



TUGAS AKHIR (RC09-1380)

KARAKTERISTIK FISIK DAN KIMIA FLY ASH DARI PERUSAHAAN READY MIX BETON DAN LIMBAH PABRIK TERHADAP SIFAT MEKANIK PASTA DAN MORTAR

M. BAHRUL ULUM
NRP 3110 100 073

Dosen Pembimbing
Dr. Eng Januarti Jaya Ekaputri, ST. MT.
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



TUGAS AKHIR (RC09-1380)

KARAKTERISTIK FISIK DAN KIMIA FLY ASH DARI PERUSAHAAN READY MIX BETON DAN LIMBAH PABRIK TERHADAP SIFAT MEKANIK PASTA DAN MORTAR

**M. BAHRUL ULUM
NRP 3110 100 073**

Dosen Pembimbing
Dr. Eng Januarti Jaya Ekaputri, ST. MT.
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014**



FINAL PROJECT (RC09-1380)

CHARACTERISTIC OF FLY ASH BASED ON PHYSICAL AND CHEMICAL FROM READY MIX CONCRETE COMPANY AND FACTORY WASTE MISES MECHANICAL OF PASTA AND MORTAR

M BHRUL ULUM
NRP 3110 100 073

Academic Supervisors
Dr. Eng Januarti Jaya Ekaputri, ST. MT.
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT (RC09-1380)

**CHARACTERISTIC OF FLY ASH BASED ON
PHYSICAL AND CHEMICAL FROM READY MIX
CONCRETE COMPANY AND FACTORY WASTE
MISES MECHANICAL OF PASTA AND MORTAR**

**M BHRUL ULUM
NRP 3110 100 073**

**Academic Supervisors
Dr. Eng Januarti Jaya Ekaputri, ST. MT.
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014**

KARAKTERISTIK FISIK DAN KIMIA FLY ASH DARI PERUSAHAAN READY MIX BETON DAN LIMBAH PABRIK TERHADAP SIFAT MEKANIK PASTA DAN MORTAR

NamaMahasiswa : M Bahrul Ulum
NRP : 3110100073
Jurusan : TeknikSipil FTSP-ITS
DosenPembimbing : Dr. Eng Januarti Jaya
Ekaputri, ST. MT.
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.

Abstrak

Tugas akhir ini adalah sebagai salah satu bentuk penelitian tentang kualitas fly ash di wilayah Jawa Timur. Sampel fly ash yang diperoleh sebanyak 16 sampel dari 6 perusahaan.

Pada tugas akhir ini dilakukan beberapa uji untuk mengetahui kualitas dari fly ash, uji tersebut meliputi uji fisik, uji kimia serta uji mekanik. Uji fisik yang dilakukan terhadap fly ash diantaranya uji kadar air, kerugian akibat pengapian, kehalusan, konsistensi normal, berat jenis dan spesifik surface area. Untuk uji kimia dilakukan uji X-Ray Diffractometer, X-Ray Fluorossence serta soluble dari fly ash tersebut. Sementara itu untuk pengujian mekanik dilakukan dengan membuat mortar dan pasta sebanyak 6 metode yang berbahan campuran fly ash yang kemudian diuji tekan, hasil uji tekan tersebut akan dibandingkan dengan mortar dan pasta yang berbahan semen murni sehingga diperoleh indeks kuat tekannya (SAI).

Dari hasil uji fisik, kimia, serta mekanik tersebut didapatkan hubungan dari setiap sifat yang dimiliki fly ash. Didapatkan bahwa uji fisik seperti kehalusan dan sifat fisik lainnya mempengaruhi kuat tekan. Tetapi, prosentase CaO dan prosentase soluble fly ash juga mempengaruhi sifat mekaniknya.

Dari uji mekanik yang telah dilakukan direkomendasikan memakai metode 2 sesuai ASTM C 311-2. dan Metode 1.

Kata kunci : Fly Ash, Spesific Surface Area, X-Ray Diffractometer, X-Ray Fluorossenc, Soluble.

CHARACTERISTICH OF FLY ASH BASED ON PHYSICAL AND CHEMICAL FROM READY MIX CONCRETE COMPANY AND FACTORY WASTE TOWARD MECHANICAL OF PASTA AND MORTAR

Student Name : M Bahrul Ulum
NRP : 3110100073
Department : Civil Engineering ITS
Academic Supervisor : Dr. Eng Januarti Jaya
Ekaputri, ST. MT.
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.

Abstract

This research is conducting to quality of fly ash in East Java. Samples of fly ash obtained as many as 16 samples fly ash have been examined from 6 companies

This research there are several tests have been conducted to determine the quality of fly ash. The test included physical testing, chemical testing and mechanical testing for mortar and pasta. Physical testing was including moisture content, loss of ignition, fineness, consistency normal, specific gravity and the specific surface area. Chemical characterization has also analyzed for X-Ray Diffractometer, X-Ray Fluorossence and soluble test of the fly ash. Meanwhile for the mechanical testing was performed for sylindrical specimens. The specimenswith opc mixed with fly ash as cement substitutias. There are six methods to make all specimens defende on some standards and purposes. At compressive strength test specific age was conducted to compare all the specimens aith the control.

It was shown that the physical properties was the key factor to lead the compressive strength rather than the chemical properties. However CaO content and soluble of fly ash play an important role to enhance the mechanical properties. It

recommended to use method no.2 according to ASTM C311-02 and methods no.1.

Keywords: Fly Ash, Specific Surface Area, X-Ray Diffractometer, X-Ray Fluoroscenc, Soluble.

**KARAKTERISTIK FISIK DAN KIMIA FLY ASH DARI
PERUSAHAAN READY MIX BETON DAN LIMBAH
PABRIK TERHADAP SIFAT MEKANIK PASTA DAN
MORTAR**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :
MI BAHRUL ULUM
NRP : 3110 100 073

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr.Eng Januarti Jaya Ekaputri, ST., MT(Pembimbing I)
NIP. 197401122003012001

Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA(Pembimbing II)
NIP. 195103091974122001

**SURABAYA
JULI, 2014**

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena atas berkah, rahmat, dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Karakteristik Fisik dan Kimia Fly Ash dari perusahaan Ready Mix Beton dan Limbah Pabrik Terhadap Sifat Mekanik Pasta dan Mortar* ini dengan baik dan tepat waktu.

Adapun Tugas Akhir ini dibuat dengan tujuan untuk memenuhi syarat kelulusan Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil ITS Surabaya. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan kontribusi yang nyata dalam bidang ketekniksipilan.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi atas terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini, diantaranya :

1. Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST., MT., dan Prof. Dr. Ir. Triwulan., selaku dosen pembimbing, yang telah membimbing, memberi masukan, nasehat serta dukungan selama pengerjaan tugas akhir ini.
2. Ayah dan Ibu yang telah memberikan dukungan untuk saya dalam menyelesaikan kuliah.
3. Laboran dari Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan, Pak Harjo, Pak Totok, dan kawan-kawan yang telah mengawasi dan memberi arahan selama pengujian dan pembuatan sampel penelitian.
4. Teman – teman Aries, Basshofi, Gentar, serta Dimas yang mau membantu dalam pengambilan sampel serta pengujian sampel penelitian.
5. Bapak Trieddy, Mas Rizki, dan Pak Heri yang bersedia membantu untuk melakukan uji kimia di Semen Gresik.
6. Serta teman – teman dan pihak-pihak lainnya, khususnya teman - teman dari “H.O.T” yang telah membantu dalam pembuatan sampel benda uji, serta telah membantu dalam mencari referensi yang lumayan, yang tidak bisa penulis

tuliskan satu persatu saya ucapkan terimakasih atas segala jenis bantuannya baik secara fisik maupun psikis yang tidak bias saya ganti satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan untuk pengembangan selanjutnya. Akhir kata, semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi generasi berikutnya.

Surabaya, Juni 2014

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I : PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan	4
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Batu Bara	5
2.2 Fly Ash	8
2.3 Portland Cement	12
2.4 Agregat Halus	14
2.5 Air	15
BAB III : METODOLOGI	17
3.1 Diagram Alir Metodologi	17
3.2 Studi Literatur	18
3.3 Studi Wawancara	19
3.4 Pengambilan Sampel	22
3.5 Uji Sampel	26
3.6 Analisa Hasil	44
BAB IV : HASIL DAN ANALISA UJI FISIK , KIMIA, DAN MEKANIK FLY ASH	45

4.1	Analisa Sifat Fisik Fly Ash	45
4.1.1	Kondisi Fisik Fly Ash	45
4.1.2	Kadar Air	48
4.1.3	Kerugian Akibat Pengapian	49
4.1.4	Fineness	51
4.1.5	Konsistensi Normal	52
4.1.6	Berat Jenis	53
4.1.7	Spesific Surface Area dan Particel Size Distribution	54
4.2	Analisa Sifat Kimia Fly Ash	60
4.2.1	Tes XRD (X-Ray Diffractometer)	60
4.2.2	Tes XRF (X-Ray Fluoroscen)	63
4.2.3	Tes Insoluble Fly Ash	69
4.3	Analisa Sifat Mekanik Fly Ash	70
4.4	Hubungan Sifat Fisik dengan Mekanik Fly Ash	96
4.4.1	Hubungan Kadar Air dengan Strength Activity Index	96
4.4.2	Hubungan Kerugian Akibat Pengapian dengan Strength Activity Index	101
4.4.3	Hubungan Kehalusan dengan Strength Activity Index	106
4.4.4	Hubungan Konsistensi Normal dengan Strength Activity Index	117
4.4.5	Hubungan Berat Jenis dengan Strength Activity Index	121
4.4.6	Hubungan Spesific dengan Strength Activity Index	131
4.5	Hubungan Sifat Kimia dengan Mekanik Fly Ash	131
4.5.1	Hubungan Banyak Quartz dengan Strength Activity Index	131
4.5.2	Hubungan Banyak Prosentase SiO ₂ dengan Strength Activity Index	136

4.5.3	Hubungan Banyak Prosentase Al_2O_3 dengan Strength Activity Index	141
4.5.4	Hubungan Banyak Prosentase Fe_2O_3 dengan Strength Activity Index	146
4.5.5	Hubungan Banyak Prosentase CaO dengan Strength Activity Index	151
4.5.6	Hubungan Prosentase Soluble Fly Ash dengan Strength Activity Index	156
BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN		163
5.1	Kesimpulan	163
5.2	Saran	164

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Unsur Kimia Penyusun Coal Ash	10
Tabel 2.2	Senyawa dalam semen	12
Tabel 3.1	Periode Pengambilan Sampel	21
Tabel 3.2	Unsur Kimia Coal Ash menurut ASTM C618	33
Tabel 3.3	Mix design pembuatan mortar	37
Tabel 3.4	Mix design pembuatan pasta	40
Tabel 4.1	Pemberian Kode Fly Ash	45
Tabel 4.2	Hasil Percobaan Kadar Air	48
Tabel 4.3	Hasil Percobaan Kerugian Akibat Pengapian (Loss of Ignition)	49
Tabel 4.4	Hasil Percobaan Fineness	51
Tabel 4.5	Hasil Percobaan Kebutuhan Air	52
Tabel 4.6	Hasil Percobaan Berat Jenis	53
Tabel 4.7	Nilai SSA dan Prosentase Berat Lolos Ayakan No. 325	54
Tabel 4.8	Simbol Senyawa dalam Fly Ash Hasil Uji XRD	60
Tabel 4.9	Sifat Kimia Fly Ash Berdasarkan ASTM C618	63
Tabel 4.10	Daftar Index Analisa Kimia Fly Ash	64

Tabel 4.11	Kandungan Prosentase Oksida	66
Tabel 4.12	Konfirmasi Data Kimia Menurut ASTM dan CSA	67
Tabel 4.13	Prosentase Soluble Fly Ash	69
Tabel 4.14	Kuat Tekan Mortar Metode I	71
Tabel 4.15	Kuat Tekan Mortar Metode II	72
Tabel 4.16	Kuat Tekan Mortar Metode III	73
Tabel 4.17	Kuat Tekan Mortar Metode IV	75
Tabel 4.18	Kuat Tekan Mortar Metode V	77
Tabel 4.19	Kuat Tekan Mortar Metode VI	77
Tabel 4.20	Standar Deviasi Kontrol Beton	79
Tabel 4.21	Perhitungan delta (Δ) serta standar deviasi	87
Tabel 4.22	Strength Activity Index Pada Kuat Tekan Mortar dan Pasta	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rumus Banguna Batu Bara	5
Gambar 2.2	Proses Terbentuknya Fly Ash	8
Gambar 2.3	Ukuran fly ash dan beberapa material	9
Gambar 3.1	Diagram alir metodologi	18
Gambar 3.2	Truck Mixer untuk pencampuran beton	25
Gambar 3.3	Tempat penyimpanan fly ash di PT. Surya Beton Indonesia	25
Gambar 3.4	Mesin furnace setelah selesai pembakaran.	28
Gambar 3.5	Alar Vicat	31
Gambar 3.6	Labu Ukur	32
Gambar 3.7	Mesin Scirocco 2000	33
Gambar 3.8	Mesin ARL ADVAN'T Sequential XRF IntelliPower	34
Gambar 3.9	Proses pemindahan kertas saring	36
Gambar 3.10	Proses Curing mortar dengan perendaman didalam air	39
Gambar 3.11	Proses Curing Mortar dengan dimasukkan kedalam plastik	39
Gambar 3.12	Proses Steam Curing	42

Gambar 3.13	Mesin Tes Tekan	44
Gambar 4.1a	Fly Ash yang berasal dari PT. Surya Beton Indonesia	46
Gambar 4.1b	Fly Ash yang berasal dari PT. Varia Usaha Beton sumber Jepara	46
Gambar 4.1c	Fly Ash yang berasal dari PT. Varia Usaha Beton sumber Paiton	46
Gambar 4.1d	Fly Ash yang berasal dari PT. Semen Indonesia	47
Gambar 4.1e	Fly Ash yang berasal dari PT. Prima Elektrik Power	47
Gambar 4.1f	Fly Ash yang berasal dari PT. Kertas Leces	47
Gambar 4.1g	Fly Ash yang berasal dari PT. Kasmaji Inti Utama	48
Gambar 4.1h	Ordinary Portland Cement (OPC) yang berasal dari PT. Semen Indonesia	48
Gambar 4.2	Distribusi Partikel Fly Ash dan OPC	56
Gambar 4.3a	Distribusi Partikel Fly Ash SB	57
Gambar 4.3b	Distribusi Partikel Fly Ash VJ	57
Gambar 4.3c	Distribusi Partikel Fly Ash VP	57
Gambar 4.3d	Distribusi Partikel Fly Ash SI	57
Gambar 4.3e	Distribusi Partikel Fly Ash PE	58

Gambar 4.3f	Distribusi Partikel Fly Ash KL	58
Gambar 4.3g	Distribusi Partikel Fly Ash KI	58
Gambar 4.4	Distribusi Partikel Fly Ash dan OPC	59
Gambar 4.5	XRD Fly Ash Surya Beton Indonesia 1	61
Gambar 4.6	Mineralogi Fly Ash & OPC	62
Gambar 4.7a	Grafik Kuat Tekan Mortar Metode I	80
Gambar 4.7b	Grafik Kuat Tekan Mortar Metode II	80
Gambar 4.7c	Grafik Kuat Tekan Mortar Metode III	81
Gambar 4.7d	Grafik Kuat Tekan Mortar Metode IV	81
Gambar 4.7e	Grafik Kuat Tekan Mortar Metode V	82
Gambar 4.7f	Grafik Kuat Tekan Mortar Metode VI	82
Gambar 4.8	Grafik Perbandingan Metode I, III, IV	83
Gambar 4.9	Grafik Perbandingan Metode V, VI	83
Gambar 4.10	Grafik Perbandingan Nilai Kuat Tekan 6 Metode	84
Gambar 4.11	Grafik Nilai Kuat Tekan 6 Metode	85
Gambar 4.12a	Grafik Nilai Strength Activity Index Metode I	91
Gambar 4.12b	Grafik Nilai Strength Activity Index Metode II	91

Gambar 4.12c	Grafik Nilai Strength Activity Index Metode III	92
Gambar 4.12d	Grafik Nilai Strength Activity Index Metode IV	92
Gambar 4.12e	Grafik Nilai Strength Activity Index Metode V	93
Gambar 4.12f	Grafik Nilai Strength Activity Index Metode VI	93
Gambar 4.13	Nilai Strength Activity 6 Metode	94
Gambar 4.14	Grafik Strength Activity 6 Metode	95
Gambar 4.15a	Hubungan Kadar Air dengan SAI (1)	96
Gambar 4.15b	Hubungan Kadar Air dengan SAI (2)	97
Gambar 4.15c	Hubungan Kadar Air dengan SAI (3)	97
Gambar 4.15d	Hubungan Kadar Air dengan SAI (4)	98
Gambar 4.15e	Hubungan Kadar Air dengan SAI (5)	98
Gambar 4.15f	Hubungan Kadar Air dengan SAI (6)	99
Gambar 4.16	Hubungan Kadar Air dengan SAI	100
Gambar 4.17a	Hubungan LOI dengan SAI (1)	101
Gambar 4.17b	Hubungan LOI dengan SAI (2)	102
Gambar 4.17c	Hubungan LOI dengan SAI (3)	102

Gambar 4.17d	Hubungan LOI dengan SAI (4)	103
Gambar 4.17e	Hubungan LOI dengan SAI (5)	103
Gambar 4.17f	Hubungan LOI dengan SAI (6)	104
Gambar 4.18	Hubungan LOI dengan SAI	105
Gambar 4.19a	Hubungan Fineness (a) dengan SAI (1)	106
Gambar 4.19b	Hubungan Fineness (a) dengan SAI (2)	107
Gambar 4.19c	Hubungan Fineness (a) dengan SAI (3)	107
Gambar 4.19d	Hubungan Fineness (a) dengan SAI (4)	108
Gambar 4.19e	Hubungan Fineness (a) dengan SAI (5)	108
Gambar 4.19f	Hubungan Fineness (a) dengan SAI (6)	109
Gambar 4.20	Hubungan Fineness (a) dengan SAI	110
Gambar 4.21a	Hubungan Fineness (b) dengan SAI (1)	111
Gambar 4.21b	Hubungan Fineness (b) dengan SAI (2)	112
Gambar 4.21c	Hubungan Fineness (b) dengan SAI (3)	112
Gambar 4.21d	Hubungan Fineness (b) dengan SAI (4)	113
Gambar 4.21e	Hubungan Fineness (b) dengan SAI (5)	113
Gambar 4.21f	Hubungan Fineness (b) dengan SAI (6)	114
Gambar 4.22a	Hubungan Fineness (b) dengan SAI	115

Gambar 4.22b	Hubungan SAI rata – rata dengan Fineness (b) untuk ukuran 3, 5, 15 dan 25 μm	115
Gambar 4.23a	Hubungan Konsistensi Normal dengan SAI (1)	117
Gambar 4.23b	Hubungan Konsistensi Normal dengan SAI (2)	117
Gambar 4.23c	Hubungan Konsistensi Normal dengan SAI (3)	118
Gambar 4.23d	Hubungan Konsistensi Normal dengan SAI (4)	118
Gambar 4.23e	Hubungan Konsistensi Normal dengan SAI (5)	119
Gambar 4.23f	Hubungan Konsistensi Normal dengan SAI (6)	119
Gambar 4.24	Hubungan Konsistensi Normal dengan SAI	120
Gambar 4.25a	Hubungan Berat Jenis dengan SAI (1)	121
Gambar 4.25b	Hubungan Berat Jenis dengan SAI (2)	122
Gambar 4.25c	Hubungan Berat Jenis dengan SAI (3)	122
Gambar 4.25d	Hubungan Berat Jenis dengan SAI (4)	123
Gambar 4.25e	Hubungan Berat Jenis dengan SAI (5)	123

Gambar 4.25f	Hubungan Berat Jenis dengan SAI (6)	124
Gambar 4.26	Hubungan Berat Jenis dengan SAI	125
Gambar 4.27a	Hubungan SSA dengan SAI (1)	126
Gambar 4.27b	Hubungan SSA dengan SAI (2)	127
Gambar 4.27c	Hubungan SSA dengan SAI (3)	127
Gambar 4.27d	Hubungan SSA dengan SAI (4)	128
Gambar 4.27e	Hubungan SSA dengan SAI (5)	128
Gambar 4.27f	Hubungan SSA dengan SAI (6)	129
Gambar 4.28	Hubungan SSA dengan SAI	130
Gambar 4.29a	Hubungan Quartz dengan SAI (1)	131
Gambar 4.29b	Hubungan Quartz dengan SAI (2)	132
Gambar 4.29c	Hubungan Quartz dengan SAI (3)	132
Gambar 4.29d	Hubungan Quartz dengan SAI (4)	133
Gambar 4.29e	Hubungan Quartz dengan SAI (5)	133
Gambar 4.29f	Hubungan Quartz dengan SAI (6)	134
Gambar 4.30	Hubungan Quartz dengan SAI	135
Gambar 4.33a	Hubungan Prosentase SiO ₂ dengan SAI (1)	136

Gambar 4.33b	Hubungan Prosentase SiO ₂ dengan SAI (2)	137
Gambar 4.33c	Hubungan Prosentase SiO ₂ dengan SAI (3)	137
Gambar 4.33d	Hubungan Prosentase SiO ₂ dengan SAI (4)	138
Gambar 4.33e	Hubungan Prosentase SiO ₂ dengan SAI (5)	138
Gambar 4.33f	Hubungan Prosentase SiO ₂ dengan SAI (6)	139
Gambar 4.34	Hubungan Prosentase SiO ₂ dengan SAI	140
Gambar 4.35a	Hubungan Prosentase Al ₂ O ₃ dengan SAI (1)	141
Gambar 4.35b	Hubungan Prosentase Al ₂ O ₃ dengan SAI (2)	142
Gambar 4.35c	Hubungan Prosentase Al ₂ O ₃ dengan SAI (3)	142
Gambar 4.35d	Hubungan Prosentase Al ₂ O ₃ dengan SAI (4)	143
Gambar 4.35e	Hubungan Prosentase Al ₂ O ₃ dengan SAI (5)	143
Gambar 4.35f	Hubungan Prosentase Al ₂ O ₃ dengan SAI (6)	144

Gambar 4.36	Hubungan Prosentase Al_2O_3 dengan SAI	145
Gambar 4.37a	Hubungan Prosentase Fe_2O_3 dengan SAI (1)	146
Gambar 4.37b	Hubungan Prosentase Fe_2O_3 dengan SAI (2)	147
Gambar 4.37c	Hubungan Prosentase Fe_2O_3 dengan SAI (3)	147
Gambar 4.37d	Hubungan Prosentase Fe_2O_3 dengan SAI (4)	148
Gambar 4.37e	Hubungan Prosentase Fe_2O_3 dengan SAI (5)	148
Gambar 4.37f	Hubungan Prosentase Fe_2O_3 dengan SAI (6)	149
Gambar 4.38	Hubungan Prosentase Fe_2O_3 dengan SAI	150
Gambar 4.39a	Hubungan Prosentase CaO dengan SAI (1)	151
Gambar 4.39b	Hubungan Prosentase CaO dengan SAI (2)	152
Gambar 4.39c	Hubungan Prosentase CaO dengan SAI (3)	152

Gambar 4.39d	Hubungan Prosentase CaO dengan SAI (4)	153
Gambar 4.39e	Hubungan Prosentase CaO dengan SAI (5)	153
Gambar 4.39f	Hubungan Prosentase CaO dengan SAI (6)	154
Gambar 4.40	Hubungan Prosentase CaO dengan SAI	155
Gambar 4.41a	Hubungan Soluble dengan SAI (1)	156
Gambar 4.41b	Hubungan Soluble dengan SAI (2)	157
Gambar 4.41c	Hubungan Soluble dengan SAI (3)	157
Gambar 4.41d	Hubungan Soluble dengan SAI (4)	158
Gambar 4.41e	Hubungan Soluble dengan SAI (5)	158
Gambar 4.41f	Hubungan Soluble dengan SAI (6)	159
Gambar 4.42	Hubungan Soluble dengan SAI	160

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin menjamurnya pabrik – pabrik di Indonesia yang beroperasi dengan memanfaatkan energi pembakaran batu bara, semakin banyak pula limbah batu bara yang berupa abu terbang akan dihasilkan. Batu bara tersebut banyak dimanfaatkan oleh industri – industri pembangkit listrik sebagai bahan baku untuk menghasilkan energi listrik, salah satunya yaitu PLTU Paiton yang merupakan PLTU terbesar yang beroperasi di Jawa Timur. Sisa limbah pembakaran batu bara tersebut banyak dimanfaatkan oleh pabrik – pabrik lokal sebagai campuran dalam pembuatan semen. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia diperkirakan pada tahun 2014 produksi batubara di Indonesia mencapai 368.9 juta ton dan 25.9% atau 95.5 juta ton dipergunakan untuk kebutuhan domestic .

Selain fly ash, dalam pembakaran batu bara juga dihasilkan abu yang relatif berat sehingga jatuh di dasar furnace sehingga disebut bottom ash. Biasanya, setiap pembakaran batu bara berkualitas baik, dihasilkan sekitar 10 - 12% fly ash dan bottom ash. Jika digunakan batu bara berkualitas rendah, fly ash dan bottom ash yang dihasilkan sekitar 28-30%. Produksi fly ash dan bottom ash di Indonesia pada tahun 2014 diperkirakan sebesar 12 juta ton (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2013). Dengan pemanfaatan limbah batu bara sebagai bahan campuran beton dapat menekan biaya yang akan dikeluarkan dari pada hanya memakai semen. Namun, Semakin banyaknya perusahaan yang memanfaatkan batu bara semakin banyak pula limbah batu bara yang berupa abu bakar dihasilkan, dan akan berpengaruh terhadap kesehatan bagi masyarakat sekitar.

Dalam tugas akhir ini akan dianalisa karakteristik secara fisik, kimia, serta mekanik dari fly ash yang dipakai oleh beberapa perusahaan readymix beton, serta beberapa perusahaan yang menghasilkan fly ash dalam kegiatan oprasionalnya seperti pabrik kertas dan pabrik alkali. Analisa mengenai karakteristik secara fisik dan kimia juga pernah dibahas dalam tugas akhir sebelumnya, namun dalam tugas akhir sebelumnya berkonsentrasi terhadap produsen skala besar yaitu PLTU Paiton, serta masih hanya menganalisa sifat fisik, kimia, dan mekanik dari fly ash tanpa ada analisa lebih lanjut mengenai hubungan antara sifat – sifat tersebut dengan kualitas dari fly ash (Priadana, 2012). Analisa karakteristik secara fisik dan kimia fly ash ini sangat lah dibutuhkan karena dapat membantu menganalisa sifat – sifat fisik, mekanik dan kimia fly ash yang tersebar dikalangan konsumen. Sampai saat ini analisa sifat fisik dan kimia fly ash hanya dilakukan oleh pihak – pihak yang memanfaatkan fly ash sebagai bahan substitusi dalam proses produksi, seperti halnya pada perusahaan ready mix.

Dua puluh tahun terakhir ini perusahaan – perusahaan ready mix beton di Indonesia, terutama di Surabaya mulai melirik fly ash sebagai bahan substitusi untuk campuran beton, abu terbang sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silica yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat (ASTM C618). Selain sebagai bahan substitusi dalam mix design fly ash juga dimanfaatkan dalam pembuatan beton geopolimer, beton yang dalam pembuatannya tidak memakai semen dan menggantinya dengan fly ash sebagai bahan yang lebih ramah lingkungan (Ekaputri, 2013). Serta fly ash juga dimanfaatkan dalam perkuatan stabilitas tanah (Wardani, 2008).

Sifat fisik diperoleh dengan dilakukannya uji fisik seperti uji kadar air, kerugian pengapian, density, fineness dan kebutuhan air terhadap masing – masing sampel fly ash. Sementara untuk memperoleh unsur – unsur kimia yang terdapat dalam fly ash tersebut akan dilakukan pengujian XRD (X-ray diffractometer) untuk memperoleh data mengenai mineral yang terdapat dalam fly ash dan pengujian XRF (X-ray fluorescent) untuk memperoleh data mengenai kadar oksida yang terkandung dalam fly ash. Sementara untuk sifat mekanik yang terdapat dalam fly ash tersebut dengan melakukan tes tekan dengan membuat benda uji berupa mortar yang berbentuk silinder. Dari hasil ketiga pengujian tersebut nantinya akan ditarik sebuah kesimpulan mengenai hubungan masing – masing pengujian dengan pengujian lainnya, dan akan diperoleh metode yang tepat dalam penentuan kualitas dari fly ash.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas dapat diambil beberapa rumusan masalah terkait dengan karakteristik fly ash diantaranya :

1. Bagaimana hubungan sifat fisik dengan sifat kimia pada fly ash ?
2. Bagaimana hubungan sifat kimia dengan sifat mekanik pada fly ash ?
3. Bagaimana hubungan sifat mekanik dengan sifat fisik pada fly ash ?
4. Bagaimana metode terbaik dalam menentukan kualitas fly ash ?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari pembahasan tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Mengetahui hubungan sifat fisik dengan sifat kimia pada fly ash.
2. Mengetahui hubungan sifat kimia dengan sifat mekanik pada fly ash.
3. Mengetahui hubungan sifat mekanik dengan sifat fisik pada fly ash.
4. Mengetahui metode terbaik dalam menentukan kualitas fly ash.

1.4 Batasan Masalah

Dari beberapa masalah yang timbul diatas penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Pembuatan benda uji hanya berupa mortar dan pasta silinder dengan ukuran 5 x 10 cm dan digunakan sebagai data primer.
2. Pengambilan sampel fly ash untuk di uji di laboratorium di ambil dari perusahaan ready mix beton, dan produsen fly ash yang digunakan sebagai data sekunder.
3. Hasil uji sampel di laboratorium akan digunakan sebagai pembandingan dengan uji yang lainnya.

1.5 Manfaat

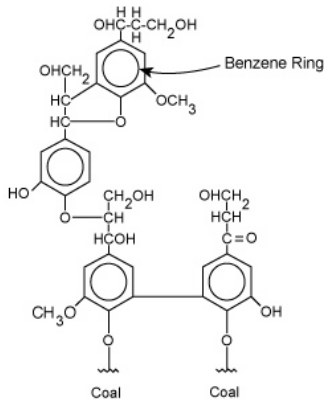
Manfaat yang diharapkan dari Tugas Akhir ini yaitu dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam mengetahui sifat – sifat fly ash. Dimana nantinya para pelaku industri yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakar dan menghasilkan limbah berupa fly ash , serta perusahaan ready mix yang memanfaatkan fly ash sebagai bahan substitusi dapat memiliki acuan dalam mengetahui sifat – sifat fisik, kimia, serta mekanik fly ash yang sering digunakan secara umum. Sehingga karakteristik fly ash bagi para konsumen dan produsen fly ash di Indonesia dapat diklasifikasikan dengan baik dan dapat dimanfaatkan secara maksimal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Batu Bara

Batu bara merupakan batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pematubaraan. Unsur - unsur utama terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen dan termasuk salah satu bahan bakar fosil. Batu bara juga adalah batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk. Analisis unsur memberikan rumus formula empiris seperti $C_{137}H_{97}O_9NS$ untuk bituminus dan $C_{240}H_{90}O_4NS$ untuk antrasit (USGS, 2012 dalam Rizqi, 2012).



Gambar 2.1 Rumus bangun batubara (USGS, 2012 dalam rizqi, 2012)

2.1.1 Kelas dan jenis batu bara

Berdasarkan tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, batu bara umumnya dibagi dalam lima kelas: antrasit, bituminus, sub-bituminus, lignit dan gambut (Source European Association for coal and lignit, 2014) :

- **Antrasit** adalah kelas batu bara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (*luster*) metalik, mengandung antara 86% - 98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.
- **Bituminus** mengandung 68 - 86% unsur karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya. Kelas batu bara yang paling banyak ditambang di Australia.
- **Sub-bituminus** mengandung sedikit karbon dan banyak air, dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus.
- **Lignit** atau batu bara coklat adalah batu bara yang sangat lunak yang mengandung air 35-75% dari beratnya.
- **Gambut**, berpori dan memiliki kadar air di atas 75% serta nilai kalori yang paling rendah.

2.1.2 Sumber daya batu bara

Potensi sumberdaya batu bara di Indonesia sangat melimpah, terutama di Pulau Kalimantan dan Pulau Sumatera, sedangkan di daerah lainnya dapat dijumpai batu bara walaupun dalam jumlah kecil dan belum dapat ditentukan keekonomisannya, seperti di Jawa Barat, Jawa Tengah, Papua, dan Sulawesi.

Badan Geologi Nasional pada tahun 2013 memperkirakan Indonesia masih memiliki 160 miliar ton

cadangan batu bara yang belum dieksplorasi. Cadangan tersebut sebagian besar berada di Kalimantan Timur dan Sumatera Selatan. Namun upaya eksplorasi batu bara kerap terkendala status lahan tambang. Daerah-daerah tempat cadangan batu bara sebagian besar berada di kawasan hutan konservasi. Rata-rata produksi pertambangan batu bara di Indonesia mencapai 300 juta ton per tahun. Dari jumlah itu, sekitar 10 persen digunakan untuk kebutuhan energi dalam negeri, dan sebagian besar sisanya (90 persen lebih) diekspor ke luar.

Di Indonesia, batu bara merupakan bahan bakar utama selain solar (*diesel fuel*) yang telah umum digunakan pada banyak industri, dari segi ekonomis batu bara jauh lebih hemat dibandingkan solar. Dari segi kuantitas batu bara termasuk cadangan energi fosil terpenting bagi Indonesia. Jumlahnya sangat berlimpah, mencapai puluhan milyar ton. Jumlah ini sebenarnya cukup untuk memasok kebutuhan energi listrik hingga ratusan tahun ke depan. Sayangnya, Indonesia tidak mungkin membakar habis batu bara dan mengubahnya menjadi energis listrik melalui PLTU. Selain mengotori lingkungan melalui polutan CO₂, SO₂, NO_x dan C_xH_y cara ini dinilai kurang efisien dan kurang memberi nilai tambah tinggi (Sukandarrumidi, 2006 dalam Rizqi 2012).

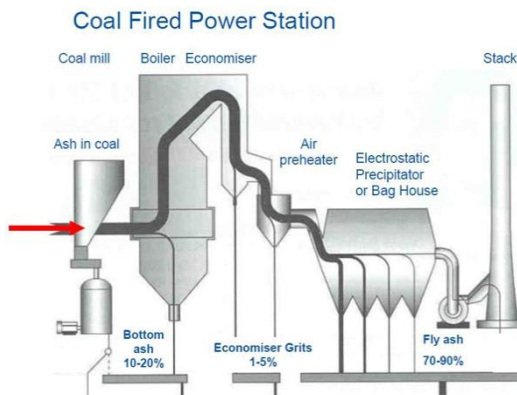
Batu bara sebaiknya tidak langsung dibakar, akan lebih bermakna dan efisien jika dikonversi menjadi migas sintetis, atau bahan petrokimia lain yang bernilai ekonomi tinggi. Dua cara yang dipertimbangkan dalam hal ini adalah likuifikasi (pencairan) dan gasifikasi (penyubliman) batu bara (Sukandarrumidi, 2006 dalam Rizqi 2012).

Membakar batu bara secara langsung (*direct burning*) telah dikembangkan teknologinya secara continue, yang bertujuan untuk mencapai efisiensi pembakaran yang maksimum, cara - cara pembakaran langsung seperti: *fixed grate*, *chain grate*, *fluidized bed*, *pulverized*, dan lain - lain,

masing - masing mempunyai kelebihan dan kelemahannya (Sukandarrumidi, 2006 dalam Rizqi 2012).

2.2 Fly Ash

Menurut SNI 03-6414-2002 fly ash atau abu terbang ialah limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolantik. Sementara menurut ASTM C-618 mendefinisikan sebagai butiran halus residu pembakaran batubara atau bubuk batu bara.

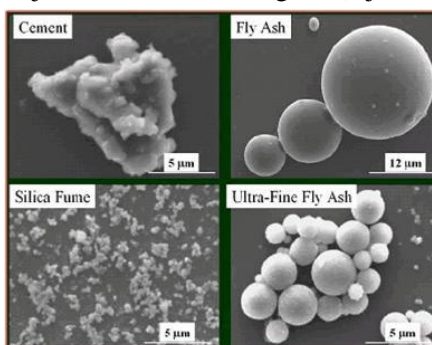


Gambar 2.2 Proses terbentuknya fly ash (Nji, 2014)

Fly ash terutama terdiri atas senyawa silicate glass yang mengandung silika (Si), alumina (Al), ferrum (Fe), dan kalsium (Ca). Kandungan kecil senyawa lain yang terdapat dalam fly ash adalah magnesium (Mg), sulfur (S), sodium (Na), potassium (P), dan karbon (C). Kandungan bahan berbahaya yang ada dalam fly ash antara lain : arsenic, berilium, boron, cadmium, chromium, cobalt, lead, mangan, merkuri, selenium, strontium, thallium, vanadium, juga

mengandung dioksin dan senyawa PAH (polycyclic aromatic hydrocarbon). Fly ash umumnya terdiri dari partikel solid yang berbentuk bulat, dan sebagian adalah partikel bulat berongga serta partikel bulat yang berisi partikel-partikel bulat lain yang lebih kecil (Nji, 2014).

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 $50\ \mu\text{m}$. Luas permukaan fly ash umumnya berkisar $300\ \text{m}^2/\text{kg} - 500\ \text{m}^2/\text{kg}$ fly ash, dengan batas bawah $200\ \text{m}^2/\text{kg}$ dan batas atas $700\ \text{m}^2/\text{kg}$. Specific Gravity (Gs) fly ash bervariasi, ada beberapa institusi yang memberikan rentang nilai specific gravity, rentang terbesar yang diberikan dari institusi-institusi tersebut adalah antara 1.6 – 3.1. Pada umumnya specific gravity material fly ash berkisar antara 1.9 – 2.55. Massa jenis fly ash dalam kondisi loose berkisar $540 - 860\ \text{kg}/\text{m}^3$, dan dalam kondisi dengan penggetaran dalam kemasan pada umumnya mempunyai massa jenis $1.120 - 1.500\ \text{kg}/\text{m}^3$ (Nji, 2014).



Gambar 2.3 Ukuran fly ash dan beberapa material (Anonim, 2014)

Coal ash yang dapat digunakan untuk campuran pengganti sebagian semen dalam beton diatur dalam 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 :

Tabel 2.1 Unsur Kimia Penyusun Coal Ash

COMPOUND		F	C	N
Chemical				
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	max %	70	50	70
SO ₃	max %	5	5	3
Moisture Content	max %	3	3	3
Loss on Ignition	max %	6	6	10
Optional Chemical				
Available Alkalies	max %	1.5	1.5	1.5
Physical				
Fineness + 325 Mesh	max %	34	34	34
Strenght Activity/Cem	min %	75	75	75
Water Requirement	max %	105	105	115
Autoclave Expansion	max %	0.8	0.8	0.8
Uniformity Requirements				
Density Max. Var.	max %	5	5	5
Fineness points Var.	max %	5	5	5
Optional Physical				
Multiple factor		225	-	-
Inc. In Drying Shrinkage	max %	0.03	0.03	0.03
Uniformity Requirements				
A.E. Admixture Demand	max %	20	20	20
Control of ASR				

Expansion, % of low alkali cement	max %	100	100	100
Sulfate Resistance				
Moderate exposure, 6 months	max %	0.1	0.1	0.1
High exposure, 6 months	max %	0.05	0.05	0.05

i. Kelas F

- Fly ash yang mengandung CaO lebih kecil dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batubara (bituminous).
- Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 70 %.
- Kadar CaO < 10 % (ASTM 20 %, CSA 8 %).
- Kadar karbon (C) berkisar antara 5 % -10 %.
- Fly ash kelas F disebut juga low-calcium fly ash, yang tidak mempunyai sifat cementitious dan hanya bersifat pozolanic.

ii. Kelas C

- Fly ash yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batubara (batubara muda / sub-bituminous).
- Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 50%.
- Kadar CaO > 10 % (ASTM 20 %, CSA menetapkan angka 8 - 20 % untuk tipe CI dan di atas 20 % untuk CH).
- Kadar karbon (C) sekitar 2 %.
- Fly ash kelas C disebut juga high-calcium fly ash Karena kandungan CaO yang cukup tinggi, fly ash tipe C mempunyai sifat cementitious selain juga sifat pozolan. Oleh karena fly ash tipe C mengandung kadar CaO

yang cukup tinggi dan mempunyai sifat cementitious, jika terkena air atau kelembaban, akan berhidrasi dan mengeras dalam waktu sekitar 45 menit.

iii. Kelas N

- Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah diatomic, opaline chert, shales, tuff dan abu vulkanik, yang mana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran. Selain itu juga mempunyai sifat pozzolan yang baik.

2.3 Portland Cement

Semen portland adalah bahan pengikat hidrolis berupa bubuk halus yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yaitu bahan yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis, dengan batu gips sebagai bahan tambahan (Mulyono, 2003 dalam Ghafur, 2010). Di dalam semen terdapat empat macam senyawa semen, di mana jumlah masing-masing senyawa seperti tercantum pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.2 Senyawa dalam semen (Anonim, 2014)

Mineral – mineral Klinker	Kadar Rata – rata (%)
Trikalsium silikat (C_3S)	37 – 60
Dikalsium silikat (C_2S)	15 – 37
Trikalsium aluminat (C_3A)	7 – 15
Tetra kalsium Alumina ferit (C_4AF)	10 – 20
Kapur bebas	≤ 1

Batu tahu (gips)

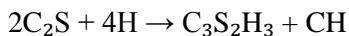
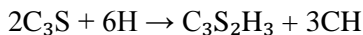
≤ 3

Jenis semen menurut ASTM dibedakan menjadi lima :

- a. Jenis I : Semen portland jenis umum (normal portland cement), yaitu jenis semen portland untuk penggunaan dalam konstruksi beton secara umum yang tidak memerlukan sifat-sifat khusus.
- b. Jenis II : Semen jenis umum dengan perubahan-perubahan (modified portland cement). Semen ini memiliki panas hidrasi lebih rendah dan keluarnya lebih lambat dari semen jenis I. Jenis ini digunakan untuk bangunan tebal-tebal seperti pilar dengan ukuran besar, tumpuan dan dinding penahan tanah tebal dan sebagainya. Jenis ini juga dapat digunakan untuk bangunan-bangunan drainase di tempat yang memiliki konsentrasi sulfat yang tinggi
- c. Jenis III : Semen portland dengan kekuatan awal tinggi (*high early strength portland cement*). Jenis ini memperoleh kekuatan besar dalam waktu singkat, sehingga dapat digunakan dalam perbaikan bangunan-bangunan beton yang perlu segera digunakan.
- d. Jenis IV : Semen portland dengan panas hidrasi yang rendah (*low heat portland cement*). Jenis ini merupakan jenis khusus untuk penggunaan yang menggunakan panas hidrasi yang serendah-rendahnya. Kekatannya meningkat secara lambat. Jenis ini digunakan untuk bangunan beton massa (masif) seperti bendungan-bendungan besar.

- e. Jenis V : Semen portland tahan sulfat (*sulfate resisting portland cement*). Jenis ini merupakan jenis khusus yang ditujukan hanya pada bangunan-bangunan di lingkungan sulfat, seperti di tanah atau air yang tinggi kadar alkalinnya. Pengerasan berjalan lebih lambat dari semen portland biasa.

Proses hidrasi semen merupakan proses pembentukan Calcium Silicate Hydrate ($C_3S_2H_3$). Senyawa ini terbentuk dari reaksi salah satu komponen semen *Tricalcium Silicate* (C_3S) dan *Dicalcium Silicate* (C_2S) dengan air (H_2O). Senyawa $C_3S_2H_3$ (*Calcium Silicate Hydrate*) merupakan senyawa yang memperkuat beton. Berikut ini adalah reaksi kimia yang terjadi dalam proses hidrasi semen :



Selain menghasilkan $C_3S_2H_3$ (Calcium Silicate Hydrate) senyawa lain yang dihasilkan dari proses hidrasi semen adalah CH (kapur mati). Senyawa ini bersifat yang porous, sehingga dapat mengurangi kekuatan beton. Hal ini dapat diatasi dengan penambahan suatu mineral silika seperti pozzolan pada campuran semen. Mineral silika akan bereaksi dengan CH (kapur mati) membentuk ($C_3S_2H_3$). Sehingga dapat meningkatkan kuat tekan beton (Winter, 2014).

2.4 Agregat Halus

Agregat halus dapat berupa pasir alam atau pasir hasil pengolahan batuan. Berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 3.3 bahwa agregat halus merupakan agregat yang memiliki

ukuran maksimum 5,00 mm. Dari pertimbangan workabilitas, proporsi agregat halus harus diperhitungkan. Dari 2-10% agregat halus harus lolos ayakan no. 100 (0.15 mm) dan 10-30% harus lolos ayakan no. 50 (0.3 mm).

