 5/30 bagian dari larutan alkali yang dipakai. Kemudian dilakukan pengujian antara lain tes kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air pada *paving* geopolimer.

Hasil yang diharapkan menghasilkan *paving block* dalam skala industri besar yang ramah lingkungan serta memanfaatkan material sisa untuk mengurangi limbah yang dihasilkan pabrik dan mengurangi emisi CO₂ yang dihasilkan oleh produksi Semen. Selain itu, dapat menjadi contoh pemanfaatan *Fly ash* yang dihasilkan industri lain yang mempunyai masalah dengan pengendalian limbah batu bara dan mempunyai material pengganti semen untuk penghematan energi kedepannya (Ekaputri dan Triwulan, 2007).

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang ingin dikaji dalam penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana keseragaman kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air pada *paving geopolimer* ini sesuai dengan SNI 013-0691-1996 tentang *paving block*?
2. Apakah komposisi yang akan direncanakan pada campuran *paving geopolimer* mencapai Kuat Tekan 50 Mpa, Ketahanan Aus 0.090 mm/menit, Penyerapan Air 3% ?
3. Bagaimana perbandingan perhitungan analisa biaya terhadap harga dipasaran?
4. Apakah kualitas *paving geopolimer* sesuai dengan SNI 03-0691-1996 tentang *paving block*?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini antara lain:

1. Mendapatkan hasil keseragaman kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air pada *paving geopolimer* ini sesuai dengan SNI 013-0691-1996 tentang *paving block*.
2. Mendapatkan hasil dari komposisi yang direncanakan pada campuran *paving geopolimer* mencapai Kuat Tekan 50 Mpa, Ketahanan Aus 0.090 mm/menit, Penyerapan Air 3%.
3. Mendapatkan hasil perbandingan perhitungan analisa biaya terhadap harga dipasaran.
4. Mendapatkan hasil kualitas *paving geopolimer* sesuai dengan SNI 013-0691-1996 tentang *paving block*.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini antara lain:

1. Dapat mengurangi penumpukan limbah batu bara pada pabrik untuk dimanfaatkan sebagai komposisi pembuatan *paving*.
2. Mengembangkan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai material pengganti semen portland untuk penelitian selanjutnya.
3. Mengurangi gas CO₂ dari penggunaan semen portland dengan memanfaatkan material geopolimer.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Tidak meninjau dampak material *fly ash* dan *bottom ash* bagi kesehatan dan reaksi kimia.
2. Perbandingan komposisi antara pasta (*fly ash* dan larutan alkali) dan agregat (pasir, split, abu batu) adalah 30 : 70, *fly ash* dan larutan alkali adalah 70:30, larutan alkali yang terdiri dari Na₂SiO dan NaOH 8M adalah 1:1, serta perbandingan antara abu batu dengan *bottom ash* 20:80.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Berdasarkan hasil observasi survei pada tahun 2016 di PLTU Suralaya, tiap hari produksi batubara mencapai 35000 ton per hari yang berarti setiap harinya PLTU Suralaya menghasilkan limbah batubara sebesar 1750 ton. Beton geopolimer adalah beton tidak menggunakan semen *portland* melainkan fly ash sebagai perekatnya. Dengan tujuan diperoleh suatu jenis beton yang ramah lingkungan sehingga bisa memanfaatkan material sisa (Limbah) Dan mengurangi kadar emisi CO₂ yang dihasilkan semen Portland (Ekaputri dan Triwulan, 2013).

Paving adalah salah satu alternatif bahan bangunan yang memiliki nilai positif. Dari segi pembuatan dan pelaksanaan juga sangat mudah dan juga menjaga stabilisasi air tanah melalui daya serap air pada rongga-rongga pemasangan *paving* (Freddy, 2015). Berdasarkan SNI 03-0691-1996, 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 tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu. Dengan syarat mutu *paving block* harus memiliki permukaan rata, ukuran dengan tebal minimal 60 mm dengan toleransi + 8% dan memiliki ketahanan terhadap natrium sulfat.

Dalam perkembangan teknologi dan pengetahuan masa kini, memicu terciptanya inovasi dalam merekayasa suatu material salah satunya dapat dibuat dari bahan geopolimer. Dalam hal ini fly ash beserta material pendukung ditambah dengan Larutan Alkali digunakan untuk bahan dasar *paving* geopolimer.

2.2. Geopolimer

Geopolimer merupakan sintesis bahan-bahan produk sampingan seperti abu terbang (*fly ash*) dll yang banyak mengandung silika dan alumina membentuk senyawa silikat

alumunia anorganik (pujiyanto, 2013). Untuk melarutkan unsur-unsur alumina dan silika digunakan larutan yang bersifat alkalis. Umumnya, larutan alkali yang digunakan dalam geopolimerisasi adalah kombinasi dari sodium hidroksida (NaOH) atau potassium hidroksida (KOH) dan sodium silikat atau potassium silikat (Rangan, 2014).

2.2.1. Penelitian sebelumnya

Sebelumnya telah dilakukan beberapa penelitian tentang beton geopolimer yang berkaitan tentang material fly ash maupun bottom ash, beberapa penelitian tersebut antara lain sebagai berikut :

a. Ekaputri dan Triwulan (2013)

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

1. 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.
2. Rekomendasi dari hasil penelitian ini ditunjukkan pada gambar **Tabel 2.1** sebagai berikut :

Tabel 2.1 Penelitian tentang sodium aktifator fly ash, trass, dan lumpur sidoarjo dalam beton geopolimer

Jenis Binder	Komposisi Beton	NaOH	Na ₂ SiO ₃	fc' maks	Pemanfaatan Beton
		(molar)	: NaOH	28 Hari Mpa	
A	(100% Fly Ash) + aktivator + agregat	8 - 14	1-2.5	51.3	Struktural
B	(75% Fly Ash + 25% LK) + aktivator + agregat	12 - 14	2.5	15.4	Non-Struktural
C	(75% Fly Ash + 25% LB) + aktivator + agregat	12 - 14	2.5	22.3	Struktural
D	(75% Fly Ash + 25% Trass) + aktivator + agregat	10 - 14	2-2.5	28.3	Struktural

Sumber : Ekaputri dan Triwulan (2013)

b. Nugroho, Ekaputri, dan Triwulan (2014)

Melakukan penelitian tentang Penggunaan limbah hasil pembakaran batu bara dan sugar cane bagasse ash (SCBA) pada *paving* geopolimer dengan proses steam curing, hasil dari penelitian ini diantaranya :

1. Dengan penambahan SCBA ke dalam *paving* geopolimer kuat tekan semakin menurun. Kuat tekan pada 0% SCBA sebesar 11.05 Mpa dan variasi 35% SCBA sebesar 6.56 Mpa.
2. *Paving* geopolimer dengan proses *steam curing* memiliki kuat tekan tertinggi yaitu 11,05 MPa, tidak jauh berbeda bila dibandingkan dengan *paving* geopolimer yang tidak di-*steam*, dimana kuat tekannya sebesar 11.6 MPa.

c. Prihandini, Ekaputri, dan Triwulan (2015)

Melakukan penelitian tentang Pemanfaatan *bottom ash* dan *sugar cane bagasse ash* (SCBA)

untuk pembuatan paving geopolimer, hasil dari penelitian ini diantaranya :

1. *Paving* geopolimer masinal memiliki hasil yang lebih padat dan kompak, selain itu dapat meningkatkan produktivitas dibandingkan dengan *paving* geopolimer manual.
2. Hasil pengujian kuat tekan dari *paving* geopolimer masinal lebih rendah dari *paving* manual dikarenakan berat volume dari *paving* geopolimer masinal lebih rendah dari *paving* manual pula.

2.3. *Fly Ash*

Fly ash merupakan Material utama untuk pembentukan geopolimer yang memiliki ikatan alumino-silikate harus kaya akan Silika (Si) dan aluminium (Al). Ini bisa berarti material alam seperti kaolin, dan lempung dimana formula empirisnya mengandung Si, Al, dan oksigen (Ekaputri dan Triwulan, 2007). Penambahan *fly ash* terhadap volume semen sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, dan 60% dapat meningkatkan kuat tekan *paving block* dengan penambahan optimum sebesar 33,29% yang menghasilkan kuat tekan 15,54 MPa. Sedangkan campuran perbandingan tanpa tambahan *fly ash* diperoleh kuat tekan sebesar 11,45 MPa (Safitri dan Djumari, 2009).

Berdasarkan ASTM C618-96 spesifikasi abu terbang dibedakan menjadi 3 jenis berdasarkan kandungan kimia ditunjukkan pada **Tabel 2.2** dan Berdasarkan ASTM C618-96 spesifikasi abu terbang dibedakan menjadi 3 jenis berdasarkan kandungan fisika ditunjukkan pada gambar **Tabel 2.3**

Tabel 2.2 Persyaratan Kandungan Kimia Fly Ash

Senyawa	Kelas Campuran Mineral	
	F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min %	70.00	50.00
SO ₃ , maks %	5.00	5.00
moisture content , maks %	3.00	3.00
Loss of ignition , maks %	6.00	6.00
alkali , Na ₂ O , maks %	1.50	1.50

Sumber: ASTM C 618

Tabel 2.3 Persyaratan Kandungan Fisika Fly Ash

Keterangan	Kelas Campuran Mineral		
	N	F	C
Jumlah yang tertahan ayakan 45 µm (no. 325) , maks %	34.00	34.00	34.00
Indeks aktifitas kekuatan : dengan semen, umur 7 hari, min % dengan semen, umur 28 hari , min %	75.00	75.00	75.00
Kebutuhan air , maks %	75.00	75.00	75.00
Autoclave expansion or contraction , maks %	115.00	105.00	105.00
Density , maks variasi dari rata-rata , %	5.00	5.00	5.00
% tertahan ayakan 45 µm , maks variasi , % dari rata rata	5.00	5.00	5.00

Sumber: ASTM C 618

2.4. *Bottom Ash*

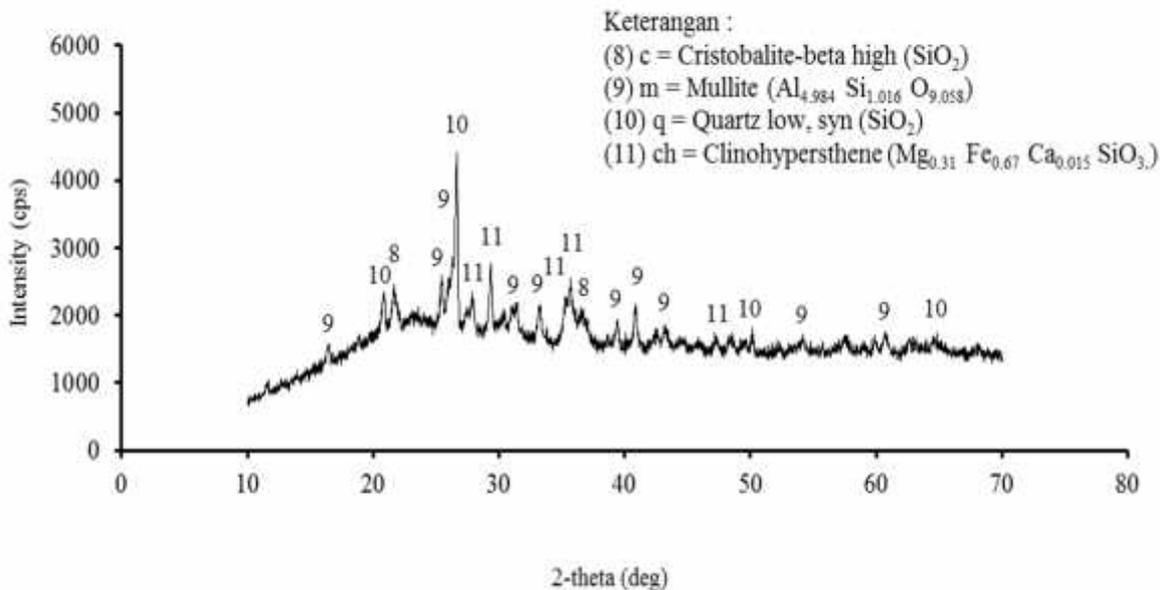
Dengan menggunakan material dari sumber yang sama, maka diketahui hasil analisa berat jenis *bottom ash* sebesar 2,33 gr/cm³ (Nugroho, 2015). Berdasarkan hasil analisa XRD pada **Gambar 2.1**, material yang terkandung di dalam *bottom ash* antara lain cristobalite-

beta *high* (SiO_2), mullite ($\text{Al}_{4,44} \text{Si}_{1,56} \text{O}_{9,78}$), dan quartz *low* (SiO_2). Mineral-mineral tersebut mengandung Si (Silika) dan Al (Aluminium) yang reaktif. Sedangkan dari hasil analisa *XRF* pada **Tabel 2.4**, komposisi *bottom ash* yang paling dominan adalah SiO_2 dan Al_2O_3 . Total persentase silikon oksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3), dan feri oksida (Fe_2O_3) melebihi 70% maka *bottom ash* diklasifikasikan sebagai *pozzolan* kelas F menurut ASTM C618 (Nugroho,2015).

Tabel 2.4 Hasil analisa *XRF bottom ash*

Senyawa	%
SiO_2	39,96
Al_2O_3	44,56
CaO	1,67
Fe_2O_3	2,34
K_2O	0,26
MgO	5,04
Na_2O	0,46
P_2O_5	1,11
SO_3	0,58

Sumber: Nugroho, 2014

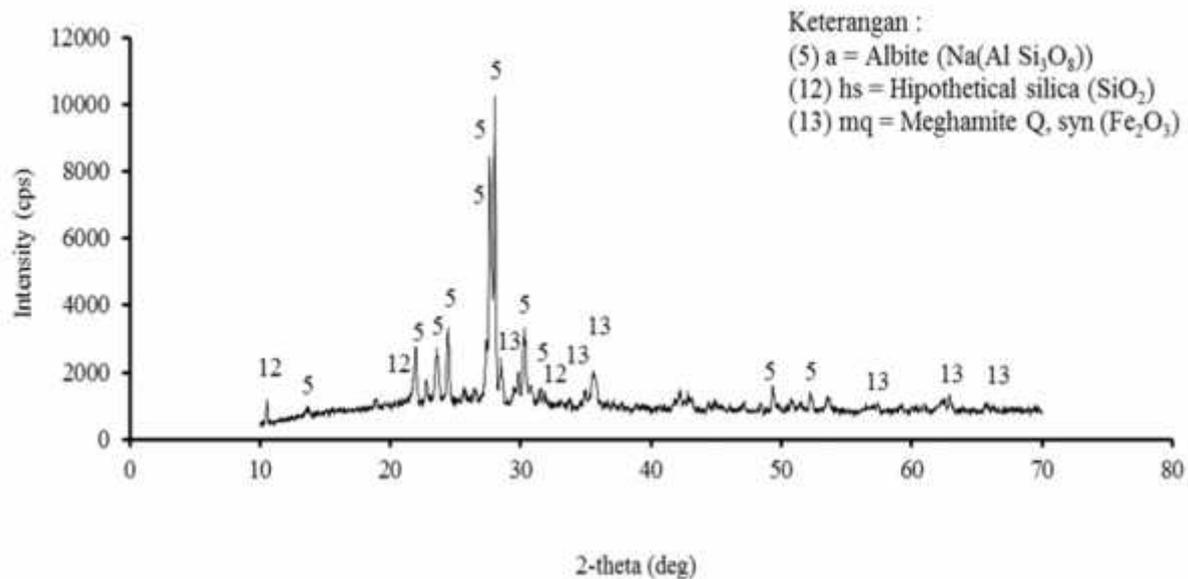


Gambar 2.1 Grafik analisa *XRD bottom ash*
 Sumber: Nugroho, 2014

2.5. Abu Batu

Abu batu merupakan hasil sampingan dalam industri pemecahan batu yang berasal dari campuran batu-batuan atau abu gunung berapi yang banyak mengandung silika, alumina, besi, kapur dan sebagainya. Abu batu digolongkan sebagai *filler* memiliki diameter lebih kecil dari 0,125 mm (Widodo, 2003). Saat ini abu batu tidak begitu laku dalam industri konstruksi karena perkerasan jalan dengan LAPEN (Lapis Penetrasi Makadam) banyak beralih ke lapisan aspal beton. Sehingga abu batu pada *stone crusher* menjadi bahan limbah yang harus diupayakan penanganannya (Sutarno, 2007). Widodo (2003) menggunakan abu batu sebagai bahan pengisi agar dapat mengisi rongga-rongga pada beton sehingga dapat meningkatkan kuat tekan beton. Selain itu juga mudah didapatkan dengan harga yang murah.

Dari analisa material yang dilakukan oleh Nugroho, 2015 didapatkan hasil berat jenis abu batu sebesar 2,41 gr/cm³, kelembaban sebesar 1,21 %, air resapan sebesar 3,63 %, berat volume sebesar 38,33 kg/m³, kadar lumpur sebesar 9,80 %, serta *grading zone* 2 dengan modulus kehalusan sebesar 2,65. Hasil *XRD* pada **Gambar 2.2** menunjukkan bahwa mineral yang terkandung dalam abu batu antara lain Albite (Na (Al SiO₂ O₃)), hypothetical silica (SiO₂), dan Maghemite-Q, syn (Fe₂ O₃). Sedangkan dari hasil analisa *XRF* pada **Tabel 2.5**, komposisi abu batu yang paling dominan adalah SiO₂ dan Al₂O₃. Total *persentase* silikon oksida (SiO₂), aluminium oksida (Al₂O₃), dan feri oksida (Fe₂O₃) melebihi 70% maka *bottom ash* diklasifikasikan sebagai pozzolan kelas F menurut ASTM C618.



Gambar 2.2 Grafik analisa XRD abu batu
Sumber: Nugroho, 2014

Tabel 2.5 Hasil analisa *XRF Abu batu*

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

Sumber: Nugroho, 2014

2.6. Larutan Alkali

Larutan alkali yang digunakan adalah *Sodium Silikat* (Na₂SiO₃) dan *Sodium Hidroksida* (NaOH) . Menurut Ekaputri dan Triwulan, 2013, NaOH berbentuk serbuk kristal berperan dalam pembentukan formasi zeolit, serta Na₂SiO₃ yang berbentuk gel berperan dalam meningkatkan kuat tekan karena mempercepat terjadinya reaksi polimerisasi. Semakin tinggi perbandingan berat Na₂SiO₃ dan larutan NaOH tidak selalu menghasilkan kuat tekan yang tinggi, tetapi semakin tinggi molaritas yang digunakan maka semakin tinggi pula kuat tekan yang dihasilkan. Beton geopolimer menggunakan 14M menghasilkan kuat tekan yang lebih besar dibandingkan dengan beton geopolimer yang menggunakan molaritas lebih rendah. Beton yang mengandung sedikit Na₂SiO₃ dalam larutan NaOH yang pekat tidak dapat mencapai kuat tekan yang tinggi. Hal ini dapat terjadi karena larutan alkali mempengaruhi workabilitas beton saat pengadukan dan pengecoran yang menyebabkan beton tidak padat (Ekaputri dan Triwulan, 2013).

Semakin tinggi molaritas, jumlah total pori semakin sedikit tetapi jumlah pori tertutup semakin banyak karena pengaruh kekentalan yang dimiliki NaOH dalam campuran. Pori tertutup lebih baik dari pori terbuka, karena pori tertutup memiliki tekanan hidrostatik yang menambah kuat tekan dan terhindar dari retak. Sedangkan pori terbuka menjadi keropos sehingga menurunkan kuat tekan (Ekaputri dan Triwulan, 2013).

2.7. Pasir

Agregat halus yang dihasilkan dari disintegrasi alami dan abrasi dari batu atau pengolahan sepenuhnya gembur batu pasir. Agregat halus dikatakan baik apabila agregat tersebut melewati saringan 4,75 mm dan tertahan pada saringan No. 200 / 75-m. (ASTM C 125).

2.8. Air

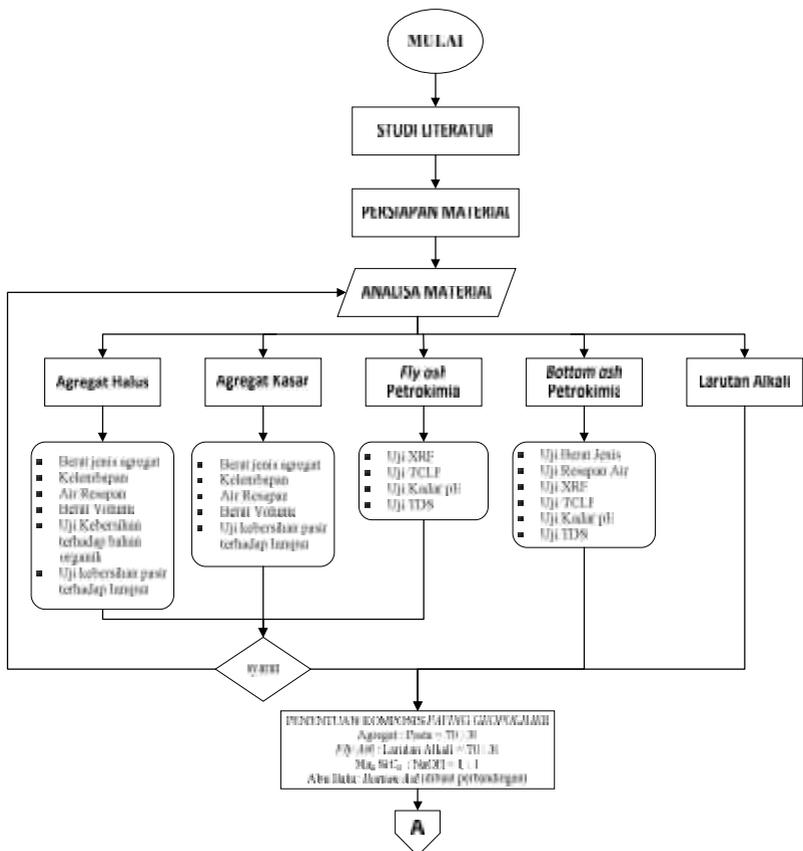
Air merupakan salah satu bahan dasar dalam pembuatan beton yang memiliki harga paling murah diantara bahan yang lain. Penggunaan air yang terlalu banyak mengakibatkan penurunan kuat tekan beton. Hal ini disebabkan karena pada saat beton sudah kering ruang yang diisi oleh air akan membentuk pori sehingga beton menjadi berpori dan berdampak pada kuat tekan beton (Pujiyanto, 2013).

