



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**PEMANFAATAN *POZZOLAN* SEBAGAI BAHAN
DASAR GEOPOLIMER**

DESAK NYOMAN DEASI TRIANI
NRP. 3111100008

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

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

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



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**PEMANFAATAN *POZZOLAN* SEBAGAI BAHAN
DASAR GEOPOLIMER**

DESAK NYOMAN DEASI TRIANI
NRP. 3111100008

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

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

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



FINAL PROJECT – RC14-1501

**APPLICATION POZZOLAN AS BASIC MATERIAL OF
GEOPOLYMER**

DESAK NYOMAN DEASI TRIANI
NRP. 3111100008

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

Supervisor II
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA

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

LEMBAR PENGESAHAN

PEMANFAATAN POZZOLAN SEBAGAI BAHAN DASAR GEOPOLIMER

TUGAS AKHIR

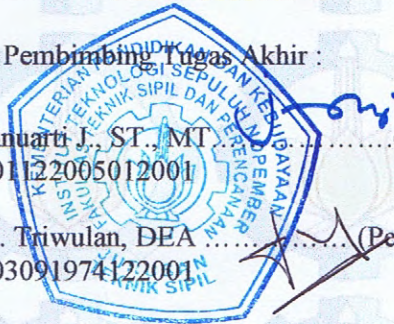
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Reguler Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DESAK NYOMAN DEASI TRIANI
NRP. 3111100008

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Eng. Januarti J., ST., MT (Pembimbing I)
NIP. 197401122005012001
2. Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA (Pembimbing II)
NIP. 195103091974122001



SURABAYA
MEL, 2015

PEMANFAATAN *POZZOLAN* SEBAGAI BAHAN DASAR GEOPOLIMER

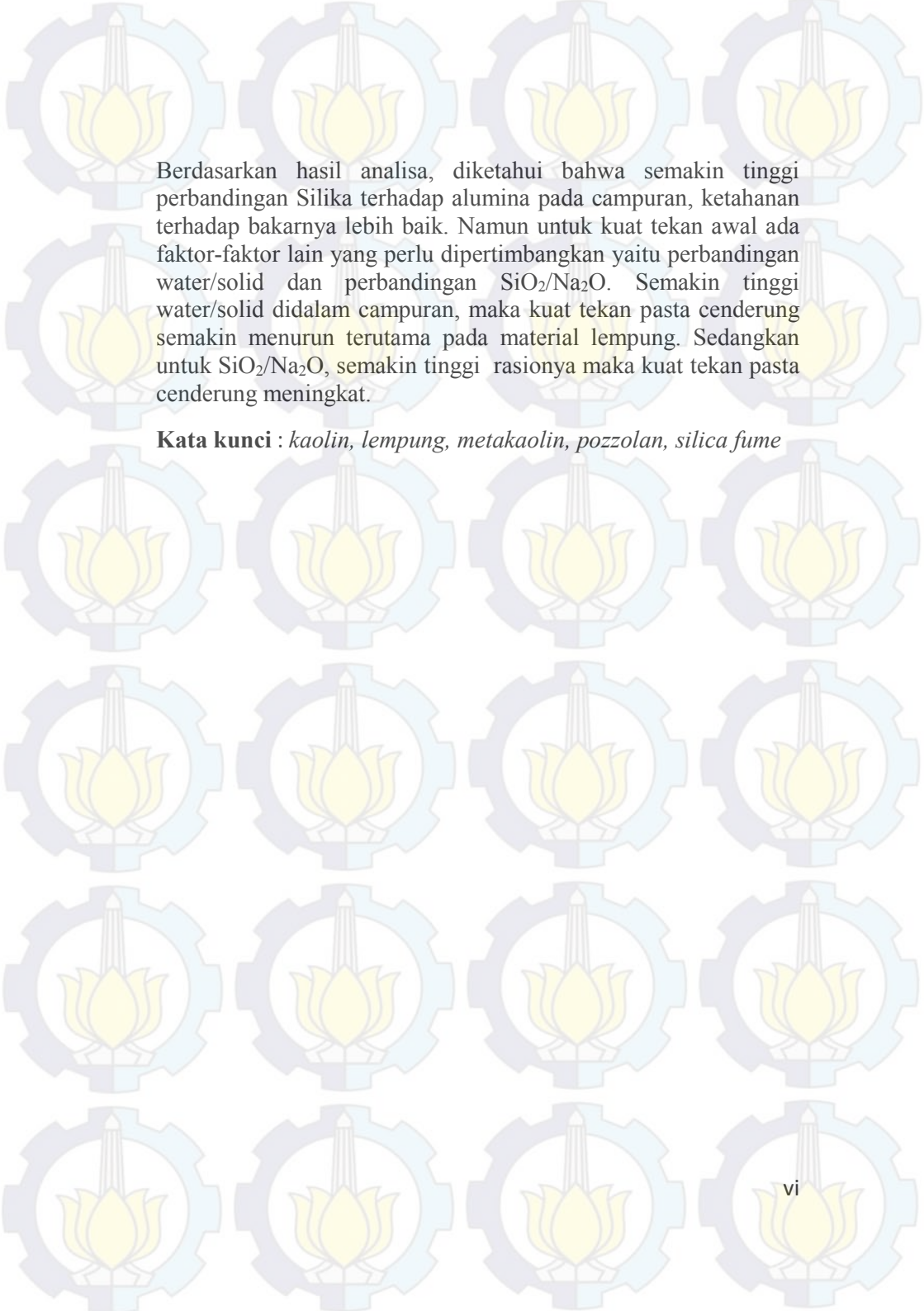
Nama mahasiswa : Desak Nyoman Deasi Triani
NRP : 3111 100 008
Jurusan : Teknik Sipil FTSP – ITS
Pembimbing : Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri ST., MT.
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA