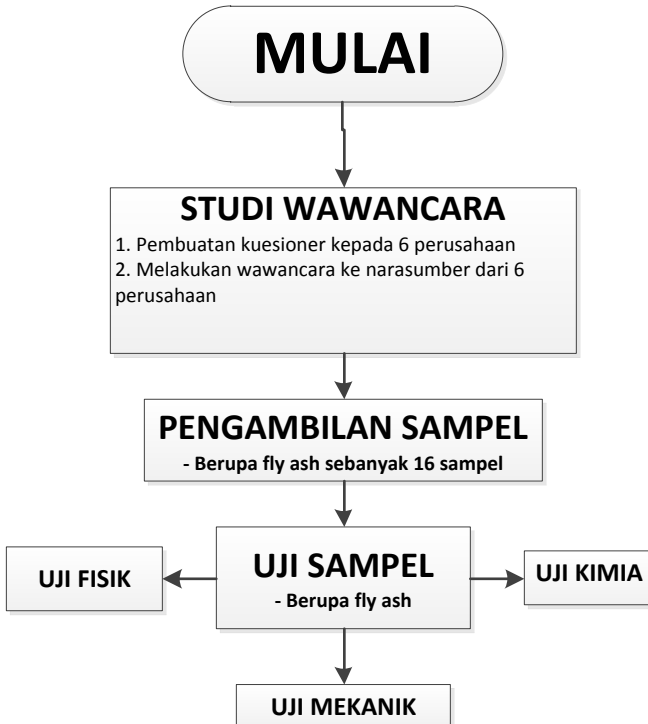
2.5 Air

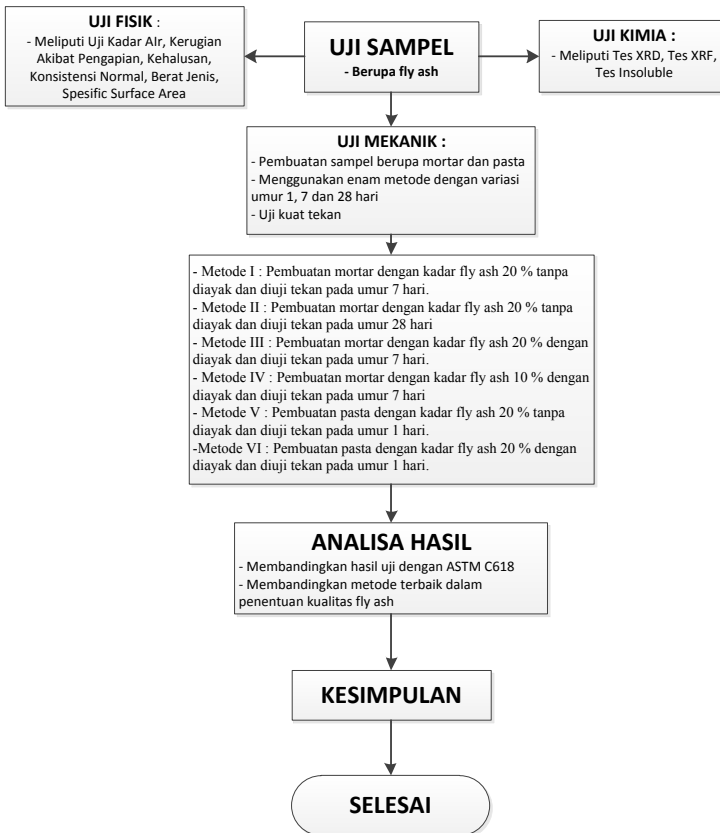
Reaksi kimia antara air dengan semen akan mempengaruhi karakter pasta semen. Sehingga bukan perbandingan jumlah air terhadap total (semen + agregat halus + agregat kasar) melainkan hanya perbandingan antara air dan semen yang menentukan kualitas pasta semen. Nilai perbandingan ini disebut dengan faktor air-semen. Jika jumlah air berlebihan menyebabkan banyak gelembung setelah proses hidrasi. Sehingga akan menyebabkan rongga-rongga udara akibatnya beton menjadi keropos. Sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai, akibatnya beton yang dihasilkan kekuatannya berkurang (Nawy, 2005 dalam Priadana 2012).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III
METODELOGI

3.1 Diagram Alir Metodologi





Gambar 3.1 Diagram alir metodologi

3.2 Studi Literatur

Dalam studi literature ini, yang akan dipelajari mengenai fly ash, bagaimana fly ash tersebut di peroleh, bagaimana cara untuk memanfaatkan fly ash tersebut hingga dapat dijadikan

bahan campuran dalam pembuatan beton. Literatur yang diperoleh dari jurnal – jurnal, prosiding, maupun makalah – makalah ilmiah yang diperoleh dari browsing di internet maupun dari sumber – sumber lain yang diperoleh dari perpustakaan.

3.3 Studi Wawancara

Studi wawancara dilakukan terhadap beberapa narasumber yang memanfaatkan serta memproduksi fly ash.

3.3.1 Wawancara terhadap konsumen fly ash

Sebelum melakukan wawancara terhadap narasumber, terlebih dahulu dibuat kuesioner yang berisi pertanyaan – pertanyaan yang akan ditanyakan kepada konsumen. Konsumen fly ash selaku narasumber terdiri dari beberapa perusahaan yaitu :

- PT. Surya Beton Indonesia
- PT. Varia Usaha Beton
- PT. Semen Indonesia

Pertanyaan yang ditanyakan serta jawaban saat wawancara yang diperoleh dari PT. Surya Beton Indonesia meliputi sebagai berikut :

1. Dari manakah fly ash diperoleh ?
 - Fly ash diperoleh sebagian besar dari paiton dan sebagian kecil dari Jepara.
2. Bagaimana periode pengambilan fly ash ?
 - Seminggu tiga kali pengambilan
3. Bagaimana jumlah fly ash yang diambil dalam satu periode ?
 - 30 ton

4. Bagaimana teknik penyimpanan fly ash yang menyangkut tempat penyimpanan dan temperature penyimpanan ?
 - Disimpan dalam silo dengan suhu ruangan dengan kapasitas silo 60 ton dan pada suhu ruangan
5. Setiap berapa periode fly ash disimpan dan berapa lama ?
 - Maksimal satu bulan
6. Sampai berapa lama fly ash disimpan hingga digunakan dalam bahan campurab substitusi semen ?
 - Setiap dua hari fly ash digunakan.
7. Bagaimana metode pengetesan fly ash ?
 - Uji fisik, uji kimia serta uji limbah dari fly ash yang mempengaruhi kualitas lingkungan hidup.

3.3.2 Wawancara terhadap produsen fly ash

Sebelum melakukan wawancara terhadap narasumber, terlebih dahulu dibuat kuesioner yang berisi pertanyaan – pertanyaan yang akan ditanyakan kepada produsen. Produsen fly ash selaku narasumber terdiri dari bebrapa perusahaan yaitu :

- PT. Kertas Leces
- PT. Prima Elektrik Power
- PT. Kasmaji Inti Utama

Pertanyaan yang ditanyakan serta jawaban saat wawancara yang diperoleh dari PT. Kertas Leces meliputi sebagai berikut :Proses pembakaran batubara

1. Dari mana saja asal batubara yang digunakan ?
 - Batu bara berasal dari Kalimantan Selatan
2. Bagaimana cara pengklasifikasian jenis batubara yang digunakan ?

- Klasifikasi batubara berdasarkan nilai kalor dan ash content
3. Apakah dalam pembakaran batubara menggunakan satu jenis batubara (dipilah-pilah terlebih dahulu) atau dicampur ?
 - Hanya satu jenis batu bara saja
 4. Apakah dalam pembakaran batubara menggunakan bahan campuran lain seperti kayu dan minyak ?
 - Tidak
 5. Berapa lama waktu pembakaran ?
 - Menggunakan CFB boiler sistem sirkulasi jadi tidak diketahui berapa lama waktunya.
 6. Apakah dari pembakaran batubara tersebut selalu menghasilkan type fly ash yang sama?
 - Tidak diperiksa tetapi fly ash yang dihasilkan 80% dari ash content batu bara. Ash content berkisar 5 – 9 %
- a. Kontrol kualitas
1. Bagaimana teknik penyimpanan fly ash menyangkut tempat penyimpanan dan temperatur penyimpanan (wet or dry system)?
 - Disimpan dalam silo tertutup
 2. Setiap berapa kali produksi fly ash disimpan dan berapa lama?
 - Tergantung boiler, bila boiler dibebani tinggi maka fly ash yang dihasilkan banyak berarti silo cepat penuh
 3. Apakah dalam penyimpanan fly ash dipisah atau dicampur dengan hasil pembakaran berikutnya?
 - Tidak, karena silo hanya satu buah.
 4. Sampai berapa lama fly ash disimpan hingga diambil oleh konsumen?
 - Sebelum volume silo penuh
- b. Data mengenai kuantitas produk yang dihasilkan?

1. Produk apa saja yang dihasilkan terkait sisa pembakaran batubara dan berapa persentasenya?
 - Fly ash dan bottom ash
- c. Sebaran konsumen
 1. Siapa saja pihak yang memanfaatkan fly ash dari tempat bapak?
 - Pihak yang memiliki ijin pengolahan
 2. Bagaimana periode pengambilan fly ash dari tempat bapak?
 - Setiap pihak yang memiliki ijin tersebut membutuhkan
- d. Proses pengangkutan fly ash sampai ke tangan konsumen
 1. Bagaimana proses pengangkutan fly ash oleh konsumen?
 - Dengan menggunakan truck tertutup
 2. Media penyimpanan apa yang digunakan?
 - Silo

2.4 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel berupa fly ash ini mengikuti petunjuk dan acuan yang telah ditetapkan pada ASTM C311 yaitu :

- Untuk grab samples atau regular samples harus memiliki berat minimal 2 kg
- Untuk composite samples harus memiliki berat minimal 8 kg
- Untuk Periode pengambilan sampel dapat dilihat dalam tabel

Tabel 3.1 Periode Pengambilan Sampel

Tipe Sampel	Sumber Baru	Sumber Lama
Reguler	Harian atau setiap 90 Mg (100 ton)	Harian atau setiap 360 Mg (400 ton)
Composite	Bulanan atau setiap 1800 Mg	Bulanan atau setiap 2900 Mg

(1800 ton)

(3200 ton)

Pengambilan sampel dilakukan terhadap beberapa konsumen fly ash yaitu : PT. Surya Beton Indonesia sebanyak empat sampel, PT. Varia Usaha Beton sebanyak empat sampel, PT. Semen Indonesia sebanyak dua sampel. Dan beberapa produsen fly ash yaitu : PT. Kertas Leces sebanyak dua sampel, PT. Prima Elektrik Power sebanyak dua sampel, PT. Kasmaji Inti Utama sebanyak dua sampel. Jadi, total sampel yang akan diperoleh sebanyak enam belas sampel. Beberapa sampel yang telah diambil disajikan dalam daftar sebagai berikut :

1. PT. Surya Beton Indonesia :
 - Sampel 1 tanggal 26 Oktober 2013
 - Sampel 2 tanggal 11 November 2013
 - Sampel 3 tanggal 18 November 2013
 - Sampel 4 tanggal 23 November 2013
2. PT. Varia Usaha Beton :
 - Sampel 1 tanggal 26 Oktober 2013
 - Sampel 2 tanggal 26 Oktober 2013
 - Sampel 3 tanggal 28 Oktober 2013
 - Sampel 4 tanggal 12 November 2013
3. PT. Semen Indonesia :
 - Sampel 1 tanggal 8 Januari 2014
 - Sampel 2 tanggal 18 Februari 2014
4. PT. Kertas Leces :
 - Sampel 1 tanggal 24 Januari 2014
 - Sampel 2 tanggal 29 Januari 2014
5. PT. Prima Elektrik Power
 - Sampel 1 tanggal 27 Januari 2014
 - Sampel 2 tanggal 30 Januari 2014
6. PT. Kasmaji Inti Utama

- Sampel 1 tanggal 7 Januari 2014
- Sampel 2 tanggal 7 Februari 2014

Prosedur tempat pengambilan sampel harus memenuhi salah satu syarat dibawah ini :

- Dari bulk storage atau dari kendaraan penyimpanan dan tanker
Sampel boleh diambil dari syphon tube katika proses pengisian ke tempat penyimpanan atau dari sample tube yang ada pada kendaraan penyimpanan. Jika pengambilan dilakukan di dalam kendaraan penyimpanan, sampel yang di ambil harus berada pada kedalaman minimal 200 mm (8 in) dari permukaan terluar atau fly ash pada permukaan terluar dipindahkan dulu sampai kedalaman 200 mm baru dapat digunakan sebagai sampel. Sampel harus ditandai dengan tanggal.
- Dari kantong-kantong penyimpanan fly ash
Sampel harus diambil dari minimal 3 kantong yang dipilih secara acak pada tempat penyimpanan dan harus ditandai.
- Dari conveyor menuju ke bulk storage
Sampel boleh diambil dari fly ash yang berasal dari conveyor menuju ke bulk storage. Metode pengambilan sampel yang dilakukan dari satu kali proses operasional fly ash dari conveyor menuju ke bulk storage dinamakan grab sample method. Jika dilakukan dengan cara mengumpulkan sedikit demi sedikit fly ash dari beberapa proses yang berbeda dinamakan regular sample method.

Tahap persiapan sampel yaitu dengan mengumpulkan semua grab samples atau regular samples dalam satu group lalu mengambil beberapa jumlah dari tiap kantong penyimpanan yang sekiranya cukup untuk melakukan test lalu dicampur.

Tempat penyimpanan sampel harus dilakukan di tempat yang bersih dan dikelompokkan berdasarkan tanggal pengambilan sampel. Sampel yang tidak digunakan harus disimpan minimal 1 bulan setelah semua hasil test keluar.



Gambar 3.2 Truck mixer untuk pencampuran beton



Gambar 3.3 Tempat penyimpanan fly ash di PT. Surya Beton Indonesia

2.5 Uji Sampel (ASTM C311)

Uji sampel yang dilakukan sesuai dengan acuan pada ASTM C311 yang dilakukan di ITS dan Gresik yaitu :

1. Kondisi Fisik

a. Kadar air (Moisture Content)

Tujuan : Tujuan dari pengetesan kadar air adalah untuk mengetahui range kadar air dari fly ash sesuai dengan acuan yang telah ditetapkan oleh ASTM C618, yaitu untuk semua kelas coal ash baik kelas N, kelas C, kelas F tidak boleh memiliki kadar air lebih dari 3,0 %.

Alat dan bahan :

- Fly Ash dengan berat konstan
- Timbangan
- Oven

Prosedur :

- Timbang fly ash dengan berat tertentu dan masukkan dalam oven dengan suhu 105 C – 110 C hingga beratnya konstan (B).
- Timbang fly ash setelah di oven (A)

Perhitungan :

- Kadar air dalam fly ash dapat dihitung dengan cara

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{A}{B} \times 100, \text{ dimana :}$$

A = massa fly ash yang hilang saat pembakaran

B = masaa fly ash saat sebelum pembakaran

b. Kerugian Pengapian

Tujuan : Tujuan dari pengetesan kerugian pengapian adalah untuk mengetahui kerugian pengapian fly ash pada saat pembakaran. Tes ini menghasilkan

kesimpulan tentang banyaknya kadar karbon yang tersisa dalam fly ash setelah pembakaran yang cukup signifikan dalam memberikan efek negatif pada fly ash. ASTM C618 telah memberikan batas maksimal untuk kadar karbon dalam fly ash yaitu :

- Untuk kelas F maksimal 6,0 %
- Untuk kelas C maksimal 6,0 %
- Untuk kelas N maksimal 10,0 %

Untuk kelas F, nilai maksimal biasanya boleh dinaikkan hingga 12 % jika konsumen telah memiliki performance record dan test laboratorium tentang kekuatan beton jika menggunakan fly ash kelas F sebanyak 12 %.

Alat dan Bahan :

- Fly Ash dengan berat konstan dan dalam keadaan moisture-free atau fly ash dengan kadar air 0 %
- Timbangan
- Furnace suhu 1200°C
- Porselin

Prosedur :

- Timbang 1 gram sampel dalam Porselin yang telah dikerahui beratnya.
- Masukkan ke dalam furnace yang bersuhu 950 ± 50 °C selama kurang lebih 15 menit.
- Timbang sampel setelah dikeluarkan dari furnace.

Perhitungan :

- Kerugian akibat pengapian fly ash dapat dihitung dengan cara

$$\text{LOI (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{\text{Berat Awal}} \times 100\%, \text{ dimana :}$$

W1 = Berat Porselin dengan fly ash sebelum dibakar

W2 = Berat Porselin dengan fly ash setelah dibakar

Berat Awal = 1 gram



Gambar 3.4 Mesin furnace setelah selesai pembakaran.

c. Fineness

Tujuan : Tujuan dari pengetesan ini adalah untuk mengetahui jumlah fly ash yang tertahan pada saringan no.325 ($45 \mu\text{m}$) yang telah ditetapkan pada ASTM C618 yaitu untuk semua kelas fly ash, jumlah fly ash maksimum yang boleh tertahan pada saringan no.325 ($45 \mu\text{m}$) adalah 34 %.

Alat dan Bahan :

- Ayakan No. 325 ($45 \mu\text{m}$)
- Timbangan

Prosedur :

- Menyiapkan sampel seberat 50 gram (A).

- Masukkan benda uji kedalam ayakan Ayakan No. 325 (45 μm)
- Saring sampel yang terdapat pada ayakan tersebut (B).
- Timbang sampel yang tertahan pada ayakan tersebut (C).

Perhitungan :

- Prosentase berat dari fly ash yang tertinggal dapat dihitung dengan cara

$$\text{Fineness (\%)} = \frac{C}{A} \times 100\%, \text{ dimana :}$$

A = massa fly ash awal (gram)

B = masaa fly ash yang lolos ayakan no.325 (gram)

C = massa fly ash yang tertinggal di ayakan no.325 (gram)

d. Konsistensi Normal

Tujuan : Tujuan dari pengetesan ini adalah untuk menentukan jumlah air yang dibutuhkan untuk mempersiapkan pasta yang diperlukan untuk tes standar tertentu.

Alat dan Bahan :

- Alat Vicat
- Batang vicat untuk pengujian konsistensi normal
- Cetakan benda uji berbentuk kerucut terpancung
- Gelas Ukur
- Timbangan
- Sendok Perata
- Stopwatch
- Air Suling
- Pelat Kaca

Prosedur :

- Siapkan benda uji berupa fly ash sebanyak 60 gram dan OPC 240 gram
- Tuangkan 84 ml air suling kedalam mangkok pengaduk kemudian fly ash dan opc dan di diamkan selama 30 detik
- Aduk merata campuran fly ash dan opc tersebut
- Membuat bola pasta dari campuran tersebut dan dilemparkan sebanyak 6 kali dari tangan kiri ke tangan kanan dengan jarak 15 cm
- Memasukkan campuran tersebut kedalam cetakan benda uji.
- Letakkan dasar cetakan pada pelat kaca
- Letakkan cetakan beserta pelat kaca tersebut pada alat vicat.
- Letakkan pembacaan skala pada nol, dan segera lepaskan batang vicat sehingga dengan bebas dapat menembus permukaan pasta, setelah 30 detik catatlah besarnya penetrasi batang vicat tersebut.

Perhitungan :

Kebutuhan air dalam pembuatan pasta dapat dihitung dengan cara :

Water requirement = $\left(\frac{Y}{W_1+W_2}\right) \times 100$, dimana :

Y = air yang dibutuhkan pada saat pembuatan pasta

W1 = Berat OPC

W2 = Berat Fly Ash



Gambar 3.5 Alat vicat

e. Berat Jenis

Tujuan : Percobaan ini dilakukan untuk menentukan berat jenis fly ash pada saat kondisi basah.

Alat dan Bahan :

- Labu ukur 500 ml
- Air
- Timbangan

Prosedur :

- Timbang fly ash kering sebanyak 250 gram
- Timbang air yang dimasukkan kedalam labu ukur (W1).
- Masukkan ke dalam labu ukur
- Masukkan air suling hingga mengenai garis batas leher labu ukur (W2).

$$\text{Berat Jenis Fly Ash} = \frac{(250)}{(250+W1)-W2}$$

Dimana :

W1 = Berat labu + air (gram)

$$W_2 = \text{Berat labu} + \text{fly ash} + \text{air (gram)}$$



Gambar 3.6 Labu ukur

f. Specific Surface Area

Tujuan : Tujuan dari tes SSA ini untuk mengetahui luasan tiap gramnya dari sampel fly ash.

Alat dan Bahan :

- Timbangan
- Mesin SCIROCCO 2000

Prosedur :

- Menyiapkan sampel kurang lebih sebanyak 5 gram.
- Memasukkan sampel tersebut ke dalam mesin scirocco 2000.
- Meanganalisa hasil dengan bantuan software mastersizer 2000.



Gambar 3.7 Mesin Scirocco 2000

2. Komposisi Kimiawi

a. Tes XRD (X-Ray Diffractometer)

Tujuan : Tujuan dari tes XRD ini bertujuan untuk mengetahui komposisi dan intensitas mineral utama penyusun fly ash tersebut.

Prosedur :

- Tes ini di lakukan di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Makasar.

b. Tes XRF (X-Ray Fluorescence)

Tujuan : Tujuan dari tes XRF ini bertujuan untuk mengetahui prosentase oksida meliputi Silicon dioxide, Aluminum oxide, Iron oxide, Calcium oxide, Magnesium oxide, Sulfur trioxide, Sodium oxide, dan Potassium oxide dari fly ash tersebut seperti yang telah ditetapkan dalam ASTM C618.

Tabel 3.2 Unsur Kimia Coal Ash menurut ASTM C618

UNSUR KIMIA	KELAS		
	N	F	C
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (min %)	70	70	50
SO_3 (max %)	4	5	5

Prosedur :

- Tes ini di lakukan di Laboratorium Semen Gresik di Tuban dengan menggunakan mesin ARL ADVAN'T Sequential XRF IntelliPower. Pengetesan ini dilakukan pada setiap sampel fly ash yang diambil sesuai dengan periode pengambilan sampel yang telah ditetapkan ASTM C311 diatas.
- Menyiapkan sampel seberat 10 gram
- Memasukkan sampel kedalam ring
- Ring yang telah berisi sample diuji XRF dengan menggunakan mesin ARL ADVAN'T.



Gambar 3.8 mesin ARL ADVAN'T Sequential XRF IntelliPower

c. Tes Insoluble

Tujuan : Tujuan dari tes ini bertujuan untuk mengetahui prosentase bagian tak larut (insoluble) pada fly ash.

Alat dan Bahan :

- HCL pekat
- NH_4NO_3
- NaOH
- Metil Red
- Beaker glass 250 ml, 400 ml
- Gelas Pengaduk
- Hot Plate
- Furnace 1000°C
- Desikator
- Timbangan Analitik
- Botol Cuci
- Krus Porselin
- Kertas Saring No. 40

Prosedur :

- Timbang 1 gram contoh dalam beaker glass 250 ml, tambahkan 10 ml aquades dan 5 ml HCL.
- Tekan – tekan dan aduk contoh dengan pengaduk gelas sampai larut sempurna.
- Encerkan larutan dengan aquades panas sampai 50 ml dan panaskan diatas hot plate sampai mendekati titik didih selama 15 menit
- Saring dengan kertas saring No. 40 kedalam beaker glass 400 ml cuci endapan 6 kali dengan air panas.
- Pindahkan kertas saring dan endapan kedalam beaker glass semula dan tambahkan 100 ml NaOH panas dan digest 15 menit pada suhu hampir mendidih.

- Selama digest sekali aduk campuran dan hancurkan kertas saring, asamkan larutan dengan HCL dengan indikator metil red dan tambahkan HCL berlebih 4-5 tetes.
- Saring dengan kertas saring No. 40 dan cuci endapan dengan NH_4OH panas sampai sempurna minimum 12-15 kali. Masukkan kertas saring beserta isinya kedalam porselin yang telah diketahui beratnya (W_1).
- Bakar dan pijarkan pada suhu $900 - 1000^\circ\text{C}$ sampai berat konstan (W_2).

Perhitungan :

- Prosentase Insoluble dalam fly ash dapat dihitung dengan cara

$$\text{Insoluble (\%)} = \frac{W_2 - W_1}{\text{Berat Awal}} \times 100\%, \text{ dimana :}$$

W_1 = Berat Porselin Kosong (gr)

W_2 = Berat Porselin dengan fly ash setelah dibakar (gr)

Berat Awal = Berat awal sampel sebesar 1 gram.

- Prosentase Soluble (%) = $100\% - \text{Prosentase Insoluble (\%)}$



Gambar 3.9 Proses pemindahan kertas saring

3. Kondisi Mekanik

a. Pembuatan Sampel

1. Pembuatan Mortar Fly Ash

Pembuatan mortar dari masing – masing sampel fly ash sesuai ASTM C311-02 dan SNI 6825 akan dibuat sesuai metode – metode sebagai berikut :

- a) Metode I : pembuatan mortar dengan kadar fly ash 20 % tanpa diayak sesuai jumlah sampel fly ash untuk diuji kuat tekan pada umur 7 hari. Proses perawatan / Curing dilakukan dengan memasukkan sampel ke dalam air pada umur 1 hari sampai 7 hari.
- b) Metode II : pembuatan mortar dengan kadar fly ash 20 % tanpa diayak sesuai jumlah sampel fly ash untuk diuji kuat tekan pada umur 28 hari. Proses perawatan / Curing dilakukan dengan memasukkan sampel ke dalam air pada umur 1 hari sampai 28 hari.
- c) Metode III : pembuatan mortar dengan kadar fly ash 20 % dengan diayak sesuai jumlah sampel fly ash untuk diuji kuat tekan pada umur 7 hari. Proses perawatan / Curing dilakukan dengan memasukkan sampel ke dalam air pada umur 1 hari sampai 7 hari.
- d) Metode IV : pembuatan mortar dengan kadar fly ash 10 % dengan diayak sesuai jumlah sampel fly ash untuk diuji kuat tekan pada umur 7

hari. Proses perawatan / Curing (ASTM C192) benda uji di masukkan kedalam plastik (tidak langsung kontak dengan udara bebas) dalam suhu kamar pada umur 1 hari sampai 7 hari.

Tabel 3.3 Mix design pembuatan mortar

METHOD	W/ B	Sand (gr)	Binder		Water (ml)
			OPC Type I (gr)	Fly Ash (gr)	
Method I	45%	1375	400	100	225
Method II	45%	1375	400	100	225
Method III	45%	1375	400	100	225
Method IV	48%	1375	450	50	242

Peralatan :

- Cetakan Silinder 5 x 10 cm
- Tongkat besi
- Cetok
- Mesin pengaduk mortar

Bahan :

- OPC Type I
- Fly Ash
- Air
- Pasir

Prosedur :

- Cuci pasir terlebih dahulu untuk menghilangkan debu dan bahan- bahan lain di dalam pasir. Pencucian dilakukan sebanyak 3 x hingga bersih.
- Cuci pasir terlebih dahulu untuk menghilangkan debu dan bahan- bahan lain di dalam

pasir. Pencucian dilakukan sebanyak 3 x hingga bersih.

- Campur pasir, semen, air, dan fly ash sesuai mix design yang telah dibuat dengan mixer mortar.
- Cetak ke dalam cetakan dan biarkan selama 24 jam.



Gambar 3.10 Proses Curing mortar dengan perendaman didalam air



Gambar 3.11 Proses Curing Mortar dengan dimasukkan kedalam plastic

2. Pembuatan Pasta Fly Ash

Pembuatan pasta dilakukan sesuai jumlah sampel fly ash untuk setiap periode pengambilan fly ash. Pembuatan pasta tersebut sesuai metode – metode sebagai berikut :

- a) Metode V: pembuatan pasta dengan kadar fly ash 20 % tanpa diayak sesuai jumlah sampel fly ash untuk diuji kuat tekan pada umur 1 hari. Proses perawatan / Curing dilakukan pada umur 0 hari dengan steam curing yang dilakukan dengan urutan 2 jam pra-curing pada suhu 20° C lalu diikuti 15 menit untuk menaikkan suhu menjadi 80° C. Kemudian suhu dibiarkan konstan selama 3 jam dan 15 menit berikutnya diturunkan menjadi 20° C.
- b) Metode VI: pembuatan pasta dengan kadar fly ash 20 % dengan diayak sesuai jumlah sampel fly ash untuk diuji kuat tekan pada umur 1 hari. Proses perawatan / Curing dilakukan pada umur 0 hari dengan steam curing yang dilakukan dengan urutan 2 jam pra-curing pada suhu 20° C lalu diikuti 15 menit untuk menaikkan suhu menjadi 80° C. Kemudian suhu dibiarkan konstan selama 3 jam dan 15 menit berikutnya diturunkan menjadi 20° C.

Tabel 3.4 Mix design pembuatan pasta

METHOD	W/ B	Binder		Water (ml)
		OPC Type I (gr)	Fly Ash (gr)	
Method V	Normal	320	80	Normal
Method VI	Consistency	320	80	Consistency

Peralatan :

- Cetakan Silinder 5 x 10 cm
- Tongkat besi
- Cetok
- Mixer pasta

Bahan :

- OPC Type I
- Fly Ash
- Air

Prosedur :

- Timbang semen, air, dan fly ash sesuai dengan mix design.
- Campur pasir, semen, air, dan fly ash sesuai mix design yang telah dibuat dalam mixer.
- Cetak ke dalam cetakan silinder

Mortar dan pasta dibuat dengan menggunakan cetakan silinder 5 x 10 cm. Pengayakan fly ash dilakukan dengan ayakan No. 200.



Gambar 3.12 Proses Steam Curing

3. Uji kuat tekan hancur mortar (ASTM C 39)
 Tujuan : Tes ini di lakukan untuk mengetahui kekuatan tekan hancur pasta dan mortar, tes di laboratorium struktur jurusan Teknik Sipil, FTSP - ITS, Surabaya. Pengetesan di lakukan pada umur 7 dan 28 hari, untuk pengetesan kuat tekan masing-masing benda uji. Pengetesan ini menggunakan mesin torsee universal testing machine, type AU-5 kapasitas 5 ton. Hasil yang keluar dari pengetesan sama dengan yang gaya yang di berikan, sehingga tegangan yang terjadi:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi D^2}, \text{ dimana:}$$

P = Kuat tekan Hancur , dalam Mpa atau dalam Kg/cm²

F = Gaya yang ditunjukkan mesin pada saat pengetesan

A = luas permukaan tekan dalam mm² atau cm²

D = diameter benda uji dalam mm atau cm

Peralatan :

- Universal testing machine, type AU-5 kapasitas 5 ton
- Amplas

Bahan :

- Benda uji mortar dengan ukuran 5 x 10 cm

Prosedur :

- Benda uji di haluskan permukaan salah satu sisinya dengan menggunakan amplas, agar tekanan yang di berikan bisa merata atau dapat juga dilakukan caping menggunakan belerang.
- Letakkan benda uji dengan posisi diameter menempel pada pelat penekan mesin
- Lakukan pembebanan dengan kecepatan 0.15 - 0.35 Mpa per detik.



Gambar 3.13 Mesin Tes Tekan

2.6 Analisa Hasil

Analisa hasil dibagi menjadi 3 bagian, yaitu :

1. Analisa hasil test kondisi fisik fly ash akan dicatat dan dibandingkan dengan standar yang sudah ditetapkan oleh ASTM C618.
2. Analisa hasil test komposisi kimiawi fly ash dibagi menjadi 2 bagian, yaitu :
 - a. Test XRF (X-Ray Fluorescence)
Hasil test XRF yang berupa prosentase oksida yang terdapat dalam fly ash yang dapat dibandingkan dengan ASTM C618.
 - b. Test XRD (X-Ray Diffractometer)
Hasil test XRD yang berupa intensitas mineral dalam fly ash. Hasilnya berupa banyaknya atau intensitas mineral utama yang terkandung dalam fly ash dan jumlah global amorphous yang terdapat dalam fly ash tersebut.
3. Analisa hasil kuat tekan beton Analisa pada tahap 3 ini yaitu membandingkan hasil test XRF dan test XRD diatas dengan hasil kuat tekan mortar selama 7 hari dan 28 hari.

BAB IV

HASIL DAN ANALISA UJI FISIK, KIMIA, DAN MEKANIK FLY ASH

Dalam bab ini, akan dibahas mengenai hasil yang diperoleh dari setiap tes yang dilakukan pada fly ash yang meliputi uji fisik, kimia, serta mekanik. Masing – masing data akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

4.1 ANALISA SIFAT FISIK FLY ASH

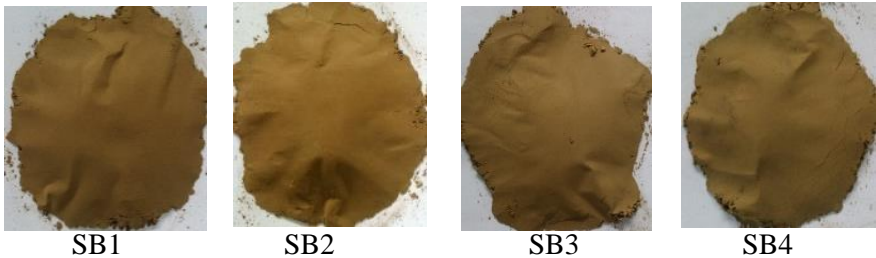
4.1.1 Kondisi Fisik Fly Ash

Berikut akan disajikan kondisi fisik dari fly ash yang akan dianalisa yang sesuai dengan pemberian kode (indeks penomoran merupakan urutan pengambilan fly ash pada satu perusahaan) yang disajikan sebagai berikut :

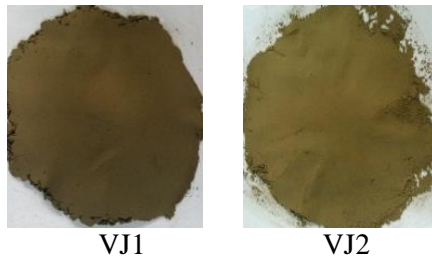
Tabel 4.1 Pemberian Kode Fly Ash

No.	Kode	Sumber	Tanggal Pengambilan
1	SB1	PT. Surya Beton Indonesia	26 Oktober 2013
2	SB2	PT. Surya Beton Indonesia	11 November 2013
3	SB3	PT. Surya Beton Indonesia	18 November 2013
4	SB4	PT. Surya Beton Indonesia	23 November 2013
5	VJ1	PT. Varia Usaha Beton (Jepara)	26 Oktober 2013
6	VJ2	PT. Varia Usaha Beton (Jepara)	28 Oktober 2013
7	VP1	PT. Varia Usaha Beton (Paiton)	26 Oktober 2013
8	VP2	PT. Varia Usaha Beton (Paiton)	12 November 2013
9	SI1	PT. Semen Indonesia	8 Januari 2014
10	SI2	PT. Semen Indonesia	18 Februari 2014
11	PE1	PT. Prima Elektrik Power	27 Januari 2014
12	PE2	PT. Prima Elektrik Power	30 Januari 2014
13	KL1	PT. Kertas Leces	24 Januari 2014

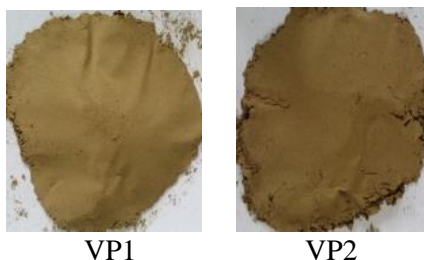
14	KL2	PT. Kertas Leces	29 Januari 2014
15	KI1	PT. Kasmaji Inti Utama	7 Januari 2014
16	KI2	PT. Kasmaji Inti Utama	7 Februari 2014
17	OPC	PT. Semen Indonesia	2 Januari 2014



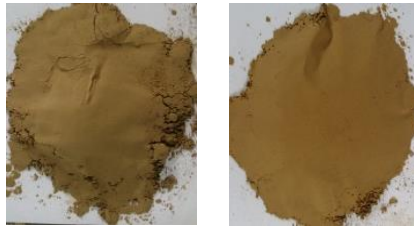
Gambar 4.1a Fly Ash yang berasal dari PT. Surya Beton Indonesia



Gambar 4.1b Fly Ash yang berasal dari PT. Varia Usaha Beton sumber Jepara



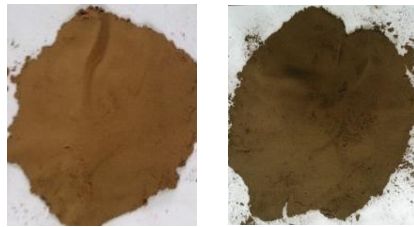
Gambar 4.1c Fly Ash yang berasal dari PT. Varia Usaha Beton sumber Paiton



SI1

SI2

Gambar 4.1d Fly Ash yang berasal dari PT. Semen Indonesia



PE1

PE2

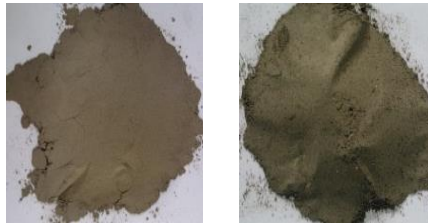
Gambar 4.1e Fly Ash yang berasal dari PT. Prima Elektrik Power



KL1

KL2

Gambar 4.1f Fly Ash yang berasal dari PT. Kertas Leces



KI 1

KI 2

Gambar 4.1g Fly Ash yang berasal dari PT. Kasmaji Inti Utama



OPC

Gambar 4.1h Ordinary Portland Cement (OPC) yang berasal dari PT. Semen Indonesia

4.1.2 KADAR AIR

Tabel 4.2 Hasil Percobaan Kadar Air Fly Ash

Kode Fly Ash	A (gram)	B (gram)	Kadar Air Fly Ash (%)
SB1	1.6	100	1.6
SB2	1.7	100	1.7
SB3	1.7	100	1.7
SB4	1.5	100	1.5
VJ1	1.6	100	1.6
VJ2	1.7	100	1.7
VP1	1.8	100	1.8
VP2	1.8	100	1.8

SI1	1.5	100	1.5
SI2	1.6	100	1.6
PE1	1.8	100	1.8
PE2	1.8	100	1.8
KL1	1.9	100	1.9
KL2	1.8	100	1.8
KI1	1.4	100	1.4
KI2	1.3	100	1.3
OPC	1.6	100	1.6

Perhitungan :

- Kadar air dalam fly ash dapat dihitung dengan cara

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{A}{B} \times 100\%, \text{ dimana :}$$

A = massa fly ash yang hilang saat pembakaran

B = masaa fly ash saat sebelum pembakaran

Dari hasil percobaan diatas diperoleh nilai kadar air dalam fly ash sekitar 1.3% - 1.9%. Menurut ASTM C 618 nilai prosentase maksimum kadar air yang terdapat dalam fly ash ialah 3%. Jadi, semua jenis fly ash dan opc memenuhi persyaratan tersebut.

4.1.3 KERUGIAN AKIBAT PENGAPIAN

Tabel 4.3 Hasil Percobaan Kerugian Akibat Pengapian (Loss of Ignition)

Kode Fly Ash	W1 (gr)	W2 (gr)	LOI (%)
SB1	21.1118	21.1056	0.620
SB2	18.8977	18.8891	0.860
SB3	18.8508	18.8367	1.410
SB4	20.193	20.1848	0.820
VJ1	18.5012	18.4828	1.840

VJ2	21.0965	21.0798	1.670
VP1	18.8177	18.7948	2.290
VP2	21.2143	21.1885	2.580
SI1	20.0202	20.0155	0.470
SI2	19.1085	19.1056	0.290
PE1	20.6654	20.6381	2.730
PE2	20.7286	20.6992	2.940
KL1	19.0003	18.9716	2.870
KL2	19.7971	19.7679	2.920
KI1	20.4264	20.3967	2.970
KI2	18.7591	18.7277	3.140
OPC	18.5406	18.5207	1.990

Perhitungan :

- Kerugian akibat pengapian fly ash dapat dihitung dengan cara

$$LOI (\%) = \frac{W1 - W2}{Berat Awal} \times 100\%, \text{ dimana :}$$

W1 = Berat Porselin dengan fly ash sebelum dibakar

W2 = Berat Porselin dengan fly ash setelah dibakar

Berat Awal = 1 gram

Dari hasil percobaan diatas diperoleh prosentase kerugian akibat pengapian (Loss Of Ignition) sekitar 0.3 % - 3.2%. Menurut Palomo et al tahun 2003 prosentase LOI maksimal yang dimiliki oleh fly ash sebesar 5 % agar memperoleh nilai kuat tekan yang maksimum. Sementara menurut ASTM C 618 nilai prosentase maksimum LOI yang terdapat pada fly ash ialah 6%. Jadi, nilai LOI yang diperoleh dari percobaan ini dapat memenuhi persyaratan tersebut. Percobaan ini sesuai dengan ASTM C311.

4.1.4 FINENESS

Tabel 4.4 Hasil Percobaan Fineness

Kode Fly Ash	A (gr)	B (gr)	C (gr)	Prosentase Berat Tertinggal Ayakan no.325 (%)
SB1	50	42.3	7.7	15.4
SB2	50	41.4	8.6	17.2
SB3	50	42.1	7.9	15.8
SB4	50	40.5	9.5	19.0
VJ1	50	41.6	8.4	16.8
VJ2	50	40.4	9.6	19.2
VP1	50	35.7	14.3	28.6
VP2	50	40.3	9.7	19.4
SI1	50	41.2	8.8	17.6
SI2	50	44.7	5.3	10.6
PE1	50	45.5	4.5	9.0
PE2	50	43.4	6.6	13.2
KL1	50	43.8	6.2	12.4
KL2	50	43.7	6.3	12.6
KI1	50	38.3	11.7	23.4
KI2	50	33.1	16.9	33.8
OPC	50	40.3	9.7	19.4

Perhitungan :

- Prosentase berat fly ash yang tertinggal pada ayakan dapat dihitung dengan cara

$$\text{Fineness (\%)} = \frac{C}{A} \times 100\%, \text{ dimana :}$$

A = massa fly ash awal (gram)

B = masaa fly ash yang lolos ayakan no.325 (gram)

C = massa fly ash yang tertinggal di ayakan no.325 (gram)

Dari hasil percobaan diatas diperoleh prosentase berat yang tertinggal pada ayakan no.325 (45 μ m) mulai 9 % - 34 %. Semakin tinggi nilai prosentase berat yang tertinggal pada ayakan no.325 dapat dikatakan fly ash tersebut semakin kasar dan sebaliknya. Kehalusan fly ash tersebut nantinya dapat mempengaruhi kuat tekan dari mortar dan pasta yang ditambahkan dengan fly ash tersebut. Menurut ASTM C 618 prosentase berat maksimum yang tertinggal pada ayakan no.325 ialah 34 %. Jadi, hasil percobaan tersebut memenuhi persyaratan yang telah ditentukan oleh ASTM.

4.1.5 KONSISTENSI NORMAL

Tabel 4.5 Hasil Percobaan Konsistensi Normal

Kode Fly Ash	Y (gr)	Konsistensi Normal (%)
SB1	87	21.75
SB2	89	22.25
SB3	91	22.75
SB4	88	22.00
VJ1	87	21.75
VJ2	94	23.50
VP1	90	22.50
VP2	89	22.25
SI1	85	21.25
SI2	90	22.50
PE1	92	23.00
PE2	94	23.50
KL1	93	23.25
KL2	95	23.75
KI1	90	22.50
KI2	92	23.00

OPC	100	25.00
-----	-----	-------

Perhitungan :

- Konsistensi normal pasta dapat dihitung dengan cara

$$\text{Konsistensi normal (\%)} = \frac{Y}{400} \times 100\%, \text{ dimana :}$$

- Y = massa air yang dibutuhkan (gr)

Dari hasil percobaan diatas diperoleh nilai konsistensi normal dalam pembuatan pasta ialah sekitar 21,25% - 23,75%. Nilai konsistensi normal oleh semen biasa maksimal sekitar 25%, jadi prosentase konsistensi normal pasta hasil percobaan tersebut dapat diterima karena memiliki nilai prosentase yang lebih kecil dari semen.

4.1.6 BERAT JENIS

Tabel 4.6 Hasil Percobaan Berat Jenis

Kode Fly Ash	W1 (gr)	W2 (gr)	Berat Jenis (gr/cm ³)
SB1	648	785	2.21
SB2	648	790	2.31
SB3	648	799	2.53
SB4	648	794.9	2.42
VJ1	648	786	2.23
VJ2	648	771	1.97
VP1	648	785	2.21
VP2	648	780	2.12
SI1	648	788.5	2.28
SI2	648	802	2.60
PE1	648	722.5	1.42
PE2	648	718	1.39
KL1	648	714	1.36
KL2	648	713	1.35

KI1	648	800	2.55
KI2	648	793.5	2.39

Perhitungan :

- Berat jenis dalam fly ash dapat dihitung dengan cara

$$\text{Berkas Jenis Fly Ash} = \frac{(250)}{(250+W1)-W2}$$

Dimana :

- W1 = Berat labu + air (gram)

- W2 = Berat labu + fly ash + air (gram)

Dari hasil percobaan diatas diperoleh nilai berat jenis dari fly ash mulai dari 1.35 gr/cm³ - 2.60 gr/cm³. Perbedaan berat jenis fly ash tersebut akan menimbulkan nilai kuat tekan yang berbeda dari mortar dan pasta.