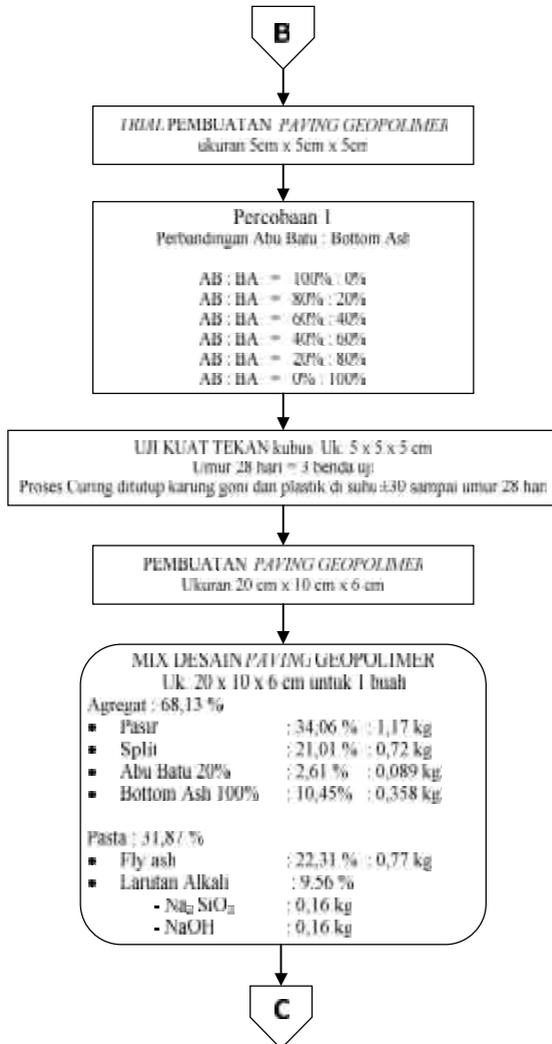
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

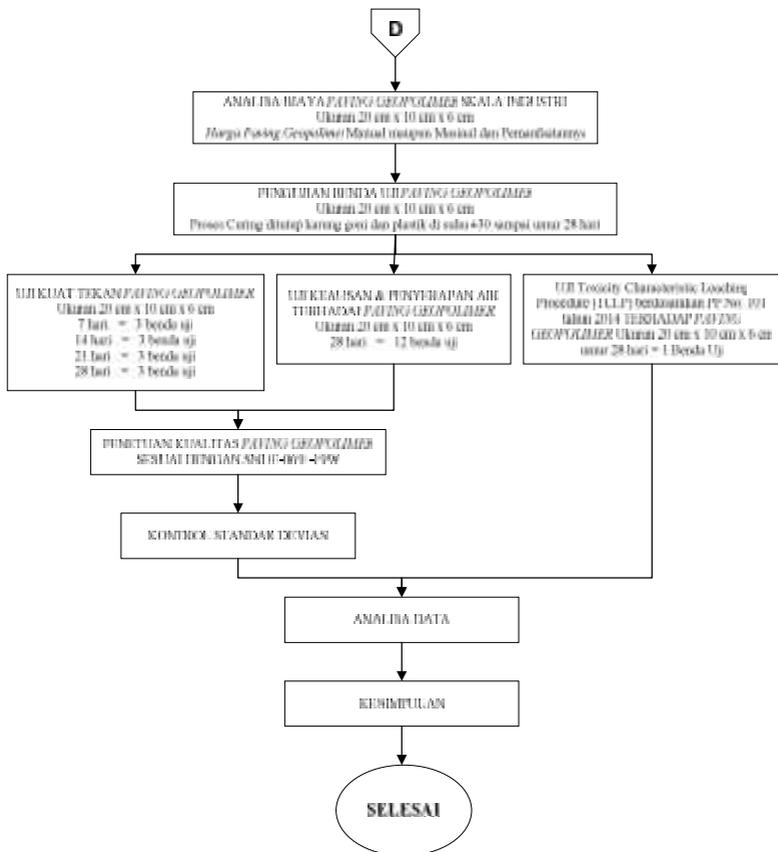
BAB III METODOLOGI

3.1. Umum

Pada bab ini akan menjelaskan langkah-langkah yang harus dikerjakan dalam penelitian pada **Gambar 3.1**. Berikut adalah diagram alir penelitian pemanfaatan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai bahan pembuatan *paving* geopolimer.







Gambar 3.1 Diagram alir tugas akhir

3.2. Studi Literatur

Dalam studi literatur yang dilakukan yaitu dengan mempelajari terlebih dahulu apa yang dimaksud dengan beton geopolimer, material dan bahan pembuatan *paving* geopolimer serta bagaimana cara pembuatan dan perawatannya. Literatur yang dibaca berasal dari jurnal-jurnal, buku-buku, dan internet.

3.3. Persiapan Material

Persiapam material dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Pasir
2. Batu Pecah / *Split*
3. Abu Batu
4. *Fly Ash*
5. *Bottom Ash*
6. *Sodium Hidroksida* (NaOH 8M)
7. *Sodium Silikat* (Na₂SiO₃)

3.3.1. Pasir

Pasir yang digunakan berasal dari Surya Beton Indonesia yang berlokasi didaerah waru, Surabaya. Dapat dilihat pada **Gambar 3.2**. Sebelumnya agregat diayak dengan ayakan no. 8 (2,38mm) untuk memisahkan kotoran dan batu, lalu dilakukan pencucian dan didiam didalam bak yang berisi air selama 24 jam kemudian dikeringkan hingga sesuai SSD dan dilanjutkan pemeriksaan Analisa pada Pasir.



Gambar 3.2 Pengambilan Pasir di SBI dan Pasir dalam kondisi SSD

3.3.2. Batu Pecah

Batu Pecah / *Split* yang digunakan merupakan Agregat Kasar yang berukuran 1x1 yang dapat dilihat pada **Gambar 3.3** berasal dari Surya Beton Indonesia yang berlokasi didaerah waru, Surabaya. Sebelumnya agregat dilakukan pencucian untuk membersihkan lumpur pada batu pecah dan didiamkan didalam air selama 24 jam kemudian dikeringkan hingga

sesuai SSD dan dilanjutkan pemeriksaan Analisa pada Batu Pecah.



Gambar 3.3 Batu Pecah ukuran 1cm x 1 cm

3.3.3. Abu Batu

Abu batu digunakan sebagai salah satu macam agregat dalam campuran pembuatan *paving* yang dapat dilihat pada **Gambar 3.4**. Abu batu yang digunakan berasal dari Toko Obor Baru yang berlokasi didaerah Rungkut, Surabaya. Sebelumnya agregat diayak lalu lolos dengan ayakan 1in (25 mm) kemudian keadaan abu batu dalam kondisi SSD dan dilanjutkan pemeriksaan Analisa pada Abu Batu.



Gambar 3.4 Abu batu (tidak diayak)

3.3.4. Fly Ash

Fly ash yang digunakan merupakan *fly ash* kelas C sisa dari pembakaran batubara. Pengambilan *fly ash* ini dilakukan di PT Petrokimia Gresik yang dapat dilihat pada **Gambar 3.5**. *Fly ash* telah berbentuk serbuk yang siap pakai dan dilanjutkan pemeriksaan beberapa pengujian seperti Uji XRD, Uji XRF, Uji TCLP, Uji pH, dan Uji TDS.



Gambar 3.5 Fly Ash tipe C Petrokimia Gresik

3.3.5. Bottom Ash

Bottom ash diambil sisa pembakaran batu bara dari PT. Petrokimia Gresik yang dapat dilihat pada **Gambar 3.6**. Merupakan agregat kasar yang nantinya dicampur dengan abu batu sebagai bahan percobaan dari penelitian ini. Kemudian dilanjutkan pemeriksaan beberapa pengujian seperti Uji XRD, Uji XRF, Uji TCLP, Uji pH, dan Uji TDS.



Gambar 3.6 Bottom Ash Petrokimia Gresik

3.3.6. Sodium Hidroksida (NaOH 8M)

Sodium Hidroksida (NaOH) berasal dari kristal NaOH yang dilarutkan dengan air bersih dengan molaritas 8M seperti pada **Gambar 3.7**. Larutan ini sebagai alkali aktivator yang akan bereaksi dengan silika dan alumina pada *Fly ash*. Cara pembuatan 1 liter larutan NaOH 8M diterangkan pada **Pers. 3.1** dan **Pers. 3.2** sebagai berikut:

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

Larutan natrium hidroksida:

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

Dengan:

Massa = Massa NaOH (gram)

M = Molaritas (M)

V = Volume (L)

Mr = Massa relatif NaOH = Ar

Ar = Massa atom relatif, dimana Ar Na = 23
gr/mol

Ar O = 16 gr/mol

Ar H = 1 gr/mol

Jadi Mr NaOH = Ar (Na+O+H) = 40 gr/mol

Untuk molaritas 8M:

$$M = \frac{8 \text{ mol}}{1 \text{ L larutan}} \times 1 \text{ L} \times \frac{40 \text{ gr}}{\text{mol}} = 320 \text{ gram}$$



Gambar 3.7 NaOH flakes dan larutan NaOH 8M

3.3.7. Sodium Silikat (Na_2SiO_3)

Sodium Silikat BE 52 bertekstur cair dan kental yang didapat dari PT. Kasmaji Inti Utama (PT. KIU) Mojokerto yang dapat dilihat pada **Gambar 3.8**. Sodium silikat berfungsi sebagai katalisator dari natrium hidroksida.



Gambar 3.8 Sodium Silikat (Na_2SiO_3)

3.3.8. Air Bersih

Air bersih atau air pdam seperti pada **Gambar 3.9** digunakan untuk melarutkan kristal NaOH. Selain itu juga digunakan untuk meningkatkan *workability* dari larutan alkali (Sodium Hidroksida dan sodium silikat).



Gambar 3.9 Air PDAM

3.4. Analisa Material

Analisa dilakukan untuk memastikan bahwa material-material yang digunakan telah memenuhi syarat ASTM. Kegiatan analisa material meliputi Agregat Halus, Agregat Kasar, *Fly ash*, *Bottom Ash*, Larutan Alkali agar memenuhi persyaratan dan siap untuk memulai penelitian ini.

3.4.1. Agregat Halus (Pasir)

Agregat Halus atau Pasir yang dipakai dalam penelitian ini berasal dari Surya Beton Indonesia yang berlokasi didaerah waru, Surabaya. Agar agregat halus layak dipakai dalam penelitian *paving* geopolimer ini maka dilanjutkan pemeriksaan uji agregat halus. sesuai dengan persyaratan pada ASTM.

3.4.1.1. Percobaan Berat Jenis Pasir (ASTM C 128 – 01)

a. Tujuan

Untuk mengetahui berat jenis yang diperoleh dari agregat halus dalam hal ini berat jenis pasir.

b. Peralatan

- Labu Takar 1000 cc
- Timbangan 2600 gram
- Oven
- Pan *Hair dryer* / Kipas Angin
- Kerucut dan rojokan SSD

- c. Bahan
- Pasir
- d. Prosedur
 - Penyiapan pasir untuk kondisi SSD :
 1. Rendam pasir 24 jam selanjutnya angkat dan tiriskan hingga airnya hilang.
 2. Keringkan dengan *hair dryer* atau kipas angin sambil dibolak balik dengan sendok untuk mencari keadaan SSD.
 3. Tempatkan kerucut SSD pada bidang datar yang tidak mengisap air.
 4. Isi kerucut SSD 1/3 tingginya dan rojok 8 kali, isi lagi 1/3 tinggi dan rojok 8 kali, isi lagi 1/3 tinggi dan rojok 8 kali.
 5. Ratakan permukaannya dan angkat kerucutnya, bila pasir masih berbentuk kerucut maka pasir belum SSD.
 6. Keringkan lagi bila dan ulangi lagi pengisian dengan prosedur sebelumnya, bila kerucut diangkat dan pasir gugur tetapi berpuncak maka pasir sudah dalam kondisi SSD dan siap untuk digunakan dalam pengujian.
 - Timbang labu takar 1000 cc
 - Timbang pasir kondisi SSD sebanyak 500 gram dan masukkan pasir ke dalam labu takar dan timbang.
 - Isi labu takar yang berisi pasir dengan air bersih hingga penuh.
 - Pegang labu takar yang sudah berisi air dan pasir posisi miring, putar ke kiri dan kanan hingga gelembung – gelembung udara dalam pasir keluar.
 - Sesudah gelembung-gelembung keluar tambahkan air ke dalam labu takar hingga batas kapasitas dan timbang (w1).

- Keluarkan pasir dan air dari dalam labu takar dan labu takar dibersihkan kemudian isi labu takar dengan air sampai batas kapasitas dan timbang.
- e. Rumus yang digunakan
Untuk mendapatkan berat jenis pasir, maka akan diterangkan pada **Pers. 3.3** sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis pasir} = \frac{S}{(S + W_2) - W_1} \quad \dots(3.3)$$

Dimana :

W_1 = berat labu + pasir + air (gram)

W_2 = berat labu + air (gram)

3.4.1.2. Percobaan Kelembaban Pasir (ASTM C 566-97 Reapp 04)

- a. Tujuan
Untuk mengetahui / menentukan kelembaban pasir yang diperoleh dari agregat halus
- b. Peralatan
- Timbangan 2600 gram
 - Oven
 - Pan *Hair dryer* / Kipas Angin
- c. Bahan
Pasir dalam keadaan asli
- d. Prosedur
- Timbang pasir dalam keadaan asli sebanyak 500 gram
 - Masukkan pasir kedalam oven selama 24 jam dengan temperature 110 – 115 derajat celcius.
 - Keluarkan pasir dari oven, dibiarkan sampai setelah itu ditimbang beratnya.
- e. Rumus yang digunakan
Untuk mendapatkan kelembaban pasir, maka akan diterangkan pada **Pers. 3.4** sebagai berikut:

$$\text{Kelembaban Pasir} = \frac{W_2 - W_1}{W_2} \times 100 \% \quad \dots(3.4)$$

Dimana :

W_1 = berat pasir asli (gram)

W_2 = berat pasir oven (gram)

3.4.1.3. Percobaan Air Resapan Pada Pasir (ASTM C 128-01)

- a. Tujuan
Untuk mengetahui kadar air resapan yang diperoleh dari pasir (agregat halus).
- b. Peralatan
 - Timbangan 2600 gram
 - Oven
 - Pan *Hair dryer* / Kipas Angin
- c. Bahan
Pasir dalam kondisi SSD
- d. Prosedur
 - Timbang pasir dalam kondisi SSD sebanyak 500 gram.
 - Masukkan ke dalam oven selama 24 jam.
 - Pasir dikeluarkan dan setelah dingin baru ditimbang.
- e. Rumus yang digunakan
Untuk mendapatkan kelembaban pasir, maka akan diterangkan pada **Pers. 3.5** sebagai berikut:

$$\text{Air Resapan Pasir} = \frac{S - W_1}{W_1} \times 100 \% \quad \dots(3.5)$$

Dimana :

W_1 = berat pasir dalam kondisi SSD (gram)

3.4.1.4. Percobaan Berat Volume Pasir (ASTM C 29/ C 29 M-97a)

- a. Tujuan
Untuk mengetahui / menentukan berat volume pasir yang diperoleh dari agregat halus
- b. Peralatan

- Timbangan 2600 gram
 - Takaran berbentuk silinder dengan volume 3 liter
 - Alat perojok dari besi
- c. Bahan
Pasir
- d. Prosedur
- Tanpa rojokan / lepas :
 1. Silinder dalam keadaan kosong ditimbang.
 2. Isi silinder dengan pasir sampai penuh dan angkat setinggi 1 cm.
 3. Silinder dijatuhkan ke lantai sebanyak tiga kali dan permukaannya diratakan.
 4. Timbang silinder yang sudah terisi pasir.
 - Dengan rojokan :
 1. Timbang silinder dalam keadaan bersih dan kosong.
 2. Silinder diisi pasir 1/3 bagian dan dirojok 25 kali. Demikian hingga penuh dan tiap 1/3 bagian dirojok 25 kali.
 3. Ratakan permukaan pasir dan beratnya ditimbang.
- e. Rumus yang digunakan
Untuk mendapatkan berat volume pasir, maka akan diterangkan pada **Pers. 3.6** sebagai berikut:

$$\text{Berat Volume Pasir} = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad \dots(3.6)$$

Dimana :

W_1 = berat silinder (Kg)

W_2 = berat silinder + pasir (Kg)

V = volume (l)

3.4.1.5. Test Kebersihan Pasir Terhadap Bahan Organik (ASTM C 40 - 04)

- a. Tujuan

Untuk mengetahui / menentukan kadar zat organik dalam agregat yang digunakan didalam adukan beton

- b. Peralatan
 - Botol bening
 - penggaris
- c. Bahan
 - Pasir dalam kondisi asli
 - NaOH
- d. Prosedur
 4. Botol bening diisi pasir sampai ± 130 ml.
 5. Tambahkan larutan NaOH 3% sampai 200 ml dan tutup rapat dan kocok botol ± 10 menit/
 6. Diamkan selama 24 jam.
 7. Selanjutnya amati warna cairan diatas permukaan agregat halus yang ada dalam botol, bandingkan warnanya.
 8. Jika warna cairan dalam botol berisi agregat lebih tua (coklat) warnanya dari pembanding, berarti dalam agregat berkadar zat organik terlalu tinggi.

3.4.1.6. Test Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur (Pengendapan)

- a. Tujuan

Untuk mengetahui / menentukan banyaknya kadar lumpur dalam pasir.
- b. Peralatan
 - Botol bening
 - penggaris
- c. Bahan
 - Pasir dalam kondisi asli
 - Air
- d. Prosedur
 9. Botol bening diisi pasir dengan tinggi ± 6 cm.
 10. Isikan air kedalam botol hingga penuh dan tutup rapat kemudian dikocok.

11. Diamkan selama 24 jam.
 12. Endapan lumpur dan pasir masing-masing diukur tingginya.
- e. Rumus yang digunakan
Untuk mendapatkan kadar lumpur dalam pasir, maka akan diterangkan pada **Pers. 3.7** sebagai berikut:

$$\text{Kebersihan Pasir} = \frac{h}{H} \times 100 \% \quad \dots(3.7)$$

Dimana :

- h = Tinggi lumpur (mm)
H = Tinggi Pasir (cm)

3.4.1.7. Test Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur / Pencucian (ASTM C117 – 03)

- a. Tujuan
Untuk mengetahui / menentukan banyaknya kadar lumpur dalam pasir.
- b. Peralatan
 - Timbangan analisa 2600 gram
 - Saringan No. 200 dan No. 50
 - Oven
 - Pan *Hair dryer* / Kipas Angin
- c. Bahan
 - Pasir kering oven
 - Air
- d. Prosedur
 13. Timbangan pasir oven sebanyak 500 gram.
 14. Pasir dicuci hingga bersih, yaitu dengan mengaduk pasir dengan air berkali-kali hingga tampak bening.
 15. Tuangkan air cucian kedalam saringan No. 200 berkali-kali
 16. Pasir yang ikut tertuang dan tinggal diatas saringan kembalikan ke pan
 17. Pasir dioven dengan suhu $110 + 5$ derajat celcius.
- e. Rumus yang digunakan

Untuk mendapatkan kadar lumpur dalam pasir, maka akan diterangkan pada **Pers. 3.8** sebagai berikut:

$$\text{Kebersihan Pasir} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \% \quad \dots(3.8)$$

Dimana :

W_1 = berat pasir kering (gram)

W_2 = berat pasir bersih kering (gram)

3.4.2. Agregat Halus (Abu Batu)

Agregat Halus atau Abu Batu yang dipakai dalam penelitian ini berasal dari UD. Obor baru yang berlokasi di daerah Rungkut, Surabaya. Agar agregat halus layak dipakai dalam penelitian *paving* geopolimer ini maka dilanjutkan pemeriksaan uji agregat halus. sesuai dengan persyaratan pada ASTM.

3.4.2.1. Percobaan Berat Jenis Abu Batu (ASTM C 127 – 78)

a. Tujuan

Untuk mengetahui berat jenis yang diperoleh dari agregat halus dalam hal ini berat jenis abu batu.

b. Peralatan

- Labu Takar 1000 cc
- Timbangan 2600 gram
- Oven
- Pan *Hair dryer* / Kipas Angin
- Kerucut dan rojokan SSD

c. Bahan

Pasir

d. Prosedur

- Penyiapan pasir untuk kondisi SSD :
 1. Rendam pasir 24 jam selanjutnya angkat dan tiriskan hingga airnya hilang.

2. Keringkan dengan hair dryer atau kipas angin sambil dibolak balik dengan sendok untuk mencari keadaan SSD.
 3. Tempatkan kerucut SSD pada bidang datar yang tidak mengisap air.
 4. Isi kerucut SSD $\frac{1}{3}$ tingginya dan rojok 8 kali, isi lagi $\frac{1}{3}$ tinggi dan rojok 8 kali, isi lagi $\frac{1}{3}$ tinggi dan rojok 8 kali.
 5. Ratakan permukaannya dan angkat kerucutnya, bila abu batu masih berbentuk kerucut maka abu batu belum SSD.
 6. Keringkan lagi bila dan ulangi lagi pengisian dengan prosedur sebelumnya, bila kerucut diangkat dan abu batu gugur tetapi berpuncak maka abu batu sudah dalam kondisi SSD dan siap untuk digunakan dalam pengujian.
- Timbang labu takar 1000 cc
 - Timbang abu batu kondisi SSD sebanyak 500 gram dan masukkan abu batu ke dalam labu takar dan timbang.
 - Isi labu takar yang berisi abu batu dengan air bersih hingga penuh.
 - Pegang labu takar yang sudah berisi air dan abu batu posisi miring, putar ke kiri dan kanan hingga gelembung – gelembung udara dalam abu batu keluar.
 - Sesudah gelembung-gelembung keluar tambahkan air ke dalam labu takar hingga batas kapasitas dan timbang (w_1).
 - Keluarkan abu batu dan air dari dalam labu takar dan labu takar dibersihkan kemudian isi labu takar dengan air sampai batas kapasitas dan timbang.
- e. Rumus yang digunakan
Untuk mendapatkan berat jenis abu batu, maka akan diterangkan pada **Pers. 3.3** sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis pasir} = \frac{S}{(S + W_2) - W_1} \quad \dots(3.3)$$

Dimana :

W_1 = berat labu + abu batu + air (gram)

W_2 = berat labu + air (gram)

3.4.2.2. Percobaan Kelembaban Abu Batu (ASTM C 566 - 89)

- a. Tujuan
Untuk mengetahui / menentukan kelembaban abu batu yang diperoleh dari agregat halus
- b. Peralatan
 - Timbangan 2600 gram
 - Oven
 - Pan *Hair dryer* / Kipas Angin
- c. Bahan
Abu batu dalam keadaan asli
- d. Prosedur
 - Timbang abun batu dalam keadaan asli sebanyak 500 gram
 - Masukkan abu batu kedalam oven selama 24 jam dengan temperature 110 – 115 derajat celcius.
 - Keluarkan abu batu dari oven, dibiarkan sampai setelah itu ditimbang beratnya.
- e. Rumus yang digunakan
Untuk mendapatkan kelembaban abu batu, maka akan diterangkan pada **Pers. 3.4** sebagai berikut:

$$\text{Kelembaban Abu Batu} = \frac{W_2 - W_1}{W_2} \times 100 \% \quad \dots(3.4)$$

Dimana :

W_1 = berat abu batu asli (gram)

W_2 = berat abu batu oven (gram)

3.4.2.3. Percobaan Air Resapan Pada Abu Batu (ASTM C 128-93)

- a. Tujuan
Untuk mengetahui kadar air resapan yang diperoleh dari abu batu (agregat halus).
- b. Peralatan
 - Timbangan 2600 gram
 - Oven
 - Pan *Hair dryer* / Kipas Angin
- c. Bahan
Abu batu dalam kondisi SSD
- d. Prosedur
 - Timbang abu batu dalam kondisi SSD sebanyak 500 gram.
 - Masukkan ke dalam oven selama 24 jam.
 - Abu batu dikeluarkan dan setelah dingin baru ditimbang.
- e. Rumus yang digunakan
Untuk mendapatkan kelembaban abu batu, maka akan diterangkan pada **Pers. 3.5** sebagai berikut:

$$\text{Air Resapan Abu batu} = \frac{S - W_1}{W_1} \times 100 \% \quad \dots(3.5)$$

Dimana :

W_1 = berat abu batu dalam kondisi SSD (gram)

3.4.2.4. Percobaan Berat Volume Abu Batu (ASTM C 29 / C 21)

- a. Tujuan
Untuk mengetahui / menentukan berat volume abu batu yang diperoleh dari agregat halus
- b. Peralatan
 - Timbangan 2600 gram
 - Takaran berbentuk silinder dengan volume 3 liter
 - Alat perojok dari besi

- c. Bahan
Abu Batu
- d. Prosedur
- Tanpa rojokan / lepas :
 1. Silinder dalam keadaan kosong ditimbang.
 2. Isi silinder dengan pasir sampai penuh dan angkat setinggi 1 cm.
 3. Silinder dijatuhkan ke lantai sebanyak tiga kali dan permukaannya diratakan.
 4. Timbang silinder yang sudah terisi abu batu.
 - Dengan rojokan :
 1. Timbang silinder dalam keadaan bersih dan kosong.
 2. Silinder diisi abu batu 1/3 bagian dan dirojok 25 kali. Demikian hingga penuh dan tiap 1/3 bagian dirojok 25 kali.
 3. Ratakan permukaan abu batu dan beratnya ditimbang.
- e. Rumus yang digunakan
Untuk mendapatkan berat volume abu batu, maka akan diterangkan pada **Pers. 3.6** sebagai berikut:

$$\text{Berat Volume Abu Batu} = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad \dots(3.6)$$

Dimana :

- W_1 = berat silinder (Kg)
 W_2 = berat silinder + abu batu (Kg)
 V = volume (l)

3.4.2.5. Test Kebersihan Abu Batu Terhadap Bahan Organik (ASTM C 40 - 92)

- a. Tujuan
Untuk mengetahui / menentukan kadar zar organik dalam agregat yang digunakan didalam adukan beton
- b. Peralatan
- Botol bening

- penggaris
- c. Bahan
 - Abu Batu dalam kondisi asli
 - NaOH
- d. Prosedur
 1. Botol bening diisi abu batu sampai ± 130 ml.
 2. Tambahkan larutan NaOH 3% sampai 200 ml dan tutup rapat dan kocok botol ± 10 menit/
 3. Diamkan selama 24 jam.
 4. Selanjutnya amati warna cairan diatas permukaan agregat halus yang ada dalam botol, bandingkan warnanya.
 5. Jika warna cairan dalam botol berisi agregat lebih tua (coklat) warnanya dari pembanding, berarti dalam agregat berkadar zat organik terlalu tinggi.