ABSTRAK

Pozzolan mengandung silika dan alumina yang dapat dipergunakan sebagai bahan dasar pada pasta geopolimer. Namun demikian, tidak semua pozzolan dapat digunakan sebagai bahan dasar geopolimer. Penelitian ini menggunakan metakaolin dan lempung yang memiliki kandungan silika dan alumina amorf setelah dikalsinasi pada suhu 700°C. Tingginya rasio Silika terhadap alumina pada material tersebut menghasilkan pasta geopolimer yang memiliki sifat mekanik dan ketahanan terhadap bakar yang baik.

Komposisi mix design penelitian ini, berdasarkan pada perbandingan Silika terhadap alumina di dalam campuran pasta. Pasta yang berbahan dasar metakaolin perbandingan silika terhadap alumina adalah sebesar 1.4 dan 1.8. Sedangkan untuk lempung, perbandingan yang digunakan adalah sebesar 2.8 dan 3.2. Larutan alkali aktivator menggunakan Na_2SiO_3 yang dicampur dengan larutan NaOH. Molaritas NaOH yang dipakai adalah 10 M dan 8 M.

Hasil Pengujian menunjukkan bahwa pada umur 28 hari, kuat tekan tertinggi pasta berbahan dasar clay Blitar adalah 69.75 mPa, dan metakaolin sebesar 75.37 mPa. Untuk pasta yang diuji bakar pada suhu 400°C selama 30 menit, seluruh benda uji mengalami penurunan kuat tekan. Persentase kuat tekan sisa tertinggi pada pasta metakaolin sebesar 42.89 % , dan pada pasta clay Blitar sebesar 73.06 %.

The background of the page features a repeating pattern of a light blue gear with a yellow lotus flower inside it. The gear and lotus are centered within a white circle, and this pattern is repeated across the entire page.

Berdasarkan hasil analisa, diketahui bahwa semakin tinggi perbandingan Silika terhadap alumina pada campuran, ketahanan terhadap bakarnya lebih baik. Namun untuk kuat tekan awal ada faktor-faktor lain yang perlu dipertimbangkan yaitu perbandingan water/solid dan perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$. Semakin tinggi water/solid didalam campuran, maka kuat tekan pasta cenderung semakin menurun terutama pada material lempung. Sedangkan untuk $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$, semakin tinggi rasionya maka kuat tekan pasta cenderung meningkat.

Kata kunci : *kaolin, lempung, metakaolin, pozzolan, silica fume*

APPLICATION OF POZZOLAN AS RAW MATERIAL FOR GEOPOLYMER

Name : Desak Nyoman Deasi Triani
NRP : 3111 100 008
Department : Civil Engineering FTSP – ITS
Supervisor : Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri ST., MT.
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA


ABSTRACT

Pozzolan contains of silica and alumina which can be used as raw material for geopolymer paste. However not all pozzolan can be used for geopolymer material. Metakaolin and clay that contain with silica and alumina amorf after calcined at 700°C are used. Mechanical properties and fire resistance of geopolymer paste increase as the ratio of silica to alumina.

Mix design composition on this research based on the ratio of silica to alumina. The ratio of silica to alumina for metakaolin paste are 1.4 and 1.8. While for clay paste the ratio that used are 2.8 and 3.2. Na_2SiO_3 and NaOH with 10 M and 8 M were used as alkali activator at this research.

The result of this research showed that compressive strength at 28 days for clay and metakaolin were 69.75 mPa and 75.37 mPa respectively. For burning test, the paste were burned at 4000C for 30 minute. The compressive strength of geopolymer paste after burned are decrease. The highest residual strength for metakaolin paste is 42.98 % and 73.06% for clay paste.

Based on analysis the effect of increasing the ratio of silica to alumina increase fire resistance ability for both metakaolin and clay. However initial compressive strength is effected not only by ratio of silica to alumina but also the ratio of water to solid and $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$. The compressive strength decrease as the ratio of

The background of the page is a repeating pattern of a light blue gear with a yellow lotus flower inside. The gear and lotus are centered within a white circle. The pattern is arranged in a grid that covers the entire page.

water to solid increases. Meanwhile compressive strength increase as the ratio of $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ increase.