4.1.7 Specific Surface Area dan Particel Size Distribution

a. Specific Surface Area

Dengan menggunakan mesin malvern dan bantuan software bantu mastersizer 2000 diperoleh nilai specific surface area dan prosentase berat tertahan pada ayakan no. 325 sebagai berikut :

Tabel 4.7 Nilai SSA dan Prosentase Berat Tertinggal Ayakan No. 325

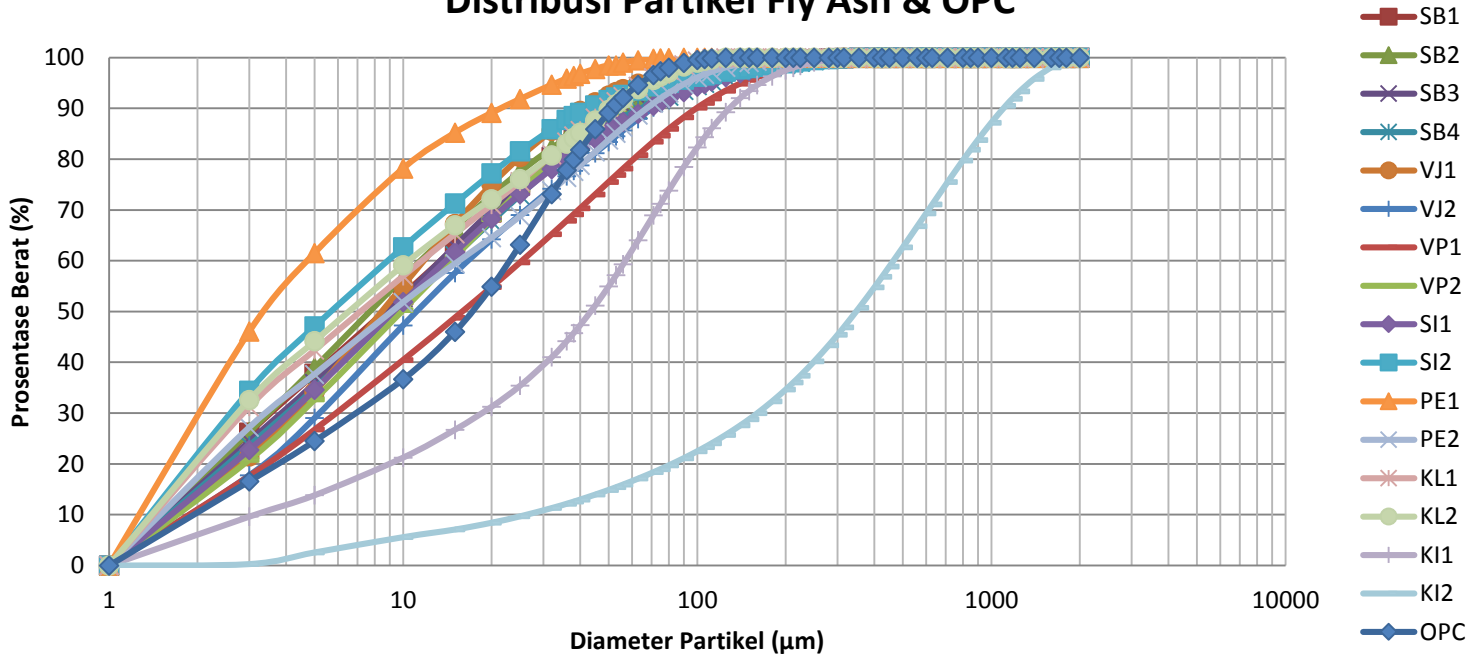
Kode	Spesific Surface Area (m ² /g)	Prosentase Berat Tertinggal Ayakan No. 325 (%)
SB1	0.989	13.03
SB2	0.966	12.48
SB3	0.854	12.77
SB4	0.863	15.07

VJ1	0.814	8.79
VJ2	0.787	18.78
VP1	0.673	26.91
VP2	0.833	12.89
SI1	0.851	15.95
SI2	1.11	9.44
PE1	2.49	2.21
PE2	1.58	18.56
KL1	1.85	11.86
KL2	1.93	12.37
KI1	0.343	48.79
KI2	0.0469	86.02
OPC	0.479	14.09

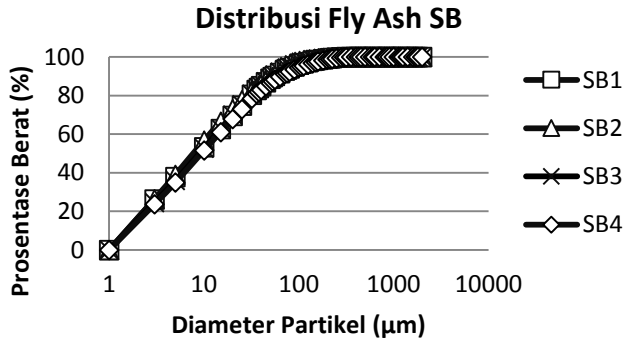
b. Particel Size Distribution

Dengan menggunakan bantuan software mastersizer 2000 diperoleh analisa ayakan dari fly ash yang dipakai dan disajikan dalam tabel sebagai berikut :

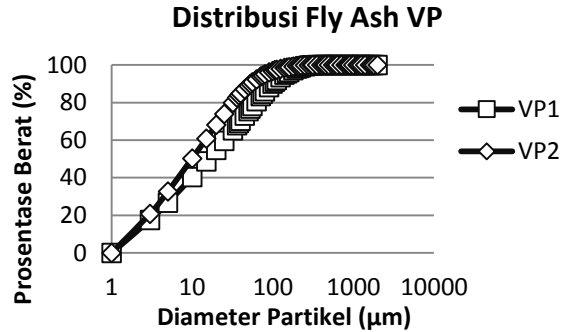
Distribusi Partikel Fly Ash & OPC



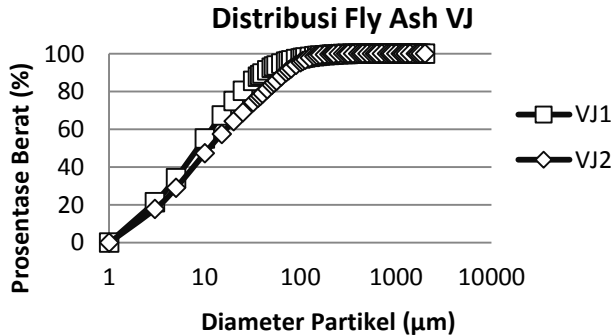
Gambar 4.2 Distribusi Partikel Fly Ash dan OPC



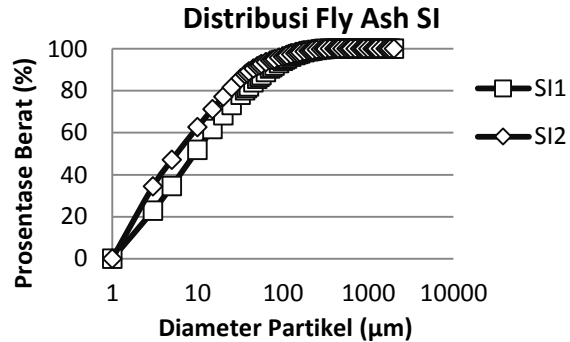
Gambar 4.3a Distribusi Partikel Fly Ash SB



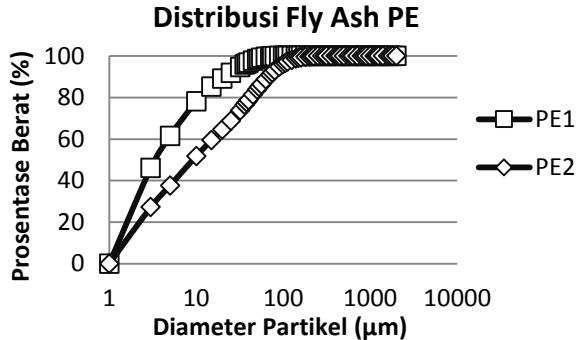
Gambar 4.3c Distribusi Partikel Fly Ash VP



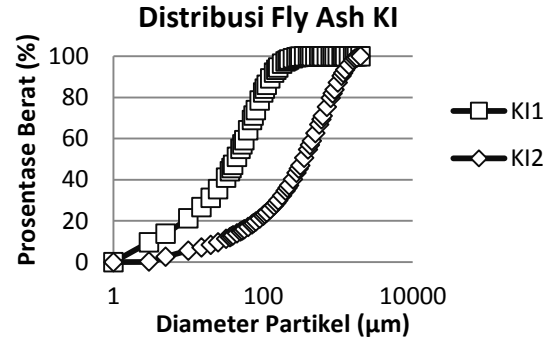
Gambar 4.3b Distribusi Partikel Fly Ash VJ



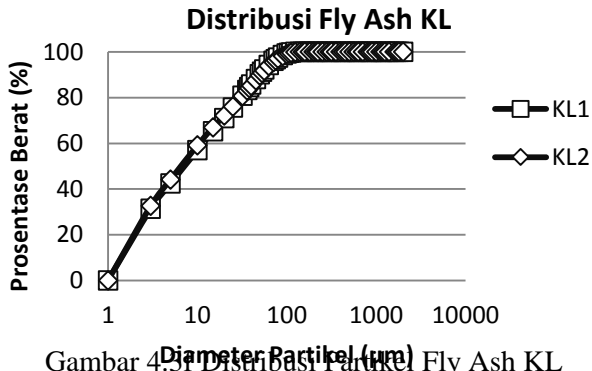
Gambar 4.3d Distribusi Partikel Fly Ash SI



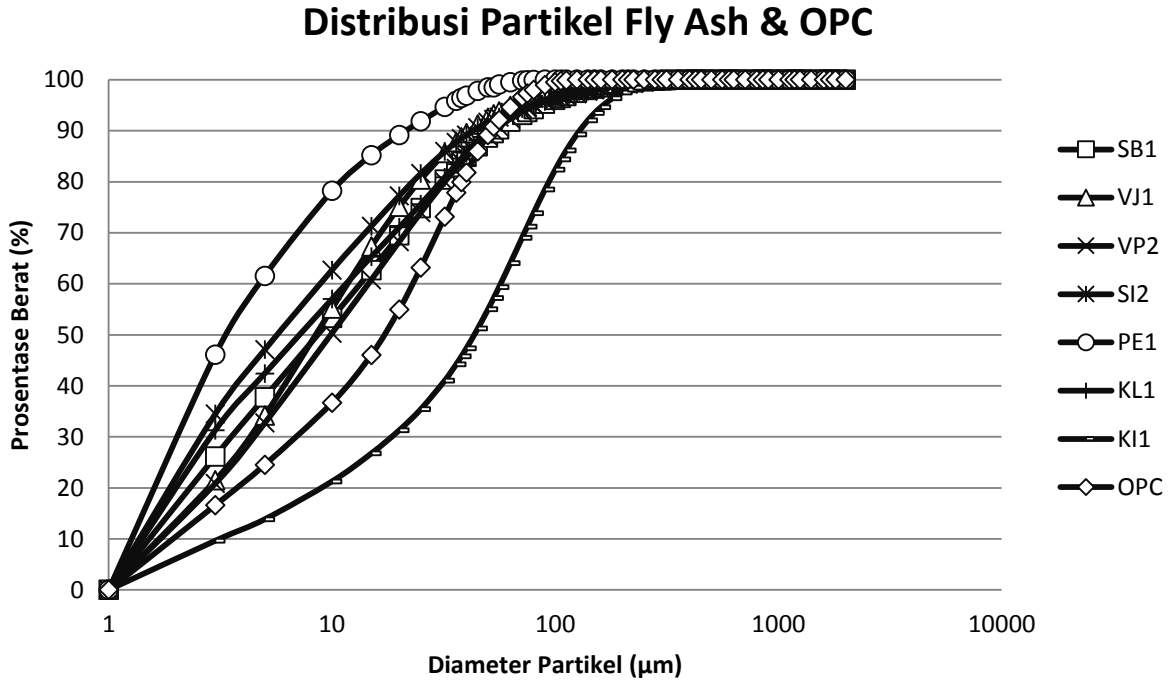
Gambar 4.3e Distribusi Partikel Fly Ash PE



Gambar 4.3g Distribusi Partikel Fly Ash KI



Gambar 4.3f Distribusi Partikel Fly Ash KL



Gambar 4.4 Distribusi Partikel Fly Ash dan OPC

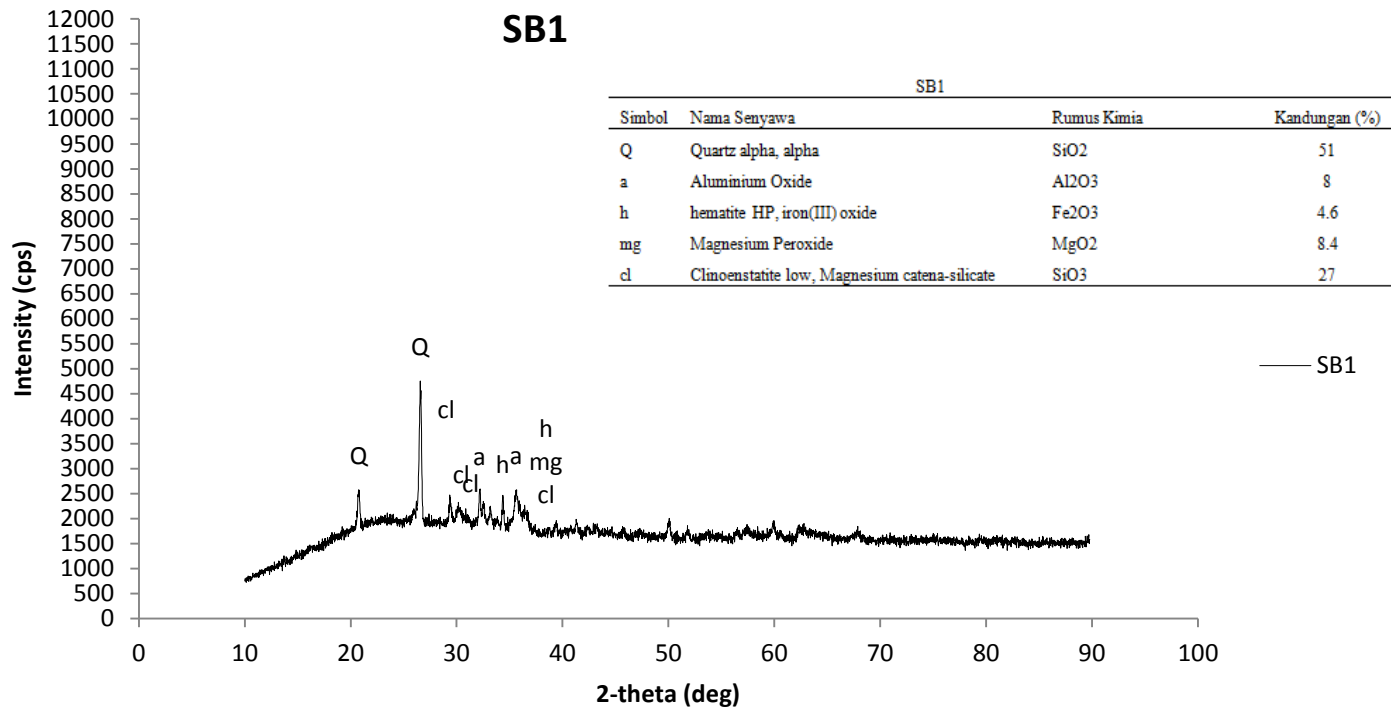
4.2 ANALISA SIFAT KIMIA FLY ASH

4.2.1 TES XRD (X-Ray Diffractometer)

Berikut ini adalah hasil XRD fly ash murni sesuai dengan kodenya, dalam subbab ini hasil XRD dari SB1 dan sisa dari hasil XRD lainnya terdapat pada lampiran. Berikut ini merupakan prosentase senyawa yang terkandung diseiap sampel fly ash diperoleh dari uji XRD terhadap masing – masing.

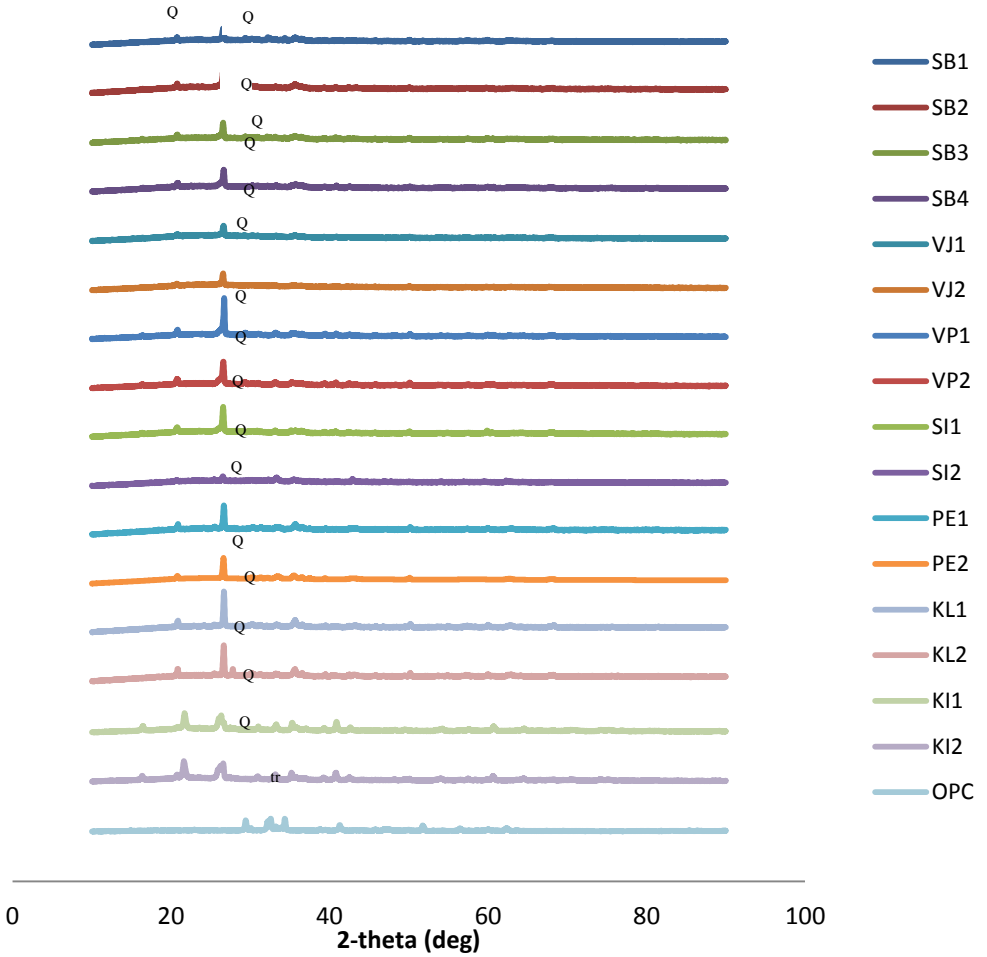
Tabel 4.8 Simbol Senyawa dalam Fly Ash Hasil Uji XRD

Kode	Simbol Senyawa																						
	Q	a	h	mg	cl	mu	ma	an	m	di	as	s	p	is	i	me	co	k	c	t	q	tr	
SB1	√	√	√	√	√																		
SB2	√			√		√	√																
SB3	√	√	√			√		√															
SB4	√					√	√																
VJ1	√						√			√													
VJ2	√										√												
VP1	√					√						√											
VP2	√										√	√											
SI1	√					√				√													
SI2	√												√	√	√								
PE1	√										√	√											
PE2	√															√	√						
KL1	√																	√					
KL2	√																	√					
KI1											√									√	√	√	
KI2	√					√													√			√	
OPC		√													√								√



Gambar 4.5 XRD Fly Ash Surya Beton Indonesia 1

Mineralogi Fly Ash & OPC



Gambar 4.6 Mineralogi Fly Ash & OPC

Dari tes XRD tersebut dapat terlihat puncak yang berbeda – beda dari setiap sampel. Perbedaan puncak tersebut akan mempengaruhi nilai kuat tekan dari mortar maupun pasta yang akan dibuat dengan adanya penambahan fly ash.

4.2.2 TES XRF (X-Ray Fluoroscen)

Berikut ini disajikan tabel prosentase oksida dari masing – masing fly ash dan opc yang diperoleh setelah uji XRF. ASTM C618 dan CSA menyebutkan kriteria sifat kimia yang diperbolehkan dalam fly ash yaitu :

Tabel 4.9 Sifat Kimia Fly Ash Berdasarkan ASTM C618

Komposisi Kimia		N	F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	Min %	70	70	50
SO ₃	Max %	4	5	5
Moisture Content	Max %	3	3	3
Loss of Ignition	Max %	10	6	6

Sedangkan menurut CSA (Canadian Standard) diatur kadar CaO dalam fly ash yang diperbolehkan dan pengklarifikasiannya yaitu :

- Type F memiliki kadar CaO < 8%
- Type CI memiliki kadar CaO 8 – 20 %
- Type CH memiliki kadar CaO > 20%

Pengolahan data berikut dilakukan dengan cara mengelompokkan fly ash tersebut berdasarkan kelasnya masing – masing yang telah disebut dalam

ASTM dan CSA dengan memberikan index sesuai dengan kualitas fly ash tersebut. Index yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.10 Daftar Index Analisa Kimia Fly Ash

SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ (%)	Index
90 - 100	1
80 - 90	0.9
70 - 80	0.8
60 - 70	0.7
CaO (%)	Index
< 5	1
> 5	0.5

Pemberian index pada tabel 4.11 Untuk jumlah SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ didasarkan pada ASTM C-618 yaitu prosentase minimum yang diperbolehkan untuk jumlah SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ sebesar 70% dengan nilai maksimum sebesar 100%. Semakin tinggi oksida – oksida diatas maka akan menimbulkan efek yang baik pada kuat tekan beton. Nilai index tertinggi (1.0) diberikan untuk prosentase jumlah SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ tertinggi yaitu 100% dan nilai index diturunkan sesuai dengan penurunan prosentase jumlah SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃.

Pemberian index untuk CaO didasarkan pada prosentase maksimum kadar CaO yang diperbolehkan dalam semen (ASTM). Index 1 diberikan pada fly ash yang memiliki kadar CaO < 5 dan index 0.5 diberikan

pada fly ash yang memiliki kadar CaO > 5. Range yang besar (0.5) diberikan pada index CaO karena CaO memiliki pengaruh yang buruk terhadap beton yaitu dapat menyebabkan crack (Priadana, 2012).

Tabel 4.11 Kandungan Prosentase Oksida Hasil Uji XRF

Kode	Prosentase Senyawa (%)									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Mn ₃ O ₄	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
SB1	37.4484	24.4897	15.7336	11.7851	1.1303	0.3204	-	0.9851	2.5189	0.7964
SB2	38.7553	29.4264	4.0498	18.4324	0.8796	0.0067	-	0.8782	2.187	0.6661
SB3	39.1611	31.0261	10.2633	11.5984	0.4635	0.7202	-	0.6788	2.2716	0.6951
SB4	39.1131	30.9232	10.0447	11.9265	0.4725	0.6155	-	0.6921	2.2958	0.685
VJ1	40.4254	34.2698	2.2361	10.6739	2.5143	0.7154	-	1.6036	3.2735	0.7113
VJ2	40.4425	34.1198	3.2794	9.1344	2.4258	0.4874	-	1.6645	3.6681	0.6492
VP1	37.2867	32.2548	4.4249	9.9964	1.0491	4.3714	-	0.9828	2.2607	1.2312
VP2	35.6412	31.503	4.7384	9.8959	1.0519	4.7126	-	0.8604	2.3719	1.3056
SI1	41.1701	34.4777	1.8896	11.5402	1.0492	1.7388	-	0.958	2.0385	0.6472
SI2	34.645	22.548	15.2398	12.5221	1.3139	6.8203	-	1.5836	3.2286	1.1708
PE1	33.1065	27.3908	8.9354	17.8779	1.0793	2.5269	-	0.6751	1.5057	1.5566
PE2	33.746	24.3545	11.591	15.6449	1.0454	3.2344	-	0.4949	1.2945	1.2494
KL1	36.6728	21.6017	7.0385	20.4352	1.1165	3.8504	-	0.5964	1.3022	1.3685
KL2	36.0737	21.1023	7.1261	21.0477	1.0302	3.8255	-	0.5548	1.3288	1.3857
KI1	42.6068	24.0786	16.3514	4.2212	1.1484	2.5612	-	0.9846	2.4965	0.3745

KI2	39.9634	44.5592	1.6675	2.3401	0.2601	5.0443	-	0.4558	1.1139	0.5771
OPC	19.429	5.7009	63.1399	3.5133	0.4694	1.3511	0.0681	0.2337	0.128	1.8468

Tabel. 4.12 Konfirmasi Data Kimia Menurut ASTM dan CSA

Kode	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SO ₃ (%)	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	ASTM		CSA	
							Kelas	Index	Kelas	Index
SB1	37.4484	24.49	11.79	0.80	73.72	15.73	F	0.8	CI	0.5
SB2	38.7553	29.426	18.43	0.67	86.61	4.05	F	0.9	F	1
SB3	39.1611	31.026	11.60	0.70	81.79	10.26	F	0.9	CI	0.5
SB4	39.1131	30.923	11.93	0.69	81.96	10.04	F	0.9	CI	0.5
VJ1	40.4254	34.27	10.67	0.71	85.37	2.24	F	0.9	F	1
VJ2	40.4425	34.12	9.13	0.65	83.70	3.28	F	0.9	F	1
VP1	37.2867	32.255	10.00	1.23	79.54	4.42	F	0.8	F	1
VP2	35.6412	31.503	9.90	1.31	77.04	4.74	F	0.8	F	1
SI1	41.1701	34.478	11.54	0.65	87.19	1.89	F	0.9	F	1
SI2	34.645	22.548	12.52	1.17	69.72	15.24	C	0.7	CI	0.5
PE1	33.1065	27.391	17.88	1.56	78.38	8.94	F	0.8	CI	0.5
PE2	33.746	24.355	15.64	1.25	73.75	11.59	F	0.8	CI	0.5

KL1	36.6728	21.602	20.44	1.37	78.71	7.04	F	0.8	F	0.5
KL2	36.0737	21.102	21.05	1.39	78.22	7.13	F	0.8	F	0.5
KI1	42.6068	24.079	4.22	0.37	70.91	16.35	F	0.8	CI	0.5
KI2	39.9634	44.559	2.34	0.58	86.86	1.67	F	0.9	F	1
OPC	19.429	5.7009	3.51	1.85	28.64	63.14	-	-	-	-

Dari table 4.12 diatas dapat disimpulkan bahwa fly ash yang diperoleh dari beberapa sumber secara umum dapat dikatakan kelas F menurut ASTM C-618 karena memiliki jumlah prosentase tiga oksida utama yaitu $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$, sementara menurut CSA sebanyak sembilan sampel fly ash termasuk kelas F karena memiliki prosentase $\text{CaO} < 5\%$ dan sebanyak tujuh sampel termasuk kelas CI karena memiliki prosentase $\text{CaO} > 5\%$. Hasil pengujian diatas sangat bergantung dengan metode tes yang digunakan. Perbedaan metode tes akan menghasilkan nilai prosentase yang berbeda meskipun sampel yang diuji adalah sampel yang sama. Dalam tugas akhir ini untuk mengetahui prosentase oksida dalam sampel fly ash tersebut metode yang digunakan adalah metode XRF (X-ray Fluorescent) seperti yang telah dijelaskan pada BAB III.

4.2.3 TES INSOLUBLE FLY ASH

Dalam tes ini bertujuan untuk mengetahui zat yang tidak terlarut, sehingga dapat diperoleh prosentase zat yang terlarut (soluble) dalam fly ash tersebut. Dari hasil percobaan diperoleh hasil yang disajikan dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 4.13 Prosentase Soluble Fly Ash

Kode Fly Ash	W1 (gram)	W2 (gram)	Insoluble Fly Ash (%)	Soluble Fly Ash (%)
SB1	17.7890	18.3751	58.61	41.39
SB2	20.0812	20.6808	59.96	40.04
SB3	19.0202	19.6179	59.77	40.23
SB4	17.5013	18.0738	57.25	42.75
VJ1	18.1043	18.6280	52.37	47.63
VJ2	17.5409	18.2050	66.41	33.59
VP1	19.6669	20.2632	59.63	40.37
VP2	18.0004	18.5129	51.25	48.75
SI1	17.8882	18.4179	52.97	47.03
SI2	17.8281	18.2831	45.50	54.50
PE1	19.1930	19.6048	41.18	58.82
PE2	17.8517	18.2077	35.60	64.40
KL1	20.2323	20.7204	48.81	51.19
KL2	19.7339	20.2389	50.50	49.50
KI1	18.7979	19.6395	84.16	15.84
KI2	19.4400	20.2971	85.71	14.29
OPC	20.0964	20.1227	2.63	97.37

Perhitungan :

- Prosentase Insoluble dalam fly ash dapat dihitung dengan cara

$$\text{Insoluble (\%)} = \frac{W_2 - W_1}{\text{Berat Awal}} \times 100\%$$
, dimana :

W1 = Berat Porselin Kosong (gr)

W2 = Berat Porselin dengan fly ash setelah dibakar (gr)

Berat Awal = Berat awal sampel sebesar 1 gram.

- Prosentase Soluble (%) = 100% - Prosentase Insoluble (%)

4.3 ANALISA SIFAT MEKANIK FLY ASH

Dalam menganalisa sifat mekanik dari fly ash yang telah diperoleh, dilakukan pembuatan mortar serta pasta. Nilai kuat tekan dari mortar dan pasta tersebut disajikan dalam tabel dan grafik sebagai berikut :

Tabel 4.14 Kuat Tekan Mortar Metode I

Kode fly ash	Metode I								
	Kuat tekan (kgf)			Kuat tekan (Mpa)			Rata - rata (Mpa)	Standar Deviasi	Koefisien Varian
	Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 3	Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 3			
SB1	4350	4650	4820	22.57	24.13	25.01	23.91	1.23	5.17
SB2	4280	4320	3870	22.21	22.42	20.08	21.57	1.29	5.99
SB3	4930	4620	4220	25.58	23.98	21.90	23.82	1.85	7.75
SB4	4320	4720	4680	22.42	24.49	24.29	23.73	1.14	4.82
VJ1	4370	4900	4920	22.68	25.43	25.53	24.55	1.62	6.59
VJ2	3740	3400	4100	19.41	17.64	21.28	19.44	1.82	9.34
VP1	3390	3200	3520	17.59	16.61	18.27	17.49	0.84	4.78
VP2	3400	3220	3620	17.64	16.71	18.79	17.71	1.04	5.87
SI1	4350	4700	4800	22.57	24.39	24.91	23.96	1.23	5.12
SI2	4720	4600	4900	24.49	23.87	25.43	24.60	0.78	3.19
PE1	4850	4600	4780	25.17	23.87	24.81	24.62	0.67	2.72
PE2	3900	3750	3600	20.24	19.46	18.68	19.46	0.78	4.00
KL1	3950	3300	3670	20.50	17.13	19.05	18.89	1.69	8.96

KL2	4000	3560	3860	20.76	18.47	20.03	19.75	1.17	5.91
KI1	4330	4400	4050	22.47	22.83	21.02	22.11	0.96	4.35
KI2	3900	4000	4460	20.24	20.76	23.15	21.38	1.55	7.25
OPC	3950	4600	4490	20.50	23.87	23.30	22.56	1.81	8.00

Tabel 4.15 Kuat Tekan Mortar Metode II

Metode II									
Kode fly ash	Kuat tekan (kgf)			Kuat tekan (Mpa)			Rata - rata (Mpa)	Standar Deviasi	Koefisien Varian
	Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 3	Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 3			
SB1	6300	6500	6450	32.69	33.73	33.47	33.30	0.54	1.62
SB2	5500	6300	6100	28.54	32.69	31.66	30.96	2.16	6.98
SB3	5600	6300	6150	29.06	32.69	31.92	31.22	1.91	6.13
SB4	6600	6250	6100	34.25	32.43	31.66	32.78	1.33	4.06
VJ1	6500	6750	6550	33.73	35.03	33.99	34.25	0.69	2.00
VJ2	4650	4150	5050	24.13	21.54	26.21	23.96	2.34	9.77
VP1	4500	4700	4600	23.35	24.39	23.87	23.87	0.52	2.17
VP2	4980	4840	4600	25.84	25.12	23.87	24.94	1.00	4.00

SI1	5840	6050	6100	30.31	31.40	31.66	31.12	0.72	2.30
SI2	6150	5870	6320	31.92	30.46	32.80	31.73	1.18	3.72
PE1	5610	5910	5820	29.11	30.67	30.20	30.00	0.80	2.66
PE2	4320	3820	4690	22.42	19.82	24.34	22.19	2.27	10.21
KL1	4200	4720	4600	21.80	24.49	23.87	23.39	1.41	6.04
KL2	4000	4480	4900	20.76	23.25	25.43	23.15	2.34	10.10
KI1	4540	4970	4350	23.56	25.79	22.57	23.98	1.65	6.88
KI2	4090	4510	4700	21.23	23.40	24.39	23.01	1.62	7.04
OPC	5680	6130	5890	29.48	31.81	30.57	30.62	1.17	3.82

Tabel 4.16 Kuat Tekan Mortar Metode III

Metode III									
Kode fly ash	Kuat tekan (kgf)			Kuat tekan (Mpa)			Rata - rata (Mpa)	Standar Deviasi	Koefisien Varian
	Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 3	Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 3			
SB1	4800	4430	4840	24.91	22.99	25.12	24.34	1.17	4.82
SB2	4320	3800	4450	22.42	19.72	23.09	21.74	1.78	8.21
SB3	4750	4670	4510	24.65	24.24	23.40	24.10	0.63	2.63

SB4	4250	4930	4850	22.06	25.58	25.17	24.27	1.93	7.95
VJ1	4980	4820	4670	25.84	25.01	24.24	25.03	0.80	3.21
VJ2	4300	3950	3900	22.31	20.50	20.24	21.02	1.13	5.38
VP1	3820	3250	3400	19.82	16.87	17.64	18.11	1.53	8.47
VP2	3600	3900	3560	18.68	20.24	18.47	19.13	0.96	5.04
SI1	5180	4850	4620	26.88	25.17	23.98	25.34	1.46	5.76
SI2	4750	4700	5250	24.65	24.39	27.24	25.43	1.58	6.21
PE1	4500	4950	4900	23.35	25.69	25.43	24.82	1.28	5.16
PE2	4800	4400	4100	24.91	22.83	21.28	23.01	1.82	7.92
KL1	4000	4250	4200	20.76	22.06	21.80	21.54	0.69	3.19
KL2	4100	4000	4500	21.28	20.76	23.35	21.80	1.37	6.30
KI1	4050	4550	4200	21.02	23.61	21.80	22.14	1.33	6.01
KI2	4500	3900	4180	23.35	20.24	21.69	21.76	1.56	7.16
OPC	4850	4860	4300	25.17	25.22	22.31	24.24	1.66	6.86

Tabel 4.17 Kuat Tekan Mortar Metode IV

Kode fly ash	Metode IV								
	Kuat tekan (kgf)			Kuat tekan (Mpa)			Rata - rata (Mpa)	Standar Deviasi	Koefisien Varian
	Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 3	Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 3			
SB1	3950	4700	4300	20.50	24.39	22.31	22.40	1.95	8.69
SB2	3900	4140	4020	20.24	21.48	20.86	20.86	0.62	2.99
SB3	4500	4050	4000	23.35	21.02	20.76	21.71	1.43	6.58
SB4	4450	4700	4100	23.09	24.39	21.28	22.92	1.56	6.82
VJ1	5000	4300	4600	25.95	22.31	23.87	24.04	1.82	7.58
VJ2	3550	4200	3600	18.42	21.80	18.68	19.63	1.88	9.56
VP1	3250	3400	3050	16.87	17.64	15.83	16.78	0.91	5.43
VP2	3450	2950	3400	17.90	15.31	17.64	16.95	1.43	8.43
SI1	4450	4500	4600	23.09	23.35	23.87	23.44	0.40	1.69
SI2	4550	4750	4400	23.61	24.65	22.83	23.70	0.91	3.85
PE1	4460	4850	4650	23.15	25.17	24.13	24.15	1.01	4.19
PE2	4400	3600	4050	22.83	18.68	21.02	20.84	2.08	9.98
KL1	3750	4100	3900	19.46	21.28	20.24	20.33	0.91	4.48

KL2	3500	3600	3800	18.16	18.68	19.72	18.86	0.79	4.20
KI1	4000	4450	4200	20.76	23.09	21.80	21.88	1.17	5.35
KI2	4750	4100	3950	24.65	21.28	20.50	22.14	2.21	9.97
OPC	4800	3930	4100	24.91	20.39	21.28	22.19	2.39	10.78

Tabel 4.18 Kuat Tekan Pasta Metode V

Metode V		
Kode fly ash	Kuat tekan (kgf)	Kuat tekan (Mpa)
SB1	2750	14.27
SB2	2500	12.97
SB3	2650	13.75
SB4	2550	13.23
VJ1	3000	15.57
VJ2	2400	12.45
VP1	2240	11.62
VP2	2450	12.71
SI1	3040	15.78
SI2	3100	16.09
PE1	2900	15.05
PE2	2400	12.45
KL1	2040	10.59
KL2	2200	11.42
KI1	2250	11.68
KI2	2050	10.64
OPC	3000	15.57

Tabel 4.19 Kuat Tekan Pasta Metode VI

Metode VI		
Kode fly ash	Kuat tekan (kgf)	Kuat tekan (Mpa)
SB1	2900	15.05
SB2	2600	13.49
SB3	2800	14.53
SB4	2650	13.75
VJ1	3180	16.50
VJ2	2550	13.23
VP1	2360	12.25
VP2	2600	13.49
SI1	3100	16.09
SI2	3150	16.35
PE1	3000	15.57
PE2	2600	13.49
KL1	2300	11.94
KL2	2450	12.71
KI1	2400	12.45
KI2	2380	12.35
OPC	3000	15.57

Keterangan :

- a. Metode I : pembuatan mortar dengan kadar fly ash 20 % tanpa diayak sesuai jumlah sampel fly ash untuk diuji kuat tekan pada umur 7 hari. Proses perawatan / Curing dilakukan dengan memasukkan sampel ke dalam air.
- b. Metode II : pembuatan mortar dengan kadar fly ash 20 % tanpa diayak sesuai jumlah sampel fly ash untuk diuji kuat tekan pada umur 28 hari. Proses perawatan / Curing dilakukan dengan memasukkan sampel ke dalam air.
- c. Metode III : pembuatan mortar dengan kadar fly ash 20 % dengan diayak sesuai jumlah sampel fly ash untuk diuji kuat tekan pada umur 7 hari. Proses perawatan / Curing dilakukan dengan memasukkan sampel ke dalam air.
- d. Metode IV : pembuatan mortar dengan kadar fly ash 10 % dengan diayak sesuai jumlah sampel fly ash untuk diuji kuat tekan pada umur 7 hari. Proses perawatan / Curing benda uji di masukkan kedalam plastik (tidak langsung kontak dengan udara bebas) dalam suhu kamar.
- e. Metode V: pembuatan pasta dengan kadar fly ash 20 % tanpa diayak sesuai jumlah sampel fly ash untuk diuji kuat tekan pada umur 1 hari. Proses perawatan / Curing dilakukan dengan steam curing yang dilakukan dengan urutan 2 jam pra-curing pada suhu 20° C lalu diikuti 15 menit untuk menaikkan suhu menjadi 80° C. Kemudian suhu dibiarkan konstan selama 3 jam dan 15 menit berikutnya diturunkan menjadi 20° C.
- f. Metode VI: pembuatan pasta dengan kadar fly ash 20 % dengan diayak sesuai jumlah sampel fly ash untuk diuji kuat tekan pada umur 1 hari. Proses perawatan / Curing dilakukan dengan steam curing yang

dilakukan dengan urutan 2 jam pra-curing pada suhu 20° C lalu diikuti 15 menit untuk menaikkan suhu menjadi 80° C. Kemudian suhu dibiarkan konstan selama 3 jam dan 15 menit berikutnya diturunkan menjadi 20° C.

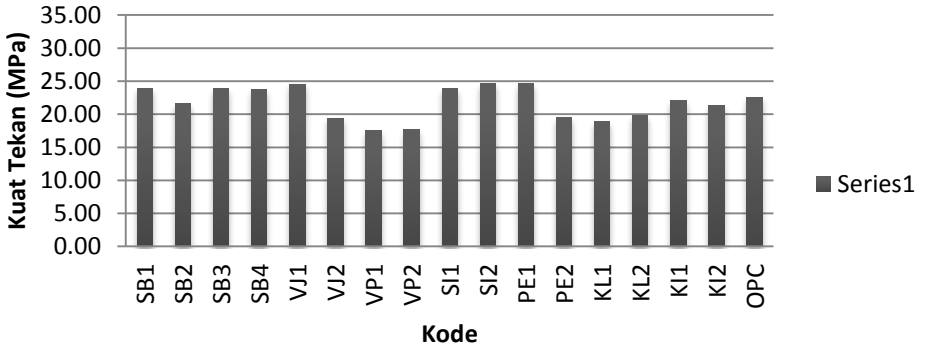
Pembuatan sampel berupa mortar / pasta tanpa campuran fly ash yang digunakan sebagai pembanding, dilakukan sesuai dengan prosedur yang ada pada masing – masing metode.