3.4.2.6. Test Kebersihan Abu Batu Terhadap Lumpur / Pengendapan (ASTM C 33 – 86)

- a. Tujuan

Untuk mengetahui / menentukan banyaknya kadar lumpur dalam abu batu.
- b. Peralatan
 - Botol bening
 - penggaris
- c. Bahan
 - Abu Batu dalam kondisi asli
 - Air
- d. Prosedur
 1. Botol bening diisi abu batu dengan tinggi ± 6 cm.
 2. Isikan air kedalam botol hingga penuh dan tutup rapat kemudian dikocok.
 3. Diamkan selama 24 jam.
 4. Endapan lumpur dan abu batu masing-masing diukur tingginya.
- e. Rumus yang digunakan

Untuk mendapatkan kadar lumpur dalam abu batu, maka akan diterangkan pada **Pers. 3.7** sebagai berikut:

$$\text{Kebersihan Abu Batu} = \frac{h}{H} \times 100 \% \quad \dots(3.7)$$

Dimana :

h = Tinggi lumpur (mm)

H = Tinggi abu batu (cm)

3.4.2.7. Test Kebersihan Abu Batu Terhadap Lumpur / Pencucian (ASTM C117 – 95)

- a. Tujuan

Untuk mengetahui / menentukan banyaknya kadar lumpur dalam abu batu.
- b. Peralatan
 - Timbangan analisa 2600 gram
 - Saringan No. 200 dan No. 50
 - Oven
 - Pan *Hair dryer* / Kipas Angin
- c. Bahan
 - Abu Batu kering oven
 - Air
- d. Prosedur
 1. Timbangan abu batu oven sebanyak 500 gram.
 2. Abu Batu dicuci hingga bersih, yaitu dengan mengaduk abu batu dengan air berkali-kali hingga tampak bening.
 3. Tuangkan air cucian kedalam saringan No. 200 berkali-kali
 4. Abu Batu yang ikut tertuang dan tinggal diatas saringan kembalikan ke pan
 5. Abu Batu dioven dengan suhu $110 + 5$ derajat celcius.
- e. Rumus yang digunakan

Untuk mendapatkan kadar lumpur dalam abu batu , maka akan diterangkan pada **Pers. 3.8** sebagai berikut:

$$\text{Kebersihan Abu Batu} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \dots(3.8)$$

Dimana :

W_1 = berat abu batu kering (gram)

W_2 = berat abu batu bersih kering (gram)

3.4.3. Agregat Kasar

Agregat kasar yang dipakai dalam penelitian ini berasal dari Surya Beton Indonesia yang berlokasi didaerah waru, Surabaya. Agregat kasar ini berupa batu pecah yang berukuran 1cm x 1cm. Agar agregat kasar layak dipakai dalam penelitian *paving* geopolimer ini maka dilanjutkan pemeriksaan uji agregat kasar. sesuai dengan persyaratan pada ASTM.

3.4.3.1. Percobaan Berat Jenis Batu Pecah (ASTM C 127 – 88 Reapp. 01)

- a. Tujuan

Untuk mengetahui berat jenis yang diperoleh dari agregat kasar dalam hal ini berat jenis batu pecah
- b. Peralatan
 - Timbangan 25 kg
 - Keranjang kawat
 - Kain lap
 - Oven
- c. Bahan
 - Batu pecah dalam kondisi SSD
- d. Prosedur
 - Batu pecah yang telah direndam selama 24 jam diangkat, kemudian dilap satu persatu.

- Timbang batu pecah sebanyak 3000 gram. Masukkan ke dalam keranjang.
 - Keranjang berisi batu pecah dimasukkan ke dalam wadah berisi air (posisinya berada di bawah timbangan).
 - timbang beratnya dalam air (keranjang dan batu pecah)
- e. Rumus yang digunakan
Untuk mendapatkan berat jenis batu pecah, maka akan diterangkan pada **Pers. 3.10** sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis batu pecah} = \frac{W_1}{W_1 - W_2} \quad \dots(3.10)$$

Dimana :

W_1 = berat batu pecah di udara (gram)

W_2 = berat batu pecah di air (gram)

3.4.3.2. Percobaan Kelembaban Batu Pecah (ASTM C 566-97 Reapp 04)

- a. Tujuan
Untuk mengetahui / menentukan kelembaban batu pecah yang diperoleh dari agregat kasar.
- b. Peralatan
 - Timbangan 2600 gram
 - Oven
 - Pan
- c. Bahan
Batu Pecah dalam keadaan asli
- d. Prosedhjur
 - Timbang batu pecah dalam keadaan asli sebanyak 500 gram
 - Masukkan batu pecah kedalam oven selama 24 jam dengan temperature 110 – 115 derajat celcius.
 - Keluarkan batu pecah dari oven, dibiarkan sampai setelah itu ditimbang beratnya.

- e. Rumus yang digunakan
Untuk mendapatkan kelembaban pasir, maka akan diterangkan pada **Pers. 3.11** sebagai berikut:

$$\text{Kelembaban batu pecah} = \frac{W_2 - W_1}{W_2} \times 100 \quad ..(3.11)$$

Dimana :

W_1 = berat batu pecah asli (gram)

W_2 = berat batu pecah oven (gram)

3.4.3.3. Percobaan Air Resapan Pada Batu Pecah (ASTM C 127-88 Reapp. 01)

- a. Tujuan
Untuk mengetahui kadar air resapan yang diperoleh dari batu pecah (agregat kasar).
- b. Peralatan
 - Timbangan 25 kg
 - Oven
- c. Bahan
Batu Pecah dalam kondisi SSD
- d. Prosedur
 - Timbang batu pecah dalam kondisi SSD sebanyak 3000 gram.
 - Masukkan ke dalam oven selama 24 jam.
 - Batu pecah dikeluarkan dan setelah dingin baru ditimbang.
- e. Rumus yang digunakan
Untuk mendapatkan kadar air resapan batu pecah, maka akan diterangkan pada **Pers. 3.12** sebagai berikut:

$$\text{Kadar Air Resapan} = \frac{3 - W_1}{W_1} \times 100 \quad ..(3.12)$$

Dimana :

W_1 = berat batu pecah dalam oven (gram)

3.4.3.4. Percobaan Berat Volume Batu Pecah (ASTM C 29/ C 29 M-97a)

- a. Tujuan
Untuk mengetahui / menentukan berat volume batu pecah yang diperoleh dari agregat halus
- b. Peralatan
 - Timbangan
 - Takaran berbentuk silinder dengan volume 10 liter
 - Alat perojok dari besi
- c. Bahan
Batu pecah dalam keadaan kering.
- d. Prosedur
 - Tanpa rojokan / lepas :
 1. Silinder dalam keadaan kosong ditimbang.
 2. Isi silinder dengan batu pecah sampai penuh dan angkat setinggi 1 cm.
 3. Silinder dijatuhkan ke lantai sebanyak tiga kali dan permukaannya diratakan.
 4. Timbang silinder yang sudah terisi pasir.
 - Dengan rojokan :
 1. Timbang silinder dalam keadaan bersih dan kosong.
 2. Sinder diisi batu pecah 1/3 bagian dan dirojok 25 kali. Demikian hingga penuh dan tiap 1/3 bagian dirojok 25 kali.
 3. Ratakan permukaan batu pecah dan beratnya ditimbang.
- e. Rumus yang digunakan
Untuk mendapatkan berat volume pasir, maka akan diterangkan pada **Pers. 3.13** sebagai berikut:

$$\text{Berat Volume batu pecah} = \frac{W_2 - W_1}{v} \quad ..(3.13)$$

Dimana :

W_1 = berat silinder (Kg)

W_2 = berat silinder + pasir (Kg)

V = volume (l)

3.4.3.5. Test Kebersihan Batu Pecah Terhadap Lumpur / Pencucian (ASTM C117 – 03)

- a. Tujuan
Untuk mengetahui / menentukan banyaknya kadar lumpur dalam batu pecah.
- b. Peralatan
 - Timbangan analisa 2600 gram
 - Saringan No. 200 dan No. 50
 - Oven
 - Pan
- c. Bahan
 - Batu pecah kering oven
 - Air
- d. Prosedur
 1. Timbangan batu pecah oven sebanyak 1000 gram.
 2. Batu pecah dicuci hingga bersih, yaitu dengan mengaduk batu pecah dengan air berkali-kali hingga tampak bening.
 3. Tuangkan air cucian kedalam saringan No. 200 berkali-kali
 4. Batu pecah yang ikut tertuang dan tinggal diatas saringan kembalikan ke pan
 5. Batu pecah dioven dengan suhu 110 + 5 derajat celcius.
 6. Setelah dingin ditimbang.
- e. Rumus yang digunakan
Untuk mendapatkan kadar lumpur dalam batu pecah, maka akan diterangkan pada **Pers. 3.14** sebagai berikut:

$$\text{Kebersihan Batu Pecah} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \% \quad \dots(3.14)$$

Dimana :

W_1 = berat batu pecah kering (gram)

W_2 = berat batu pecah bersih kering (gram)

3.4.4. *Fly Ash*

3.4.4.1. *Analisa X-Ray Fluorance (XRF) pada Fly Ash*

Merupakan teknik analisis unsur yang membentuk suatu material dasar interaksi sinar-x dengan material analit. Tujuan dari uji XRF menurut ASTM C618-96 adalah untuk mengetahui *type Fly Ash* yaitu dengan komposisi kimia dan prosentase oksida pada material *Fly Ash* yang akan diuji.

3.4.5. *Bottom Ash*

3.4.5.1. *Percobaan Berat Jenis Pasir (ASTM C 128 – 01)*

a. Tujuan

Untuk mengetahui berat jenis yang diperoleh dari agregat halus dalam hal ini berat jenis *bottom ash*.

b. Peralatan

- Labu Takar 1000 cc
- Timbangan 2600 gram
- Oven
- Pan *Hair dryer* / Kipas Angin
- Kerucut dan rojokan SSD

c. Bahan

Pasir

d. Prosedur

- Penyiapan *bottom ash* untuk kondisi SSD :
 1. Rendam *bottom ash* 24 jam selanjutnya angkat dan tiriskan hingga airnya hilang.
 2. Keringkan dengan *hair dryer* atau kipas angin sambil dibolak balik dengan sendok untuk mencari keadaan SSD.
 3. Tempatkan kerucut SSD pada bidang datar yang tidak mengisap air.

4. Isi kerucut SSD $\frac{1}{3}$ tingginya dan rojok 8 kali, isi lagi $\frac{1}{3}$ tinggi dan rojok 8 kali, isi lagi $\frac{1}{3}$ tinggi dan rojok 8 kali.
 5. Ratakan permukaannya dan angkat kerucutnya, bila *bottom ash* masih berbentuk kerucut maka *bottom ash* belum SSD.
 6. Keringkan lagi bila dan ulangi lagi pengisian dengan prosedur sebelumnya, bila kerucut diangkat dan *bottom ash* gugur tetapi berpuncak maka *bottom ash* sudah dalam kondisi SSD dan siap untuk digunakan dalam pengujian.
- Timbang labu takar 1000 cc
 - Timbang *bottom ash* kondisi SSD sebanyak 500 gram dan masukkan *bottom ash* ke dalam labu takar dan timbang.
 - Isi labu takar yang berisi *bottom ash* dengan air bersih hingga penuh.
 - Pegang labu takar yang sudah berisi air dan *bottom ash* posisi miring, putar ke kiri dan kanan hingga gelembung – gelembung udara dalam pasir keluar.
 - Sesudah gelembung-gelembung keluar tambahkan air ke dalam labu takar hingga batas kapasitas dan timbang (w_1).
 - Keluarkan *bottom ash* dan air dari dalam labu takar dan labu takar dibersihkan kemudian isi labu takar dengan air sampai batas kapasitas dan timbang.
- e. Rumus yang digunakan
Untuk mendapatkan berat jenis *bottom ash*, maka akan diterangkan pada **Pers. 3.3** sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis } \textit{Bottom ash} = \frac{S}{(S + W_2) - W_1} \quad \text{..(3.3)}$$

Dimana :

W_1 = berat labu + *bottom ash* + air (gram)

W_2 = berat labu + air (gram)

3.4.5.2. Percobaan Air Resapan Pada *Bottom Ash* (ASTM C 128-01)

- a. Tujuan
Untuk mengetahui kadar air resapan yang diperoleh dari *bottom ash* .
- b. Peralatan
 - Timbangan 2600 gram
 - Oven
 - Pan *Hair dryer* / Kipas Angin
- c. Bahan
bottom ash dalam kondisi SSD
- d. Prosedur
 - Timbang *bottom ash* dalam kondisi SSD sebanyak 500 gram.
 - Masukkan ke dalam oven selama 24 jam.
 - *bottom ash* dikeluarkan dan setelah dingin baru ditimbang.
- e. Rumus yang digunakan
Untuk mendapatkan kelembaban *bottom ash*, maka akan diterangkan pada **Pers. 3.5** sebagai berikut:

$$\text{Air Resapan } \textit{Bottom ash} = \frac{S - W_1}{W_1} \times 100 \% \quad ..(3.5)$$

Dimana :

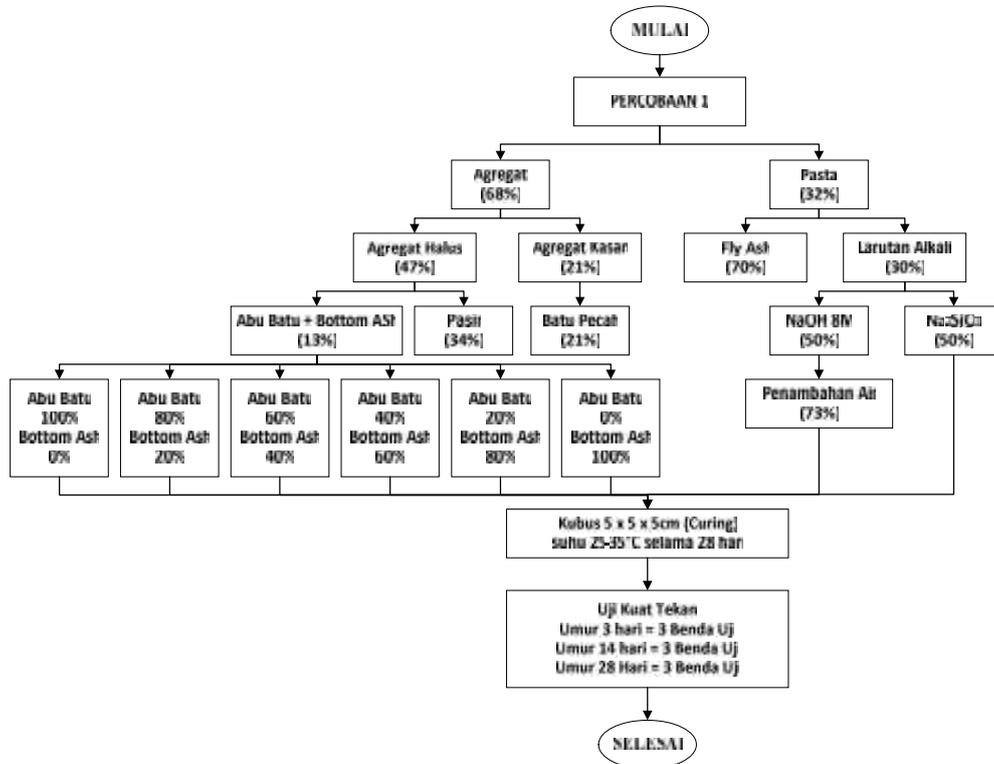
W_1 = berat *bottom ash* dalam kondisi SSD (gram)

3.4.5.3. Analisa *X-Ray Fluorance* (XRF) pada *Bottom Ash*

Merupakan teknik analisis unsur yang membentuk suatu material dasar interaksi sinar-x dengan material analit. Tujuan dari uji XRF menurut ASTM C618-96 adalah untuk mengetahui *type Bottom Ash* yaitu dengan komposisi kimia dan prosentase oksida pada material *Bottom Ash* yang akan diuji.

3.5. Penentuan Komposisi Campuran

Untuk mendapatkan Hasil Kuat Tekan Maksimal pada *Paving* Geopolimer ini diperlukan beberapa percobaan dari segi komposisi maupun teknik pelaksanaannya. komposisi *paving* geopolimer ini terdiri dari beberapa komposisi bahan material atau *mixdesign* seperti pasir, batu pecah, abu batu, *bottom ash*, dan *fly ash*. Sedangkan aktivatornya yaitu larutan alkali yang berupa NaOH 8M dan Na₂SiO₃. Dalam penelitian ini, penggunaan *bottom ash* dibuat bervariasi yaitu 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% terhadap berat abu batu karena bertujuan untuk menentukan nilai kuat tekan tertinggi terhadap pengaruh penambahan *bottom ash*. Semakin banyak penambahan *bottom ash* semakin ekonomis juga harga produksi *paving* ini akan tetapi harus dikaji dahulu agar sesuai dengan persyaratan SNI 03-0691-1996. Pada **Gambar. 3.10** Menerangkan diagram urutan pada proses pembuatan kubus 5 x 5 x 5cm untuk percobaan 1 sebagai berikut :



Gambar 3.10 Percobaan 1 untuk menentukan komposisi yang terbaik dengan kubus 5x5x5cm

Setiap pengujian dibutuhkan 3 benda uji untuk mendapatkan data yang lebih akurat pada penelitian ini dengan umur 7, 14, 21, 28 hari. Tempat pembuatan dilakukan secara manual di Laboratorium Beton Teknik Sipil ITS.

Variable yang dikaji dalam penelitian ini adalah perbandingan prosentase abu batu dengan *bottom ash*. Kode benda uji, % Abu Batu, % *Bottom Ash* dan jumlah paving dijelaskan pada **Tabel 3.1** berikut :

Tabel 3.1 Kode benda uji, Perbandingan abu batu dengan *bottom ash*, umur beton dan jumlah *paving* untuk percobaan 1 memakai kubus 5x5x5cm.

No.	Kode Benda Uji	Perbandingan		Umur	Jumlah
		Abu Batu	Bottom Ash	Beton	Paving
		(%)	(%)	Hari	Buah
1	PG - U7 -AB 100%	100	0	7	3
2	PG - U14 -AB 100%	100	0	14	3
3	PG - U28 -AB 100%	100	0	28	3
4	PG - U7 -AB 80%	80	20	7	3
5	PG - U14 -AB 80%	80	20	14	3
6	PG - U28 -AB 80%	80	20	28	3
4	PG - U7 -AB 60%	60	40	7	3
5	PG - U14 -AB 60%	60	40	14	3
6	PG - U28 -AB 60%	60	40	28	3
7	PG - U7 -AB 40%	40	60	7	3
8	PG - U14 -AB 40%	40	60	14	3
9	PG - U28 -AB 40%	40	60	28	3
10	PG - U7 -AB 20%	20	80	7	3
11	PG - U14 -AB 20%	20	80	14	3
12	PG - U28 -AB 20%	20	80	28	3
10	PG - U7 -AB 0%	0	100	7	3
11	PG - U14 -AB 0%	0	100	14	3
12	PG - U28 -AB 0%	0	100	28	3

Penjelasan kode benda uji untuk masing masing variasi adalah sebagai berikut :

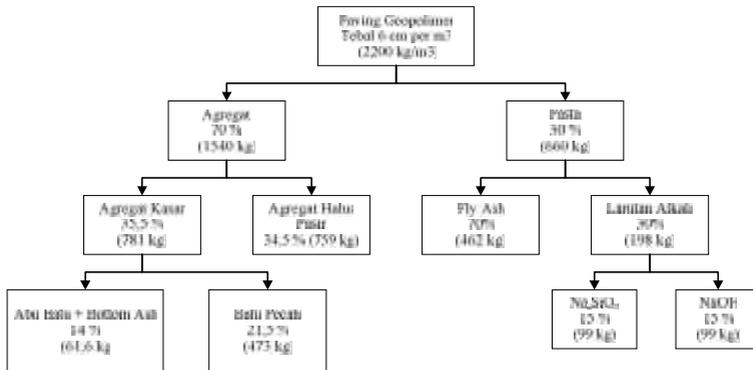
- PG - U7 -AB 100% = *paving* geopolimer menggunakan abu batu 100 % dengan *Bottom ash* 0% yang berumur 7 hari
- PG - U14 -AB 100% = *paving* geopolimer menggunakan abu batu 100 % dengan *Bottom ash* 0% yang berumur 14 hari
- PG - U28 -AB 100% = *paving* geopolimer menggunakan abu batu 100 % dengan *Bottom ash* 0% yang berumur 28 hari
- PG - U7 -AB 80% = *paving* geopolimer menggunakan abu batu 80 % dengan *Bottom ash* 20% yang berumur 7 hari
- PG - U14 -AB 80% = *paving* geopolimer menggunakan abu batu 80 % dengan *Bottom ash* 20% yang berumur 14 hari
- PG - U28 -AB 80% = *paving* geopolimer menggunakan abu batu 80 % dengan *Bottom ash* 20% yang berumur 28 hari
- PG - U7 -AB 60% = *paving* geopolimer menggunakan abu batu 60 % dengan *Bottom ash* 40% yang berumur 7 hari
- PG - U14 -AB 60% = *paving* geopolimer menggunakan abu batu 60 % dengan *Bottom ash* 40% yang berumur 14 hari
- PG - U28 -AB 60% = *paving* geopolimer menggunakan abu batu 60 % dengan *Bottom ash* 40% yang berumur 28 hari
- PG - U7 -AB 40% = *paving* geopolimer menggunakan abu batu 40 % dengan *Bottom ash* 60% yang berumur 7 hari
- PG - U14 -AB 40% = *paving* geopolimer menggunakan abu batu 40 % dengan *Bottom ash* 60% yang berumur 14 hari

- PG - U28 -AB 40% = *paving* geopolimer menggunakan abu batu 40 % dengan *Bottom ash* 60% yang berumur 28 hari
- PG - U7 -AB 20% = *paving* geopolimer menggunakan abu batu 20 % dengan *Bottom ash* 80% yang berumur 7 hari
- PG - U14 -AB 20% = *paving* geopolimer menggunakan abu batu 20 % dengan *Bottom ash* 80% yang berumur 14 hari
- PG - U28 -AB 20% = *paving* geopolimer menggunakan abu batu 20 % dengan *Bottom ash* 80% yang berumur 28 hari
- PG - U7 -AB 0% = *paving* geopolimer menggunakan abu batu 0 % dengan *Bottom ash* 100% yang berumur 7 hari
- PG - U14 -AB 0% = *paving* geopolimer menggunakan abu batu 0 % dengan *Bottom ash* 100% yang berumur 14 hari
- PG - U28 -AB 0% = *paving* geopolimer menggunakan abu batu 0 % dengan *Bottom ash* 100% yang berumur 28 hari

3.5.1. Komposisi *Paving* Geopolimer

Setelah dilakukan percobaan 1 dan mendapatkan hasil kuat tekan maksimal, akan dilanjutkan percobaan 2 yaitu menggunakan mesin press manual dan mesin press masinal agar mengetahui produk dalam penelitian ini. Apakah bisa diaplikasikan atau masi perlu perbaikan lagi. Komposisi material yang sebelumnya direncanakan menggunakan kubus 5x5x5cm, setelah mendapatkan hasil kuat tekan diumur 28 hari dilanjutkan skala lapangan dengan menggunakan mesin press manual maupun masinal yang menghasilkan *paving* ukuran 20x10x6cm.

Perhitungan komposisi campuran *paving* geopolimer yang direncanakan untuk percobaan 2 yang menggunakan mesin press manual maupun masinal dan menghasilkan *paving block* dengan tebal 6 cm per meter kubik akan dijelaskan pada **Gambar 3.11** Sebagai berikut :



Gambar 3.11 Komposisi Paving Geopolimer

Berdasarkan hasil observasi survei pada tahun 2016 di PLTU Suralaya, tiap hari produksi batubara mencapai 35000 ton per hari yang berarti setiap harinya PLTU Suralaya menghasilkan limbah batubara sebesar 1750 ton. Limbah batubara berupa abu terbang (fly ash) dengan presentase 80% dari 1750 ton dan abu endap (bottom ash) dengan presentase 20% dari 1750 ton. Penanganan abu batu bara umumnya yang dilakukan di Indonesia masih dalam bentuk penimbunan pada landfill, sedangkan penyerapan maksimal dalam penimbunan yaitu 1 Ha menampung 66.900 ton.

