



**PROYEK AKHIR TERAPAN RC-096599**

# **PEMANFAATAN PENGGUNAAN FLY ASH DAN BOTTOM ASH SEBAGAI POZZOLAN PADA BINDER GEOPOLYMER**

**PARAMITA TRI KURNIASARI**  
NRP. 3115 040 616

**Dosen Pembimbing I**  
R. Buyung Anugraha A, ST. MT  
NIP. 19740203 200212 1 002

**Dosen Pembimbing II**  
Ridho Bayuaji, ST. MT. Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**PROGRAM DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL LANJUT JENJANG**  
Jurusan Bangunan Gedung  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

# LEMBAR PENGESAHAN

## PEMANFAATAN PENGGUNAAN FLY ASH DAN BOTTOM ASH SEBAGAI POZZOLAN PADA BINDER GEOPOLYMER

### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Terapan  
pada

Bidang Studi Bahan Bangunan  
Program Studi Diploma IV Teknik Sipil Bangunan Gedung  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :



**Paramita Tri Kurniasari**  
NRP. 3115 040 616

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

23 JAN 2017

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



**R. Buyung A.A., ST, MT**      **Ridho Bayuaji, ST.MT.Ph.D**  
NIP. 19740203 200212 1 002      NIP. 19730710 199802 1 002

SURABAYA, JANUARI 2017



FINAL PROJECT RC-096599

# UTILIZATION OF THE USE OF FLY ASH AND BOTTOM ASH AS A POZZOLAN AT THE BINDER GEOPOLYMER

PARAMITA TRI KURNIASARI  
NRP. 3115 040 616

Supervisor

R. Buyung Anugraha A, ST. MT  
NIP. 19740203 200212 1 002

Co Supervisor

Ridho Bayuaji, ST. MT. Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

D-IV PROGRAM of CIVIL ENGINEERING in ADVANCED (EXTENDED) LEVEL  
Structure Building Department  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



---

**PROYEK AKHIR TERAPAN RC-096599**

**PEMANFAATAN PENGGUNAAN FLY ASH DAN  
BOTTOM ASH SEBAGAI POZZOLAN PADA  
BINDER GEOPOLYMER**

**PARAMITA TRI KURNIASARI  
NRP. 3115 040 616**

**Dosen Pembimbing I  
R. Buyung Anugraha A, ST. MT  
NIP. 19740203 200212 1 002**

**Dosen Pembimbing II  
Ridho Bayuaji, ST. MT. Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002**

**PROGRAM DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL LANJUT JENJANG  
Jurusan Bangunan Gedung  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**



---

FINAL PROJECT RC-096599

# UTILIZATION OF THE USE OF FLY ASH AND BOTTOM ASH AS A POZZOLAN AT THE BINDER GEOPOLYMER

PARAMITA TRI KURNIASARI  
NRP. 3115 040 616

Supervisor  
R. Buyung Anugraha A, ST. MT  
NIP. 19740203 200212 1 002

Co-Supervisor  
Ridho Bayuaji, ST. MT. Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

D-IV PROGRAM of CIVIL ENGINEERING in ADVANCED (EXTENDED) LEVEL  
Structure Building Department  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

# LEMBAR PENGESAHAN

## PEMANFAATAN PENGGUNAAN FLY ASH DAN BOTTOM ASH SEBAGAI POZZOLAN PADA BINDER GEOPOLYMER

### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Terapan  
pada

Bidang Studi Bahan Bangunan  
Program Studi Diploma IV Teknik Sipil Bangunan Gedung  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :



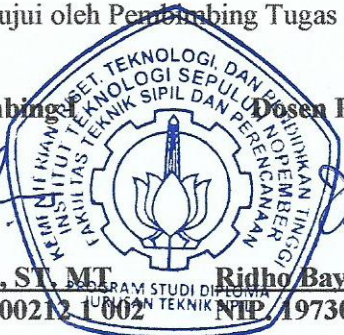
**Paramita Tri Kurniasari**  
NRP. 3115 040 616

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

23 JAN 2017

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



**R. Buyung A.A., ST, MT**

**Ridho Bayuaji, ST.MT.Ph.D**

NIP. 19740203 200212 1 002

NIP. 19730710 199802 1 002

SURABAYA, JANUARI 2017

# **PEMANFAATAN PENGGUNAAN FLY ASH DAN BOTTOM ASH SEBAGAI POZZOLAN PADA BINDER GEOPOLYMER**

Nama Mahasiswa : Paramita Tri Kurniasari  
NRP : 3115 040 616  
Jurusan : Diploma IV Teknik Sipil FTSP-ITS  
Dosen Pembimbing I : R. Buyung Anugraha A, ST.MT  
NIP : 197402032002121002  
Dosen Pembimbing II : Ridho Bayuaji, ST. MT. Ph.D  
NIP : 197307101998021002

## **Abstrak**

*Batubara merupakan sumber energy yang menjadi bahan bakar utama pengadaan sumber energy listrik nasional. Produksi batubara yang terus menerus ini berdampak pada banyaknya limbah pembakaran batubara yang dihasilkan berupa fly ash dan bottom ash yang dapat mencemari lingkungan apabila ditimbun dalam tanah. Untuk itu maka diperlukan upaya pemanfaatan limbah pembakaran batubara menjadi produk ramah lingkungan yang berdaya guna.*

*Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah hasil pengolahan limbah batubara yang berupa fly ash dan bottom ash menjadi beton geopolimer dapat diaplikasikan dalam masyarakat.*

*Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan pada mix design beton geopolimer yang dibuat dengan dimensi diameter 2,5 cm x tinggi 5 cm dari tiga komposisi campuran fly ash dan bottom ash yaitu 100% fly ash, 100% bottom ash, serta 50% fly ash + 50% bottom ash dengan masing-masing komposisi campuran akan diuji menurut setting time, UPV, porosity, permeability, serta kuat tekannya.*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi campuran terbaik menurut setting time adalah fly ash 12 M dengan perbandingan 1,5 yaitu 22,5 menit. Komposisi campuran*

*terbaik menurut UPV dengan pengujian yang dilakukan pada umur 3, 28 dan 56 hari kualitas binder meragukan dikarenakan hasil UPV menunjukkan angka <3000. Komposisi campuran terbaik menurut porosity adalah bottom ash 12 M perbandingan 1,5 umur 28 hari dengan nilai rata-rata mencapai 53,22%. Komposisi campuran terbaik menurut permeability terjadi pada semua komposisi campuran pada umur 56 hari. Sedangkan komposisi campuran terbaik menurut daya kuat tekan adalah komposisi BF12-1,5 mencapai 49,71 MPa dengan umur 56 hari sedangkan komposisi terendah terjadi pada BA12-1,5 umur 3 hari dengan nilai 0,07 MPa.*

*Dari penelitian ini maka didapatkan kesimpulan akhir bahwa pemanfaatan limbah batubara menjadi komposisi campuran untuk beton geopolimer cukup baik untuk dikembangkan dan aplikatif di masyarakat.*

***Kata kunci : beton geopolimer, bottom ash, fly ash, kuat tekan***



# UTILIZATION OF THE USE OF FLY ASH AND BOTTOM ASH AS A POZZOLAN AT THE BINDER GEOPOLYMER

Name of students : Paramita Tri Kurniasari  
Reg. Number : 3115 040 616  
Department : Diploma IV of Civil Engineering  
Supervisor : R. Buyung Anugraha A, ST.MT  
NIP : 197402032002121002  
Co-Supervisor : Ridho Bayuaji, ST. MT. Ph.D  
NIP : 197307101998021002

## ***Abstract***

*Coal is a source of energy that fuels the main national electric energy source procurement. Continuous coal production has an impact on the amount of waste in the form of coal combustion fly ash and bottom ash which can pollute the environment if buried in the ground. For that it is necessary efforts to use coal combustion waste into environmentally friendly products which efficient and useful for society.*

*This research was aimed to determine whether the results in the form of waste treatment of coal fly ash and bottom ash geopolymer concrete can be applied in society.*

*This study is an experimental research conducted on mix design geopolymer concrete made with dimensions of 2,5 cm diameter x height 5 cm of three composition of the mixture between fly ash and bottom ash that are 100% fly ash, 100% bottom ash and combination of 50% fly ash + 50 % bottom ash with each composition of the mixture will be tested according to the setting time, UPV, porosity, permeability, and the compressive strength.*

*The results of this research showed that the best mix design composition according to the setting time is fly ash 12 M with a ratio of 1.5 is 22.5 minutes. UPV best mix design*

*composition according to testing done at the age of 3, 28 and 56 days due to the dubious quality binder UPV results showed <3000. The composition according to the porosity is the best mix of bottom ash 12 M ratio of 1.5 age of 28 days with an average value reached 53.22%. The composition according to the best mix design of permeability occurs in all mixed composition at the age of 56 days. While the composition of the best mix of power according to the compressive strength is 49.71 MPa composition BF12-1,5 reached the age of 56 days, while the lowest occurred composition BA12-1,5 age of 3 days with a value of 0.07 MPa.*

*From this study, it was concluded that the end of the utilization of waste coal into a mix design composition of geopolymer concrete is good enough to be developed and applied in society.*

***Keywords: bottom ash, compressive strength, fly ash, geopolymer concrete***

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karuniannya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan proyek akhir dengan judul ***“Pemanfaatan Penggunaan Fly Ash dan Bottom Ash sebagai Pozzolan pada Binder Geopolymer”*** sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan (S.ST) pada jurusan Diploma IV Teknik Sipil lanjut jenjang, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis mendapatkan banyak doa, bantuan, dan dukungan moral serta materiil. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT, Tuhan sekaligus pengatur kehidupan yang telah memberikan kesempatan bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini hingga selesai
2. Kedua Orang Tua, yang tak henti-hentinya memberikan semangat dan dukungan kepada penulis
3. Bapak Dr. Machsus, ST.,MT, selaku Kepala Prodi Jurusan Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS
4. Bapak Afif Navir Refani, ST.,MT, selaku dosen wali
5. Bapak R.Buyung Anugraha A, ST.,MT dan bapak Ridho Bayuaji, ST.,MT.,Ph.D, selaku dosen pembimbing
6. Bapak dan Ibu dosen pengajar di Jurusan Diploma IV Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya
7. Staf Laboratorium Uji Material Diploma IV Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya
8. Staf Laboratorium Uji Bahan Jalan Diploma IV Teknik Sipil FTSP- ITS Surabaya
9. Staf Laboratorium Energi ITS Surabaya
10. Staf dan karyawan PLTU. Paiton, Probolinggo
11. Staf dan karyawan PT. Semen Indonesia, Gresik

12. Bapak dan ibu dosen penguji

13. Serta semua pihak dan teman-teman yang telah membantu dan mendukung penyelesaian tugas akhir ini

Penulis menyadari dalam penyusunan dan penulisan tugas akhir ini tak lepas dari berbagai kesalahan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna untuk kesempurnaan penulisan selanjutnya.

Akhir kata, besar harapan penulis semoga laporan proyek akhir ini dapat memberikan faedah dan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan.....	v
Kata Pengantar .....	vi
Abstrak .....	vii
Daftar Isi.....	xi
Daftar Tabel.....	xv
Daftar Gambar.....	xxi
Daftar Grafik .....	xxiii
Daftar Lampiran .....	xxv

### **BAB I\_PENDAHULUAN**

1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan.....	4
1.5. Manfaat penelitian.....	4

### **BAB II\_TINJAUAN PUSTAKA**

2.1. Umum.....	7
2.2. <i>Geopolymer</i> .....	7
2.2.1. Pengertian <i>geopolymer</i> .....	7
2.2.2. Sifat-sifat <i>geopolymer</i> .....	8
2.2.2.1. Sifat fisik <i>geopolymer</i> .....	8
2.2.2.2. Sifat kimia <i>geopolymer</i> .....	9
2.3. <i>Fly ash</i> .....	9

2.3.1.	Pengertian <i>fly ash</i> .....	9
2.3.2.	Sifat-sifat <i>fly ash</i> .....	11
2.3.3.	Klasifikasi jenis <i>fly ash</i> .....	13
2.4.	<i>Bottom ash</i> .....	14
2.4.1.	Kegunaan <i>bottom ash</i> .....	14
2.4.2.	Keuntungan penggunaan <i>bottom ash</i> .....	15
2.4.3.	Karakteristik <i>bottom ash</i> .....	15
2.5.	Alkali aktivator.....	18
2.5.1.	Sodium silikat.....	18
2.5.2.	Sodium hidroksida.....	19
2.6.	<i>SEM-EDX</i> .....	20
2.7.	<i>XRD</i> .....	21
2.8.	<i>XRF</i> .....	22
2.9.	<i>Setting time</i> .....	22
2.10.	<i>UPV</i> .....	23
2.11.	Kuat tekan.....	24
2.12.	<i>Porosity</i> .....	25
2.13.	<i>Permeability</i> .....	25

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1.	Studi literatur.....	27
3.2.	Persiapan bahan praktikum.....	27
3.2.1.	<i>Fly ash</i> dan <i>bottom ash</i> .....	27
3.2.2.	Uji komposisi <i>fly ash</i> dan <i>bottom ash</i> .....	30
3.2.3.	Jenis alkali aktivator.....	30
3.3.	Membuat <i>mix desain</i> .....	32

3.4.	Membuat binder <i>geopolymer</i> .....	32
3.5.	Membuat kubus <i>geopolymer</i> .....	35
3.6.	Melakukan <i>curing</i> benda uji.....	37
3.7.	Melakukan <i>setting time</i> .....	37
3.8.	Uji <i>UPV</i> .....	39
3.9.	Uji kuat tekan .....	40
3.10.	Uji <i>porosity</i> .....	42
3.11.	Uji <i>permeability</i> .....	43
3.12.	Standar pengujian .....	44
3.13.	Lokasi pengujian .....	45
3.14.	Diagram alir pelaksanaan penelitian .....	46
<b>BAB IV _HASIL DAN ANALISA</b>		
4.1.	Umum.....	47
4.2.	Hasil pemeriksaan material .....	47
4.2.1.	<i>Fly ash</i> dan <i>bottom ash</i> .....	47
4.2.2.	<i>Setting time</i> .....	48
4.2.3.	<i>Porosity</i> .....	56
4.2.4.	Kuat tekan.....	67
4.2.5.	Uji kepadatan dengan <i>UPV</i> .....	81
4.2.6.	<i>Permeability</i> .....	96
4.2.7.	Hubungan kuat tekan dan <i>porosity</i> .....	104
4.2.8.	Hubungan kuat tekan dengan <i>UPV</i> .....	107
4.2.9.	Hubungan kuat tekan dengan <i>permeability</i> .....	111
<b>BAB V _KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1.	Kesimpulan.....	115

5.2. Saran.....	116
Daftar Pustaka .....	117



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	
Persyaratan kandungan kimia <i>fly ash</i> .....	11
<b>Tabel 2.2</b>	
Susunan sifat fisik <i>fly ash</i> .....	12
<b>Tabel 2.3</b>	
Persyaratan fisik <i>fly ash</i> .....	12
<b>Tabel 2.4</b>	
Ukuran butiran partikel <i>bottom ash</i> .....	16
<b>Tabel 2.5</b>	
Komposisi kimia <i>bottom ash</i> .....	17
<b>Tabel 2.6</b>	
Hasil analisa sampel batubara .....	18
<b>Tabel 2.7</b>	
Klasifikasi uji <i>UPV</i> menurut <i>IAEA, 2002</i> .....	24
<b>Tabel 2.8</b>	
Klasifikasi uji <i>UPV</i> menurut <i>BS 1881-1986</i> .....	24
<b>Tabel 2.9</b>	
Klasifikasi kualitas uji <i>permeability</i> .....	26
<b>Tabel 4.1</b>	
Hasil <i>setting time bottom ash</i> .....	48
<b>Tabel 4.2</b>	
Hasil <i>setting time fly ash</i> .....	50
<b>Tabel 4.3</b>	
Hasil <i>setting time</i> campuran <i>fly ash + bottom ash</i> .....	52

<b>Tabel 4.4</b>	
Hasil rekapitulasi <i>setting time</i> .....	54
<b>Tabel 4.5</b>	
Hasil <i>porosity bottom ash</i> perbandingan 0,5 .....	56
<b>Tabel 4.6</b>	
Hasil <i>porosity bottom ash</i> perbandingan 1,5 .....	57
<b>Tabel 4.7</b>	
Hasil <i>porosity fly ash</i> perbandingan 0,5 .....	59
<b>Tabel 4.8</b>	
Hasil <i>porosity fly ash</i> perbandingan 1,5 .....	60
<b>Tabel 4.9</b>	
Hasil <i>porosity</i> campuran 50% <i>bottom ash</i> + 50% <i>fly ash</i> perbandingan 0,5 .....	62
<b>Tabel 4.10</b>	
Hasil <i>porosity</i> campuran 50% <i>bottom ash</i> + 50% <i>fly ash</i> perbandingan 1,5 .....	63
<b>Tabel 4.11</b>	
Hasil rekapitulasi <i>porosity</i> .....	65
<b>Tabel 4.12</b>	
Hasil kuat tekan <i>bottom ash</i> perbandingan 0,5 .....	67
<b>Tabel 4.13</b>	
Hasil kuat tekan <i>bottom ash</i> perbandingan 1,5 .....	68
<b>Tabel 4.14</b>	
Hasil kuat tekan <i>fly ash</i> perbandingan 0,5 .....	70
<b>Tabel 4.15</b>	
Hasil kuat tekan <i>fly ash</i> perbandingan 1,5 .....	71

**Tabel 4.16**

Hasil kuat tekan campuran 50% *bottom ash* + 50% *fly ash* perbandingan 0,5 ..... 73

**Tabel 4.17**

Hasil kuat tekan campuran 50% *bottom ash* + 50% *fly ash* perbandingan 1,5 ..... 74

**Tabel 4.18**

Hasil rekapitulasi kuat tekan ..... 76

**Tabel 4.19**

Hasil kuat tekan *bottom ash* basah ..... 77

**Tabel 4.20**

Hasil kuat tekan campuran 25% *bottom ash* + 75% *fly ash* ..... 78

**Tabel 4.21**

Hasil kuat tekan campuran 75% *bottom ash* + 25% *fly ash* ..... 79

**Tabel 4.22**

Hasil *UPV bottom ash* perbandingan 0,5 umur 3 hari ..... 81

**Tabel 4.23**

Hasil *UPV bottom ash* perbandingan 0,5 umur 28 hari ..... 82

**Tabel 4.24**

Hasil *UPV bottom ash* perbandingan 0,5 umur 56 hari ..... 82

**Tabel 4.25**

Hasil *UPV bottom ash* perbandingan 1,5 umur 3 hari ..... 84

**Tabel 4.26**

Hasil *UPV bottom ash* perbandingan 1,5 umur 28 hari ..... 84

**Tabel 4.27**

Hasil *UPV bottom ash* perbandingan 1,5 umur 56 hari ..... 85

**Tabel 4.28**

Hasil *UPV fly ash* perbandingan 0,5 umur 3 hari ..... 86

**Tabel 4.29**

Hasil *UPV fly ash* perbandingan 0,5 umur 28 hari ..... 86

**Tabel 4.30**

Hasil *UPV fly ash* perbandingan 0,5 umur 56 hari ..... 87

**Tabel 4.31**

Hasil *UPV fly ash* perbandingan 1,5 umur 3 hari ..... 88

**Tabel 4.32**

Hasil *UPV fly ash* perbandingan 1,5 umur 28 hari ..... 88

**Tabel 4.33**

Hasil *UPV fly ash* perbandingan 1,5 umur 56 hari ..... 89

**Tabel 4.34**

Hasil *UPV* campuran 50% *bottom ash* + 50% *fly ash* perbandingan 0,5 umur 3 hari..... 90

**Tabel 4.35**

Hasil *UPV* campuran 50% *bottom ash* + 50% *fly ash* perbandingan 0,5 umur 28 hari ..... 90

**Tabel 4.36**

Hasil *UPV* campuran 50% *bottom ash* + 50% *fly ash* perbandingan 0,5 umur 56 hari ..... 91

**Tabel 4.37**

Hasil *UPV* campuran 50% *bottom ash* + 50% *fly ash* perbandingan 1,5 umur 3 hari ..... 92

**Tabel 4.38**

Hasil *UPV* campuran 50% *bottom ash* + 50% *fly ash* perbandingan 1,5 umur 28 hari ..... 92

**Tabel 4.39**

Hasil *UPV* campuran 50% *bottom ash* + 50% *fly ash* perbandingan 1,5 umur 56 hari ..... 93

**Tabel 4.40**

Hasil rekapitulasi *UPV* ..... 94

**Tabel 4.41**

Klasifikasi kualitas beton ..... 95

**Tabel 4.42**

Hasil *permeability bottom ash* perbandingan 0,5 ..... 96

**Tabel 4.43**

Hasil *permeability bottom ash* perbandingan 1,5 ..... 97

**Tabel 4.44**

Hasil *permeability fly ash* perbandingan 0,5 ..... 98

**Tabel 4.45**

Hasil *permeability fly ash* perbandingan 1,5 ..... 98

**Tabel 4.46**

Hasil *permeability* campuran 50% *bottom ash* + 50% *fly ash* perbandingan 0,5 ..... 100

**Tabel 4.47**

Hasil *permeability* campuran 50% *bottom ash* + 50% *fly ash* perbandingan 1,5 ..... 101

**Tabel 4.48**

Hasil rekapitulasi *permeability*..... 102

**Tabel 4.49**

Kualifikasi kualitas beton menurut uji *permeability* ..... 103

<b>Tabel 4.50</b>	
Hubungan kuat tekan dengan <i>porosity bottom ash</i> .....	104
<b>Tabel 4.51</b>	
Hubungan kuat tekan dengan <i>porosity fly ash</i> .....	105
<b>Tabel 4.52</b>	
Hubungan kuat tekan dengan <i>porosity campuran 50% bottom ash + 50% fly ash</i> .....	106
<b>Tabel 4.53</b>	
Hubungan kuat tekan dengan <i>UPV bottom ash</i> .....	107
<b>Tabel 4.54</b>	
Hubungan kuat tekan dengan <i>UPV fly ash</i> .....	108
<b>Tabel 4.55</b>	
Hubungan kuat tekan dengan <i>UPV campuran 50% bottom ash + 50% fly ash</i> .....	109
<b>Tabel 4.56</b>	
Hubungan kuat tekan dengan <i>permeability bottom ash</i> .....	111
<b>Tabel 4.57</b>	
Hubungan kuat tekan dengan <i>permeability fly ash</i> .....	112
<b>Tabel 4.58</b>	
Hubungan kuat tekan dengan <i>permeability campuran 50% bottom ash + 50% fly ash</i> .....	113

## DAFTAR GAMBAR

### **Gambar 3.1**

Diagram alir proses pengambilan *fly ash* dan *bottom ash* ..... 28

### **Gambar 3.2**

*Fly ash* ..... 28

### **Gambar 3.3**

Tempat penyimpanan *bottom ash* pada daerah lapang ..... 29

### **Gambar 3.4**

Pengambilan *bottom ash* dilakukan secara manual ..... 29

### **Gambar 3.5**

NaOH dalam bentuk cair ..... 31

### **Gambar 3.6**

Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dalam bentuk cair ..... 31

### **Gambar 3.7**

Cetakan *binder geopolymer* 2,5 x 5 cm ..... 34

### **Gambar 3.8**

Proses pencetakan *binder geopolymer* ..... 34

### **Gambar 3.9**

*Binder geopolymer* yang telah dicetak ..... 34

### **Gambar 3.10**

Proses pencampuran NaOH terhadap benda uji ..... 36

<b>Gambar 3.11</b>	
Proses pencampuran $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ terhadap benda uji .....	36
<b>Gambar 3.12</b>	
Proses <i>curing</i> benda uji kubus .....	36
<b>Gambar 3.13</b>	
Alat pengukur suhu ruang .....	37
<b>Gambar 3.14</b>	
Alat <i>vicat test</i> .....	39
<b>Gambar 3.15</b>	
Alat uji <i>UPV</i> .....	40
<b>Gambar 3.16</b>	
Alat uji kuat tekan .....	41
<b>Gambar 3.17</b>	
Alat uji <i>porosity</i> .....	43
<b>Gambar 3.18</b>	
Alat uji <i>permeability</i> .....	44
<b>Gambar 3.19</b>	
Diagram alir pelaksanaan penelitian .....	46
<b>Gambar 4.1</b>	
Benda uji <i>permeability</i> umur 3 hari .....	103



## DAFTAR GRAFIK

### **Grafik 4.1**

Hasil *setting time bottom ash* perbandingan 0,5..... 49

### **Grafik 4.2**

Hasil *setting time bottom ash* perbandingan 1,5..... 49

### **Grafik 4.3**

Hasil *setting time fly ash* perbandingan 0,5..... 51

### **Grafik 4.4**

Hasil *setting time fly ash* perbandingan 1,5..... 51

### **Grafik 4.5**

Hasil *setting time* campuran 50% *bottom ash* +50%*fly ash*  
perbandingan 0,5 ..... 53

### **Grafik 4.6**

Hasil *setting time* campuran 50% *bottom ash* +50%*fly ash*  
perbandingan 1,5 ..... 53

### **Grafik 4.7**

Rekapitulasi *setting time* keseluruhan ..... 54

### **Grafik 4.8**

Hasil *porosity bottom ash*..... 58

### **Grafik 4.9**

Hasil *porosity fly ash* ..... 61

### **Grafik 4.10**

Hasil *porosity* campuran 50% *bottom ash* + 50%*fly ash* ..... 64

<b>Grafik 4.11</b>	
Rekapitulasi <i>porosity</i> secara keseluruhan.....	65
<b>Grafik 4.12</b>	
Hasil kuat tekan <i>bottom ash</i> .....	69
<b>Grafik 4.13</b>	
Hasil kuat tekan <i>fly ash</i> .....	72
<b>Grafik 4.14</b>	
Hasil kuat tekan campuran 50% <i>bottom ash</i> + 50% <i>fly ash</i> .....	75
<b>Grafik 4.15</b>	
Rekapitulasi hasil kuat tekan keseluruhan.....	76
<b>Grafik 4.16</b>	
Data tambahan kuat tekan .....	77
<b>Grafik 4.17</b>	
Hasil kuat tekan 25% <i>bottom ash</i> dan 75% <i>fly ash</i> .....	78
<b>Grafik 4.18</b>	
Hasil kuat tekan 75% <i>bottom ash</i> dan 25% <i>fly ash</i> .....	79
<b>Grafik 4.19</b>	
Hasil <i>UPV bottom ash</i> perbandingan 0,5.....	83
<b>Grafik 4.20</b>	
Hasil <i>UPV bottom ash</i> perbandingan 1,5.....	85

<b>Grafik 4.21</b>	
Hasil <i>UPV fly ash</i> perbandingan 0,5 .....	87
<b>Grafik 4.22</b>	
Hasil <i>UPV fly ash</i> perbandingan 1,5 .....	89
<b>Grafik 4.23</b>	
Hasil <i>UPV</i> campuran 50% <i>bottom ash</i> + 50% <i>fly ash</i> perbandingan 0,5 .....	91
<b>Grafik 4.24</b>	
Hasil <i>UPV</i> campuran 50% <i>bottom ash</i> + 50% <i>fly ash</i> perbandingan 1,5 .....	93
<b>Grafik 4.25</b>	
Rekapitulasi hasil nilai <i>UPV</i> keseluruhan .....	94
<b>Grafik 4.26</b>	
Hasil <i>permeability bottom ash</i> .....	97
<b>Grafik 4.27</b>	
Hasil <i>permeability fly ash</i> .....	99
<b>Grafik 4.28</b>	
Hasil <i>permeability</i> campuran 50% <i>bottom ash</i> + 50% <i>fly ash</i> ...	101
<b>Grafik 4.29</b>	
Rekapitulasi hasil <i>permeability</i> keseluruhan .....	102

**Grafik 4.30**

Hubungan kuat tekan dan *porosity bottom ash*..... 104

**Grafik 4.31**

Hubungan kuat tekan dan *porosity fly ash*..... 105

**Grafik 4.32**

Hubungan kuat tekan dan *porosity campuran 50% bottom ash + 50% fly ash* ..... 106

**Grafik 4.33**

Hubungan kuat tekan dan *UPV bottom ash*..... 107

**Grafik 4.34**

Hubungan kuat tekan dan *UPV fly ash*..... 108

**Grafik 4.35**

Hubungan kuat tekan dan *UPV campuran 50% bottom ash + 50% fly ash* ..... 109

**Grafik 4.36**

Hubungan kuat tekan dan *permeability bottom ash* ..... 111

**Grafik 4.37**

Hubungan kuat tekan dan *permeability fly ash*..... 112

**Grafik 4.38**

Hubungan kuat tekan dan *permeability campuran 50% bottom ash + 50% fly ash* ..... 113

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Batubara memiliki peran yang besar sebagai sumber energy primer dan bahan baku industri serta memiliki efek yang signifikan bagi Indonesia. Sebagaimana diketahui, batubara menjadi bahan bakar utama pengadaan sumber energy listrik nasional yang murah dan efisien. Seperti tercatat pada tahun 2011 produksi batubara Indonesia sebesar 415 juta ton dari total cadangan diperkirakan sebesar 34 milyar ton per tahun. Keberadaan batubara yang melimpah berbanding lurus dengan banyaknya industri yang menggunakan batubara sebagai sumber energi, yang mana akan terus berkembang (BPS, 2012). Hal ini mendorong banyaknya peneliti yang melakukan kajian mengenai batubara itu sendiri dan limbah yang dihasilkan seperti penelitian yang dilakukan oleh Sri Prabandiyani, Djwantoro Hardjito, 2010 dan Januarti Jaya Ekaputri, 2015. Hasil penelitian oleh Sri Prabandiyani, 2008 menyebutkan bahwa limbah batu bara seperti *fly ash* dan *bottom ash* dapat dimanfaatkan untuk stabilitas tanah dan keperluan teknik sipil lainnya dalam mengurangi pencemaran lingkungan.

Penelitian dan pengembangan mengenai limbah batubara dirasa sangat penting mengingat limbah industri batubara termasuk ke dalam bahan berbahaya dan beracun (B3) menurut Peraturan Pemerintah No.101/2014 yang apabila ditimbun dalam tanah maka kandungan senyawa kimia yang menyebar melalui media air dan udara dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan. Adapun dampak lingkungan yang paling signifikan adalah kanker kulit.