Pada pembuatan mortar dan pasta perlu dilakukan kontrol terhadap nilai standar deviasi. Pengontrolan ini bertujuan untuk menentukan kualitas data mengenai kuat tekan yang dihasilkan. Pengontrolan nilai standar deviasi sesuai dengan yang disyaratkan pada SNI 03-6815-2002 (Aji, 2010 dalam Priadana, 2012) yaitu :

Tabel.4.20 Standar Deviasi Kontrol Beton

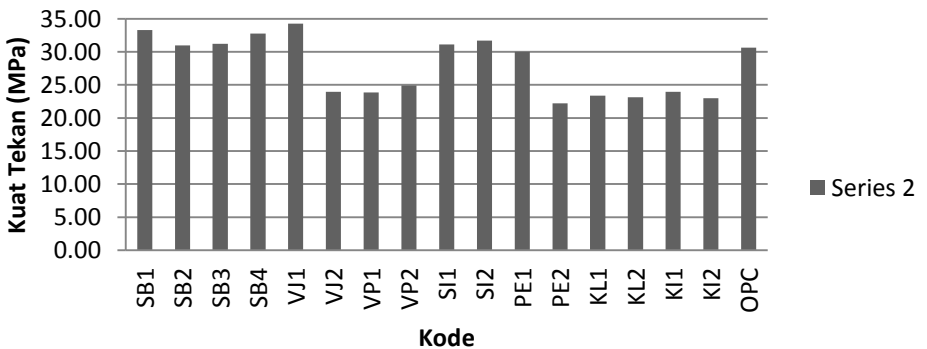
Kelas	Standar Deviasi untuk Kontrol Beton yang Berbeda (Mpa)				
	Istimewa	Sangat Baik	Baik	Cukup	Kurang
Umum	< 2.8	2.8 - 3.4	3.4 - 4.1	4.1 - 4.8	> 4.8
Pengujian Kontruksi	< 400	400 - 500	500 - 600	600 - 700	> 700
Laboratorium	< 1.4	1.4 - 1.7	1.7 - 2.1	2.1 - 2.4	> 2.4
Percobaan Batch	< 200	200 - 250	250 - 300	300 - 350	> 350

Metode I



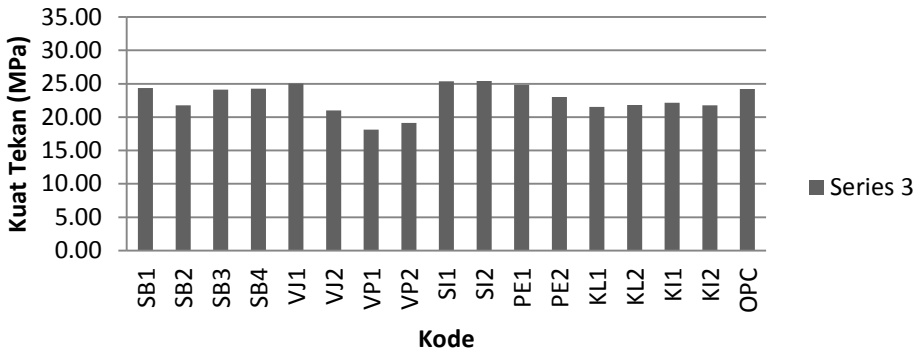
Gambar 4.7a Grafik Kuat Tekan Mortar Metode I

Metode II



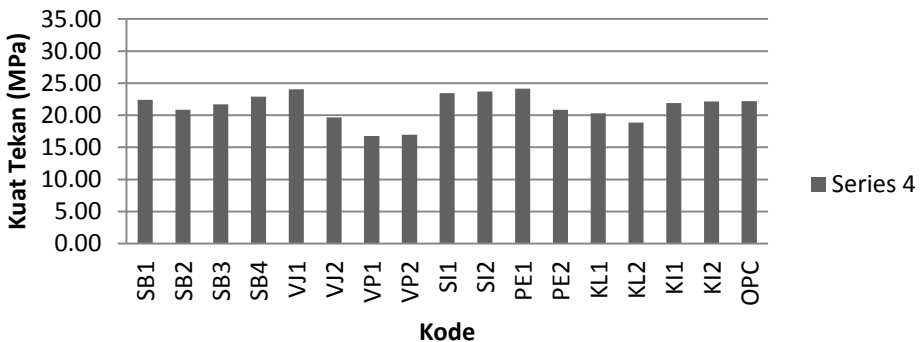
Gambar 4.7b Grafik Nilai Kuat Tekan Mortar Metode II

Metode III



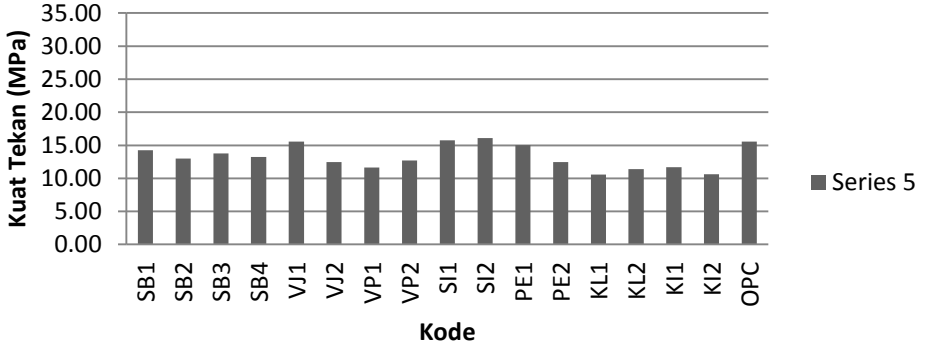
Gambar 4.7c Grafik Nilai Kuat Tekan Mortar Metode III

Metode IV



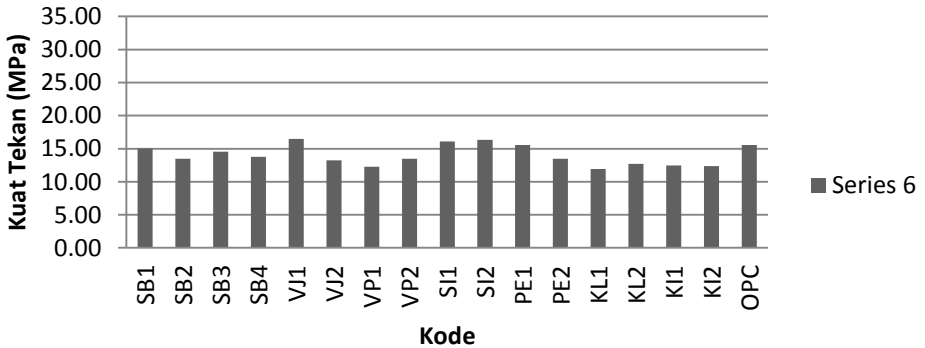
Gambar 4.7d Grafik Nilai Kuat Tekan Mortar Metode IV

Metode V



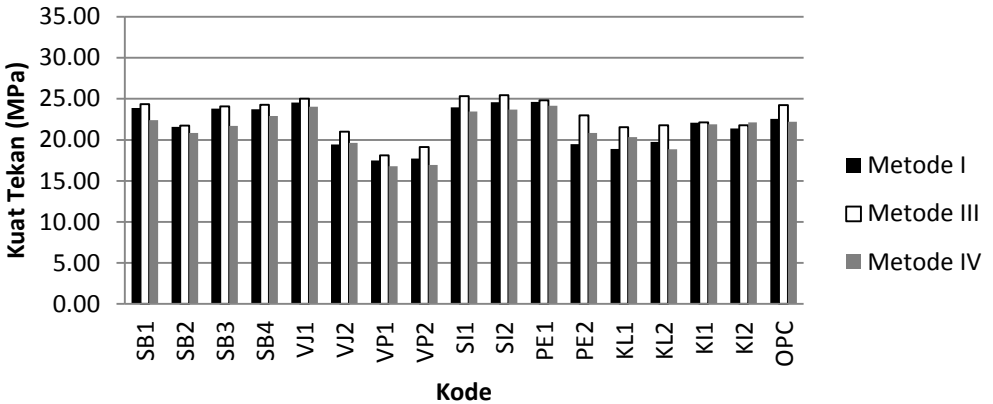
Gambar 4.7e Grafik Nilai Kuat Tekan Pasta Metode V

Metode VI



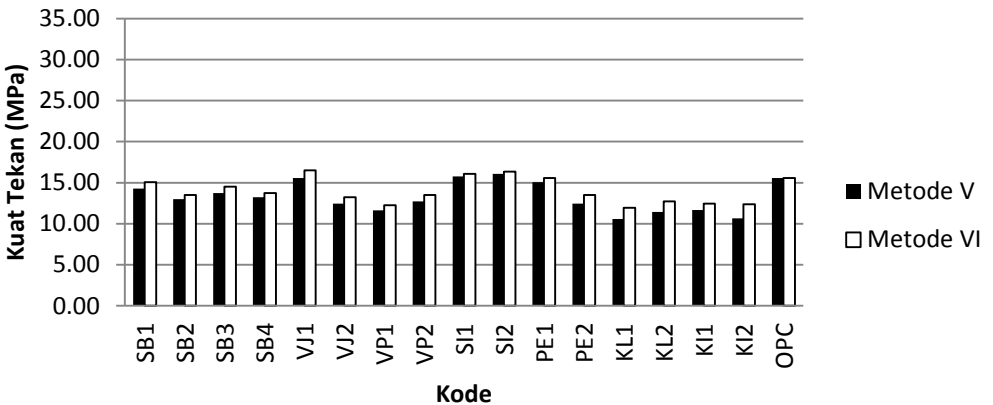
Gambar 4.7f Grafik Nilai Kuat Tekan Pasta Metode VI

Perbandingan Metode I, III, IV



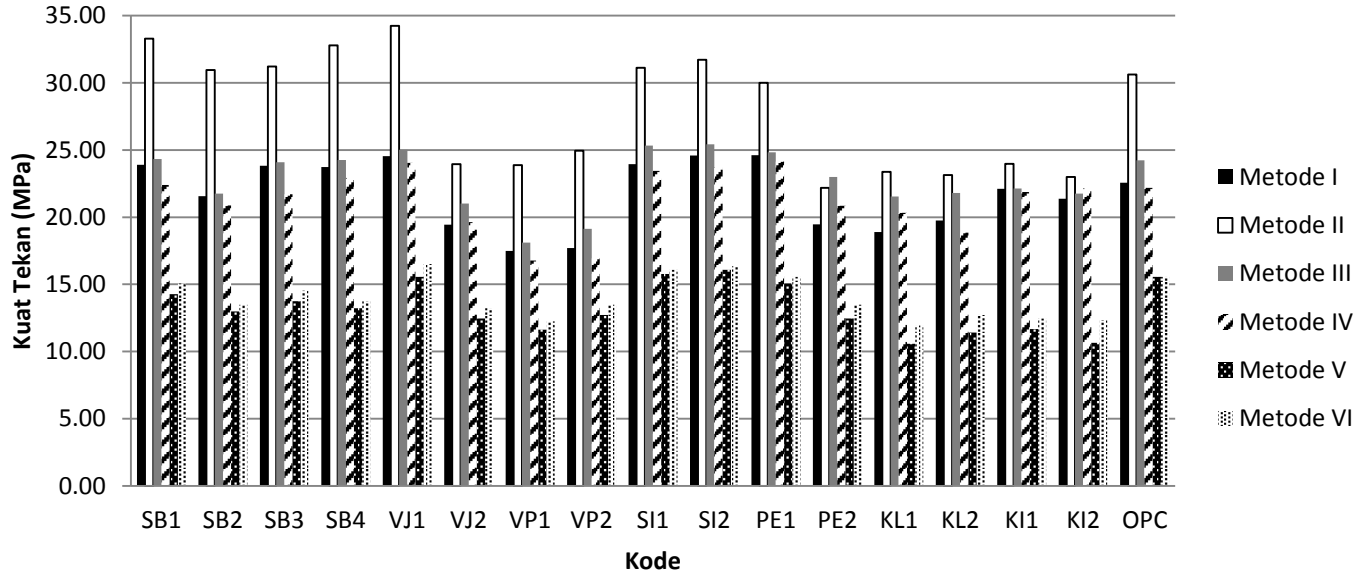
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Metode I, III, IV

Perbandingan Metode V, VI

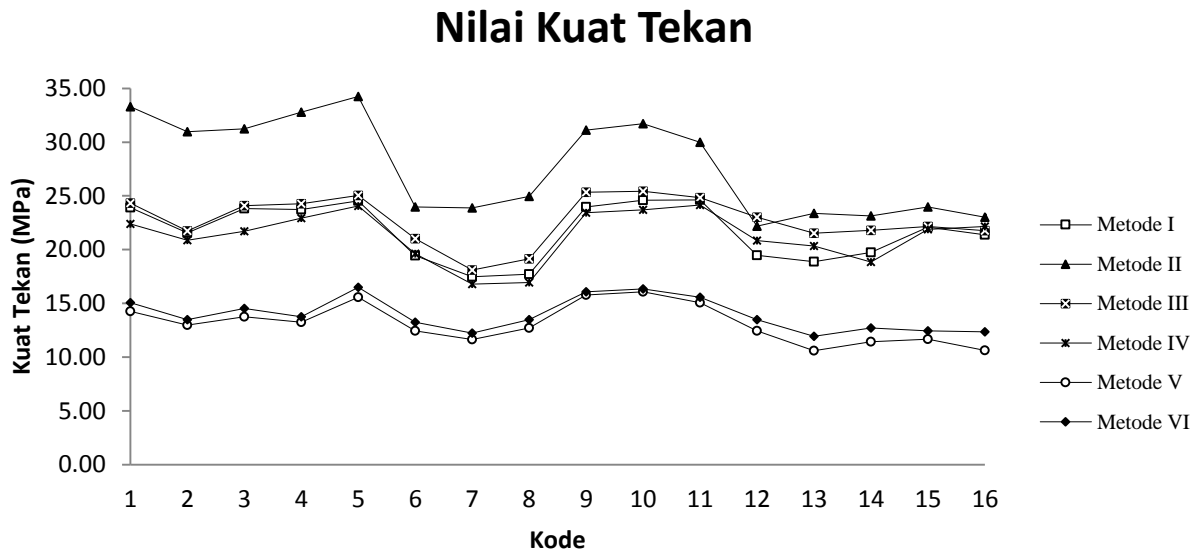


Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Metode V, V

Nilai Kuat Tekan



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Nilai Kuat Tekan 6 Metode



Gambar 4.11 Grafik Nilai Kuat Tekan 6 Metode

Pada grafik perbandingan nilai kuat tekan dari enam metode diatas, dimana metode I, II, III, IV merupakan metode pembuatan mortar, sementara metode V, VI merupakan metode pembuatan pasta. Terlihat nilai kuat tekan untuk metode II memiliki nilai kuat tekan paling tinggi, hal tersebut dikarenakan pada metode II mortar diuji tekan pada umur 28 hari, dibandingkan dengan metode pembuatan mortar lainnya yang melakukan uji tekan pada umur 7 hari.

Sementara perbandingan nilai kuat tekan mortar metode I dengan metode III, dan nilai kuat tekan pasta metode V dengan VI membuktikan bahwa dengan melakukan pengayakan terhadap fly ash akan didapatkan hasil kuat tekan yang lebih baik. Maka hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yaitu dengan adanya kenaikan pada tingkat kehalusan fly ash yang dipakai pada campuran beton akan berdampak pada penurunan nilai porositas beton sehingga akan menaikkan nilai kuat tekannya (Triwulan, 2003)

Berikut ini merupakan grafik nilai strength activity index dari keenam metode, pemberian index dilakukan dengan cara menetapkan nilai index = 1 untuk mortar atau pasta dengan tanpa campuran fly ash (semen murni). Hasil kuat tekan mortar atau pasta berbahan fly ash kemudian dibandingkan dengan hasil kuat tekan mortar atau pasta berbahan semen murni untuk mendapatkan index kekuatan mortar atau pasta berbahan fly ash dengan mortar atau pasta berbahan semen. Pemberian indeks tersebut bertujuan untuk mengetahui kualitas fly ash dalam kaitannya untuk meningkatkan kekuatan beton.

Untuk mengetahui kemiripan kelima metode terhadap metode kedua, dilakukan analisa dengan mencari delta (Δ) setiap metode dan mencari standar deviasi yang paling kecil. Urutan delta (Δ) adalah sebagai berikut :

- $\Delta (2 - 1) = \Delta 1$ (perbedaan nilai kuat tekan) = Δa (perbedaan SAI)
- $\Delta (2 - 3) = \Delta 2$ (perbedaan nilai kuat tekan) = Δb (perbedaan SAI)
- $\Delta (2 - 4) = \Delta 3$ (perbedaan nilai kuat tekan) = Δc (perbedaan SAI)
- $\Delta (2 - 5) = \Delta 4$ (perbedaan nilai kuat tekan) = Δd (perbedaan SAI)
- $\Delta (2 - 6) = \Delta 5$ (perbedaan nilai kuat tekan) = Δe (perbedaan SAI)

Dan setelah dihitung diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4.21 perhitungan delta (Δ) serta standar deviasi

Kode Fly Ash	Δ									
	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\Delta 5$	Δa	Δb	Δc	Δd	Δe
SB1	9.39	8.96	10.90	19.03	18.25	0.03	0.08	0.08	0.17	0.12
SB2	9.39	9.22	10.10	17.99	17.47	0.06	0.11	0.07	0.18	0.14
SB3	7.40	7.13	9.51	17.47	16.69	-0.04	0.03	0.04	0.14	0.09
SB4	9.05	8.51	9.86	19.55	19.03	0.02	0.07	0.04	0.22	0.19
VJ1	9.70	9.22	10.21	18.68	17.75	0.03	0.09	0.04	0.12	0.06
VJ2	4.51	2.94	4.32	11.50	10.72	-0.08	-0.08	-0.10	-0.02	-0.07
VP1	6.38	5.76	7.09	12.25	11.62	0.00	0.03	0.02	0.03	-0.01
VP2	7.23	5.81	7.99	12.23	11.45	0.03	0.03	0.05	0.00	-0.05
SI1	7.16	5.78	7.68	15.34	15.03	-0.05	-0.03	-0.04	0.00	-0.02
SI2	7.13	6.30	8.03	15.64	15.38	-0.05	-0.01	-0.03	0.00	-0.01
PE1	5.38	5.17	5.85	14.95	14.43	-0.11	-0.04	-0.11	0.01	-0.02
PE2	2.73	-0.81	1.35	9.74	8.70	-0.14	-0.22	-0.21	-0.08	-0.14
KL1	4.50	1.85	3.06	12.80	11.45	-0.07	-0.12	-0.15	0.08	0.00
KL2	3.39	1.35	4.29	11.73	10.43	-0.12	-0.14	-0.09	0.02	-0.06
KI1	1.87	1.83	2.09	12.30	11.52	-0.20	-0.13	-0.20	0.03	-0.02
KI2	1.63	1.25	0.86	12.37	10.66	-0.20	-0.15	-0.25	0.07	-0.04
Rata - Rata	6.05	5.02	6.45	14.60	13.79	-0.06	-0.03	-0.05	0.06	0.01
Standar Deviasi	2.72	3.24	3.39	3.14	3.33	0.08	0.10	0.11	0.08	0.09

Dari tabel diatas merupakan perhitungan delta (perubahan) dan standar deviasi untuk kuat tekan serta SAI. Bila ditinjau dari

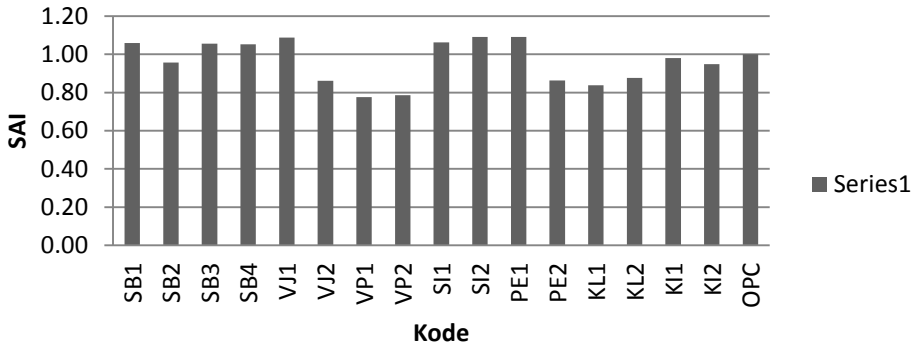
perubahan kuat tekan terlihat bahwa $\Delta 1$ memiliki standar deviasi paling kecil dibandingkan dengan delta lainnya, dimana $\Delta 1$ merupakan perubahan kuat tekan metode 2 dengan metode 1. Jadi, metode 1 memiliki kesamaan dengan metode kedua bila ditinjau dari perubahan kuat tekannya. Sementara untuk perubahan SAI terlihat Δa dan Δd memiliki nilai standar deviasi terkecil dibandingkan dengan yang lainnya, dimana Δa dan Δd merupakan perubahan SAI metode kedua terhadap metode 1 dan metode 5. Jadi, apabila ditinjau dari perubahan SAInya metode 1 dan metode 5 memiliki kesamaan dengan metode 2.

Tabel 4.22 Strength Activity Index Pada Kuat Tekan Mortar dan Pasta

Kode Fly Ash	Metode I		Metode II		Metode III		Metode IV		Metode V		Metode VI		SAI (Rata - rata)	SAI Rank
	fc'(1)	SAI	fc'(2)	SAI	fc'(3)	SAI	fc'(4)	SAI	fc'(5)	SAI	fc'(6)	SAI		
SB1	23,91	1,06	33,30	1,09	24,34	1,00	22,40	1,01	14,27	0,92	15,05	0,97	1,01	5
SB2	21,57	0,96	30,96	1,01	21,74	0,90	20,86	0,94	12,97	0,83	13,49	0,87	0,92	8
SB3	23,82	1,06	31,22	1,02	24,10	0,99	21,71	0,98	13,75	0,88	14,53	0,93	0,98	6
SB4	23,73	1,05	32,78	1,07	24,27	1,00	22,92	1,03	13,23	0,85	13,75	0,88	0,98	7
VJ1	24,55	1,09	34,25	1,12	25,03	1,03	24,04	1,08	15,57	1,00	16,50	1,06	1,06	1
VJ2	19,44	0,86	23,96	0,78	21,02	0,87	19,63	0,88	12,45	0,80	13,23	0,85	0,84	12
VP1	17,49	0,78	23,87	0,78	18,11	0,75	16,78	0,76	11,62	0,75	12,25	0,79	0,77	16
VP2	17,71	0,79	24,94	0,81	19,13	0,79	16,95	0,76	12,71	0,82	13,49	0,87	0,81	14
SI1	23,96	1,06	31,12	1,02	25,34	1,05	23,44	1,06	15,78	1,01	16,09	1,03	1,04	3
SI2	24,60	1,09	31,73	1,04	25,43	1,05	23,70	1,07	16,09	1,03	16,35	1,05	1,05	2
PE1	24,62	1,09	30,00	0,98	24,82	1,02	24,15	1,09	15,05	0,97	15,57	1,00	1,02	4
PE2	19,46	0,86	22,19	0,72	23,01	0,95	20,84	0,94	12,45	0,80	13,49	0,87	0,86	10
KL1	18,89	0,84	23,39	0,76	21,54	0,89	20,33	0,92	10,59	0,68	11,94	0,77	0,81	15
KL2	19,75	0,88	23,15	0,76	21,80	0,90	18,86	0,85	11,42	0,73	12,71	0,82	0,82	13

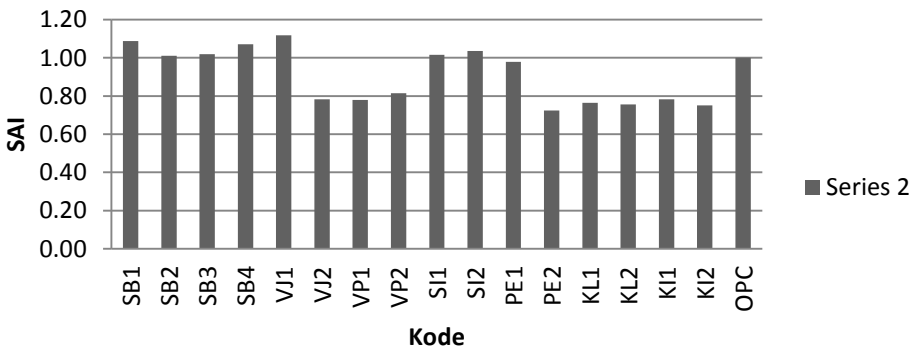
KI1	22,11	0,98	23,98	0,78	22,14	0,91	21,88	0,99	11,68	0,75	12,45	0,80	0,87	9
KI2	21,38	0,95	23,01	0,75	21,76	0,90	22,14	1,00	10,64	0,68	12,35	0,79	0,85	11
OPC	22,56	1,00	30,62	1,00	24,24	1,00	22,19	1,00	15,57	1,00	15,57	1,00	1,00	-

Metode 1



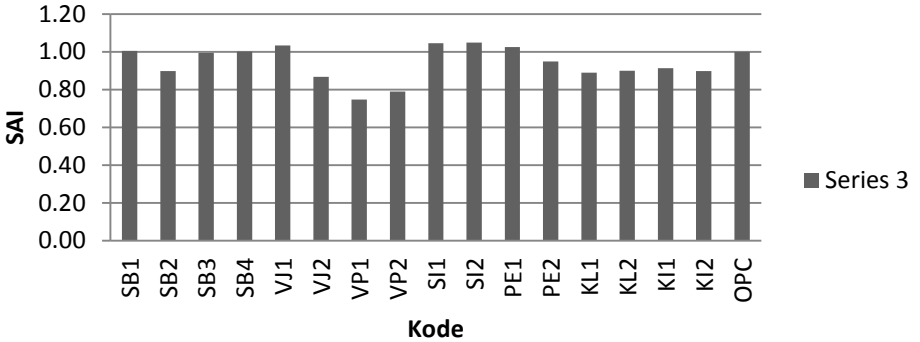
Gambar 4.12a Grafik Nilai Strength Activity Index Metode I

Metode II



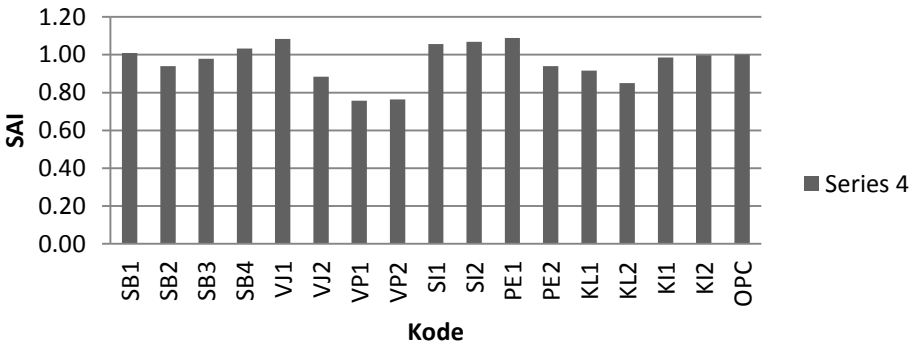
Gambar 4.12b Grafik Nilai Strength Activity Index Metode II

Metode III



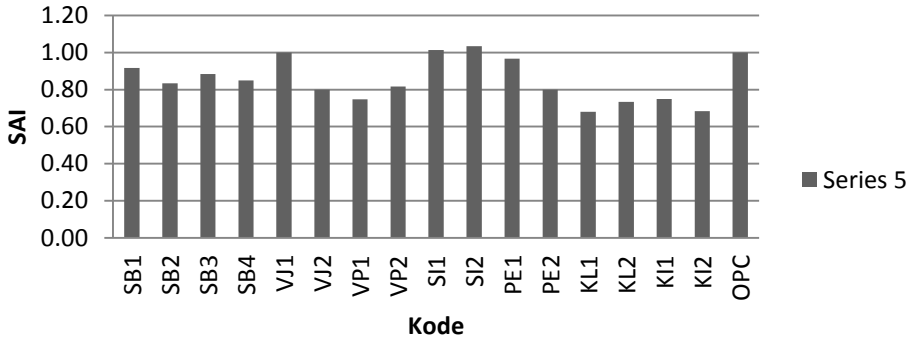
Gambar 4.12c Grafik Nilai Strength Activity Index Metode III

Metode IV



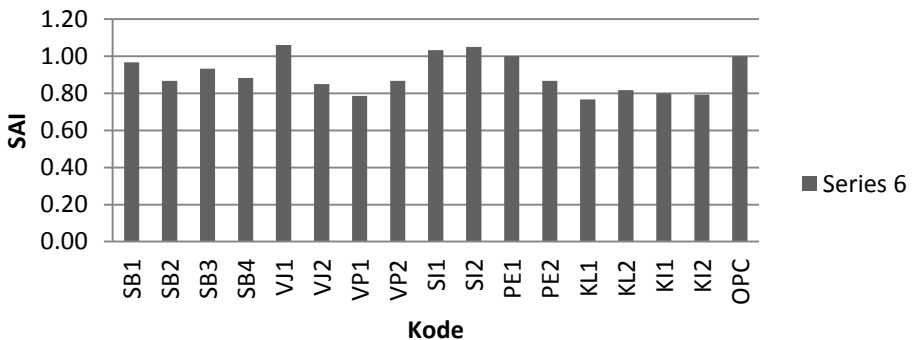
Gambar 4.12d Grafik Nilai Strength Activity Index Metode IV

Metode V

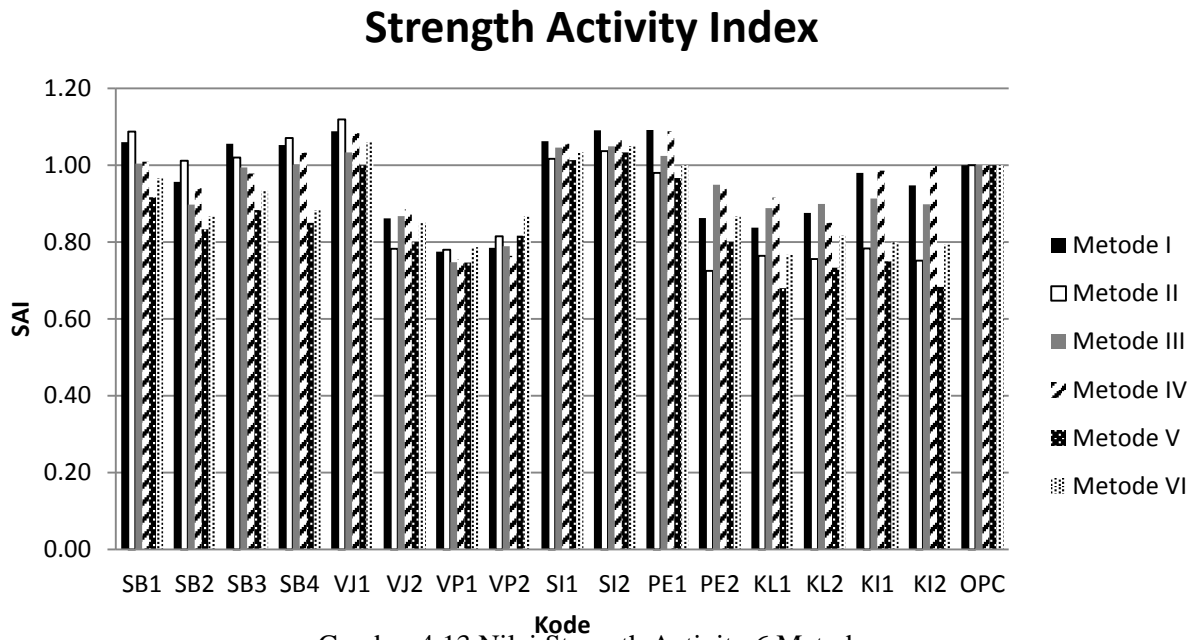


Gambar 4.12e Nilai Strength Activity index metode V

Metode VI

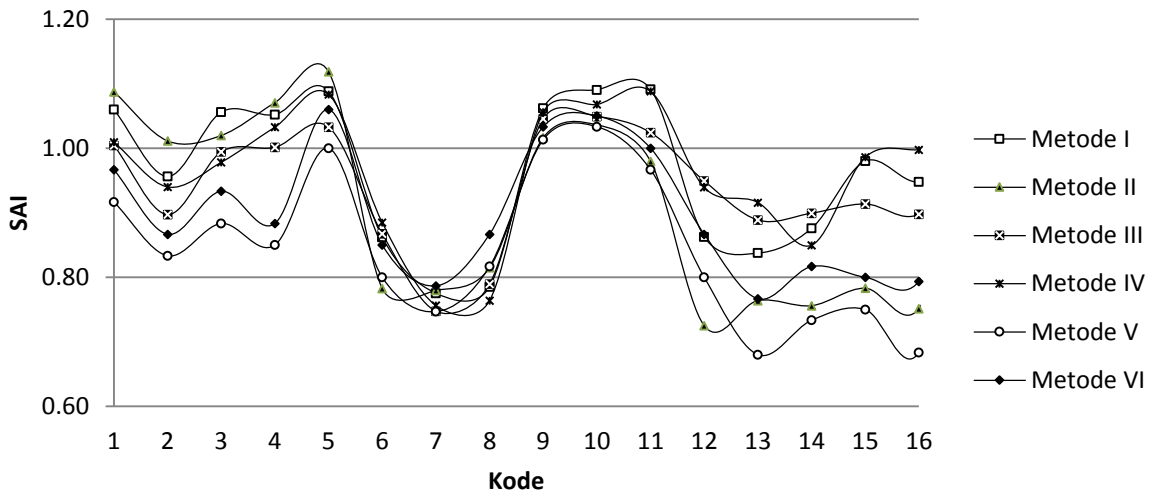


Gambar 4.12f Nilai Strength Activity index metode VI



Gambar 4.13 Nilai Strength Activity 6 Metode

Strength Activity Index



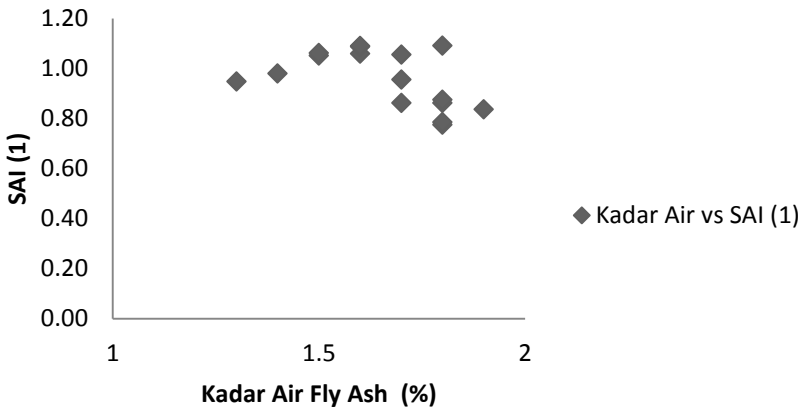
Gambar 4.14 Grafik Strength Activity 6 Metode

4.4 Hubungan Sifat Fisik Dengan Mekanik Fly Ash

Dalam subbab ini akan disajikan grafik hubungan antara sifat fisik dengan sifat mekanik fly ash yang berupa nilai SAI disetiap metodenya yang ditunjukkan dengan adanya indeks (1) dan seterusnya, serta akan ditarik setiap kesimpulan dari semua hubungan sifat fisik dengan mekanik dari fly ash tersebut.

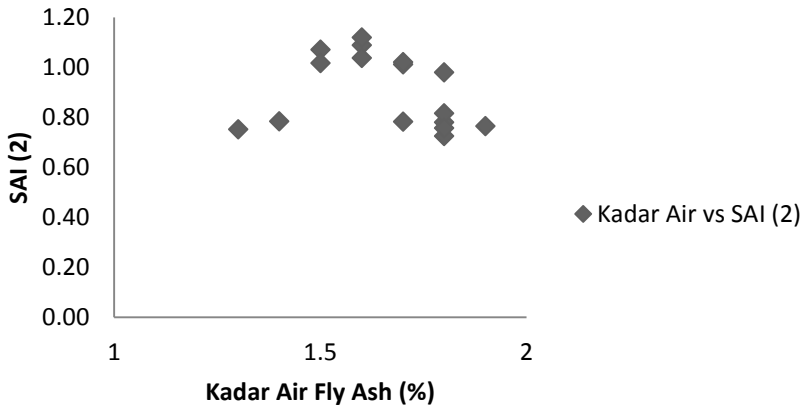
4.4.1 Hubungan Kadar Air Fly Ash Dengan Strength Activity Index

Hubungan Kadar Air Fly Ash dengan SAI (1)



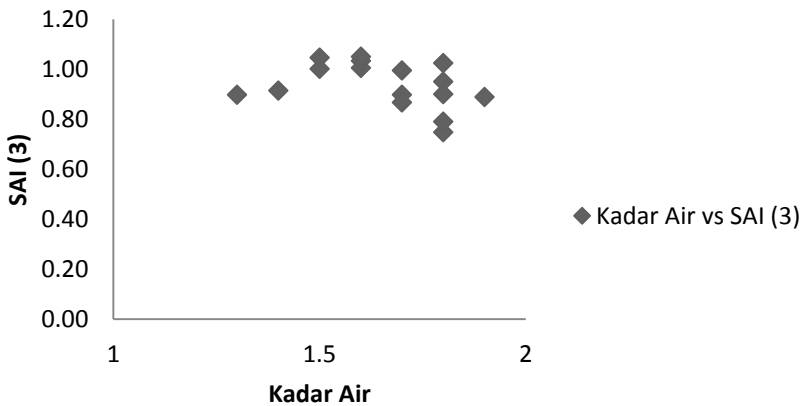
Gambar 4.15a Hubungan Kadar Air Fly Ash dengan SAI (1)

Hubungan Kadar Air Fly Ash dengan SAI (2)



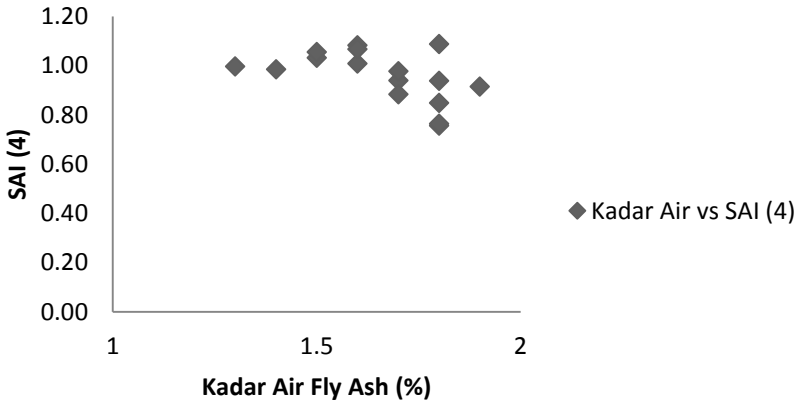
Gambar 4.15b Hubungan Kadar Air Fly Ash dengan SAI (2)

Hubungan Kadar Air Fly Ash dengan SAI (3)



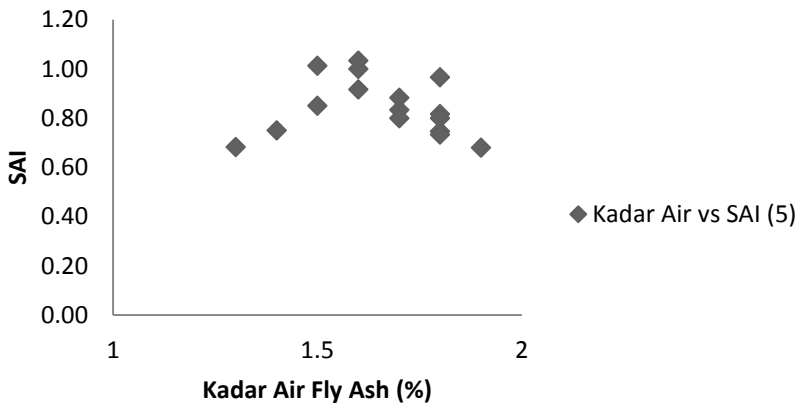
Gambar 4.15c Hubungan Kadar Air Fly Ash dengan SAI (3)

Hubungan Kadar Air Fly Ash dengan SAI (4)



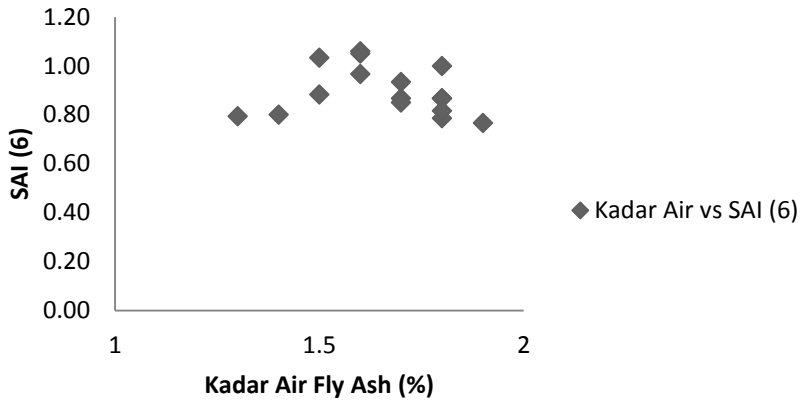
Gambar 4.15d Hubungan Kadar Air Fly Ash dengan SAI (4)

Hubungan Kadar Air Fly Ash dengan SAI (5)



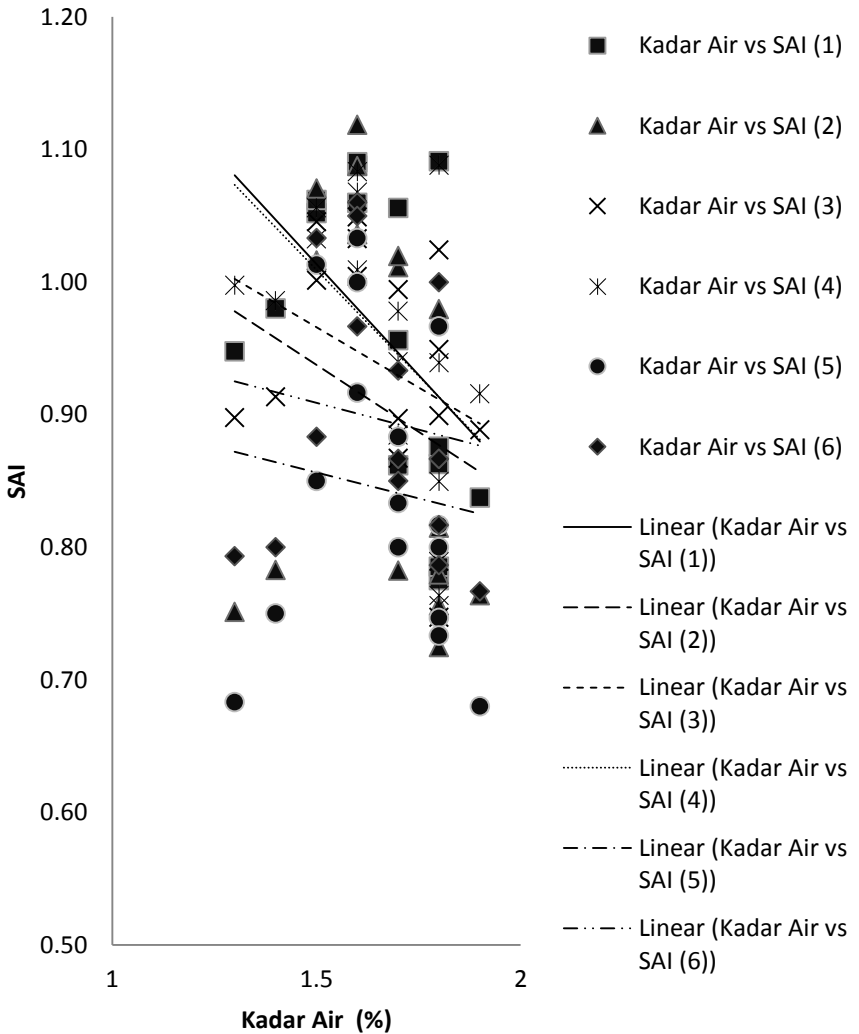
Gambar 4.15e Hubungan Kadar Air Fly Ash dengan SAI (5)

Hubungan Kadar Air Fly Ash dengan SAI (6)



Gambar 4.15f Hubungan Kadar Air Fly Ash dengan SAI (6)

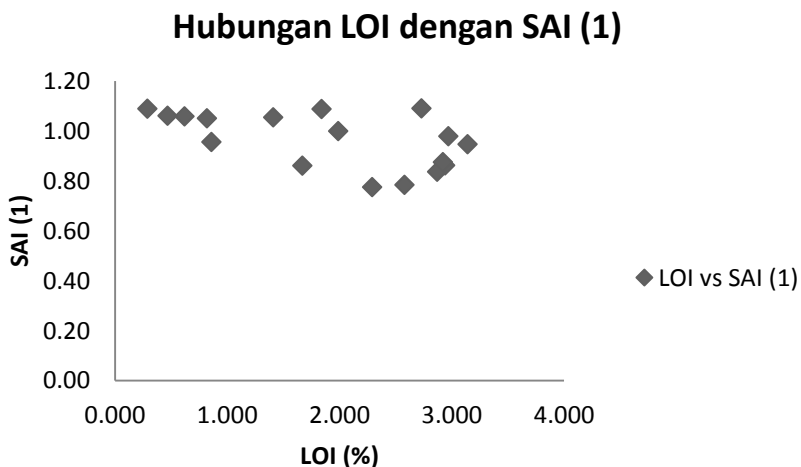
Hubungan Kadar Air Fly Ash dengan SAI



Gambar 4.16 Hubungan Kadar Air Fly Ash dengan SAI

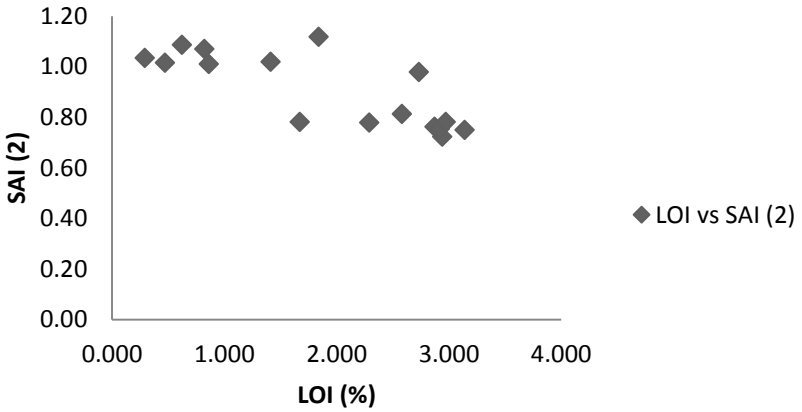
Dari grafik diatas kemungkinan semakin kecilnya kadar air dari suatu fly ash akan meningkatkan kuat tekan dari mortar dan pasta yang berbahan campuran fly ash tersebut dan sebaliknya. Hal itu dimungkinkan karena semakin banyaknya kadar air dalam fly ash maka akan semakin kecil pula jumlah prosentase air pada mortar dan pasta nantinya, sehingga rongga udara yang terdapat pada mortar dan pasta akan semakin sedikit dan membuat kuat tekannya lebih meningkat. Penelitian yang telah dilakukan oleh Ginting (2011) juga menghasilkan bahwa semakin sedikit kadar air dalam campuran beton akan meningkatkan kuat tekannya.