Didapatkan persentase kebutuhan fly ash dan bottom ash (FABA) tiap satu buah paving geopolimer sebesar 33%. Pada

Tabel. 3.2 Menerangkan perhitungan kebutuhan *fly ash* dan *bottom ash* menggunakan mesin press paving sebagai berikut :

Tabel 3.2 Perhitungan kebutuhan *fly ash* dan *bottom ash* dengan menggunakan mesin press paving uk. 20 x 10 x 6cm.

No	Nama Material	Produksi 1 Buah Mesin Paving Press				Unit
		Manual =		Masinal =		
		400pc/Day		8000 pc/Day		
		Day	Month	Day	Month	
1	Fly Ash	0.31	7.66	6.124	153.11	Ton
2	Bottom Ash	0.14	3.59	2.869	71.72	Ton

3.5.2. Analisa Biaya pada *Paving Geopolimer*

Analisa Biaya dilakukan untuk memastikan bahwa harga pembuatan *paving* geopolimer dalam penelitian ini yang digunakan telah memenuhi harga pasar yang ada di Indonesia khususnya provinsi jawa timur. Berdasarkan harga *paving block* K-400 pada PT. Merak Jaya Beton dengan tebal 6 cm Rp. 706,00 dan berikut penjelasan hitungan harga pada *trial* yang sudah dilakukan di laboratorium dengan tebal 6 cm dijelaskan pada **Tabel 3.3** sebagai berikut :

Tabel 3.3 Hitungan harga *paving* geopolimer tebal 6 cm tiap komposisi per buah sampai saat ini.

No	Berat Material	Nama Material	Harga per Kg		Jumlah	
	(Kg)		(Rp)		(Rp)	
1	1.169	Pasir	Rp	59.26	Rp	69.27
2	0.721	Split	Rp	76.92	Rp	55.47
3	0.090	Abu Batu	Rp	56.6	Rp	5.07
4	0.359	<i>Bottom Ash</i>	Rp	25.	Rp	8.96
5	0.120	Air	Rp	10.	Rp	1.20
6	0.766	<i>Fly Ash</i>	Rp	25.	Rp	19.14
7	0.044	NaOH <i>Flake</i>	Rp	8800.	Rp	388.20
8	0.164	Na ₂ SiO ₃	Rp	3200.	Rp	524.95
						Rp 1,072.26

3.6. Langkah-langkah Pembuatan *Paving Block*

Setelah membuat *mix* desain serta memperhitungkan analisa biaya, langkah berikutnya adalah cara pembuatan *paving block* geopolimer, metode pembuatan *paving* dilakukan dua macam yaitu cara pertama pembuatan menggunakan mesin press manual untuk paving tebal 6 cm dan cara kedua pembuatan menggunakan mesin press hidrolis untuk *paving* tebal 8 cm. beikut langkah langkah proses pembuatan *paving* geopolimer sebagai berikut :

3.6.1. Proses Pembuatan *Paving* Geopolimer menggunakan Mesin Press Manual

1. Persiapkan peralatan dan Bahan yang akan digunakan.

Alat :

- Cetakan Besi *Paving* Uk. 20 x 10 x 6 cm
- Ember Hitam
- Ayakan Pasir
- Timabangan
- Terpal
- Cetok Besi
- Sekop
- Palu Karet
- Sarung Tangan

Bahan :

- Pasir
- Batu Pecah ½
- Abu Batu
- *Bottom Ash*
- *Fly Ash*
- NaOH *flake*
- Na₂SiO₃
- Air Bersih
- Oli untuk cetakan *paving*

2. Siapkan peralatan yang akan digunakan seperti ember hitam untuk mencampur material, cetok besi, sarung tangan, dan cetkan besi untuk pembuatan paving.
3. Na_2SiO_3 dicampur dengan larutan NaOH supaya kandungan akan bereaksi dan tercampur.
4. Satu per satu material dimasukkan ke dalam wadah seperti ember hitam untuk diaduk hingga tercampur secara merata.
5. Bahan adukan dimasukkan ke dalam cetakan besi *paving* yang sebelumnya telah diolesi oli, padatkan secara manual dan ratakan permukaan atasnya agar saat dicetak tidak hasil retakan.
6. Tekan *Paving* yang telah terisi dicetakan tersebut menggunakan secara manual ke arah bawah sampai tertekan merata.
7. Hasil cetakan *paving* dikeluarkan dan ditempatkan yang aman dan tutup menggunakan karung goni basah dan Terpal Selama 24 jam.
8. Lakukan perawatan *paving* setiap harinya dengan menyirami air pada karung goni basah minimal 1 hari sekali selama 28 hari.
Usahakan karung goni dalam posisi lembab agar bisa mencapai mutu yang maksimal.
9. Pengujian tes kuat tekan *paving* tersebut pada 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. , sedangkan tes penyerapan air dan keausan dilakuakn pada hari ke 28.

3.6.2. Proses Pembuatan *Paving* Geopolimer menggunakan Mesin Press hidrolik (Masinal).

Berikut ini adalah cara pembuatan *paving block* geopolimer:

1. Persiapkan peralatan dan Bahan yang akan digunakan.

Alat :

- Mesin Press Hidrolik *Paving Block*
- Matras ukuran 60 x 60 x 60cm
- Plastik Cor
- Karung Goni
- Ember Hitam
- Timabangan
- Terpal
- Cetok Besi
- Sekop
- Sarung Tangan

Bahan :

- Pasir
- Batu Pecah 1x1cm
- Abu Batu
- *Bottom Ash*
- *Fly Ash*
- *NaOH flake*
- Na_2SiO_3 52BE
- Air Bersih
- Oli untuk cetakan *paving*

2. Kemudian satu per satu material dimasukkan ke dalam wadah *mixer* untuk diaduk hingga tercampur secara merata.
3. Bahan adukan dimasukkan ke dalam alat cetak *paving* yang sebelumnya telah diolesi oli, padatkan dan ratakan.
4. Tekan *Paving* yang telah terisi dicetakan tersebut menggunakan mesin press *paving* ke arah bawah sampai tertekan merata.

5. Hasil cetakan *paving* dikeluarkan dan ditempatkan yang aman dan tutup menggunakan karung goni lalu dengan Terpal Selama 24 jam.
6. Lakukan penyiraman air pada *paving* minimal sehari 2 kali pagi hari dan sore hari selama 28 hari.
7. Lakukan Pengujian *paving* tersebut pada 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.

3.7. Proses Curing *Paving* Geopolimer

Proses *curing paving* geopolimer dalam penelitian ini, benda uji setelah dicetak dilepas dari cetakan, kemudian benda uji ditutup dengan kain goni trus kemudian ditutup dengan plastik tujuannya agar udara tidak masuk dalam benda uji sehingga proses polimerisasi pada *paving* geopolimer ini bisa terjadi maksimal. Kemudian diamkan pada suhu lapangan antara 25°C - 30°C dan diamkan selama 24 jam, setelah 24 jam benda uji dibuka kembali lakukan penyiraman air setiap 2 -3 kali dalam sehari setelah selesai penyiraman tetap tutup kembali memakai karung goni dan plastik. Lakukan setiap hari selama 28 hari. Proses polimerisasi paling maksimal dikondisi *curing* ini jadi perhatikan langkah langkah curing sesuai prosedur agar mencapai kuat tekan, penyerapan air, ketahanan aus secara maksimal.

3.8. Pengujian *Paving* Geopolimer

Menurut SNI 03-0691-1996 tentang *Paving Block* (Bata Beton) dijelaskan pada **Tabel 3.4** dengan syarat mutu sebagai berikut:

1. Sifat tampak. *Paving* harus mempunyai permukaan yang rata, tidak retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah direpihkan dengan jari tangan

2. Ukuran. *Paving* harus mempunyai ukuran tebal minimum 60 mm dengan toleransi $\pm 8\%$
Sifat fisika. *Paving* harus mempunyai sifat-sifat fisika yang akan diterangkan pada **Tabel. 3.4** sebagai berikut:

Tabel 3.4 Persyaratan setiap jenis mutu *paving* sesuai dengan SNI 03-0691-1996

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

Dengan klasifikasi:

Paving mutu A: digunakan untuk jalan

Paving mutu B: digunakan untuk peralatan parkir

Paving mutu C: digunakan untuk pejalan kaki

Paving mutu D: digunakan untuk taman dan penggunaan lain

3.8.1. Tes Kuat Tekan

Tes tekan dilakukan pada 7, 14, 21 dan 28 hari dengan alat tes tekan UTM (Universal Testing Machine) di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Teknik Sipil-ITS. Untuk setiap tes kuat tekan, digunakan 3 benda uji dari setiap komposisi untuk diambil rata – rata dari setiap nilai yang diperoleh.

1. Tujuan :

Untuk mengetahui kekuatan tekan *paving* geopolimer terhadap pembebanan.

2. Alat :

- a. Mesin test hidrolis (*Torse Universal Testing Machine*)
3. Bahan :
 - a. Benda uji *paving* geopolimer ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm
 - b. Benda uji *paving* geopolimer ukuran 20 cm x 10 cm x 8 cm
4. Prosedur Pelaksanaan :
 - a. Letakkan benda uji pada alat tekan tes hidrolis dan bidang dengan permukaan yang telah ditentukan
 - b. Gerakkan tuas berwarna merah keatas dan tekan tombol penggerak pada posisi on.
 - c. Matikan tombol penggerak pada saat beton pecah (jarum sudah tidak bergerak lagi).
 - d. Gerakkan tuas kebawah sehingga benda uji bisa terlepas dari jepitan untuk mengambil kembali benda uji tersebut.
5. Rumus yang digunakan
 Untuk menghitung besarnya kuat tekan beton geopolimer, maka digunakan rumus tes tekan sesuai dengan SNI 03-0691-1996 (pasal 7.3) diterangkan pada **Pers. 3.17** berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A} \times g \quad \dots\dots(3.17)$$

Dengan :

= kuat tekan *paving* (MPa)

P = gaya yang diberikan pada permukaan *paving* (kg)

A = luas permukaan *paving* (mm²)

g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

6. Foto alat tes kuat tekan
 Untuk mendukung gambar alat untuk tes kuat tekan *paving*, maka Berikut hasil gambar salah satu

contoh alat untuk tes kuat tekan paving, bisa dilihat pada **Gambar 3.12** sebagai berikut :



Gambar 3.12 Universal Testing Machine di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Teknik Sipil-ITS

3.8.2. Tes Ketahanan Aus

Tes ketahanan aus sesuai dengan SNI 03-0691-1996 (pasal 7.4).

1. Prosedur Pelaksanaan :
 - a. Siapkan contoh benda uji dalam berbentuk *paving block* dengan ukuran 20cm x 10cm x tebal 6cm.
 - b. Mesin pengaus dijalankan dan setelah pengaus pertama berlangsung 10 menit, benda uji diputar 90°, dan pengausan dilanjutkan.
 - c. Setiap setelah pengausan berlangsung 10 menit, benda uji diputar 90°, dan hal ini dilakukan sampai pengaus berlangsung 5x2 menit. Selama menit-menit pengausan, permukaan yang diaus

harus selalu diamati setiap menit apakah lapisan kepala ini telah ada yang habis.

- d. 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
2. Rumus yang digunakan :

Ketahanan aus masing-masing benda uji dihitung sebagai berikut dengan rumus yang digunakan pada **Pers. 3.18** sebagai berikut:

Rumus yang digunakan:

$$\frac{Ax1}{B x l x w} \quad \dots(3.18)$$

Keterangan:

A = selisih berat benda uji sebelum dan sesudah diaus (gram)

BJ= berat jenis rata-rata lapisan kepala

l = luas permukaan bidang aus (cm²)

w = lamanya pengausan (menit)

3. Foto alat tes kuat tekan :

Untuk mendukung gambar alat untuk tes ketahanan aus, maka Berikut hasil gambar salah satu contoh alat untuk tes ketahanan aus bisa dilihat pada **Gambar 3.13** sebagai berikut :



Gambar 3.13 Alat untuk tes ketahanan aus di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan D3 Teknik Sipil-ITS

3.8.3. Tes Penyerapan Air

Tes penyerapan air sesuai dengan SNI 03-0691-1996.

3. Ambil benda uji dalam keadaan utuh kemudian direndam dalam air hingga jenuh (24 jam), ditimbang beratnya dalam keadaan basah
4. Kemudian benda uji dikeringkan dalam dapur pengering selama ± 24 jam pada suhu $\pm 105^{\circ}\text{C}$ sampai beratnya pada dua kali penimbangan berselisih tidak lebih dari 0,2% penimbangan sebelumnya
5. Rumus yang digunakan pada **Pers. 3.18** sebagai berikut:

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \quad \dots(3.18)$$

Keterangan:

A = berat *paving* basah

B = berat *paving* kering

3.9. Kontrol Standar Deviasi

Untuk mengetahui mutu *paving* geopolimer yang telah dibuat, maka digunakan rumus pada **Pers. 3.19** dan **Pers. 3.20** kemudian dilakukan kontrol terhadap benda uji tersebut berikut :

$$S^2 = \frac{\sum(x-\mu)^2}{n-1} \quad \dots(3.19)$$

$$\text{Kovarian} = \frac{S^2}{\mu} \quad \dots(3.20)$$

Keterangan:

S^2 = standar deviasi

x = nilai benda uji

μ = rata-rata

n = jumlah benda uji

3.10. Analisa Data

Setelah dilakukan pengujian dan memperoleh data, kemudian dianalisa dan dibandingkan sesuai dengan persyaratan. Dari hasil uji kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air dapat dilihat apakah *paving* geopolimer memenuhi standar SNI 03-0691-1996.

3.11. Uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)

Prosedur Pelindian Karakteristik Beracun yang biasanya disebut uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*) adalah suatu prosedur laboratorium untuk memprediksi potensi pelindian B3 dari suatu Limbah. (PP No. 101 tahun 2014). Uji adalah Cara untuk menentukan kecenderungan limbah mengalami pelindian atau leaching. Sifat tersebut amat

penting untuk menentukan apakah limbah boleh di kubur dalam tanah (*landfill*). Jika konsentrasi zat pencemar sama dengan atau lebih kecil dari TCLP-C dan total konsentrasi C, tanah dimaksud dapat digunakan sebagai tanah pelapis dasar. Dalam penelitian ini ada 3 benda uji sebagai berikut :

1. Analisa Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) pada Fly Ash
2. Analisa Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) pada Bottom Ash
3. Analisa Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) pada Paving Geopolimer.

3.12. Uji Kadar pH dan *Total Dissolve Solid* (TDS) pada *Fly Ash* dan *Bottom Ash*.

3.12.1. Analisa Kadar pH menggunakan alat pHmeter

Uji pH digunakan untuk mengukur derajat keasaman atau kebasaaan (pH) suatu benda baik padat maupun cair. Pengukuran pH ditentukan dengan angka 1 hingga 14 dimana 7 menunjukkan pH netral sedangkan 7 kebawah menunjukkan kondisi asam dan 7 keatas menunjukkan kondisi basa. Dimana semakin besar pH dalam kondisi benda uji dalam *paving* geopolimer ini semakin tinggi juga unsur mineral dapat larut dan mengikat material lainnya. Dalam penelitian ini ada 2 benda uji dari material pembuat *paving* geopolimer yang akan diuji menggunakan alat pHmeter sebagai berikut :

1. Analisa Kadar pH pada Fly Ash
2. Analisa Kadar pH pada Bottom Ash

Adapun langkah langkah percobaan uji Kadar pH menggunakan pHmeter. Berikut ini adalah cara pengujian *fly ash / bottom ash* menggunakan pHmeter:

1. Persiapkan peralatan dan Bahan yang akan digunakan.

Alat :

- Mesin *Magnetic stirrer*
- magnet
- pHmeter
- Gelas Ukur 500 ml
- Pengaduk larutan

Bahan :

- *Fly ash* untuk *paving* geopolimer seberat 100 gram
 - *Bottom ash* untuk *paving* geopolimer seberat 100 gram
 - Aquades 400 gram
2. Siapkan peralatan yang akan digunakan seperti gelas ukur, pengaduk larutan, dll
 3. Material *fly ash* / *bottom ash* terlebih dahulu disiapkan sesuai dengan komposisi yang telah dihitung sebelumnya
 4. *Fly ash* / *bottom ash* dicampur dengan aquades didalam gelas ukur 500 ml
 5. Masukkan magnet tepat didasar gelas ukur yang sudah tercampur dengan *fly ash* / *bottom ash*.
 6. Larutan yang sudah tercampur masukkan kedalam mesin *magnetic stirrer* dan atur kecepatan putaran agar tercampur merata
 7. Tunggu selama 15 menit biar larutan yang berisi *fly ash* / *bottom ash* tercampur merata.
 8. Setelah 15 menit ambil larutan dalam mesin *magnetic stirrer*
 9. Siapkan alat pHmeter yang sebelumnya sudah dibersihkan menggunakan aquades.
 10. Masukkan pHmeter kedalam gelas ukur.
 11. Tunggu waktu beberapa detik dan catat kadar pH dalam pHmeter.

3.12.2. Analisa *Total Dissolve Solid* (TDS) menggunakan alat TDSmeter

Dalam Bahasa Indonesia *Total Dissolved Solid* adalah “jumlah padatan terlarut” sedangkan Fungsi TDS adalah untuk mengukur jumlah padatan atau zat terlarut baik zat organik maupun anorganik yang terdapat pada sebuah larutan. Aplikasi TDS yaitu zat terlarut harus melewati saringan berdiameter 2 mikrometer agar dapat diukur zat kelarutan dengan satuan *part per million* (ppm). Dalam penelitian ini ada 2 benda uji dari material pembuat *paving* geopolimer yang akan diuji menggunakan alat TDS meter sebagai berikut :

1. Analisa Total Dissolve Solid (TDS) pada Fly Ash
2. Analisa Total Dissolve Solid (TDS) pada Bottom Ash .

Adapun langkah langkah percobaan uji *Total Dissolve Solid* (TDS) menggunakan TDS meter. Berikut ini adalah cara pengujian *fly ash / bottom ash* menggunakan TDS meter :

1. Persiapkan peralatan dan Bahan yang akan digunakan.
Alat :
 - Mesin *Magnetic stirrer*
 - TDS meter
 - Gelas Ukur 500 ml
 - Gelas Ukur 100 ml
 - Kertas *whatman*
 - Pengaduk larutan
 Bahan :
 - *Fly ash* untuk *paving* geopolimer seberat 100 gram
 - *Bottom ash* untuk *paving* geopolimer seberat 100 gram
 - Aquades 400 gram
2. Siapkan peralatan yang akan digunakan seperti gelas ukur, kertas *whatman*, pengaduk larutan, dll

3. Material *fly ash* / *bottom ash* terlebih dahulu disiapkan sesuai dengan komposisi yang telah dihitung sebelumnya
4. *Fly ash* / *bottom ash* dicampur dengan aquades didalam gelas ukur 500 ml
5. Masukkan magnet tepat didasar gelas ukur yang sudah tercampur dengan *fly ash* / *bottom ash*.
6. Larutan yang sudah tercampur masukkan kedalam mesin *magnetic stirrer* dan atur kecepatan putaran agar tercampur merata
7. Tunggu selama 15 menit biar larutan yang berisi *fly ash* / *bottom ash* tercampur merata.
8. Setelah 15 menit ambil larutan dalam mesin *magnetic stirrer*
9. Saring larutan tersebut menggunakan kertas *whatman* didalam gelas ukur 100 ml.
10. Tunggu larutan yg tersaring hingga 70 ml.
11. Siapkan alat TDSmeter yang sebelumnya sudah dibersihkan menggunakan aquades.
12. Setelah larutan telah tersaring hingga 70 ml masukkan TDSmeter kedalam gelas ukur.
13. Tunggu waktu beberapa detik dan catat berapa ppm ukuran larutan yang terlarut.

3.13 Kesimpulan

Dari analisa data yang sudah dilakukan dapat diambil kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Berikut hasil gambar *paving* yang telah dilakukan sampai saat ini, bisa dilihat pada **Gambar 3.14** sebagai berikut :



Gambar 3.14 Hasil *paving* geopolimer yang sudah dilakukan di Lab Beton ITS dengan tebal 6 cm sampai saat ini dengan komposisi *bottom ash* 0% hingga mencapai K-500.

BAB IV

HASIL PENGUJIAN & ANALISA DATA

4.1 Umum

Pada bab ini akan menjelaskan hasil dari seluruh percobaan yang telah dilakukan di laboratorium dan kemudian dianalisa lalu diambil kesimpulan dari percobaan yang telah dilakukan. Hasil percobaan meliputi hasil analisa material, analisa harga *paving* geopolimer, dan hasil uji *paving* geopolimer. Untuk mempermudah dalam menganalisa, data-data hasil pengujian dan analisis akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

Berikut spesifikasi material yang digunakan dalam pembuatan *paving* geopolimer ini antara lain :

1. Pasir
2. Batu pecah
3. Abu Batu
4. *Fly ash*
5. *Bottom ash*
6. NaOH (Sodium Hidroksida)
7. Na₂SiO₃ (sodium Silikat)
8. Air Bersih

Adapun langkah-langkah untuk memudahkan jalannya analisis dengan melalui tahapan :

1. Data dan hasil analisa material
2. Data dan hasil analisa *paving* geopolimer
3. Kesesuain *paving* geopolimer dengan SNI 03-0691-1996 tentang bata beton (*paving block*)

4.2 Data dan Hasil Analisa Material

Analisa Material ini dilakukan untuk mengetahui gambaran sifat – sifat fisik dan kimia dari material material yang digunakan dalam penelitian ini. Analisa sifat fisik terdiri dari analisa berat jenis, kelembaban pasir, air resapan, berat volume, kebersihan material terhadap bahan organik, kebersihan material terhadap lumpu / pengendapan, kebersihan material terhadap lumpur /

pencucian, analisa saringan material, dan analisa keausan material. Sedangkan analisa sifat kimia dan fisika terdiri dari Analisa *XRD* dan *XRF*. Dalam analisa material yang dilakukan pada penelitian *paving* geopolimer ini meliputi analisa dari material pasir, material abu batu, material batu pecah, material *fly ash*, dan material *bottom ash*.

4.2.1 Analisa Pasir

Berikut beberapa jenis pengujian material pasir yang digunakan dalam pembuatan *paving* geopolimer ini sesuai dengan tiap persyaratannya, antara lain :

1. Analisa Berat Jenis Pasir (ASTM C 128-01)
2. Analisa Kelembaban Pasir (ASTM C 566-97)
3. Analisa Air Resapan Pasir (ASTM C 128-01)
4. Analisa Berat Volume Pasir (ASTM C29/C29 M97a)
5. Analisa Kebersihan Pasir Terhadap Bahan Organik (ASTM C 40 – 04)
6. Analisa Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur (pengendapan) ASTM C33-86
7. Analisa Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur / Pencucian (ASTM C117 – 03)

4.2.1.1 Analisa Berat Jenis Pasir (ASTM C 128-01)

Berikut hasil dari analisa berat jenis pasir yang dijelaskan pada **Tabel 4.1** dan dilengkapi **Gambar 4.1** :

Tabel 4.1 Hasil Uji Berat Jenis Pasir

No	Percobaan	Jumlah	Unit
1	Berat Labu + Pasir + Air (W1)	1565	gr
2	Berat Pasir kondisi SSD (W2)	500	gr
3	Berat Labu + Air (W3)	1250	gr
	Berat Jenis Abu Batu = $W2/(W2+W3-W1)$	2.70	%



Gambar 4.1 Proses Uji Berat Jenis Pasir

Berdasarkan ASTM C128 -01 mengenai berat jenis pasir dijelaskan bahwa pasir dinyatakan dalam kondisi baik jika dalam batas $2,4 - 2,7 \text{ gr/cm}^2$. Dari percobaan didapatkan berat jenis pasir sebesar $2,7 \text{ gr/cm}^2$ sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi pasir sudah memenuhi persyaratan.