Beberapa ilmuwan mengembangkan metode pengalihfungsian limbah ini seperti yang telah dilakukan sebelumnya oleh Jepang, dengan pemanfaatan limbah batubara *bottom ash* yang dipakai untuk menggantikan pasir sedangkan *fly*

*ash* digunakan untuk menggantikan semen. Adapun kekurangan komponen ini adalah *fly ash* memiliki karakter yang tidak pernah konstan dan mix desain tidak stabil. Hal ini dikarenakan kandungan kimia yang diproduksi antara pabrik industri satu dengan lainnya berbeda. Sedangkan untuk *bottom ash* penggunaannya minim diperhatikan dan kurang difungsikan. (LIPI, 2016)

Seiring dengan berkembangnya teknologi banyak para ahli material memikirkan bagaimana cara mengalihfungsikan limbah batubara dengan memanfaatkannya sebagai beton yang ramah lingkungan, salah satunya yang sudah mulai dikembangkan adalah beton *geopolymer*. Beton *geopolymer* adalah beton yang sama sekali tidak menggunakan semen sebagai material pengikat. Pembuatan *geopolymer* yang ramah lingkungan dapat mereduksi penggunaan semen yang dalam pembuatannya menghasilkan gas CO<sub>2</sub> ke udara yang besarnya sebanding dengan jumlah semen yang diproduksi. Dengan kata lain, dalam memproduksi 1 ton semen sama dengan memproduksi 1 ton gas CO<sub>2</sub> ke dalam udara (Davidovits, 1994). Sedangkan faktor utama yang menjadi daya tarik beton *geopolymer* adalah pada proses geopolimerisasi, proses yang merubah hasil limbah industri yang mengandung alumino-silikat oksida menjadi produk geopolimer dengan kekuatan mekanik tinggi tanpa menggunakan semen. Beberapa material alternatif pengganti semen sebagai bahan pengikat dalam beton adalah *fly ash* dan *bottom ash* yang merupakan residu pembakaran batu bara sebagai sumber energi melalui Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

Salah satu PLTU terbesar di Pulau Jawa yang masih menggunakan batubara sampai saat ini adalah PLTU Paiton unit 1 dan 2, Probolinggo. Jumlah konsumsi batu bara khususnya Paiton unit 1 dan 2 berkisar 3,47 juta per tahun diperkirakan semakin meningkat sejalan dengan program penyediaan tenaga listrik 35.000 MW yang dioperasikan PLTU di Indonesia (*industri.bisnis.com*).

Karena banyaknya produksi *fly ash* dan *bottom ash* yang melimpah, maka dicoba untuk dimanfaatkan dalam pasta *geopolymer* dengan perbandingan 100% *fly ash*, 100% *bottom ash* dan campuran *fly ash* 50% + *bottom ash* 50%. Kedua bahan didapat dari PLTU Paiton, Probolinggo. Untuk itu dalam tugas akhir ini, penyusun akan membahas tentang **“Pemanfaatan Penggunaan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* sebagai *Pozzolan* pada *Binder Geopolymer*”**. Penyusun ingin memanfaatkan limbah *fly ash* dan *bottom ash* sebagai bahan pengganti semen serta senyawa kimia NaOH dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> sebagai aktivator dalam pembuatan pasta *geopolymer*.

Dalam penelitian tugas akhir ini, penyusun berharap dapat memberikan sumbangsih penelitian yang bermanfaat bagi masyarakat kemudian dapat diterapkan dan diteliti lagi lebih lanjut.

## 1.2. Rumusan Masalah

Secara garis besar masalah pokok pada penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

- a. Berapa kuat tekan paling tinggi yang dihasilkan oleh binder dengan komposisi *fly ash* 100% dan *bottom ash* 100% serta campuran *bottom ash* 50% + *fly ash* 50%
- b. Bagaimana pengaruh *fly ash* dan *bottom ash* terhadap *setting time*, *density*, *porosity*, *permeability* dan kuat tekan
- c. Apakah *fly ash* dan *bottom ash* aman diaplikasikan pada lingkungan

## 1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah yang diulas dalam penelitian ini, adalah sebagai berikut :

- a. *Fly ash* dan *bottom ash* yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PLTU Paiton Probolinggo
- b. Perbandingan massa antara sodium silikat dengan sodium hidroksida adalah sebesar 0,5 dan 1,5
- c. Tidak membahas reaksi-reaksi kimia
- d. Pelaksanaan tugas akhir dilakukan pada skala laboratorium
- e. Analisa yang dilakukan tidak meninjau segi biaya.
- f. Uji standar yang dilakukan adalah *setting time*, *density* dengan menggunakan alat *UPV*, kuat tekan *porosity* dan *permeability*.
- g. Perawatan binder dilakukan pada suhu ruang

#### 1.4. Tujuan

Adapun tujuan yang hendak dicapai dalam tugas akhir kali ini adalah sebagai berikut :

- a. Mendapatkan perbandingan komposisi campuran yang paling baik untuk menghasilkan kuat tekan yang paling tinggi sesuai dengan standar yang berlaku
- b. Bagaimana pengaruh komposisi *fly ash* dan *bottom ash* terhadap *setting time*, *UPV*, *porosity*, *permeability* dan kuat tekan
- c. Mengetahui *fly ash* dan *bottom ash* dapat diaplikasikan pada lingkungan

#### 1.5. Manfaat

Adapun manfaat yang hendak dicapai dalam tugas akhir kali ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengurangi dampak lingkungan dari penumpukan *bottom ash* dan *fly ash* dengan cara memanfaatkan limbah tersebut sebagai salah satu bahan utama pembuatan binder *geopolymer*



- b. Mengurangi masalah atas ketergantungan semen dengan cara memanfaatkan limbah industri

*“ halaman ini sengaja dikosongkan ”*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Umum

Binder *geopolymer* adalah pengikat dalam campuran mortar. Pada *fly ash based geopolymer mortar*, bahan yang menjadi pengikat adalah *fly ash* yang telah diaktifkan oleh alkaline. Reaksi ini disebut dengan polimerisasi. Penggunaan *geopolymer* dipelopori oleh seorang ilmuwan Prancis, Prof. Joseph Davidovits pada tahun 1978.

Oleh karena itu, banyak riset yang telah dilakukan lembaga penelitian atau universitas di berbagai negara untuk mengkaji serta mempelajari manfaat dari *geopolymer* tersebut.

### 2.2 *Geopolymer*

#### 2.2.1 Pengertian *Geopolymer*

*Geopolymer* adalah sebuah senyawa silikat alumino anorganik yang disintesis dari bahan – bahan produk sampingan seperti abu terbang (*fly ash*) abu sekam padi (*rice husk ash*) dan lain – lain, yang banyak mengandung silika dan alumina (Davidovits, 1997). *Geopolymer* merupakan produk beton geosintetik dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi ini Aluminium (Al) dan Silika (Si) mempunyai peranan penting dalam ikatan polimerisasi (Davidovits, 1994).

Terdapat beberapa kelebihan binder antara lain:

- a. Pembuatan geopolimer juga tidak menghasilkan emisi gas CO<sub>2</sub> seperti pada pembuatan semen Portland (Malhotra, 1999).
- b. Beton geopolimer juga hemat energi dan ramah lingkungan karena geopolimerisasi hanya memerlukan pemanasan di suhu yang relatif rendah. Energi yang diperlukan hanya kurang lebih 3/5 dibanding pembuatan portland semen (Davidovits, 1991)

## 2.2.2 Sifat-sifat *Geopolymer*

*Geopolymer* memiliki sifat-sifat yang membedakannya dengan material lain, baik sifat fisik maupun kimia. Sifat fisik merupakan sifat yang dimiliki material tanpa bereaksi dengan bahan lain, termasuk sifat mekanik. Sedangkan sifat kimia adalah perilaku material apabila bereaksi secara kimia dengan bahan lain.

### 2.2.2.1 Sifat Fisik *Geopolymer*

Data di bawah ini merupakan sifat fisik yang umumnya dimiliki *geopolymer* (Davidovit, 2008)

#### Semen *Geopolymer*

- Penyusutan selama *setting*: <0.05%, tidak dapat diukur
- Kuat tekan (*uniaxial*): >90 Mpa pada 28 hari (untuk kekuatan awal tinggi mencapai 20 Mpa setelah 4 jam)
- Kuat *flexural*: 10-15 Mpa pada 28 hari (untuk kekuatan awal tinggi mencapai 10 Mpa setelah 24 jam)
- Modulus young: >2 Gpa
- *Freeze-thaw*: massa yang hilang <0.1 % (ASTM 4842), kekuatan yang hilang <5% setelah 180 siklus.
- *Wet-dry*: massa yang hilang <0.1% (ASTM 4843)

#### Binder *Geopolymer*

- Ekspansi linier: <  $5 \cdot 10^{-6}/K$
- Konduktivitas panas: 0.2 sampai 0.4 W/K.m
- *Specific heat* : 0.7-1.0 KJ/kg
- Densitas *bulk* 1 sampai 1.9 g/mL
- Porositas terbuka 15-30 %
- Penyusutan geopolimerisasi 0.2 – 0.4 %
- D.T.A : endotermik pada 250°C (air zeolitik)
- Dan lain-lain

### 2.2.2.2 Sifat Kimia *Geopolymer*

Data di bawah ini merupakan sifat kimia yang umumnya dimiliki *geopolymer* (Davidovit, 2008)

- Ketahanan kimia *geopolymer*  
*Geopolymer* yang direndam asam sulfat 10% hanya mengalami penyusutan massa 0.1 % perhari dan asam klorida 5% hanya menyebabkan penyusutan 1% per hari. Perendaman dengan KOH 50% hanya menyusut 0.02% perhari, larutan sulfat menyebabkan penyusutan 0.02% pada 28 hari, sedangkan larutan amonia tidak menyebabkan penyusutan massa pada *geopolymer*. Reaksi alkali agregat tidak terjadi pada *geopolymer*.
- Nilai pH antara 11,5-12,5. Bandingkan dengan pasta semen Portland yang memiliki pH antara 12-13.
- Pelarutan (*leaching*) dalam air, setelah 180 hari:  $K_2O < 0.015 \%$
- Absorpsi air:  $<3\%$ , tidak terkait pada permeabilitas

## 2.3 *Fly ash*

### 2.3.1 Pengertian *Fly Ash*

*Fly ash* merupakan bagian dari sisa abu pembakaran yang berupa bubuk halus dan ringan yang diambil dari campuran gas tungku pembakaran menggunakan bahan batubara pada boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). *Fly ash* diambil secara mekanik dengan sistem pengendapan elektrostatik (Hidayat,1986)

*Fly ash* adalah mineral *admixture* yang berasal dari sisa pembakaran batubara yang tidak terpakai. Material ini mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolanik (Himawan dan Darma,2000 : 25)

Dalam penelitian Ardha (2003), secara kimia *fly ash* merupakan material oksida anorganik yang mengandung silika dan alumina aktif karena sudah melalui proses pembakaran pada

suhu tinggi. Bersifat aktif yaitu dapat bereaksi dengan komponen lain dalam komposisinya untuk membentuk material baru (*mulite*) yang tahan terhadap suhu tinggi.

*Fly ash* memiliki butiran yang lebih halus daripada butiran semen dan mempunyai sifat hidrolis. *Fly ash* bila digunakan sebagai bahan tambah atau pengganti sebagian semen maka tidak sekedar menambah kekuatan mortar, tetapi secara mekanik *fly ash* ini akan mengisi ruang kosong (rongga) di antara butiran-butiran dan secara kimiawi akan memberikan sifat hidrolis pada kapur mati yang dihasilkan dari proses hidrasi, dimana mortar hidrolis ini akan lebih kuat daripada mortar udara (kapur mati dan air) **(Suhud,1993)**

Dengan adanya tambahan air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh *fly ash* akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. Pakar teknologi beton yang bermukim di Kanada **(Malhotra,2001)** mempelopori riset penggunaan *fly ash* dalam proporsi cukup besar (hingga 60-65% dari total semen portland yang dibutuhkan) sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam proses pembuatan mortar.

*Fly ash* termasuk bahan pozzolan buatan karena sifatnya yang pozzolanik, partikel halus tersebut dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dengan media air sehingga membentuk senyawa yang bersifat mengikat. *Fly ash* dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti pemakaian sebagian semen, baik untuk adukan (mortar) maupun untuk campuran beton. Keuntungan lain dari pemakaian *fly ash* adalah dapat meningkatkan ketahanan/keawetan mortar terhadap ion sulfat. **(Hidayat,1986).**

Dalam perkembangannya, *fly ash* tidak hanya digunakan untuk mengganti sebagian semen tetapi dapat juga digunakan sebagai pengganti seluruh semen. Dengan demikian *fly ash* difungsikan dengan bahan alkaline dan sebagai aktivatornya digunakan NaOH dan sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) sehingga terjadi

proses polimerisasi yang selanjutnya dapat mengikat agregat-agregat.

Ukuran partikel fly ash bervariasi mulai yang lebih kecil dari 1  $\mu\text{m}$  (micrometer) sampai yang lebih besar dari 100  $\mu\text{m}$  (beberapa literatur menyebutkan ukuran 0,5  $\mu\text{m}$  - 300  $\mu\text{m}$ ), dengan sebagian besar partikel berukuran kurang dari 20  $\mu\text{m}$ . Umumnya hanya sekitar 10% sampai 30% ukuran partikel fly ash lebih besar dari 50  $\mu\text{m}$ .

Fly ash yang dapat digunakan untuk campuran pengganti sebagian semen dalam beton diatur dalam ACI Manual of Concrete Practice 1993 Part 1 226.3R-3 dan ASTM C 618 (Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete), dan dibagi menjadi 3 kelas :

### 2.3.2. Sifat-sifat *Fly Ash*

#### a. Sifat kimia *fly ash*

**Tabel 2.1** Tabel persyaratan kandungan kimia *fly ash*

Senyawa	Kelas Campuran Mineral		
	F (%)	N (%)	C (%)
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	70	70	50
$\text{SO}_3$	4	5	5
Moisture content	3	3	3
Loss of Ignition	10	6	6
Alkali $\text{Na}_2\text{O}$	1.5	1.5	1.5

(ASTM C 618-96 volume 04.02)

#### b. Sifat fisik *fly ash*

Sifat fisik *fly ash* menurut ACI Manual of Concrete Practice 1993 Parts 1 226.3R-6 dan ASTM C 618 adalah

1. *Specific gravity* 2.2 – 2.8
2. Ukuran  $\phi$  1 mikron -  $\phi$  1 mm dengan kehalusan 70% - 80% lolos saringan no.200 (75 mikron)

3. Kehalusan :
- % tertahan ayakan 0.075 mm : 3.5
  - % tertahan ayakan 0.045 mm : 19.3
  - % sampai ke dasar : 77.2

**Tabel. 2.2** Tabel susunan sifat fisik *fly ash*

No.	Uraian	Kelas F (%)	Kelas C (%)
1.	Kehalusan sisa di atas ayakan 45 $\mu\text{m}$	34.0	34.0
2.	Indeks keaktifan pozolan dengan PC (kelas I) pada umur 28 hari	75.0	75.0
3.	Air	105.0	105.0
4.	Pengembangan dengan Autoclave	0.8	0.8

(ASTM C 618 – 91 (dalam husin, 1998))

**Tabel 2.3** Tabel persyaratan fisik *fly ash*

No.	Persyaratan Fisika	Kelas Campuran Mineral		
		F (%)	N (%)	C (%)
1.	Jumlah yang tertahan ayakan 45 $\mu\text{m}$ (ro.325)	34	34	34
2.	Indeks aktivitas kekuatan :			
	Dengan semen umur 7 hari	75	75	75
	Dengan semen umur 28 hari	75	75	75
3.	Kebutuhan air	115	105	105
4.	Autoclave ekspansion atau contraction	0.8	0.8	0.8
5.	Density	5	5	5
6.	% tertahan ayakan 45 $\mu\text{m}$	5	5	5

(ASTM C 618 – 96 volume 04.02)



### 2.3.3. Klasifikasi Jenis Fly Ash

Fly ash dapat dibedakan menjadi 3 jenis (*ACI Manual of Concrete Practice 1993 Parts 1 226.3R-3*) dan *ASTM C 618*, yaitu :

- a. Kelas C
  1. *Fly ash* yang mengandung CaO lebih dari 10%, dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub bitumen batubara.
  2. Kadar ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) > 50%
  3. Kadar  $\text{Na}_2\text{O}$  mencapai 10%
  4. Pada campuran beton digunakan sebanyak 15% - 35% dari total berat binder.
- b. Kelas F
  1. *Fly ash* yang mengandung CaO kurang dari 10%, dihasilkan dari pembakaran *anthrachite* atau bitumen batubara.
  2. Kadar ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) > 70%
  3. Kadar  $\text{Na}_2\text{O}$  < 5%
  4. Pada campuran beton digunakan sebanyak 15% - 25% dari total berat binder.
- c. Kelas N
 

Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah *diatomic*, *opaline chertz* dan *shales*, *tuff* dan abu vulkanik, dimana bisa diproses melalui pembakaran atau tidak. Selain itu juga berbagai hasil pembakaran yang mempunyai sifat pozzolan yang baik.

Dari ketiga jenis fly ash di atas yang bisa digunakan sebagai *geopolymer* adalah jenis *fly ash* yang memiliki kandungan CaO rendah dan kandungan Si dan Al lebih dari 50% yaitu *fly ash* tipe C dan F karena Si dan Al merupakan unsur yang utama dalam terjadinya proses geopolimerisasi. Dari penelitian terdahulu (**Kosnatha dan Prasetio,2007**) *geopolymer* yang

menggunakan *fly ash* tipe C menghasilkan kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan *fly ash* tipe F baik yang menggunakan curing dengan oven maupun pada suhu ruang.

## **2.4 Bottom ash**

*Bottom ash* adalah limbah dari sisa pembakaran batubara. Pada waktu pembakaran batubara pada suatu pembangkit tenaga batubara, akan menghasilkan sisa pembakaran yang terdiri dari 80 % berupa *fly ash* dan sisanya 20 % berupa *bottom ash*. *Bottom ash* mempunyai karakteristik fisik berwarna abu-abu gelap, berbentuk butiran, berporos, mempunyai ukuran butiran antara pasir hingga kerikil. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Jesse J. Nowak, Alliant Energy, *Coal Combustion Products Manager – Western Region* (2004) bahwa limbah batu bara berupa *bottom ash* mengandung larutan kapur dan lumpur dengan jumlah terkecilnya Oksida yang mengandung aluminium (Al), besi (Fe), Magnesium (Mg), Sulfur (S) dan sisa-sisa material.

### **2.4.1 Kegunaan *bottom ash***

Salah satu cara pengolahan limbah batu bara yaitu dengan proses solidifikasi / stabilisasi (SS) dengan sementasi yang memanfaatkan limbah batubara (*bottom ash*) sebagai agregat atau bahan baku tambahan pembuatan bahan bangunan. Berdasarkan komposisi yang terkandung dalam *bottom ash* maka ada beberapa kemungkinan manfaat atau kegunaan antara lain :

- sebagai filler atau pengisi pada campuran aspal dan beton
- sebagai lapisan base dan sub base pada perkerasan jalan
- sebagai bahan filtrasi
- sebagai agregat dalam semen dan beton ringan

(Sumber : *JesseNowak@alliantenergy.com, 2004*)

### **2.4.2 Keuntungan penggunaan *bottom ash***

Ada beberapa keuntungan yang dapat kita peroleh apabila kita menggunakan *bottom ash* antara lain:

- Bagi pembeli / pengguna  
*Bottom ash* lebih murah dan tidak beracun
- Bagi perusahaan / industri  
Penggunaan limbah batubara sebagai bahan yang bermanfaat akan mengurangi pencemaran lingkungan dan menekan biaya penggunaan lahan untuk menampung limbah tersebut
- Bagi masyarakat  
Penggunaan limbah batubara merupakan solusi yang tepat untuk mengurangi permasalahan lingkungan akibat pencemaran limbah sehingga lingkungan menjadi lebih nyaman.

### **2.4.3 Karakteristik *bottom ash***

Karakteristik dari *bottom ash* ini telah diteliti oleh *American Coal Ash Association*, (2004).

### a. Karakteristik Fisik

*Bottom ash* mempunyai butiran partikel sangat berpori pada permukaannya. Partikel *bottom ash* mempunyai batasan ukuran dari kerikil sampai pasir. *Bottom ash* merupakan material dengan gradasi yang baik, dengan variasi ukuran partikel yang berbeda-beda. Ukuran *bottom ash* lebih mendekati ukuran pasir, biasanya 50 % - 90 % lolos pada saringan 4.75 mm (No. 4), 10 % - 60 % lolos pada saringan 0.6 mm (No. 40), 0 % - 10 % lolos pada saringan 0.075 mm (No. 200), dan ukuran paling besar berkisar antara 19 mm (3/4 in) sampai 38.1 mm (1-1/2 in).

**Tabel 2.4** Ukuran butiran dari partikel bottom ash (persentase lolos saringan)

Ukuran Saringan	Bottom Ash		
	Glasgow	New Haven	Meundsiville
38 mm (1-1/2 in)	100	99	100
19 mm (3/4 in)	100	95	100
9.5 mm (3/8 in)	100	87	73
4.75 mm (No. 4)	90	77	52
2.36 mm (No. 8)	80	57	32
1.18 mm (No. 16)	72	42	17
0.60 mm (No. 30)	65	29	10
0.30 mm (No. 50)	56	19	5
0.15 mm (No. 100)	35	15	2
0.075 mm (No. 200)	9	4	1

Sumber : JesseNowak@alliantenergy.com, 2004

## b. Karakteristik Kimia

Komposisi kimia dari *bottom ash* yaitu silika, alumina dan besi dengan sedikit kalsium, magnesium, sulfat, dan komponen yang lain. Tabel 2.5 menyajikan analisis kimia dari contoh *bottom ash* dari tipe batubara yang berbeda dan dari kawasan yang berbeda pula.

**Tabel 2.5** Komposisi kimia dari *bottom ash*  
(prosentase berat)

Tipe Batubara	Tipe <i>Bottom Ash</i>				
	Bitumen		Sub-bitumen	Lignit	
Lokasi	West Virginia	Ohio	Texas		
SiO <sub>2</sub>	53.6	45.9	47.1	45.4	70.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.3	25.1	28.3	19.3	15.9
Fe <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	5.8	14.3	10.7	9.7	2.0
CaO	0.4	1.4	0.4	15.3	6.0
MgO	4.2	5.2	5.2	3.1	1.9
Na <sub>2</sub> O	1.0	0.7	0.8	1.0	0.6
K <sub>2</sub> O	0.3	0.2	0.2	-	0.1

Sumber : JesseNowak@alliantenergy.com, 2004

Berdasarkan data hasil dan analisa contoh batubara dari PT. Primatexco yang diperoleh dari Sucofindo, 2005 mengenai karakteristik kimia dari *bottom ash* dan *fly ash*, sebagai berikut :

**Tabel 2.6** Hasil analisa sampel batubara

Parameter	Satuan	Hasil		Metode
		<i>Bottom ash</i>	<i>Fly ash</i>	
Silicon dioxide (SiO <sub>2</sub> )	%	32.32	44.70	ASTM D – 3682
Aluminium trioxide (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	22.60	27.58	ASTM D – 3682
Iron trioxide (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	9.22	8.05	ASTM D – 3682
Titanium dioxide(Ti O <sub>2</sub> )	%	3.37	2.68	ASTM D – 2795
Calcium oxide (CaO)	%	2.09	1.86	ASTM D – 3682
Magnesium oxide (MgO)	%	1.13	0.98	ASTM D – 3682
Pottasium Oxide (K <sub>2</sub> O)	%	1.72	1.71	ASTM D – 3682
Sodium Oxide (Na <sub>2</sub> O)	%	0.46	0.41	ASTM D – 3682
Phosphorus Pentoxide (P <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	0.62	0.69	ASTM D – 2795
Sulfur Trioxide (SO <sub>3</sub> )	%	0.94	0.44	ASTM D – 3682
Manganese Trioxide (Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	%	0.03	0.02	ASTM D – 3682

Sumber : PT. Sucifindo, 2005

## 2.5 Alkali Aktivator (Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida)

Sodium silikat dan sodium hidroksida digunakan sebagai alkalin aktivator (**Hardjito, et.al, 2004**). Sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Sedangkan sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat.

### 2.5.1. Sodium Silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>)

Sodium silikat merupakan salah satu bahan tertua dan yang paling aman yang sering digunakan di dalam industri kimia.

Proses produksinya yang lebih sederhana menyebabkan sodium silikat berkembang dengan cepat sejak tahun 1818. Sodium silikat dapat dibuat dengan 2 proses yaitu proses kering dan proses basah. Pada proses kering, pasir ( $\text{SiO}_2$ ) dicampur dengan sodium carbonate ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) atau dengan potassium carbonate ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) pada temperatur 1100 - 1200°C. Hasil reaksi tersebut menghasilkan kaca (*cullets*) yang dilarutkan ke dalam air dengan tekanan tinggi menjadi cairan yang kering dan agak kental. Sedangkan pada proses pembuatan basah, pasir ( $\text{SiO}_2$ ) dicampur dengan sodium hidroksida (NaOH) melalui proses filtrasi sehingga menghasilkan sodium silikat yang murni.

Sodium silikat terdapat dalam 2 bentuk, yaitu padatan dan larutan. Untuk campuran mortar lebih banyak digunakan sodium silikat dengan bentuk larutan. Sodium silikat pada mulanya digunakan sebagai campuran dalam pembuatan sabun. Tetapi dalam perkembangannya sodium silikat dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan, antara lain untuk bahan campuran semen, pengikat keramik, campuran cat serta dalam beberapa keperluan seperti kertas, tekstil dan serat. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa sodium silikat dapat digunakan untuk bahan campuran dalam beton (**Hartono.F.,Budi.G.,2002**). Dalam penelitian ini, sodium silikat digunakan sebagai alkali *activator*.

Sodium silikat ini merupakan salah satu larutan alkali yang berperan penting dalam proses polimerisasi karena sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Reaksi terjadi secara cepat ketika larutan alkali banyak mengandung larutan silika seperti sodium silikat, dibandingkan reaksi yang terjadi akibat larutan alkali yang banyak mengandung larutan hidroksida.

### **2.5.2. Sodium Hidroksida (NaOH)**

Sodium hidroksida (NaOH), juga dikenal sebagai soda kaustik atau natrium hidroksida, adalah sejenis basa logam kaustik. Sodium hidroksida membentuk larutan alkalin yang kuat

ketika dilarutkan ke dalam air. Digunakan di berbagai macam bidang industri, kebanyakan digunakan sebagai basa dalam proses produksi bubur kayu dan kertas, tekstil, air minum, sabun dan deterjen. Natrium hidroksida adalah basa yang paling umum digunakan dalam laboratorium kimia.

Natrium hidroksida murni berbentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk pellet, serpihan, butiran ataupun larutan jenuh 50%. Bersifat lembab cair dan secara spontan menyerap karbondioksida dari udara bebas. NaOH sangat larut dalam air dan akan melepaskan panas ketika dilarutkan.

Natrium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Sebagai *activator*, natrium hidroksida harus dilarutkan terlebih dahulu dengan air sesuai dengan molaritas yang diinginkan. Larutan ini harus dibuat dan didiamkan setidaknya 24 jam sebelum pemakaian. (Hardjito et.al,2005).

## 2.6 SEM-EDX

*SEM (Scanning Electron Microscope)* adalah salah satu jenis mikroskop electron yang menggunakan berkas electron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. Prinsip kerja dari *SEM* ini adalah dengan menggambarkan permukaan benda atau material dengan berkas electron yang dipantulkan dengan energy tinggi. Permukaan material yang disinari atau terkena berkar electron akan memantulkan kembali berkas electron atau dinamakan berkas electron sekunder ke segala arah. Tetapi dari semua berkas electron yang dipantulkan terdapat satu berkas electron yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detector yang terdapat di dalam *SEM* akan mendeteksi berkas electron berintensitas tertinggi yang dipantulkan oleh benda atau material yang dianalisis. Selain itu juga dapat menentukan lokasi berkas electron yang berintensitas tertinggi itu.



Ketika dilakukan pengamatan terhadap material, lokasi permukaan benda yang ditembak dengan berkas elektron yang berintensitas tertinggi di – scan ke seluruh permukaan material pengamatan. Karena luasnya daerah pengamatan kita dapat membatasi lokasi pengamatan yang kita lakukan dengan melakukan zoom – in atau zoom – out. Dengan memanfaatkan berkas pantulan dari benda tersebut maka informasi dapat di ketahui dengan menggunakan program pengolahan citra yang terdapat dalam computer.

*SEM (Scanning Electron Microscope)* memiliki resolusi yang lebih tinggi dari pada mikroskop optic. Hal ini di sebabkan oleh panjang gelombang *de Broglie* yang memiliki electron lebih pendek daripada gelombang optik. Karena makin kecil panjang gelombang yang digunakan maka makin tinggi resolusi mikroskop.

*SEM* mempunyai kegunaan yakni pengamatan dan pengkajian morfologi material padatan berskala mikro dengan resolusi hingga 3 nm dan pembesaran hingga 1 juta kali. Detektor *Energy Dispersive X-ray (EDX)* memungkinkan dilakukannya mikroanalisis secara kualitatif dan semi kuantitatif untuk unsur-unsur mulai dari litium (Li) sampai uranium (U).

## **2.7 XRD (X-Ray Diffraction)**

*XRD* merupakan alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal, ukuran kristal dari suatu bahan padat. Semua bahan yang mengandung kristal tertentu ketika dianalisa menggunakan *XRD* akan memunculkan puncak – puncak yang spesifik. Sehingga kelemahan alat ini tidak dapat untuk mengkarakterisasi bahan yang bersifat amorf.

Metode difraksi umumnya digunakan untuk mengidentifikasi senyawa yang belum diketahui yang terkandung dalam suatu padatan dengan cara membandingkan dengan data difraksi dengan database yang dikeluarkan oleh *International Centre for Diffraction Data* dalam Powder Diffraction File (PDF).

*XRD (X-Ray Diffraction)* mempunyai kegunaan sebagai berikut:

Penentuan struktur kristal :

1. Bentuk dan ukuran sel satuan kristal (d, sudut, dan panjang ikatan)
2. Pengindeks-an bidang kristal,
3. Jumlah atom per-sel satuan

Analisis kimia :

1. Identifikasi/Penentuan jenis kristal
2. Penentuan kemurnian relatif dan derajat kristalinitas sampel
3. Deteksi senyawa baru
4. Deteksi kerusakan oleh suatu perlakuan

## **2.8 XRF (X-Ray Fluorescence)**

*XRF* merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu sample dengan menggunakan metode spektrometri. *XRF* umumnya digunakan untuk menganalisa unsur dalam mineral atau batuan. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan untuk menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan.

## **2.9 Pengaturan waktu vikat (*setting time*)**

*Setting time* merupakan suatu pengujian untuk mengetahui berapa lama waktu pengikatan awal (mulai mengikat) dan pengikatan akhir (mulai mengeras) pasta *geopolymer*.

1. Waktu kerja  
Waktu kerja atau waktu pengaturan awal adalah jangka waktu dari awal pencampuran sampai massa mencapai tahap setengah-keras dan ditandai dengan adanya reaksi *setting* sebagian.
2. Waktu *setting* akhir  
Waktu *setting* akhir adalah jangka waktu dari waktu pencampuran sampai massa menjadi keras dan bisa di pisahkan dari bahan pencetakan.

## 2.10 UPV

*UPV* adalah pengujian kepadatan binder secara tidak langsung, melalui pengukuran kecepatan perambatan gelombang elektronik longitudinal pada media binder. Tes *UPV* dapat digunakan untuk:

1. Mengetahui keseragaman kualitas binder
2. Mengetahui kualitas struktur binder setelah umur beberapa tahun
3. Mengetahui kekuatan tekan binder
4. Menghitung modulus elastisitas dan koefisien poisson binder.