Key word : *kaolin, lempung, metakaolin, pozzolan, silica fume.*

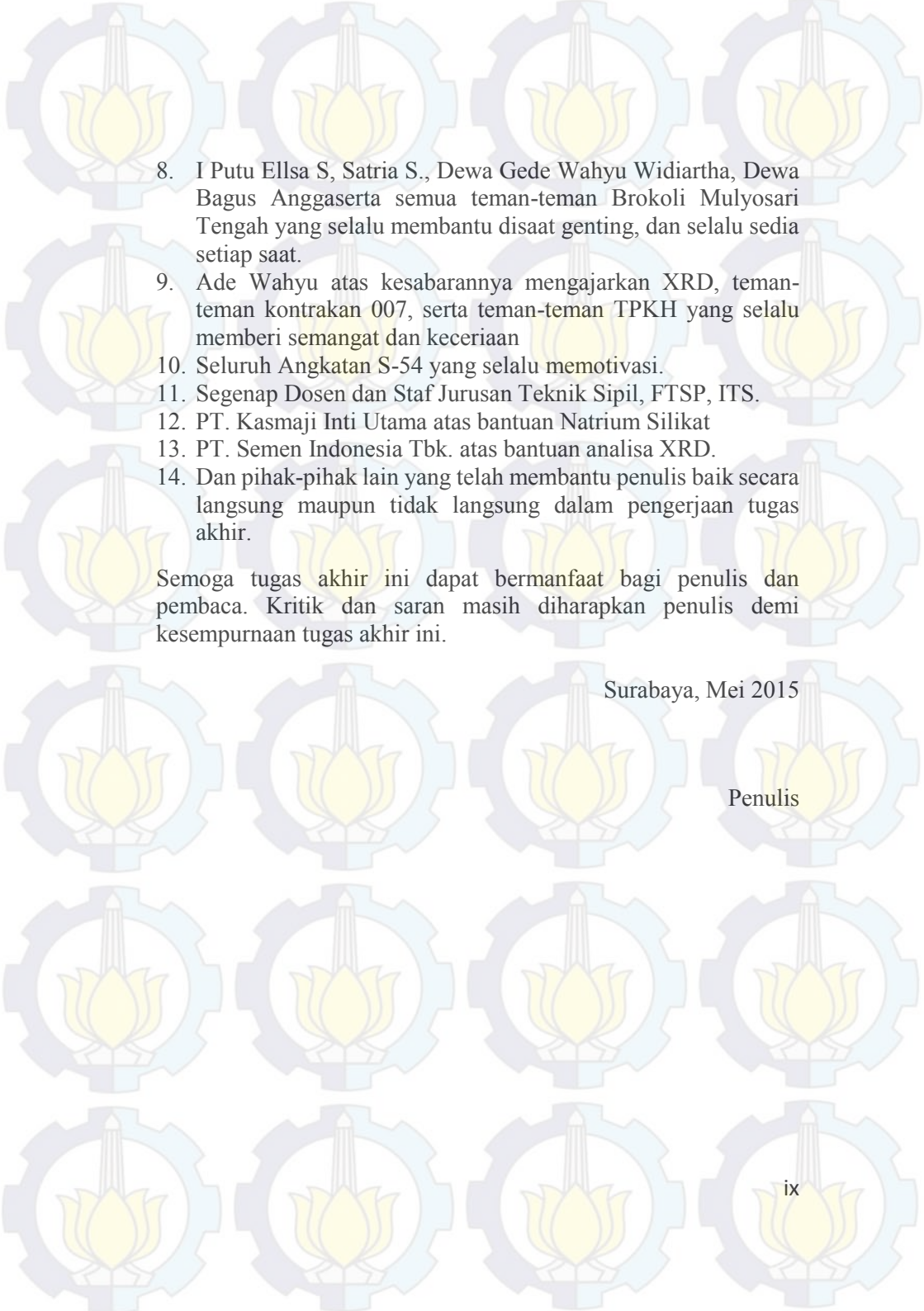
KATA PENGANTAR

Puji dan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat rahmat, kasih dan bimbingan - Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Pemanfaatan Pozzolan Sebagai Bahan Dasar Geopolimer* ini dengan baik dan tepat waktu.