4.4.2 Hubungan Kerugian Akibat Pengapian (Loss Of Ignition) Fly Ash Dengan Strength Activity Index



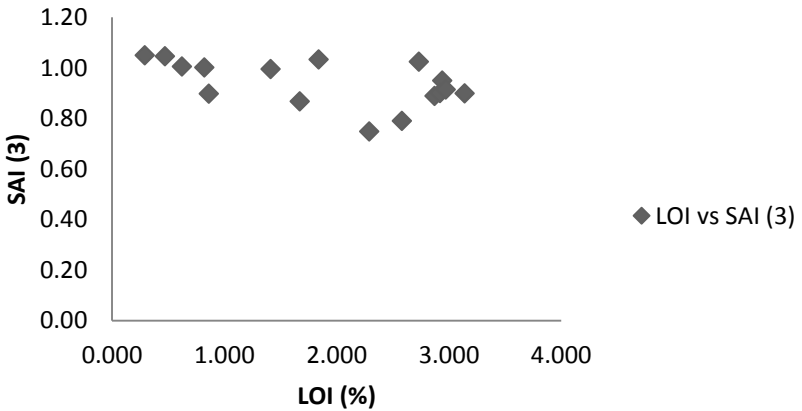
Gambar 4.17a Hubungan LOI dengan SAI (1)

Hubungan LOI dengan SAI (2)



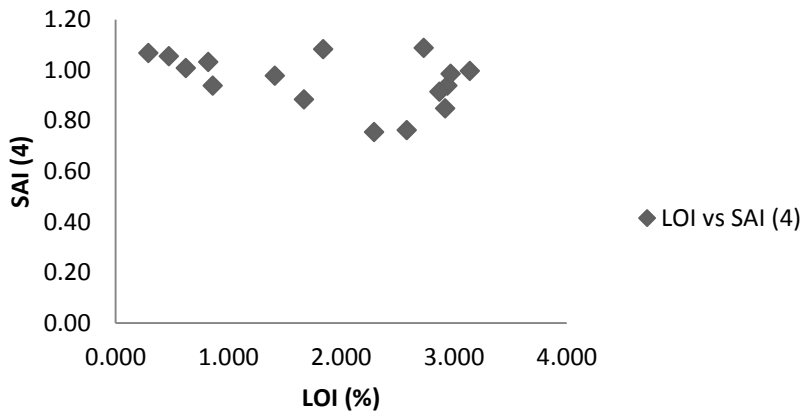
Gambar 4.17b Hubungan LOI dengan SAI (2)

Hubungan LOI dengan SAI (3)



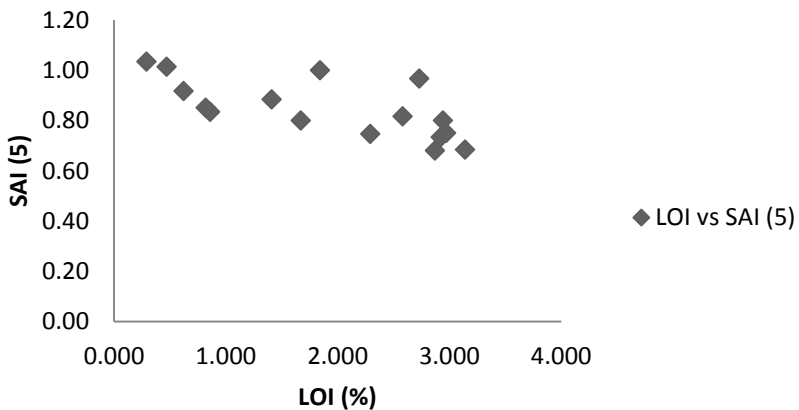
Gambar 4.17c Hubungan LOI dengan SAI (3)

Hubungan LOI dengan SAI (4)

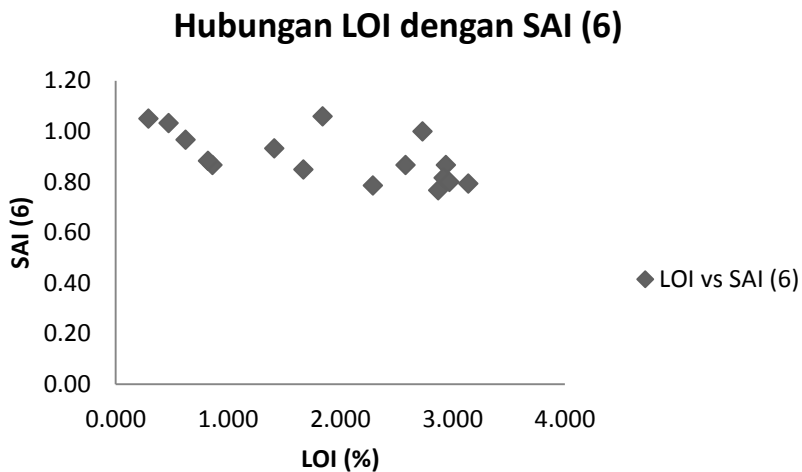


Gambar 4.17d Hubungan LOI dengan SAI (4)

Hubungan LOI dengan SAI (5)

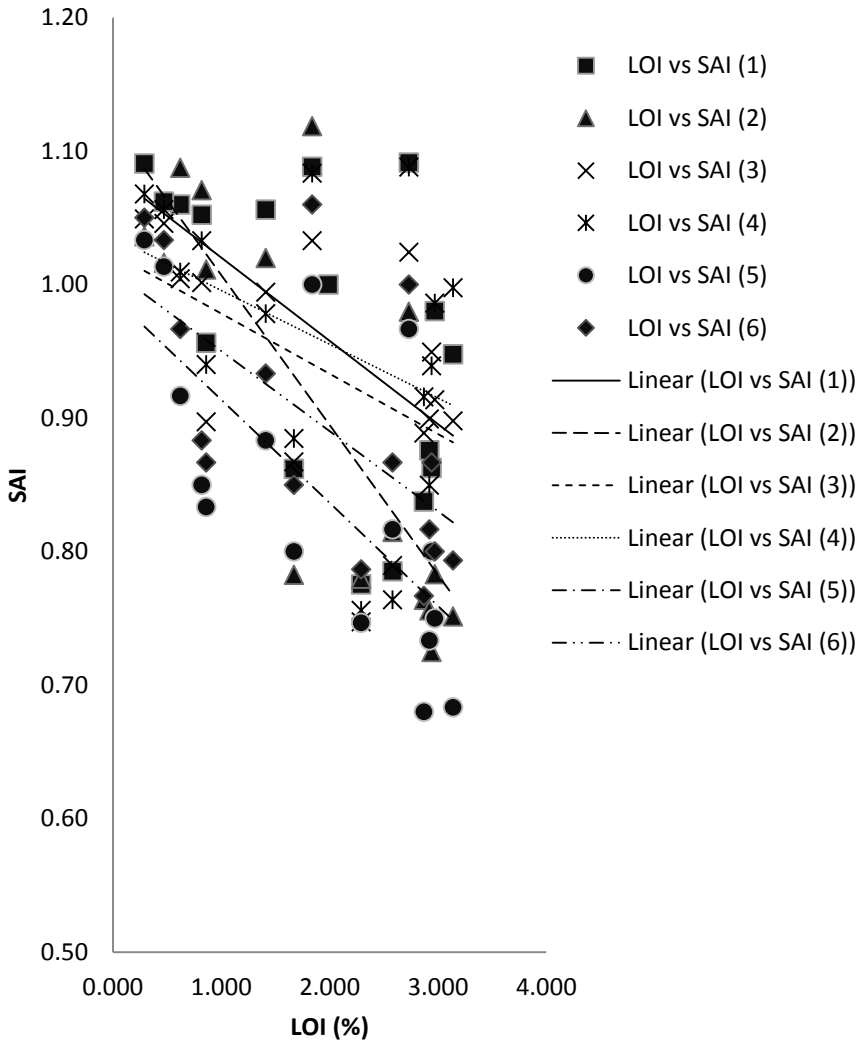


Gambar 4.17e Hubungan LOI dengan SAI (5)



Gambar 4.17f Hubungan LOI dengan SAI (6)

Hubungan LOI dengan SAI



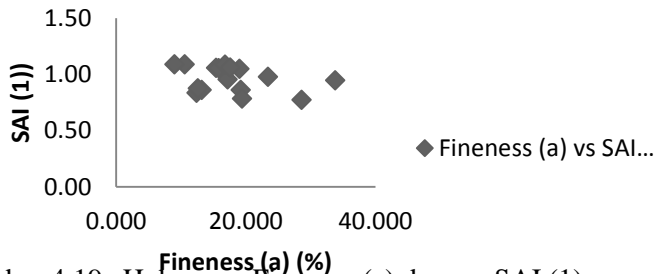
Gambar 4.18 Hubungan LOI dengan SAI

Dari grafik diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin kecilnya kerugian akibat pengapian (loss of ignition) dari suatu fly ash akan meningkatkan kuat tekan dari mortar dan pasta yang berbahan campuran fly ash tersebut, dimana LOI menghasilkan kesimpulan tentang banyaknya kadar karbon yang tersisa dalam fly ash setelah pembakaran yang cukup signifikan dalam memberikan efek negatif pada fly ash. Sehingga hasil ini juga diperkuat dengan penelitian sebelumnya oleh Ekaputri dkk (2013) yang memperlihatkan hasil semakin banyaknya prosentase Karbon dari fly ash maka akan menurunkan nilai SAI nya. Selain itu penelitian oleh Fernandez-Jime'nez dkk (2003) menyebutkan prosentase LOI dapat mempengaruhi kuat tekan, dimana prosentase maksimal LOI yang dimiliki oleh fly ash sebesar 5 % agar memperoleh nilai kuat tekan yang maksimum.

4.4.3 Hubungan Kehalusan (Fineness) Dengan Strength Activity Index

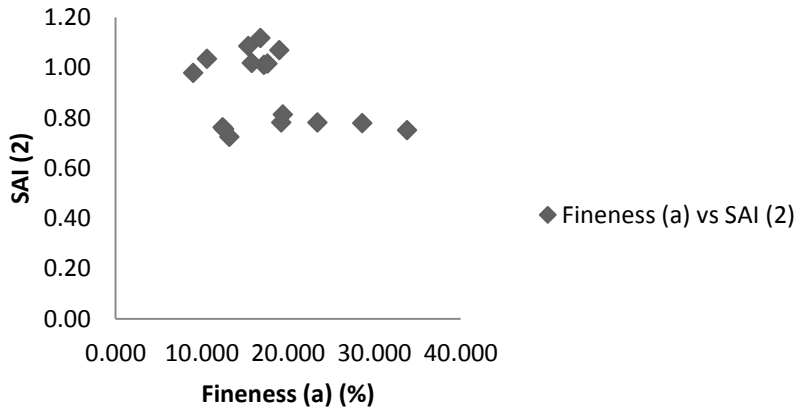
- a. Kehalusan (fineness (a)) fly ash ini berasal dari data hasil ayakan lolos no. 325.

Hubungan Fineness (a) dengan SAI (1)



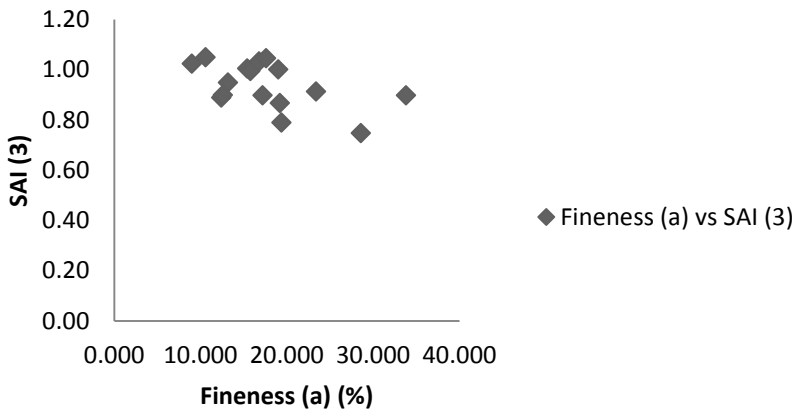
Gambar 4.19a Hubungan Fineness (a) dengan SAI (1)

Hubungan Fineness (a) dengan SAI (2)



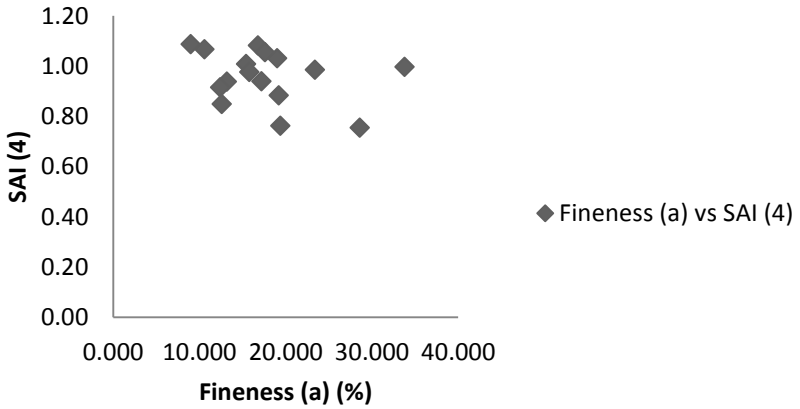
Gambar 4.19b Hubungan Fineness (a) dengan SAI (2)

Hubungan Fineness (a) dengan SAI (3)



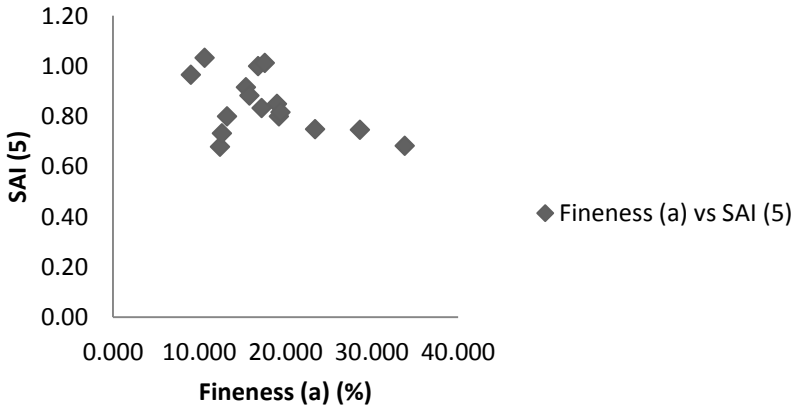
Gambar 4.19c Hubungan Fineness (a) dengan SAI (3)

Hubungan Fineness (a) dengan SAI (4)



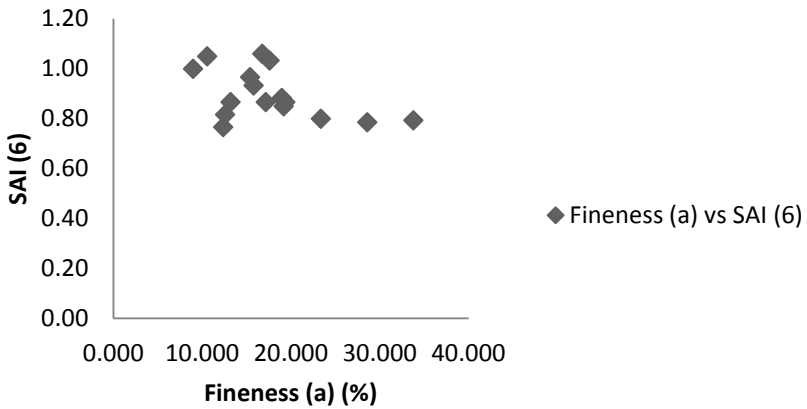
Gambar 4.19d Hubungan Fineness (a) dengan SAI (4)

Hubungan Fineness (a) dengan SAI (5)



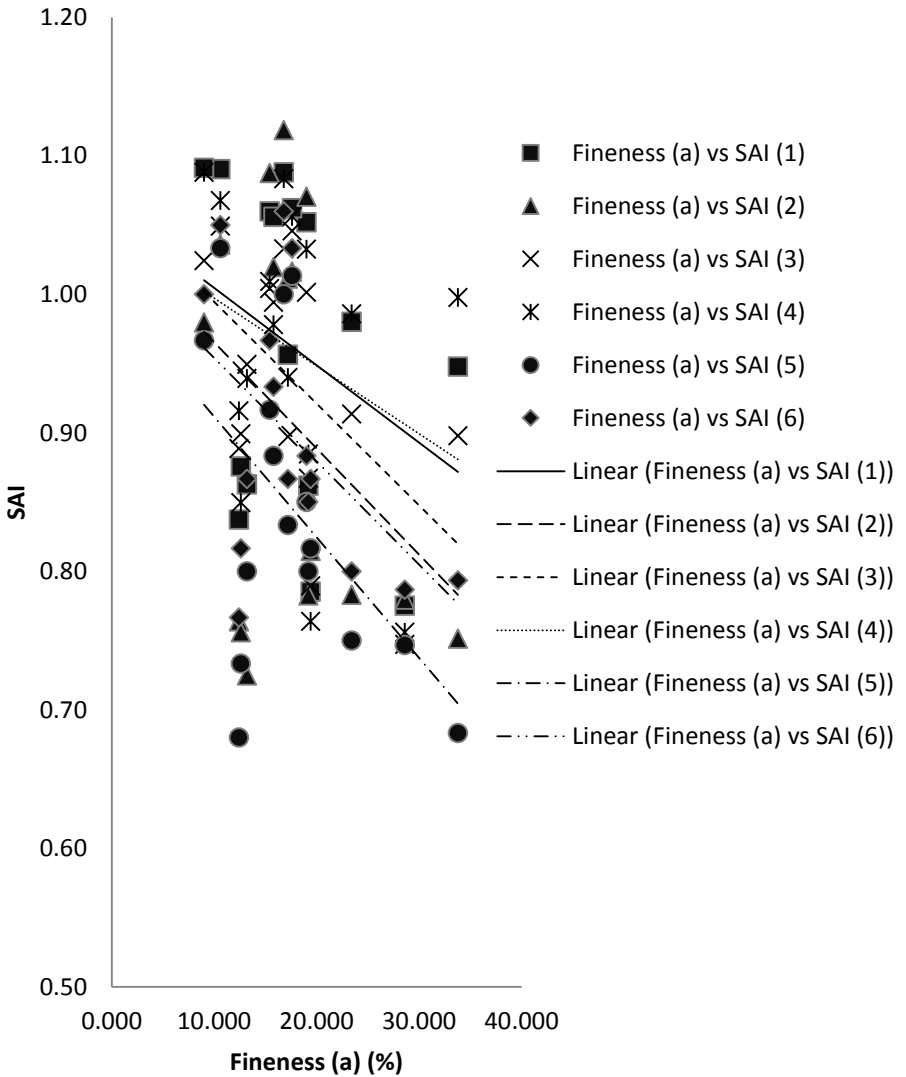
Gambar 4.19e Hubungan Fineness (a) dengan SAI (5)

Hubungan Fineness (a) dengan SAI (6)



Gambar 4.19f Hubungan Fineness (a) dengan SAI (6)

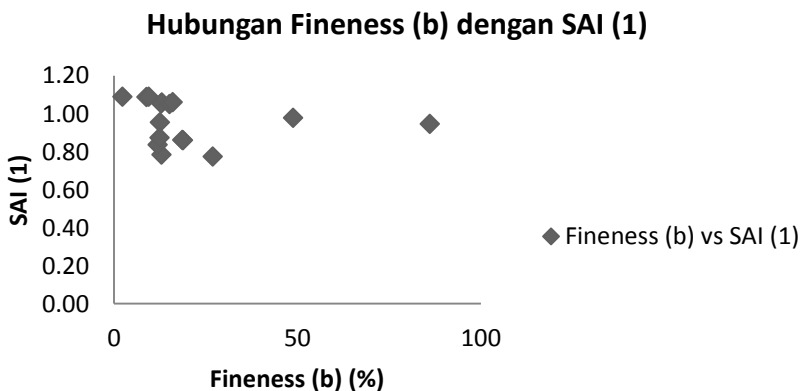
Hubungan Fineness (a) dengan SAI



Gambar 4.20 Hubungan Fineness (a) dengan SAI

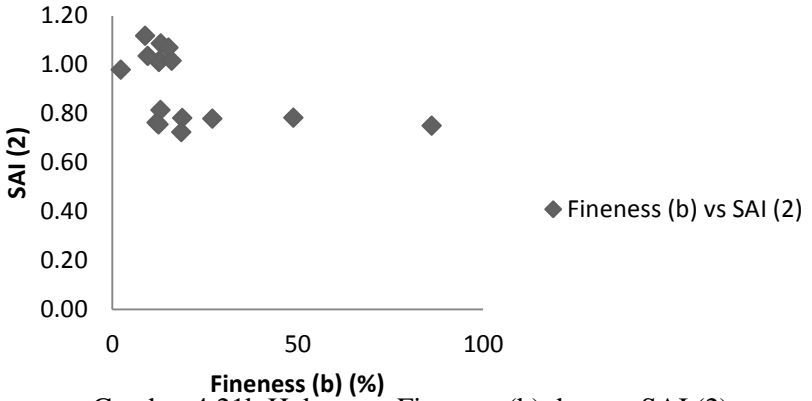
Dari grafik diatas dimungkinkan bahwa semakin kecil prosentase berat fly ash yang tertinggal pada saringan no.325 maka akan meningkatkan kuat tekan dari mortar dan pasta yang berbahan fly ash tersebut dan sebaliknya. Hasil tersebut juga dikuatkan dengan penelitian oleh Priadana tahun 2012 yang menyebutkan semakin kasar suatu fly ash maka akan menurunkan kemampuannya sebagai filler sehingga menyebabkan penurunan kuat tekan dan sebaliknya. Serta, sesuai dengan penelitian – penelitian sebelumnya yaitu dengan adanya kenaikan pada tingkat kehalusan fly ash yang dipakai pada campuran beton akan berdampak pada penurunan nilai porositas beton sehingga akan menaikkan nilai kuat tekannya (Triwulan dkk, 2003). Hal ini juga sesuai dengan penelitian oleh Chindaprasirt dkk (2005) dimana fly ash yang memiliki diameter lebih kecil maka memiliki kuat tekan lebih tinggi.

- b. Kehalusan (fineness (b)) fly ash ini berasal dengan bantuan mesin malvern dan bantuan software mastersizer 2000.



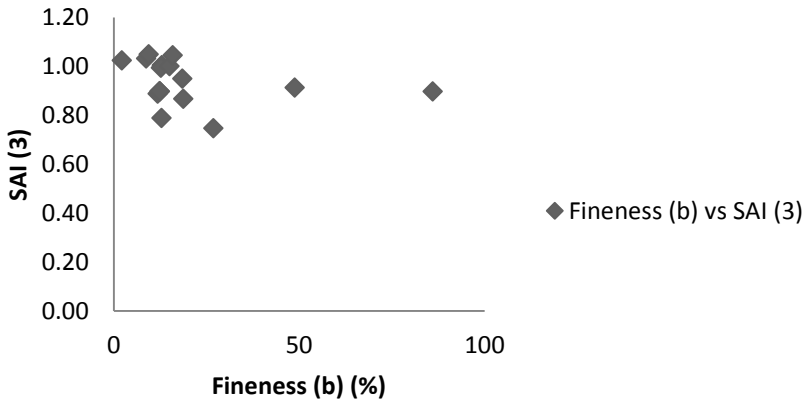
Gambar 4.21a Hubungan Fineness (b) dengan SAI (1)

Hubungan Fineness (b) dengan SAI (2)



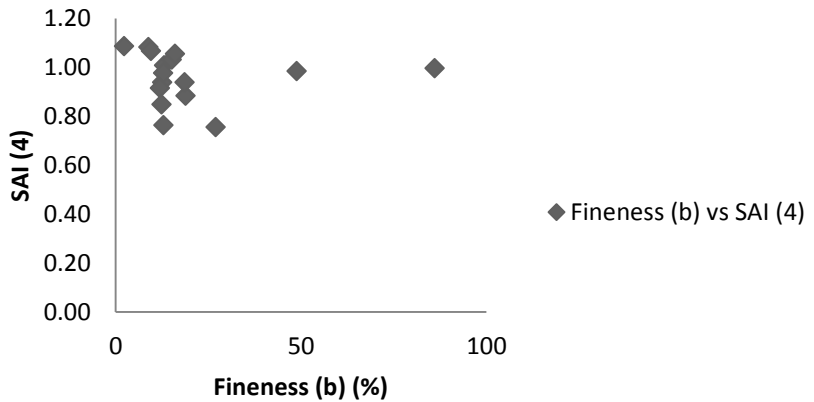
Gambar 4.21b Hubungan Fineness (b) dengan SAI (2)

Hubungan Fineness (b) dengan SAI (3)



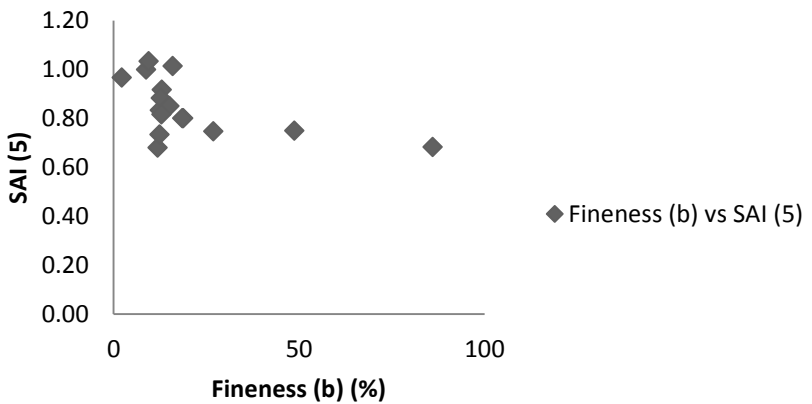
Gambar 4.21c Hubungan Fineness (b) dengan SAI (3)

Hubungan Fineness (b) dengan SAI (4)



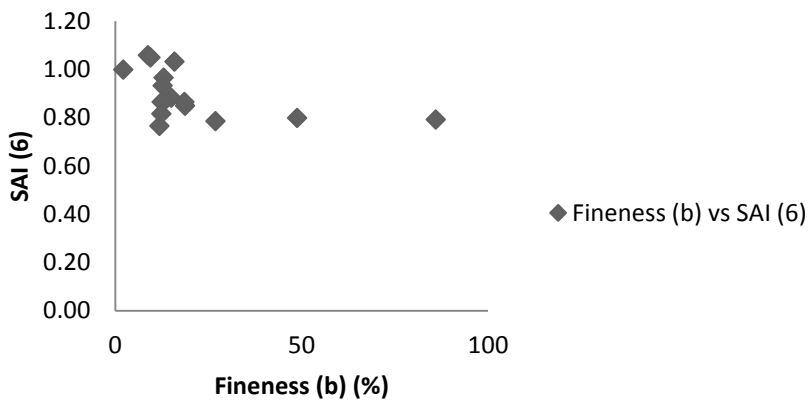
Gambar 4.21d Hubungan Fineness (b) dengan SAI (4)

Hubungan Fineness (b) dengan SAI (5)

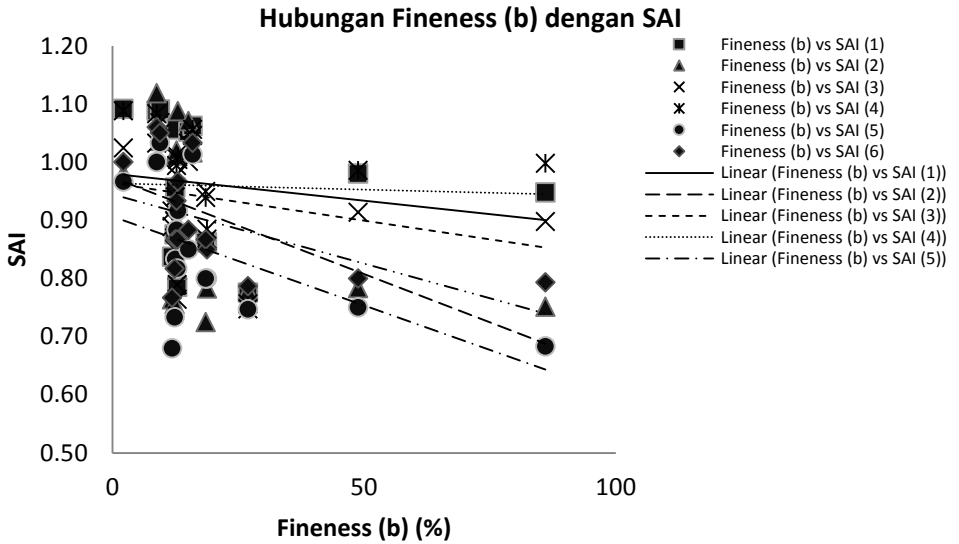


Gambar 4.21e Hubungan Fineness (b) dengan SAI (5)

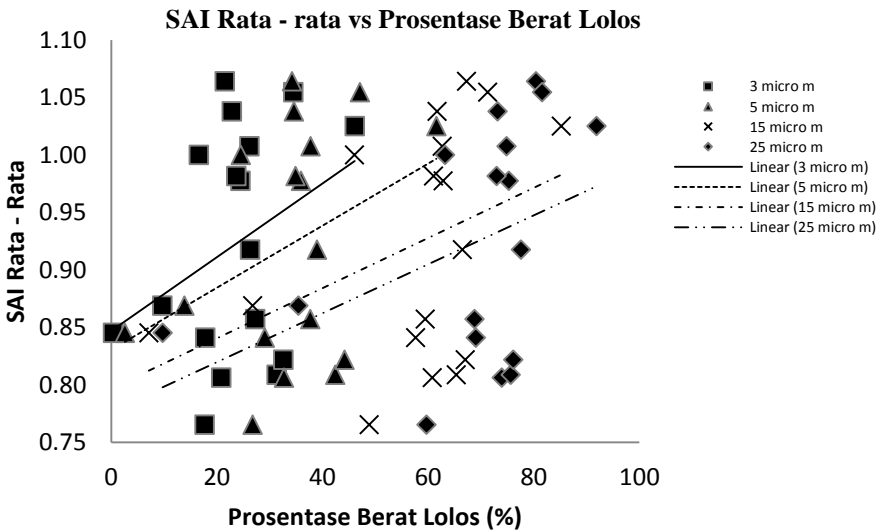
Hubungan Fineness (b) dengan SAI (6)



Gambar 4.21f Hubungan Fineness dengan SAI (6)



Gambar 4.22a Hubungan Fineness (b) dengan SAI

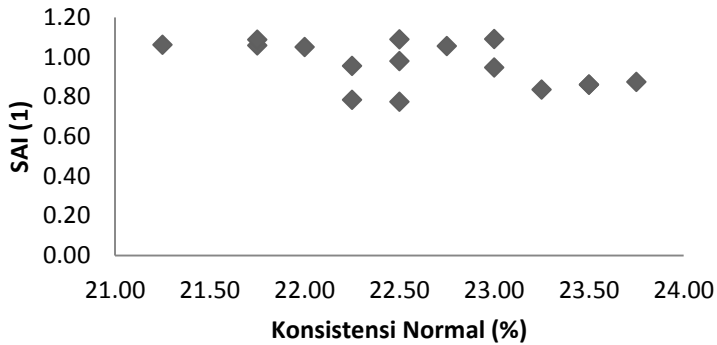


Gambar 4.22b Grafik Hubungan SAI rata – rata dengan Fineness (b) untuk ukuran 3, 5, 15 dan 25 μ m

Dari grafik 4.22a diatas bahwa semakin kecil prosentase berat fly ash yang tertinggal pada saringan no.325 maka akan meningkatkan kuat tekan dari mortar dan pasta yang berbahan campuran fly ash tersebut dan sebaliknya. Hasil grafik fineness b ini juga hampir sama dengan hasil percobaan kehalusan secara manual sehingga kesimpulan yang didapatkan sama seperti grafik kehalusan dengan SAI pada poin sebelumnya yang memiliki hasil yang sama dengan penelitian Triwulan dkk (2003) yang menyebutkan dengan kenaikan pada tingkat kehalusan fly ash yang dipakai pada campuran beton akan berdampak pada penurunan nilai porositas beton sehingga akan menaikkan nilai kuat tekannya serta penelitaian Chindaprasirt dkk (2005) yang menyatakan fly ash yang memiliki diameter lebih kecil maka memiliki kuat tekan lebih tinggi. Sementara gambar 4.22b memperlihatkan ukuran 3 μm lebih mempeengaruhi terhadap indeks kuat tekan dibandingkan dengan ukuran yang lainnya.

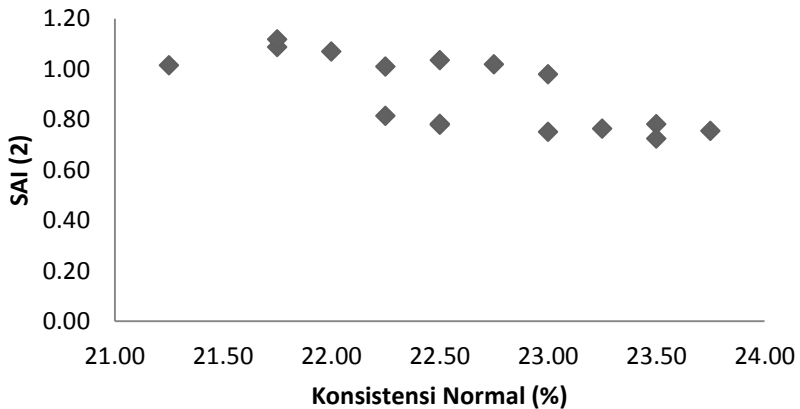
4.4.4 Hubungan Konsistensi Normal Dengan Strength Activity Index

Hubungan Konsistensi Normal dengan SAI (1)



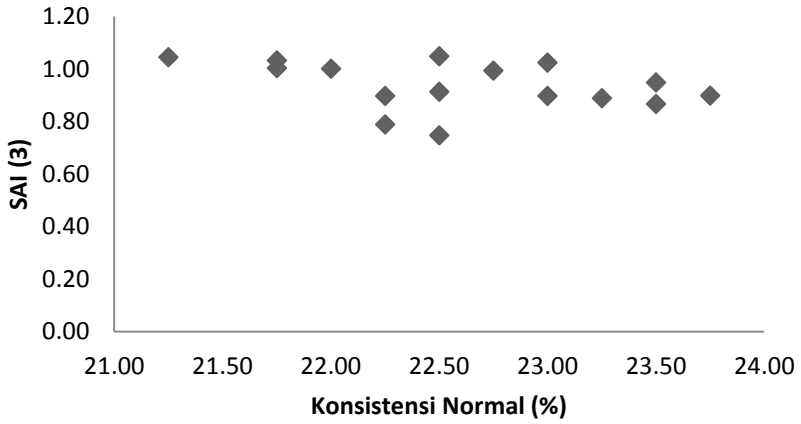
Gambar 4.23a Hubungan Konsistensi Normal dengan SAI (1)

Hubungan Konsistensi Normal dengan SAI (2)



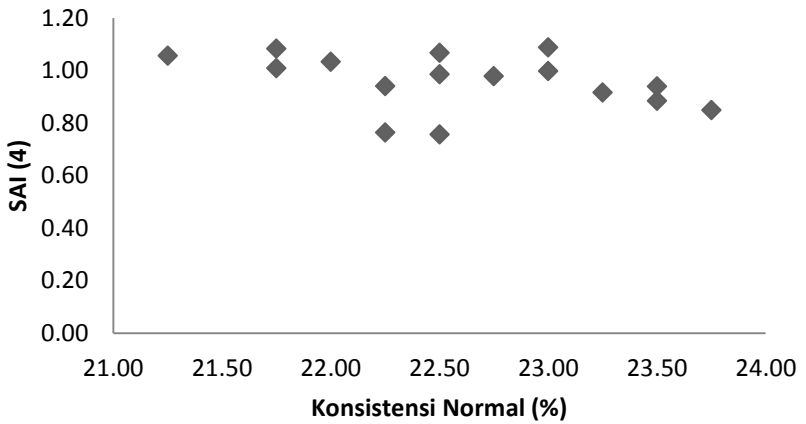
Gambar 4.23b Hubungan Konsistensi Normal dengan SAI (2)

Hubungan Konsistensi Normal dengan SAI (3)



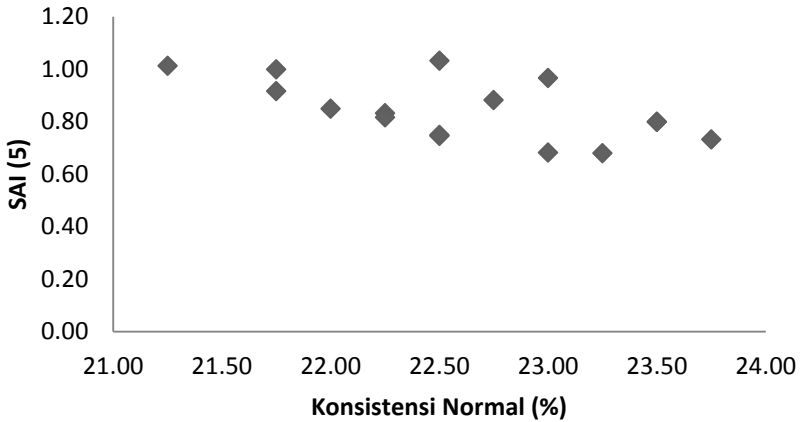
Gambar 4.23c Hubungan Konsistensi Normal dengan SAI (3)

Hubungan Konsistensi Normal dengan SAI (4)



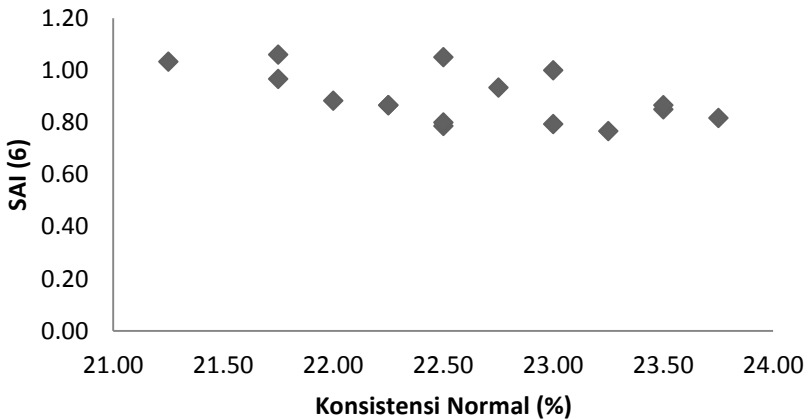
Gambar 4.23d Hubungan Konsistensi Normal dengan SAI (4)

Hubungan Konsistensi Normal dengan SAI (5)



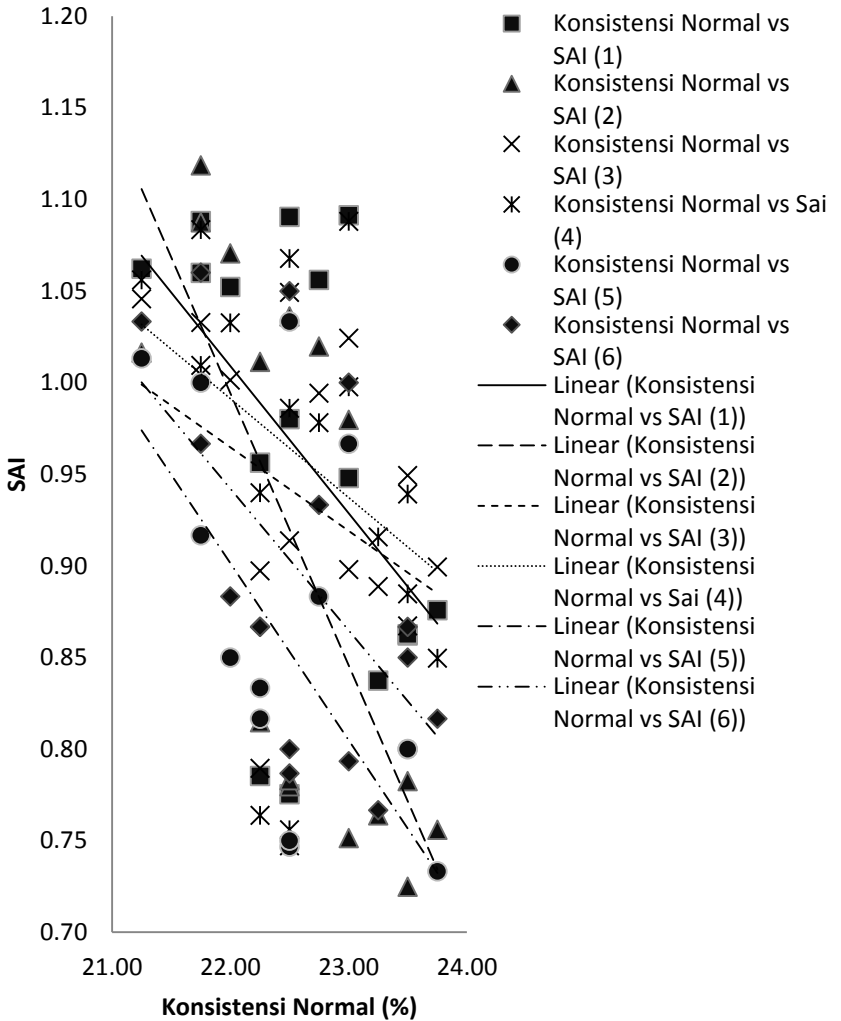
Gambar 4.23e Hubungan Konsistensi Normal dengan SAI (5)

Hubungan Konsistensi Normal dengan SAI (6)



Gambar 4.23f Hubungan Konsistensi Normal dengan SAI (6)

Hubungan Konsistensi Normal dengan SAI

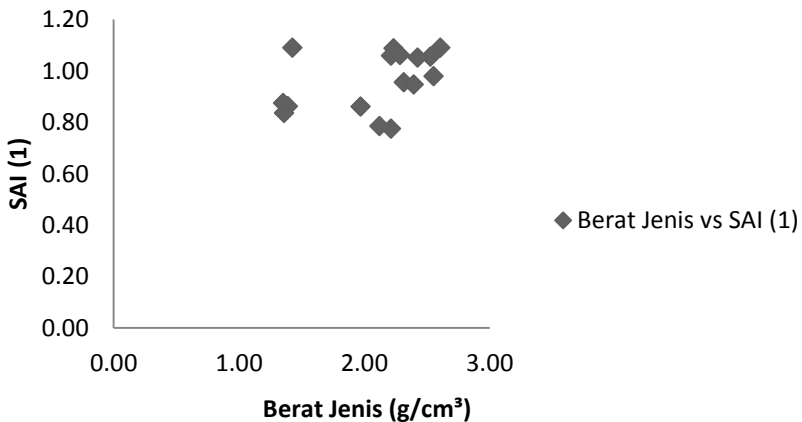


Gambar 4.24 Hubungan Konsistensi Normal dengan SAI

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa semakin kecil prosentase konsistensi normal yang dibutuhkan dalam pembuatan pasta fly ash maka akan meningkatkan kuat tekan dari mortar dan pasta yang berbahan campuran fly ash tersebut. Hal tersebut dimungkinkan karena semakin sedikit air yang dibutuhkan maka akan semakin sedikit pula rongga udara yang akan ada pada mortar maupun pasta, sehingga dapat menaikkan kuat tekannya. Hasil ini juga sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya oleh Ilham (2005) yang menghasilkan bahwa bentuk partikel abu terbang yang bulat mampu mengurangi kebutuhan air yang berpengaruh pada kuat tekannya.

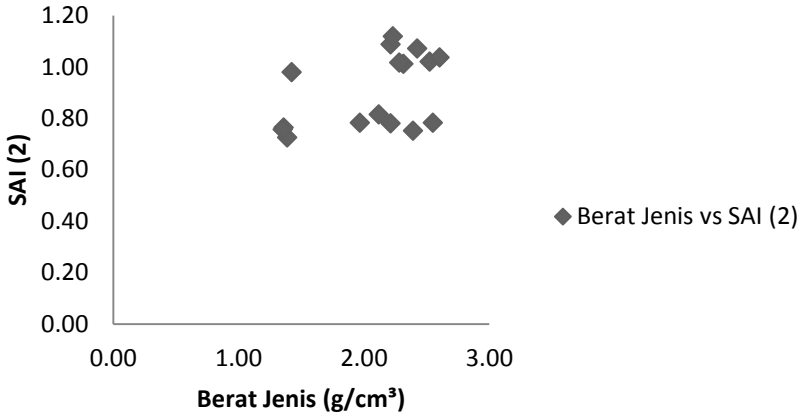
4.4.5 Hubungan Berat Jenis Dengan Strength Activity Index

Hubungan Berat Jenis dengan SAI (1)



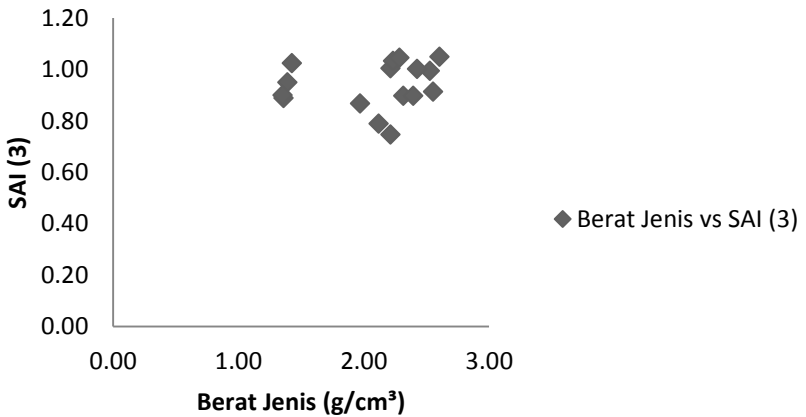
Gambar 4.25a Hubungan Berat Jenis dengan SAI (1)

Hubungan Berat Jenis dengan SAI (2)



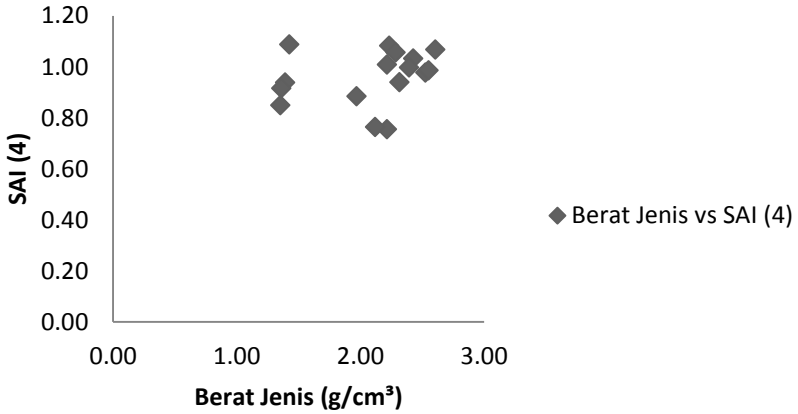
Gambar 4.25b Hubungan Berat Jenis dengan SAI (2)

Hubungan Berat Jenis dengan SAI (3)



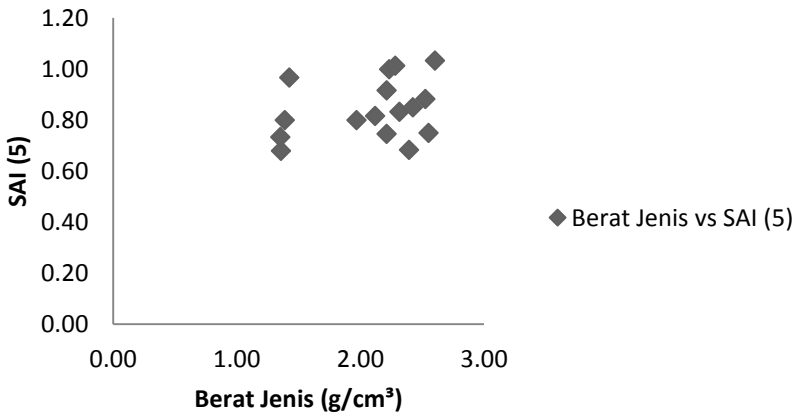
Gambar 4.25c Hubungan Berat Jenis dengan SAI (3)

Hubungan Berat Jenis dengan SAI (4)

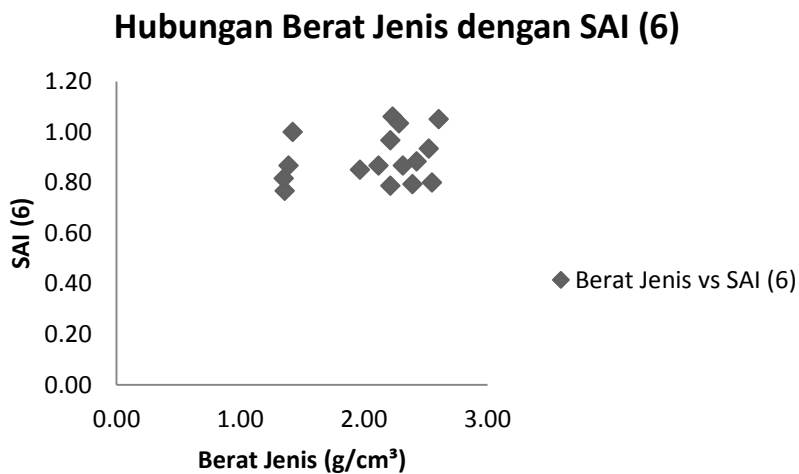


Gambar 4.25d Hubungan Berat Jenis dengan SAI (4)

Hubungan Berat Jenis dengan SAI (5)

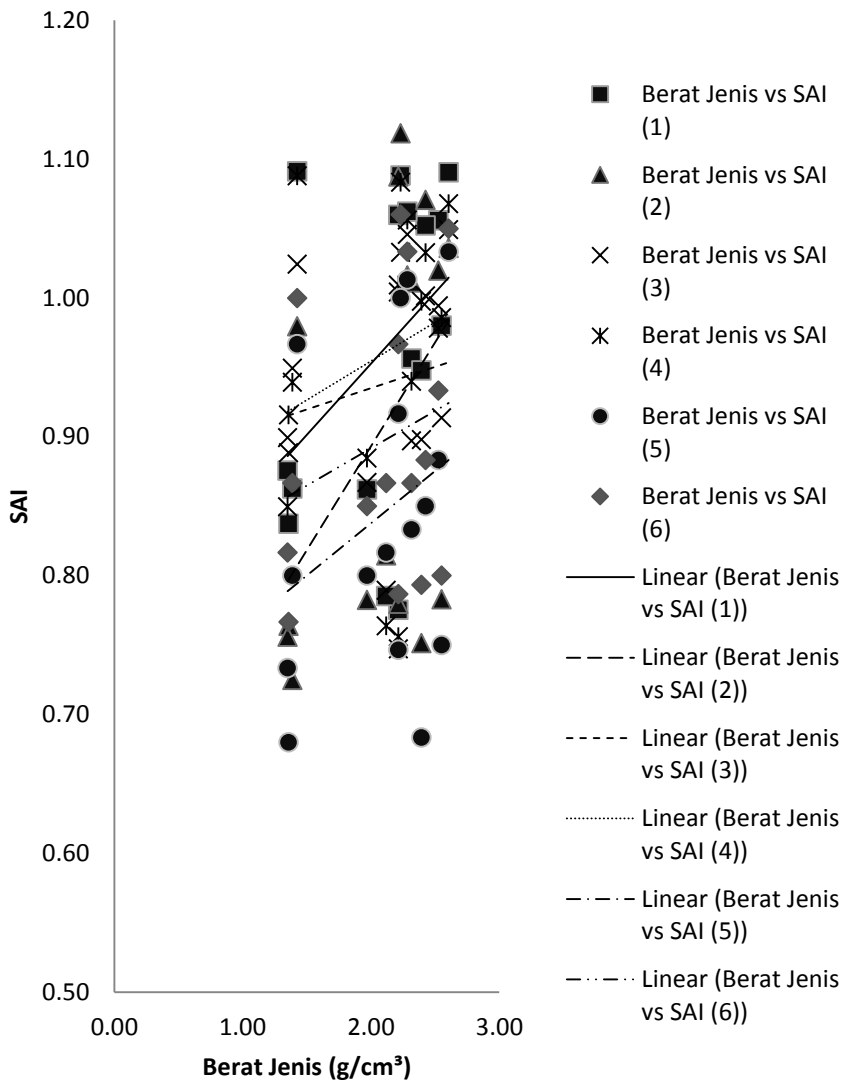


Gambar 4.25e Hubungan Berat Jenis dengan SAI (5)



Gambar 4.25f Hubungan Berat Jenis dengan SAI (6)

Hubungan Berat Jenis dengan SAI

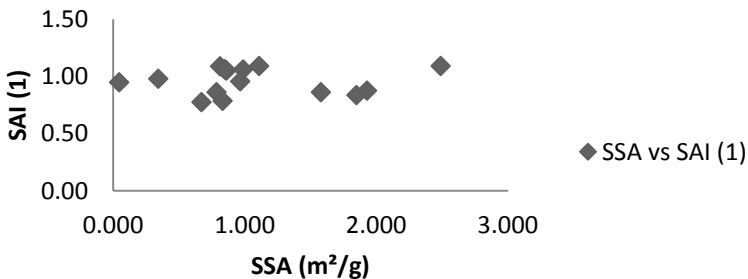


Gambar 4.26 Hubungan Berat Jenis dengan SAI

Dari grafik diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar berat jenis dari fly ash maka akan meningkatkan kuat tekan dari mortar atau pasta yang berbahan campuran fly ash tersebut dan sebaliknya. Pada Percobaan ini diperkuat dengan adanya penelitan sebelumnya yang dilakukan oleh Ekaputri dkk (2013) yang menghasilkan bahwa semakin meningkatnya berat jenis dari suatu fly ash maka akan meningkatkan indeks kuat tekan dari mortar dan pasta yang berbahan campuran fly ash tersebut. Selain itu dalam priadana (2012) menyebutkan semakin tinggi nilai berat jenis maka akan semakin tinggi pula tingkat kehalusannya sehingga akan meningkatkan kekuatan beton. Dalam Triwulan (2003) menyebutkan bahwa semakin meningkatnya tingkat kehalusan fly ash yang dipakai dalam campuran beton maka akan berdampak pada penurunan nilai porositas beton sehingga akan menaikkan kuat tekannya.