(*International Atomic Energy Agency, 2002*)

Kecepatan gelombang ultrasonik dipengaruhi oleh kekakuan elastis dan kekuatan binder. Pada binder yang pematatannya kurang baik atau mengalami kerusakan butiran material, gelombang *UPV* akan mengalami penurunan kecepatan. Perubahan kekuatan binder pada tes *UPV* ditunjukkan dengan perbedaan kecepatan gelombangnya; jika turun, adalah tanda bahwa binder mengalami penurunan kekuatan, sebaliknya jika kecepatannya naik, adalah tanda bahwa kekuatan binder meningkat (Hamidian dkk, 2012). Whitehurst melakukan penelitian untuk mengetahui hubungan kecepatan gelombang dan kualitas binder, hasilnya seperti pada Tabel 2.7

**Tabel 2.7** Klasifikasi kualitas binder berdasarkan kecepatan gelombang

Kecepatan gelombang longitudinal		Kualitas beton
km/ (detik.10 <sup>3</sup> )	Ft/ detik	
>4,5	> 15	Sangat bagus
3,5 – 4,5	12 – 15	Bagus
3,0 – 3,5	10 – 12	Diragukan
2,0 – 3,0	7 – 10	Jelek
< 2,0	<7	Sangat jelek

*International Atomic Energy Agency, 2002 : 110*

Hasil pengetesan *UPV* juga bisa menggunakan *British Standar (BS) 1881-1986* seperti disajikan pada tabel 2.8

**Tabel 2.8** Klasifikasi kualitas beton berdasarkan uji kepadatan

UPV (m/s)	Kualitas beton
>4500	Sangat baik
3500-4500	Baik
3000-3500	Cukup
<3000	Meragukan

*BS 1881-1986*

## 2.11 Kuat Tekan

Salah satu sifat mekanik yang digunakan sebagai parameter *geopolymer* adalah kuat tekan. Kuat tekan *geopolymer* dapat dipengaruhi oleh :

- Umur *geopolymer*
- Temperatur dan lama waktu *curing*
- Kadar air dalam *geopolymer*

Untuk perhitungan beton pada umur 28 hari, menggunakan perhitungan sebagai berikut :

$$f_{ci} = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan :

- P = Beban maksimum (kg).
- A = Luas penampang benda uji (cm<sup>2</sup>).
- f<sub>ci</sub> = Kuat tekan beton yang didapat dari hasil pengujian (kg/cm<sup>2</sup>).
- f<sub>cr</sub> = Kuat tekan beton rata-rata (kg/cm<sup>2</sup>).
- n = Jumlah benda uji, minimum 20 buah.

## 2.12 Porositas

Porositas adalah ukuran banyaknya ruang kosong dalam bahan tertentu dan dalam hal ini adalah *geopolymer*. Porositas dapat dihitung dengan rumus

$$P = \frac{W_{sa} - W_d}{W_{sa} - W_{sw}} \times 100 \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

- P = Total Porositas (%)
- W<sub>sa</sub> = Berat benda uji jenuh air di udara (gr)
- W<sub>sw</sub> = Berat benda uji jenuh air di dalam air (gr)
- W<sub>d</sub> = Berat benda uji setelah dioven pada suhu 105°C selama 24 jam (gr)

## 2.13 Permeabilitas

Permeabilitas adalah kemudahan beton untuk dapat dilalui air. Jika beton tersebut dapat dilalui air, maka beton tersebut dikatakan permeabel. Jika sebaliknya, maka dikatakan impermeabel. Untuk mengetahui dan mengukur permeabilitas beton perlu dilakukan pengujian menggunakan alat *Permeability*

*Tester TORRENT* dimana dengan alat tersebut akan diketahui nilai  $kT$  yang menunjukkan hasil ukuran pori pada beton seperti pada tabel berikut :

**Tabel 2.9** Klasifikasi kualitas beton berdasarkan uji *permeability*

Quality of cover concrete	Index	$kT$ ( $\times 10^{-16}m^2$ )
very bad	5	$> 10$
bad	4	1.0 - 10
normal	3	0.1 - 1.0
good	2	0.01 - 0.1
very good	1	$< 0.01$

*SN 505 252/1, Annex E*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Metodologi sangat diperlukan dalam sebuah penelitian agar lebih terarah dan hasil yang didapatkan bisa lebih optimum. Adapun metodologi penelitian yang akan di lakukan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

#### **3.1 Studi literatur**

Yang dilakukan pertama kali dalam menyusun tugas akhir ini adalah melakukan studi literatur mengenai beton *geopolymer* dan segala macam jurnal penelitian yang telah membahas masalah beton *geopolymer* sebelumnya. Studi Literatur terutama berasal dari laporan penelitian “*Development and Properties Of Low Calcium Fly Ash – Based Geopolymer Concrete*” (Hardjito and Rangan, 2005) dan “Pemanfaatan Abu Dasar (*Bottom Ash*) sebagai Bahan Substitusi Pasir pada Beton Mutu Normal” (Pradita Surya, Alex Kurniawandy, Zulfikar Djauhari, 2013)

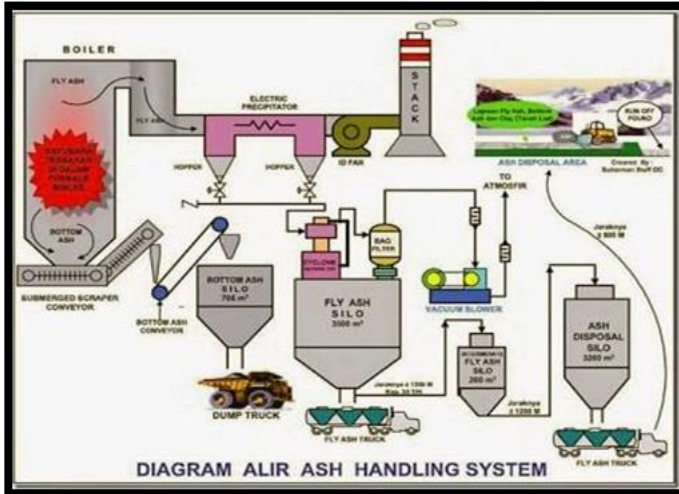
#### **3.2 Persiapan bahan praktikum penelitian**

##### **3.2.1 *Fly ash dan bottom ash***

Dalam penelitian ini digunakan *fly ash dan bottom ash* sebagai material dasar untuk pembuatan *geopolymer*. *Fly ash dan bottom ash* yang digunakan berasal dari PLTU Paiton, Probolinggo, Jawa Timur.

Proses pengambilan *fly ash dan bottom ash* dilakukan secara terpisah melalui beberapa tahapan meliputi pengambilan dari campuran gas tungku pembakaran menggunakan bahan batubara pada boiler. *Fly ash* yang dihasilkan akan disalurkan lewat pipa atas dan diteruskan ke silo. Sedangkan untuk *bottom ash*, abu yang dihasilkan akan diteruskan ke bawah dan ditampung oleh silo yang berbeda. Keduanya diproses dengan alat untuk pengaturan volume angkut yang nantinya akan ditampung

pada truk untuk *fly ash* dan dump truk untuk *bottom ash* untuk disalurkan ke tempat yang lebih luas



**Gambar 3.1** Diagram alir proses pengambilan *fly ash* dan *bottom ash*



**Gambar 3.2** *Fly ash*





**Gambar 3.3** Tempat penyimpanan bottom ash pada daerah lapang



**Gambar 3.4** Pengambilan bottom ash dilakukan secara manual

Untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung dalam fly ash dan bottom ash, akan dilakukan tes XRD (X-Ray

*Diffraction*), *XRF* (*X-Ray Fluorescence*) dan *SEM-EDX* di laboratorium.

### 3.2.2. Uji komposisi *fly ash* dan *bottom ash*

Karakteristik *fly ash* dan *bottom ash* dapat diketahui melalui suatu uji yang bernama *XRD* (*X-Ray Diffraction*). Hasil pengesanan *XRD* pada *sample fly ash* dan *bottom ash* dapat dilihat pada lampiran

Untuk menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu *sample* dapat dilakukan pengesanan *XRF* (*X-Ray Fluorescence*). Hasil pengesanan *XRF* pada *sample fly ash* dan *bottom ash* dapat dilihat pada lampiran

*SEM* mempunyai kegunaan yakni pengamatan dan pengkajian morfologi material padatan berskala mikro dengan resolusi hingga 3 nm dan pembesaran hingga 1 juta kali. *Detektor Energy Dispersive X-ray (EDX)* memungkinkan dilakukannya mikroanalisis secara kualitatif dan semi kuantitatif untuk unsur-unsur mulai dari litium (Li) sampai uranium (U).

### 3.2.3 Jenis alkali aktivator

Jenis alkali aktivator yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan sodium hidroksida (NaOH). Larutan sodium hidroksida yang digunakan yaitu larutan NaOH 12 M.

Cara membuat 1 liter larutan NaOH 12 M adalah sebagai berikut :

1. Menghitung kebutuhan NaOH yang akan digunakan.

$$\begin{aligned} n &= M \times v \\ &= 1 \text{ liter} \times 12 \text{ mol/liter} \\ &= 12 \text{ mol} \end{aligned}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} n &= \text{jumlah mol zat terlarut} \\ M &= \text{kemolaran larutan} \\ v &= \text{volume larutan} \end{aligned}$$

$M_r \text{ NaOH} = 40$  ( penjumlahan  $A_r$  dari unsur-unsur penyusun senyawa yaitu,  $\text{Na}=23$ ,  $\text{O}=16$ ,  $\text{H}=1$ )

$$\begin{aligned} \text{Massa NaOH} &= n \text{ mol} \times M_r \\ &= 12 \text{ mol} \times 40 \text{ gram/mol} \\ &= 480 \text{ gram} \end{aligned}$$

2. Menimbang NaOH seberat 480 gram
3. Memasukkan NaOH ke dalam labu ukur dengan kapasitas 1000cc / liter
4. Menambahkan aquades ke dalam labu ukur sampai volumenya 1 liter.
5. Aduk hingga larut.



**Gambar 3.5** *NaOH dalam bentuk cair*



**Gambar 3.6** *Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dalam bentuk cair*

### 3.3 Membuat *mix* desain untuk binder *geopolymer*

Dalam penelitian ini akan digunakan 2 macam variasi komposisi campuran beton yang terbagi menjadi 3 kelompok. Pengelompokan ini berdasarkan perbandingan NaOH yang digunakan yaitu :

1. *Bottom ash* perbandingan 0,5 dan 1,5
  2. *Fly ash* perbandingan 0,5 dan 1,5
  3. Campuran *bottom ash* + *fly ash* perbandingan 0,5 dan 1,5
- Perhitungan *mix* desain binder dapat dilihat pada lampiran.

### 3.4 Membuat binder *geopolymer* ukuran 25 mm x 50 mm

Setelah melakukan perhitungan *mix* desain seperti perhitungan di atas, maka selanjutnya yang akan dilakukan yaitu membuat binder *geopolymer*.

Dalam pembuatan binder hal yang harus diperhatikan adalah tersedianya alat dan bahan. Pastikan bahan yang digunakan kering dan tidak lembab terutama pada *bottom ash* karena dapat mempengaruhi *workability* binder. Untuk itu, sebelum pencampuran bahan *bottom ash* di oven terlebih dahulu dengan suhu 100°C selama  $\pm 24$  jam agar kadar air yang terkandung tidak berlebih sehingga mempengaruhi pengikatan pasta binder. Dalam setiap komposisi, campuran akan dibuat 12 benda uji dengan 2 perbandingan yaitu 0,5 dan 1,5.

Berikut ini langkah-langkah yang akan dilakukan untuk membuat binder *geopolymer* 12 M

- Alat
  1. Seperangkat alat mixer
  2. Keping
  3. Cetakan berukuran 25 mm x 50 mm
  4. Timba
  5. Timbangan digital

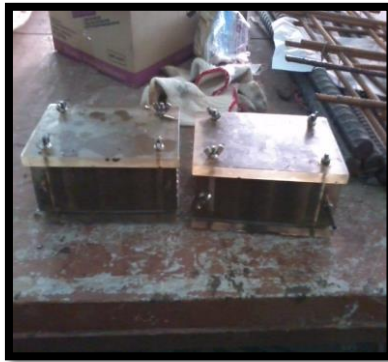
- Bahan
  1. NaOH 12 M
  2.  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$
  3. Fly ash
  4. Bottom ash
  5. Oli
  
- Langkah-langkah
  1. Timbang fly ash, bottom ash, NaOH dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  sesuai takaran. Kemudian masukkan fly ash dan atau bottom ash ke dalam mixer untuk dihaluskan terlebih dahulu. Setelah halus masukkan NaOH sedikit demi sedikit. Jika sudah tercampur tambahkan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Aduk pasta selama kurang lebih 3 menit hingga campuran menjadi rata.
  2. Lumuri cetakan dengan oli, sebelum adonan dimasukkan ke dalam cetakan agar saat melepas cetakan tidak lengket.
  3. Masukkan adonan tersebut ke dalam cetakan.
  4. Ratakan permukaan binder tersebut.
  5. Cetakan bisa dilepas setelah binder sudah mengeras. Setelah itu, simpan binder di dalam wadah yang telah diberi label sesuai dengan komposisi yang telah dibuat.

Langkah-langkah tersebut digunakan untuk melakukan pembuatan binder *geopolymer* lain dengan komposisi yang berbeda.

Untuk mempermudah dalam melakukan suatu uji binder maka sebaiknya pemberian nama binder *geopolymer* dengan komposisi yang lainnya diberikan kode.



*Gambar 3.7 Cetakan binder geopolimer 2,5 x 5 cm*



*Gambar 3.8 Proses pencetakan binder geopolimer*



*Gambar 3.9 Binder geopolimer yang telah dicetak*

### 3.5 Membuat kubus *geopolymer* 15 x 15 x 5 cm

Berikut ini langkah-langkah yang akan dilakukan untuk membuat kubus *geopolymer* 12 M

- Alat
  1. Alas besi persegi (tempat mengaduk bahan)
  2. Keping
  3. Cetok
  4. Cetakan berukuran 15 x 15 x 15 cm
  5. Timbangan digital
  6. Penggaris
  7. Tipe x
  
- Bahan
  1. NaOH 12 M
  2. Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>
  3. Fly ash
  4. Bottom ash
  5. Oli
  
- Langkah-langkah
  1. Timbang fly ash, bottom ash, NaOH dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> sesuai takaran. Kemudian masukkan fly ash dan atau bottom ash ke alas besi persegi. Masukkan NaOH sedikit demi sedikit. Jika sudah tercampur tambahkan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. Aduk pasta hingga campuran menjadi rata.
  2. Ukur tebal cetakan kubus 5 cm dengan menggunakan penggaris dan tipe x.
  3. Lumuri cetakan dengan oli sebelum adonan dimasukkan ke cetakan agar saat melepas cetakan tidak lengket.
  4. Masukkan adonan tersebut ke dalam cetakan, ratakan.

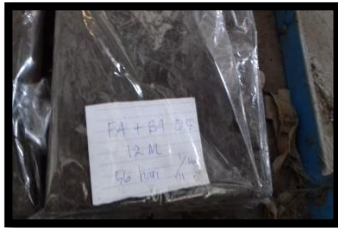
5. Cetakan bisa dilepas setelah pasta mengeras. Setelah itu, simpan dalam plastik yang telah diberi label sesuai dengan komposisi yang telah dibuat.



*Gambar 3.10 Proses pencampuran NaOH terhadap benda uji*



*Gambar 3.11 Proses pencampuran Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> terhadap benda uji*



*Gambar 3.12 Proses curing benda uji kubus*



### 3.6 Melakukan *curing* pada benda uji

*Curing* (perawatan) ini dilakukan untuk mencegah penguapan air yang berlebihan pada binder. Karena kandungan air atau pencampur dalam beton sangat mempengaruhi kekuatan dari beton itu sendiri. *Curing* ini dilakukan dengan cara menutupi sampel beton dengan plastik dan dibiarkan dalam suatu ruangan. Perawatan ini dilakukan lebih dari 24 jam selama 3 hari dengan suhu rata-rata berkisar  $\pm 30,67^{\circ}\text{C}$



**Gambar 3.13** Alat pengukur suhu ruangan

### 3.7 Melakukan *setting time*

Test *setting time* ini diperlukan untuk mengetahui waktu pengikatan awal ( mulai mengikat) dan pengikatan akhir ( mulai mengeras) dari binder *geopolymer*. Pengetesan binder ini dilakukan berdasarkan *ASTM C191-92*.

Peralatan :

- ❖ Seperangkat alat vicat
- ❖ Timbangan digital
- ❖ *Stopwatch*
- ❖ Gelas takar

- ❖ *Mixer*
- ❖ Solet perata

Bahan :

1. NaOH 12 M
2. Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>
3. *Fly ash*
4. *Bottom ash*

Prosedur pengujian :

- Timbang *fly ash*, *bottom ash*, NaOH dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> sesuai takaran. Kemudian masukkan *fly ash* dan atau *bottom ash* ke dalam *mixer* untuk dihaluskan terlebih dahulu. Setelah halus masukkan NaOH sedikit demi sedikit. Jika sudah tercampur tambahkan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. Aduk pasta selama kurang lebih 3 menit hingga campuran menjadi rata.
- Jika pasta sudah tercampur, masukkan pasta ke dalam wadah *vicat* kemudian pasta diratakan menggunakan solet perata. Letakkan jarum *vicat* diameter kecil ( 1mm ), tunggu 5 menit.
- Setelah 5 menit, tempelkan ujung jarum dengan tengah permukaan pasta dan setelah 30 detik jarum di hentikan dan penurunan jarum di baca dan di catat.
- Angkat jarum *vicat* dan lap untuk membersihkan semen *geopolymer* yang menempel pada jarum *vicat*.
- Begitu seterusnya, setiap 5 menit ditest dan dicatat sampai penurunnya kurang dari 5 mm dan percobaan dihentikan.



**Gambar 3.14** Alat vicat tes

### 3.8 Uji UPV ( *Ultrasonic Pulse Velocity Test* )

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui mutu beton dan homogenitas beton. *Pulse* dari vibrasi longitudinal dihasilkan oleh electro accoustical transducers, yang dihubungkan dengan salah satu permukaan beton yang diteliti. Setelah pulsa vibrasi longitudinal menyebrangi panjang ( $l$ ) beton, *pulse* vibrasi tersebut diubah menjadi signal elastik oleh transducers penerima dan *electronic timing circuit* mengubah waktu  $t$  dari *pulse* yang diukur.

Alat yang digunakan :

1. *UPV*
2. Stempet
3. Kepi

Bahan :

Benda uji kubus ukuran 15x15x5 cm

Cara kerja alat :

1. Pasang kabel pada alat *UPV*
2. *Setting* sesuai tebal benda uji yang digunakan
3. Oleskan stempet dengan menggunakan kepi pada kedua ujung alat, ratakan

4. Tempelkan kedua alat *UPV* pada dua sisi kubus hingga nilai rambatan muncul pada layar
5. Catat hasil  $t$ ,  $l$  dan  $v$  untuk mengetahui benda uji memenuhi kriteria atau tidak



*Gambar 3.15* Alat pengtesan *UPV*

### 3.9 Uji kuat tekan

Test kuat tekan binder *geopolymer* ini dilakukan pada umur 3, 28 dan 56 hari dengan menggunakan komposisi 100% *bottom ash*, 100% *fly ash* dan campuran 50% *bottom ash* + 50% *fly ash*. Terdapat data tambahan 3 komposisi dengan bahan yang sama yaitu 25% *bottom ash* + 75% *fly ash*, 75% *bottom ash* + 25% *fly ash* dan 100% *bottom ash* dalam keadaan tanpa oven. Untuk setiap tes kuat tekan, digunakan 3 benda uji dari setiap komposisi. Hal ini dilakukan untuk keakuratan data tes tekan masing masing komposisi.

Adapun beberapa prosedur yang dilakukan dalam melakukan test kuat tekan binder *geopolymer* ini, yaitu :

- ❖ Ratakan permukaan binder yang akan di test tekan dengan kertas gosok (*amplas*) agar gaya tekan pada binder lebih merata pada semua permukaan binder lebih merata pada semua permukaan binder

- ❖ Letakkan binder secara berdiri (vertikal) pada alat tekan dan pilih permukaan yang telah di amplas tadi sebagai permukaan yang terbebani.
- ❖ Mesin diturunkan secara perlahan dengan kecepatan konstan.
- ❖ Catat berapa besar kuat tekannya pada saat jarum merah mesin menunjukkan simpangan maksimum.

Besarnya angka yang ditunjukkan pada saat jarum merah mencapai simpangan maksimum merupakan beban ( P ) yang mampu dipikul binder dalam satuan Kgf, sehingga untuk mendapatkan kuat tekan yang diinginkan maka besarnya beban dalam satuan Kgf tersebut harus dibebani dengan luas permukaan binder yang terbebani ( A ). Sehingga secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (3.1)$$



**Gambar 3.16** Alat pengetesan kuat tekan

dimana :

- $\sigma$  = besar kuat tekan beton *geopolymer* (kg/cm<sup>2</sup>)
- P = besar beban beton yang membebani beton *geopolymer* ( kg )
- A = luas yang terbebani oleh P (cm<sup>2</sup>)

$G = \text{percepatan gravitasi} = 9,8 \text{ m/s}$

### 3.10 Uji *porosity*

Tujuan :

Untuk mengetahui banyaknya ruang kosong yang berada dalam binder geopolimer

Peralatan :

- ❖ Timbangan digital
- ❖ Timbangan manual
- ❖ Timba
- ❖ Saringan
- ❖ Oven
- ❖ Termometer ruangan
- ❖ Wadah kaca
- ❖ Alat vakum

Bahan :

Benda uji silinder pasta dengan diameter yang telah ditentukan

Prosedur :

- ❖ Setelah benda uji berumur 3, 28 dan 56 hari, ambil binder dan taruh pada wadah kaca untuk di vakum selama 24 jam guna menghilangkan pori-pori pada binder tersebut.
- ❖ Selanjutnya masukkan air ke dalam alat vakum sampai benda uji terendam dengan selisih air minimal 20mm dan waktu memvakum minimal 6 jam
- ❖ Setelah itu, angkat binder dan keringkan
- ❖ Timbang binder dalam keadaan kering (berat di udara)
- ❖ Setelah ditimbang dalam keadaan kering, taruh binder pada saringan yang sebelumnya dicelupkan pada timba berisi air. Kemudian timbang dalam keadaan basah (berat di air)
- ❖ Oven benda uji selama 24 jam pada suhu  $105^{\circ}\text{C}$
- ❖ Timbang binder kemudian catat.

❖ Hitung hasil uji porositas dengan rumus sebagai berikut :

$$P = \frac{W_{sa} - W_d}{W_{sa} - W_{sw}} \times 100 \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana :

- P = Total Porositas (%)
- W<sub>sa</sub> = Berat benda uji jenuh air di udara (gr)
- W<sub>sw</sub> = Berat benda uji jenuh air di dalam air (gr)
- W<sub>d</sub> = Berat benda uji setelah di oven pada suhu 105°C selama 24 jam (gr)



*Gambar 3.17 Alat pengtesan porositas*

### **3.11 Uji permeability**

#### **Tujuan**

Untuk mengetahui kemudahan cairan atau gas untuk melewati beton.

Alat :

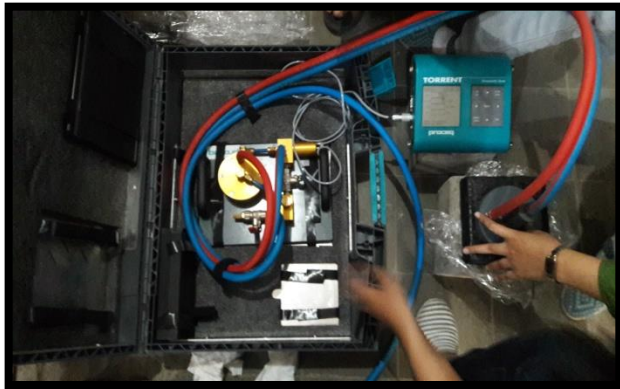
*Permeability Tester Torrent*

Bahan :

Benda uji kubus ukuran 15x15x5cm

Prosedur pelaksanaan :

1. Pasang selang dan kabel pada alat
2. Nyalakan tombol on setelah itu pilih *start*, *calibration* kemudian ikuti perintah yang tertera pada layar
3. Setelah data terekam, pilih *print out*
4. Jika kalibrasi selesai, maka lakukan pengetesan pada benda uji kubus
5. Untuk pengecekan data output maka pilih *menu*, *start*, *start*.
6. Catat data yang muncul pada layar
7. Setelah data tercatat pilih tombol *end*
8. Jika ingin melakukan pengerjaan ulang kubus maka pilih tombol start dan lakukan seperti sedia kala



**Gambar 3.18** Alat pengetesan permeabilitas

### 3.12 Standar pengujian

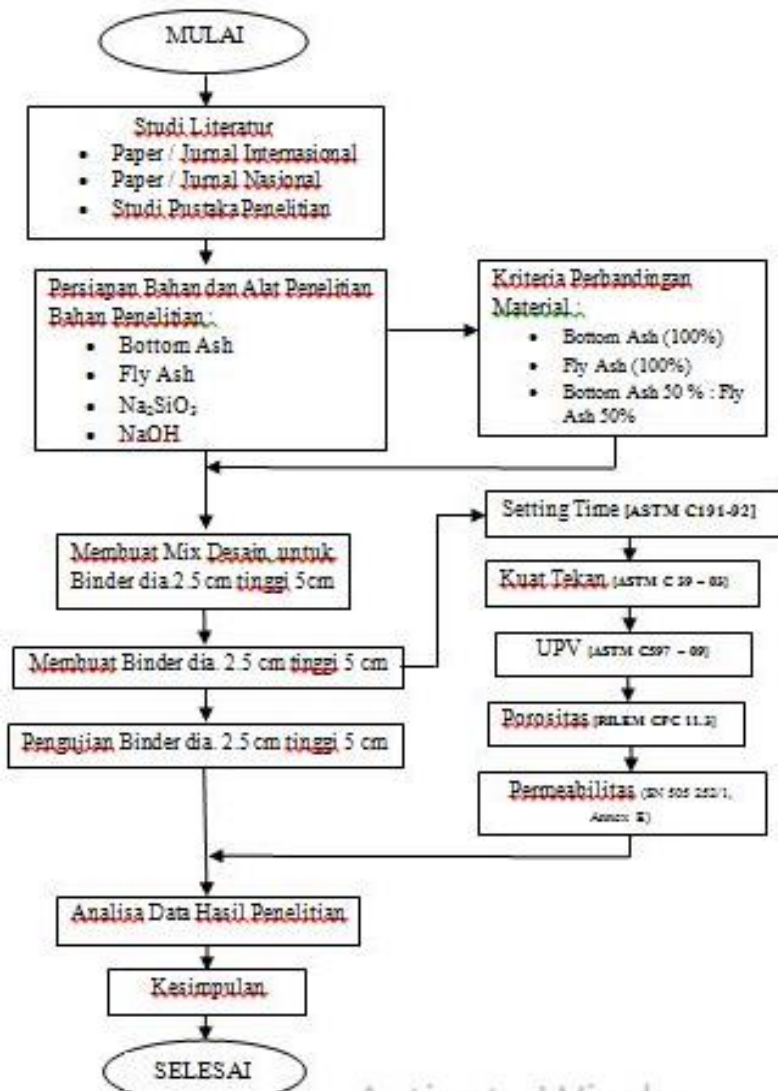
- *Setting time* mengacu pada *ASTM C 191-04*
- *UPV* mengacu pada *BS 1881-1986 ; ASTM C597-09*
- Uji tekan mengacu pada *ASTM C39-04a*
- *Porosity* mengacu pada *RILEM CPC11.3*
- *Permeability* mengacu pada *SN 505 252/1, Annex E*



### **3.13 Lokasi pengujian**

Uji tekan dilaksanakan di Lab.Struktur jurusan Teknik Sipil kampus ITS Sukolilo. Untuk pengujian *UPV*, *permeability* dan *setting time* dilaksanakan di Lab. Beton Diploma Sipil kampus ITS Manyar. Pengujian *porosity* dilaksanakan di Lab.Jalan Diploma Sipil kampus ITS Manyar. Untuk pengetesan *SEM-EDX sample fly ash* dan *bottom ash* dilaksanakan di Lab. Energi kampus ITS Sukolilo. Sedangkan pengetesan *XRD* dan *XRF* dilaksanakan di PT. Semen Indonesia, Gresik.

### 3.14 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian



Gambar 3.19 Diagram alir pelaksanaan penelitian

Activate Windows

## **BAB IV**

### **HASIL DAN ANALISA DATA**

#### **4.1 Umum**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil-hasil dengan kesimpulan selama pengerjaan tugas akhir di laboratorium mengenai binder geopolimer.

Metode hasil dan analisa data ini akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik kemudian dilakukan pembahasan mengenai hasil pemeriksaan material.

#### **4.2 Hasil Pemeriksaan Material**

Adapun hasil dari tes material yang digunakan adalah sebagai berikut :

##### **4.2.1 *Fly Ash dan bottom ash***

*Fly ash* dan *bottom ash* yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari PLTU Paiton, Probolinggo. Adapun tes yang dilakukan terhadap material *fly ash* dan *bottom ash* adalah tes uji komposisi senyawa kimia XRD, XRF dan SEM-EDX. Tes ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik senyawa, unsur yang terkandung dari *fly ash* dan *bottom ash*. Untuk hasil pengetesan dapat dilihat pada lampiran 3, 4 dan 5

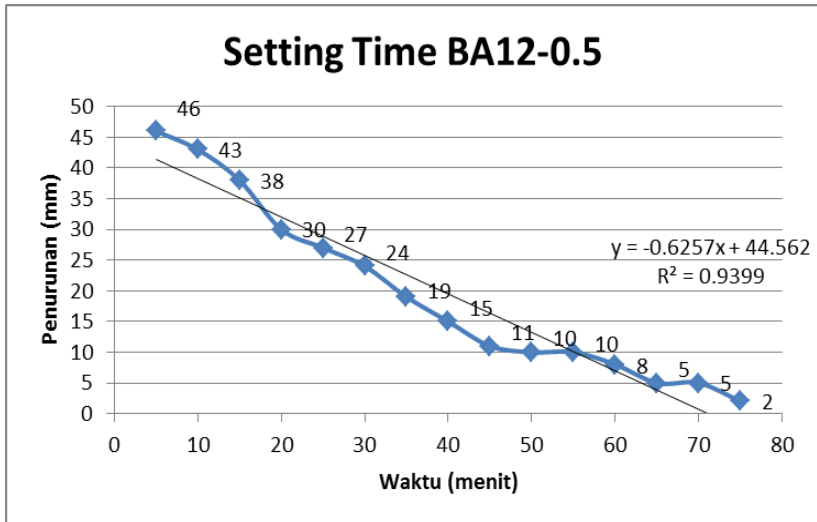
Pada pengetesan XRF, hasil yang didapat menunjukkan  $Si+Al+Fe > 70\%$  sedangkan  $CaO < 10\%$ . Maka jenis *fly ash* yang terkandung tipe F. Pada uji SEM-EDX, *fly ash* memiliki bentuk bulir yang relatif bulat sehingga lebih mudah dioksidasi dibandingkan dengan bentuk bulir yang lonjong / pipih seperti *bottom ash*. Semakin cepat proses oksidasi maka semakin cepat pula pengikatan terjadi.