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

Dalam pengerjaannya tugas akhir ini, penulis mendapat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ayah dan Ibu, atas segala motivasi, dukungan, dan doa yang diberikan kepada penulis.
2. Ibu Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST., MT., selaku dosen pembimbing I, yang telah membimbing, memberi masukan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. Ibu Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA, selaku dosen pembimbing II, yang telah membimbing, memberi masukan, nasihat serta dukungan.
4. Laboran dari Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan, Pak Harjo, Pak Totok, dan laboran dari Laboratorium Struktur Pak Ridwan.
5. Candra Gunawan, Yomelda, Dita Debora Kristiana, dan Ni Putu Kurnia atas bantuan dan motivasi yang diberikan selama pengerjaan tugas akhir.
6. Henry Limantono, Dimas Setio Nugroho, Achmad Fredya, , dan teman-teman LBE Green Concrete ITS atas bantuan tenaga, motivasi, dan hiburan selama pelaksanaan tugas akhir.
7. Agus Apriyanto atas motivasi dan kesabarannya menghadapi saya selama mengerjakan Tugas Akhir

- 
8. I Putu Ellsa S, Satria S., Dewa Gede Wahyu Widiartha, Dewa Bagus Anggaserta semua teman-teman Brokoli Mulyosari Tengah yang selalu membantu disaat genting, dan selalu sedia setiap saat.
 9. Ade Wahyu atas kesabarannya mengajarkan XRD, teman-teman kontrakan 007, serta teman-teman TPKH yang selalu memberi semangat dan keceriaan
 10. Seluruh Angkatan S-54 yang selalu memotivasi.
 11. Segenap Dosen dan Staf Jurusan Teknik Sipil, FTSP, ITS.
 12. PT. Kasmaji Inti Utama atas bantuan Natrium Silikat
 13. PT. Semen Indonesia Tbk. atas bantuan analisa XRD.
 14. Dan pihak-pihak lain yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung dalam pengerjaan tugas akhir.

Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca. Kritik dan saran masih diharapkan penulis demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, Mei 2015

Penulis

Daftar Isi

BAB 1	1
1.1	LATAR BELAKANG	1
1.2	Rumusan masalah	3
1.3	Tujuan	3
1.4	Batasan Masalah	4
1.5	Manfaat	4
BAB 2	5
2.1	Istilah dan Ilmu Kimia Geopolimer	5
2.2	Prekursor Geopolimer	9
2.3	Larutan Alkali dan Soluble Silikat	11
2.4	Sifat Geopolimer	13
2.4.1	Ketahanan Terhadap Sulfat	14
2.4.2	Ketahanan Terhadap Panas	15
BAB 3	17
3.1	Skema Metodologi	17
3.1.1	Tahap persiapan	17
3.2	Umum	20
3.3	Persiapan Material	20
3.3.1	Kaolin dan Clay	20
3.3.2	Pembuatan Larutan NaOH 8M dan NaOH 10M	24
3.3.3	Aquades	25
3.4	Pengujian Material	26
3.4.1	Kaolin dan clay	26

3.4.2	Silica Fume	32
3.4.3	Natrium Silikat (Na_2SiO_3).....	32
3.5	Komposisi Pasta.....	33
3.6	Pembuatan Pasta Geopolimer	41
3.7	Sistem Curing.....	42
3.8	Pengetesan Benda Uji	42
3.9	Hasil Penelitian	47
3.10	Kesimpulan Penelitian	47
BAB 4	HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA DATA ..	49
4.1	Umum	49
4.2	Data Hasil Analisa Material	49
4.2.1	Analisa Kaolin dan Metakaolin	50
4.2.2	Analisa Clay Blitar GD 1.....	62
4.2.3	Analisa Clay Blitar GD 2.....	80
4.2.4	Analisa Silica Fume	92
4.2.4.3	Analisa XRD Silica Fume.....	94
4.3	Data dan hasil pasta Geopolimer	95
4.2.5	Komposisi pasta geopolimer berbahan dasar Metakaolin	95
4.2.6	Komposisi pasta geopolimer berbahan dasar <i>clay</i>	97
4.2.7	Setting Time.....	98
4.2.8	Tes Kuat Tekan	120
4.2.9	Tes Bakar	138
4.2.10	Tes Porositas.....	134
4.2.11	Uji Reaktivty.....	163