4.2.1.2 Analisa Kelembaban Pasir (ASTM C 566-97)

Berikut hasil dari analisa kelembaban pasir yang dijelaskan pada **Tabel 4.2** dan dilengkapi **Gambar 4.2** :

Tabel 4.2 Hasil Uji Kelembaban Pasir

No	Percobaan	Jumlah	Unit
1	Berat Pasir Asli (W2)	500	gr
2	Berat Pasir Oven (W1)	496	gr
Kelembaban Pasir = $(W2-W1)/W1 \times 100\%$		0.81	%



Gambar 4.2 Proses Uji Kelembaban Pasir

Berdasarkan ASTM C566-89 mengenai kelembaban pasir dijelaskan bahwa pasir dinyatakan dalam kondisi kering jika mencapai angka kurang dari 0,1%. Dari percobaan didapatkan kelembaban pasir sebesar 0,81 % sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi pasir belum memenuhi syarat dalam keadaan kering.

4.2.1.3 Analisa Air Resapan Pasir (ASTM C 128-01)

Berikut hasil dari analisa air resapan pasir yang dijelaskan pada **Tabel 4.3** dan dilengkapi **Gambar 4.3** :

Tabel 4.3 Hasil Uji Air Resapan Pasir

No	Percobaan	Jumlah	Unit
1	Berat Pasir SSD (W2)	500	gr
2	Berat Pasir Oven (W1)	490	gr
	Kelembaban Pasir = $(W2-W1)/W1 \times 100\%$	2.0408	%



Gambar 4.3 Proses Uji Air Resapan Pasir

Berdasarkan ASTM 128-01 mengenai air resapan pasir dijelaskan bahwa kadar air pasir yang baik jika mencapai angka antara 1 – 4%. Dari percobaan didapatkan air resapan pasir sebesar 2,048 % sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi pasir yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.2.1.4 Analisa Berat Volume Pasir (ASTM C29/C29 M-97a)

Berikut hasil dari analisa berat volume pasir yang dijelaskan pada **Tabel 4.4** dan dilengkapi **Gambar 4.4** :

Tabel 4.4 Hasil Berat Volume Pasir

No	Percobaan	Dengan Rojokan	Unit	Tanpa Rojokan	Unit
1	Berat Silinder Kosong (W1)	2.625	kg	2.625	kg
2	Berat Silinder + Pasir (W2)	7.5	kg	7.565	kg
3	Berat Pasir (W2-W1)	4.875	kg	4.94	kg
4	Volume Silinder (V)	3	lt	3	lt
	Berat Volume = W2-W1/V	1.625	%	1.647	%
	Selisih Berat Volume	0.0217	kg/ lt	21.67	kg/m ³



Gambar 4.4 Proses Uji Berat Volume Pasir

Berdasarkan ASTM C29 mengenai berat volume pasir dijelaskan bahwa selisih percobaan berat volume pasir menggunakan rojokan dan tanpa menggunakan rojokan tidak boleh lebih dari 40 kg/m^3 . Dari percobaan didapatkan berat volume pasir sebesar 0.2167 kg/m^3 sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi pasir yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.2.1.5 Analisa Kebersihan Pasir Terhadap Bahan Organik (ASTM C 40 – 04)

Berikut hasil dari analisa kebersihan pasir terhadap bahan organik yang dijelaskan pada **Tabel 4.5** dan dilengkapi **Gambar 4.5** :

Tabel 4.5 Hasil Kadar Zat Organik Pasir

No	Percobaan	Jumlah	Unit
1	Volume Pasir	130	cc
2	Berat Pasir Oven (W1)	70	cc

Warna Yang timbul adalah Putih Bening



Gambar 4.5 Hasil dari Uji Kadar Zat Organik Pasir

Berdasarkan ASTM C40 - 04 mengenai kadar zat organik pasir dijelaskan bahwa warna hasil percobaan harus tidak lebih tua dari warna zat pembanding yaitu NaOH. Jika warna percobaan lebih tua dari warna NaOH akan merugikan terhadap mortar itu sendiri. Dari percobaan didapatkan warna dari uji kadar zat organik tersebut adalah putih bersih sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi pasir yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.2.1.6 Analisa Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur (pengendapan) (ASTM C33-99)

Berikut hasil dari analisa kebersihan pasir terhadap lumpur yang dijelaksan pada **Tabel 4.6** dan dilengkapi **Gambar 4.6** :

Tabel 4.6 Hasil Uji Pengendapan Lumpur pada Pasir

No	Percobaan	Jumlah	Unit
1	Tinggi Lumpur (h)	3	mm
2	Tinggi Pasir (H)	60	mm
Kadar Lumpur = $(h/H) \times 100\%$		5	%



Gambar 4.6 Hasil Uji Kadar Lumpur Pasir

Berdasarkan ASTM C33-86 mengenai kadar lumpur pasir dijelaskan bahwa kadar lumpur pasir yang baik yaitu memiliki batas maksimal mencapai 3% dari total sampel percobaan. Dari percobaan didapatkan kadar lumpur pasir sebesar 5 % sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi pasir yang digunakan tidak memenuhi persyaratan.

4.2.1.7 Analisa Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur / Pencucian (ASTM C117 – 03)

Berikut hasil dari analisa kebersihan pasir terhadap lumpur yang dijelaskan pada **Tabel 4.7** dan dilengkapi **Gambar 4.7** :

Tabel 4.7 Hasil Uji Pencucian Pasir terhadap Lumpur

No	Percobaan	Jumlah	Unit
1	Berat Pasir Kering (W1)	500	gr
2	Berat Pasir Bersih Kering (W2)	496	gr
Kadar Lumpur = $(W1-W2)/W1 \times 100\%$		0.8	%



Gambar 4.7 Proses Uji Pencucian Pasir terhadap Lumpur

Berdasarkan ASTM C117 - 03 mengenai kadar lumpur pasir dijelaskan bahwa kadar lumpur pasir yang baik yaitu memiliki batas maksimal mencapai 5% dari total sampel percobaan. Dari percobaan didapatkan kadar lumpur pasir sebesar 0.8 % sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi pasir yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.2.2 Analisa Abu Batu

Berikut beberapa jenis pengujian material pasir yang digunakan dalam pembuatan *paving* geopolimer ini sesuai dengan tiap persyaratannya, antara lain :

1. Analisa Berat Jenis Abu Batu (ASTM C 127-78)
2. Analisa Kelembaban Abu Batu (ASTM C 566-89)
3. Analisa Air Resapan Abu Batu (ASTM C 128-93)
4. Analisa Berat Volume Abu Batu (ASTM C29/C21)
5. Analisa Kebersihan Abu Batu Terhadap Bahan Organik (ASTM C 40 – 92)
6. Analisa Kebersihan Abu Batu Terhadap Lumpur (pengendapan) (ASTM C33-86)

7. Analisa Kebersihan Abu Batu Terhadap Lumpur / Pencucian (ASTM C117 – 95)

4.2.2.1 Analisa Berat Jenis Abu Batu (ASTM C 127 – 78)

Berikut hasil dari analisa berat jenis abu batu yang dijelaskan pada **Tabel 4.8** dan dilengkapi **Gambar 4.8** :

Tabel 4.8 Hasil Uji Berat Jenis Abu Batu

No	Percobaan	Jumlah	Unit
1	Berat Labu + Pasir + Air (W1)	1561	gr
2	Berat Pasir kondisi SSD (W2)	500	gr
3	Berat Labu + Air (W3)	1250	gr
Berat Jenis Abu Batu = $W2/(W2+W3-W1)$		2.65	%



Gambar 4.8 Proses Uji Berat Jenis Abu Batu

Berdasarkan ASTM C128 -01 mengenai berat jenis abu batu dijelaskan bahwa abu batu dinyatakan dalam kondisi baik jika dalam batas 2,4 – 2,7 gr/cm². Dari percobaan didapatkan berat jenis abu batu sebesar 2,65 gr/cm² sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi pasir sudah memenuhi persyaratan.

4.2.2.2 Analisa Kelembaban Abu Batu (ASTM C 566 -89)

Berikut hasil dari analisa kelembaban pasir yang dijelaskan pada **Tabel 4.9** dan dilengkapi **Gambar 4.9** :

Tabel 4.9 Hasil Uji Kelembaban Abu Batu

N o	Percobaan	Jumla h	Uni t
1	Berat Abu Batu Asli (W2)	500	gr
2	Berat Pasir Oven (W1)	486.7	gr
	Kelembaban Abu Batu = $(W2-W1)/W1 \times 100\%$	2.7326 9	%



Gambar 4.9 Proses Uji Kelembaban Abu Batu

Berdasarkan ASTM C566-89 mengenai kelembaban abu batu dijelaskan bahwa abu batu dinyatakan dalam kondisi kering jika mencapai angka kurang dari 0,1%. Dari percobaan didapatkan kelembaban abu batu sebesar 2,73 % sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi abu batu belum memenuhi syarat dalam keadaan kering.

4.2.2.3 Analisa Air Resapan Abu Batu (ASTM C 128 – 93)

Berikut hasil dari analisa air resapan abu batu yang dijelaskan pada **Tabel 4.10** :

Tabel 4.10 Hasil Uji Air Resapan Abu Batu

No	Percobaan	Jumlah	Unit
1	Berat Abu Batu SSD (W2)	500	gr
2	Berat Abu Batu Oven (W1)	490	gr
Kelembaban Abu Batu = $(W2-W1)/W1 \times 100\%$		2.0408	%

Berdasarkan ASTM 128-93 mengenai air resapan abu batu dijelaskan bahwa kadar air abu batu yang baik jika mencapai angka antara 1 – 4%. Dari percobaan didapatkan air resapan pasir sebesar 2,73 % sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi pasir yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.2.2.4 Analisa Berat Volume Abu Batu (ASTM C29 / C21)

Berikut hasil dari analisa berat volume abu batu yang dijelaksan pada **Tabel 4.11** dan dilengkapi **Gambar 4.10** :

Tabel 4.11 Hasil Berat Volume Abu Batu

No	Percobaan	Dengan Rojokan	Unit	Tanpa Rojokan	Unit
1	Berat Silinder Kosong (W1)	2.625	kg	2.625	kg
	Berat Silinder + Abu Batu (W2)	7.5	kg	7.505	kg
	Berat Abu Batu (W2-W1)	4.875	kg	4.88	kg
2	Volume Silinder (V)	3	lt	3	lt
	Berat Volume = $W2-W1/V$	1.625	%	1.626667	%
	Selisih Berat Volume	0.002	kg/ lt	0.017	kg/m ³



Gambar 4.10 Proses Uji Berat Volume Abu Batu

Berdasarkan ASTM C29 mengenai berat volume abu batu dijelaskan bahwa selisih percobaan berat volume abu batu menggunakan rojokan dan tanpa menggunakan rojokan tidak boleh lebih dari 40 kg/m^3 . Dari percobaan didapatkan berat volume pasir sebesar 0.017 kg/m^3 sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi abu batu yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.2.2.5 Analisa Kebersihan Abu Batu Terhadap Bahan Organik (ASTM C 40 – 92)

Berikut hasil dari analisa kebersihan pasir terhadap bahan organik yang dijelaskan pada **Tabel 4.12** dan dilengkapi **Gambar 4.11** :

Tabel 4.12 Hasil Kadar Zat Organik Abu Batu

No	Percobaan	Jumlah	Unit
1	Volume Abu Batu	130	cc
2	Berat Abu Batu Oven (W1)	70	cc
	Warna Yang timbul	Putih Bening	



Gambar 4.11 Hasil Uji Kadar Zat Organik Abu Batu

Berdasarkan ASTM C40 – 92 mengenai kadar zat organik abu batu dijelaskan bahwa warna hasil percobaan harus tidak lebih tua dari warna zat pembanding yaitu NaOH. Jika warna percobaan lebih tua dari warna NaOH akan merugikan terhadap mortar itu sendiri. Dari percobaan didapatkan warna dari uji kadar zat organik tersebut adalah putih bersih sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi abu batu yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.2.2.6 Analisa Kebersihan Abu Batu Terhadap Lumpur / Pencucian (ASTM C117 – 95)

Berikut hasil dari analisa kebersihan abu batu terhadap lumpur yang dijelaskan pada **Tabel 4.13** dan dilengkapi **Gambar 4.12** :

Tabel 4.13 Hasil Uji Pencucian Abu Batu terhadap Lumpur

No	Percobaan	Jumlah	Unit
1	Berat Abu Batu Kering (W1)	500	gr
2	Berat Abu Batu Bersih Kering (W2)	446.2	gr
Kadar Lumpur = $(W1-W2)/W1 \times 100\%$		10.76	%



Gambar 4.12 Hasil Uji Pencucian Pasir terhadap Lumpur

Berdasarkan ASTM C117 - 95 mengenai kadar lumpur pasir dijelaskan bahwa kadar lumpur pasir yang baik yaitu memiliki batas maksimal mencapai 5% dari total sampel percobaan. Dari percobaan didapatkan kadar lumpur pasir sebesar 10.76 % sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi pasir yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.2.2.7 Analisa Kebersihan Abu Batu Terhadap Lumpur / pengendapan (ASTM C33 – 86)

Berikut hasil dari analisa kebersihan abu batu terhadap lumpur yang dijelaskan pada **Tabel 4.14** :

Tabel 4.14 Hasil Uji Pengendapan Lumpur pada Abu Batu

No	Percobaan	Jumlah	Unit
1	Tinggi Lumpur (h)	8	mm
2	Tinggi Abu Batu (H)	150	mm
Kadar Lumpur = $(h/H) \times 100\%$		5.333	%

Berdasarkan ASTM C33 – 86 mengenai kadar lumpur abu batu dijelaskan bahwa kadar lumpur abu batu yang baik yaitu memiliki batas maksimal mencapai 5% dari total sampel percobaan. Dari percobaan didapatkan kadar lumpur abu batu

sebesar 5.33 % sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi abu batu yang digunakan tidak memenuhi persyaratan.

4.2.3 Analisa Batu Pecah

Berikut beberapa jenis pengujian material pasir yang digunakan dalam pembuatan *paving* geopolimer ini sesuai dengan tiap persyaratannya, antara lain :

1. Analisa Berat Jenis Batu Pecah (ASTM C 128-01)
2. Analisa Kelembaban Batu Pecah (ASTM C 566-97)
3. Analisa Air Resapan Batu Pecah (ASTM C 128-01)
4. Analisa Berat Volume Batu Pecah (ASTM C29/C29 M97a)
5. Analisa Kebersihan Batu Pecah Terhadap Bahan Organik (ASTM C 40 – 04)
6. Analisa Kebersihan Batu Pecah Terhadap Lumpur (pengendapan) ASTM C33-86
7. Analisa Kebersihan Batu Pecah Terhadap Lumpur / Pencucian (ASTM C117 – 03)

4.2.3.1 Analisa Berat Jenis Batu Pecah (ASTM C 127 – 88 Reapp. 01)

Berikut hasil dari analisa berat jenis batu pecah yang dijelaskan pada **Tabel 4.15** dan dilengkapi **Gambar 4.13** :

Tabel 4.15 Hasil Uji Berat Jenis Batu Pecah

No	Percobaan	Jumlah	Unit
1	Berat Batu Pecah (W1)	3000	gr
2	Berat Batu Pecah kondisi SSD (W2)	3000	gr
3	Berat Batu Pecah + Air (W3)	2136	gr
Berat Jenis Batu Pecah = $W2/(W2+W3-W1)$		1.4	%



Gambar 4.13 Proses Uji Berat Jenis Batu Pecah

Berdasarkan ASTM C128 -01 mengenai berat jenis batu pecah dijelaskan bahwa batu pecah dinyatakan dalam kondisi baik jika dalam batas $2,4 - 2,7 \text{ gr/cm}^2$. Dari percobaan didapatkan berat jenis batu pecah sebesar $1,4 \text{ gr/cm}^2$ sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi batu pecah belum memenuhi persyaratan.

4.2.3.2 Analisa Kelembaban Batu Pecah (ASTM C 566-97 Reapp 04)

Berikut hasil dari analisa kelembaban batu pecah yang dijelaskan pada **Tabel 4.16** dan dilengkapi **Gambar 4.14** :

Tabel 4.16 Hasil Uji Kelembaban batu pecah

No	Percobaan	Jumlah	Unit
1	Berat batu pecah Asli (W2)	500	gr
2	Berat batu pecah Oven (W1)	499	gr
	Kelembaban batu pecah = $(W2-W1)/W1 \times 100\%$	0.002	%



Gambar 4.14 Proses Uji Kelembaban batu pecah

Berdasarkan ASTM C566-89 mengenai kelembaban batu pecah dijelaskan bahwa batu pecah dinyatakan dalam kondisi kering jika mencapai angka kurang dari 0,1%. Dari percobaan didapatkan kelembaban batu pecah sebesar 0,002 % sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi batu pecah memenuhi syarat dalam keadaan kering.

4.2.3.3 Analisa Air Resapan Batu Pecah (ASTM C 127 – 88 Reapp. 01)

Berikut hasil dari analisa air resapan batu pecah yang dijelaskan pada **Tabel 4.17** dan dilengkapi **Gambar 4.15** :

Tabel 4.17 Hasil Uji Air Resapan batu pecah

No	Percobaan	Jumlah	Unit
1	Berat batu pecah SSD (W2)	3000	gr
2	Berat batu pecah Oven (W1)	2960	gr
	Kelembaban batu pecah = $(W2-W1)/W1 \times 100\%$	0.014	%



Gambar 4.15 Proses Uji Air Resapan batu pecah

Berdasarkan ASTM 128-01 mengenai air resapan batu pecah dijelaskan bahwa kadar air batu pecah yang baik jika mencapai angka antara 1 – 4%. Dari percobaan didapatkan air resapan batu pecah sebesar 0,014 % sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi batu pecah yang digunakan belum memenuhi persyaratan.

4.2.3.4 Analisa Berat Volume Batu Pecah (ASTM C 29 / C 29 M-97a)

Berikut hasil dari analisa berat volume batu pecah yang dijelaskan pada **Tabel 4.18** dan dilengkapi **Gambar 4.16** :

Tabel 4.18 Hasil Berat Volume batu pecah

No	Percobaan	Dengan Rojokan	Unit	Tanpa Rojokan	Unit
1	Berat Silinder Kosong (W1)	2.625	Kg	2.625	kg
2	Berat Silinder + batu pecah (W2)	6.955	Kg	6.75	kg
3	Berat batu pecah (W2-W1)	4.330	Kg	4.125	kg
4	Volume Silinder (V)	3	Lt	3	lt
	Berat Volume = W2-W1/V	1.443	%	1.375	%
	Selisih Berat Volume	0.0683	kg/ lt	0.683	kg/m ³



Gambar 4.16 Proses Uji Berat Volume batu pecah

Berdasarkan ASTM C29 mengenai berat volume batu pecah dijelaskan bahwa selisih percobaan berat volume batu pecah menggunakan rojokan dan tanpa menggunakan rojokan tidak boleh lebih dari 40 kg/m^3 . Dari percobaan didapatkan berat volume batu pecah sebesar 0.683 kg/m^3 sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi batu pecah yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.2.3.5 Analisa Kebersihan Batu Pecah Terhadap Lumpur / Pencucian (ASTM C117 – 03)

Berikut hasil dari analisa kebersihan batu pecah terhadap lumpur yang dijelaskan pada **Tabel 4.19** dan dilengkapi **Gambar 4.17** :

Tabel 4.19 Hasil Uji Pencucian batu pecah terhadap Lumpur

No	Percobaan	Jumlah	Unit
1	Berat batu pecah Kering (W1)	1000	gr
2	Berat batu pecah Bersih Kering (W2)	980	gr
Kadar Lumpur = $(W1-W2)/W1 \times 100\%$		2.00	%

**Gambar 4.17** Proses Uji Pencucian batu pecah terhadap Lumpur

Berdasarkan ASTM C117 - 03 mengenai kadar lumpur batu pecah dijelaskan bahwa kadar lumpur batu pecah yang baik yaitu memiliki batas maksimal mencapai 5% dari total sampel percobaan. Dari percobaan didapatkan kadar lumpur batu pecah sebesar 2.00 % sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi batu pecah yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.2.4 Analisa Fly Ash

Berikut beberapa jenis pengujian material *Fly Ash* yang digunakan dalam pembuatan *paving* geopolimer ini sesuai dengan tiap persyaratannya, antara lain :

1. Analisa XRF *Fly Ash*

4.2.4.1 Analisa X-Ray Fluorance (XRF) Fly Ash

Hasil analisa XRF *fly ash* dilakukan di Laboratorium sucofindo Surabaya. Analisa XRF pada *fly ash* ini analisa untuk mengetahui kandungan kimia pada *fly ash* melalui Sinar X diabsorpsi oleh material. **Tabel 4.20** Menunjukkan hasil Uji XRF pada *fly ash* yang dilakukan dalam penelitian ini sabagai berikut :

Tabel 4.20 Hasil analisa XRF *fly ash* Petrokimia Gresik tipe C

No.	Parameter	Test Result	Unit
1	SiO ₂	36.92	% wt
2	Al ₂ O ₃	22.52	% wt
3	Fe ₂ O ₃	7.12	% wt
4	TiO ₂	0.33	% wt
5	CaO	12.52	% wt
6	MgO	11.34	% wt
7	Cr ₂ O ₃	0.01	% wt
8	K ₂ O	0.87	% wt
9	Na ₂ O	5.23	% wt
10	SO ₃	2.55	% wt
11	Mn ₂ O ₃	0.16	% wt

Berdasarkan hasil uji XRF *fly ash* diatas menerangkan bahwa presentase senyawa terbesar adalah Na₂O (5,23%) sedangkan senyawa terkecil adalah (36,92%). Menurut ASTM C618-96 senyawa SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ pada *fly ash* ini berjumlah 66,56% dan tidak memenuhi standarisasi persentase minimal kurang dari 70% sehingga dapat diartikan bahwa *fly ash* tersebut termasuk kelas C. **Tabel 4.21** Menunjukkan Syarat Penentuan Kandungan Kimia *fly ash* menurut ASTM C 618 sabagai berikut :

Tabel 4.21 Persyaratan Kandungan Kimia Fly Ash menurut ASTM C 618

Senyawa	Kelas Campuran Mineral	
	F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min %	70.00	50.00
SO ₃ , maks %	5.00	5.00
moisture content , maks %	3.00	3.00
Loss of ignition , maks %	6.00	6.00
alkali , Na ₂ O , maks %	1.50	1.50

Sebelumnya penelitian ini memakai fly ash tipe F yang ada dilaboratorium beton dan bahan bangunan teknik sipil ITS. Fly ash ini sebelumnya sudah digunakan oleh anas untuk pembuatan paving geopolimer hingga mencapai kuat tekan K600 tebal 6cm pada umur 7 hari. **Tabel 4.22** Menunjukkan hasil Uji XRF pada *fly ash* yang dilakukan anas dalam penelitian sebelumnya yang mencapai K600 dengan tebal 6cm, sebagai berikut :

Tabel 4.22 Hasil Uji XRF *fly ash* yang mencapai mutu K600.

No.	Parameter	Test Result	Unit
1	SiO ₂	48.47	% wt
2	Al ₂ O ₃	26.05	% wt
3	Fe ₂ O ₃	12.54	% wt
4	TiO ₂	0.92	% wt
5	CaO	5.18	% wt
6	MgO	2.77	% wt
7	Cr ₂ O ₃	0.02	% wt
8	K ₂ O	1.66	% wt
9	Na ₂ O	0.47	% wt
10	SO ₃	1.05	% wt
11	Mn ₂ O ₃	0.19	% wt

4.2.5 Analisa *Bottom Ash*

Berikut beberapa jenis pengujian material *Bottom Ash* yang digunakan dalam pembuatan *paving* geopolimer ini sesuai dengan tiap persyaratannya, antara lain :

1. Analisa Berat Jenis *Bottom Ash* (ASTM C 128-01)
2. Analisa Air Resapan *Bottom Ash* (ASTM C 128-01)
3. Analisa XRF *Bottom Ash*

4.2.5.1 Analisa Berat Jenis *Bottom Ash* (ASTM C 128-01)

Berikut hasil dari analisa berat jenis *Bottom Ash* yang dijelaskan pada **Tabel 4.23** dan dilengkapi **Gambar 4.18** :

Tabel 4.23 Hasil Uji Berat Jenis *Bottom Ash*

No	Percobaan	Jumlah	Unit
1	Berat Labu + <i>Bottom Ash</i> + Air (W1)	1520	gr
2	Berat <i>Bottom Ash</i> kondisi SSD (W2)	500	gr
3	Berat Labu + Air (W3)	1250	gr
Beratt Jenis <i>Bottom Ash</i> = $W2/(W2+W3-W1)$		2.17	%



Gambar 4.18 Proses Uji Berat Jenis *Bottom Ash*

Berdasarkan ASTM C128 -01 mengenai berat jenis *Bottom Ash* dijelaskan bahwa *Bottom Ash* dinyatakan dalam kondisi baik jika dalam batas 2,4 – 2,7 gr/cm². Dari percobaan didapatkan berat jenis *Bottom Ash* sebesar 2,17 gr/cm² sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi *Bottom Ash* sudah memiliki kondisi BJ yang rendah.