## 4.2.2 Setting Time

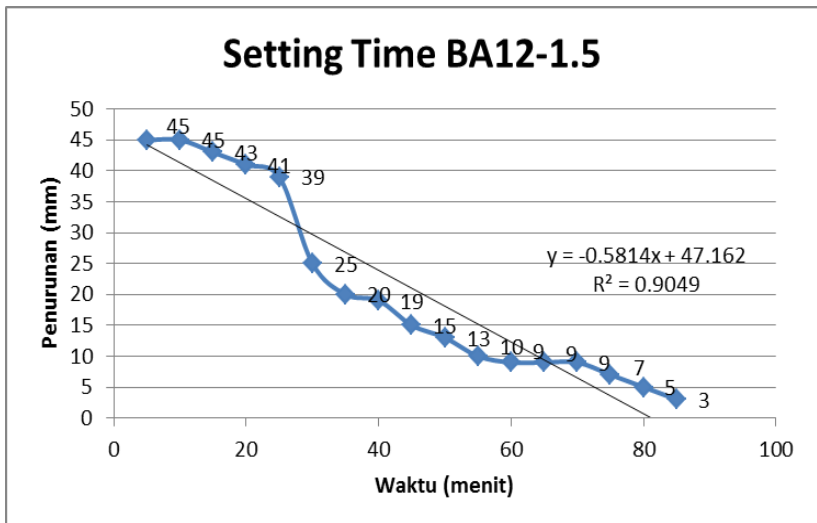
### a. Bottom ash

**Tabel 4.1** Hasil *setting time bottom ash binder geopolymer*

No	Kode	Waktu	Satuan	Penurunan	Satuan
1	BA12-0,5	5	menit	46	mm
		10	menit	43	mm
		15	menit	38	mm
		20	menit	30	mm
		25	menit	27	mm
		30	menit	24	mm
		35	menit	19	mm
		40	menit	15	mm
		45	menit	11	mm
		50	menit	10	mm
		55	menit	10	mm
		60	menit	8	mm
		65	menit	5	mm
		70	menit	5	mm
75	menit	2	mm		
	<b>RATA-RATA</b>	<b>36.79</b>	<b>menit</b>	<b>19.5</b>	<b>mm</b>
2	BA12-1.5	5	menit	45	mm
		10	menit	45	mm
		15	menit	43	mm
		20	menit	41	mm
		25	menit	39	mm
		30	menit	25	mm
		35	menit	20	mm
		40	menit	19	mm
		45	menit	15	mm
		50	menit	13	mm
		55	menit	10	mm
		60	menit	9	mm
		65	menit	9	mm
		70	menit	9	mm
75	menit	7	mm		
80	menit	5	mm		
85	menit	3	mm		
	<b>RATA-RATA</b>	<b>37.5</b>	<b>menit</b>	<b>21</b>	<b>mm</b>



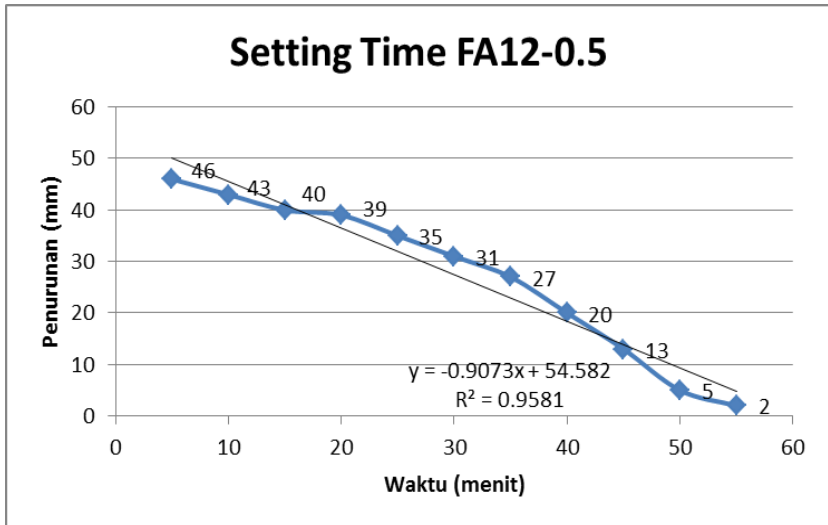
*Grafik 4.1 Hasil setting time binder geopolymer BA12M-0,5*



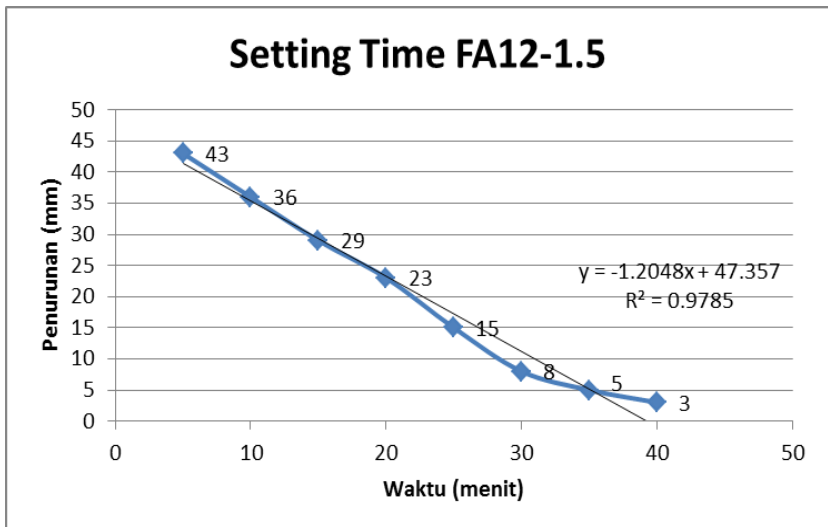
*Grafik 4.2 Hasil setting time binder geopolymer BA12M-1,5*

b. *Fly ash***Tabel 4.2** Hasil *setting time fly ash binder geopolymer*

No	Kode	Waktu	Satuan	Penurunan	Satuan
1	FA12-0,5	5	menit	46	mm
		10	menit	43	mm
		15	menit	40	mm
		20	menit	39	mm
		25	menit	35	mm
		30	menit	31	mm
		35	menit	27	mm
		40	menit	20	mm
		45	menit	13	mm
		50	menit	5	mm
		55	menit	2	mm
	<b>RATA RATA</b>	<b>30</b>	<b>menit</b>	<b>27.36</b>	<b>mm</b>
2	FA12 - 1.5	5	menit	43	mm
		10	menit	36	mm
		15	menit	29	mm
		20	menit	23	mm
		25	menit	15	mm
		30	menit	8	mm
		35	menit	5	mm
		40	menit	3	mm
	<b>RATA RATA</b>	<b>22.5</b>	<b>menit</b>	<b>20.25</b>	<b>mm</b>



*Grafik 4.3 Hasil setting time binder geopolymer FA12M-0,5*



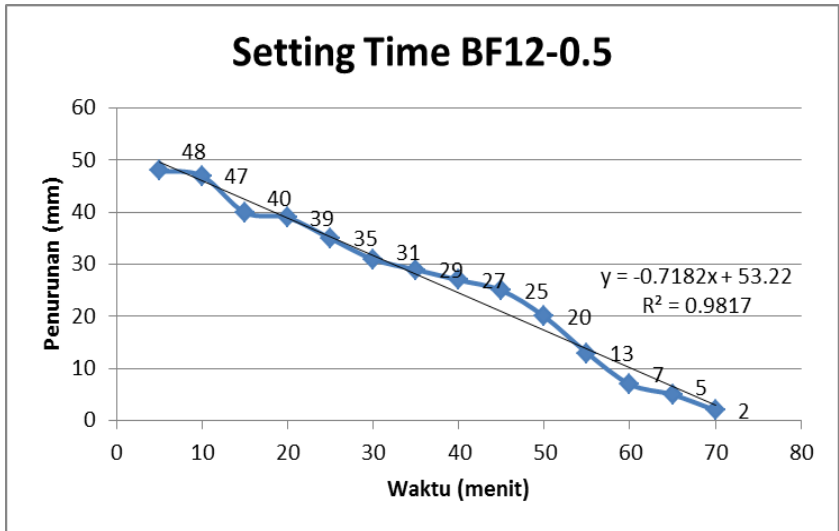
*Grafik 4.4 Hasil setting time binder geopolymer FA12M-1,5*

**c. Campuran *fly ash* dan *bottom ash***

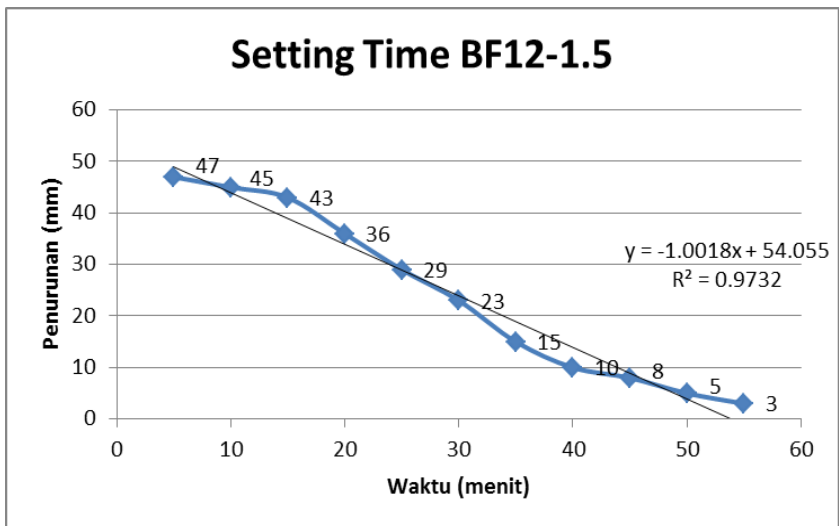
**Tabel 4.3** Hasil *setting time* campuran *fly ash* dan *bottom ash* binder *geopolymer*

No	Kode	Waktu	Satuan	Penurunan	Satuan
1	FA12-0,5	5	menit	48	mm
		10	menit	47	mm
		15	menit	40	mm
		20	menit	39	mm
		25	menit	35	mm
		30	menit	31	mm
		35	menit	29	mm
		40	menit	27	mm
		45	menit	25	mm
		50	menit	20	mm
		55	menit	13	mm
		60	menit	7	mm
		65	menit	5	mm
		70	menit	2	mm
	<b>RATA RATA</b>	<b>37.5</b>	<b>menit</b>	<b>22.75</b>	<b>mm</b>
2	FA12 - 1.5	5	menit	47	mm
		10	menit	45	mm
		15	menit	43	mm
		20	menit	36	mm
		25	menit	29	mm
		30	menit	23	mm
		35	menit	15	mm
		40	menit	10	mm
		45	menit	8	mm
		50	menit	5	mm
	<b>RATA RATA</b>	<b>30</b>	<b>menit</b>	<b>19.11</b>	<b>mm</b>





*Grafik 4.5 Hasil setting time binder geopolymer BF12M-0,5*

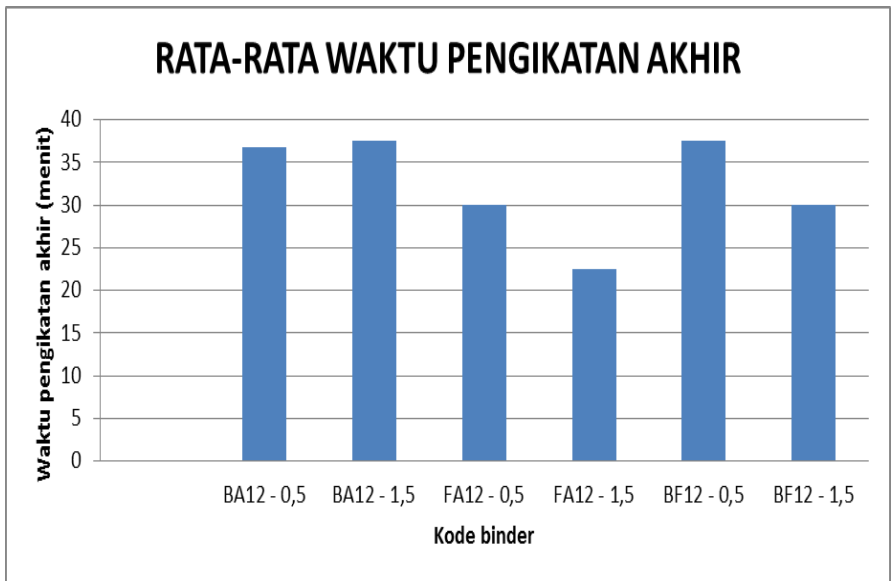


*Grafik 4.6 Hasil setting time binder geopolymer BF12M-1,5*

**d. Data rekapitulasi setting time secara menyeluruh**

**Tabel 4.4** Hasil *setting time* waktu pengikatan akhir binder geopolymer keseluruhan

No	Kode binder	Waktu pengikatan akhir (menit)
1	BA12 - 0,5	36.79
2	BA12 - 1,5	37.5
3	FA12 - 0,5	30
4	FA12 - 1,5	22.5
5	BF12 - 0,5	37.5
6	BF12 - 1,5	30



**Grafik 4.7** Hasil *setting time* waktu pengikatan akhir binder geopolymer keseluruhan

Analisa data setting time :

Hasil pengikatan akhir paling lama terjadi pada *bottom ash* 12 M perbandingan 0,5 dengan waktu mencapai 36,79 menit. Sedangkan pada komposisi FA12-0,5 dan BF12-1,5 serta BF12-0,5 dan BA12-1,5 hasilnya cenderung sama mencapai 30 menit hingga 37,5 menit. Pengikatan akhir paling cepat terjadi pada *fly ash* 12 M dengan perbandingan 1,5 yaitu 22,5 menit.

Pada uji setting time hasil menunjukkan pada pengujian 3 komposisi yaitu *fly ash*, *bottom ash* serta campuran *fly ash* + *bottom ash* yang mana memiliki waktu pengikatan lebih lama pada perbandingan 0,5 sedangkan pada *bottom ash* waktu pengikatan lama terjadi 1,5.

Semakin tinggi perbandingan massa larutan NaOH dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  maka semakin lama waktu pengikatan awal berlangsung. Hal ini disebabkan oleh karena sedikitnya jumlah  $\text{Na}^+$  dan  $\text{OH}^-$  yang ada dalam campuran binder sehingga proses polimerisasi menjadi lambat (Djuantoro,2005). Reaksi polimerisasi adalah reaksi pengikatan rantai monomer Si-O dan Al-O dalam yang terkandung dalam *fly ash* dan juga  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  yang kemudian akan mengkristal. Hasil tes setting time ini juga mendukung pernyataan peneliti – peneliti sebelumnya bahwa  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  yang digunakan dalam pasta geopolimer berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi, sehingga jika kadarnya banyak, maka proses pengkristalan juga akan berlangsung lebih cepat.

### 4.2.3 Tes porositas

Tes porositas merupakan tes untuk mengetahui kadar pori dari suatu binder, dimana semakin besar kadar porinya maka semakin rendah mutu binder itu. Adapun hasil dan analisa mengenai kadar pori adalah sebagai berikut :

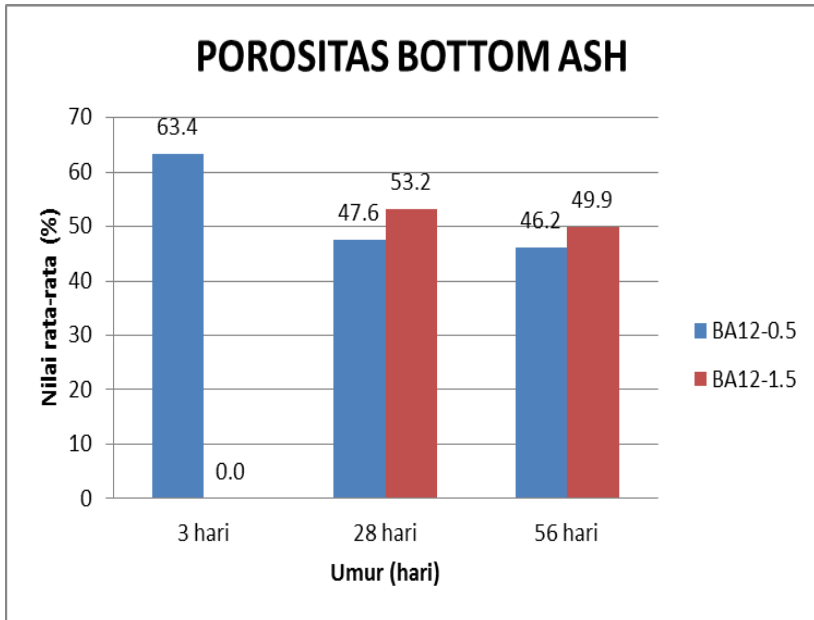
#### a. *Bottom ash*

**Tabel 4.5** Hasil porositas binder *geopolymer* perbandingan 0,5

No	Kode	Umur	Berat benda uji awal	(Wsa)	(Wsw)	(Wd)	Porositas
			(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	$P = ((Wsa - Wd) / (Wsa - Wsw)) \times 100$
1	BA 12-0,5 55 : 45	3 hari	42.84	46.44	16.3	26.13	67.39
			43.32	47.51	16.5	24	75.36
			41.17	43.99	15.4	30	47.36
			<b>RATA-RATA</b>				<b>63.4</b>
2	BA 12-0,5 55 : 45	28 hari	46.42	47.29	20	33.91	49.04
			44.57	46.31	15	32.67	43.56
			45.13	47.34	19	33.14	50.10
			<b>RATA-RATA</b>				<b>47.6</b>
3	BA 12-0,5 55 : 45	56 hari	45.11	46.36	20	33.39	49.18
			44.37	45.32	20	34.91	41.12
			46.35	46.47	19	33.23	48.21
			<b>RATA-RATA</b>				<b>46.2</b>

**Tabel 4.6** Hasil porositas binder *geopolymer* perbandingan 1,5

No	Kode	Umur	Berat benda uji awal	(Wsa)	(Wsw)	(Wd)	Porositas
			(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	$P = ((Wsa - Wd) / (Wsa - Wsw)) \times 100$ (%)
1	BA 12-1,5 55 : 45	3 hari	41.79	-	-	-	<b>FAILED</b>
			42.80	-	-	-	
			44.23	-	-	-	
2	BA 12-1,5 55 : 45	28 hari	44.23	45.53	18	31.61	50.56
			44.11	45.45	17	29.91	54.61
			43.95	45.24	18	30.44	54.32
			<b>RATA-RATA</b>				<b>53.2</b>
3	BA 12-1,5 55 : 45	56 hari	43.24	44.59	18	31.10	50.74
			41.24	44.46	18	32.15	46.52
			42.24	44.37	18	30.52	52.50
			<b>RATA-RATA</b>				<b>49.9</b>



*Grafik 4.8 Hasil porositas bottom ash*

**b. Fly ash**

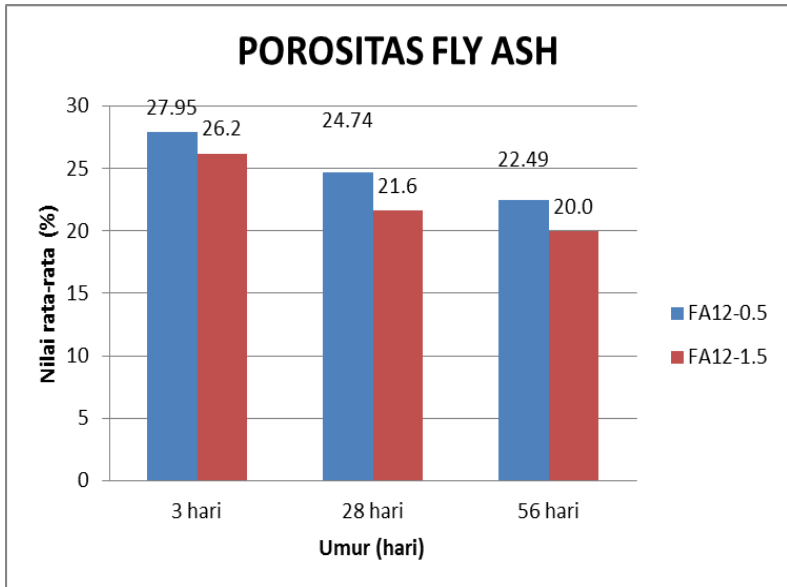
**Tabel 4.7** Hasil porositas binder *geopolymer* perbandingan 0,5

No	Kode	Umur	Berat benda uji awal	(Wsa)	(Wsw)	(Wd)	Porositas
			(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	$P = ((Wsa - Wd) / (Wsa - Wsw)) \times 100$ (%)
1	FA 12-0,5 74 : 26	3 hari	54.792	54.9	27.4	47.199	28.00
			55.912	55.7	28.1	48.094	27.56
			54.767	54.8	27.7	47.135	28.28
				<b>RATA-RATA</b>			<b>27.95</b>
2	FA 12-0,5 74 : 26	28 hari	49.181	50.4	24.9	43.947	25.31
			49.137	50.1	25	43.928	24.59
			49.799	50.6	25.5	44.496	24.32
				<b>RATA-RATA</b>			<b>24.74</b>
3	FA 12-0,5 74 : 26	56 hari	46.02	47.81	22.5	42.32	21.69
			47.23	47.98	21.3	41.7	23.54
			46.84	47.66	21.5	41.84	22.25
				<b>RATA-RATA</b>			<b>22.49</b>

**Tabel 4.8** Hasil porositas binder *geopolymer* perbandingan 1,5

No	Kode	Umur	Berat benda uji awal	(Wsa)	(Wsw)	(Wd)	Porositas
			(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	$P = ((Wsa - Wd)/(Wsa - Wsw)) \times 100$ (%)
1	FA 12-1,5 74 : 26	3 hari	52.99	53.12	27.1	46.23	26.5
			54.49	54.45	27.9	47.57	25.9
			52.78	52.72	27.1	45.99	26.3
			<b>RATA-RATA</b>				<b>26.2</b>
2	FA 12-1,5 74 : 26	28 hari	52.57	53.17	27.6	47.48	22.3
			46.19	46.68	23.7	41.84	21.1
			46.14	46.63	23.9	41.74	21.5
			<b>RATA-RATA</b>				<b>21.6</b>
3	FA 12-1,5 74 : 26	56 hari	46.67	46.92	24.6	42.22	21.1
			46.78	47.04	21.4	42.32	18.4
			47.79	48.06	24.6	43.25	20.5
			<b>RATA-RATA</b>				<b>20</b>





*Grafik 4.9 Hasil porositas fly ash*

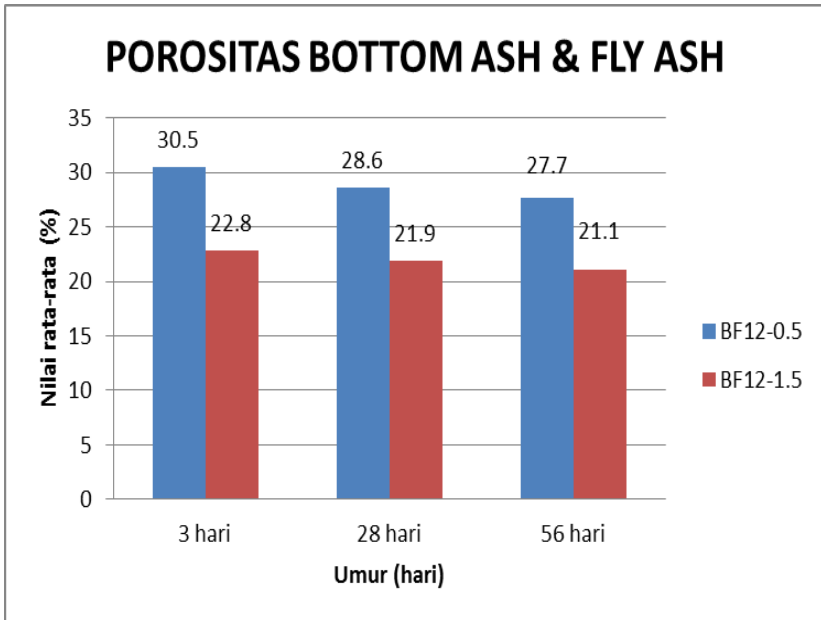
c. Campuran *bottom ash* dan *fly ash*

**Tabel 4.9** Hasil porositas binder *geopolymer* perbandingan 0,5

No	Kode	Umur	Berat benda uji awal	(Wsa)	(Wsw)	(Wd)	Porositas
			(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	$P = ((Wsa - Wd) / (Wsa - Wsw)) \times 100$ (%)
1	FA 12-0,5 74 : 26	3 hari	48.32	48.4	24.5	41.19	30.2
			49.34	49.46	25.7	42.2	30.6
			49.54	49.72	26	42.41	30.8
			<b>RATA-RATA</b>				<b>30.5</b>
2	FA 12-0,5 74 : 26	28 hari	49.4	49.42	23.8	42.19	28.2
			48.52	48.6	25.8	41.49	31.2
			49.16	48.98	22.6	42.01	26.4
			<b>RATA-RATA</b>				<b>28.6</b>
3	FA 12-0,5 74 : 26	56 hari	50.1	50.71	27	44.361	26.8
			47.84	48.3	27	42.271	28.3
			49.71	50.15	27.5	43.839	27.9
			<b>RATA-RATA</b>				<b>27.7</b>

**Tabel 4.10** Hasil porositas binder *geopolymer* perbandingan 1,5

No	Kode	Umur	Berat benda uji awal	(Wsa)	(Wsw)	(Wd)	Porositas $P = ((Wsa - Wd) / (Wsa - Wsw)) \times 100$
			(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)
1	FA 12-1,5 74 : 26	3 hari	48.73	48.81	21.3	42.85	21.7
			49.67	49.86	21.5	43.03	24.1
			47.78	47.92	22	42.04	22.7
			<b>RATA-RATA</b>				<b>22.8</b>
2	FA 12-1,5 74 : 26	28 hari	49.33	49.77	28	44.74	23.1
			47.96	48.43	25.5	43.5	21.5
			48.94	49.39	26	44.44	21.1
			<b>RATA-RATA</b>				<b>21.9</b>
3	FA 12-1,5 74 : 26	56 hari	49.88	50	27	43.8	27.0
			48.66	48.89	25	44.66	17.7
			47.97	48.42	24.5	43.97	18.6
			<b>RATA-RATA</b>				<b>21.1</b>

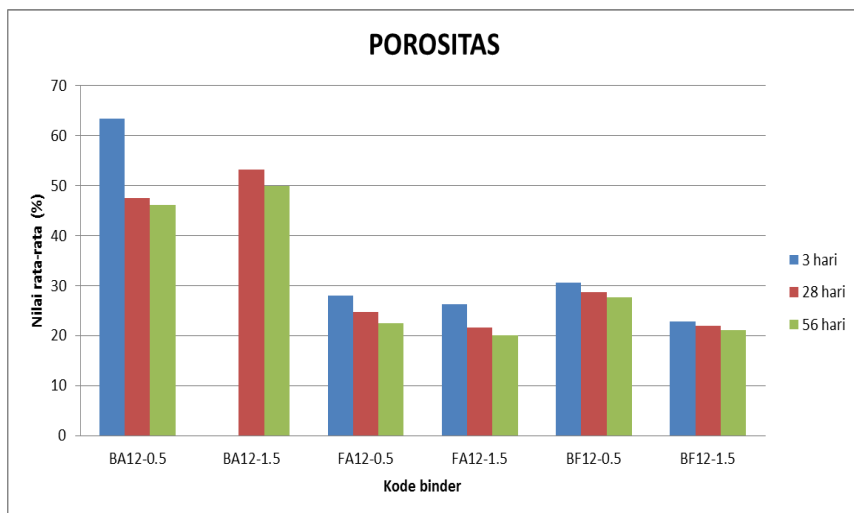


**Grafik 4.10** Hasil porositas campuran 50% bottom ash + 50% fly ash

**d. Data rekapitulasi *porosity* secara menyeluruh**

**Tabel 4.11** Hasil *porosity* binder *geopolymer* keseluruhan

	BA 12-0.5	BA 12-1.5	FA 12-0.5	FA 12-1.5	BF 12-0.5	BF 12-1.5
3 hari	63.4	0.0	27.95	26.2	30.5	22.8
28 hari	47.6	53.2	24.74	21.6	28.6	21.9
56 hari	46.2	49.9	22.49	20.0	27.7	21.1



**Grafik 4.11** Hasil *porositas* binder *geopolymer* keseluruhan

Analisa data porositas :

Nilai porositas tertinggi terjadi pada *bottom ash* 12 M perbandingan 1,5 umur 28 hari dengan nilai rata-rata mencapai 53,22%. Pada komposisi BA12-1,5 umur 3 hari tidak terdapat hasil pengetestan dikarenakan binder hancur pada saat direndam

Hasil tes porositas ini berhubungan erat dengan hasil tes tekan. Pori tertutup memiliki tekanan hidrostatis yang membantu meningkatkan kuat tekan beton sehingga jika semakin besar jumlah pori tertutup maka semakin tinggi pula kuat tekan yang dihasilkan.

#### 4.2.4 Tes kuat tekan

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai tes tekan binder. Berikut akan ditampilkan hasil tes dari kuat tekan binder yang dilakukan di laboratorium struktur Teknik Sipil – FTSP – ITS Surabaya.