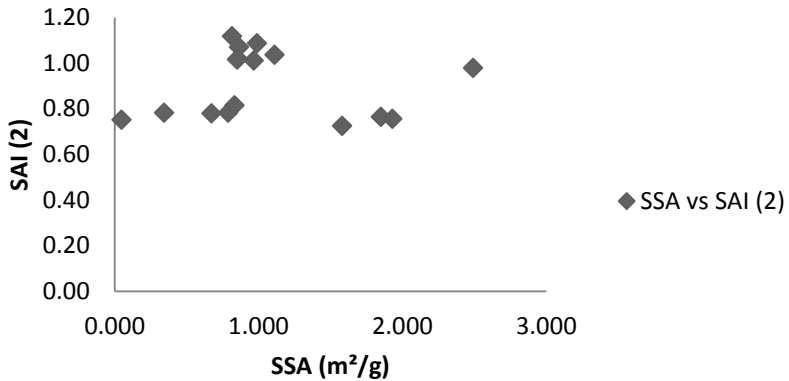
4.4.6 Hubungan Spesific Surface Area (SSA) Dengan Strength Activity Index

Hubungan SSA dengan SAI (1)



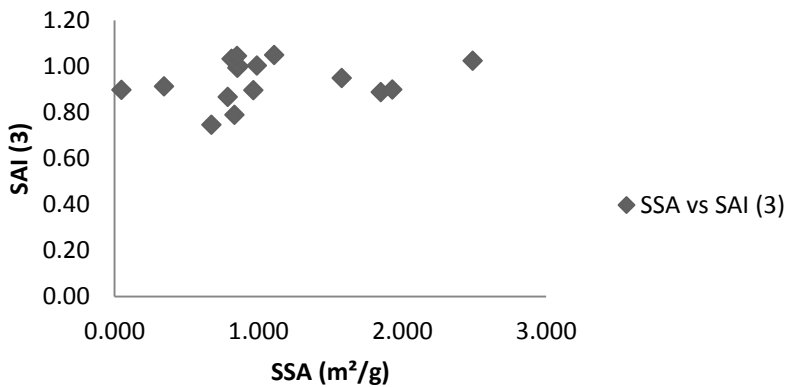
Gambar 4.27a Hubungan SSA dengan SAI (1)

Hubungan SSA dengan SAI (2)



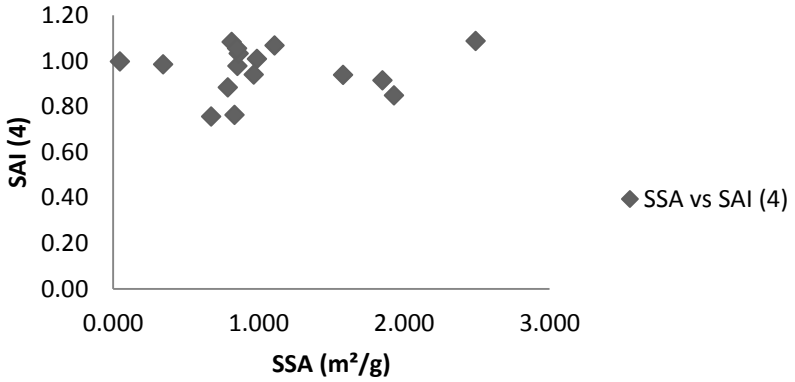
Gambar 4.27b Hubungan SSA dengan SAI (2)

Hubungan SSA dengan SAI (3)



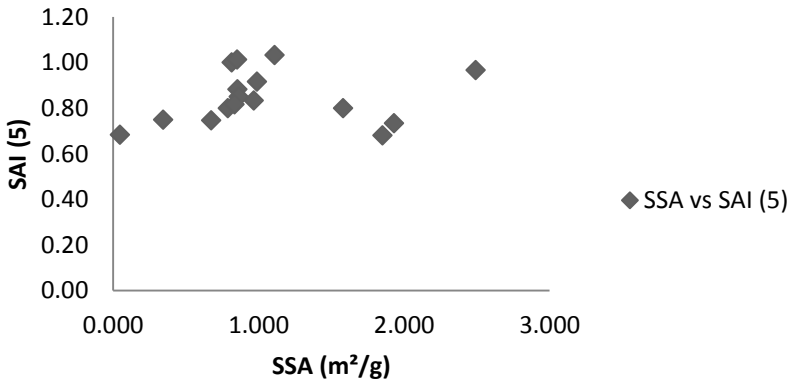
Gambar 4.27c Hubungan SSA dengan SAI (3)

Hubungan SSA dengan SAI (4)

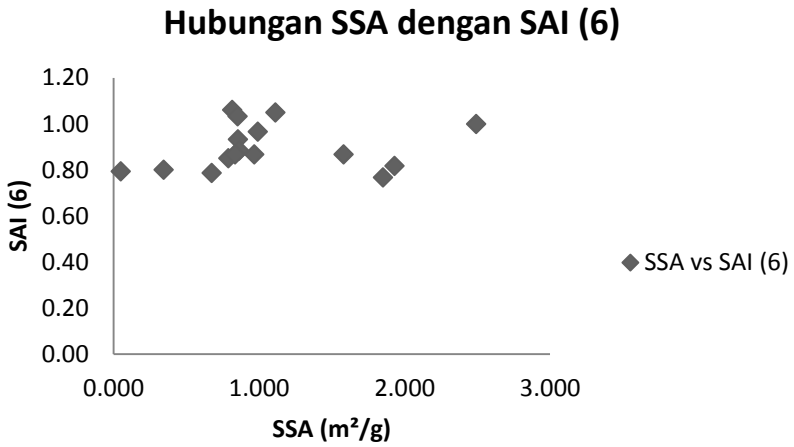


Gambar 4.27d Hubungan SSA dengan SAI (4)

Hubungan SSA dengan SAI (5)

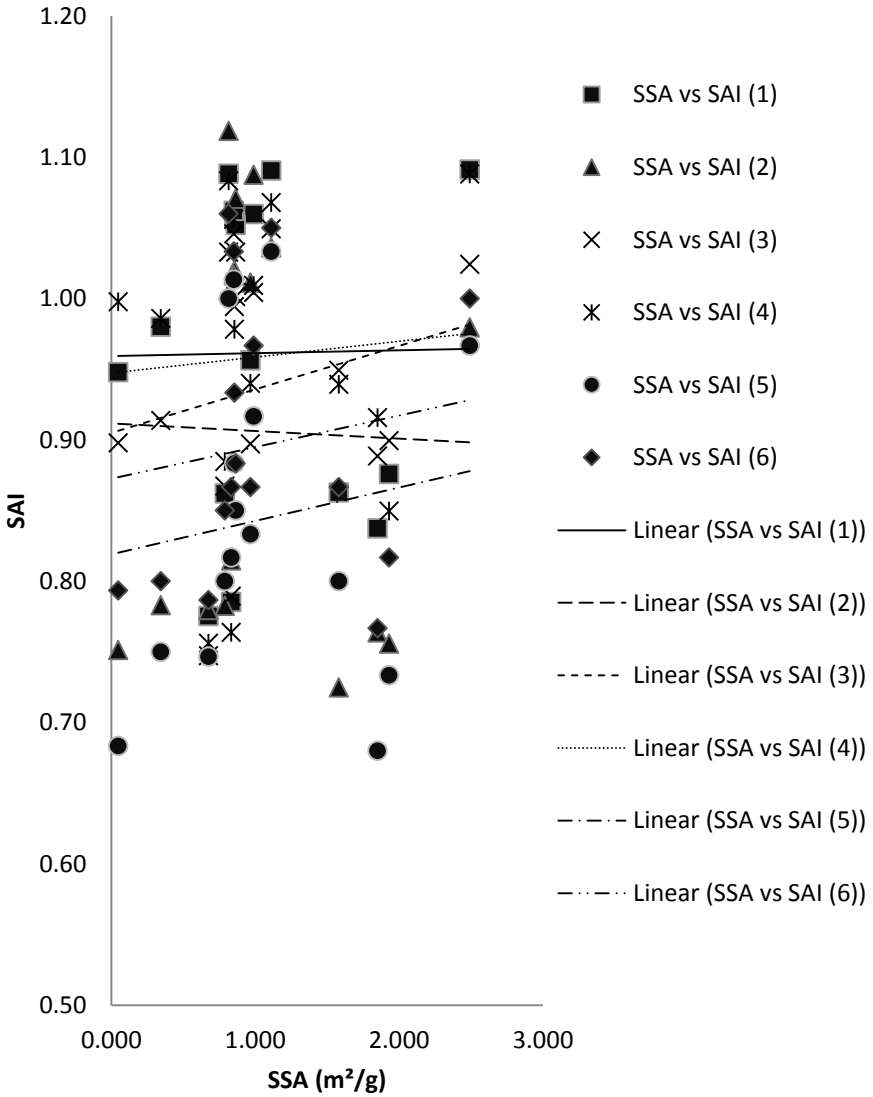


Gambar 4.27e Hubungan SSA dengan SAI (5)



Gambar 4.27f Hubungan SSA dengan SAI (6)

Hubungan SSA dengan SAI

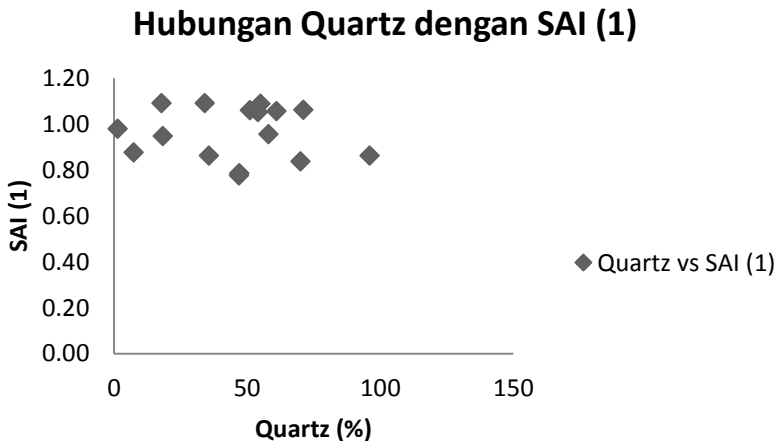


Gambar 4.28 Hubungan SSA dengan SAI

Dari grafik diatas 5 dari enam metode menunjukkan hasil yang sama sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar nilai specific surface maka semakin besar nilai kuat tekan dari mortar atau pasta yang berbahan campuran fly ash tersebut dan sebaliknya. Hal ini juga diperkuat dengan adanya penelitian yang dilakukan oleh Ekaputri dan Triwulan (2013) mengenai pengaruh specific surface area pada kuat tekan mortar semen yang bercampur dengan fly ash yang menghasilkan bahwa specific surface area fly ash mempengaruhi kuat tekan. Selain itu penelitian oleh Hwang (2004) menghasilkan hasil dengan kenaikan spesific surface area maka akan menaikkan nilai kuat tekan.

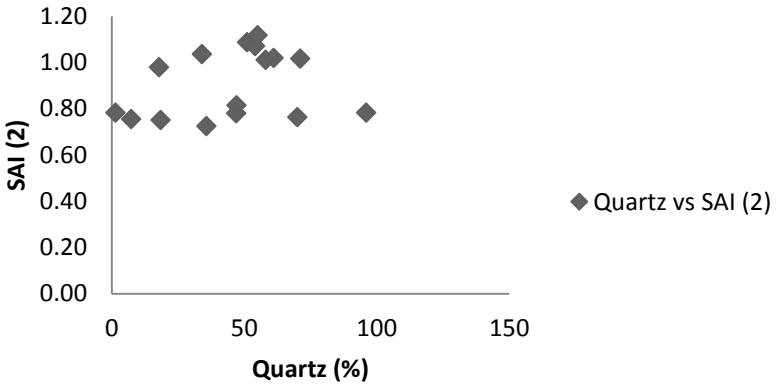
4.5 Hubungan Sifat Kimia Dengan Mekanik Fly Ash

4.5.1 Hubungan Banyak Quartz Dengan Strength Activity Index



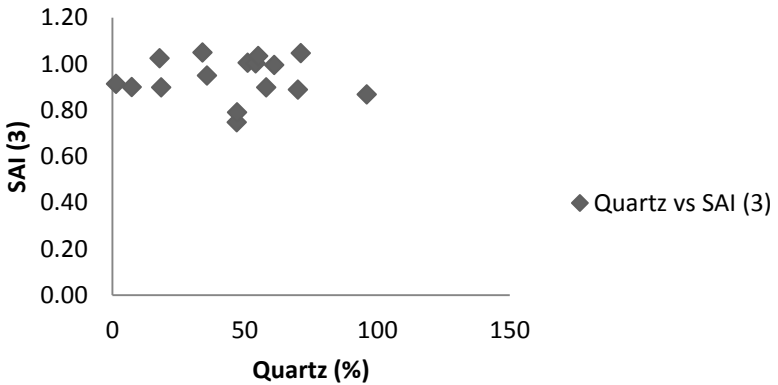
Gambar 4.29a Hubungan Quartz dengan SAI (1)

Hubungan Quartz dengan SAI (2)



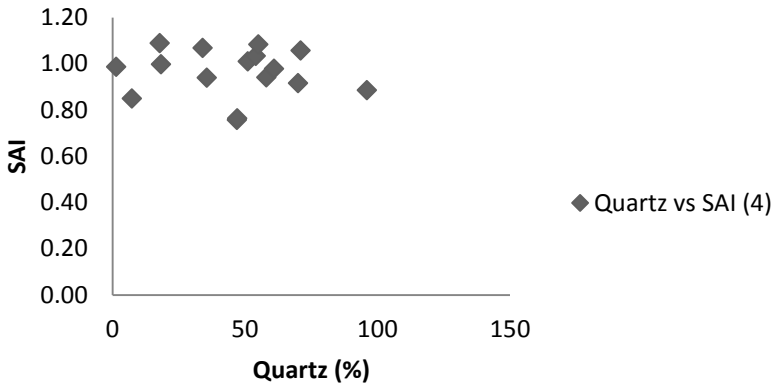
Gambar 4.29b Hubungan Quartz dengan SAI (2)

Hubungan Quartz dengan SAI (3)



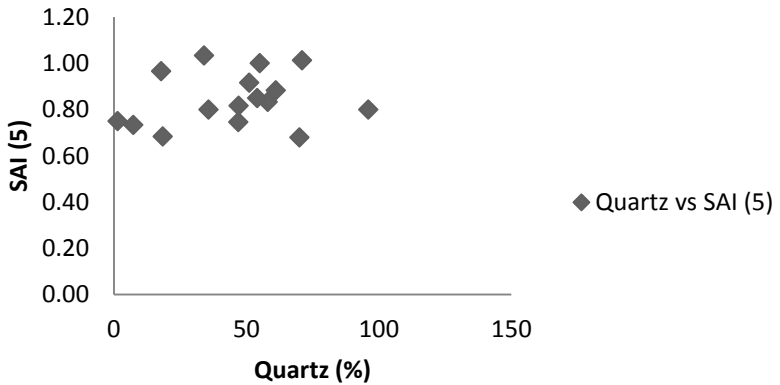
Gambar 4.29c Hubungan Quartz dengan SAI (3)

Hubungan Quartz dengan SAI (4)

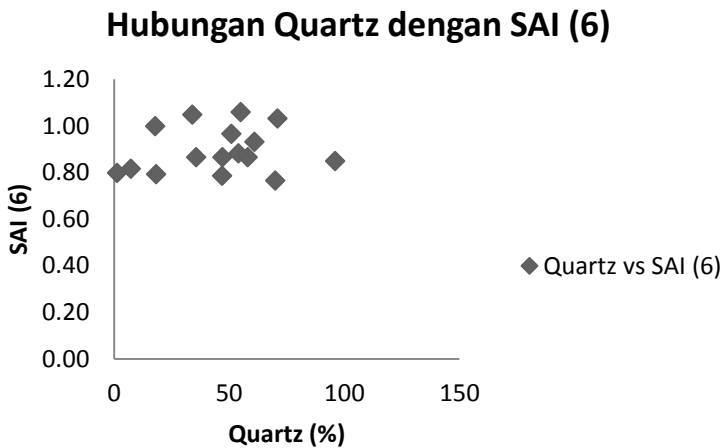


Gambar 4.29d Hubungan Quartz dengan SAI (4)

Hubungan Quartz dengan SAI (5)

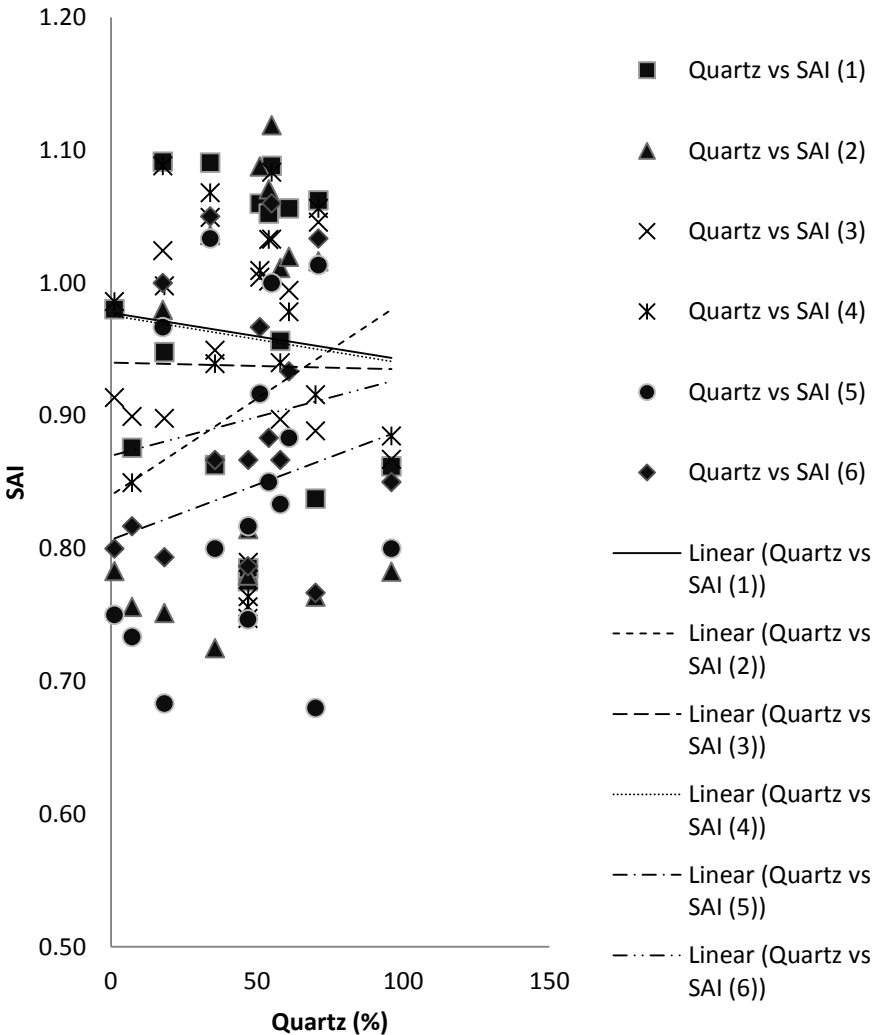


Gambar 4.29e Hubungan Quartz dengan SAI (5)



Gambar 4.29f Hubungan Quartz dengan SAI (6)

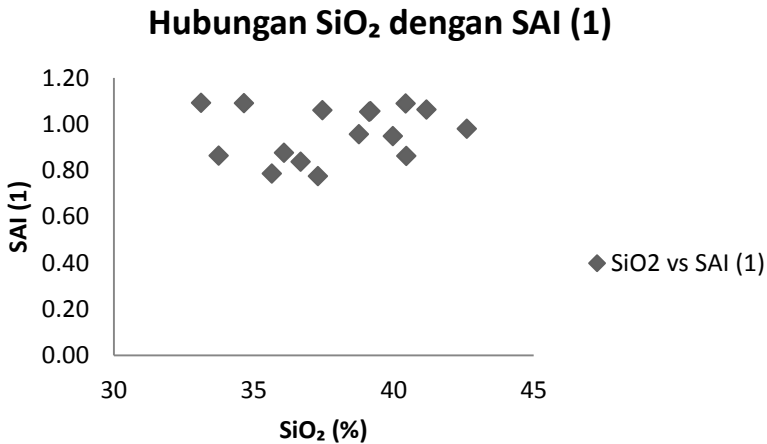
Hubungan Quartz dengan SAI



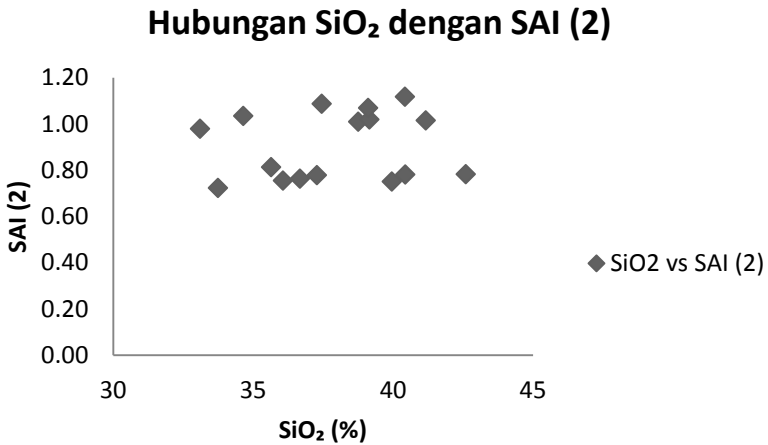
Gambar 4.30 Hubungan Quartz dengan SAI

Dari grafik diatas terlihat bahwa tiga metode menunjukkan kenaikan kuat tekan dengan semakin besarnya prosentase quartz dan tiga metode lainnya menunjukkan penurunan kuat tekan dengan semakin besarnya prosentase quartz, sehingga prosentase quartz dalam suatu fly ash tidaklah banyak mempengaruhi nilai kuat tekan dari mortar atau pasta yang berbahan campuran fly ash tersebut. Hal ini juga sesuai penelitian Skvarla (2011) yang menghasilkan bahwa komposisi kimia tidak bisa dipakai untuk memprediksi kuat tekan nantinya.

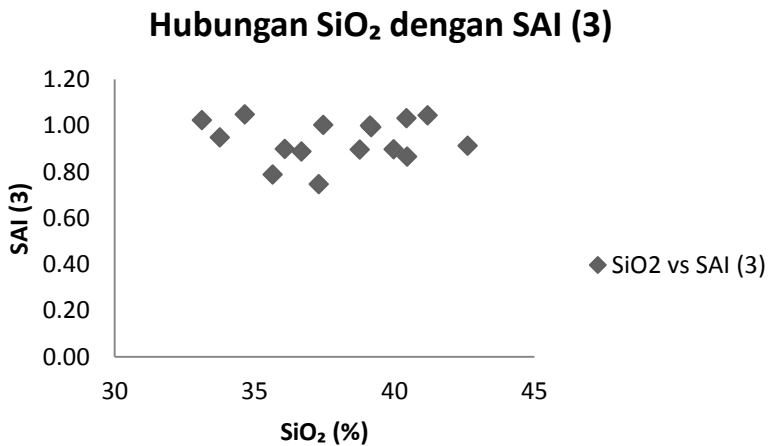
4.5.2 Hubungan Banyak Prosentase SiO_2 Dengan Strength Activity Index



Gambar 4.33a Hubungan Prosentase SiO_2 dengan SAI (1)

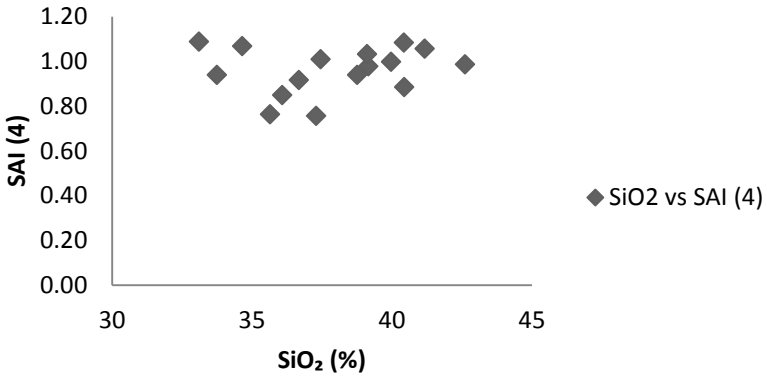


Gambar 4.33b Hubungan Prosentase SiO₂ dengan SAI (2)



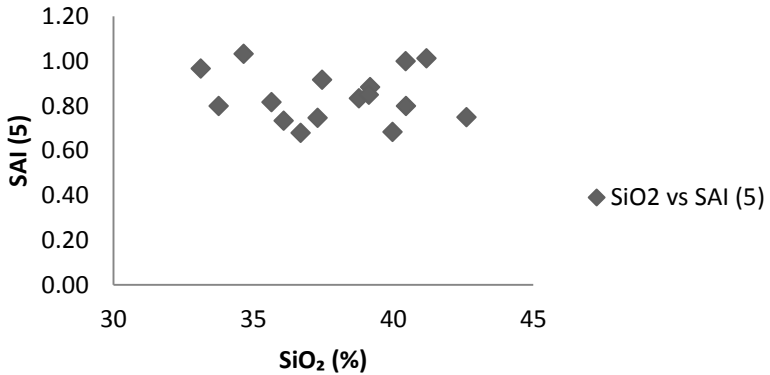
Gambar 4.33c Hubungan Prosentase SiO₂ dengan SAI (3)

Hubungan SiO₂ dengan SAI (4)

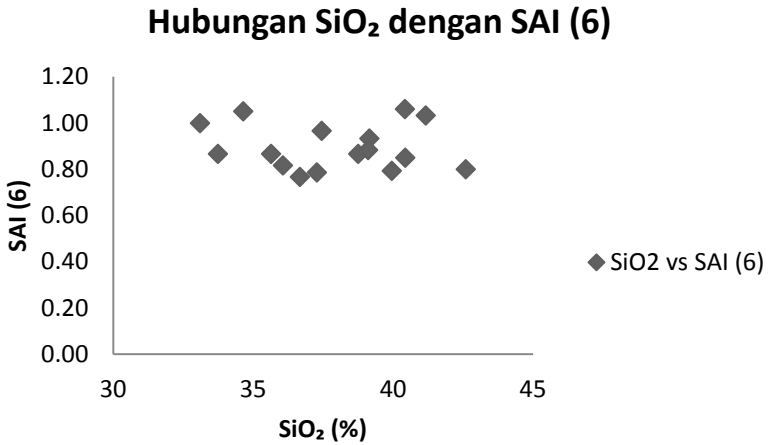


Gambar 4.33d Hubungan Prosentase SiO₂ dengan SAI (4)

Hubungan SiO₂ dengan SAI (5)

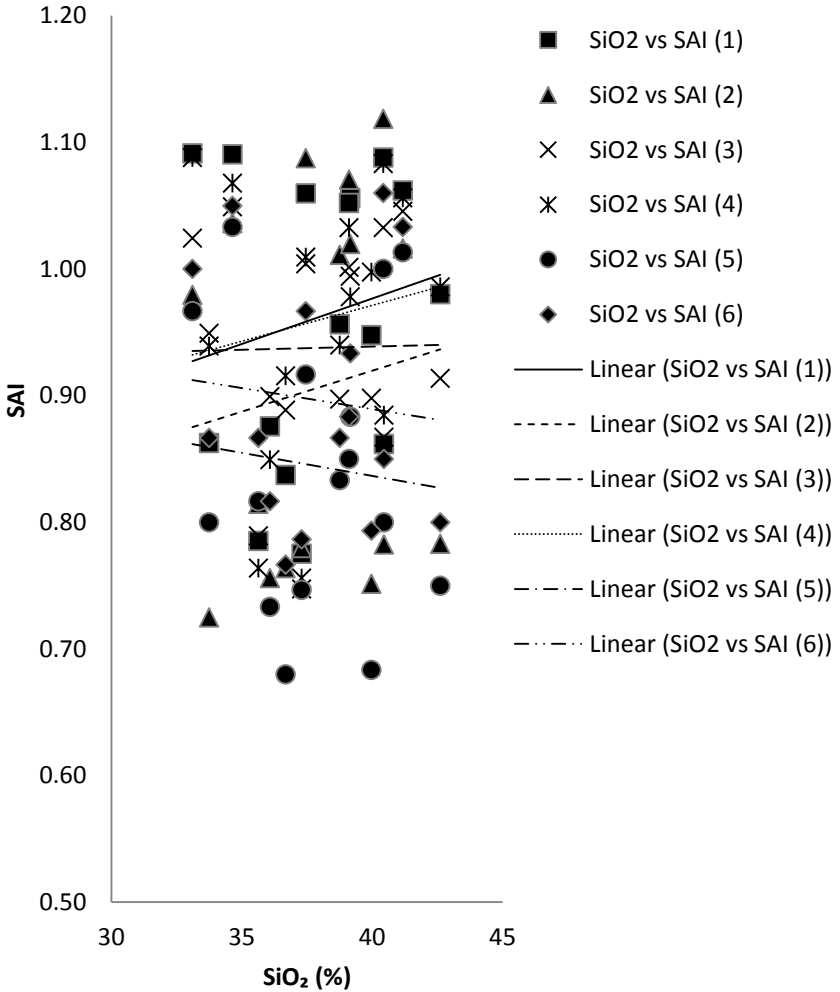


Gambar 4.33e Hubungan Prosentase SiO₂ dengan SAI (5)



Gambar 4.33f Hubungan Prosentase SiO₂ dengan SAI (6)

Hubungan SiO₂ dengan SAI

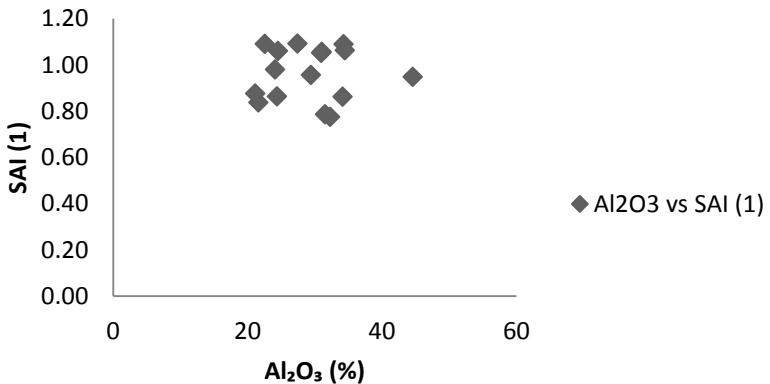


Gambar 4.34 Hubungan Prosentase SiO₂ dengan SAI

Dari grafik diatas prosentase SiO_2 dalam suatu fly ash tidak terlalu mempengaruhi nilai kuat tekan pada mortar dan pasta yang dicampuri dengan fly ash. Hal tersebut diperoleh dari hasil percobaan, dimana tiga metode menunjukkan kenaikan kuat tekan karena semakin meningkatnya prosentase SiO_2 dan tiga metode lainnya menunjukkan kuat tekan karena semakin menurunnya prosentase SiO_2 . Hasil ini juga sesuai dengan percobaan yang dilakukan oleh Ekaputri dan Triwulan dkk (2013) yang menyatakan prosentase SiO_2 tidak terlalu mempengaruhi kuat tekan. Selain itu penelitian oleh Skavarla (2011) juga menunjukkan hasil prosentase senyawa kimia yang berupa prosentase oksida tidak mempengaruhi kuat tekan.

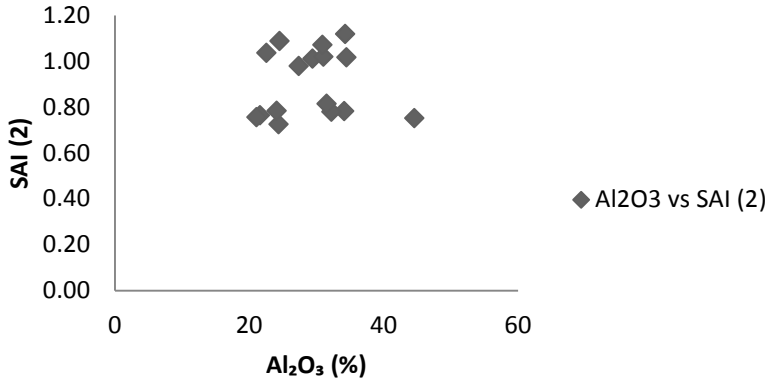
4.5.3 Hubungan Banyak Prosentase Al_2O_3 Dengan Strength Activity Index

Hubungan Al_2O_3 dengan SAI (1)



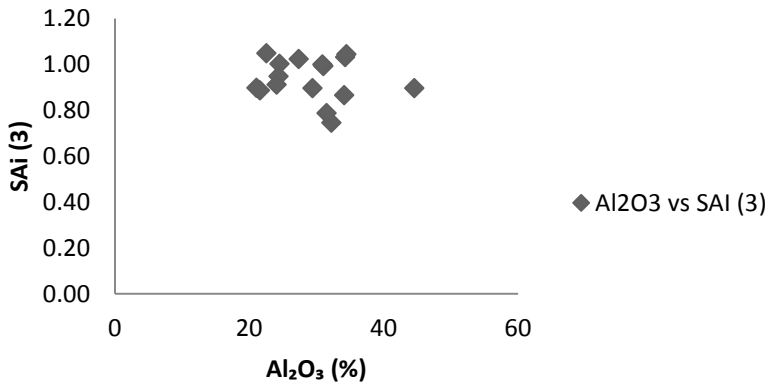
Gambar 4.35a Hubungan Prosentase Al_2O_3 dengan SAI (1)

Hubungan Al_2O_3 dengan SAI (2)



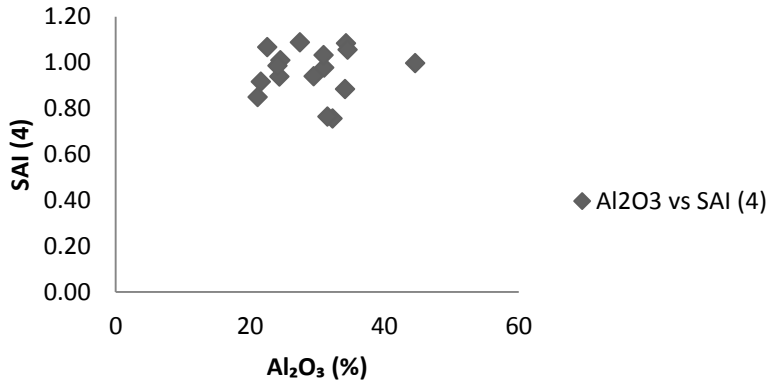
Gambar 4.35b Hubungan Prosentase Al_2O_3 dengan SAI (2)

Hubungan Al_2O_3 dengan SAI (3)



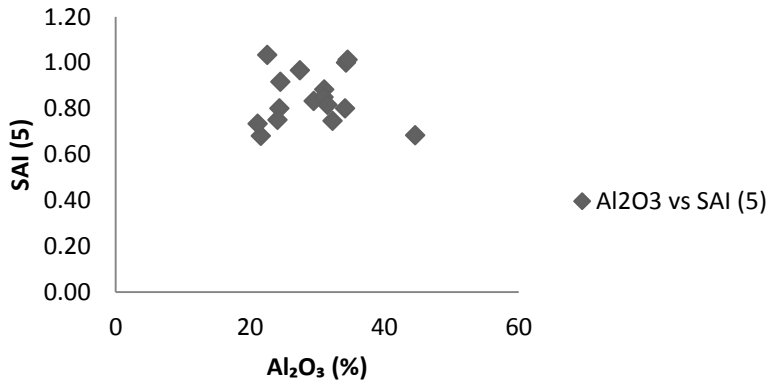
Gambar 4.35c Hubungan Prosentase Al_2O_3 dengan SAI (3)

Hubungan Al_2O_3 dengan SAI (4)

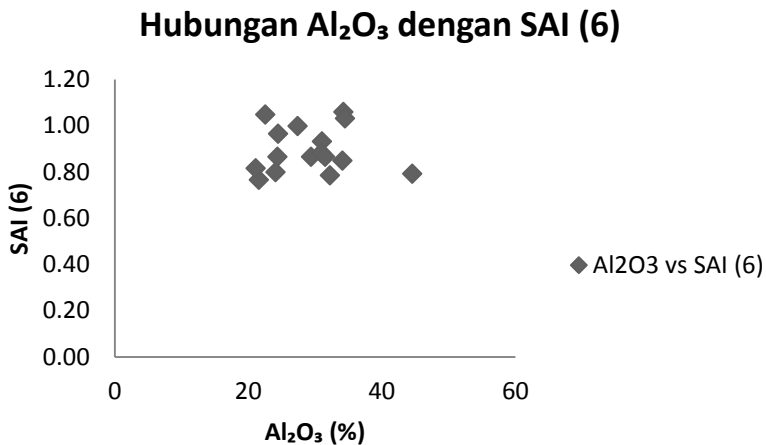


Gambar 4.35d Hubungan Prosentase Al_2O_3 dengan SAI (4)

Hubungan Al_2O_3 dengan SAI (5)

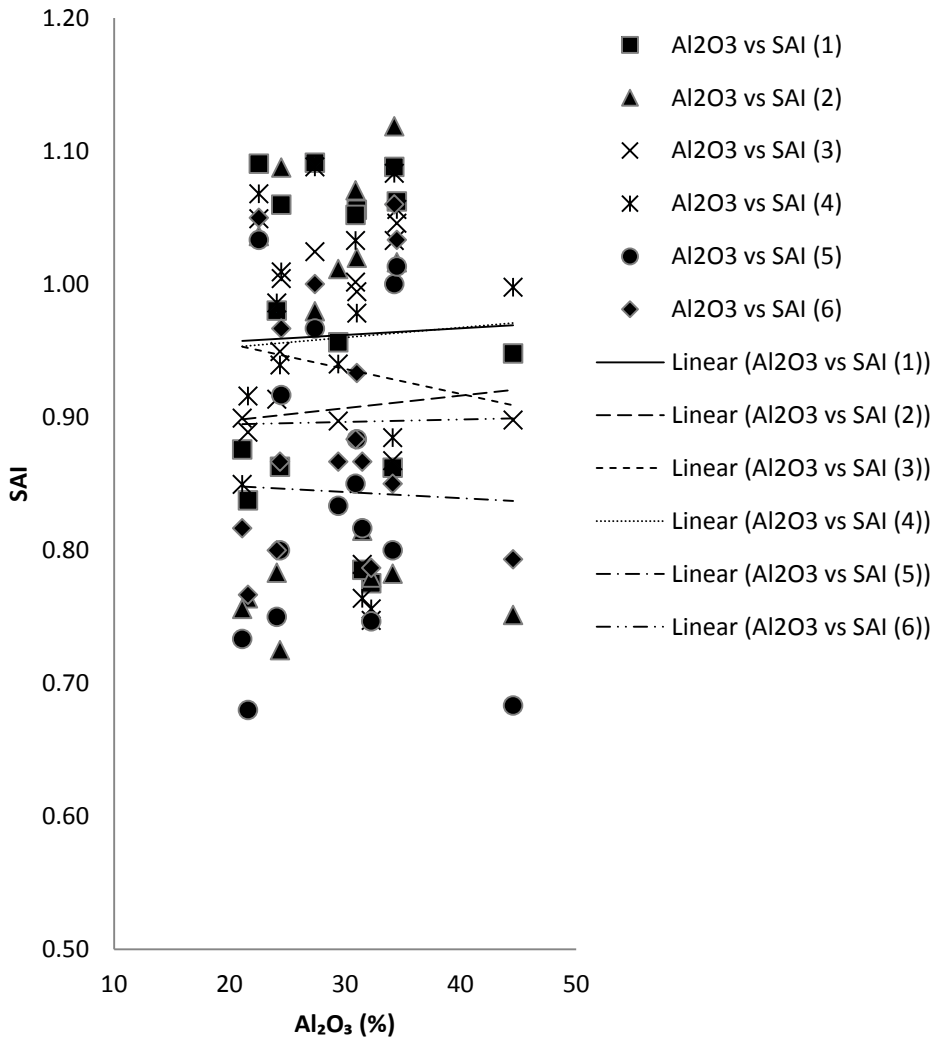


Gambar 4.35e Hubungan Prosentase Al_2O_3 dengan SAI (5)



Gambar 4.35f Hubungan Prosentase Al_2O_3 dengan SAI (6)

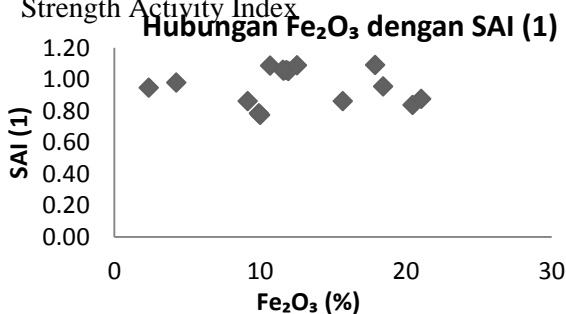
Hubungan Al_2O_3 dengan SAI



Gambar 4.36 Hubungan Prosentase Al_2O_3 dengan SAI

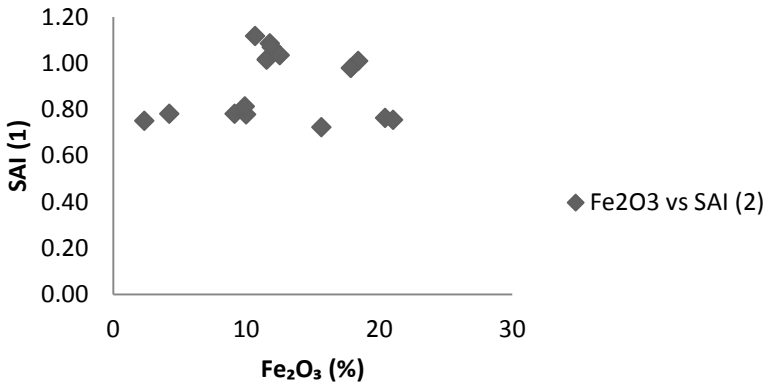
Dari grafik diatas prosentase Al_2O_3 dalam suatu fly ash tidak terlalu mempengaruhi nilai kuat tekan, dari enam metode tiga diantaranya (kecuali metode dua, lima dan enam) memiliki garis trend yang sama yaitu semakin besar prosentase Al_2O_3 maka akan semakin besar nilai kuat tekan dari mortar atau pasta yang berbahan campuran fly ash tersebut sedangkan dua metode menunjukkan semakin kecilnya prosentase Al_2O_3 maka akan semakin meningkat kuat tekan mortar dan pasta, sementara satu metode tidak menunjukkan kenaikan maupun penurunan. Hasil ini juga sama dengan penelitian sebelumnya oleh ekaputri dk pada tahun 2013 yang menghasilkan bahwa prosentase oksida tidak mempengaruhi indeks kuat tekan mortar dan pasta. Jadi, Prosentase Al_2O_3 yang tidak mempengaruhi kuat tekan mirip dengan prosentase SiO_2 yang telah dibahas pada subbab sebelumnya. Hal ini juga sesuai dengan penelitian oleh Skavarla (2011).