4.2.5.2 Analisa Air Resapan *Bottom Ash* (ASTM C 128-01)

Berikut hasil dari analisa air resapan *Bottom Ash* yang dijelaskan pada **Tabel 4.24** dan dilengkapi **Gambar 4.19** :

Tabel 4.24 Hasil Uji Air Resapan *Bottom Ash*

No	Percobaan	Jumlah	Unit
1	Berat <i>Bottom Ash</i> SSD (W2)	500	gr
2	Berat <i>Bottom Ash</i> Oven (W1)	470	gr
Kelembaban <i>Bottom Ash</i> = (W2-W1)/W1 x 100%		6.382	%



Gambar 4.19 Proses Uji Air Resapan *Bottom Ash*

Berdasarkan ASTM 128-01 mengenai air resapan *Bottom Ash* dijelaskan bahwa kadar air *Bottom Ash* yang baik jika mencapai angka antara 1 – 4%. Dari percobaan didapatkan air

resapan *Bottom Ash* sebesar 6,38 % sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi *Bottom Ash* yang digunakan tidak memenuhi persyaratan.

4.2.5.3 Analisa X-Ray Flourance (XRF) Bottom Ash

Hasil analisa XRF *fly ash* dilakukan di Laboratorium sucofindo Surabaya. Analisa XRF pada *bottom ash* ini analisa untuk mengetahui kandungan kimia pada *bottom ash* melalui Sinar X diabsorpsi oleh material. **Tabel 4.25** Menunjukkan hasil Uji XRF pada *bottom ash* yang dilakukan dalam penelitian ini sabagai berikut :

Tabel 4.25 Hasil analisa XRF *bottom ash* Petrokimia Gresik

No.	Parameter	Test Result	Unit
1	SiO ₂	65.69	% wt
2	Al ₂ O ₃	12.40	% wt
3	Fe ₂ O ₃	4.92	% wt
4	TiO ₂	0.20	% wt
5	CaO	6.51	% wt
6	MgO	7.40	% wt
7	Cr ₂ O ₃	0.01	% wt
8	K ₂ O	0.35	% wt
9	Na ₂ O	1.66	% wt
10	SO ₃	0.51	% wt
11	Mn ₂ O ₃	0.10	% wt

Berdasarkan hasil uji XRF *bottom ash* diatas menerangkan bahwa presentase senyawa terkecil SiO₂ (65,69%) dan Al₂O₃ (12,42%). Menurut ASTM C618-96 senyawa SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ memenuhi persentase minimal kurang dari 70% sehingga dapat diartikan bahwa *bottom ash* tersebut termasuk pozzolan kelas F. **Tabel 4.26** Menunjukkan Syarat Penentuan Kandungan Kimia *bottom ash* menurut ASTM C 618 sabagai berikut :

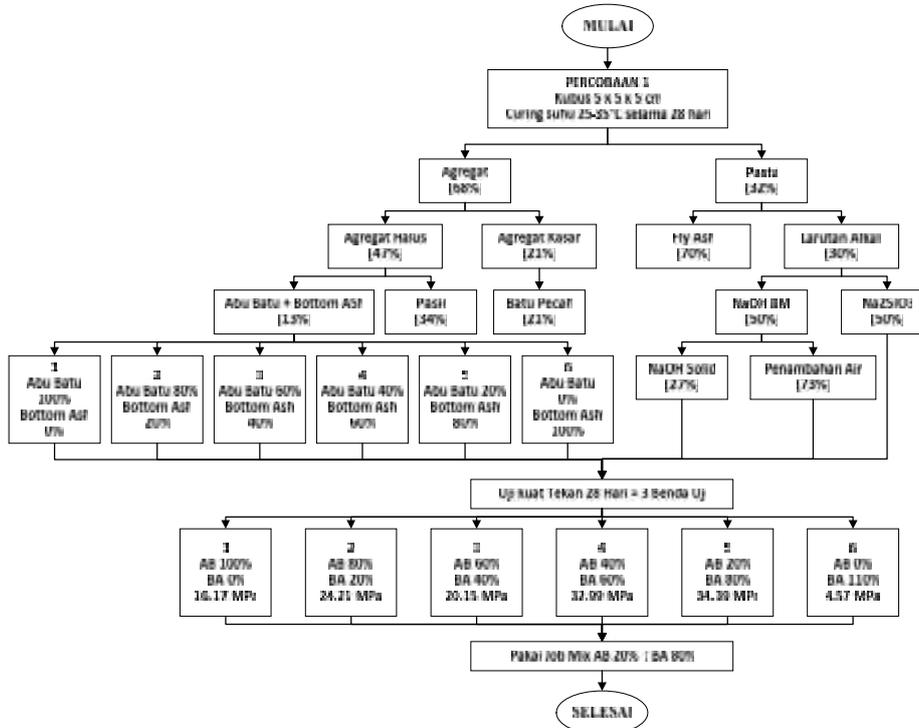
Tabel 4.26 Persyaratan Kandungan Kimia *Bottom Ash* menurut ASTM C 618

Senyawa	Kelas Campuran Mineral	
	F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min %	70.00	50.00
SO ₃ , maks %	5.00	5.00
moisture content , maks %	3.00	3.00
Loss of ignition , maks %	6.00	6.00
alkali , Na ₂ O , maks %	1.50	1.50

4.3 Data dan Hasil Analisa *Paving Geopolimer*

4.3.1 Hasil Komposisi *Paving Geopolimer*

Komposisi *paving* geopolimer ini terdiri dari beberapa material seperti pasir, batu pecah, abu batu, *bottom ash*, dan *fly ash*. Sedangkan aktivatornya yaitu larutan alkali yang berupa NaOH 8M dan Na₂SiO₃. Dalam penelitian ini, penggunaan *bottom ash* dibuat bervariasi yaitu 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% terhadap berat abu batu karena bertujuan untuk menentukan nilai kuat tekan tertinggi terhadap pengaruh penambahan *bottom ash*. Semakin banyak penambahan *bottom ash* semakin ekonomis juga harga produksi *paving* ini akan tetapi harus dikaji dahulu agar sesuai dengan persyaratan SNI 03-0691-1996. Didapatkan hasil uji kuat tekan diumur 28 hari dari trial kubus 5 x 5 x 5 cm adalah variasi penambahan *bottom ash* 80% terhadap abu batu memiliki kuat tekan tinggi dan dijelaskan pada **Gambar. 4.20 dan Tabel. 4.27** :



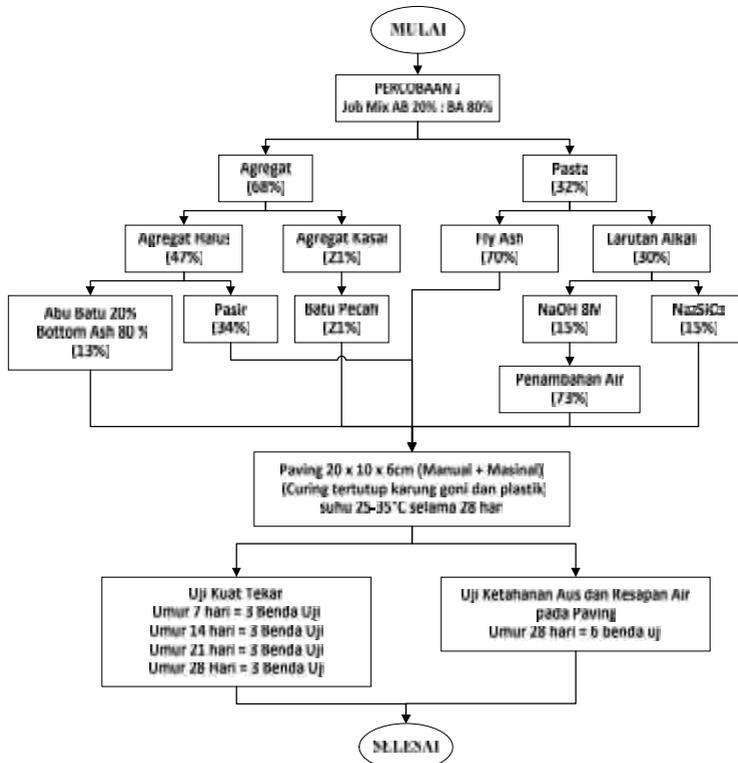
Gambar 4.20 Diagram hasil komposisi maksimal dari percobaan 1

Tabel 4.27 Kebutuhan material per 1 buah *paving* geopolimer ukuran 5m x 5m x 5cm dengan penambahan variasi bottom ash dari berat kebutuhan abu batu.

Kode Benda Uji	Pasir (34%)	Batu Pecah (34%)	Abu Batu	<i>Bottom Ash</i>	<i>Fly ash</i> (34%)	NaOH 8M (34%)	Na ₂ SiO ₃ (34%)
	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram
	34 %	21%		13%	22.4%	4.8%	4.8%
1 PG - AB 100%	121	75	46.68	0	79.7	17.08	17.08
2 PG - AB 80%	121	75	37.35	9.34	79.7	17.08	17.08
3 PG - AB 60%	121	75	28.01	18.67	79.7	17.08	17.08
4 PG - AB 40%	121	75	18.67	28.01	79.7	17.08	17.08
5 PG - AB 20%	121	75	9.34	37.35	79.7	17.08	17.08
6 PG - AB 0%	121	75	0	46.68	79.7	17.08	17.08

Dari **Tabel 4.27** dan **Gambar 4.20** Merupakan hasil komposisi yang akan dipakai untuk pembuatan *paving* geopolimer ini agar mendapatkan hasil komposisi dengan kuat tekan. *Paving* geopolimer ini dicuring terbuka tetapi terbungkus dengan karung goni dan plastik. suhu 25-35°C untuk menyesuaikan kondisi lapangan karena pembuatan *paving* skala besar membutuhkan lahan yang cukup luas sehingga dibutuhkan perawatan yang praktis dan ekonomis. Dalam pembuatan *paving* pastikan kondisi material sesuai dengan persyaratan karena dalam penelitian ini pernah terjadi *sample* yang rusak karena kondisi pasir dan bottom ash tidak kondisi.

Kemudian dilanjutkan dengan percobaan 2 yaitu menggunakan mesin press manual dan masinal. **Gambar 4.21** Menunjukkan Alur pembuatan *paving* geopoliemr yang dilakukan secara manual maupun masinal sabagai berikut :



Gambar 4.21 Diagram hasil komposisi percobaan 2

Tabel 4.28 Kebutuhan material per 1 buah *paving* geopolimer ukuran 20cm x 10cm x 6cm untuk penambahan *bottom ash* 80% dari berat kebutuhan abu batu menggunakan mesin press manual.

No	Kode Benda Uji	Pasir	Batu Pecah	Abu Batu	<i>Bottom Ash</i>	<i>Fly ash</i>	NaOH 8M	Na ₂ SiO ₃
		gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram
		34 %	21%		13%	22.4%	4.8%	4.8%
1	PG - U7 -AB 20% - MNL	1169	721	89.6	358.5	766	164	164
2	PG - U14 -AB 20% - MNL	1169	721	89.6	358.5	766	164	164
3	PG - U28 -AB 20% - MNL	1169	721	89.6	358.5	766	164	164

Tabel 4.29 Kebutuhan material per 1 buah *paving* geopolimer ukuran 20cm x 10cm x 6cm untuk penambahan *bottom ash* 80% dari berat kebutuhan abu batu menggunakan mesin press masinal.

No.	Kode Benda Uji	Pasir	Batu Pecah	Abu Batu	<i>Bottom Ash</i>	<i>Fly Ash</i>	Na ₂ SiO ₃	NaOH 8M
		gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram
		34 %	21%		13%	22.4%	4.8%	4.8%
1	PG - U7 - AB 20% - MSNL	1169	721	89.6	358.5	766	164	164
2	PG - U14 - AB 20% - MSNL	1169	721	89.6	358.5	766	164	164
3	PG - U28 - AB 20% - MSNL	1169	721	89.6	358.5	766	164	164

Tabel 4.28 dan **Tabel 4.29** Merupakan perhitungan kebutuhan masing – masing material untuk pembuatan satu buah *paving* geopolimer yang akan dilakukan untuk penelitian ini. Untuk *paving* geopolimer yang berukuran 20 x 10 x 6cm pengerjaan dilakukan dengan mesin *paving* manul yang berada di

Laboratorium Struktur S1 Teknik sipil ITS sedangkan untuk *paving* geopolimer yang berukuran 20 x 10 x 6cm pengerjaan dilakukan dengan mesin *paving press* hidrolik yang berada di Laboratorium beton D3 Teknik sipil ITS Berikut penjelasan kode benda uji untuk masing masing variasi benda uji :

PG - U7 -AB 20% - MNL =
paving geopolimer menggunakan abu batu 20 % dengan *Bottom ash* 80% yang berumur 7 hari. Pembuatan menggunakan mesin *paving* manual

PG - U14 -AB 20% - MNL =
paving geopolimer menggunakan abu batu 20 % dengan *Bottom ash* 80% yang berumur 14 hari. Pembuatan menggunakan mesin *paving* manual

PG - U28 -AB 20% - MNL =
paving geopolimer menggunakan abu batu 20 % dengan *Bottom ash* 80% yang berumur 28 hari. Pembuatan menggunakan mesin *paving* manual

PG - U7 -AB 20% - MSNL =
paving geopolimer menggunakan abu batu 20 % dengan *Bottom ash* 80% yang berumur 7 hari. Pembuatan menggunakan mesin *press* hidrolik *paving*.

PG - U14 -AB 20% - MSNL =
paving geopolimer menggunakan abu batu 20 % dengan *Bottom ash* 80% yang berumur 14 hari. Pembuatan menggunakan mesin *press* hidrolik *paving*.

PG - U28 -AB 20% - MSNL =
paving geopolimer menggunakan abu batu 20 % dengan *Bottom ash* 80% yang berumur 28 hari. Pembuatan menggunakan mesin *press* hidrolik *paving*.

Berdasarkan hasil observasi survei pada tahun 2016 di PLTU Suralaya, tiap hari produksi batubara mencapai 35000 ton per hari yang berarti setiap harinya PLTU Suralaya menghasilkan limbah batubara sebesar 1750 ton. Limbah batubara berupa abu terbang (fly ash) dengan presentase 80% dari 1750 ton dan abu endap (bottom ash) dengan presentase 20% dari 1750 ton. Penanganan abu batu bara umumnya yang dilakukan di Indonesia masih dalam bentuk penimbunan pada landfill, sedangkan penyerapan maksimal dalam penimbunan yaitu 1 Ha menampung 66.900 ton.

Sehingga dari komposisi material kebutuhan paving geopolimer yang dijelaskan **Tabel. 4.28**. Didapatkan persentase kebutuhan fly ash dan bottom ash (FABA) tiap satu buah paving geopolimer sebesar 33%. Pada **Tabel. 4.30** Menerangkan perhitungan kebutuhan *fly ash* dan *bottom ash* menggunakan mesin press paving sebagai berikut :

Tabel 4.30 Perhitungan kebutuhan *fly ash* dan *bottom ash* dengan menggunakan mesin press paving uk. 20 x 10 x 6cm.

No	Nama Material	Produksi 1 Buah Mesin Paving Press				Unit
		Manual = 400pc/Day		Masinal = 8000 pc/Day		
		Day	Month	Day	Month	
1	Fly Ash	0.31	7.66	6.124	153.11	Ton
2	Bottom Ash	0.14	3.59	2.869	71.72	Ton

Dari **Tabel 4.30** Disimpulkan bahwa apabila menggunakan mesin *paving press* manual kapasitas produksi 400 buah perhari memanfaatkan limbah FABA sebesar 11.3 Ton per bulan sedangkan menggunakan mesin *paving press* masinal kapasitas produksi 8000 buah perhari memanfaatkan limbah FABA sebesar 224,82 Ton buah Alat Press Masinal. PLTU suralaya menghasilkan limbah fly ash sebesar 42000 ton setiap bulan dan menghasilkan limbah bottom ash sebesar 2500 ton setiap bulan sehingga apabila diperhitungkan kebutuhan alat press

manual maupun masinal. Mesin paving press manual membutuhkan 4400 buah untuk bisa menghabiskan limbah FABA tersebut dan Mesin paving press masinal membutuhkan 220 buah untuk bisa menghabiskan limbah FABA sesuai yang dihasilkan setiap bulan berdasarkan data observasi survei. Maka dari itu perlu adanya pengkajian untuk pemanfaatan limbah FABA seperti untuk pemakaian semen dll.

4.3.2 Hasil Analisa Biaya *Paving* Geopolimer per m²

Dalam penelitian ini, penggunaan *bottom ash* telah ditemukan komposisi terbaik dari beberapa variasi yaitu penambahan *bottom ash* sebesar 80% terhadap berat abu batu sehingga semakin banyak penambahan *bottom ash* semakin ekonomis harga pada pembuatan *paving* geopolimer.

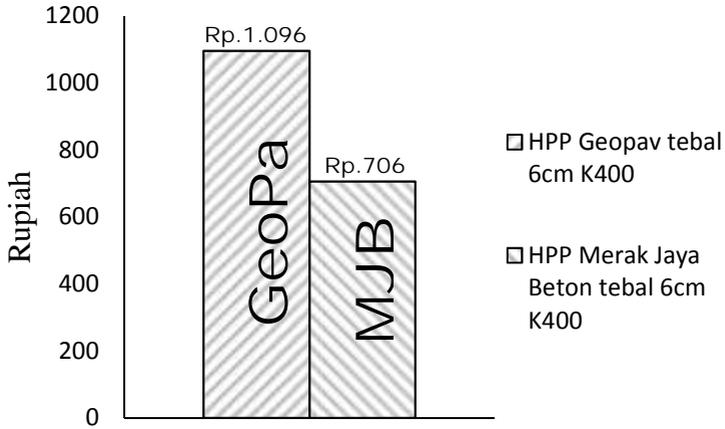
Tabel 4.31 Harga material per 1 buah *paving* geopolimer ukuran 20cm x 10cm x 6cm yang pembuatannya dilakukan secara manual.

No	Berat Material (Kg)	Nama Material	Harga per Kg (Rp)	Jumlah (Rp)
1	1.169	Pasir	Rp 50	Rp 58.45
2	0.721	Split	Rp 120	Rp 86.53
3	0.090	Abu Batu	Rp 90	Rp 8.07
4	0.359	<i>Bottom Ash</i>	Rp 25.	Rp 8.96
5	0.120	Air	Rp 10.	Rp 1.20
6	0.766	<i>Fly Ash</i>	Rp 25.	Rp 19.14
7	0.044	NaOH Flake	Rp 8800.	Rp 388.20
8	0.164	Na ₂ SiO ₃	Rp 3200.	Rp 524.95
				Rp 1,095.49

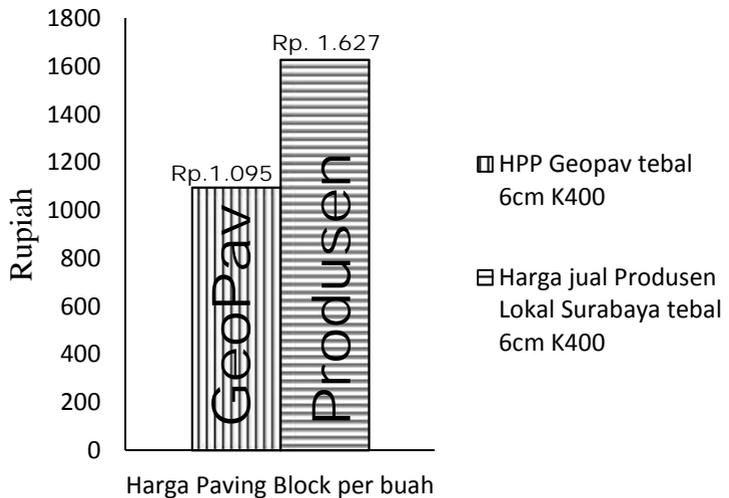
Tabel 4.32 Harga material per 1 buah *paving* geopolimer ukuran 20cm x 10cm x 6cm yang pembuatannya dilakukan menggunakan mesin *press* hidrolis.

No	Berat Material (Kg)	Nama Material	Harga per Kg (Rp)	Jumlah (Rp)
1	1.169	Pasir	Rp 50	Rp 58.45
2	0.721	Split	Rp 120	Rp 86.53
3	0.090	Abu Batu	Rp 90	Rp 8.07
4	0.359	<i>Bottom Ash</i>	Rp 25.	Rp 8.96
5	0.120	Air	Rp 10.	Rp 1.20
6	0.766	<i>Fly Ash</i>	Rp 25.	Rp 19.14
7	0.044	NaOH Flake	Rp 8800.	Rp 388.20
8	0.164	Na ₂ SiO ₃	Rp 3200.	Rp 524.95
9	0.0144	Es batu	Rp 5000.	Rp 69.44
				Rp 1,164.93

Tabel 4.31 dan **Tabel 4.32** Menunjukkan harga komposisi setiap material dalam pembuatan *paving* geopolimer ini yang dilakukan secara manual maupun masinal. Pada Analisa biaya *Paving* geopolimer manual dengan tebal 6cm mutu K400 didapatkan Harga Produksi *Paving* (HPP) perbuah sebesar Rp. 1.095,- dibanding dengan Harga Produksi *Paving* (HPP) Merak Jaya Beton dengan tebal 6 cm mutu K400 perbuah sebesar Rp. 706,- . Sedangkan harga jual *paving* tebal 6cm K400 produsen lokal di sekitar Surabaya dari hasil survei sebesar Rp. 1.627,- perbuah atau Rp. 70.000,- perm². **Gambar 4.22** dan **Gambar 4.23** akan menjelaskan perbandingan harga *paving* tebal 6cm mutu K400 dari *Paving* Geopolimer dengan Merak Jaya Beton dan perbandingan harga *paving* tebal 6cm mutu K400 dari *Paving* Geopolimer dengan Produsen Lokal di Daerah Surabaya, Sebagai Berikut :



Gambar 4.22 Diagram harga *paving block* tebal 6cm dengan mutu beton K400



Gambar 4.23 Diagram harga *paving block* tebal 6cm dengan mutu beton K400

4.3.3 Proses Pembuatan *Paving Geopolimer*

Setelah didapatkan komposisi yang memiliki kuat tekan maksimal pada percobaan menggunakan kubus 5x5x5cm dilanjutkan pembuatan benda uji *paving* geopolimer dilakukan dengan dua cara yaitu manual dan masinal. Ukuran rencana *paving block* adalah 20 cm x 10 cm x 6 cm dengan cara manual maupun masinal dan proses pembuatan akan dijelaskan pada gambar **Gambar 4.24** dan **Gambar 4.25** , sebagai berikut :





Gambar 4.24 Hasil proses pembuatan paving geopolimer dengan cara manual yaitu memakai alat cetak manual



Gambar 4.25 Hasil proses pembuatan paving geopolimer dengan cara masinal yaitu memakai mesin press hidrolis

4.3.4 Proses Curing Paving Geopolimer

Proses *curing paving* geopolimer dalam penelitian ini, benda uji setelah dicetak dilepas dari cetakan, kemudian benda uji ditutup dengan kain goni trus kemudian ditutup dengan plastik tujuannya agar udara tidak masuk dalam benda uji sehingga proses polimerisasi pada *paving* geopolimer ini bisa terjadi maksimal. Kemudian diamkan pada suhu lapangan antara 25°C - 30°C dan diamkan selama 24 jam, setelah 24 jam benda uji dibuka kembali lakukan penyiraman air setiap 2 -3 kali dalam sehari setelah selesai penyiraman tetap tutup kembali memakai karung goni dan plastic. Lakukan setiap hari selama 28 hari. Proses polimerisasi paling maksimal dikondisi curing ini jadi perhatikan langkah langkah curing sesuai prosedur agar mencapai kuat tekan, penyerapan air, ketahanan aus secara maksimal. **Gambar 4.26** akan menjelaskan proses curing *paving* geopolimer.