##### a. *Bottom ash*

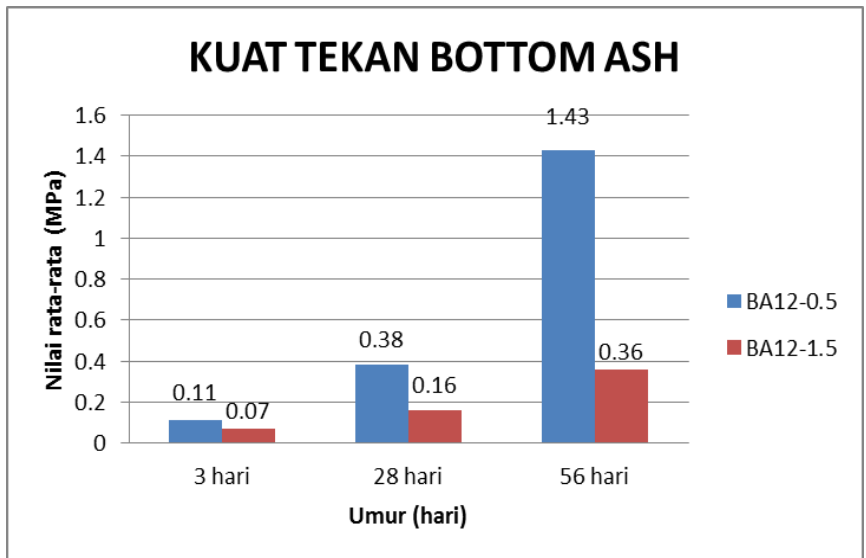
**Tabel 4.12** Hasil kuat tekan *bottom ash* perbandingan 0,5

No	Kode	Umur	$\pi$	r	t	A	P	Kuat tekan $\sigma=P/A$	
				(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)	kg/cm <sup>2</sup>	MPa
1	BA 12-0,5 55 : 45	3 hari	3.14	1.25	5	4.91	5	1.02	0.10
			3.14	1.25	5	4.91	6	1.22	0.12
			3.14	1.25	5	4.91	5	1.02	0.10
<b>RATA-RATA</b>								<b>1.09</b>	<b>0.11</b>
2	BA 12-0,5 55 : 45	28 hari	3.14	1.25	5	4.91	20	4.07	0.41
			3.14	1.25	5	4.91	18	3.67	0.37
			3.14	1.25	5	4.91	18	3.67	0.37
<b>RATA-RATA</b>								<b>3.80</b>	<b>0.38</b>
3	BA 12-0,5 55 : 45	56 hari	3.14	1.25	5	4.91	75	15.28	1.53
			3.14	1.25	5	4.91	80	16.30	1.63
			3.14	1.25	5	4.91	56	11.41	1.14
<b>RATA-RATA</b>								<b>14.33</b>	<b>1.43</b>

**Tabel 4.13** Hasil kuat tekan *bottom ash* perbandingan 1,5

No	Kode	Umur	$\pi$	r	t	A	P	Kuat tekan $\sigma=P/A$	
				(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)	kg/cm <sup>2</sup>	MPa
1	BA 12-1,5 55 : 45	3 hari	3.14	1.25	5	4.91	4	0.81	0.08
			3.14	1.25	5	4.91	3	0.61	0.06
			3.14	1.25	5	4.91	4	0.81	0.08
			<b>RATA-RATA</b>					<b>0.75</b>	<b>0.07</b>
2	BA 12-1,5 55 : 45	28 hari	3.14	1.25	5	4.91	10	2.04	0.20
			3.14	1.25	5	4.91	8	1.63	0.16
			3.14	1.25	5	4.91	6	1.22	0.12
			<b>RATA-RATA</b>					<b>1.63</b>	<b>0.16</b>
3	BA 12-1,5 55 : 45	56 hari	3.14	1.25	5	4.91	20	4.07	0.41
			3.14	1.25	5	4.91	18	3.67	0.37
			3.14	1.25	5	4.91	15	3.06	0.31
			<b>RATA-RATA</b>					<b>3.60</b>	<b>0.36</b>





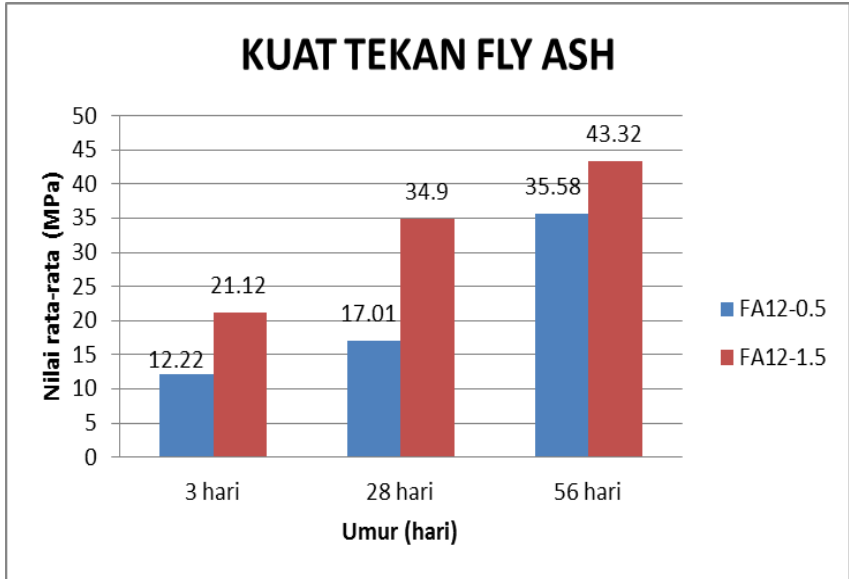
*Grafik 4.12 Hasil kuat tekan bottom ash*

b. *Fly ash*Tabel 4.14 Hasil kuat tekan *fly ash* perbandingan 0,5

No	Kode	Umur	$\pi$	r	t	A	P	Kuat tekan $\sigma=P/A$	
				(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)	kg/cm <sup>2</sup>	MPa
1	FA 12-0,5 74 : 26	3 hari	3.14	1.25	5	4.91	500	101.86	10.19
			3.14	1.25	5	4.91	420	85.56	8.56
			3.14	1.25	5	4.91	880	179.27	17.93
<b>RATA-RATA</b>								<b>122.23</b>	<b>12.22</b>
2	FA 12-0,5 74 : 26	28 hari	3.14	1.25	5	4.91	775	157.88	15.79
			3.14	1.25	5	4.91	885	180.29	18.03
			3.14	1.25	5	4.91	845	172.14	17.21
<b>RATA-RATA</b>								<b>170.10</b>	<b>17.01</b>
3	FA 12-0,5 74 : 26	56 hari	3.14	1.25	5	4.91	2120	431.88	43.19
			3.14	1.25	5	4.91	1090	222.05	22.21
			3.14	1.25	5	4.91	2030	413.55	41.35
<b>RATA-RATA</b>								<b>355.83</b>	<b>35.58</b>

**Tabel 4.15** Hasil kuat tekan *fly ash* perbandingan 1,5

No	Kode	Umur	$\pi$	r	t	A	P	Kuat tekan $\sigma=P/A$	
				(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)	kg/cm <sup>2</sup>	MPa
1	FA 12-1,5 74 : 26	3 hari	3.14	1.25	5	4.91	990	201.68	20.17
			3.14	1.25	5	4.91	870	177.23	17.72
			3.14	1.25	5	4.91	1250	254.65	25.46
			<b>RATA-RATA</b>					<b>211.19</b>	<b>21.12</b>
2	FA 12-1,5 74 : 26	28 hari	3.14	1.25	5	4.91	1530	311.69	31.17
			3.14	1.25	5	4.91	1590	323.91	32.39
			3.14	1.25	5	4.91	2020	411.51	41.15
			<b>RATA-RATA</b>					<b>349.04</b>	<b>34.90</b>
3	FA 12-1,5 74 : 26	56 hari	3.14	1.25	5	4.91	2350	478.74	47.87
			3.14	1.25	5	4.91	1900	387.06	38.71
			3.14	1.25	5	4.91	2130	433.92	43.39
			<b>RATA-RATA</b>					<b>433.24</b>	<b>43.32</b>



*Grafik 4.13 Hasil kuat tekan fly ash*

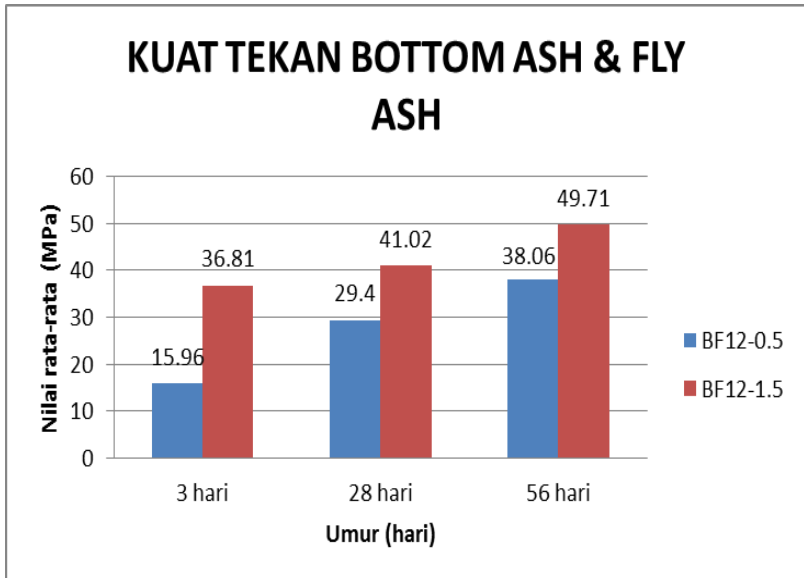
c. Campuran *bottom ash* dan *fly ash*

Tabel 4.16 Hasil kuat tekan *fly ash* perbandingan 0,5

No	Kode	Umur	$\pi$	r	t	A	P	Kuat tekan $\sigma=P/A$	
				(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)	kg/cm <sup>2</sup>	MPa
1	BF 12-0,5 74 : 26	3 hari	3.14	1.25	5	4.91	700	142.60	14.26
			3.14	1.25	5	4.91	970	197.61	19.76
			3.14	1.25	5	4.91	680	138.53	13.85
			<b>RATA-RATA</b>					<b>159.58</b>	<b>15.96</b>
2	BF 12-0,5 74 : 26	28 hari	3.14	1.25	5	4.91	1600	325.95	32.59
			3.14	1.25	5	4.91	1530	311.69	31.17
			3.14	1.25	5	4.91	1200	244.46	24.45
			<b>RATA-RATA</b>					<b>294.03</b>	<b>29.40</b>
3	BF 12-0,5 74 : 26	56 hari	3.14	1.25	5	4.91	2115	430.86	43.09
			3.14	1.25	5	4.91	1720	350.40	35.04
			3.14	1.25	5	4.91	1770	360.58	36.06
			<b>RATA-RATA</b>					<b>380.61</b>	<b>38.06</b>

**Tabel 4.17** Hasil kuat tekan *fly ash* perbandingan 1,5

No	Kode	Umur	$\pi$	r	t	A	P	Kuat tekan $\sigma=P/A$	
				(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)	kg/cm <sup>2</sup>	MPa
1	BF 12-1,5 74 : 26	3 hari	3.14	1.25	5	4.91	1480	301.50	30.15
			3.14	1.25	5	4.91	2010	409.47	40.95
			3.14	1.25	5	4.91	1930	393.18	39.32
<b>RATA-RATA</b>								<b>368.05</b>	<b>36.81</b>
2	BF 12-1,5 74 : 26	28 hari	3.14	1.25	5	4.91	1990	405.40	40.54
			3.14	1.25	5	4.91	2020	411.51	41.15
			3.14	1.25	5	4.91	2030	413.55	41.35
<b>RATA-RATA</b>								<b>410.15</b>	<b>41.02</b>
3	BF 12-1,5 74 : 26	56 hari	3.14	1.25	5	4.91	2570	523.56	52.36
			3.14	1.25	5	4.91	2560	521.52	52.15
			3.14	1.25	5	4.91	2190	446.14	44.61
<b>RATA-RATA</b>								<b>497.07</b>	<b>49.71</b>

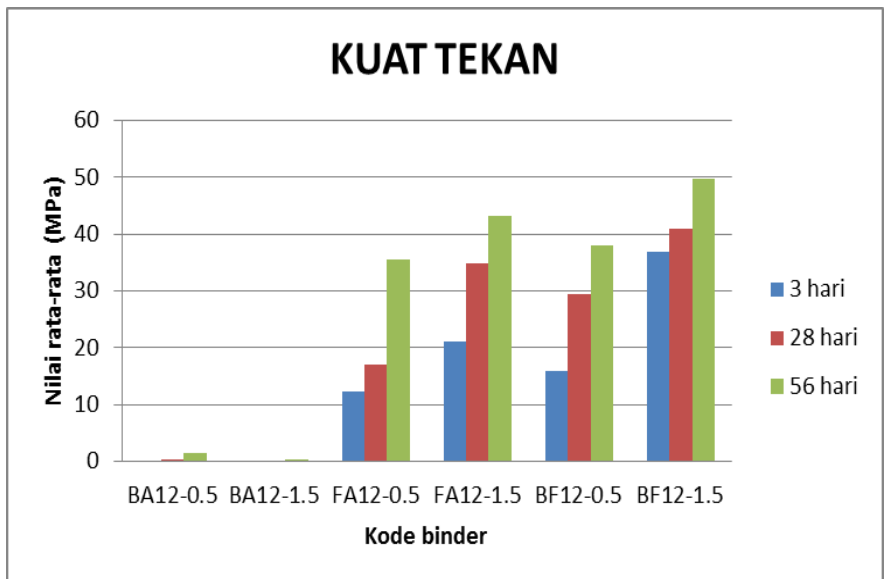


*Grafik 4.14 Hasil kuat tekan campuran bottom ash dan fly ash*

#### d. Data rekapitulasi kuat tekan secara menyeluruh

**Tabel 4.18** Hasil kuat tekan campuran *bottom ash* dan *fly ash* keseluruhan

	BA 12-0.5	BA 12-1.5	FA 12-0.5	FA 12-1.5	BF 12-0.5	BF 12-1.5
3 hari	0.11	0.07	12.22	21.12	15.96	36.81
28 hari	0.38	0.16	17.01	34.90	29.40	41.02
56 hari	1.43	0.36	35.58	43.32	38.06	49.71



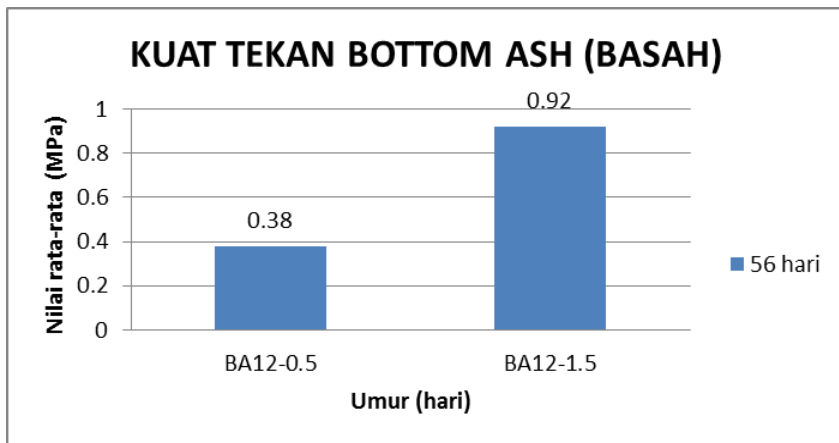
**Grafik 4.15** Hasil kuat tekan keseluruhan



e. Data tambahan kuat tekan binder

**Tabel 4.19** Hasil kuat tekan *bottom ash* dalam keadaan basah

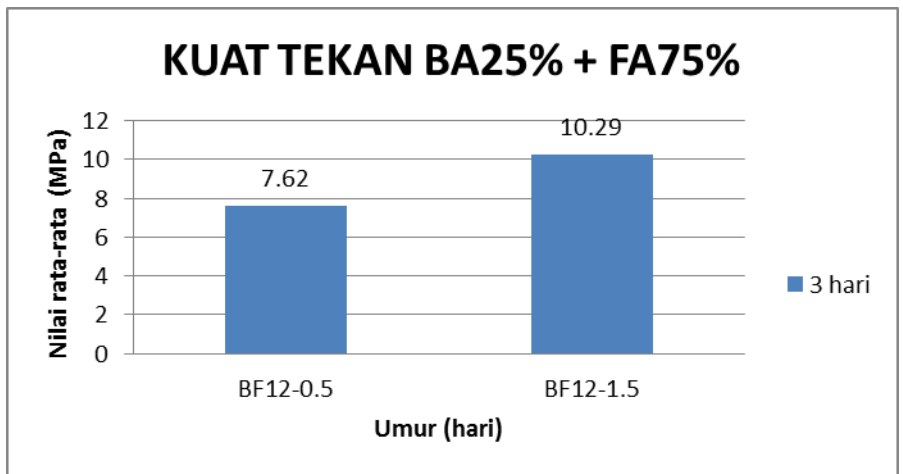
No	Kode	Umur	$\pi$	R	t	A	P	Kuat tekan $\sigma=P/A$	
				(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)	kg/cm <sup>2</sup>	MPa
1	BA 12-0,5 55 : 45	56 hari	3.14	1.25	5	4.91	20	4.07	0.41
			3.14	1.25	5	4.91	18	3.67	0.37
			3.14	1.25	5	4.91	18	3.67	0.37
<b>RATA-RATA</b>								<b>3.80</b>	<b>0.38</b>
2	BA 12-1.5 55 : 45	56 hari	3.14	1.25	5	4.91	35	7.13	0.71
			3.14	1.25	5	4.91	40	8.15	0.81
			3.14	1.25	5	4.91	60	12.22	1.22
<b>RATA-RATA</b>								<b>9.17</b>	<b>0.92</b>



**Grafik 4.16** Hasil kuat tekan *bottom ash* keadaan basah

**Tabel 4.20** Hasil kuat tekan campuran 25% *bottom ash* dan 75% *fly ash*

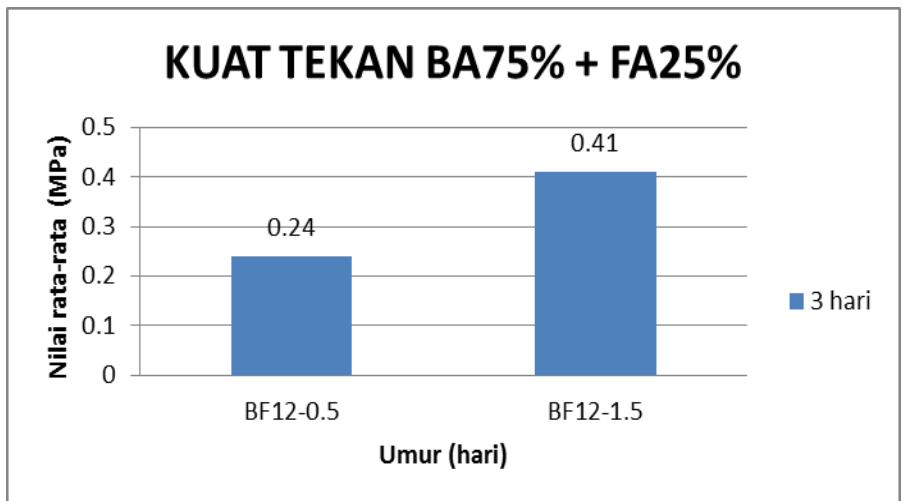
No	Kode	Umur	$\pi$	r	t	A	P	Kuat tekan $\sigma=P/A$	
				(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)	kg/cm <sup>2</sup>	MPa
1	BA+FA 25% :75% 0.5	3 hari	3.14	1.25	5	4.91	495	100.84	10.08
			3.14	1.25	5	4.91	332	67.63	6.76
			3.14	1.25	5	4.91	295	60.10	6.01
			<b>RATA-RATA</b>					<b>76.19</b>	<b>7.62</b>
2	BA+FA 25% : 75% 1.5	3 hari	3.14	1.25	5	4.91	420	85.56	8.56
			3.14	1.25	5	4.91	594	121.01	12.10
			3.14	1.25	5	4.91	501	102.06	10.21
			<b>RATA-RATA</b>					<b>102.88</b>	<b>10.29</b>



**Grafik 4.17** Hasil kuat tekan campuran 25% *bottom ash* dan 75% *fly ash*

**Tabel 4.21** Hasil kuat tekan campuran 75% *bottom ash* dan 25% *fly ash*

No	Kode	Umur	$\pi$	r	t	A	P	Kuat tekan $\sigma=P/A$	
				(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)	kg/cm <sup>2</sup>	MPa
1	BA+FA 75% : 25% 0.5	3 hari	3.14	1.25	5	4.91	9	1.83	0.18
			3.14	1.25	5	4.91	10	2.04	0.20
			3.14	1.25	5	4.91	16	3.26	0.33
<b>RATA-RATA</b>								<b>2.38</b>	<b>0.24</b>
2	BA+FA 75% : 25% 1.5	3 hari	3.14	1.25	5	4.91	18	3.67	0.37
			3.14	1.25	5	4.91	26	5.30	0.53
			3.14	1.25	5	4.91	16	3.26	0.33
<b>RATA-RATA</b>								<b>4.07</b>	<b>0.41</b>



**Grafik 4.18** Hasil kuat tekan campuran 75% *bottom ash* dan 25% *fly ash*

Analisa data kuat tekan :

Kuat tekan tertinggi terdapat pada komposisi BF12-1,5 mencapai 49,71 MPa dengan umur 56 hari sedangkan komposisi terendah terjadi pada BA12-1,5 umur 3 hari dengan nilai 0,07 MPa. Perbandingan data antara *bottom ash* basah dan kering pada umur 56 hari dengan komposisi yang sama terlihat perbedaannya. Pada perbandingan 0,5 terjadi penurunan kuat tekan. Sedangkan pada perbandingan 1,5 terjadi kenaikan yang signifikan mencapai 0,92 MPa. Pada umur 3 hari dilakukan uji coba kuat tekan kembali dengan data tambahan komposisi berbeda yaitu BA25%+FA75% dan BA75%+FA25%. Terlihat pada perbandingan 0,5 terjadi kenaikan yang tajam mencapai 7,62 MPa dan 10,29 MPa pada komposisi BA25%+FA75%. Sedangkan pada BA75%+FA25% hanya mencapai 0,24 dengan perbandingan 0,5 dan 0,41 pada perbandingan 1,5.

Penambahan *fly ash* pada pasta menentukan kuat tekan yang dihasilkan. Semakin tinggi perbandingan massa sodium silikat dan sodium hidroksida, maka kuat tekan yang bisa dicapai oleh masing – masing binder relatif lebih tinggi. Diperkirakan, hal ini terjadi karena jumlah sodium silikat semakin banyak jika dibandingkan dengan sodium hidroksida. Sodium silikat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi.

#### 4.2.5 Uji kepadatan dengan *UPV*

*UPV* adalah pengujian kepadatan secara tidak langsung, melalui pengukuran kecepatan perambatan gelombang elektronik longitudinal pada media beton.

##### a. *Bottom ash*

**Tabel 4.22** Hasil *UPV bottom ash* perbandingan 0,5 umur 3 hari

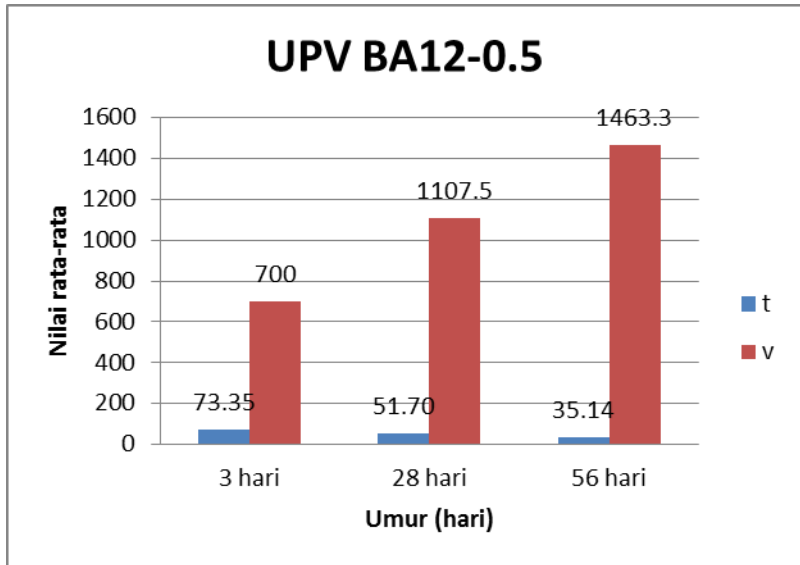
No	Kode binder	Umur	Hasil <i>UPV</i>		
			t	l (m)	v (m/s)
1	BA12-0.5 55:45	3 hari	56.7	0.05	880
			56.2	0.05	890
			62.2	0.05	800
			76.2	0.05	660
2	BA12-0.5 55:45		78.2	0.05	640
			83.3	0.05	600
			86.2	0.05	580
			88.2	0.05	570
3	BA12-0.5 55:45		78.2	0.05	640
			63.2	0.05	790
			66.2	0.05	760
			85.4	0.05	590
<b>RATA RATA</b>			<b>73.35</b>		<b>700</b>

**Tabel 4.23** Hasil *UPV bottom ash* perbandingan 0,5 umur 28 hari

No	Kode binder	Umur	Hasil UPV		
			t	l (m)	v (m/s)
1	BA12-0.5 55:45	28 hari	45.5	0.05	1100
			70.2	0.05	710
			44.5	0.05	1120
			44.6	0.05	1120
2	BA12-0.5 55:45		26.2	0.05	1920
			67.3	0.05	740
			42.7	0.05	1170
3	BA12-0.5 55:45		26.1	0.05	1920
			81.1	0.05	620
			84.2	0.05	590
			43.2	0.05	1160
				44.8	0.05
	<b>RATA RATA</b>		<b>51.70</b>		<b>1107.5</b>

**Tabel 4.24** Hasil *UPV bottom ash* perbandingan 0,5 umur 56 hari

No	Kode binder	Umur	Hasil UPV		
			t	l (m)	v (m/s)
1	BA12-0.5 55:45	56 hari	46.2	0.05	1080
			42.2	0.05	1190
			35.3	0.05	1420
			30.1	0.05	1620
2	BA12-0.5 55:45		28.7	0.05	1740
			30.8	0.05	1620
			40.7	0.05	1230
3	BA12-0.5 55:45		31.3	0.05	1600
			40.1	0.05	1250
			39.8	0.05	1260
			29.3	0.05	1710
				27.2	0.05
	<b>RATA RATA</b>		<b>35.14</b>		<b>1463.3</b>



*Grafik 4.19 Hasil UPV bottom ash perbandingan 0,5*

**Tabel 4.25** Hasil *UPV bottom ash* perbandingan 1,5 umur 3 hari

No	Kode binder	Umur	Hasil UPV		
			t	l (m)	v (m/s)
1	BA12-1.5 55:45	3 hari	77.8	0.05	640
			74	0.05	680
			70.2	0.05	710
			71.8	0.05	700
2	BA12-1.5 55:45		75.2	0.05	670
			68.2	0.05	730
			75.8	0.05	660
			76.2	0.05	660
3	BA12-1.5 55:45		71.7	0.05	700
			71.4	0.05	700
			69.1	0.05	720
			73.1	0.05	680
<b>RATA RATA</b>			<b>72.88</b>		<b>687.5</b>

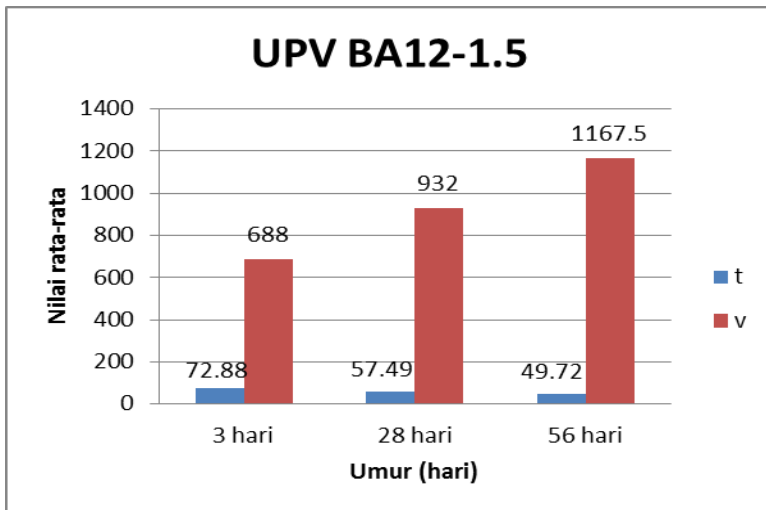
**Tabel 4.26** Hasil *UPV bottom ash* perbandingan 1,5 umur 28 hari

No	Kode binder	Umur	Hasil UPV		
			t	l (m)	v (m/s)
1	BA12-1.5 55:45	28 hari	61.7	0.05	810
			66.9	0.05	750
			48.2	0.05	1040
			71.3	0.05	700
2	BA12-1.5 55:45		46.8	0.05	1070
			69.8	0.05	720
			28.5	0.05	1750
			63.7	0.05	790
3	BA12-1.5 55:45		47.1	0.05	1060
			47.5	0.05	1050
			69.3	0.05	720
			69.1	0.05	720
<b>RATA RATA</b>			<b>57.49</b>		<b>931.6667</b>



**Tabel 4.27** Hasil UPV *bottom ash* perbandingan 1,5 umur 56 hari

No	Kode binder	Umur	Hasil UPV		
			t	l (m)	v (m/s)
1	BA12-1.5 55:45	56 hari	65.3	0.05	770
			58.9	0.05	850
			63.8	0.05	780
			27.1	0.05	1850
2	BA12-1.5 55:45		56.2	0.05	890
			27.1	0.05	1850
			27.2	0.05	1840
3	BA12-1.5 55:45		55	0.05	910
			65.1	0.05	770
			61.2	0.05	820
			63.2	0.05	790
				26.5	0.05
	<b>RATA RATA</b>		<b>49.72</b>		<b>1167.5</b>

**Grafik 4.20** Hasil UPV *bottom ash* perbandingan 1,5

**b. Fly ash**

**Tabel 4.28** Hasil *UPV fly ash* perbandingan 0,5 umur 3 hari

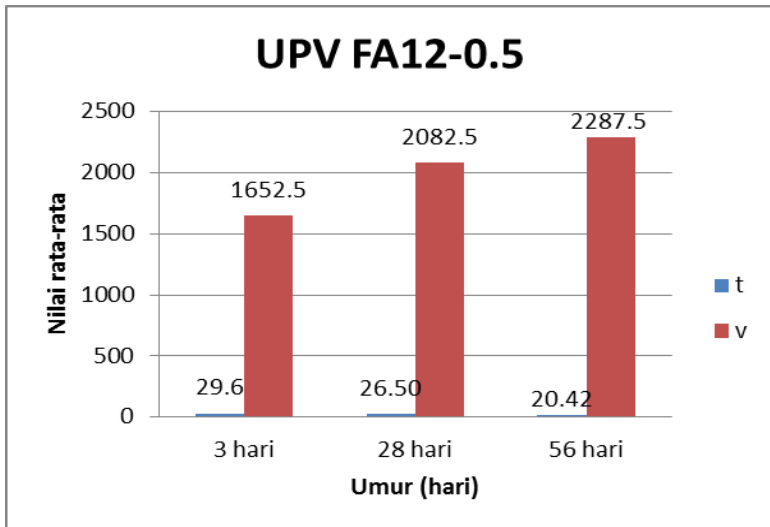
No	Kode binder	Umur	Hasil UPV		
			t	l (m)	v (m/s)
1	FA12-0.5 74:26	3 hari	29.7	0.05	1680
			27.3	0.05	1830
			29.7	0.05	1680
			26.8	0.05	1870
2	FA12-0.5 74:26		29.5	0.05	1700
			18.6	0.05	1750
			30.2	0.05	1660
			19.7	0.05	1690
3	FA12-0.5 74:26		48.3	0.05	1040
			31.1	0.05	1610
			31.6	0.05	1580
			32.7	0.05	1740
	<b>RATA RATA</b>		<b>29.6</b>		<b>1652.5</b>

**Tabel 4.29** Hasil *UPV fly ash* perbandingan 0,5 umur 28 hari

No	Kode binder	Umur	Hasil UPV		
			t	l (m)	v (m/s)
1	FA12-0.5 74:26	28 hari	21.2	0.05	2360
			19.2	0.05	2600
			26.4	0.05	1890
			26.8	0.05	1870
2	FA12-0.5 74:26		44.2	0.05	1130
			26.4	0.05	1890
			19.3	0.05	2590
			24.7	0.05	2010
3	FA12-0.5 74:26		36.7	0.05	1890
			27.8	0.05	2680
			18.9	0.05	1870
			26.4	0.05	2210
	<b>RATA RATA</b>		<b>26.50</b>		<b>2082.5</b>

**Tabel 4.30** Hasil *UPV fly ash* perbandingan 0,5 umur 56 hari

No	Kode binder	Umur	Hasil UPV		
			t	l (m)	v (m/s)
1	FA12-0.5 74:26	56 hari	21.3	0.05	2350
			21.1	0.05	2370
			21.6	0.05	2320
			21.1	0.05	2370
2	FA12-0.5 74:26		28.2	0.05	1770
			23.2	0.05	2160
			20.7	0.05	2420
			21.3	0.05	2350
3	FA12-0.5 74:26		20.2	0.05	2350
			24.2	0.05	2480
			2.5	0.05	2070
			19.6	0.05	2440
	<b>RATA RATA</b>		<b>20.42</b>		<b>2287.5</b>