BAB 5

165

5.1

Kesimpulan 165

5.2

Saran 167

5.3

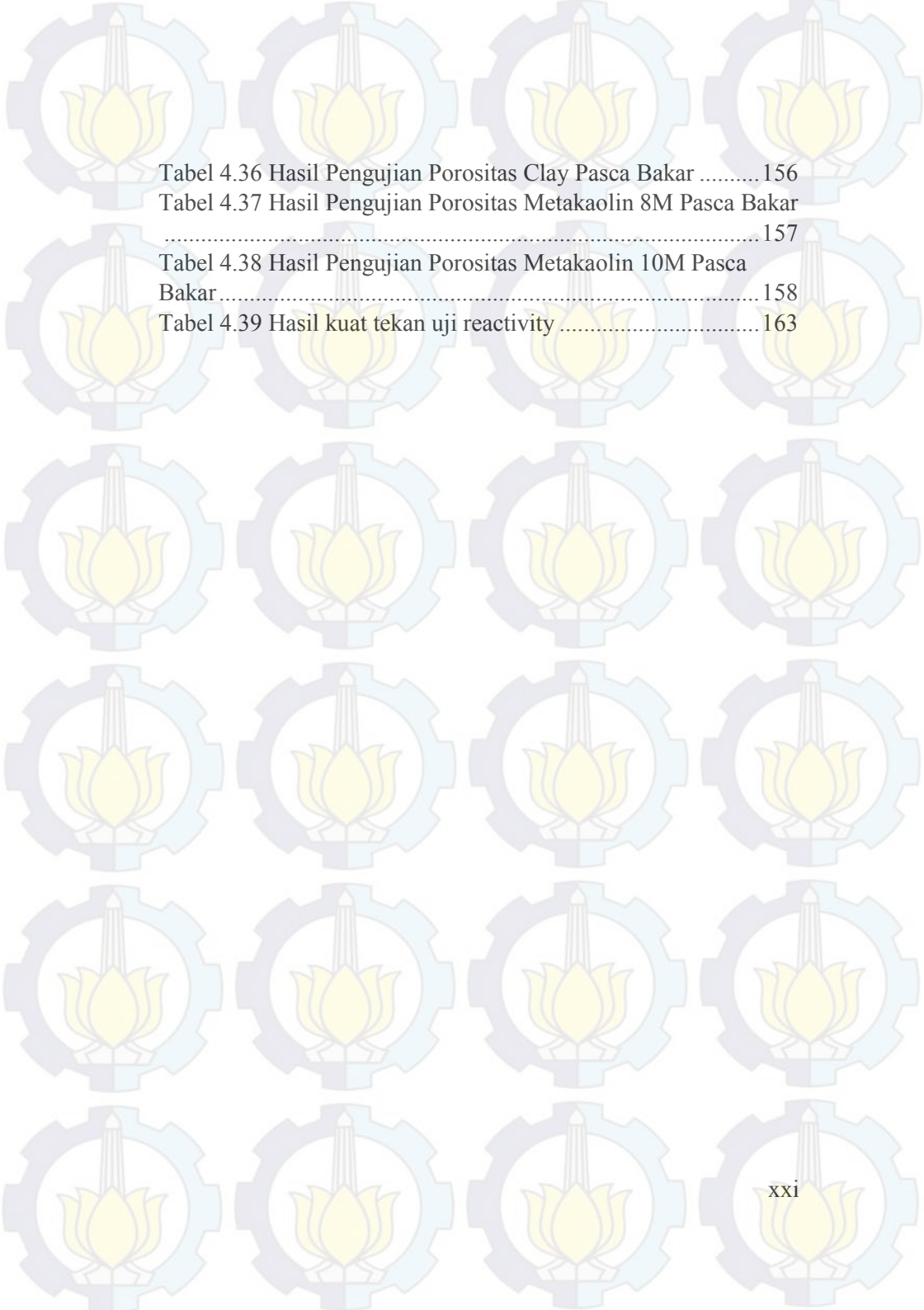
Rekomendasi 167

‘halaman ini sengaja dikosongkan’

Daftar Tabel

Tabel 2.1 Aplikasi dari setiap perbandingan Si/Al (Ionna G et. all, 2008)	7
Tabel 2.2 Kandungan pori dan <i>Spesific suraface area</i> geopolimer pada suhu 25°C (R. Cioffi, 2003).....	11
Tabel 3.1 Mix Desain Pasta Metakaolin	33
Tabel 3.2 Kebutuhan pasta Metakaolin per m ³	34
Tabel 3.3 Mix Desain Pasta Clay GD 1	35
Tabel 3.4 Komposisi kimia mix desain Clay GD 1	36
Tabel 3.5 Jenis dan jumlah benda uji pasta pasta.....	39
Sambungan Tabel 3.6 Jenis dan jumlah benda uji pasta pasta....	40
Tabel 4.1 Hasil Analisa XRD kaolin	55
Tabel 4.2 Hasil Analisa XRD Metakaolin suhu 600°C 3 jam.....	55
Tabel 4.3 Hasil Analisa XRD Metakaolin suhu 700°C 6 jam.....	56
Tabel 4.4 Hasil Analisa AAS Kaolin Bangka Belitung	57
Tabel 4.5 Hasil Analisa XRF Kaolin Bangka Belitung	57
Tabel 4.6 Berat Jenis Metakaolin Bangka	61
Tabel 4.7 Hasil Analisa XRD Clay Blitar GD1, sebelum dibakar	70
Tabel 4.8 Hasil Analisa XRD Clay Blitar GD1 disuhu 500°C selama 2 jam	70
Tabel 4.9 Hasil Analisa XRD Clay Blitar GD1 disuhu 500°C selama 6 jam	71
Tabel 4.10 Hasil Analisa XRD Clay Blitar GD1 disuhu 600°C selama 3 jam	71
Tabel 4.11 Hasil Analisa XRD Clay Blitar GD1 disuhu 700°C selama 2 jam	71
Tabel 4.12 Hasil Analisa XRF Clay Blitar GD 1.....	75
Tabel 4.13 Berat Jenis Clay Blitar GD 1	79
Tabel 4.14 Hasil Analisa XRD Clay Blitar GD2 sebelum dikalsinasi	86