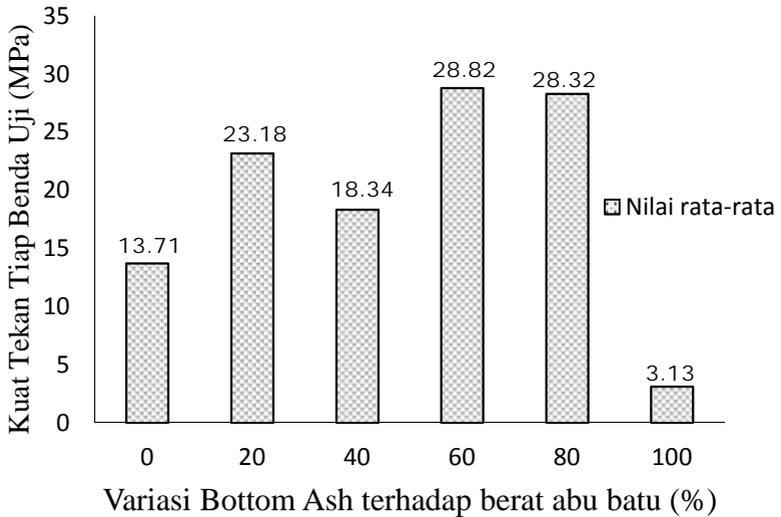
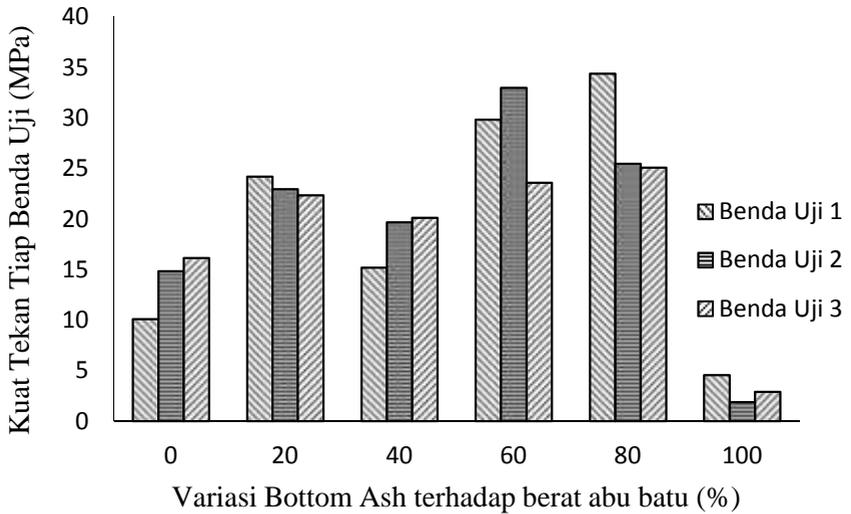


Gambar 4.26 Proses perawatan / *curing paving* geopolimer.

4.3.5 Hasil Analisa Pengujian *Paving* Geopolimer

4.3.5.1 Analisa Hasil Tes Kuat Tekan (ASTM C39 – 94)

Dalam penelitian ini tes kuat tekan dilakukan 2 tahap pengetesan. Pertama pengetesan terhadap 3 benda uji *paving* geopolimer berbentuk kubus ukuran 5 x 5 x 5cm pada umur 28 hari dan kedua pengetesan terhadap 5 benda uji *paving* geopolimer berukuran 20 x 10 x 6cm pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari . **Tabel 4.33** dan **Gambar 4.26** akan menjelaskan hasil kuat tekan *paving* geopolimer berbentuk kubus ukuran 5 x 5 x 5 cm dan kontrol kualitas. Sedangkan **Tabel 4.34** dan **Gambar 4.27** akan menjelaskan hasil kuat tekan *paving* geopolimer manual berukuran 20 x 10 x 6cm dan kontrol kualitas, sebagai berikut :



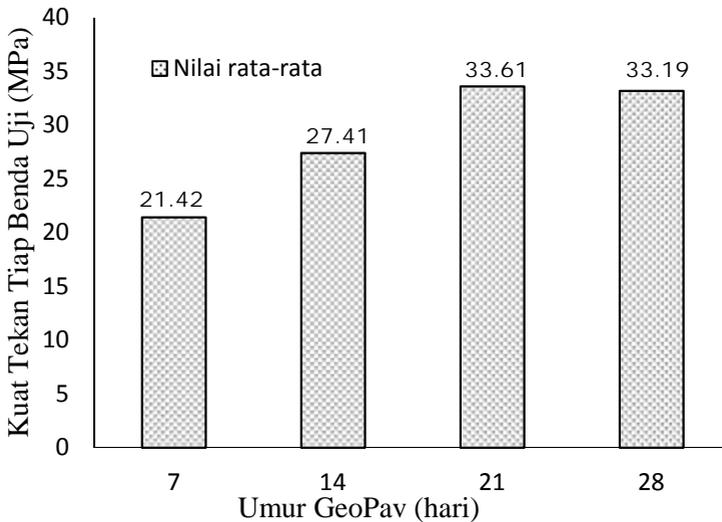
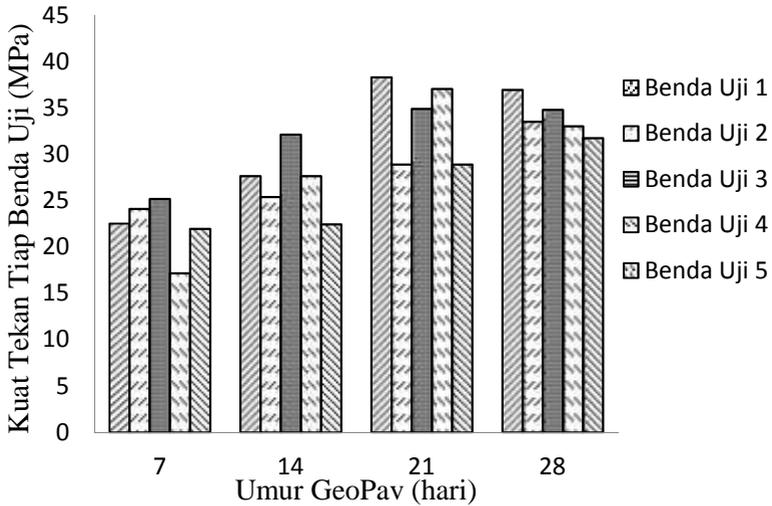
Gambar 4.27 Diagram hubungan kuat tekan dan variasi penambahan *bottom ash* pada *paving* geopolimer berukuran 5 x 5 cm.

Tabel 4.33 Hasil Uji Kuat Tekan terhadap *paving* Geopolimer kubus berbentuk ukuran 5 x 5 x 5cm

No.	Kode Benda Uji	Umur Beton	Nilai Kuat Tekan (Mpa)					Rata - Rata	Standard Deviasi	Kovarian	Kontrol Kualitas
		Hari	P1	P2	P3	P4	P5	Mpa	Mpa	%	
1	PG - U28 - AB 100%	28	10.11	14.86	16.17	-	-	13.71	3.19	23.25	sangat baik
2	PG - U28 - AB 80%	28	24.21	22.97	22.36	-	-	23.18	0.94	4.07	istimewa
3	PG - U28 - AB 60%	28	15.19	19.69	20.15	-	-	18.34	2.74	14.94	istimewa
4	PG - U28 - AB 40%	28	29.85	32.99	23.61	-	-	28.82	4.77	16.57	cukup
5	PG - U28 - AB 20%	28	34.39	25.48	25.1	-	-	28.32	5.26	18.56	kurang
6	PG - U28 - AB 0%	28	4.57	1.91	2.92	-	-	3.13	1.34	42.85	istimewa

Tabel 4.34 Hasil Uji Kuat Tekan terhadap *paving* Geopolimer manual berukuran 20 x 10 x 6cm

Kode Benda Uji	Umur Beton	Nilai Kuat Tekan (Mpa)					Rata - Rata	Standard Deviasi	Kovarian	Kontrol Kualitas
	Hari	P1	P2	P3	P4	P5	Mpa	Mpa	%	
PG - U7 -AB 20% -MNL	7	22.54	24.11	25.19	17.15	21.95	21.4293	4.043	18.869	baik
PG - U14 -AB 20% -MNL	14	27.64	25.38	32.14	27.64	22.44	27.4073	4.855	17.714	cukup
PG - U21 -AB 20% -MNL	21	38.32	28.91	34.89	37.04	28.91	33.614	4.214	12.536	cukup
PG - U28 -AB 20% -MNL	28	36.95	33.52	34.79	33.03	31.75	33.1893	1.526	4.597	istimewa



Gambar 4.28 Diagram hubungan kuat tekan dan variasi penambahan bottom 80% pada *paving* geopolimer dengan cara manual

Dari **Tabel 4.33** dan **Gambar 4.27** dapat dijelaskan bahwa kuat tekan rata-rata *paving* geopolimer berukuran 5 x 5 x 5cm variasi penambahan *bottom ash* dari volume berat abu batu setiap penambahan 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% memiliki jumlah kuat tekan yang berbeda beda. Didapatkan pada penambahan *bottom ash* 80% memiliki kuat tekan 1 benda uji yang tinggi yaitu 34,39 MPa sehingga dipilih penambahan *bottom ash* 80% terhadap volume berat abu batu selain itu juga semakin banyak penambahan *bottom ash* semakin juga pemanfaatan limbah *bottom ash* itu sendiri dan tinjauan ekonomis harga *paving*. Kemudian dilanjutkan ke tahap pengetesan untuk *paving* geopolimer manual ukuran 20 x 10 x 6cm. Dari **Tabel 4.34** dan **Gambar 4.28** dapat dijelaskan bahwa kuat tekan rata-rata *paving* semakin mendekati umur 28 hari semakin naik hingga mencapai batas maksimal yaitu f_c 36,95 MPa. Pada umur 21 hari ada beberapa *paving* yang memiliki nilai kuat tekan cukup tinggi tetapi standar deviasi *paving* tersebut dinilai jelek karena mungkin saat pencampuran komposisi / proses pencetakan *paving* geopolimer tersebut tidak merata sehingga ada salah satu dari *paving* tersebut memiliki jumlah agregat kasar yang lebih banyak sehingga memiliki kuat tekan tinggi. Tetapi dalam umur 28 hari standar deviasi *paving* geopolimer dinilai bagus karena range perbedaan tidak jauh beda. proses kegiatan uji kuat tekan *paving* geopolimer akan dijelaskan pada gambar **Gambar 4.29**, sebagai berikut :

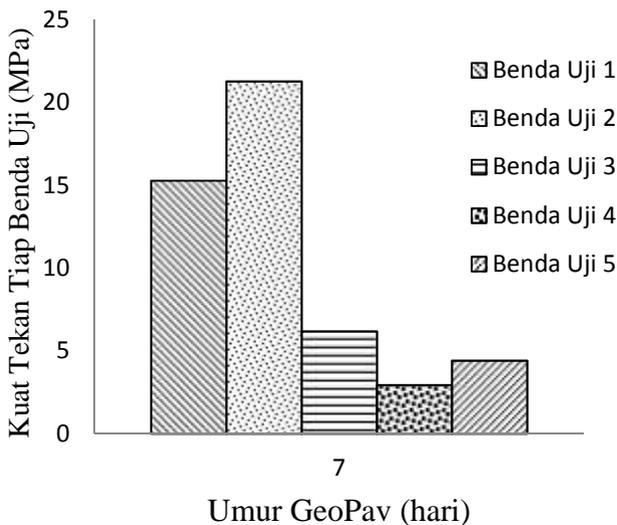


Gambar 4.29 Uji Kuat Tekan *Paving* Geopolimer menggunakan *Universal Testing Machine* di Lab. Beton dan Bahan Bangunan S1 Teknik Sipil-ITS.

Kemudian dilanjutkan dengan pengujian kuat tekan paving geopolimer masinal berukuran 20 x 10 x 6cm. Sedangkan **Tabel 4.35** dan **Gambar 4.30** akan menjelaskan hasil kuat tekan *paving* geopolimer masinal berukuran 20 x 10 x 6cm dan kontrol kualitas, sebagai berikut :

Tabel 4.35 Hasil Uji Kuat Tekan terhadap *paving* Geopolimer masinal berukuran 20 x 10 x 6cm

Keterangan	Umur Beton	PG -AB 20% - MSNL	Rata - Rata	Standard Deviasi	Kovarian	Kontrol Kualitas
	Hari	Mpa	Mpa	Mpa	%	
Benda Uji 1	7	15.29				
Benda Uji 2	7	21.27				
Benda Uji 3	7	6.17	10.02	7.915	79.031	kurang
Benda Uji 4	7	2.94				
Benda Uji 5	7	4.41				



Gambar 4.30 Diagram hubungan kuat tekan dan variasi penambahan bottom 80% pada *paving* geopolimer dengan cara masinal pada umur 7 hari.

Dari **Tabel 4.35** dan **Gambar 4.30** dapat dijelaskan bahwa kuat tekan rata-rata *paving* geopolimer menggunakan mesin press masinal pada umur 7 hari memiliki nilai kuat tekan maksimal yaitu f_c 21,27 MPa dengan standard deviasi 10,02 MPa . Berbeda dengan nilai kuat tekan maksimal *paving* geopolimer menggunakan mesin press manual pada umur 7 hari sebesar 25,19 MPa dengan standar deviasi 21,43 MPa. Nilai standar deviasi *paving* manual jauh lebih baik karena saat pembuatan paving dengan alat press masinal jumlah volume *jobmix* pada *mixer* untuk paving sedikit. Yang bertujuan agar tidak terjadi setting time yang cepat antara *fly ash* dengan larutan alkali sehingga saat pengadukan terjadi banyak campuran agregat dengan pasta tidak homogeny dan menyebabkan tidak keseragaman campuran pada setiap paving dan menurunnya nilai kuat tekan pada paving geopolimer dengan menggunakan alat press masinal. Pada **Gambar 4.31** menjelaskan kegagalan campuran *jobmix* saat pengecoran paving geopolimer dengan alat press masinal, sebagai berikut :



Gambar 4.31 Kegagalan campuran *jobmix* saat pengecoran *paving* geopolimer dengan alat press masinal.

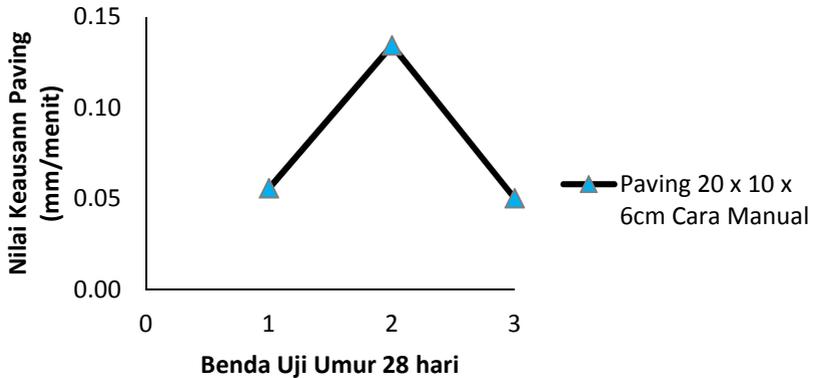
4.3.5.2 Analisa Hasil Tes Ketahanan Aus (SNI 03 – 0691–1996)

Dalam penelitian ini tes ketahanan aus dilakukan terhadap 3 benda uji *paving* geopolimer berukuran 20 x 10 x 6 cm pada umur 28 hari. **Tabel 4.36** dan **Gambar 4.32** akan

menjelaskan hasil ketahanan aus *paving* geopolimer manual dan kontrol kualitas, sebagai berikut :

Tabel 4.36 Hasil Uji Ketahanan Aus *paving* Geopolimer manual.

No.	Uraian		Benda Uji		
			1	2	3
1	Panjang Diameter Luar	(cm)	8.60	8.60	8.60
2	Panjang Diameter Dalam	(cm)	1.50	1.50	1.50
3	Berat benda uji sebelum test	(gr)	3042.60	3073.80	3008.80
4	Berat benda uji setelah aus	(gr)	3035.20	3055.90	3002.10
5	Berat Benda uji direndam lalu kondisi SSD	(gr)	3093.20	3138.30	3073.00
6	Berat Benda uji SSD ditimbang di air	(gr)	1782.40	1811.40	1775.10
7	Selisih berat yang hilang (A)	(gr)	7.40	17.90	6.70
8	Luas permukaan aus (L)	(cm ²)	56.32	56.32	56.32
9	Berat jenis (Bj)	(gr/cm ³)	2.36	2.37	2.37
10	Waktu pengujian (W)	menit	10.00	10.00	10.00
11	Keausan $\frac{A \times 10}{B_j \times L \times W}$	mm/menit	0.056	0.134	0.050
12	Rata - rata keausan	mm/menit	0.080		



Gambar 4.32 Diagram hubungan Ketahanan aus dan Benda uji umur 28 hari pada *paving* geopolimer manual

Dari **Tabel 4.37** dan **Gambar 4.32** dapat dijelaskan bahwa ketahanan aus *paving* pada umur 28 hari maksimal berkisar 0,134 mm/menit dan 0,080 jika nilai ketahanan aus dirata-rata. Berdasarkan SNI 03-0691-1996 mengenai ketahanan aus dijelaskan bahwa ketahanan aus rata rata yang baik atau dikatakan mutu A apabila nilai ketahanan aus rata rata 0,130 sehingga dapat disimpulkan bahwa ketahanan aus *paving* geopolimer ini memenuhi persyaratan. Proses kegiatan uji ketahanan aus *paving* geopolimer dapat dilihat pada gambar **Gambar 4.33**, sebagai berikut :



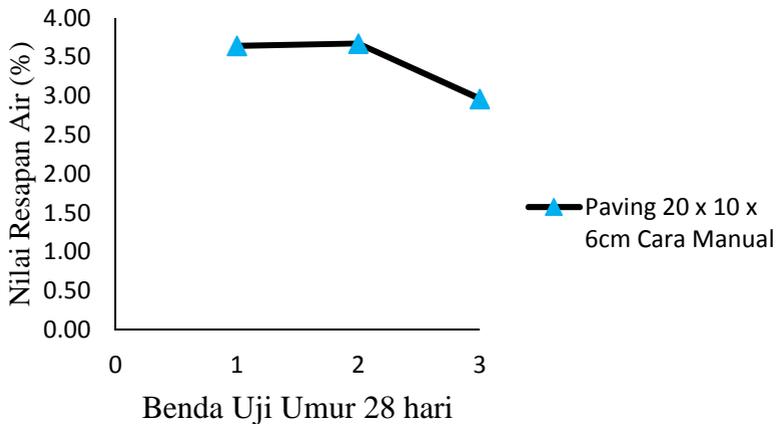
Gambar 4.33 Uji Ketahanan Aus Paving Geopolimer di Lab. Beton dan Bahan Bangunan D3 Teknik Sipil-ITS.

4.3.5.3 Analisa Hasil Tes Penyerapan Air (SNI 03 – 0691 – 1996)

Dalam penelitian ini tes penyerapan air dilakukan terhadap 3 benda uji *paving* geopolimer berukuran 20 x 10 x 6 cm pada umur 28 hari. **Tabel 4.37** dan **Gambar 4.35** akan menjelaskan hasil penyerapan air terhadap *paving* geopolimer manual dan kontrol kualitas, sebagai berikut :

Tabel 4.37 Hasil Uji Penyerapan Air *paving* Geopolimer manual.

No.	Kode Benda Uji	Berat <i>Paving</i> Basah (A)	Berat <i>Paving</i> Kering (B)	Penyerapan Air (A-B)/B *100%	Rata - Rata
		Kg	Kg	%	%
1	PG - U28 -AB 20% - MNL	3.130	3.020	3.64	
2	PG - U28 -AB 20% - MNL	3.075	2.966	3.67	3.43
3	PG - U28 -AB 20% - MNL	3.125	3.035	2.97	

**Gambar 4.34** Diagram hubungan Penyerapan Air dan Benda uji umur 28 hari pada *paving* geopolimer manual

Dari **Tabel 4.38** dan **Gambar 4.35** dapat dijelaskan bahwa penyerapan air *paving* pada umur 28 hari maksimal berkisar 3,67 % dan 3,43 jika nilai resapan air dirata-rata. Berdasarkan SNI 03-0691-1996 mengenai uji resapan air *paving block* dijelaskan bahwa penyerapan air rata rata yang baik atau dikatakan mutu A apabila nilai penyerapan air rata rata 3% sehingga dapat disimpulkan bahwa penyerapan air *paving* geopolimer masuk dikelas B karena melebihi dari batas 3%.

Penyebab penyerapan air melebihi 3% bisa karena tidak merata ketika saat pencampuran material dalam pembuatan *paving* ataupun karena perngurangan volume abu batu dan ditambahkan *bottom ash* karena BJ abu batu lebih besar sehingga kebutuhan *bottom ash* lebih banyak hingga menyebabkan alkali tidak dapat tercampur menyeluruh. Proses kegiatan uji penyerapan air *paving* geopolimer dapat dilihat pada gambar **Gambar 4.36**, sebagai berikut :



Gambar 4.35 Uji Penyerapan Air *Paving* Geopolimer di Lab. Beton dan Bahan Bangunan S1 Teknik Sipil-ITS.

4.4 Kesesuaian *Paving* Geopolimer terhadap SNI 03-0691-1996 tentang *Paving Block*

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 mengenai *paving block* bahwa untuk mengetahui klasifikasi mutu *paving* akan dijelaskan pada **Tabel 4.38**. Pada **Tabel 4.39** akan menjelaskan kesesuaian hasil *paving* geopolimer terhadap SNI 03 – 0691 – 1996, sebagai berikut :

Tabel 4.38 Syarat fisis berdasarkan SNI 03 – 0691 -1996

Klasifikasi Mutu	Kuat Tekan (MPa)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan Air maks (%)
	Rata - Rata	Min	Rata - Rata	Min	
A	35	35	0.090	0.103	3
B	17	17	0.130	0.149	6
C	13	13	0.160	0.184	8
D	9	9	0.219	0.251	10

Tabel 4.39 Kesesuaian *paving* geopolimer manual terhadap SNI 03 – 0691 -1996

Kode Benda Uji	Kuat Tekan	Ketahanan Aus	Penyerapan Air	Klasifikasi Mutu
	(MPa)	(mm/menit)	(%)	
PG - U28 -AB 20% - MNL (1)	36.946	0.056	3.642	I
PG - U28 -AB 20% - MNL (2)	33.516	0.134	3.675	II
PG - U28 -AB 20% - MNL (3)	34.790	0.050	2.965	II

Dari **Tabel 4.39** dapat dijelaskan bahwa 1 dari 3 benda uji masuk kategori mutu I atau kualitas baik sedangkan dua lainnya masuk kategori mutu II. Dapat disimpulkan bahwa *paving* geopolimer dengan penambahan 80% dari volume kebutuhan abu batu ini memenuhi persyaratan SNI 03 – 0691 – 1996.