**Grafik 4.21** Hasil *UPV fly ash* perbandingan 0,5

**Tabel 4.31** Hasil *UPV fly ash* perbandingan 1,5 umur 3 hari

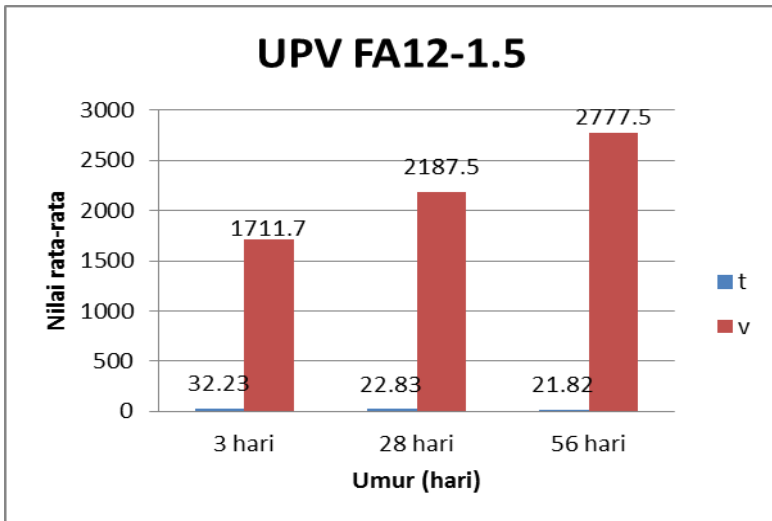
No	Kode binder	Umur	Hasil UPV		
			t	l (m)	v (m/s)
1	FA12-1.5 74:26	3 hari	48.6	0.05	1030
			48.4	0.05	1030
			46.2	0.05	1080
			47	0.05	1060
2	FA12-1.5 74:26		24.2	0.05	2070
			26.5	0.05	1890
			26.2	0.05	1910
			23	0.05	2170
3	FA12-1.5 74:26		24.1	0.05	2080
			24.8	0.05	2020
			24.9	0.05	2010
			22.8	0.05	2190
	<b>RATA RATA</b>		<b>32.23</b>		<b>1711.667</b>

**Tabel 4.32** Hasil *UPV fly ash* perbandingan 1,5 umur 28 hari

No	Kode binder	Umur	Hasil UPV		
			t	l (m)	v (m/s)
1	FA12-1.5 74:26	28 hari	21.9	0.05	2200
			22.2	0.05	2250
			22.1	0.05	2260
			24.4	0.05	2050
2	FA12-1.5 74:26		22.6	0.05	2210
			23.2	0.05	2160
			23.4	0.05	2140
			23.5	0.05	2230
3	FA12-1.5 74:26		22	0.05	2190
			22.6	0.05	2210
			22.8	0.05	2190
			23.2	0.05	2160
	<b>RATA RATA</b>		<b>22.83</b>		<b>2187.5</b>

**Tabel 4.33** Hasil *UPV fly ash* perbandingan 1,5 umur 56 hari

No	Kode binder	Umur	Hasil UPV		
			t	l (m)	v (m/s)
1	FA12-1.5 74:26	56 hari	22.8	0.05	3290
			21.5	0.05	3490
			22.6	0.05	3320
			22.8	0.05	3290
2	FA12-1.5 74:26		22.2	0.05	3380
			18.5	0.05	2700
			17.8	0.05	2810
			17.5	0.05	2860
3	FA12-1.5 74:26		18.1	0.05	2760
			27.2	0.05	1840
			26.2	0.05	1910
			24.6	0.05	1680
<b>RATA RATA</b>			<b>21.82</b>		<b>2777.5</b>

**Grafik 4.22** Hasil *UPV fly ash* perbandingan 1,5

c. Campuran *fly ash* dan *bottom ash*

**Tabel 4.34** Hasil *UPV* campuran *fly ash* dan *bottom ash* perbandingan 0,5 umur 3 hari

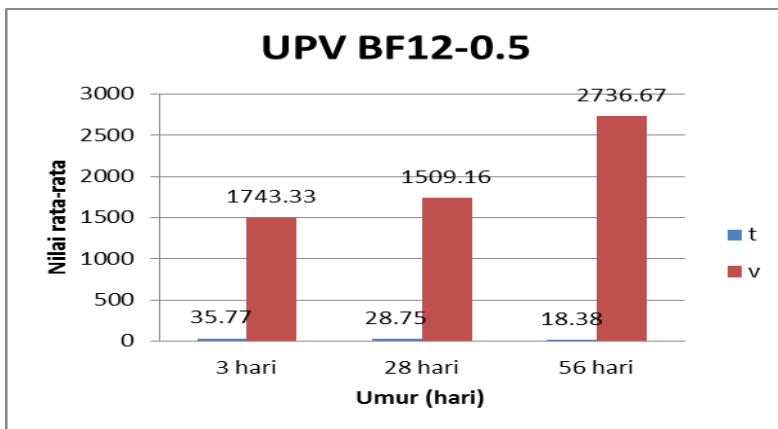
No	Kode binder	Umur	Hasil <i>UPV</i>		
			t	l (m)	v (m/s)
1	BF12-0.5 74:26	3 hari	24.1	0.05	2080
			46	0.05	1090
			30.7	0.05	1630
			28.1	0.05	1780
2	BF12-0.5 74:26		49.7	0.05	1010
			46.1	0.05	1090
			22.2	0.05	2250
3	BF12-0.5 74:26		49.7	0.05	1010
			30.2	0.05	1660
			30.1	0.05	1660
			42.2	0.05	1190
				30.1	0.05
	<b>RATA RATA</b>		<b>35.77</b>		<b>1509.167</b>

**Tabel 4.35** Hasil *UPV* campuran *fly ash* dan *bottom ash* perbandingan 0,5 umur 28 hari

No	Kode binder	Umur	Hasil <i>UPV</i>		
			t	l (m)	v (m/s)
1	BF12-0.5 74:26	28 hari	30.1	0.05	1660
			30.6	0.05	1630
			29.3	0.05	1710
			29	0.05	1720
2	BF12-0.5 74:26		28.9	0.05	1730
			27.5	0.05	1820
			28	0.05	1790
3	BF12-0.5 74:26		27.5	0.05	1820
			27.3	0.05	1830
			32.2	0.05	1550
			27.3	0.05	1830
				27.3	0.05
	<b>RATA RATA</b>		<b>28.75</b>		<b>1743.333</b>

**Tabel 4.36** Hasil UPV campuran *fly ash* dan *bottom ash* perbandingan 0,5 umur 56 hari

No	Kode binder	Umur	Hasil UPV		
			t	l (m)	v (m/s)
1	BF12-0.5 74:26	56 hari	16.3	0.05	3070
			18.7	0.05	2670
			15.5	0.05	3230
			18	0.05	2780
2	BF12-0.5 74:26		18.9	0.05	2650
			19.2	0.05	2600
			19.4	0.05	2580
			20.8	0.05	2400
3	BF12-0.5 74:26		18.1	0.05	2760
			18.7	0.05	2670
			18.9	0.05	2650
			18	0.05	2780
<b>RATA RATA</b>			<b>18.38</b>		<b>2736.667</b>



**Grafik 4.23** Hasil UPV campuran *fly ash* dan *bottom ash* perbandingan 0,5

**Tabel 4.37** Hasil *UPV* campuran *fly ash* dan *bottom ash* perbandingan 1,5 umur 3 hari

No	Kode binder	Umur	Hasil UPV		
			t	l (m)	v (m/s)
1	BF12-1.5 74:26	3 hari	28	0.05	1790
			31.2	0.05	1600
			28.9	0.05	1730
			35.1	0.05	1430
2	BF12-1.5 74:26		33.9	0.05	1480
			37.1	0.05	1350
			33.9	0.05	1480
			33.9	0.05	1480
3	BF12-1.5 74:26		28.4	0.05	1760
			27.6	0.05	1810
			30.1	0.05	1660
			28.2	0.05	1770
<b>RATA RATA</b>			<b>31.36</b>		<b>1611.667</b>

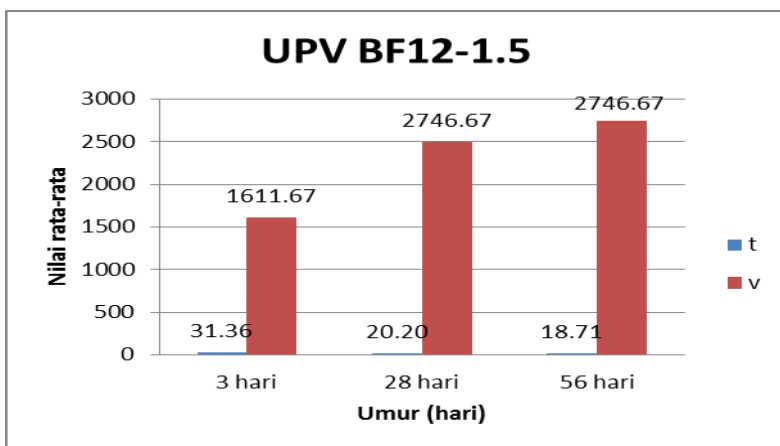
**Tabel 4.38** Hasil *UPV* campuran *fly ash* dan *bottom ash* perbandingan 1,5 umur 28 hari

No	Kode binder	Umur	Hasil UPV		
			t	l (m)	v (m/s)
1	BF12-1.5 74:26	28 hari	20.1	0.05	2490
			19.9	0.05	2510
			18.7	0.05	2670
			18.2	0.05	2750
2	BF12-1.5 74:26		21.6	0.05	2320
			25.4	0.05	1970
			17.8	0.05	2810
			22.8	0.05	2190
3	BF12-1.5 74:26		20.2	0.05	2480
			18.2	0.05	2750
			21.1	0.05	2370
			18.4	0.05	2720
<b>RATA RATA</b>			<b>20.20</b>		<b>2502.5</b>



**Tabel 4.39** Hasil UPV campuran *fly ash* dan *bottom ash* perbandingan 1,5 umur 56 hari

No	Kode binder	Umur	Hasil UPV		
			t	l (m)	v (m/s)
1	BF12-1.5 74:26	56 hari	16.2	0.05	3090
			16	0.05	3130
			16.4	0.05	3050
			16.2	0.05	3090
2	BF12-1.5 74:26		18.6	0.05	2690
			18.1	0.05	2760
			19.2	0.05	2600
			20.7	0.05	2420
3	BF12-1.5 74:26		29.2	0.05	1710
			15.9	0.05	3150
			18.6	0.05	2690
			19.4	0.05	2580
<b>RATA RATA</b>			<b>18.71</b>		<b>2746.667</b>

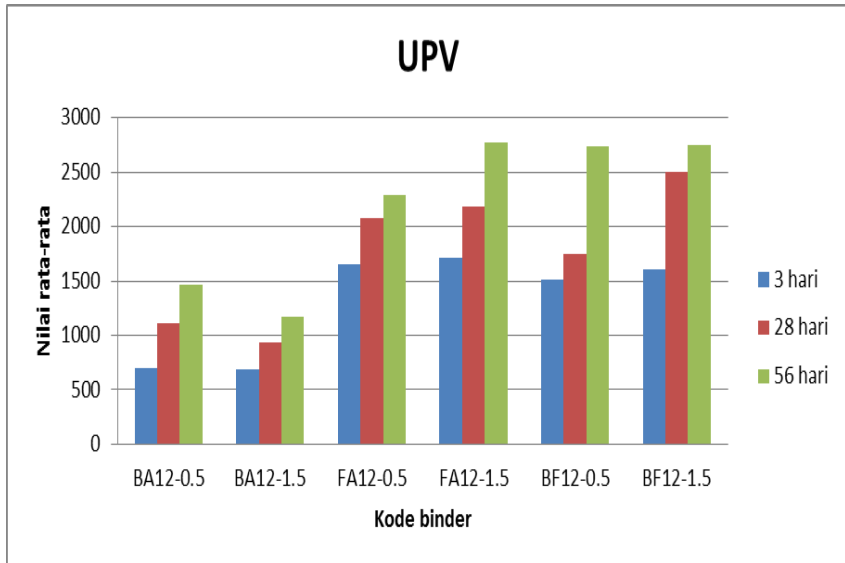


**Grafik 4.24** Hasil UPV campuran *fly ash* dan *bottom ash* perbandingan 1,5

**d. Data rekapitulasi *UPV* secara menyeluruh**

**Tabel 4.40** Hasil *UPV* secara menyeluruh

	BA 12-0.5	BA 12-1.5	FA 12-0.5	FA 12-1.5	BF 12-0.5	BF 12-1.5
3 hari	700	688	1652.5	1712	1509.17	1611.67
28 hari	1107.5	932	2082.5	2188	1743.33	2502.5
56 hari	1463.3	1167.50	2287.5	2778	2736.67	2746.67



**Grafik 4.25** Hasil *UPV* seluruh komposisi

Analisa data UPV :

**Tabel 4.41** Kualifikasi kualitas beton berdasarkan uji *UPV* mengacu pada British Standar (BS) 1881-1986

UPV (m/s)	Kualitas beton
>4500	Sangat baik
3500-4500	Baik
3000-3500	Cukup
<3000	Meragukan

Menurut British Standar, pengujian yang dilakukan pada umur 3, 28 dan 56 hari kualitas binder meragukan dikarenakan hasil UPV menunjukkan angka <3000. Hal tersebut bisa terjadi dikarenakan beberapa faktor diantaranya adalah permukaan benda uji yang tidak rata

#### 4.2.6 Tes *permeability*

*Permeability* adalah suatu alat yang digunakan untuk mengetahui kemudahan cairan atau gas untuk melewati beton.

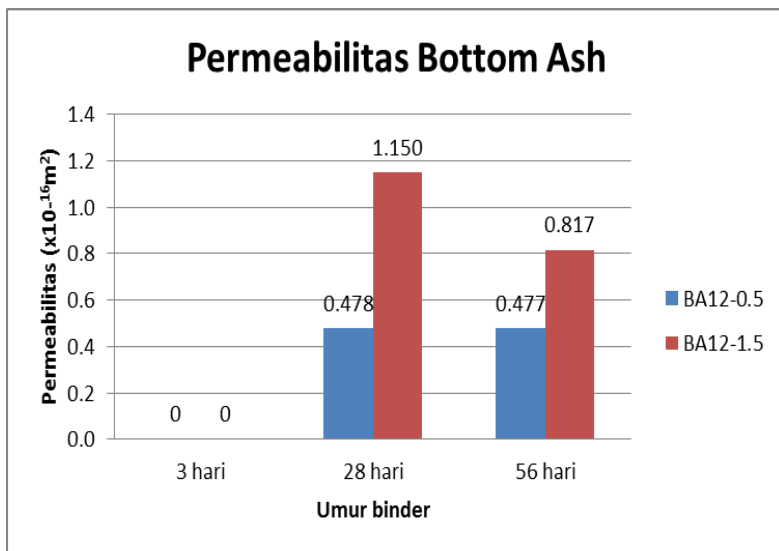
##### a. *Bottom ash*

**Tabel 4.42** Hasil *permeability bottom ash* perbandingan 0,5

No	Kode binder	Umur	Permeabilitas	
			kT ( $\times 10^{-16} \text{m}^2$ )	L (mm)
1	BA12-0,5 55 : 45	3 hari		
			<b>FAILED</b>	
2	BA12-0,5 55 : 45	28 hari	0.478	29.8
			-	-
			-	-
			<b>0.478</b>	<b>29.8</b>
3	BA12-0,5 55 : 45	56 hari	0.029	11.9
			1.336	55.1
			0.067	17
			<b>0.477</b>	<b>28</b>

**Tabel 4.43** Hasil *permeability bottom ash* perbandingan 1,5

No	Kode binder	Umur	Permeabilitas	
			kT ( $\times 10^{-16} \text{m}^2$ )	L (mm)
1	BA12-1,5 55 : 45	3 hari	FAILED	
2	BA12-1,5 55 : 45	28 hari	1.15	30.98
			-	-
			-	-
			<b>1.15</b>	<b>30.98</b>
3	BA12-1,5 55 : 45	56 hari	0.17	27.98
			1.21	40.03
			1.07	20.05
			<b>0.817</b>	<b>29.35</b>

**Grafik 4.26** Hasil *permeability bottom ash*

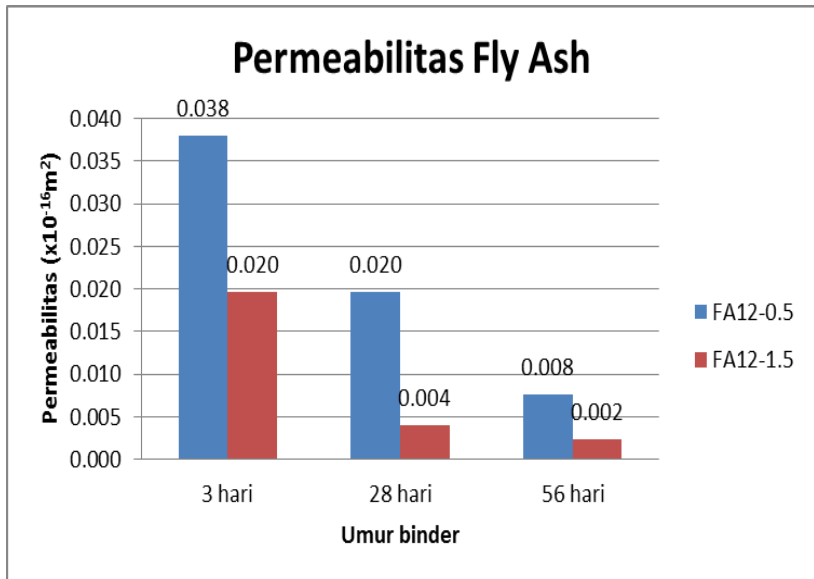
**b. Fly ash**

**Tabel 4.44** Hasil *permeability fly ash* perbandingan 0,5

No	Kode binder	Umur	Permeabilitas	
			kT ( $\times 10^{-16} \text{m}^2$ )	L (mm)
1	FA12-0,5 55 : 45	3 hari	0.042	8
			0.035	7.7
			0.037	7.8
			<b>0.038</b>	<b>7.833</b>
2	FA12-0,5 55 : 45	28 hari	0.017	7
			0.023	7.4
			0.019	7.1
			<b>0.020</b>	<b>7.167</b>
3	FA12-0,5 55 : 45	56 hari	0.006	5.2
			0.009	5.6
			0.008	5.6
			<b>0.008</b>	<b>5.467</b>

**Tabel 4.45** Hasil *permeability fly ash* perbandingan 1,5

No	Kode binder	Umur	Permeabilitas	
			kT ( $\times 10^{-16} \text{m}^2$ )	L (mm)
1	FA12-1,5 55 : 45	3 hari	0.039	7.4
			0.007	3.6
			0.013	4
			<b>0.020</b>	<b>5</b>
2	FA12-1,5 55 : 45	28 hari	0.003	2.2
			0.005	3.7
			0.004	3.9
			<b>0.004</b>	<b>3.267</b>
3	FA12-1,5 55 : 45	56 hari	0.001	2
			0.003	2.2
			0.003	2
			<b>0.002</b>	<b>2.067</b>



*Grafik 4.27 Hasil permeability fly ash*

**c. Campuran *fly ash* dan *bottom ash***

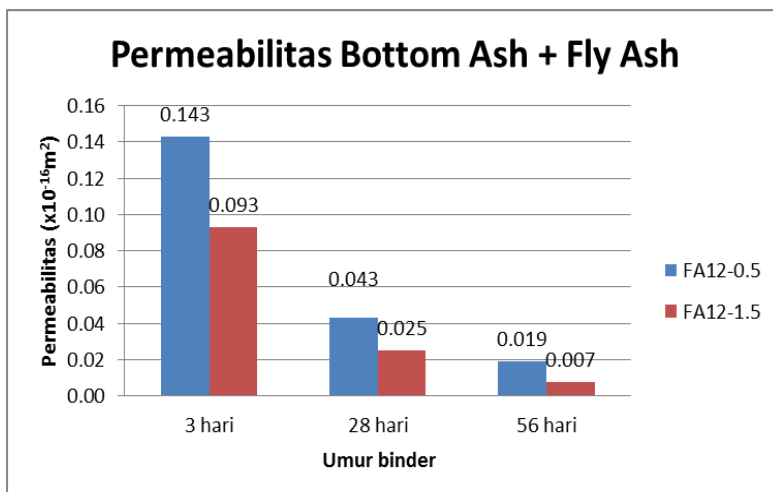
**Tabel 4.46** Hasil *permeability* campuran *fly ash* dan *bottom ash* perbandingan 0,5

No	Kode binder	Umur	Permeabilitas	
			kT ( $\times 10^{-16} \text{m}^2$ )	L (mm)
1	BF12-0,5 55 : 45	3 hari	0.026	8.8
			0.128	23.5
			0.274	32.9
			<b>0.143</b>	<b>21.733</b>
2	BF12-0,5 55 : 45	28 hari	0.037	12.2
			0.062	16.9
			0.03	9.5
			<b>0.043</b>	<b>12.867</b>
3	BF12-0,5 55 : 45	56 hari	0.025	10.1
			0.017	8.9
			0.015	8.5
			<b>0.019</b>	<b>9.167</b>



**Tabel 4.47** Hasil *permeability* campuran *fly ash* dan *bottom ash* perbandingan 1,5

No	Kode binder	Umur	Permeabilitas	
			$kT (x10^{-16}m^2)$	L (mm)
1	BF12-1,5 55 : 45	3 hari	0.052	14.8
			0.006	4.8
			0.221	32.3
			<b>0.093</b>	<b>17.3</b>
2	BF12-1,5 55 : 45	28 hari	0.038	12.8
			0.036	12.1
			0.001	1.4
			<b>0.025</b>	<b>8.767</b>
3	BF12-1,5 55 : 45	56 hari	0.015	7.7
			0.006	5
			0.001	1.6
			<b>0.007</b>	<b>4.767</b>

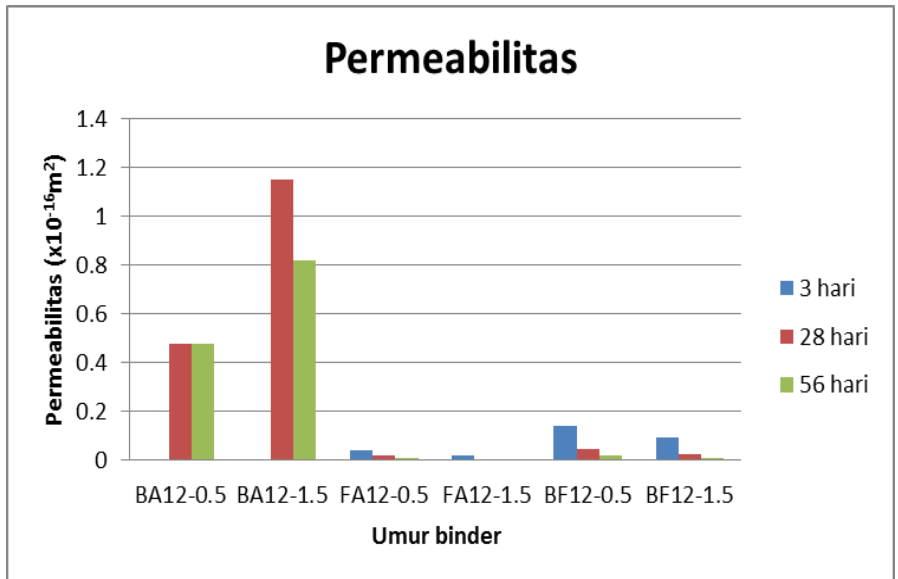


**Grafik 4.28** Hasil *permeability* *fly ash* dan *bottom ash*

**d. Data rekapitulasi *permeability* secara menyeluruh**

**Tabel 4.48** Kualifikasi kualitas beton berdasarkan uji *UPV* mengacu pada British Standar (BS) 1881-1986

	BA 12-0.5	BA 12-1.5	FA 12-0.5	FA 12-1.5	BF 12-0.5	BF 12-1.5
3 hari	~	0.000	0.038	0.020	0.143	0.093
28 hari	0.478	1.150	0.020	0.004	0.043	0.025
56 hari	0.477	0.817	0.008	0.002	0.019	0.007



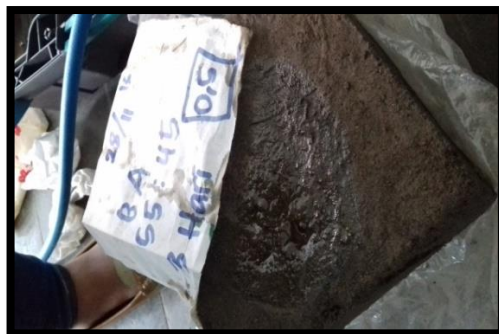
**Grafik 4.29** Hasil *permeability fly ash* dan *bottom ash* menyeluruh

Analisa data *permeability* :

**Tabel 4.49** Kualifikasi kualitas beton berdasarkan uji *permeability* mengacu pada SN 505 252/1, Annex E

Quality of cover concrete	Index	kT ( $\times 10^{-16} \text{m}^2$ )
very bad	5	> 10
bad	4	1.0 - 10
normal	3	0.1 - 1.0
good	2	0.01 - 0.1
very good	1	< 0.01

Pada pengujian binder umur 3 hari, *bottom ash* tidak bisa diuji dikarenakan benda uji lembab yang dikhawatirkan dapat merusak alat. Rata-rata hasil uji menunjukkan nilai normal kecuali pada komposisi BA12-1,5 umur 28 hari dengan buruk. Pada umur benda uji 56 hari keenam komposisi memiliki hasil normal. Banyak faktor yang terjadi pada pengujian *permeability* sehingga menunjukkan hasil tidak maksimal misalnya permukaan tidak rata, benda uji basah / lembab dan permukaan berlubang.



**Gambar 4.1** Benda uji umur 3 hari

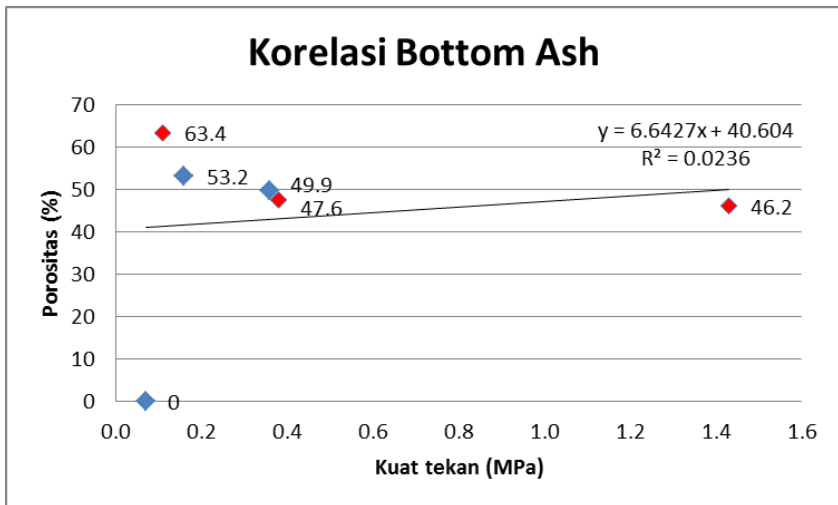
### 4.2.7 Hubungan kuat tekan dan *porosity*

Korelasi ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar hubungan kuat tekan yang dihasilkan dengan nilai *porosity* tinggi atau rendah.

#### a. *Bottom ash*

**Tabel 4.50** Hubungan kuat tekan dan *porosity*

Kode Binder	Umur	Kuat tekan (MPa)	Porositas (%)
BA12-0.5	3 hari	0.11	63.4
	28 hari	0.38	47.6
	56 hari	1.43	46.2
BA12-1.5	3 hari	0.07	0
	28 hari	0.16	53.2
	56 hari	0.36	49.9

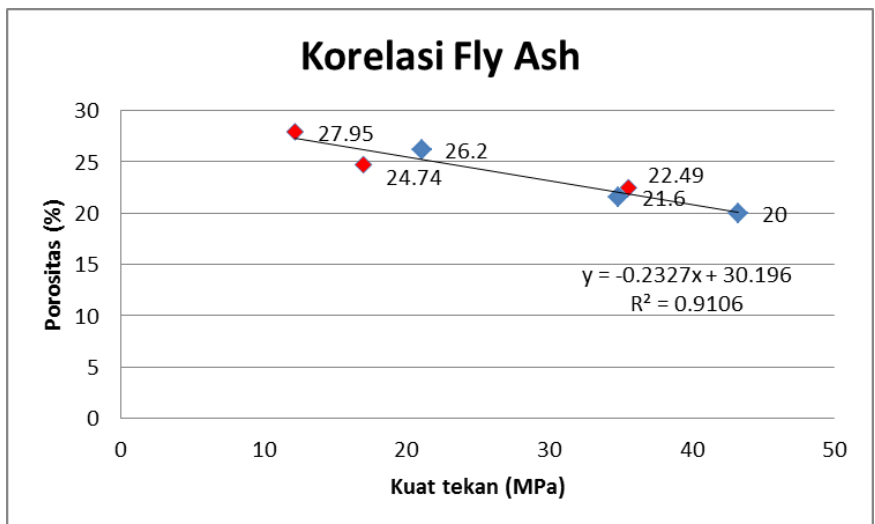


**Grafik 4.30** Hubungan kuat tekan dan *porosity*

**b. Fly ash**

**Tabel 4.51** Hubungan kuat tekan dan *porosity*

Kode Binder	Umur	Kuat tekan (MPa)	Porositas (%)
FA12-0.5	3 hari	12.22	27.95
	28 hari	17.01	24.74
	56 hari	35.58	22.49
FA12-1.5	3 hari	21.12	26.2
	28 hari	34.90	21.6
	56 hari	43.32	20

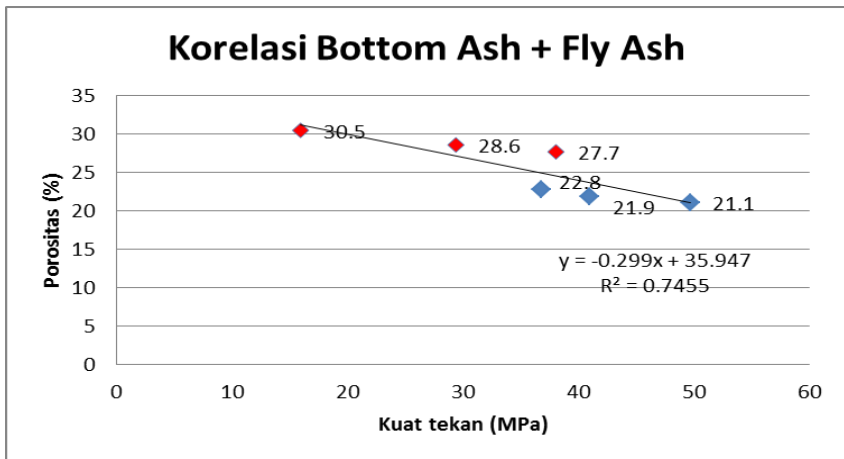


**Grafik 4.31** Hubungan kuat tekan dan *porosity*

c. Campuran *fly ash* dan *bottom ash*

**Tabel 4.52** Hubungan kuat tekan dan *porosity*

Kode Binder	Umur	Kuat tekan (MPa)	Porositas (%)
BF12-0.5	3 hari	15.96	30.5
	28 hari	29.40	28.6
	56 hari	38.06	27.7
BF12-1.5	3 hari	36.81	22.8
	28 hari	41.02	21.9
	56 hari	49.71	21.1



**Grafik 4.32** Hubungan kuat tekan dan *porosity*

Analisa data hubungan kuat tekan dan *porosity*

Semakin besar kuat tekan yang diberikan maka semakin kecil nilai *porosity*. Sebaliknya, jika kuat tekan rendah, maka *porosity* tinggi.