Tabel 4.15 Hasil Analisa XRD Clay Blitar GD2 suhu 500°C 2 jam	86
Tabel 4.16 Hasil Analisa XRD Clay Blitar GD2 suhu 700°C 2 jam	86
Tabel 4.17 Hasil Analisa XRF Clay Blitar GD 2.....	88
Tabel 4.18 Hasil Analisa Ukuran Partikel <i>Silica Fume</i>	92
Tabel 4.19 Berat Jenis <i>Silica Fume</i>	93
Tabel 4.20 Komposisi campuran pasta geopolimer berbahan dasar metakaolin.....	95
Tabel 4.21 Komposisi pasta geopolimer berbahan dasar <i>clay</i> Blitar (GD1).....	97
Tabel 4.22 Setting time pasta MK5 (8_18).....	100
Tabel 4.23 Setting time pasta MK6 (8_18).....	101
Tabel 4.24 Setting time awal dan akhir pasta geopolimer berbahan dasar metakaolin (NaOH 8M)	102
Tabel 4.25 Setting time awal dan akhir pasta geopolimer berbahan dasar metakaolin (NaOH 10M)	106
Tabel 4.26 Setting time awal dan akhir pasta geopolimer berbahan dasar Clay GD 1	111
Tabel 4.27 Standar Deviasi dan kovarian SNI SNI 03-06813-2002	121
Tabel 4.28 Hasil uji kuat tekan dan kontrol kualitas pasta s.....	122
Tabel 4.29 Hasil uji kuat tekan dan kontrol kualitas pasta berbahan dasar Metakaolin 10 M.....	123
Tabel 4.30 Hasil uji kuat tekan dan kontrol kualitas pasta berbahan dasar clay Blitar GD 1	125
Tabel 4.31 Hasil tes kuat tekan pasca bakar 8M umur 28 hari .	138
Tabel 4.32 Persen Kuat Tekan Sisa dan Persen Penurunan Berat Pasta Metakaolin Pasca Bakar	139
Tabel 4.33 Hasil tes kuat tekan pasta clay GD 1 pasca bakar...	142
Tabel 4.34 Persen Kuat Tekan Sisa dan Persen Penurunan Berat Pasta Metakaolin Pasca Bakar	143
Tabel 4.35 Hasil Pengujian Porositas Clay.....	154



Tabel 4.36 Hasil Pengujian Porositas Clay Pasca Bakar	156
Tabel 4.37 Hasil Pengujian Porositas Metakaolin 8M Pasca Bakar	157
Tabel 4.38 Hasil Pengujian Porositas Metakaolin 10M Pasca Bakar	158
Tabel 4.39 Hasil kuat tekan uji reactivity	163



"halaman ini sengaja dikosongkan"