4.5 Uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) terhadap fly ash, bottom ash, dan paving geopolimer.

Hasil analisa TCLP fly ash, bottom ash, dan Paving Geopolimer dilakukan di Laboratorium Teknologi Air Industri Jurusan Teknik Kimia ITS Surabaya. Analisa TCLP ini analisa untuk mengetahui karakteristik limbah beracun pada kandungan material paving geopolimer ini. **Tabel 4.40**, **Tabel 4.41**, dan **Tabel 4.42**. Menunjukkan hasil Uji TCLP pada fly ash, bottom ash, dan paving geopolimer yang dilakukan dalam penelitian ini sabagai berikut :

Tabel 4.40 Hasil analisa TCLP fly ash Petrokimia Gresik

No	Parameter	Standart TCLP	Hasil analisa	Unit
1	pH	-	11.95	-
2	Arsen (As)	5	<0.001	ppm
3	Cadamium (Cd)	1	0.78	ppm
4	Chrom (Cr)	5	3.93	ppm
5	Timbal (Pb)	5	3.49	ppm
6	Mercuri (Hg)	0.4	<0.001	ppm
7	Boron (B)	500	<0.02	ppm
8	Tembaga (Cu)	10	5.38	ppm
9	Silver (Ag)	5	1.1	ppm
10	Zinc (Zn)	50	13.49	ppm
11	Cianida (CN)	20	<0.005	ppm
12	Fluoride (F)	150	<0.005	ppm
13	Nitrat (NO ₃)	1000	5.54	ppm
14	Nitrit (NO ₂)	100	<0.005	ppm

Tabel 4.41 Hasil analisa TCLP Bottom ash Petrokimia Gresik

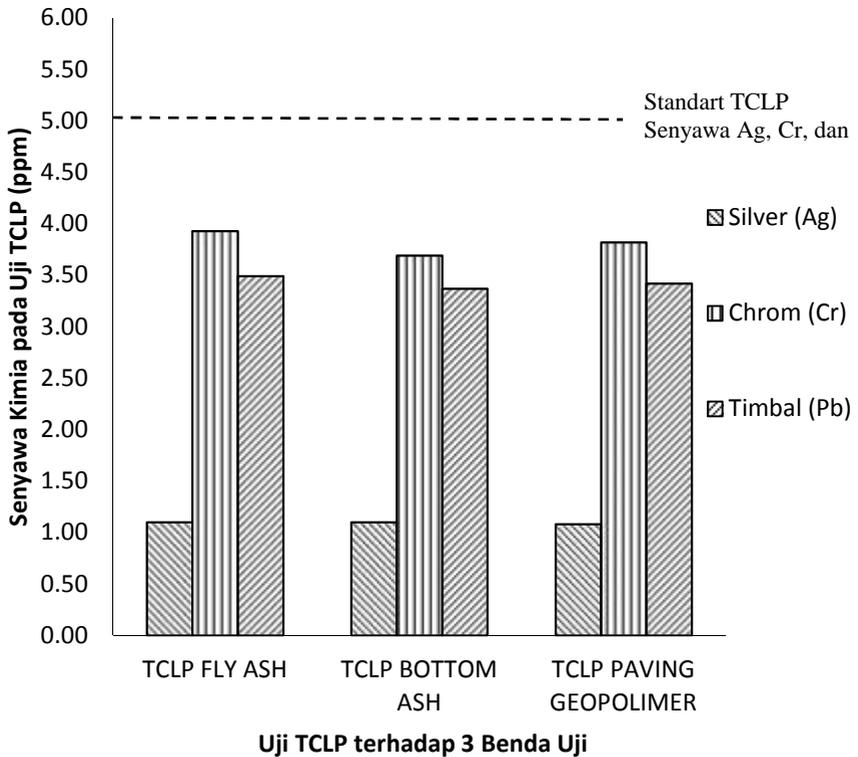
No	Parameter	Standart TCLP	Hasil Analisa	Unit
1	Ph	-	10.41	-
2	Arsen (As)	5	<0.001	ppm
3	Cadmium (Cd)	1	0.72	ppm
4	Chrom (Cr)	5	3.69	ppm
5	Timbal (Pb)	5	3.37	ppm
6	Mercuri (Hg)	0.4	<0.001	ppm
7	Boron (B)	500	<0.02	ppm
8	Tembaga (Cu)	10	4.92	ppm
9	Silver (Ag)	5	1.08	ppm
10	Zine (Zn)	50	13.88	ppm
11	Cianida(CN)	20	<0.005	ppm
12	Fluoride (F)	150	<0.005	ppm
13	Nitrat (NO ₃)	1000	4.92	ppm
14	Nitrit (NO ₂)	100	<0.005	ppm

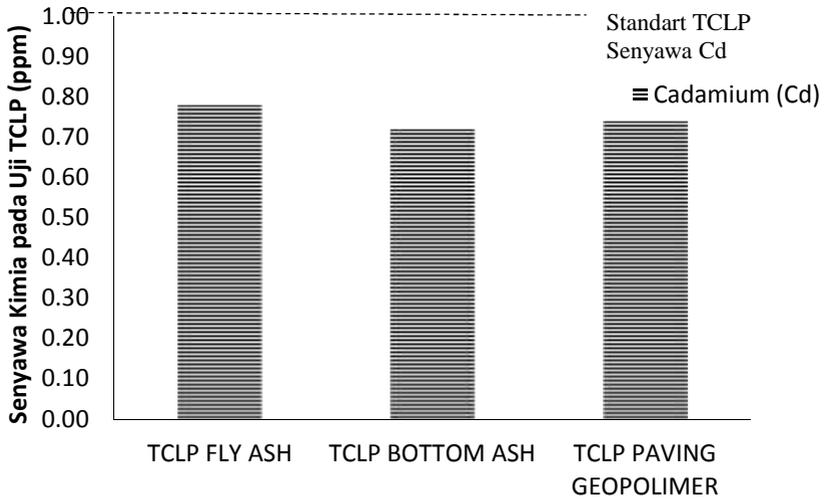
Tabel 4.42 Hasil analisa TCLP Material Paving Geopolimer

No	Parameter	Standart TCLP	Hasil Analisa	Unit
1	pH	-	12.18	-
2	Arsen (As)	5	<0.001	ppm
3	Cadmium (Cd)	1	0.74	ppm
4	Chrom (Cr)	5	3.82	ppm
5	Timbal (Pb)	5	3.42	ppm
6	Mercuri (Hg)	0.4	<0.001	ppm
7	Boron (B)	500	<0.02	ppm
8	Tembaga (Cu)	10	5.16	ppm
9	Silver (Ag)	5	1.07	ppm
10	Zine (Zn)	50	13.69	ppm
11	Cianida (CN)	20	<0.005	ppm
12	Fluoride (F)	150	<0.005	ppm
13	Nitrat (NO ₃)	1000	5.24	ppm

14 Nitrit (NO₂) 100 <0.005 ppm

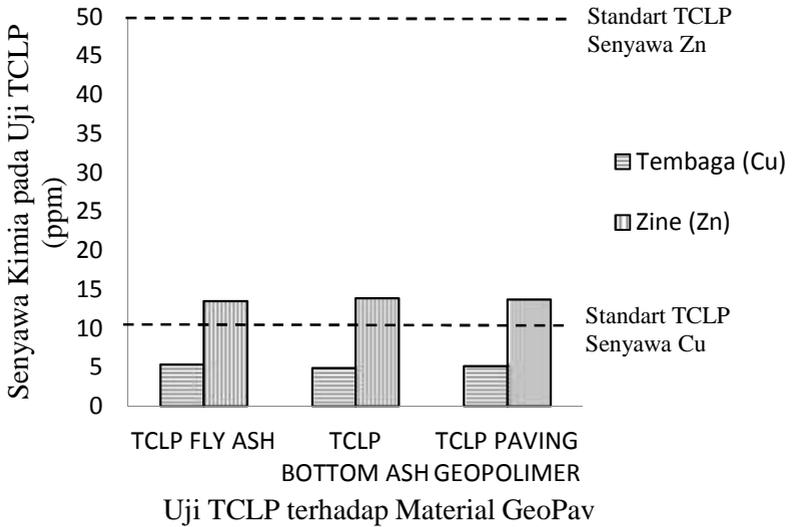
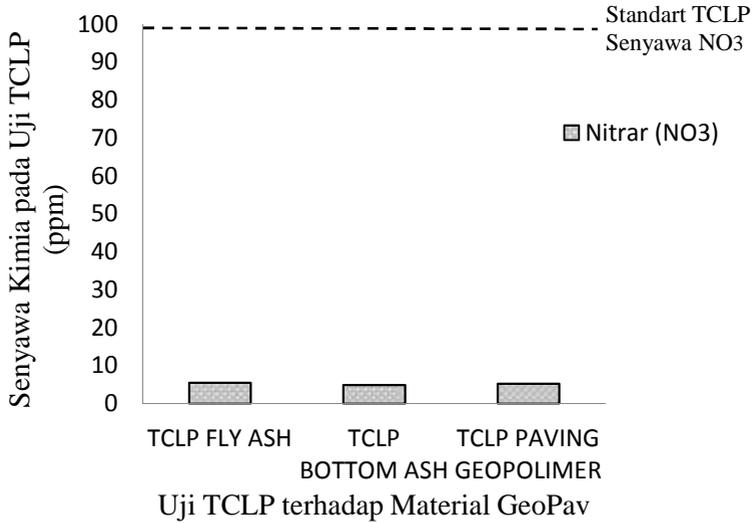
Berdasarkan **Tabel 4.40**, **Tabel 4.41**, dan **Tabel 4.42** Hasil Uji TCLP pada 3 benda uji diatas menerangkan bahwa presentase senyawa memenuhi syarat standarisasi TCLP yang dikeluarkan oleh Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (Bapedal) sehingga material ini aman terhadap lingkungan. **Gambar 4.37**, **Gambar 4.38**, dan **Gambar 4.39**. Menunjukkan diagram hubungan senyawa kimia yang ada pada uji TCLP pada *fly ash*, *bottom ash*, dan *paving geopolimer* yang dilakukan dalam penelitian ini sabagai berikut :



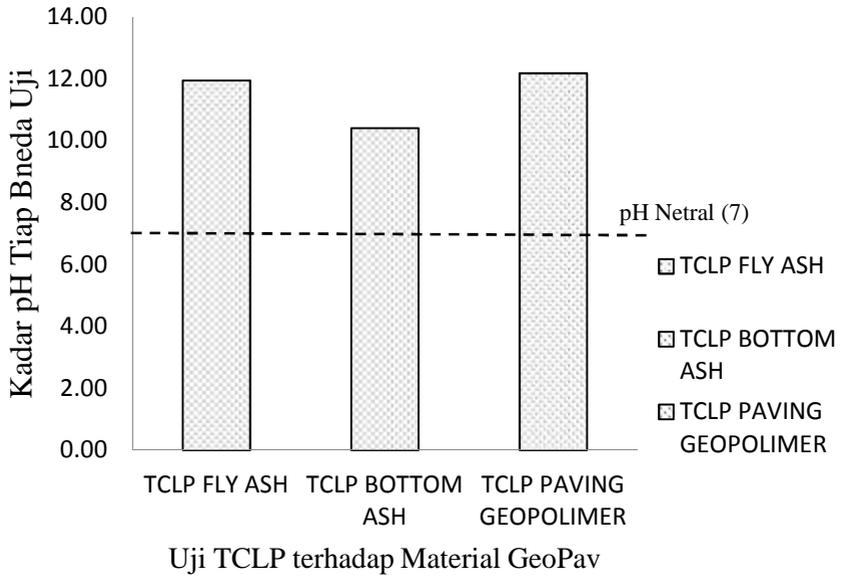


Uji TCLP terhadap 3 Benda Uji

Gambar 4.36 Diagram hubungan Senyawa kimia (Ag, Cd, Cr, dan Pb) dan 3 benda uji TCLP pada *paving* geopolimer manual



Gambar 4.37 Diagram hubungan Senyawa kimia (Cu, NO₃, dan Zn) dan 3 benda uji TCLP pada *paving* geopolimer manual



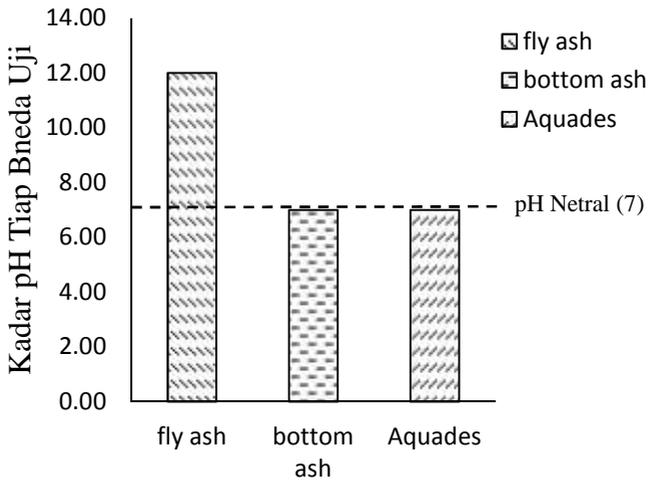
Gambar 4.38 Diagram hubungan kadar pH dan 3 benda uji TCLP pada *paving* geopolimer manual

4.6 Uji pH dan *Total Dissolve Solid (TDS)* terhadap *fly ash* dan *bottom ash*

Hasil analisa pH dan TDS terhadap *fly ash* dan *bottom ash* dilakukan di Laboratorium Manufaktur Jurusan Kimia ITS Surabaya. **Tabel 4.43** dan **Gambar 4.39** Menunjukkan hasil Uji pH menggunakan PHmeter pada material *paving* geopolimer yang dilakukan dalam penelitian ini. Sedangkan **Tabel 4.44** dan **Gambar 4.40** Menunjukkan hasil Uji TDS menggunakan TDSmeter pada material *paving* geopolimer yang dilakukan dalam penelitian ini, sabagai berikut :

Tabel 4.43 Hasil analisa pH menggunakan alat PH meter pada Material *Paving Geopolimer*

No	Parameter	Hasil Analisa
1	<i>Fly Ash</i>	12
2	<i>Bottom Ash</i>	7
3	<i>Aquades</i>	7

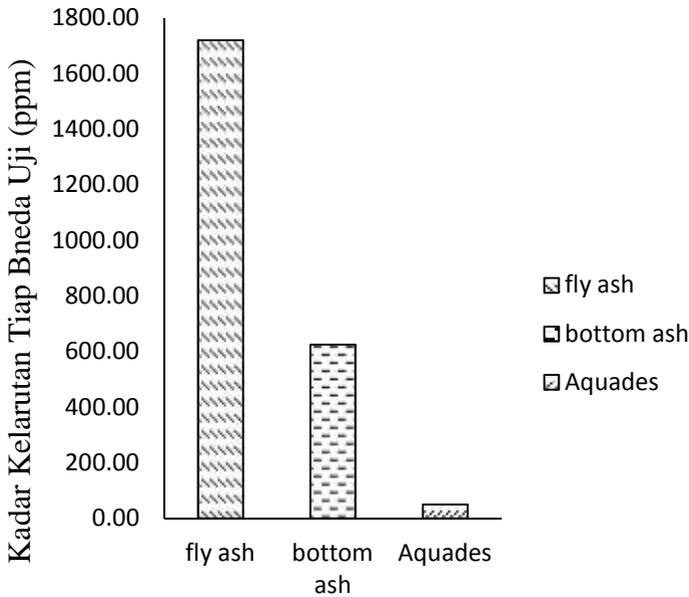


Material pada GeoPav yang diuji

Gambar 4.39 Diagram hubungan kadar pH dan Material pada *paving Geopolimer* menggunakan PHmeter.

Tabel 4.44 Hasil analisa TDS menggunakan alat TDS meter pada Material *Paving Geopolimer*

No	Parameter	Hasil Analisa
1	<i>Fly Ash</i>	1720
2	<i>Bottom Ash</i>	625
3	<i>Aquades</i>	50



Material pada GeoPav yang diuji

Gambar 4.40 Diagram hubungan Kadar TDS dan Material pada *paving* Geopolimer menggunakan TDSmeter

Berdasarkan **Tabel 4.43** , **Tabel 4.44** , **Gambar 4.39** dan **Gambar 4.40** Hasil Uji pH dan TDS pada *fly ash* dan *bottom* diatas menerangkan bahwa kadar pH *fly ash* tinggi dan memiliki *solubility* tinggi dibandingkan *bottom ash* yaitu 1720 ppm sehingga *fly ash* memiliki tingkat kelarutan yang tinggi dan dapat mengikat agregat agar bisa tercampur rata. Sedangkan *bottom ash* tidak bisa dikatakan pasta atau pengikat agregat karena memiliki kelarutan yang kecil yaitu 625 ppm bisapun pengaruh terhadap *paving* geopolimer ini sangat kecil. Tetapi *bottom ash* bisa diperhitungkan sebagai pengganti agregat. Proses pengujian pH dan TDS yang dilakukan di Lab Kimia ITS

Surabaya akan dijelaskan pada gambar **Gambar 4.41** sebagai berikut :



Gambar 4.41 Proses pengujian pH dan TDS yang dilakukan di Lab Kimia ITS Surabaya.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Semakin tinggi variasi *Bottom Ash* (0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%) dalam campuran *paving* geopolimer, maka nilai kuat tekan ada kecenderungan peningkatan kecuali pada penambahan *bottom ash* 100% terhadap berat volume abu batu mengalami penurunan dikarenakan resapan air pada *bottom ash* tinggi yaitu 6,38% sedangkan resapan air pada abu cenderung lebih kecil yaitu 2% sehingga terjadi penyusutan dan mempengaruhi nilai kuat tekan.
2. Nilai kuat tekan tertinggi pada *trial paving* menggunakan kubus 5 x 5 x 5cm sebesar 34,39 Mpa pada variasi *bottom ash* 80%. Sedangkan pada variasi *bottom ash* 80% dilakukan menggunakan *paving manual* diperoleh nilai kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari sebesar 33,19 N/mm² dengan standar deviasi 1,526 N/mm² dan kovarian 4,6 %.
3. Berdasarkan SNI 03-0691-1996 tentang *paving block*, pada variasi *bottom ash* 80% pada *paving manual* memiliki nilai kuat tekan rata-rata 33,19 N/mm² sehingga dikategorikan sebagai *paving block* mutu B.
4. Berdasarkan SNI 03-0691-1996 tentang *paving block*, pada variasi *bottom ash* 80% pada *paving manual* memiliki nilai ketahanan aus rata-rata 0,080 mm/menit sehingga dikategorikan sebagai *paving block* mutu A.
5. Berdasarkan SNI 03-0691-1996 tentang *paving block*, pada variasi *bottom ash* 80% pada *paving manual* memiliki nilai penyerapan air rata-rata 3,43% sehingga dikategorikan sebagai *paving block* mutu A.

6. *Paving* geopolimer manual memiliki hasil yang lebih rapi dan kompak daripada *Paving* geopolimer masinal, dikarenakan fly ash pada *paving* ini memiliki waktu setting time yang lebih cepat sehingga proses pembuatan *paving* geopolimer manual tidak boleh begitu lama sekitar 10 menit dari proses pencampuran *fly ash* dengan alkali.
7. *Paving* geopolimer masinal memiliki hasil yang lebih padat daripada *paving* geopolimer manual, tetapi ada beberapa *paving* banyak yang berongga dikarenakan fly ash pada *paving* ini memiliki waktu setting time yang lebih cepat kemungkinan karena proses pembuatan memakan waktu cukup lama sekitar 20 menit dari pencampuran *fly ash* dengan alkali. *Fly ash* sudah bereaksi dengan alkali sehingga pada proses pencetakan *paving* sebagian material sudah mengeras.
8. Dengan menggunakan satu buah alat press manual *paving* block kapasitas produksi 400 buah setiap hari. Dalam perhitungan memanfaatkan limbah FABA setiap bulan sebesar 11,3 Ton. Sedangkan Dengan menggunakan satu buah alat press masinal *paving* block kapasitas produksi 8000 buah setiap hari. Dalam perhitungan memanfaatkan limbah FABA setiap bulan sebesar 224,6 Ton.
9. Analisa biaya pada *Paving* geopolimer manual dengan tebal 6cm mutu K400 didapatkan Harga Produksi *Paving* (HPP) perbuah sebesar Rp. 1.072,- dibanding dengan Harga Produksi *Paving* (HPP) Merak Jaya Beton dengan tebal 6 cm mutu K400 perbuah sebesar Rp. 706,- . ada margin presentase perbedaan harga sebesar 34% atau sebesar 15.749,- per m².
10. Analisa biaya pada *Paving* geopolimer manual dengan tebal 6cm mutu K400 didapatkan Harga Produksi *Paving* (HPP) perbuah sebesar Rp. 1.072,- dibanding dengan Harga Jual Produsen Lokal di Surabaya dengan tebal 6

cm mutu K400 perbuah sebesar Rp. 1.627,- . ada margin presentase perbedaan harga sebesar 52% atau sebesar 23.892,- per m² .

11. Semakin banyak penambahan *bottom ash* pada *paving*, maka harga produksi *paving* perbuah lebih ekonomis dan juga pemanfaatan limbah lebih besar. Pada penambahan *bottom ash* 0% harga *paving* perbuah sebesar Rp. 1.083,- apabila penambahan *bottom ash* 80% harga *paving* perbuah sebesar Rp. 1.072,-
12. Berdasarkan PP no. 101 tahun 2014 tentang limbah B3, fly ash dikategorikan masuk dalam limbah B3. Telah dilakukan pengujian TCLP terhadap fly ash, bottom ash, dan paving geopolimer di laboratorium teknik kimia ITS dijelaskan bahwa 3 benda uji tersebut memenuhi syarat standarisasi TCLP yang dikeluarkan oleh Bdan Pengendalian Dampak Lingkungan (BAPEDAL).

5.2. Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut:

1. Perlu adanya jaminan keseragaman material supaya semua material yang digunakan tidak berbeda satu sama lain dan hasil pengujian dapat terkontrol dan maksimal.
2. Apabila *paving* geopolimer akan diproduksi dengan skala industri sebaiknya *batching plan* dekat dengan tempat produksi *fly ash* maupun *bottom ash* karena bisa memangkas harga produksi yang cukup besar.

3. Harga paving geopolimer saat ini lebih mahal dikarenakan pemakaian serpihan NaOH dan Sodium Silikat memiliki presentase harga 82% dari harga total dalam pembuatan paving geopolimer per buah. Disarankan kedepan pada pembuatan paving geopolimer penggunaan agregat semuanya memakai bottom ash, sehingga dari sisi harga lebih ekonomis dan pemanfaatan limbah digunakan secara maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

Kementrian ESDM Republik Indonesia. *Pengelolaan Sampah, Limbah dan Bahan Berbahaya Beracun KLHK, Badan Penelitian dan Pengembangan Kemen PUPR*. Siaran Pers No. 62/SJI, 2015.

Prasandha, Achmad Freddy Eka, Triwulan., dan Ekaputri, Januarti Jaya. *Paving Geopolimer Berbahan Dasar Bottom Ash dan Sugar cane Bagasse Ash: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*, 2015.

Ekaputri, Januarti Jaya., Triwulan. *Sodium Sebagai Aktivator Fly Ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo Dalam Beton Geopolimer*. Jurnal Teknik Sipil ITS Vol. 20 No. 1, 2013 ISSN 0853-2982.

Ekaputri, Januarti Jaya., Triwulan., dan Damayanti, Oktaviana. *Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Jawa Power Paiton Sebagai Material Alternatif*. Jurnal Pondasi Vol. 13 No. 2, 2007.

Pujianto, As'at., Anzila., Martiyana., dan Hendra. *Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Bahan Utama Bubuk Lumpur Lapindo dan Kapur*. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7, 2013.

Rangan, B Vijaya. *Geopolymer Concrete Applications*. Proceedings of International Conference on Emerging Trends in Civil Engineering, Jan 2012 ISBN 978-81-7800-294-1.

Nugroho, Dimas Setiyo., Triwulan., dan Ekaputri, Januarti Jaya. *Penggunaan Limbah Hasil Pembakaran Batubara dan Cugar Cane Bagasse Ash (SCBA) pada Paving Geopolimer dengan Proses Steam Curing*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil,

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2015.

Prihandini, Rahmalia Eka., Triwulan., dan Ekaputri, Januarti Jaya. *Pemanfaatan Bottom Ash dan Sugar Cane Bagasse Ash (SCBA) Untuk Pembuatan Paving Geopolimer*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2016.

Safitri, Endah dan Djumari. *Kajian Teknis dan Ekonomis Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) pada Produksi Paving Block*. Media Teknik Sipil, Volume IX, Januari 2009. ISSN 1412-0976.

Widodo, Slamet., Santosa, Agus., dan Prapto, Pusoko. *Pemanfaatan Limbah Abu Batu Sebagai Bahan Pengisi dalam Produksi Self Compacting Concrete*. Universitas Negeri Yogyakarta: 2003.

Sutarno. *Pemanfaatan Abu Batu Limbah Stone Crusher untuk Bahan Paving Block*. Wahana Teknik Sipil Vol. 12 No. 3, Desember 2007: 185-193.

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

SNI 03-0349-1989, Bata Beton untuk Pasangan Dinding, *Badan Standarisasi Nasional*, Bandung.

BIODATA PENULIS



Adimas Bayu Ramana,

Penulis dilahirkan di Surabaya, 17 Desember 1993, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Wonorejo 274 Surabaya, SMP Negeri 12 Surabaya, SMA Negeri 17 Surabaya, Serta Program Studi Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS. Setelah lulus dari Program Studi Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS tahun 2014, Penulis melanjutkan pendidikan Sarjana di Program Studi Lintas Jalur Teknik Sipil FTSP-ITS tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP 3114.105.044. Di jurusan Teknik Sipil ini penulis mengambil tugas akhir bidang studi Struktur. Penulis pernah aktif dalam beberapa kegiatan seminar, pelatihan, dan kegiatan Minat Bakat dibidang Bola Basket yang diselenggarakan oleh Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi kampus saat masih berkuliah di Program Studi Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”