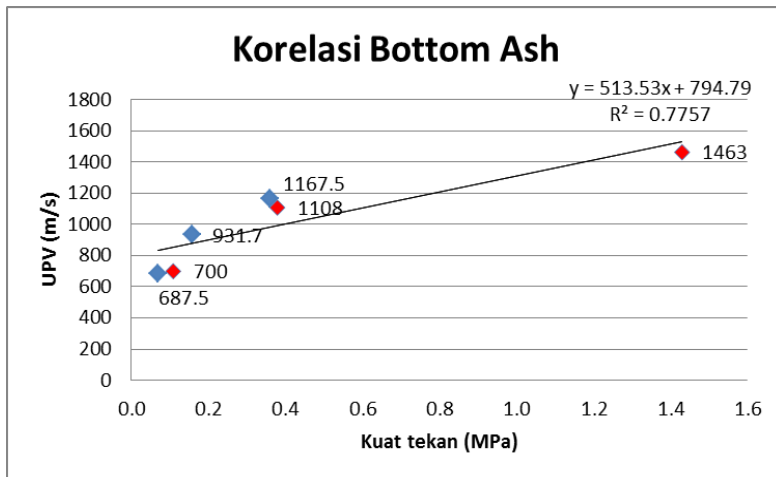
### 4.2.8 Hubungan kuat tekan dan *UPV*

Korelasi ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar hubungan kuat tekan yang dihasilkan dengan nilai *UPV* tinggi atau rendah.

#### a. *Bottom ash*

**Tabel 4.53** Hubungan kuat tekan dan *UPV*

Kode Binder	Umur	Kuat tekan (MPa)	<i>UPV</i> (m/s)
BA12-0.5	3 hari	0.11	700
	28 hari	0.38	1108
	56 hari	1.43	1463
BA12-1.5	3 hari	0.07	687.5
	28 hari	0.16	931.7
	56 hari	0.36	1167.5

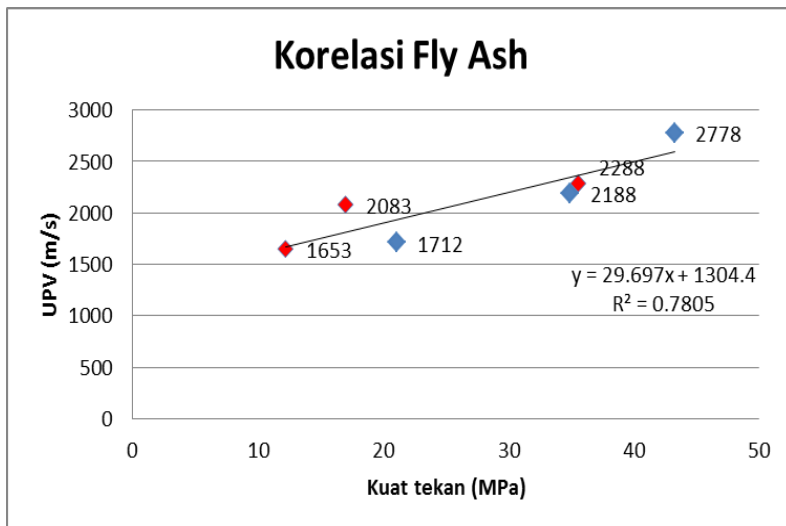


**Grafik 4.33** Hubungan kuat tekan dan *UPV*

**b. Fly ash**

**Tabel 4.54** Hubungan kuat tekan dan *UPV*

Kode Binder	Umur	Kuat tekan (MPa)	UPV (m/s)
FA12-0.5	3 hari	12.22	1653
	28 hari	17.01	2083
	56 hari	35.58	2288
FA12-1.5	3 hari	21.12	1712
	28 hari	34.90	2188
	56 hari	43.32	2778



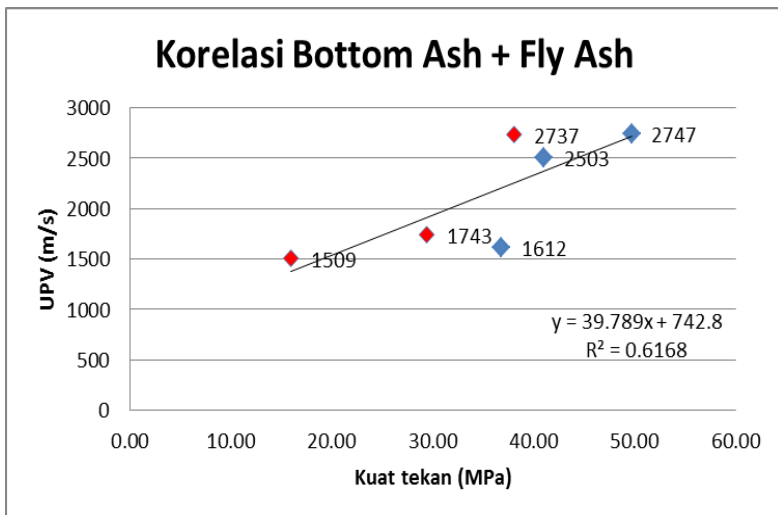
**Grafik 4.34** Hubungan kuat tekan dan *UPV*



c. Campuran *fly ash* dan *bottom ash*

**Tabel 4.55** Hubungan kuat tekan dan *UPV*

Kode Binder	Umur	Kuat tekan (MPa)	UPV (m/s)
BF12-0.5	3 hari	15.96	1509
	28 hari	29.40	1743
	56 hari	38.06	2737
BF12-1.5	3 hari	36.81	1612
	28 hari	41.02	2503
	56 hari	49.71	2747



**Grafik 4.35** Hubungan kuat tekan dan *UPV*

### Analisa data hubungan kuat tekan dan *UPV*

Berdasarkan data *bottom ash*, kuat tekan terbesar berada pada BA12-0,5 umur 56 hari dengan nilai 1,43 MPa. Sedangkan nilai kuat tekan terkecil berada pada kode binder BA12-1,5 umur 3 hari dengan nilai 0,07 MPa. Nilai *UPV* terbesar berada pada BA12-0,5 umur 56 hari sebesar 1463 m/s. Sedangkan nilai terkecil berada pada BA12-1,5 dengan nilai 687,5 m/s

Pada data *fly ash*, kuat tekan terbesar berada pada kode binder FA12-1,5 umur 56 hari dengan nilai 43,32 MPa.. Sedangkan nilai kuat tekan terkecil berada pada kode binder FA12-0,5 umur 3 hari dengan nilai 12,22 MPa. Nilai *UPV* terbesar berada pada FA12-1,5 umur 56 hari sebesar 2778 m/s. Sedangkan nilai terendah berada pada kode binder FA12-0,5 umur 3 hari sebesar 1653 m/s.

Hasil dari korelasi kuat tekan dan *porosity* antara campuran *fly ash* dan *bottom ash* cenderung sama seperti *fly ash*. Hasil kuat tekan terbesar berada pada BF12-1,5 umur 56 hari dengan nilai 49,71 MPa sedangkan kuat tekan terkecil berada pada BF12-0,5 umur 3 hari dengan nilai 15,96 MPa. Pada uji *UPV* hasil terbesar berada pada BF12-1,5 dengan nilai 2747 MPa sedangkan hasil terkecil berada pada BF12-0,5 umur 3 hari dengan nilai 1509 MPa.

Semakin besar kuat tekan yang diberikan maka semakin besar pula nilai *UPV yang dihasilkan*. Sebaliknya, jika kuat tekan rendah, maka *UPV* juga cenderung rendah.

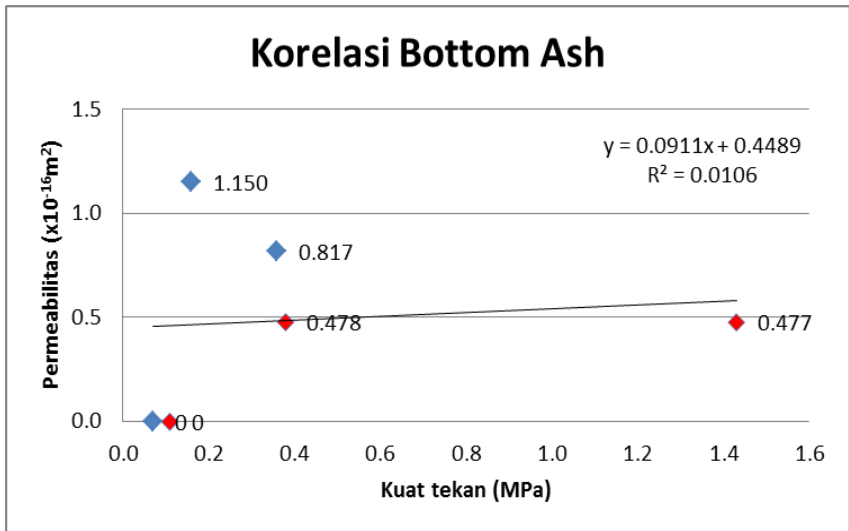
#### 4.2.9 Hubungan kuat tekan dan *permeability*

Korelasi ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar hubungan kuat tekan yang dihasilkan dengan nilai *permeability* tinggi atau rendah.

##### a. *Bottom ash*

**Tabel 4.68** Hubungan kuat tekan dan *permeability*

Kode Binder	Umur	Kuat tekan (MPa)	Permeabilitas ( $\times 10^{-16} \text{m}^2$ )
BA12-0.5	3 hari	0.11	0
	3 hari	0.38	0.478
	28 hari	1.43	0.477
BA12-1.5	28 hari	0.07	0
	56 hari	0.16	1.150
	56 hari	0.36	0.817

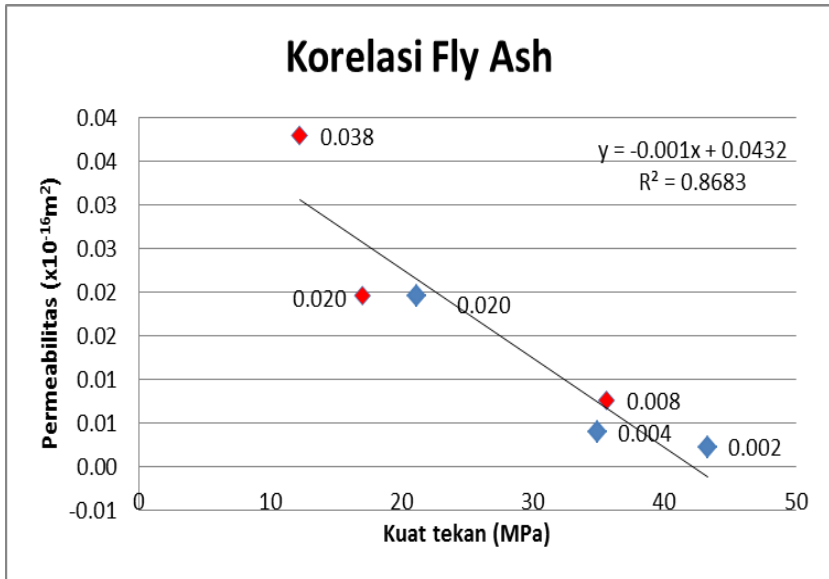


**Grafik 4.36** Hubungan kuat tekan dan *permeability*

**b. Fly ash**

**Tabel 4.69** Hubungan kuat tekan dan *permeability*

Kode Binder	Umur	Kuat tekan (MPa)	Permeabilitas ( $\times 10^{-16} \text{ m}^2$ )
FA12-0.5	3 hari	12.22	0.171
	3 hari	17.01	0.134
	28 hari	35.58	0.067
FA12-1.5	28 hari	21.12	0.020
	56 hari	34.90	0.004
	56 hari	43.32	0.002

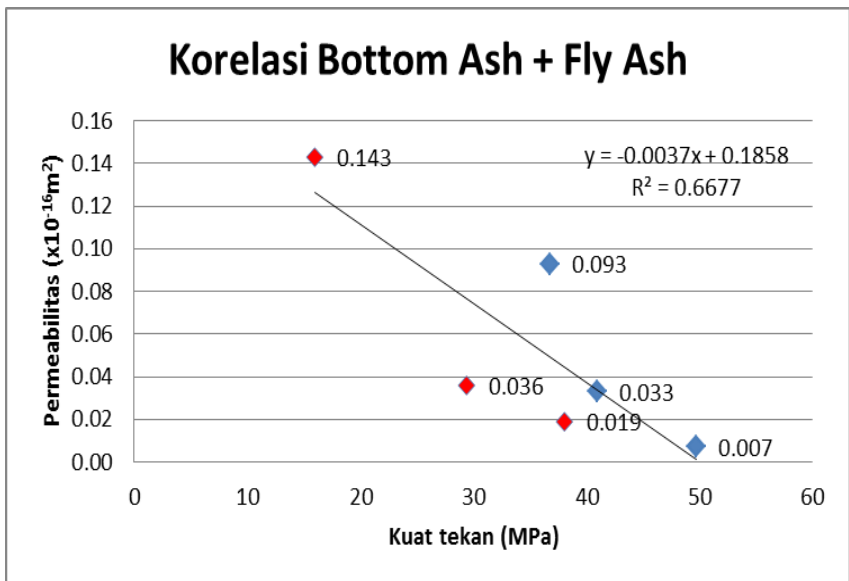


**Grafik 4.37** Hubungan kuat tekan dan *permeability*

c. Campuran *fly ash* dan *bottom ash*

Tabel 4.70 Hubungan kuat tekan dan *permeability*

Kode Binder	Umur	Kuat tekan (MPa)	Permeabilitas ( $\times 10^{-16} \text{m}^2$ )
BF12-0.5	3 hari	15.96	0.143
	3 hari	29.40	0.036
	28 hari	38.06	0.019
BF12-1.5	28 hari	36.81	0.093
	56 hari	41.02	0.033
	56 hari	49.71	0.007



Grafik 4.38 Hubungan kuat tekan dan *permeability*

### Analisa data hubungan kuat tekan dan *permeability*

Berdasarkan data *bottom ash*, kuat tekan terbesar berada pada BA12-0,5 umur 56 hari dengan nilai 1,43 MPa. Sedangkan nilai kuat tekan terkecil berada pada kode binder BA12-1,5 umur 3 hari dengan nilai 0,07 MPa. Nilai *permeability* terbesar berada pada BA12-1,5 umur 28 hari sebesar  $1,150 \times 10^{-16} \text{m}^2$ . Sedangkan nilai terkecil berada pada BA12-0,5 umur 56 hari dengan nilai  $0,477 \times 10^{-16} \text{m}^2$

Pada data *fly ash*, kuat tekan terbesar berada pada kode binder FA12-1,5 umur 56 hari dengan nilai 43,32 MPa.. Sedangkan nilai kuat tekan terkecil berada pada kode binder FA12-0,5 umur 3 hari dengan nilai 12,22 MPa. Nilai *permeability* terbesar berada pada FA12-0,5 umur 3 hari sebesar  $0,171 \times 10^{-16} \text{m}^2$ . Sedangkan nilai terendah berada pada kode binder FA12-1,5 umur 56 hari sebesar  $0,002 \times 10^{-16} \text{m}^2$

Hasil dari korelasi kuat tekan dan *porosity* antara campuran *fly ash* dan *bottom ash* cenderung sama seperti *fly ash*. Hasil kuat tekan terbesar berada pada BF12-1,5 umur 56 hari dengan nilai 49,71 MPa sedangkan kuat tekan terkecil berada pada BF12-0,5 umur 3 hari dengan nilai 15,96 MPa. Pada uji *permeability* hasil terbesar berada pada BF12-0,5 umur 3 hari dengan nilai  $0,143 \times 10^{-16} \text{m}^2$  sedangkan hasil terkecil berada pada BF12-1,5 umur 56 hari dengan nilai  $0,007 \times 10^{-16} \text{m}^2$

Semakin besar kuat tekan yang diberikan maka semakin kecil nilai *permeability yang dihasilkan*. Sebaliknya, jika kuat tekan rendah, maka *permeability* juga cenderung tinggi.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari serangkaian penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Perbandingan komposisi paling baik terdapat pada komposisi campuran 50% *bottom ash* + 50% *fly ash* dengan nilai kuat tekan mencapai 49,71 MPa
- b. Penggunaan *bottom ash* pada suatu binder dapat menurunkan kuat tekan dan cenderung memiliki sifat seperti pasir. Sedangkan penggunaan *fly ash* terhadap beton *geopolymer* dalam jumlah banyak dapat memberikan kuat tekan yang tinggi. Hasil penelitian ini mendukung peneliti sebelumnya yang dilakukan oleh Djwantoro Hardjito, 2010.
- c. Secara umum *fly ash* dapat menggantikan fungsi semen dalam pembuatan beton *geopolymer*. Penggunaan *bottom ash* lebih bersifat seperti pengganti pasir. Kuat tekan yang dihasilkan pun rendah akibat daya ikat penyerapan air yang sangat tinggi. Dalam sektor konstruksi bangunan secara garis besar *fly ash* dan *bottom ash by product* dapat diaplikasikan pada lingkungan. Reaksi polimerisasi yang diikat pada saat pembuatan beton dapat mengikat senyawa kimia beracun sehingga tidak membahayakan lingkungan sekitar (Januarti Jaya Ekaputri).

## 5.2. Saran

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk :

1. Memperkecil ukuran *bottom ash* mengingat bentuk awal berupa kerikil dan bongkahan besar
2. Melakukan pengetesan terlebih dahulu untuk menentukan massa jenis bahan yang dipakai seperti *fly ash* dan *bottom ash*
3. Meratakan permukaan binder *geopolymer* jika hendak diuji agar mendapatkan hasil maksimal.
4. Penelitian ini merupakan upaya awal untuk mengetahui perkiraan kekuatan binder dengan berbagai pengujian di atas. Mengingat penelitian ini hanya menggunakan 3 sample pada masing-masing tes belum tentu akurasi sempurna. Untuk itu disarankan agar ada peneliti lain yang meneruskan dengan sample lebih banyak dan beragam.



## DAFTAR PUSTAKA

1. ASTM Commite C39-04a dan AASHTO T22-15 Standar Test Method for Compressive Strength of Cylindrial Concrete Specimen, 2007
2. ASTM Commite C 191-04, Standar Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle, 2003.
3. ASTM Commite C 597-09 Standar Test Method for Pulse Velocity Through Concrete
4. Davidovits,J, 1994. *Properties of Geopolymer Cements. Geopolymer Institute. France : Saint-Quentin*
5. D. Hardjito., Steenie E. Wallah., Dody M.J Sumajouw., B.V Rangan, Sep 2004. “*Factors Influencing the Compressive Strength of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*”. Jurnal Dimensi Teknik Sipil 6, 2:88-93
6. Hardjito, Djwantoro and Rangan, B.V. 2005. “*Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash – Based Geopolymer Concrete*”. *Research Report GC I Faculty of Engineering Curtin University of Technology Perth, Australia.*
7. Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Teknik Sipil ITS. 1995. Praktikum Teknologi Beton, Petunjuk Praktikum, Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, Surabaya
8. RILEM CPC 11.3
9. SN 505 252/1, Annex E
10. Tjokrodimuljo, Kardiono. 1996. Teknologi Beton, Buku Ajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

*“ halaman ini sengaja dikosongkan ”*

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Nganjuk, 4 Februari 1993, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Kemala Bhayangkari 50 Nganjuk, SDN Gangungkidul I no.01 Nganjuk, SMP Negeri 1 Nganjuk, SMA Negeri 1 Nganjuk dan Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS. Setelah lulus dari Diploma III pada tahun 2014, penulis sempat bekerja pada perusahaan swasta di Surabaya. Kemudian pada akhir tahun 2015 penulis mengikuti ujian masuk Diploma IV dan diterima di Program Studi Diploma IV Teknik Sipil FTSP-ITS dan terdaftar dengan NRP. 3115 040 616. Di Program Studi Diploma ini, penulis mengambil bidang studi bangunan gedung. Penulis aktif mengikuti beberapa kegiatan seminar yang diselenggarakan oleh program studi DIV Teknik Sipil ITS Surabaya.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1

#### MIX DESAIN SILINDER BOTTOM ASH PERBANDINGAN 0,5

1	Massa 1 silinder binder geopolimer berukuran 2.5 x 5 cm <sup>2</sup>	
	Volume 1 binder	$= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$ $= \frac{1}{4} \times \pi \times 2.5^2 \times 5$ $= 24.54 \text{ cm}^3$
	Massa 1 binder	$= \rho \text{ pasta} \times \text{volume 1 binder}$ $= 2.4 \times 24.54$ $= 58.9 \text{ gram}$
	Massa bottom ash	$= 55\% \times \text{massa 1 binder}$ $= 55\% \times 58.90$ $= 32.4 \text{ gram} \quad \times \quad 6 \text{ bh}$ $= 194.4 \text{ gram}$
2	Menentukan massa aktivator	
	Massa aktivator	$= 45\% \times \text{massa 1 binder}$ $= 45\% \times 58.90$ $= 26.51 \text{ gram}$
	26.51 gram	$= 0.5 \text{ NaOH} + 1 \text{ Na}_2\text{SiO}_3$
	26.51 gram	$= 1.5 \text{ NaOH}$
	Massa NaOH	$= \frac{26.51}{1.5}$ $= 17.67 \text{ gram} \quad \times \quad 6 \text{ bh}$ $= 106.03 \text{ gram}$
	Massa Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	$= 8.84 \text{ gram} \quad \times \quad 6 \text{ bh}$ $= 53.01 \text{ gram}$

MIX DESAIN KUBUS BOTTOM ASH PERBANDINGAN 0,5

1	Massa 1 kubus binder geopolimer berukuran 15 x 15 x 5 cm <sup>3</sup>				
	Volume 1 kubus	=	s	x	s
		=	15	x	15
		=	1125		cm <sup>3</sup>
	Massa 1 kubus	=	ρ pasta	x	volume 1 kubus
		=	2.4	x	1125
		=	2700		gram
	Massa bottom ash	=	55%	x	massa 1 kubus
		=	55%	x	2700
		=	1485	gram	x 6 bh
		=	8910		gram
2	Menentukan massa aktivator				
	Massa aktivator	=	45%	x	massa 1 kubus
		=	45%	x	2700
		=	1215		gram
	1215 gram	=	0.5	NaOH	+ 1 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>
	1215 gram	=	1.5	NaOH	
	Massa NaOH	=	1215	/	1.5
		=	810	gram	x 3 bh
		=	2430		gram
	Massa Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	=	405	gram	x 3 bh
		=	1215		gram

MIX DESAIN SILINDER BOTTOM ASH PERBANDINGAN 1,5

1	Massa 1 silinder binder geopolimer berukuran 2.5 x 5 cm <sup>2</sup>			
	Volume 1 binder	=	$\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$	
		=	$\frac{1}{4} \times \pi \times 2.5^2 \times 5$	
		=	24.54 cm <sup>3</sup>	
	Massa 1 binder	=	$\rho \text{ pasta} \times \text{volume 1 binder}$	
		=	2.4 x 24.54	
		=	58.9 gram	
	Massa bottom ash	=	55% x massa 1 binder	
		=	55% x 58.90	
		=	32.4 gram x 6 bh	
		=	194.4 gram	
2	Menentukan massa aktivator			
	Massa aktivator	=	45% x massa 1 binder	
		=	45% x 58.90	
		=	26.51 gram	
	26.51 gram	=	1.5 NaOH + 1 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	
	26.51 gram	=	2.5 NaOH	
	Massa NaOH	=	26.51 / 2.5	
		=	10.60 gram x 6 bh	
		=	63.62 gram	
	Massa Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	=	15.90 gram x 6 bh	
		=	95.43 gram	

MIX DESAIN KUBUS BOTTOM ASH PERBANDINGAN 1,5

1	Massa 1 kubus binder geopolimer berukuran 15 x 15 x 5 cm <sup>3</sup>				
	Volume 1 kubus	=	s	x	s x s
		=	15	x	15 x 5
		=	1125	cm <sup>3</sup>	
	Massa 1 kubus	=	ρ pasta	x	volume 1 kubus
		=	2.4	x	1125
		=	2700	gram	
	Massa bottom ash	=	55%	x	massa 1 kubus
		=	55%	x	2700
		=	1485	gram	x 6 bh
		=	8910	gram	
2	Menentukan massa aktivator				
	Massa aktivator	=	45%	x	massa 1 kubus
		=	45%	x	2700
		=	1215	gram	
	1215 gram	=	1.5	NaOH	+ 1 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>
	1215 gram	=	2.5	NaOH	
	Massa NaOH	=	1215	/	2.5
		=	486	gram	x 3 bh
		=	1458	gram	
	Massa Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	=	729	gram	x 3 bh
		=	2187	gram	

## Lampiran 2

### MIX DESAIN SILINDER FLY ASH PERBANDINGAN 0,5

1	Massa 1 silinder binder geopolimer berukuran 2.5 x 5 cm <sup>2</sup>	
	Volume 1 binder	$= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$ $= \frac{1}{4} \times \pi \times 2.5^2 \times 5$ $= 24.54 \text{ cm}^3$
	Massa 1 binder	$= \rho \text{ pasta} \times \text{volume 1 binder}$ $= 2.4 \times 24.54$ $= 58.9 \text{ gram}$
	Massa fly ash	$= 74\% \times \text{massa 1 binder}$ $= 74\% \times 58.90$ $= 43.59 \text{ gram} \quad \times \quad 6 \text{ bh}$ $= 261.5 \text{ gram}$
2	Menentukan massa aktivator	
	Massa aktivator	$= 26\% \times \text{massa 1 binder}$ $= 26\% \times 58.90$ $= 15.32 \text{ gram}$
	15.32 gram	$= 0.5 \text{ NaOH} + 1 \text{ Na}_2\text{SiO}_3$
	15.32 gram	$= 1.5 \text{ NaOH}$
	Massa NaOH	$= 15.32 / 1.5$ $= 10.21 \text{ gram} \quad \times \quad 6 \text{ bh}$ $= 61.26 \text{ gram}$
	Massa Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	$= 5.11 \text{ gram} \quad \times \quad 6 \text{ bh}$ $= 30.63 \text{ gram}$



MIX DESAIN KUBUS FLY ASH PERBANDINGAN 0,5

1	Massa 1 kubus binder geopolimer berukuran 15 x 15 x 5 cm <sup>3</sup>				
	Volume 1 kubus	=	s	x	s x s
		=	15	x	15 x 5
		=	1125	cm <sup>3</sup>	
	Massa 1 kubus	=	$\rho$ pasta	x	volume 1 kubus
		=	2.4	x	1125
		=	2700	gram	
	Massa fly ash	=	74%	x	massa 1 kubus
		=	74%	x	2700
		=	1998	gram	x 6 bh
		=	11988	gram	
2	Menentukan massa aktivator				
	Massa aktivator	=	26%	x	massa 1 kubus
		=	26%	x	2700
		=	702	gram	
	702 gram	=	0.5	NaOH	+ 1 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>
	702 gram	=	1.5	NaOH	
	Massa NaOH	=	702	/	1.5
		=	468	gram	x 3 bh
		=	1404	gram	
	Massa Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	=	234	gram	x 3 bh
		=	702	gram	

MIX DESAIN SILINDER FLY ASH PERBANDINGAN 1,5

1	Massa 1 silinder binder geopolimer berukuran 2.5 x 5 cm <sup>2</sup>				
	Volume 1 binder	=	$\frac{1}{4}$	x	$\pi$
		=	$\frac{1}{4}$	x	$\pi$
		=	24.54	cm <sup>3</sup>	
	Massa 1 binder	=	$\rho$ pasta	x	volume 1 binder
		=	2.4	x	24.54
		=	58.9	gram	
	Massa fly ash	=	74%	x	massa 1 binder
		=	74%	x	58.90
		=	43.59	gram	x 6 bh
		=	261.5	gram	
2	Menentukan massa aktivator				
	Massa aktivator	=	26%	x	massa 1 binder
		=	26%	x	58.90
		=	15.32	gram	
	15.32 gram	=	1.5	NaOH	+ 1 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>
	15.32 gram	=	2.5	NaOH	
	Massa NaOH	=	15.32	/	2.5
		=	6.13	gram	x 6 bh
		=	36.76	gram	
	Massa Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	=	9.19	gram	x 6 bh
		=	55.13	gram	

MIX DESAIN KUBUS FLY ASH PERBANDINGAN 1,5

1	Massa 1 kubus binder geopolimer berukuran 15 x 15 x 5 cm <sup>3</sup>				
	Volume 1 kubus	=	s	x	s x s
		=	15	x	15 x 5
		=	1125	cm <sup>3</sup>	
	Massa 1 kubus	=	ρ pasta	x	volume 1 kubus
		=	2.4	x	1125
		=	2700	gram	
	Massa fly ash	=	74%	x	massa 1 kubus
		=	74%	x	2700
		=	1998	gram	x 6 bh
		=	11988	gram	
2	Menentukan massa aktivator				
	Massa aktivator	=	26%	x	massa 1 kubus
		=	26%	x	2700
		=	702	gram	
	702 gram	=	1.5	NaOH	+ 1 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>
	702 gram	=	2.5	NaOH	
	Massa NaOH	=	702	/	2.5
		=	281	gram	x 3 bh
		=	842	gram	
	Massa Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	=	421	gram	x 3 bh
		=	1264	gram	

### Lampiran 3

#### Hasil Pengujian Fly Ash Paiton dengan Analisa XRF

XRF merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu sample dengan menggunakan metode spektrometri. Pengetesan XRF dilakukan di PT. Semen Indonesia, Gresik didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 4.1 Hasil Uji Komposisi Fly Ash Paiton

Z	PARAMETER	KODE	
		FLY ASH (COKELAT TUA)	BOTTOM ASH
6	F	<	<
7	Na <sub>2</sub> O	0.6450	0.0802
8	MgO	2.6200	0.1630
9	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.2500	2.9300
10	SiO <sub>2</sub>	47.1000	89.9100
11	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.1880	0.0199
13	SO <sub>3</sub>	0.2060	0.0343
15	Cl	<	<
17	K <sub>2</sub> O	1.6400	0.6790
18	CaO	5.8300	0.7340
19	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0019	<
20	TiO <sub>2</sub>	1.1600	0.2830
21	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0459	0.0065
22	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0533	0.1530
23	MnO	0.1010	0.0417
24	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.0700	4.7100
25	Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0.0045	<2e
26	NiO	0.0201	0.0041
27	CuO	0.0117	0.0024
28	ZnO	0.0297	0.2450
52	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	<
53	CeO <sub>2</sub>	0.0065	<2e
55	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0033	0.0026
68	WO <sub>3</sub>	<	0.0065
LOI			
SUM			

KET :   Oksida Mayor  
  Oksida minor  
 < means that the concentration is < 5 mg/kg  
 <2e means wt% < 2 StdErr. A + or & means: Part of 100% sum

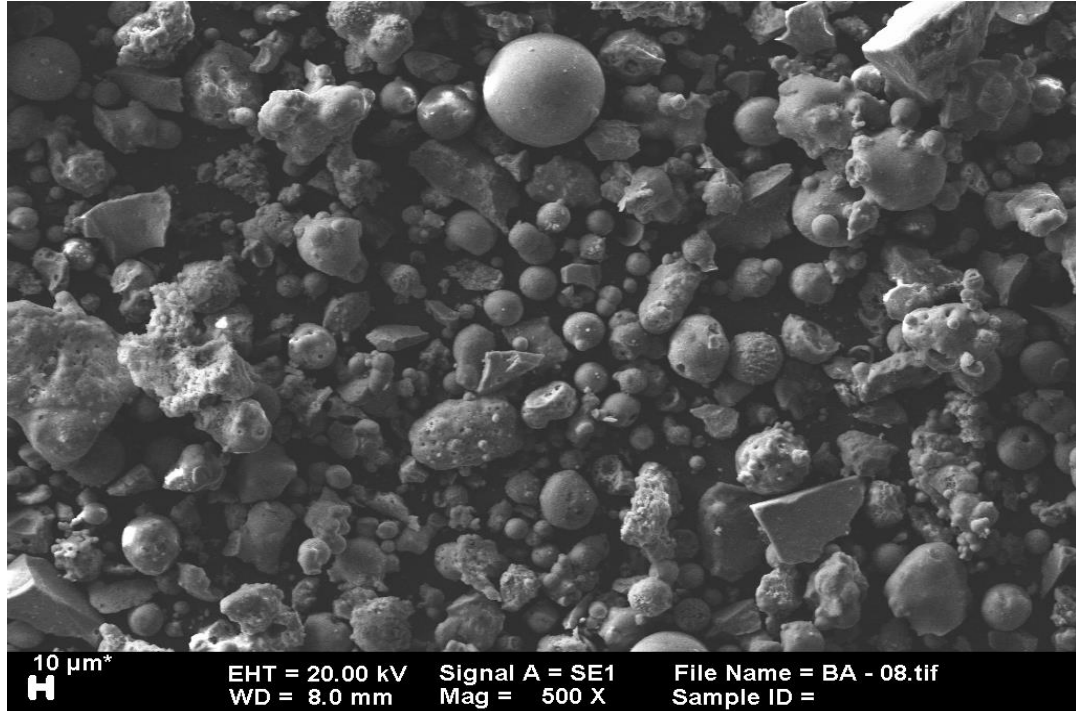
Sumber : Hasil Analisa Fly Ash dan Bottom Ash Paiton unit 1 dan 2

Hasil analisa uji komposisi senyawa kimia fly ash Si + Al + Fe > 70%. CaO < 10% termasuk tipe F.