Daftar Gambar

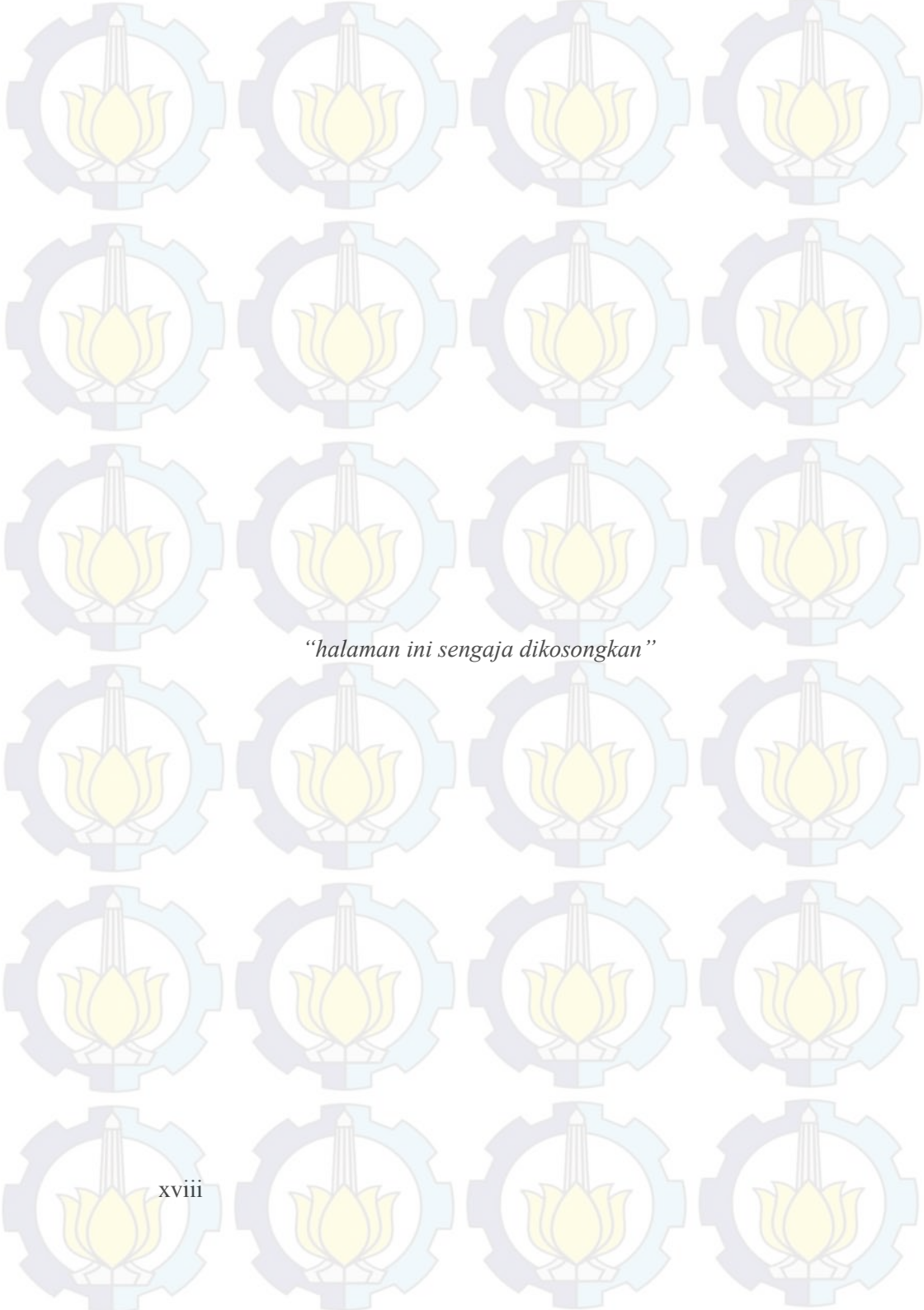
Gambar 2.1 Struktur kimia Polysialate (Davidovits, 1994).....	6
Gambar 2.2 Proses sintesis geopolimer (Xu and van Deventer, 2000)	8
Gambar 3.1 Grafik kalsinasi Metakaolin dan Clay GD 1	21
Gambar 3.2 Metakaolin yang telah dihaluskan.....	22
Gambar 3.3 Clay Blitar sebelum kalsinasi (a), Clay Blitar GD 1 sesudah kalsinasi (b)	23
Gambar 3.4 Ayakan no. 200	23
Gambar 3.5 NaOH flek	25
Gambar 3.6 Pencampuran Material	30
Gambar 3.7 Penambahan Air ke Campuran.....	30
Gambar 3.8 Proses Perojokan Campuran	30
Gambar 3.9 Proses <i>Curing</i> Mortar.....	31
Gambar 3.10 Grafik tangga suhu pembakaran untuk pengujian bakar.....	47
Gambar 4.1 Grafik analisa hasil TGA / DTA kaolin Bangka	50
Gambar 4.2 XRD kaolin Bangka	51
Gambar 4.3 XRD MK 600 3 jam.....	52
Gambar 4.4 XRD MK 700 6 jam.....	53
Gambar 4.5 XRD Gabungan Clay Blitar GD 1	53
Gambar 4.6 XRD gabungan Kaolin dan Metakaolin.....	54
Gambar 4.7 XRD Gabungan Metakaolin.....	54
Gambar 4.8 Perbandingan Waktu Kalsinasi Terhadap Berat (Metakaolin).....	57
Gambar 4.9 (A) dan (B) SEM kaolin Bangka sebelum bakar....	59
Gambar 4.10 SEM kaolinite (A.....), (B; stolpergeologic.com). 60	
Gambar 4.11 TGA/DTA Clay GD1	62
Gambar 4.12 XRD Clay Blitar GD 1 sebelum difurnace.....	64
Gambar 4.13 XRD Clay Blitar GD 1 dikalsinasi suhu 500°C 2 jam	65
Gambar 4.14 XRD Clay Blitar furnace 500°C 6 jam.....	66