4.5.4 Hubungan Banyak Prosentase Fe_2O_3 Dengan Strength Activity Index



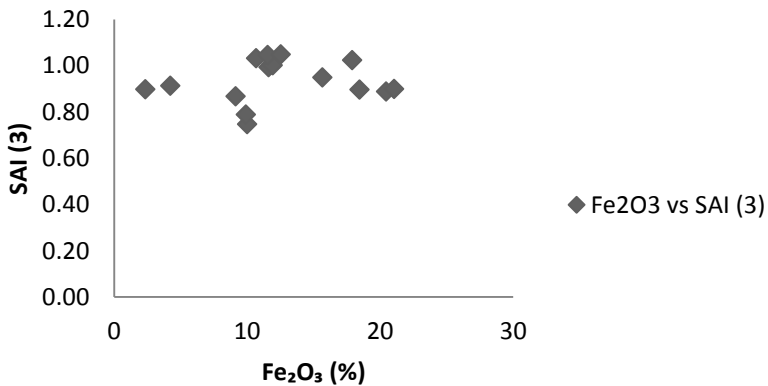
Gambar 4.37a Hubungan Prosentase Fe_2O_3 dengan SAI (1)

Hubungan Fe_2O_3 dengan SAI (2)



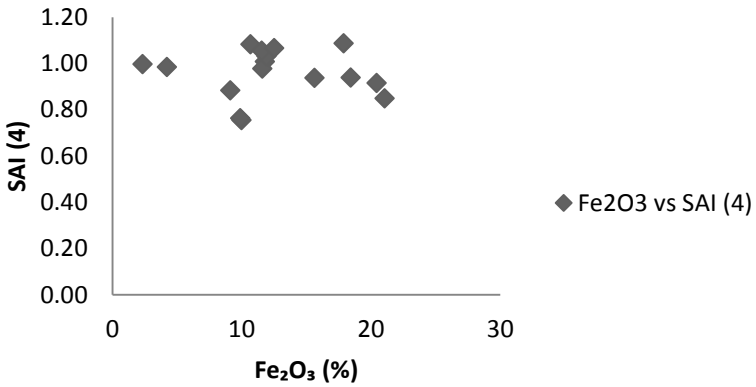
Gambar 4.37b Hubungan Prosentase Fe_2O_3 dengan SAI (2)

Hubungan Fe_2O_3 dengan SAI (3)



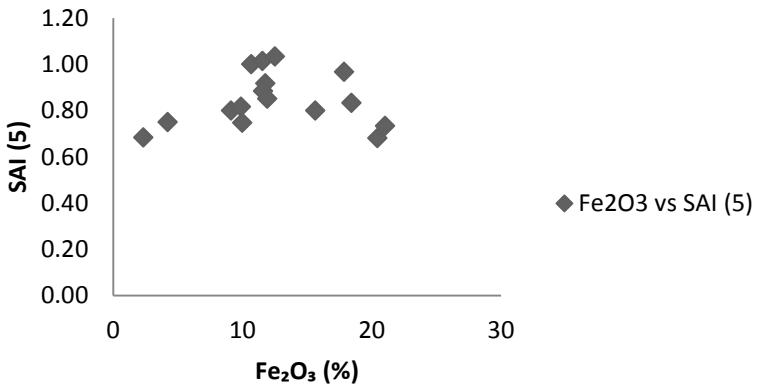
Gambar 4.37c Hubungan Prosentase Fe_2O_3 dengan SAI (3)

Hubungan Fe_2O_3 dengan SAI (4)

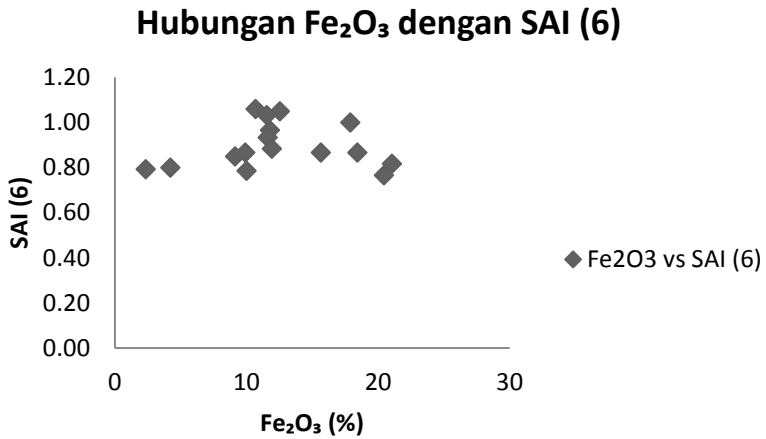


Gambar 4.37d Hubungan Prosentase Fe_2O_3 dengan SAI (4)

Hubungan Fe_2O_3 dengan SAI (5)

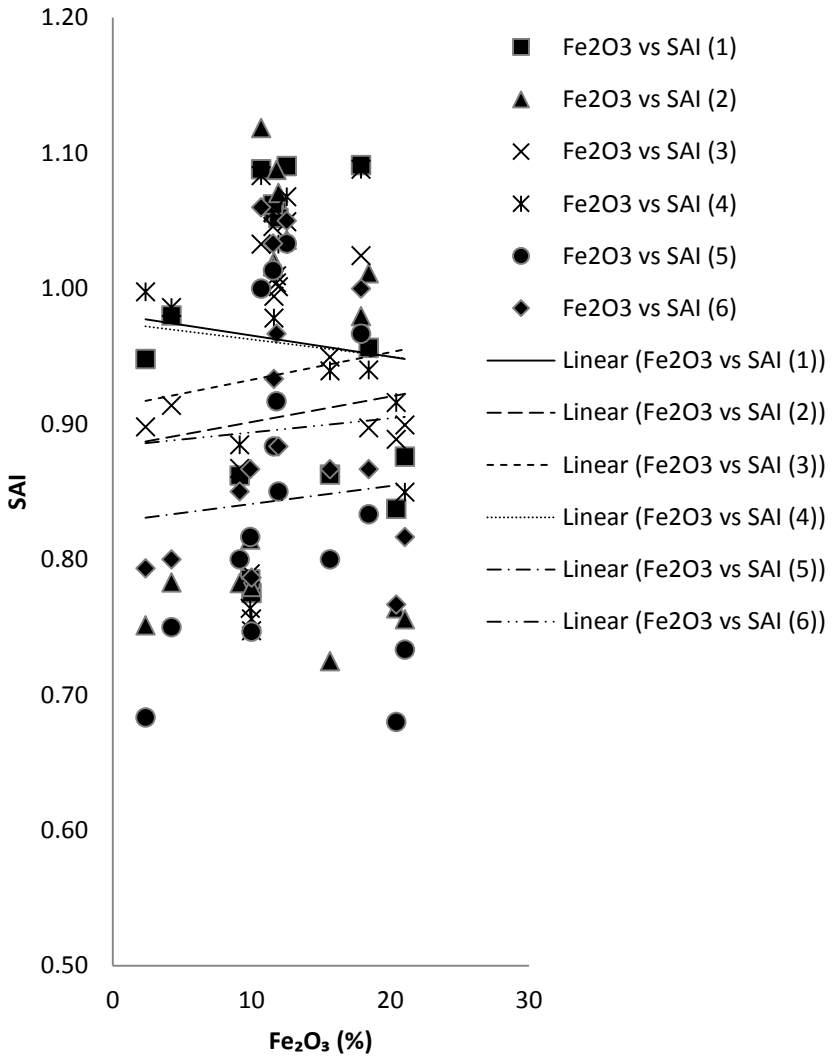


Gambar 4.37e Hubungan Prosentase Fe_2O_3 dengan SAI (5)



Gambar 4.37f Hubungan Prosentase Fe_2O_3 dengan SAI (6)

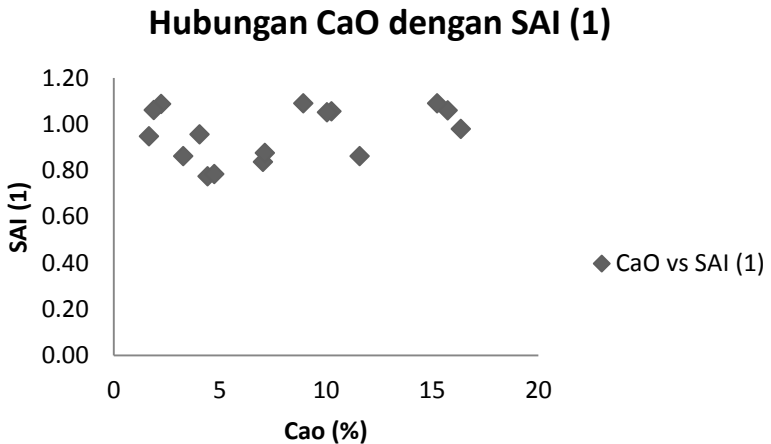
Hubungan Fe_2O_3 dengan SAI



Gambar 4.38 Hubungan Prosentase Fe_2O_3 dengan SAI

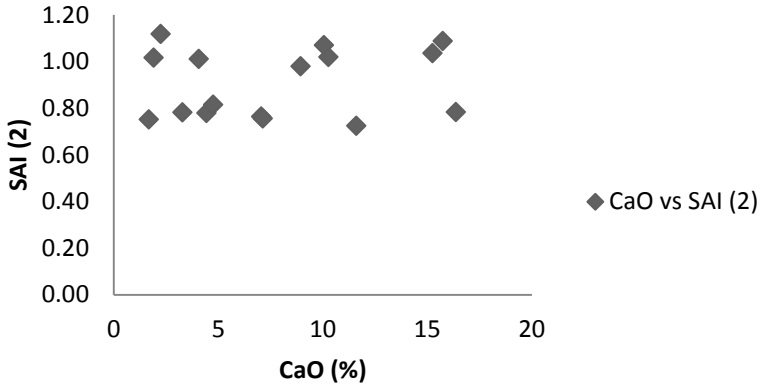
Dari grafik diatas prosentase Fe_2O_3 dalam suatu fly ash tidaklah mempengaruhi nilai kuat tekan karena dari dua grafik yang menunjukkan garis tren yang berbeda dengan metode yang lainnya, keempat metode lainnya pun menunjukkan pengaruh yang tidak terlalu signifikan terhadap kenaikan SAI. Hal ini juga diperkuat dengan penelitian oleh Ekaputri dkk (2013) yang telah dibahas pada poin sebelumnya. Serta hasilnya juga sesuai penelitian oleh Skavarla (2011) yang menunjukkan tidak adanya pengaruh senyawa kimia yang termasuk prosentase oksida terhadap kuat.

4.5.5 Hubungan Banyak Prosentase CaO Dengan Strength Activity Index



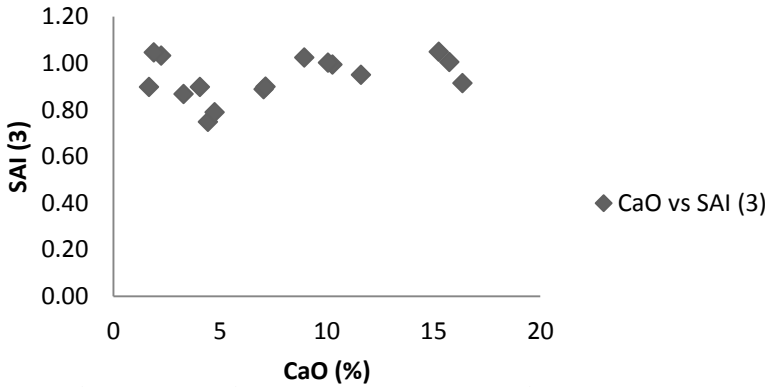
Gambar 4.39a Hubungan Prosentase CaO dengan SAI (1)

Hubungan CaO dengan SAI (2)



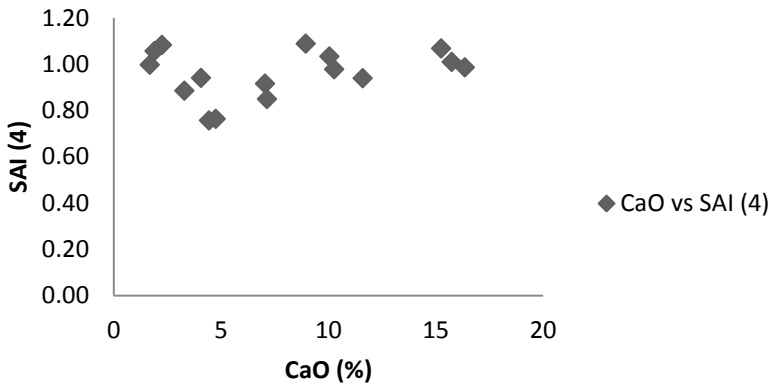
Gambar 4.39b Hubungan Prosentase CaO dengan SAI (2)

Hubungan CaO dengan SAI (3)



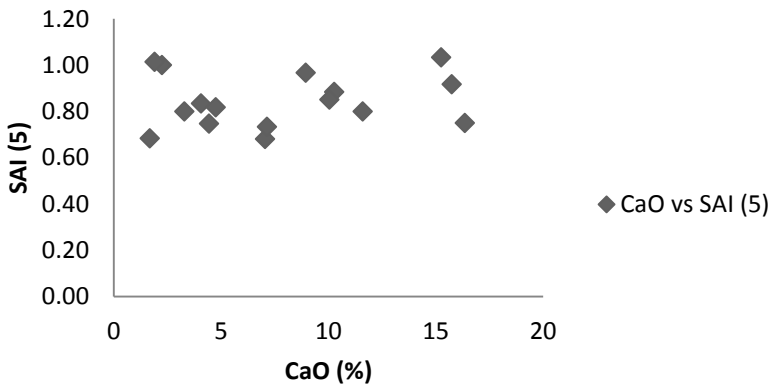
Gambar 4.39c Hubungan Prosentase CaO dengan SAI (3)

Hubungan CaO dengan SAI (4)

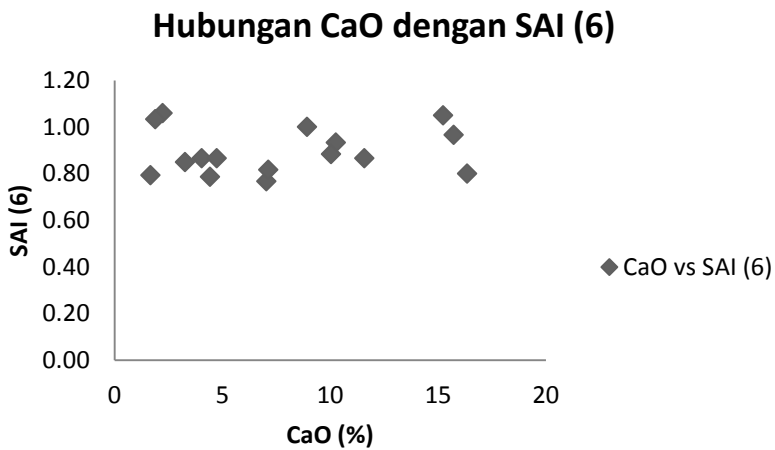


Gambar 4.39d Hubungan Prosentase CaO dengan SAI (4)

Hubungan CaO dengan SAI (5)

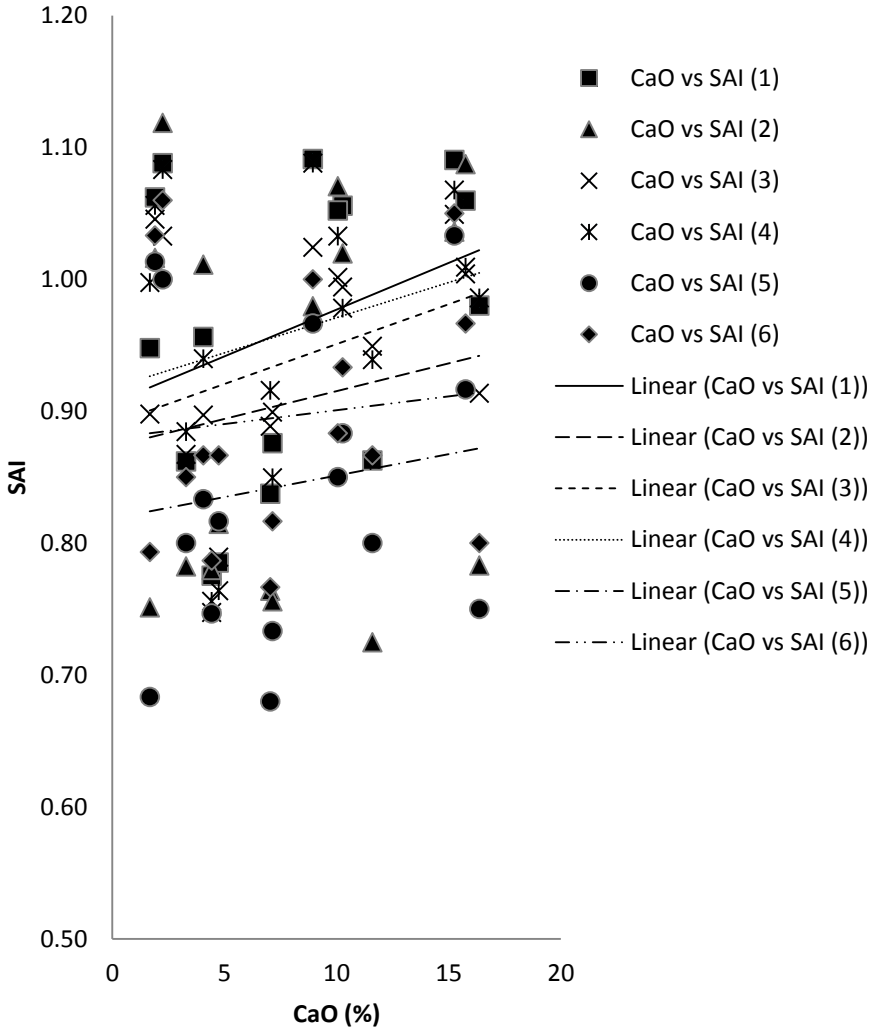


Gambar 4.39e Hubungan Prosentase CaO dengan SAI (5)



Gambar 4.39f Hubungan Prosentase CaO dengan SAI (6)

Hubungan CaO dengan SAI

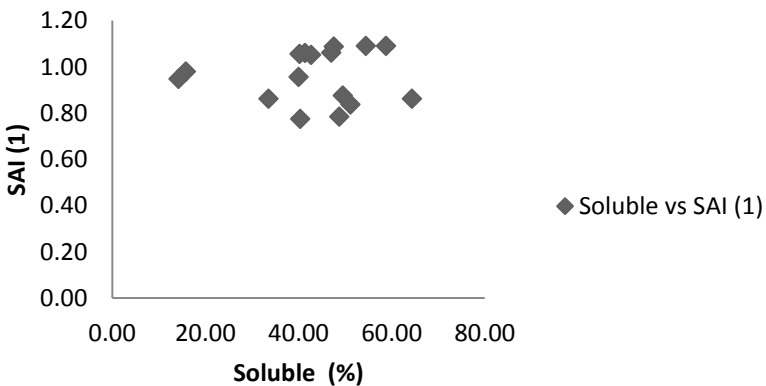


Gambar 4.40 Hubungan Prosentase CaO dengan SAI

Dari grafik diatas prosentase CaO dalam suatu fly ash mempengaruhi nilai kuat tekan, dengan semakin besar prosentase CaO maka akan semakin besar nilai kuat tekan dari mortar atau pasta yang berbahan campuran fly ash tersebut dan sebaliknya. Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Jaarsveld dkk pada tahun 2003 dari penelitiannya menyebutkan bahwa fly ash dengan kadar calcium oxide (CaO) yang tinggi mampu menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi, hal ini disebabkan akibat dari susunan Calcium – Aluminate – Hidrate.

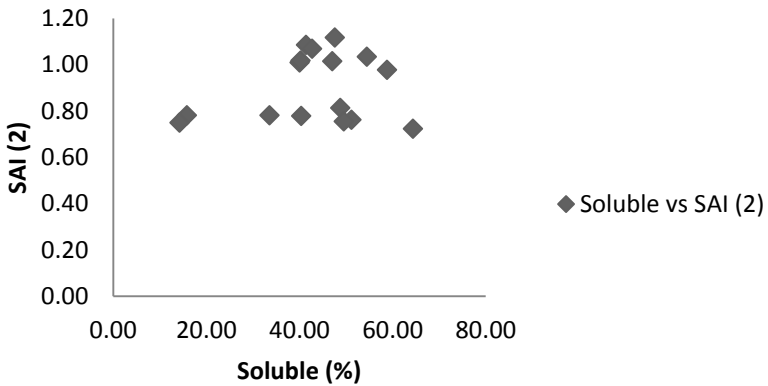
4.5.6 Hubungan Prosentase Soluble Fly Ash Dengan Strength Activity Index

Hubungan Soluble dengan SAI (1)



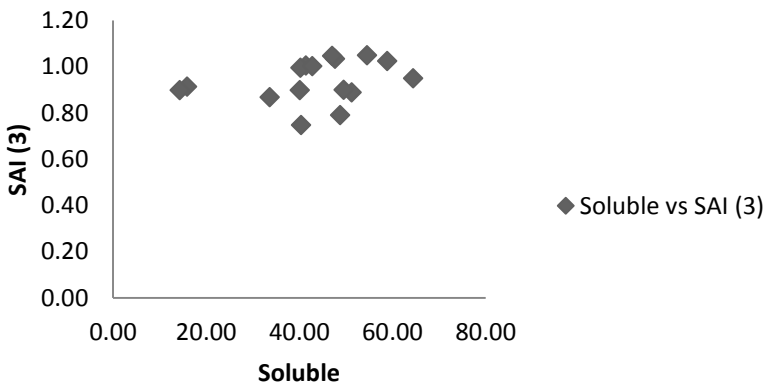
Gambar 4.41a Hubungan Soluble dengan SAI (1)

Hubungan Soluble dengan SAI (2)



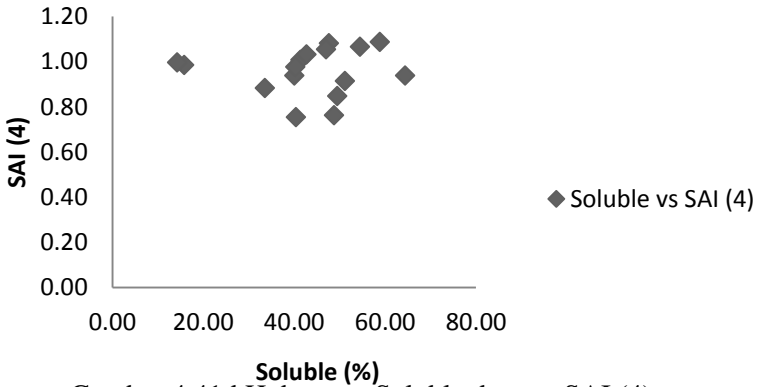
Gambar 4.41b Hubungan Soluble dengan SAI (2)

Hubungan Soluble dengan SAI (3)



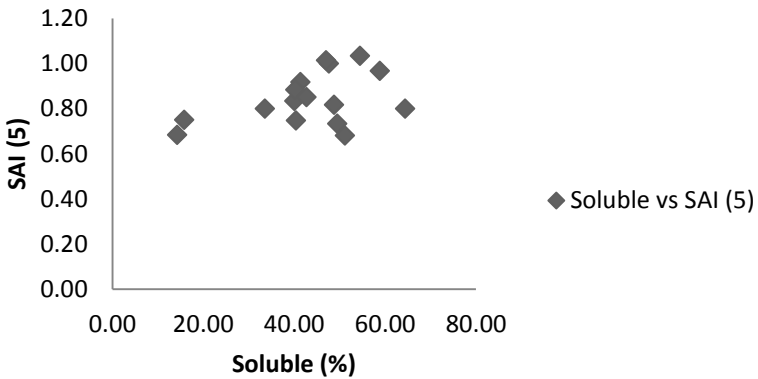
Gambar 4.41c Hubungan Soluble dengan SAI (3)

Hubungan Soluble dengan SAI (4)



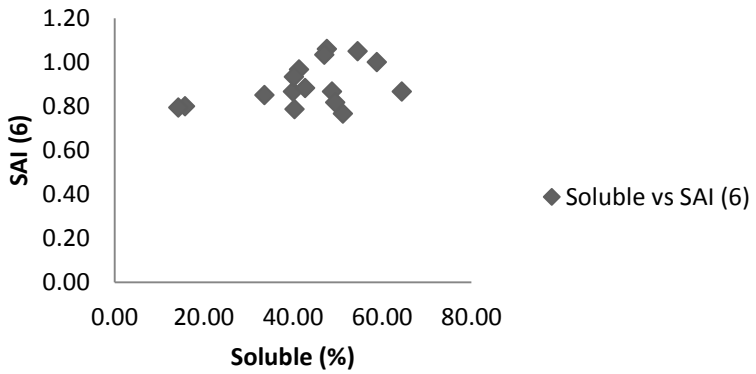
Gambar 4.41d Hubungan Soluble dengan SAI (4)

Hubungan Soluble dengan SAI (5)



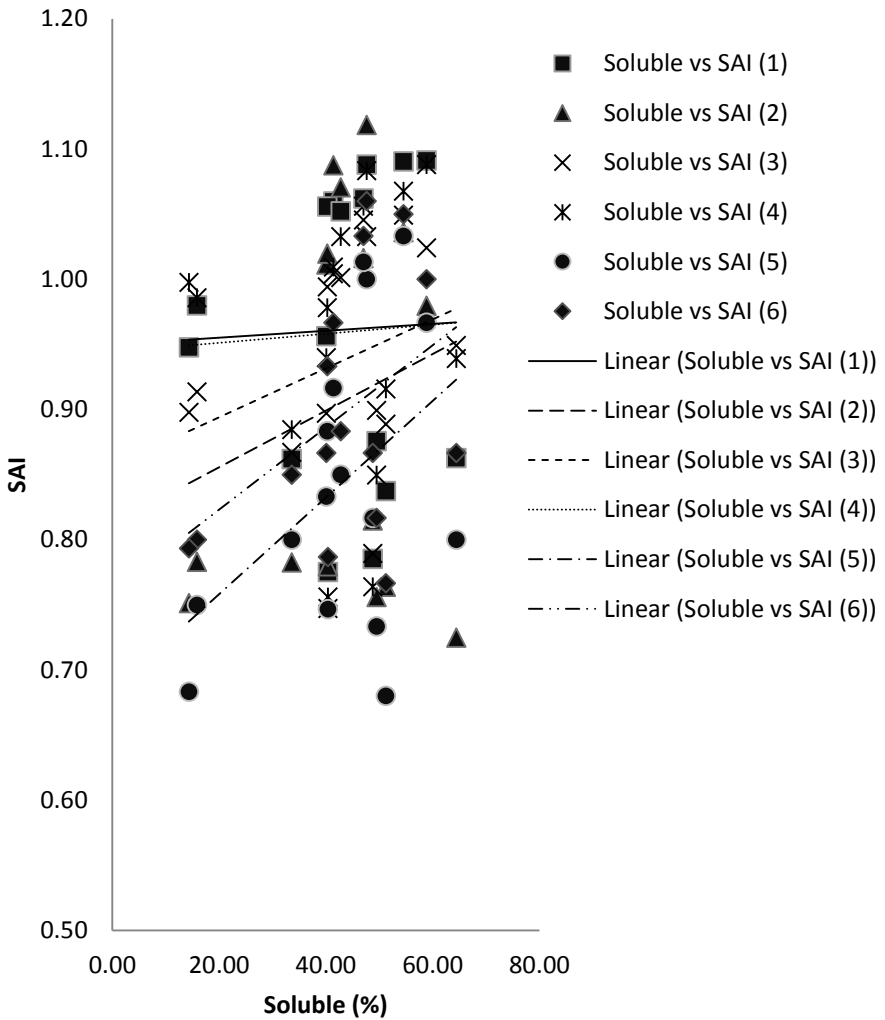
Gambar 4.41e Hubungan Soluble dengan SAI (5)

Hubungan Soluble dengan SAI (6)



Gambar 4.41f Hubungan Soluble dengan SAI (6)

Hubungan Soluble dengan SAI



Gambar 4.42 Hubungan Soluble dengan SAI

Dari grafik diatas prosentase soluble (kelarutan) fly ash mempengaruhi nilai kuat tekan dari mortar dan pasta, dimana terlihat bahwa semakin mudah larut fly ash (soluble) maka akan meningkatkan kuat tekan mortar dan pasta yang berbahan campuran fly ash tersebut. Hasil tersebut juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Wang (2013) yang memperoleh hasil sampel yang memiliki konsentrasi soluble atau yang mudah larut maka akan memiliki kuat tekan yang lebih tinggi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab terakhir ini akan disampaikan beberapa kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan.

5.1 Kesimpulan

1. Berikut merupakan peringkat fly ash yang diperoleh dari SAI rata – rata nya :

Kode	SAI rata - rata	Peringkat
SB1	1,01	5
SB2	0,92	8
SB3	0,98	6
SB4	0,98	7
VJ1	1,06	1
VJ2	0,84	12
VP1	0,77	16
VP2	0,81	14
SI1	1,04	3
SI2	1,05	2
PE1	1,02	4
PE2	0,86	10
KL1	0,81	15
KL2	0,82	13
KI1	0,87	9
KI2	0,85	11

2. Dari enam metode dalam pembuatan mortar dan pasta yang telah dilakukan diperoleh perbedaan kuat tekan dan SAI dengan metode kedua. Berdasarkan perbedaan kuat tekan dengan metode kedua diperoleh metode pertama yang memiliki standar deviasi terkecil dibandingkan dengan metode lainnya. Sementara berdasarkan perbedaan SAI

dengan metode kedua diperoleh metode pertama dan metode kelima yang memiliki standar deviasi yang paling kecil.

3. Sifat fisik yang berpengaruh terhadap sifat mekanik mortar dan pasta yaitu kehalusan fly ash, dimana ukuran partikel yang paling mempengaruhi sifat mekanik mortar dan pasta ialah fly ash yang paling banyak mengandung partikel lebih kecil 3 μm .
4. Prosentase oksida seperti SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 dalam fly ash yang diperoleh dari uji XRF tidak terlalu berpengaruh terhadap sifat mekanik mortar dan pasta. Namun demikian diketahui bahwa prosentase CaO serta prosentase soluble (kelarutan) fly ash memiliki pengaruh terhadap kuat tekan dari mortar dan pasta.

5.2 Saran

1. Ketepatan Hasil Analisa ini bergantung pada kuat tekan, perawatan, serta kontrol pada saat pengujian, untuk itu pada saat pembuatan benda uji, pemeliharaan, capping, suhu, kondisi alat, serta kondisi benda uji sebelum dan pada saat dilakukan pengetesan harus benar-benar terjaga dan berhati-hati dalam melaksanakannya agar didapatkan hasil yang sangat akurat.
2. Penelitian ini tidak menggunakan terlalu banyak benda uji mortar, dikarenakan jumlah fly ash yang cukup terbatas, oleh karena ini diharapkan pada penelitian selanjutnya gunakan benda uji yang cukup banyak agar didapatkan hasil yang lebih akurat dan lebih baik.
3. Pada saat melakukan steam curing, hendaknya pembuatan benda uji dilakukan secara bersamaan agar mendapatkan hasil yang maksimal.

Diharapkan hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai pembandingan oleh peneliti-peneliti selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhityo, D. 2010 “Pemanfaatan Nanosilika Untuk Beton Kuat Tekan Tinggi (Tanpa Additive)”. Pomits.Surabaya : ITS.
- Aji, Pujo & Purwono, Rahmat, “Pengendalian Mutu Beton Sesuai SNI, ACI dan ASTM”. itspress, Surabaya, 2010.
- Anonim. 2002. Prosedur Percobaan Semen Gresik. Semen Indonesia. Gresik.
- Anonim. 2014. **Chemical Composition of Portland Cement.** <URL:<http://komposisi%20semen/Chemical%20Composition%20of%20Portland%20Cement.xhtml>>.
- Anonim. 2014. **Coal Info.** <URL :<http://klasifikasi%20coal/EURACOAL%20%20European%20Association%20for%20Coal%20and%20Lignite.htm>>.
- Anonim. 2014. **FLY ASH CONCRETE,** <URL : <http://www.everything-about-concrete.com/fly-ash-concrete.html>>.
- Anonim., Agustus. 2013. **Kementerian Energy dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia,** <URL :<http://www.esdm.go.id/berita/batubara/44-batubara/6396-tahun-2014-kebutuhan-batubara-domestik-95550000-ton.html>>.
- ASTM C311-02. 2002. **Standard Test Method for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete.** Annual Book of ASTM Standard.

ASTM C618-03. 2003. **Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete**. Annual Book of ASTM Standard

Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C., dan Sinsiri, T. 2005. "Effect of fly ash fineness on compressive strength and pore size of blended cement paste". *Science Direct. Cement & Concrete Composites* **27** 425–428.

Ekaputri, J. J., Triwulan., Priadana, K. A., Susanto, T.E., dan Subaer. 2013. "Physico-Chemical Characterization of Fly Ash". **The World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM13)**.

Ferna´ndez-Jime´nez*, A., dan Palomo, A. 2002. "Characterisation of fly ashes. Potential reactivity as alkaline cements".*Science Direct. Fuel* **82** (2003) 2259–2265.

Ghafur, A. 2010. "Pengaruh Penggunaan Abu Ampas Tebu Terhadap Kuat Tekan dan Pola Retak Beton". Tugas Akhir.. Medan : UNSU.

Ginting, A., Gunawan, W., dan Ismirrozi. 2011. "Pengaruh kadar air agragat terhadap kuat tekan beton". **Jurnal Teknik vol 1 no. 1 / april 2011. Universitas janabadra**.

Hwang, K., Noguchi, T., dan Tomosawa, F. 2004. Prediction model of compressive strength development of fly-ash concrete". *Science direct. Cement and Concrete Research* **34** 2269–2276.

- Ilham, A. 2005. "Pengaruh Sifat - Sifat Fisik dan Kimia Bahan Pozolan pada Beton Kinerja Tinggi". Volume 13, No. 3, Edisi XXXIII Oktober Media Komunikasi Teknik Sipil 75. Universitas Islam Indonesia.
- Nji, L.T. 2014. **Fly Ash : Overview**, <URL : <http://lauwtjunnji.weebly.com/fly-ash--overview.html>>.
- Priadana, K. A. 2012. "Karakteristik Fly Ash Berdasarkan Sifat Fisik dan kimia". Tugas Akhir. Surabaya : Jurusan Teknik Sipil, ITS.
- Rizqi, R. 2012. "Pengaruh Nilai Kalori Batubara Terhadap Nilai Steam Boiler Yang Dihasilkan Oleh Boiler Jenis Pipa Air". Tugas Akhir. Medan : Jurusan Kimia Universitas Sumatra Utara.
- Skvarla, j., Sisol, M., Botula, J., Kolesarova., M., dan Krinicka, I. 2011. The Potential Use Of Fly Ash With A High Content Of Unburned Carbon In Geopolimers. Science Direct. **Acta Geodyn. Geomater., Vol. 8, No. 2 (162), 123–132, 2011.**
- SNI 03-6414-2002. **Spesifikasi Timbangan yang digunakan pada pengujian bahan.**
- SNI 03-6825-2002. **Metode Pengujian Kuat Tekan Mortar Semen**
- Thomas, M. 2007. " Optimizing the Use of Fly Ash in Concrete". **Portland Cement Association, Concrete Thinking for a Auatainable world.**

- Triwulan, Sadji, dan Rohman., A., A., 2003. "Peningkatan Kehalusan Fly ash Sebagai Cimentitious Material Terhadap kuat Tekan Beton dengan Metode Steam Curing". **Majalah Iptek. Vol. 14 N0. 2.**
- Van Jaarsveld, J.G.S., Van Deventer, J.S.J., dan Lukey, G.C. 2002. "The characterisation of source materials in fly ash-based geopolymers". Science Direct. **Materials Letters 57 (2003) 1272–1280.**
- Wang, W, C., 2014."Effect of Fly Ash and Lithium Compounds on The Water-Soluble Alkali and Lithium Content of Cement Specimens". Science Direct. **Construction and Building Materials 50 727–735.**
- Wardani, S.P.R. 2008. "Pemanfaatan Limbah Batu Bara (Fly Ash) Untuk Stabilitas Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan". Pidato Pengukuhan Guru Besar. Semarang : Jurusan Teknik Sipil Universitas Diponegoro.
- Winter, N., B., 2014. **Cement Hidration.**
<URL:<http://hidrasi%20semen/Cement%20hydratio n%20OKE.htm>>.

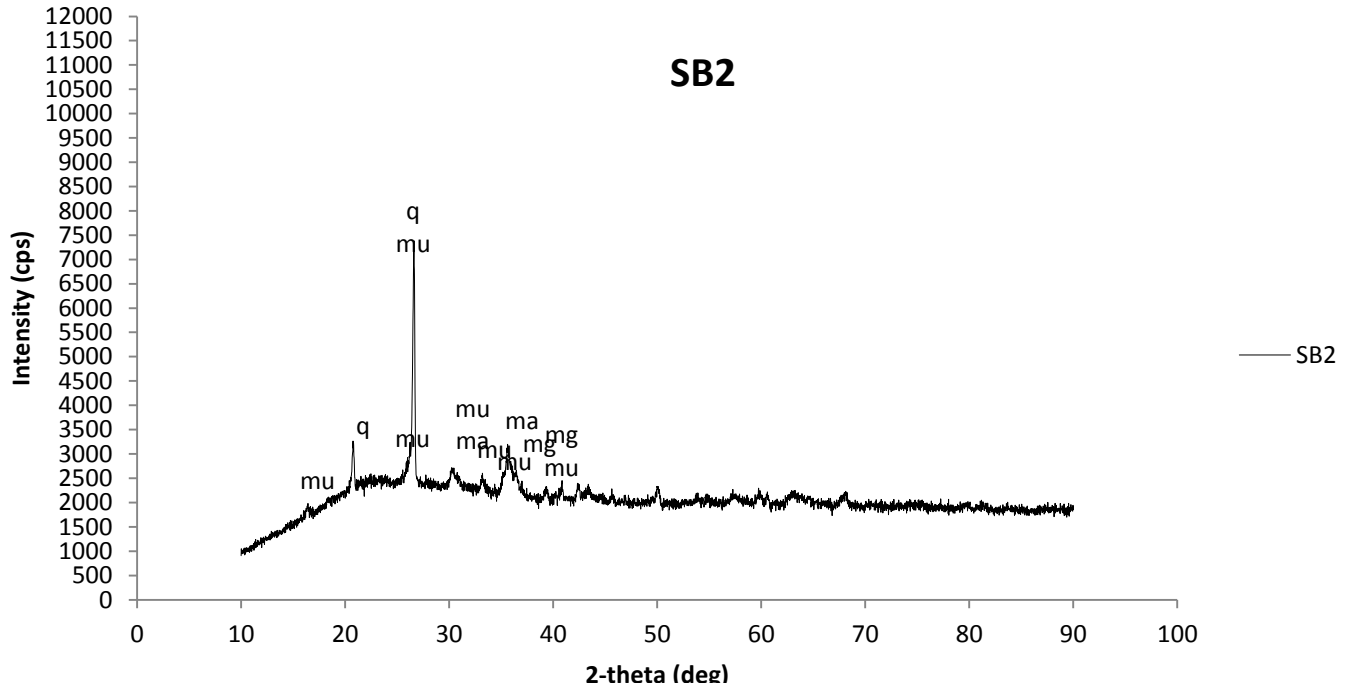
BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Banyuwangi pada tanggal 18 Mei 1991 dengan nama lengkap Muhammad Bahrul Ulum. Pendidikan formal yang telah ditempuh oleh penulis, yaitu TK Muslimat Khodijah Pengatigan, MI Pengatigan, SMP Negeri 1 Rogojampi, dan SMA Negeri 1 Rogojampi. Setelah lulus dari SMA Negeri 1 Rogojampi, penulis mengikuti seleksi masuk perguruan tinggi negeri melalui jalur Bidik Misi dan diterima di jurusan Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya pada tahun 2010 dan terdaftar dengan NRP. 3110100073.