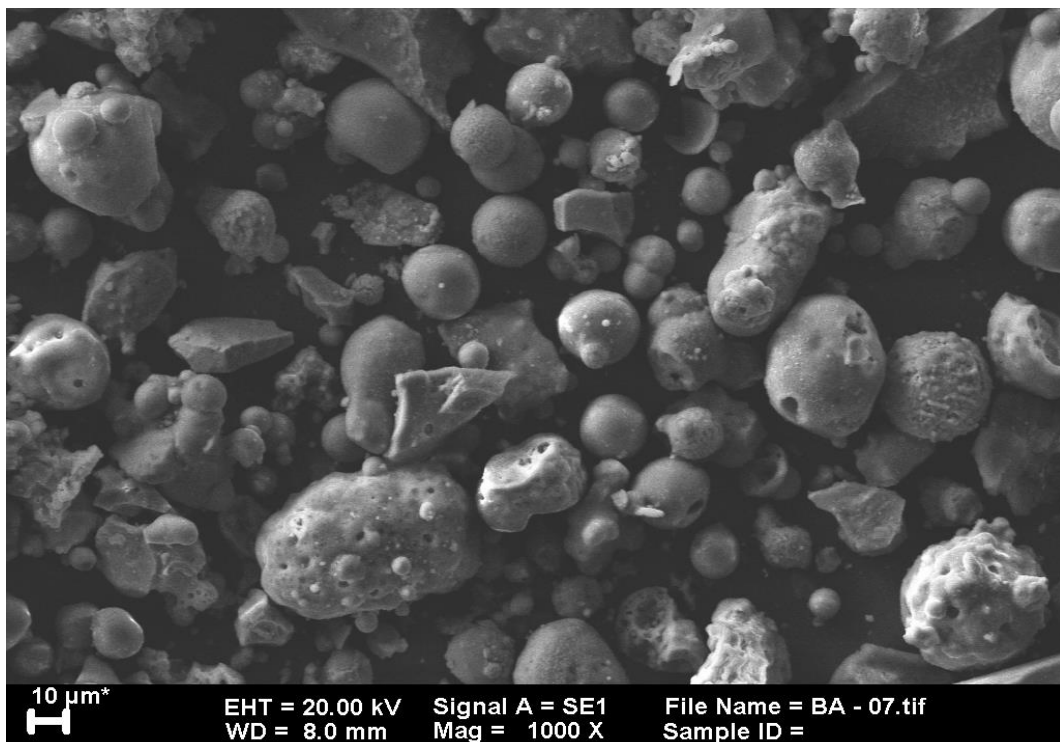
#### Lampiran 4

#### Hasil Uji Kandungan Scanning Electron Microscopy (SEM) Bottom Ash Paiton

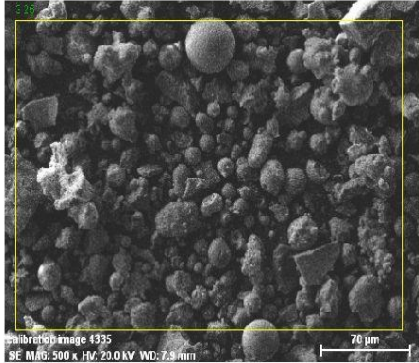
- Visualisasi mikrostruktur partikel fly ash Paiton dengan perbesaran 500 kali dengan skala 10 $\mu$ m



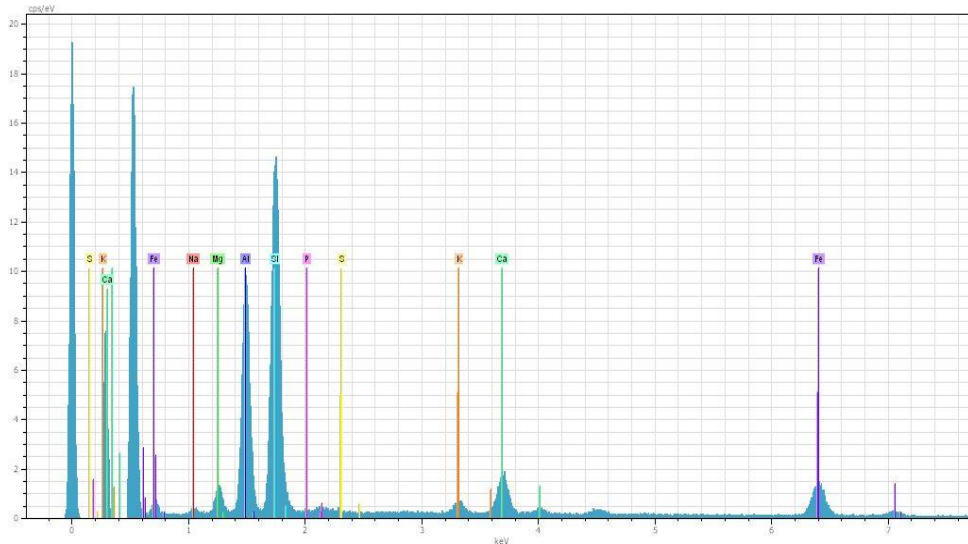
- Visualisasi mikrostruktur partikel fly ash Paiton dengan perbesaran 1000 kali dengan skala 10 $\mu$ m



# Bottom Ash (BA)



calibration image 4335 Date:11/21/2016  
 1:59:51 PM Image size:512 x  
 384Mag:499.99997xHV:20.0kV



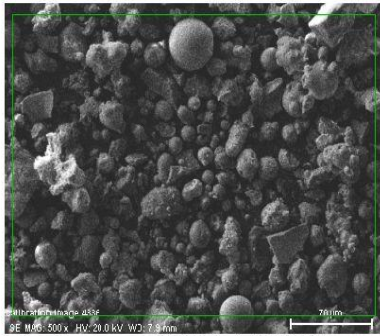
3 25 Date:11/21/2016 2:00:16 PM HV:20.0kV Puls th.:6.31kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
Si	14	K-series	18.49	41.67	47.22	0.8
Al	13	K-series	10.76	24.26	28.61	0.5
Fe	26	K-series	8.69	19.57	11.15	0.3
Ca	20	K-series	3.97	8.95	7.11	0.2
Mg	12	K-series	0.91	2.05	2.68	0.1
K	19	K-series	0.85	1.91	1.55	0.1
P	15	K-series	0.51	1.15	1.18	0.1
S	16	K-series	0.14	0.33	0.32	0.0
Na	11	K-series	0.05	0.12	0.17	0.0
Total:			44.38	100.00	100.00	

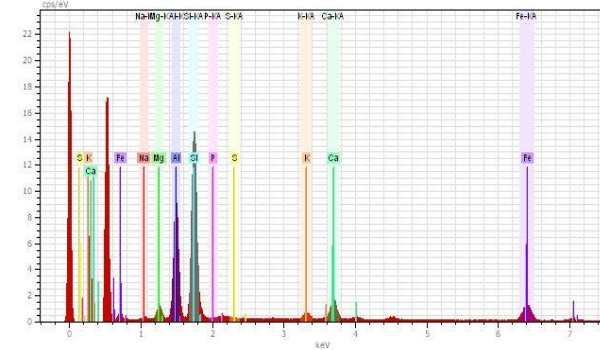
11/21/2016

4. Page

# Bottom Ash (BA)

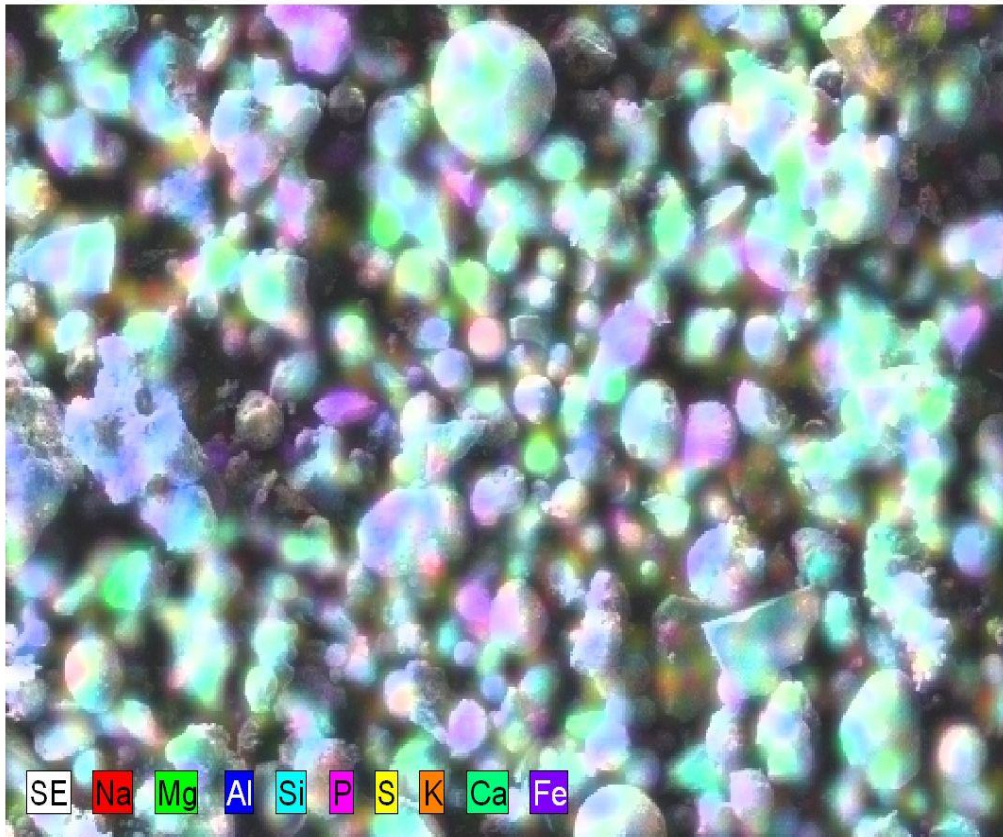


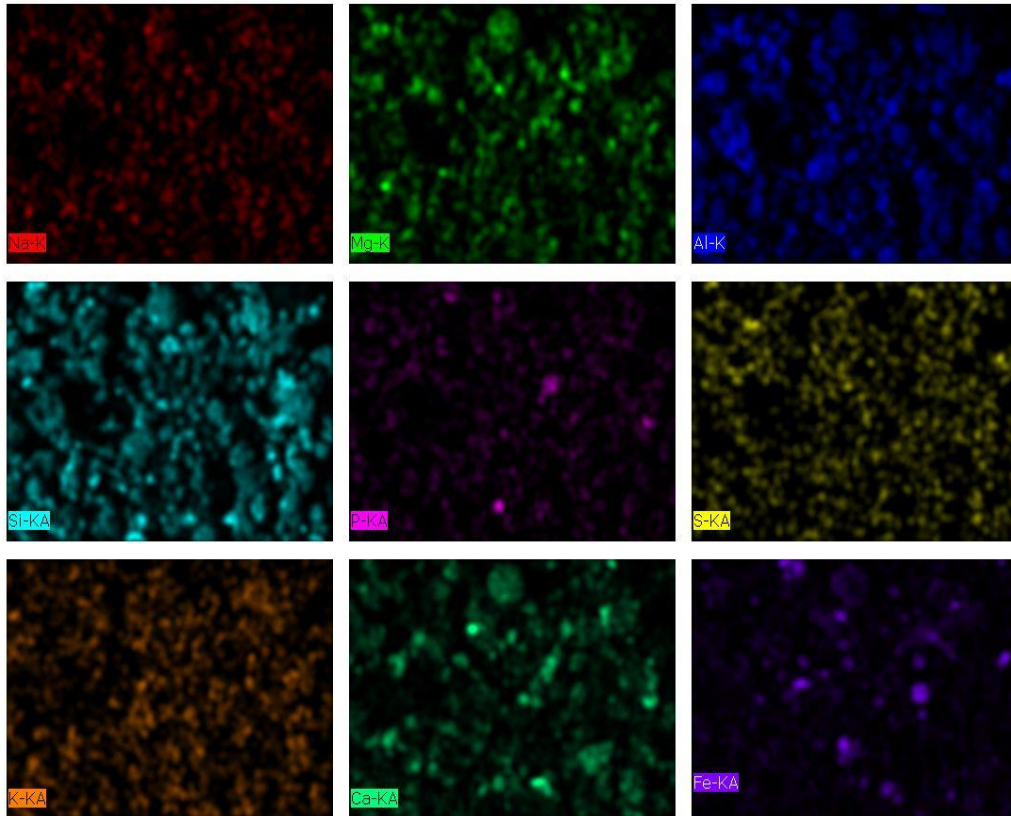
calibration image 4336 Date: 11/21/2016  
1:59:51 PM Image size: 512 x  
384 Mag: 499.99997x HV: 20.0kV



Map Date: 11/21/2016 2:01:23 PM HV: 20.0kV  
Puls th.: 5.91kcps

calibration image 21 3369 Date: 11/21/2016 2:01:23 PM Image size: 490 x  
351 Mag: 499.99997x HV: 20.0kV





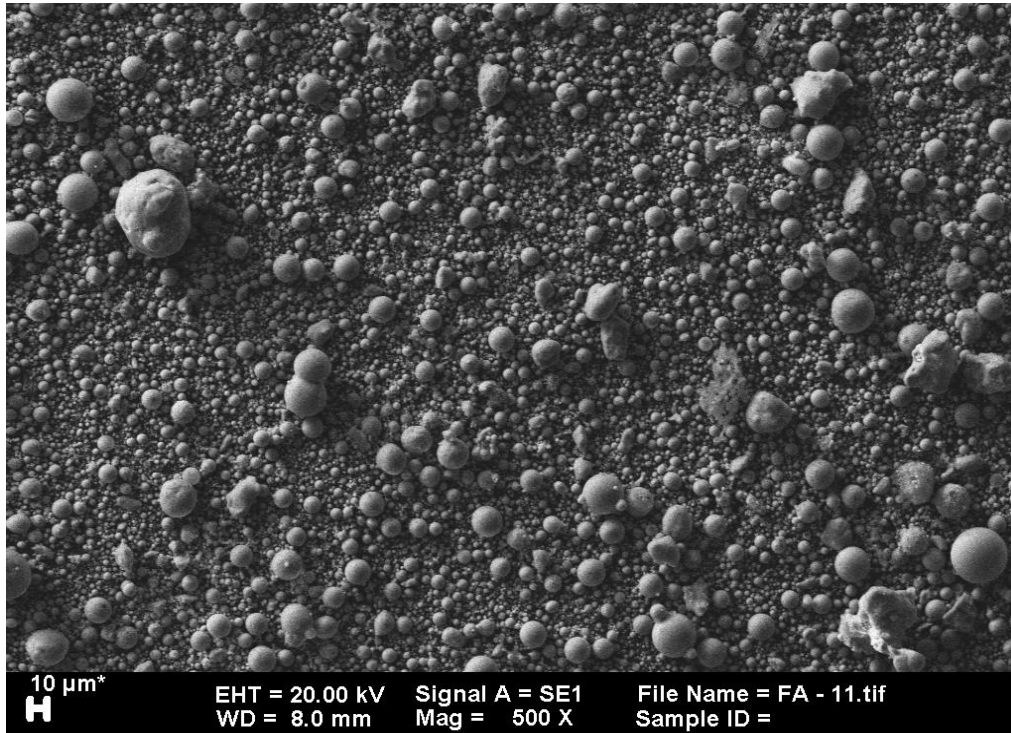
Na-K, Mg-K, Al-K, Si-KA, P-KA, S-KA, K-KA, Ca-KA, Fe-KA Date:11/21/2016 2:02:16 PM  
Image size:490 x 351  
Mag:499.99997x  
HV:20.0kV



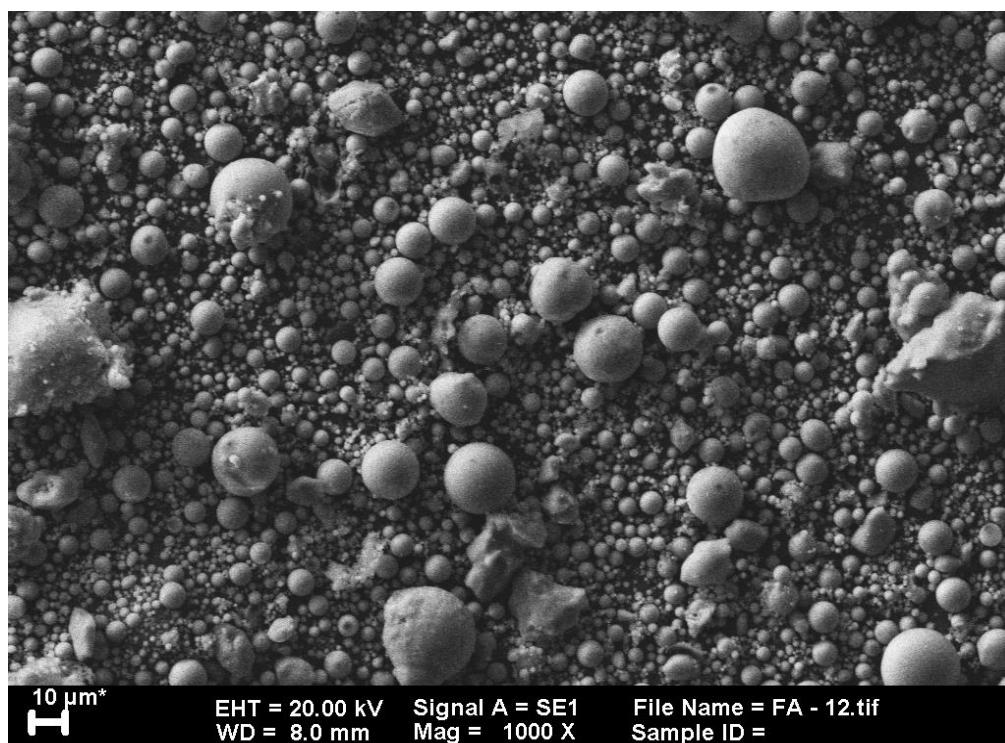
## Lampiran 5

### Hasil Uji Kandungan Scanning Electron Microscopy (SEM) Fly Ash Paiton

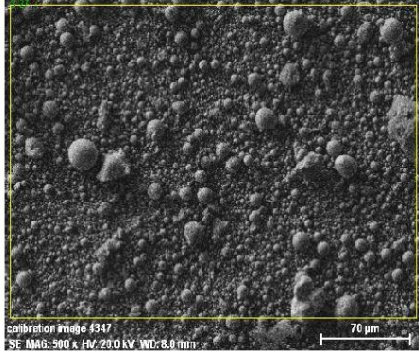
- Visualisasi mikrostruktur partikel fly ash Paiton dengan perbesaran 500 kali dengan skala 10 $\mu$ m



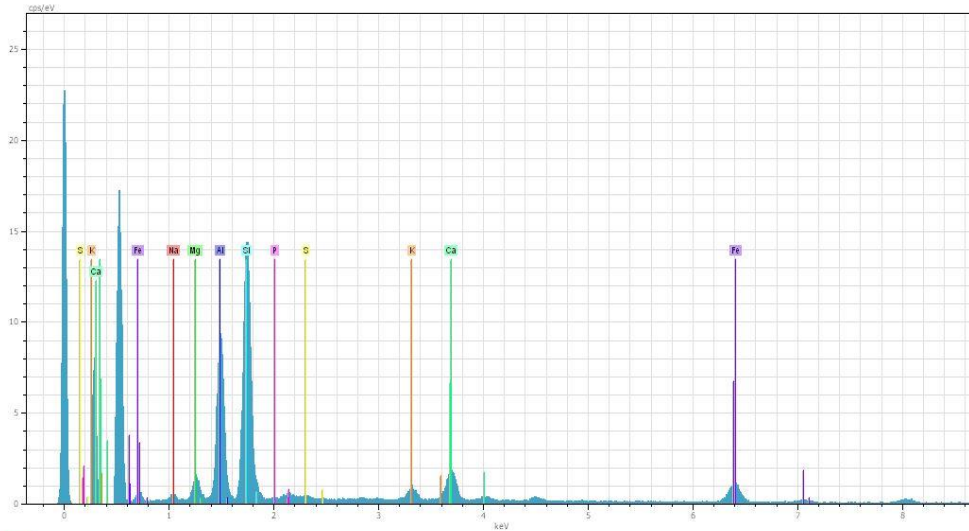
- Visualisasi mikrostruktur partikel fly ash Paiton dengan perbesaran 1000 kali dengan skala 10 $\mu$ m



# Fly Ash



calibration image 4347 Date: 11/24/2016  
 10:48:40 AM Image size: 512 x  
 384 Mag: 499.99997 x HV: 20.0 kV



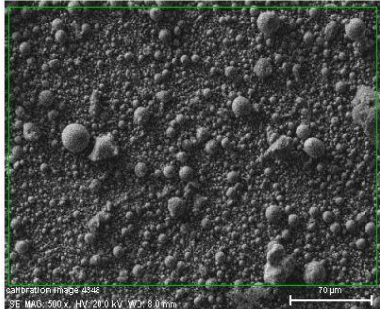
3 27 Date: 11/24/2016 10:48:56 AM HV: 20.0 kV Puls th.: 6.40 kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
Si	14	K-series	18.36	41.01	45.80	0.8
Al	13	K-series	10.63	23.75	27.61	0.5
Fe	26	K-series	6.86	15.32	8.61	0.2
Ca	20	K-series	4.62	10.33	8.08	0.2
K	19	K-series	1.42	3.17	2.54	0.1
Mg	12	K-series	1.20	2.69	3.47	0.1
P	15	K-series	0.90	2.00	2.02	0.1
S	16	K-series	0.58	1.30	1.27	0.1
Na	11	K-series	0.19	0.43	0.58	0.0
Total:			44.78	100.00	100.00	

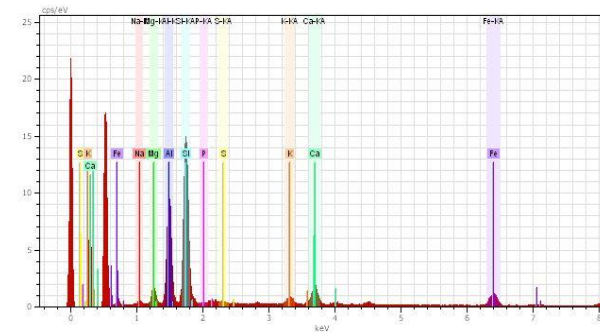
11/24/2016

7. Page

# Fly Ash

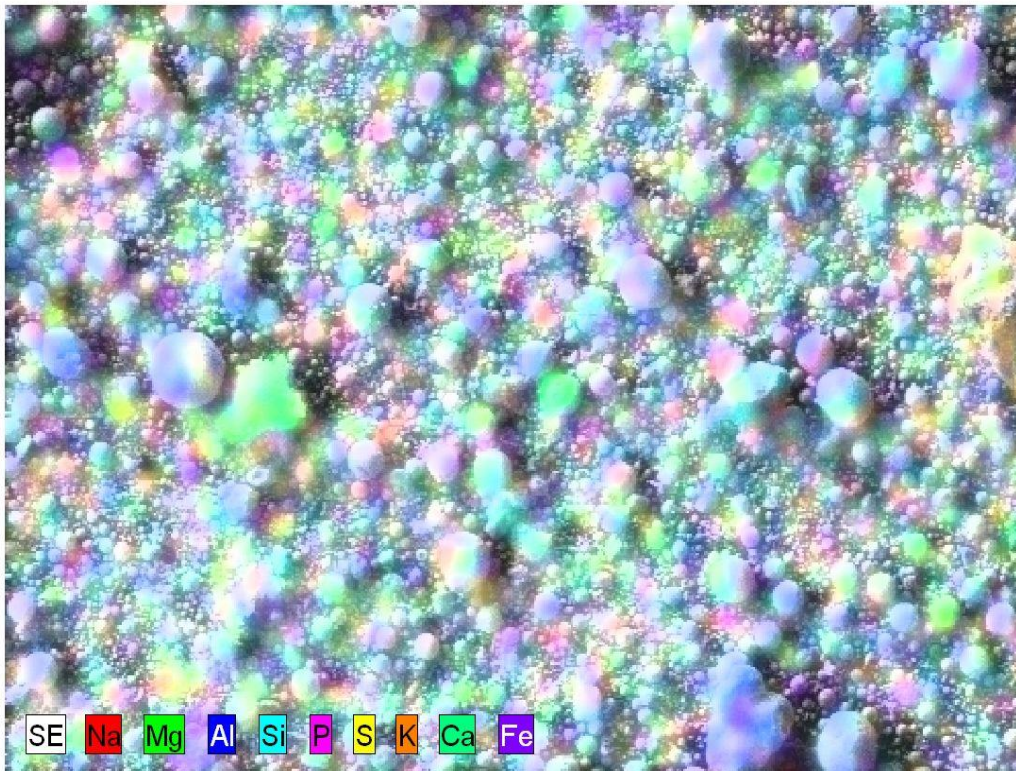


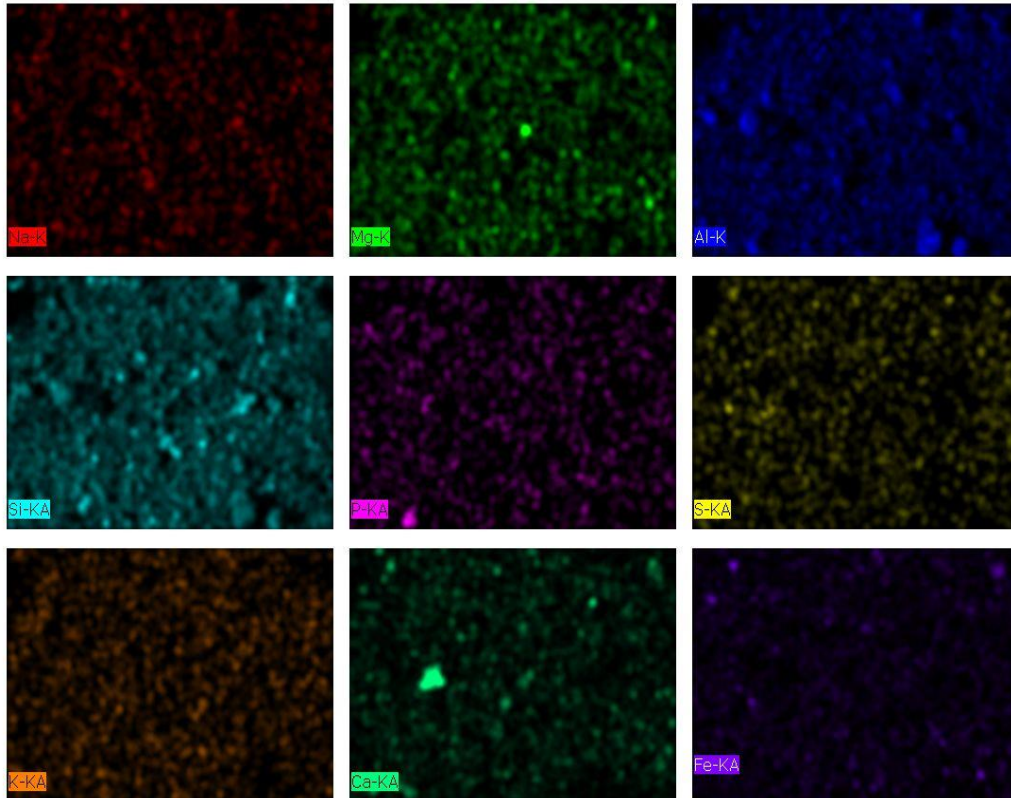
calibration image 4348 Date: 11/24/2016 10:48:40 AM Image size: 512 x 384 Mag: 499.99997x HV: 20.0kV



Map Date: 11/24/2016 10:49:54 AM HV: 20.0kV Puls th.: 5.89kcps

calibration image 21 3381 Date: 11/24/2016 10:49:55 AM Image size: 498 x 346 Mag: 499.99997x HV: 20.0kV














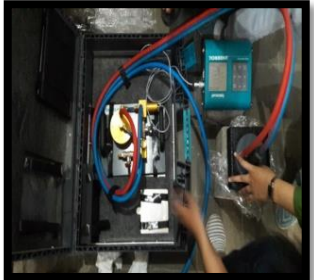
Na-K, Mg-K, Al-K, Si-KA, P-KA, S-KA, K-KA, Ca-KA, Fe-KA Date:11/24/2016 10:50:32 AM  
Image size:498 x 346  
Mag:499.99997x  
HV:20.0kV

## Lampiran 8

### Dokumentasi Penelitian.

No	Gambar	Gambar	Gambar
1			
Keterangan	Timbangan	Fly ash	Bottom ash
No	Gambar	Gambar	Gambar
2			
Keterangan	Tabung ukur	Pembuatan NaOH	NaOH
No	Gambar	Gambar	Gambar
3			
Keterangan	$\text{Na}_2\text{SiO}_3$	Mixer pengaduk	Cetakan binder

No	Gambar	Gambar	Gambar
4			
Keterangan	Alat vicat	Binder geopolimer	Alat uji porositas
No	Gambar	Gambar	Gambar
5			
Keterangan	Perendaman dalam air	Penimbangan kering	Penimbangan dalam air
No	Gambar	Gambar	Gambar
6			
Keterangan	Oven	Hasil oven binder	Alat uji kuat tekan
No	Gambar	Gambar	Gambar
7			
Keterangan	Curing	Cetakan kubus	Benda uji kubus

No	Gambar	Gambar	Gambar
8			
Keterangan	Alat uji kepadatan UPV	Stempet	Alat permeabilitas