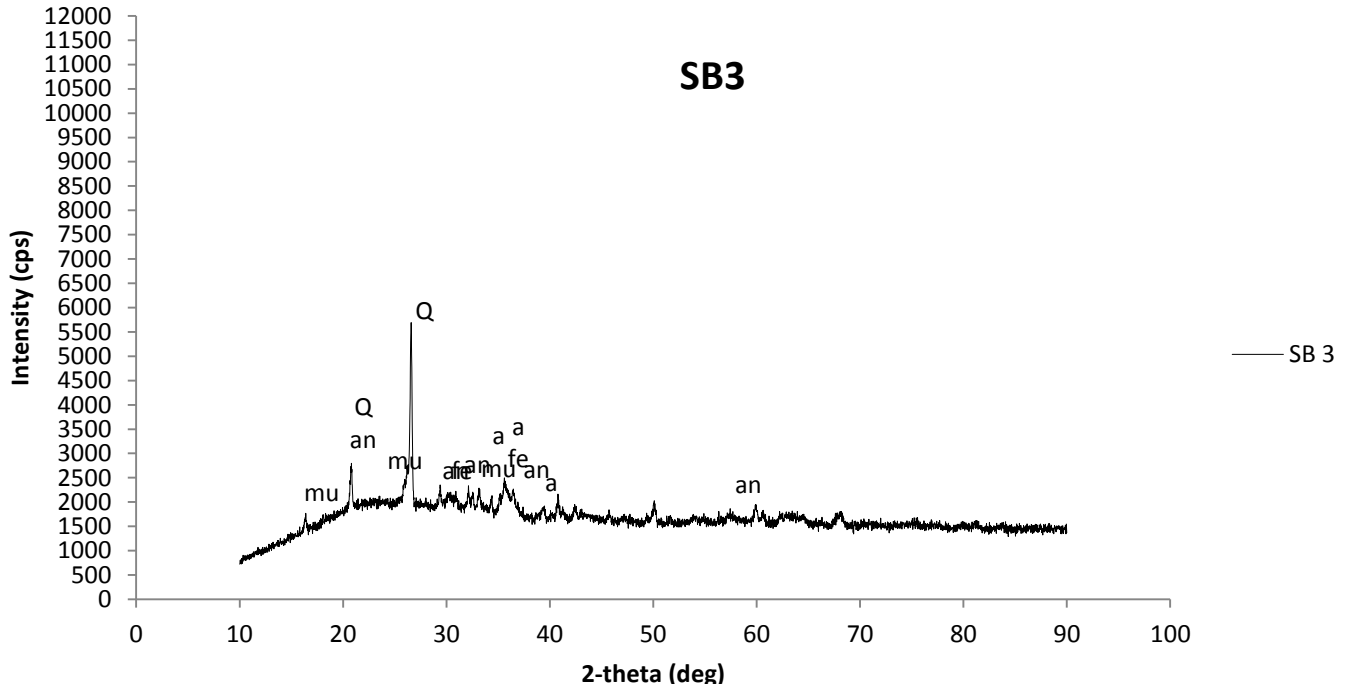
Selama berkuliah di Jurusan Teknik Sipil ITS, penulis sangat tertarik pada Bidang Studi Struktur, terutama pada pembuatan beton serta pemanfaatan limbah dalam pembuatan beton. Oleh karena itu pada Tugas Akhir ini penulis mengambil topik bahasan mengenai material alternatif dalam campuran pembuatan beton. Penulis sangat berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta bagi penulis sendiri. Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan penulis, dapat melalui email: **muhammadbahru@gmail.com**

1. XRD Fly Ash Surya Beton Indonesia 2



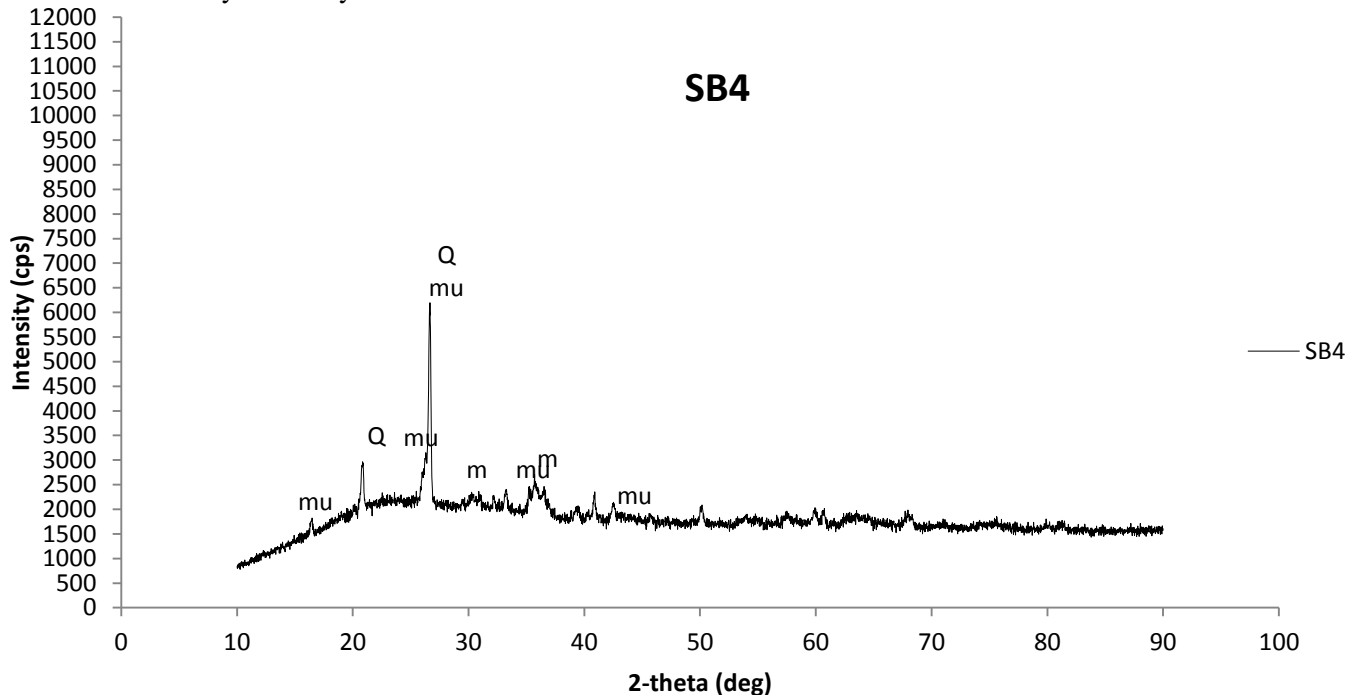
Simbol	Nama Senyawa	Rumus Kimia	Kandungan (%)
Q	Quartz alpha, alpha	SiO2	58
mg	Magnesium Peroxide	MgO2	9
mu	Mullite, syn	Al4.52O9.74	13
ma	Maghemite-C, syn	Fe2O3	19

2. XRD Fly Ash Surya Beton Indonesia 3



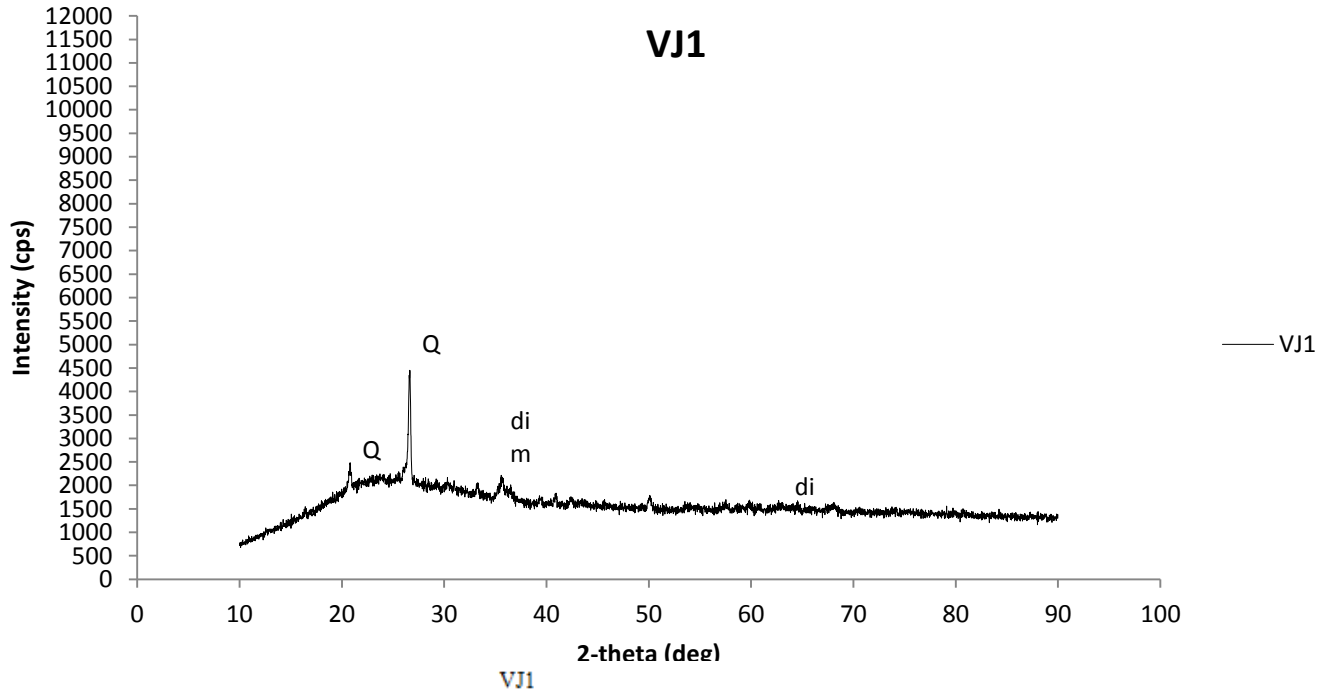
Symbol	Nama Senyawa	Rumus Kimia	Kandungan (%)
Q	Quartz alpha, alpha	SiO ₂	61
a	Aluminium Oxide	Al ₂ O ₃	21
mu	Mullite, syn	Al _{5.65} Si _{0.35} O _{9.175}	10.2
h	iron diiron(III) oxide	Fe ₃ O ₄	5
an	Andradite, syn	Ca ₃ Fe ₂ (SiO ₄) ₃	2.2

3. XRD Fly Ash Surya Beton Indonesia 4



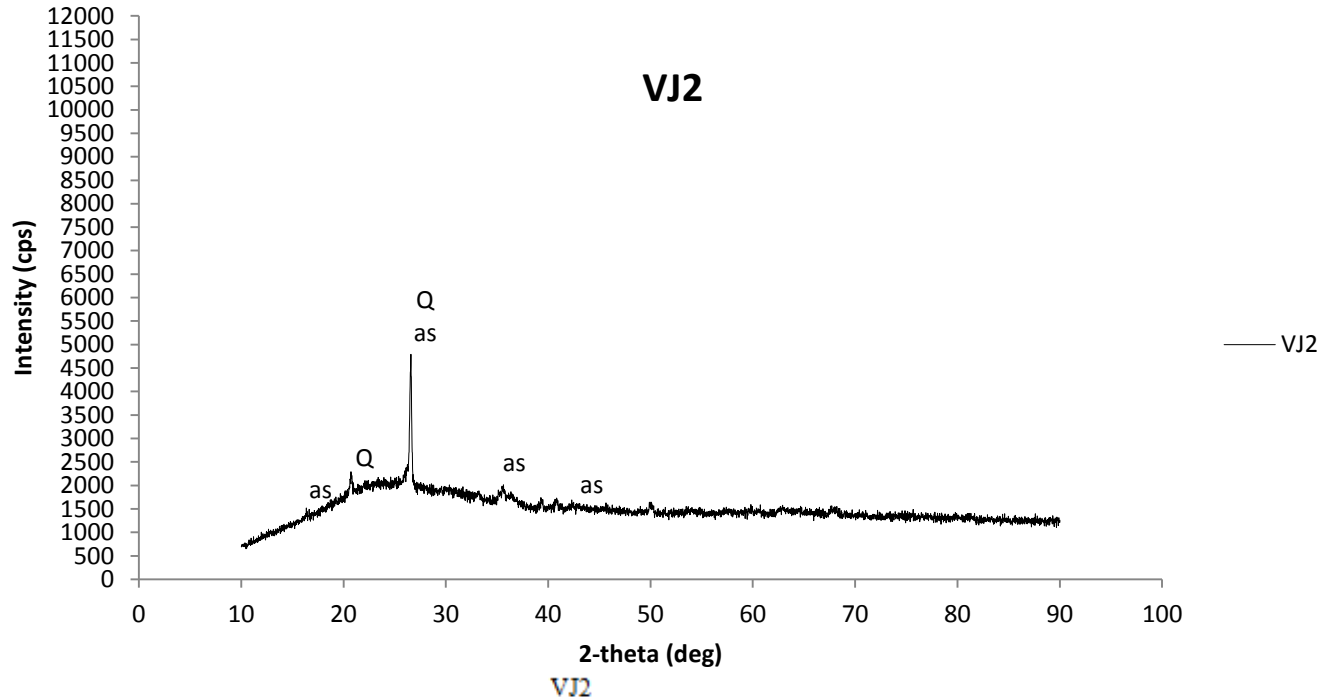
Simbol	Nama Senyawa	Rumus Kimia	Kandungan (%)
Q	Quartz low, syn	SiO ₂	54
mu	Mullite, syn	Al ₄ S ₂ O ₉ .74	19
ma	Magnetite	Fe ₃ O ₄	27

4. XRD Fly Ash Varia Usaha Beton (Jepara) 1



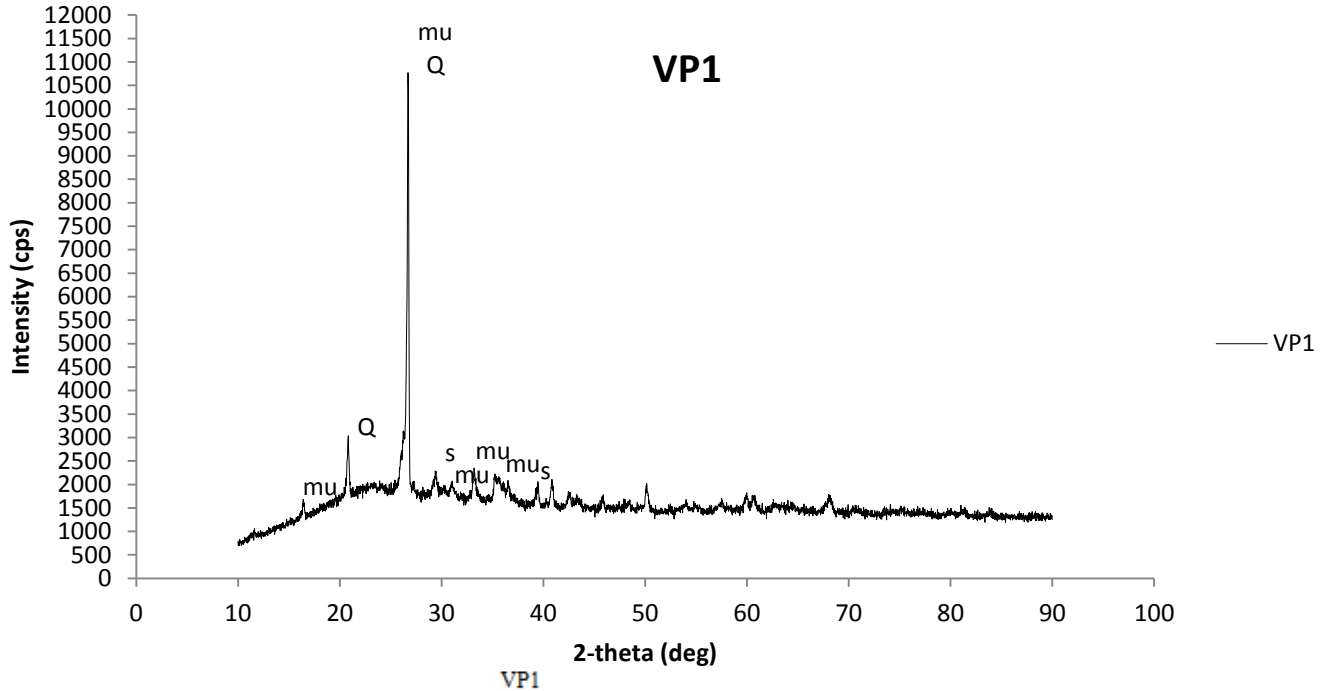
Simbol	Nama Senyawa	Rumus Kimia	Kandungan (%)
Q	Quartz low, syn	SiO ₂	55
di	dialuminum silicate oxide	Al ₂ (SiO ₄)O	27
ma	iron diiron(III) oxide, Magnetite	Fe ₃ O ₄	17.8

5. XRD Fly Ash Varia Usaha Beton (Jepara) 2



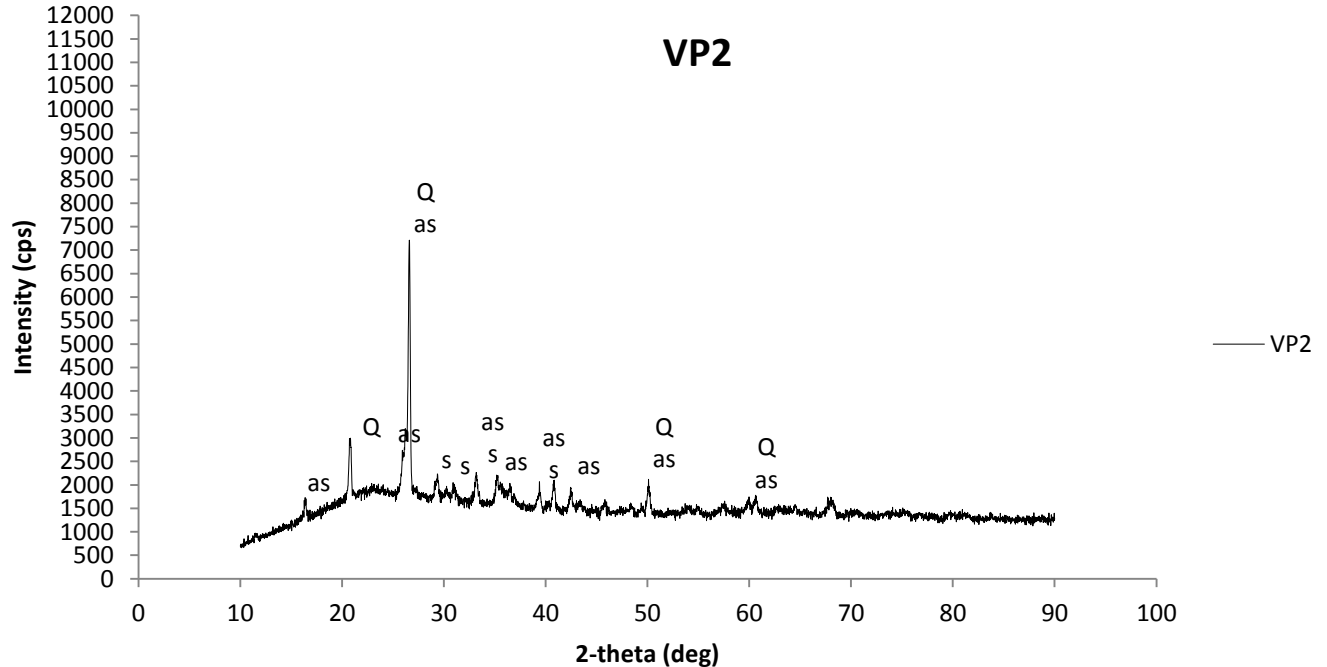
Simbol	Nama Senyawa	Rumus Kimia	Kandungan (%)
Q	Quartz low, syn	SiO ₂	96
as	Aluminum Silicon Oxide	Al ₂ (Al ₂ .624Si _{1.376})O _{9.688}	4

6. XRD Fly Ash Varia Usaha Beton (Paiton) 1



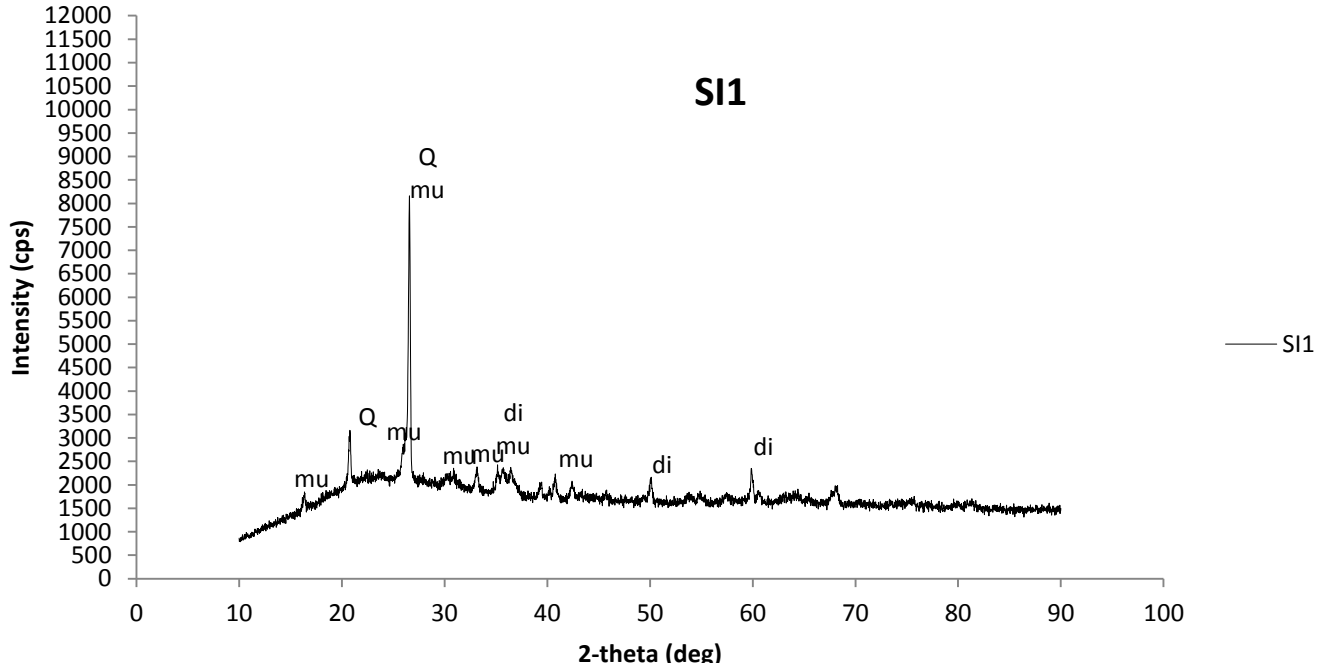
Simbol	Nama Senyawa	Rumus Kimia	Kandungan (%)
mu	Mullite, syn	Al ₄ Si ₂ O ₉ 7.74	48
Q	Quartz low, syn	SiO ₂	46.9
s	Silicon Oxide	O ₂ Si	4.6

7. XRD Fly Ash Varia Usaha Beton (Paiton) 2



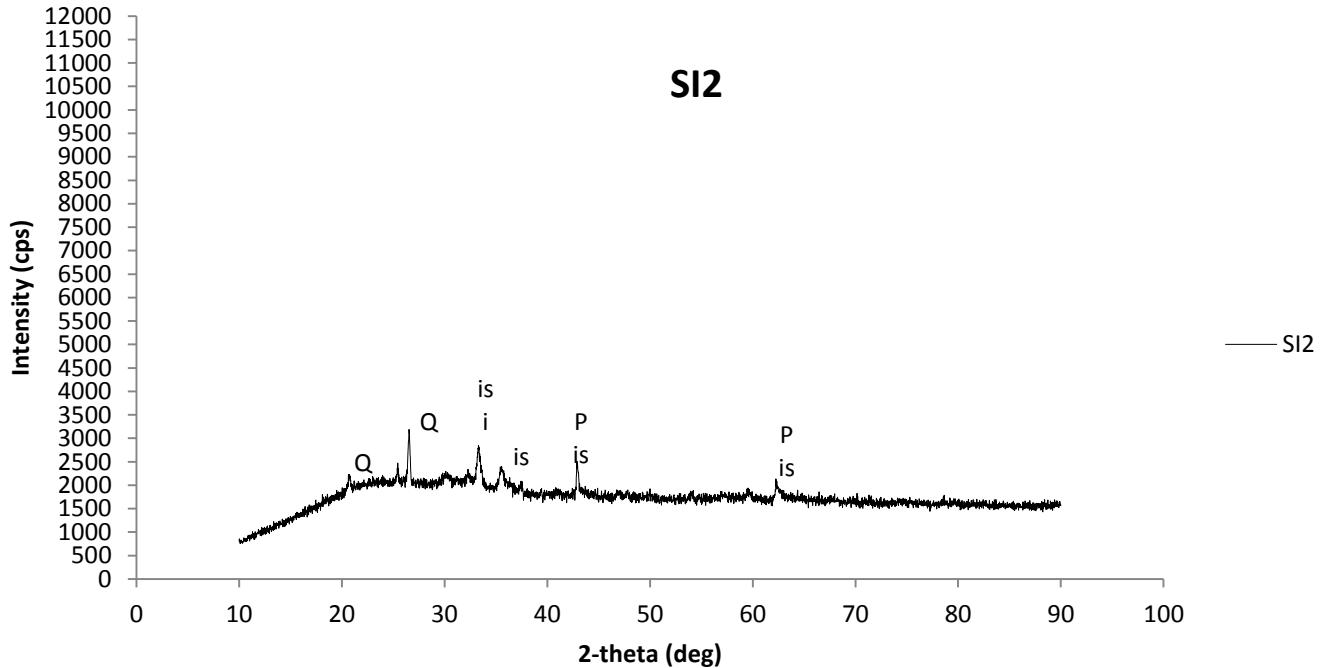
Simbol	Nama Senyawa	Rumus Kimia	Kandungan (%)
Q	Quartz low, syn	SiO ₂	47
as	Aluminum Silicon Oxide	Al ₂ (Al ₂ .624Si _{1.376})O _{9.688}	27
s	Silicon Oxide	O ₂ Si	26

8. XRD Fly Ash Semen Indonesia 1



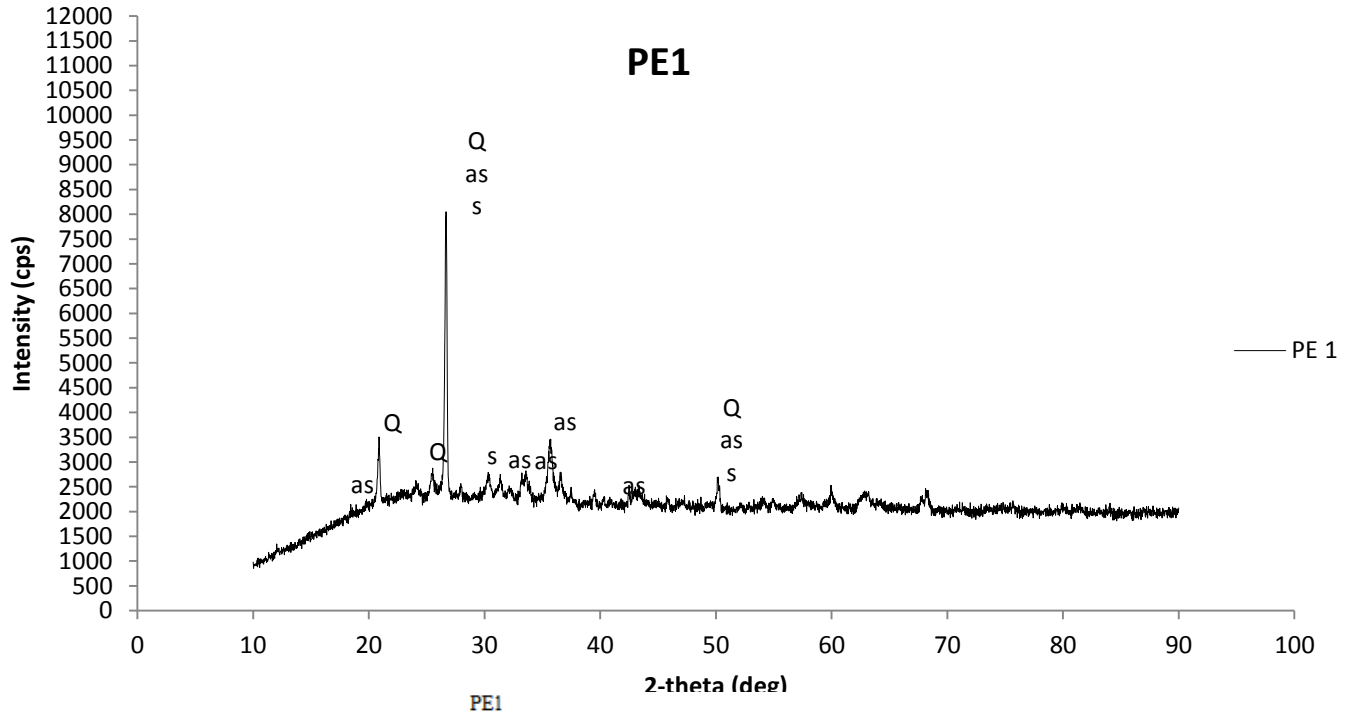
Simbol	Nama Senyawa	Rumus Kimia	Kandungan (%)
Q	Quartz low, syn	SiO ₂	71
di	dialuminum silicate oxide	Al ₂ (SiO ₄)O	9
mu	Mullite, syn	Al ₂ (Al _{2.5} Si _{1.5})O _{9.75}	20

9. XRD Fly Ash Semen Indonesia 2



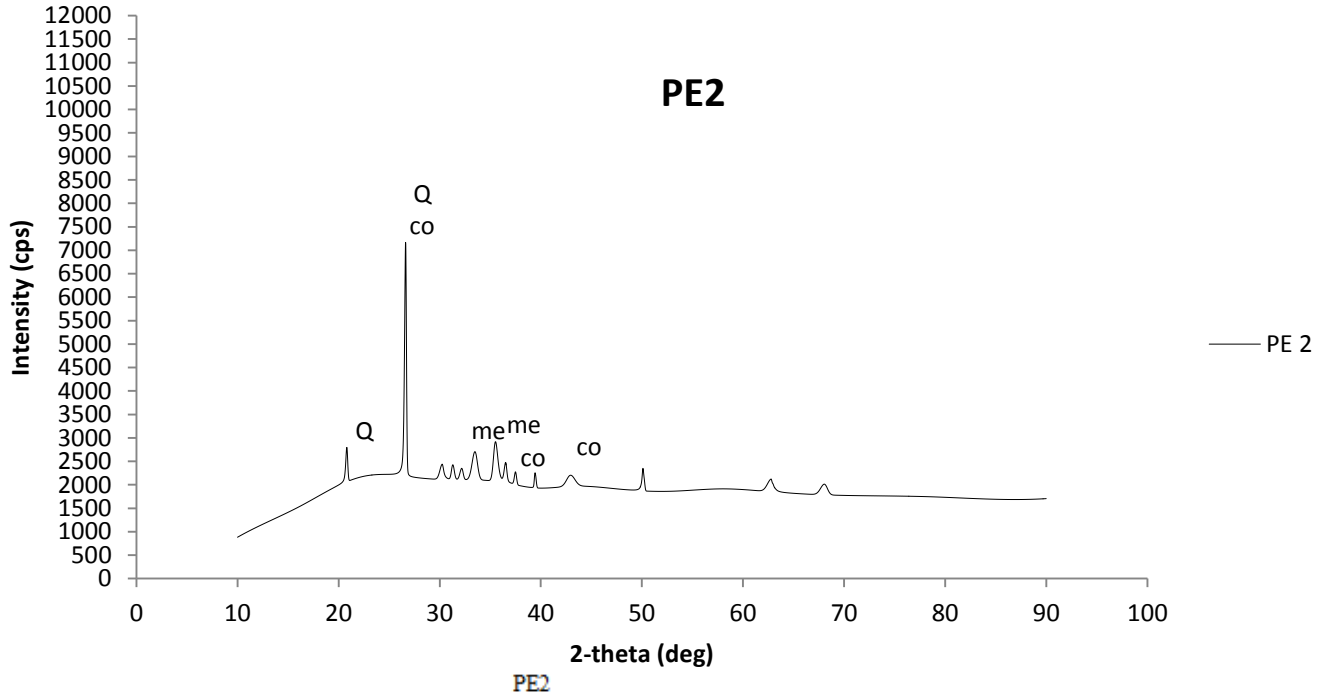
Simbol	Nama Senyawa	Rumus Kimia	Kandungan (%)
p	Periclase, syn	MgO	43
Q	Quartz, syn	SiO ₂	34
is	Iron Silicon Oxide	Fe _{5.36} Si _{0.64} O ₈	12
i	Iron Oxide	Fe ₂ O ₃	10

10. XRD Fly Ash Prima Elektrik Power 1



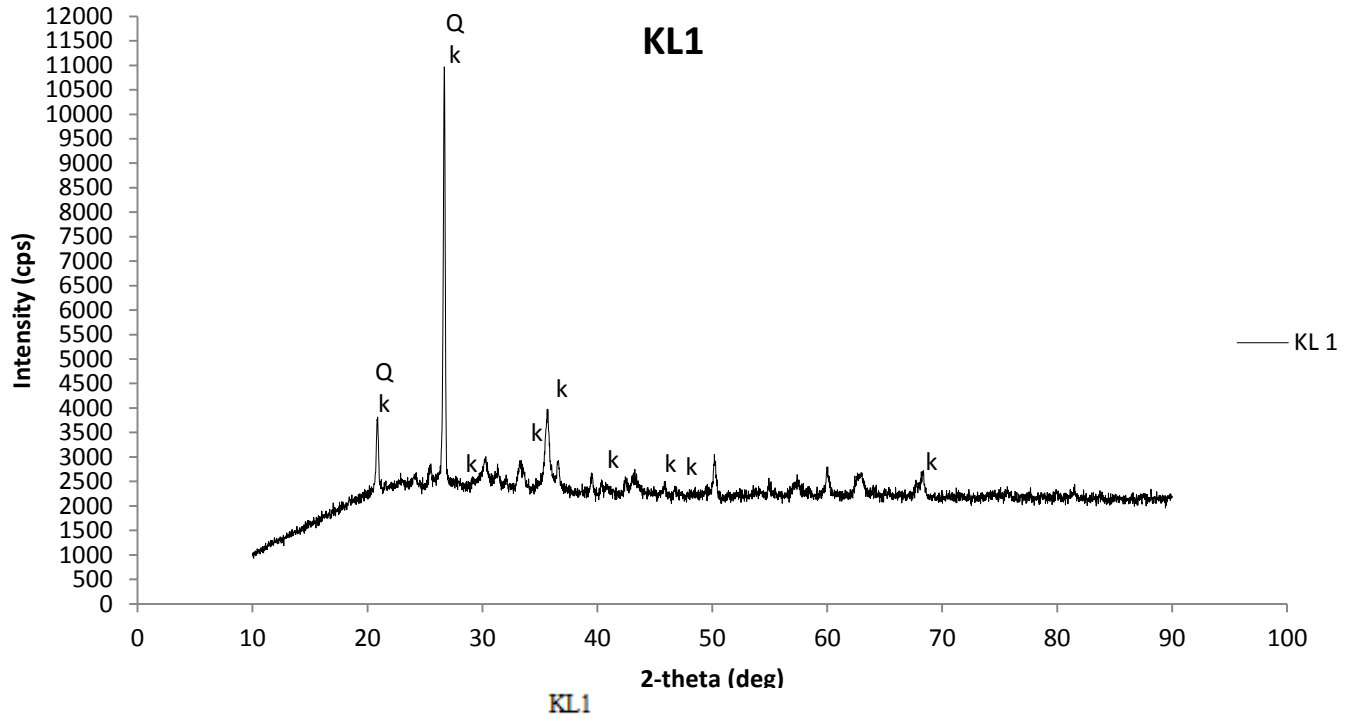
Simbol	Nama Senyawa	Rumus Kimia	Kandungan (%)
Q	Quartz, syn	SiO ₂	17.8
as	Aluminum Silicon Oxide	Al ₂ (Al ₂ .667Si ₁ .333)O ₉ .667	79
s	Silicon Oxide	SiO ₂	3.5

11. XRD Fly Ash Prima Elektrik Power 2



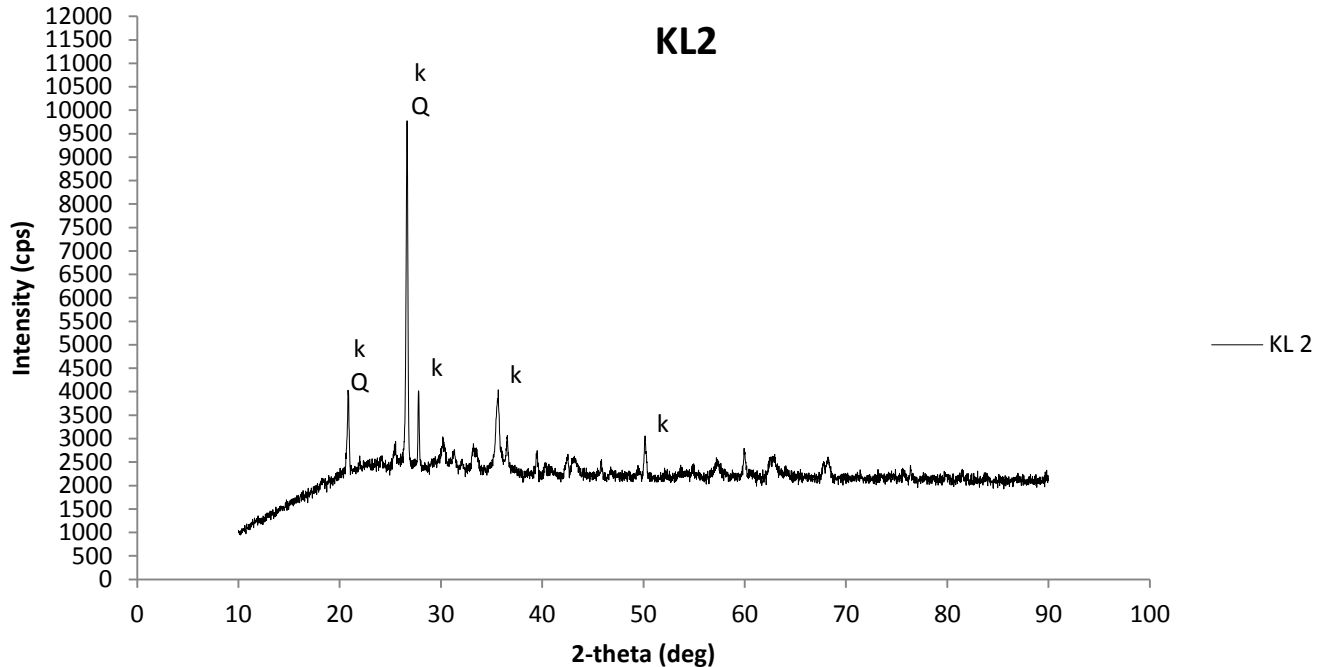
Simbol	Nama Senyawa	Rumus Kimia	Kandungan (%)
Q	Quartz meta-sillimanite HP, syn, dialuminum silicate	SiO ₂	35.6
me	meta-sillimanite HP, syn, dialuminum silicate oxide	Al ₂ (SiO ₄)O	50
co	Corundum, syn	Al ₂ O ₃	14

12. XRD Fly Ash Kertas Leces 1



Simbol	Nama Senyawa	Rumus Kimia	Kandungan (%)
Q	Quartz, syn	SiO ₂	70
k	kyanite HP, dialuminum silicate oxide	Al ₂ (SiO ₄)O	30

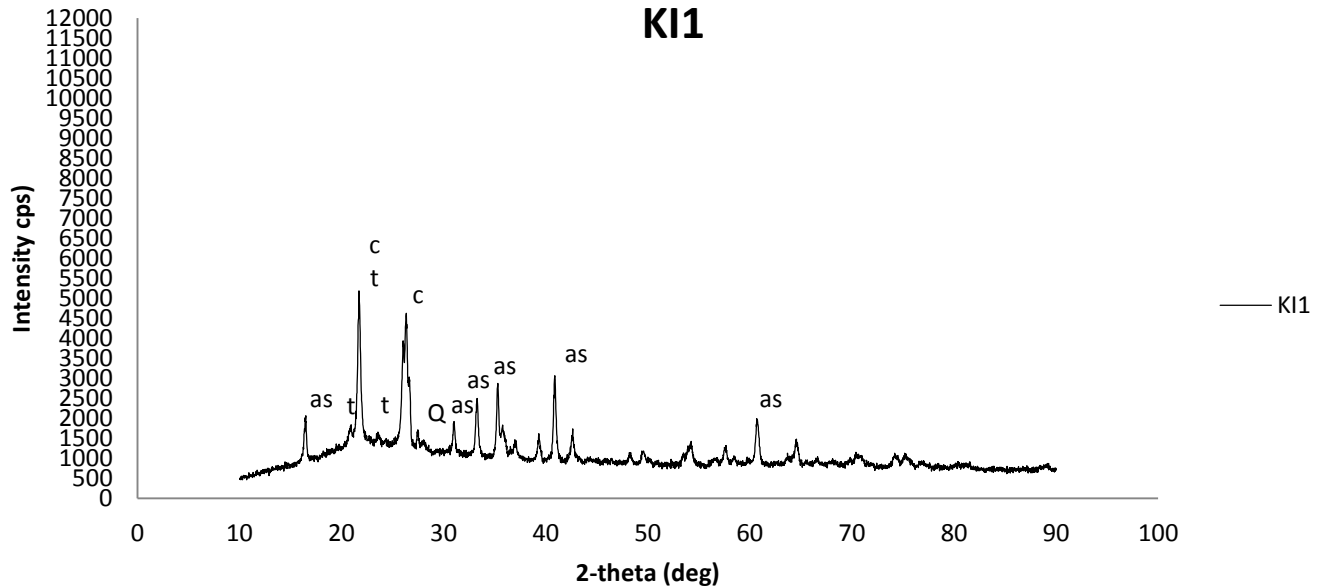
13. XRD Fly Ash Kertas Leces 2



KL2

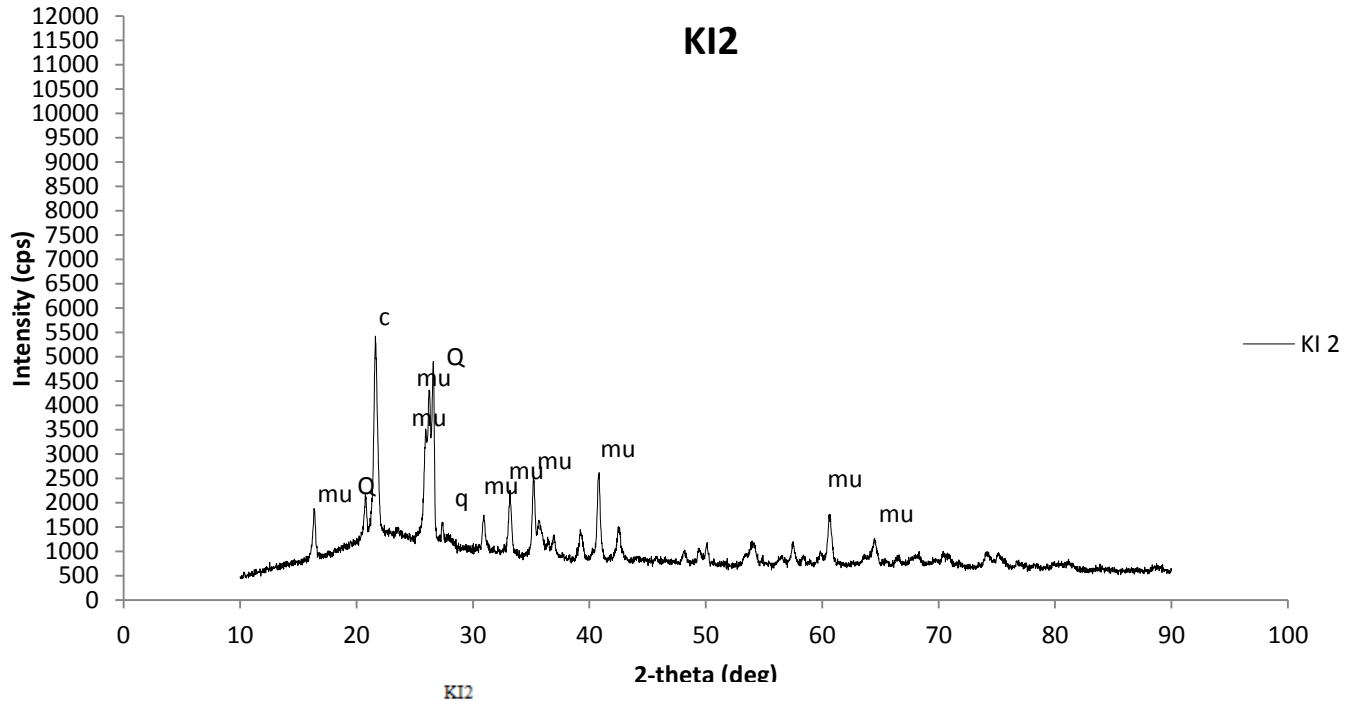
Simbol	Nama Senyawa	Rumus Kimia	Kandungan (%)
k	kyanite HP, dialuminum silicate oxide	$Al_2(SiO_4)O$	93
Q	Quartz, syn	SiO_2	7.27

14. XRD Fly Ash Kasmaji Inti Utama 1



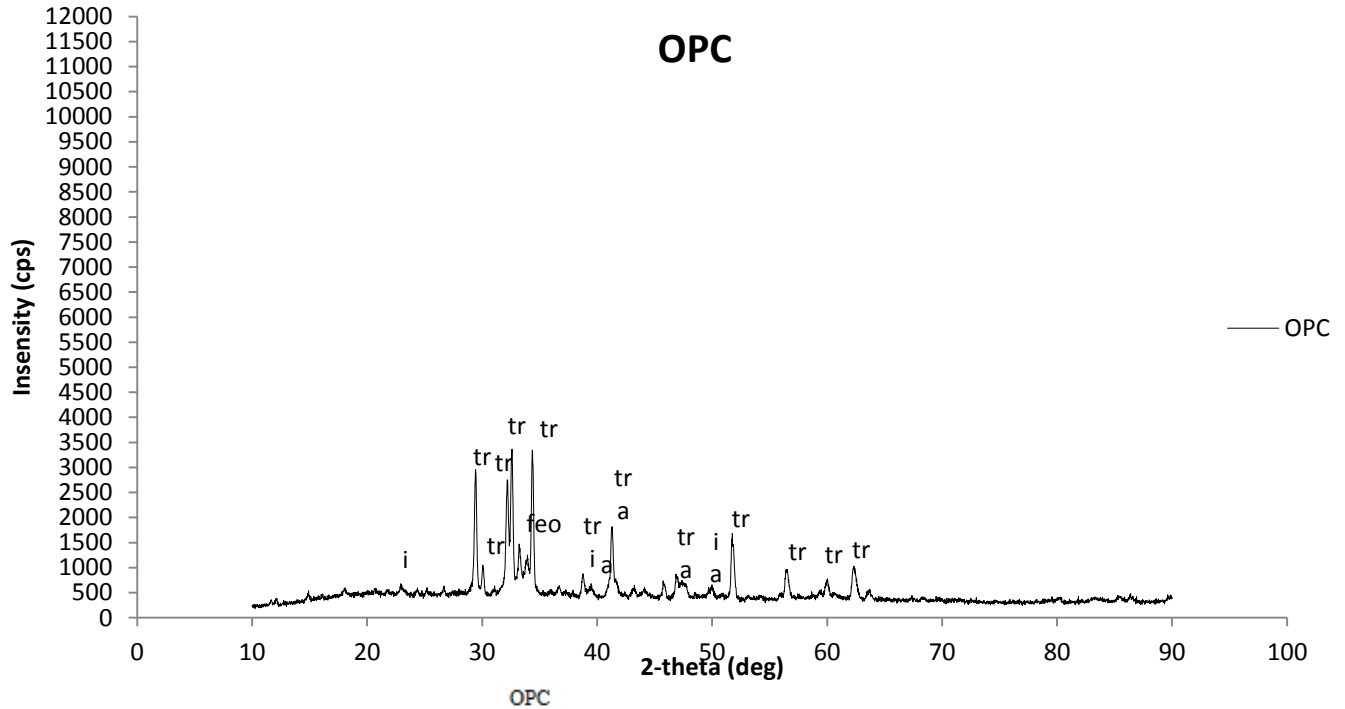
Simbol	Nama Senyawa	Rumus Kimia	Kandungan (%)
as	Aluminum Silicon Oxide	$Al_{1.644}Si_{1.357}O_{9.68}$	74
c	crystalite-beta high	SiO_2	19.7
t	Tridymite	SiO_2	5.2
q	quartz HP	SiO_2	1.3

15. XRD Fly Ash Kasmaji Inti Utama 2



Simbol	Nama Senyawa	Rumus Kimia	Kandungan (%)
c	crystalite-beta high	SiO2	21.8
mu	Mullite, syn	Al4.44Si1.56O9.78	60
Q	Quartz, syn	SiO2	15.1
q	quartz low HP, syn	SiO2	3.2

16. XRD Ordinary Portland Cement (OPC)



Simbol	Nama Senyawa	Rumus Kimia	Kandungan (%)
tr	Tricalcium silicate oxide	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$	84
i	Iron Oxide	Fe_2O_3	2.3
a	Aluminum Oxide	Al_2O_3	13.6