Gambar 4.15 XRD Clay Blitar furnace 600°C 3 jam.....	67
Gambar 4.16 XRD Clay Blitar furnace 700°C 2 jam.....	69
Gambar 4.17 XRD Clay Blitar GD 1	69
Gambar 4.18 A Clay bakar 500°C 2 jam, B Clay bakar 500°C 6 jam.	73
Gambar 4.19 Perbandingan waktu kalsinasi terhadap berat (Clay GD 1)	75
Gambar 4.20 Analisa SEM Clay GD 1	77
Gambar 4.21 TGA / DTA untuk clay Blitar GD 2.....	80
Gambar 4.22 XRD Clay Blitar GD 2 sebelum dikalsinasi.....	82
Gambar 4.23 XRD Clay Blitar GD 2 dikalsinasi pada suhu 500°C 2jam	83
Gambar 4.24 XRD Clay Blitar GD 2 dikalsinasi pada suhu 700°C 2jam	84
Gambar 4.25 XRD Clay Blitar GD 2 Sebelum dan Setelah Kalsinasi pada Berbagai Suhu	85
Gambar 4.26 Analisa SEM Clay Blitar GD 1	90
Gambar 4.27 Distribusi Ukuran Partikel <i>Silica Fume</i>	93
4.28 Analisa XRD <i>Silica Fume</i>	94
Gambar 4.29 Grafik setting time MK 1(8_139).....	98
Gambar 4.30 Grafik setting time MK3 (8_14)	99
Gambar 4.31 Grafik setting time pasta MK4 (8_177)	99
Gambar 4.32 Grafik setting time pasta MK5 (8_18)	100
Gambar 4.33 Grafik setting time MK6 (8_18)	101
Gambar 4.34 Grafik Setting time pasta MK1 (10_139).....	103
Gambar 4.35 Grafik Setting time pasta MK2 (10_14).....	103
Gambar 4.36 Grafik Setting time pasta MK3 (10_14).....	104
Gambar 4.37 Grafik Setting time pasta MK4 (10_177).....	104
Gambar 4.38 Grafik Setting Time Pasta MK5 (10_178)	105
Gambar 4.39 Grafik Setting Time Pasta MK5 (10_176)	106
Gambar 4.40 Grafik Setting Time Pasta C1(8_288).....	107
Gambar 4.41 Grafik Setting Time Pasta C1(10_288).....	107
Gambar 4.42 Grafik Setting Time Pasta C2(8_291).....	108

Gambar 4.43 Grafik Setting Time Pasta C2(10_291).....	108
Gambar 4.44 Grafik Setting Time Pasta C3(8_317).....	109
Gambar 4.45 Grafik Setting Time Pasta C3(10_317).....	110
Gambar 4.46 Grafik Setting Time Pasta C4(10_323).....	110
Gambar 4.47 Grafik Setting Time Pasta C4(8_323).....	111
Gambar 4.48 Grafik Perbandingan waktu setting awal pasta metakaolin 8M dan 10 M.....	112
Gambar 4.49 Grafik perbandingan setting time akhir pasta metakaolin 8M dan 10 M.....	113
Gambar 4.50 Grafik perbandingan setting time awal pasta clay GD 1 8M dan 10 M.....	113
Gambar 4.51 Grafik perbandingan setting time akhir pasta clay GD 1 8M dan 10 M.....	114
Gambar 4.52 Grafik Perbandingan Si/Al terhadap setting time pasta metakaolin 8M dan 10M.....	115
Gambar 4.53 Grafik Perbandingan Water/Solid terhadap setting time pasta metakaolin 8M dan 10M.....	116
Gambar 4.54 Grafik Perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ terhadap setting time pasta metakaolin 8M dan 10M.....	116
Gambar 4.55 Grafik Perbandingan Si/Al terhadap setting time pasta Clay GD 1 8M dan 10M.....	117
Gambar 4.56 Grafik Perbandingan Water/Solid terhadap setting time pasta Clay GD 1 8M dan 10M.....	118
Gambar 4.57 Grafik Perbandingan Water/Solid terhadap setting time pasta Clay GD 1 8M dan 10M.....	118
Gambar 4.58 Grafik Kuat tekan pasta geopolime berbahan dasar Clay GD 1.....	127
Gambar 4.59 Grafik Kuat tekan pasta geopolime berbahan dasar Metakaolin.....	128
Gambar 4.60 Grafik Si/Al terhadap Kuat Tekan Pasta metakaolin 28 hari.....	130
Gambar 4.61 Grafik Si/Al terhadap Kuat Tekan Pasta Clay GD 1 28 hari.....	131

Gambar 4.62 Perbandingan Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1	131
Gambar 4.63 Pengaruh SiO ₂ /Na ₂ O Terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin umur 28 hari.....	133
Gambar 4.64 Grafik SiO ₂ /Na ₂ O terhadap Kuat Tekan Pasta Clay GD 1 umur 28 hari	133
Gambar 4.65 Pengaruh SiO ₂ /Na ₂ O terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1	134
Gambar 4.66 Pengaruh Water/Solid Terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin umur 28 hari.....	135
Gambar 4.67 Pengaruh Water/Solid Terhadap Kuat Tekan Pasta Clay GD 1 umur 28 hari.....	136
Gambar 4.68 Pengaruh Water/Solid terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1	137
Gambar 4.69 Perbandingan Kuat Tekan Sisa Pasta Metakaolin 8M dan 10 M (Tanpa <i>Silica Fume</i>).....	140
Gambar 4.70 Perbandingan Kuat Tekan Sisa Pasta Metakaolin 8M dan 10 M (Tanpa <i>Silica Fume</i>).....	141
Gambar 4.71 Grafik kuat tekan pasta clay GD 1 pasca bakar, umur 28 hari.....	144
Gambar 4.72 Perbandingan % kuat tekan sisa dengan % penurunan berat pasta Metakaolin pasca bakar.....	145
Gambar 4.73 Perbandingan % Kuat Tekan Sisa terhadap % Penurunan Berat pasta Clay GD 1 pasca bakar.....	146
Gambar 4.74 Grafik Pengaruh Si/Al terhadap kuat tekan sisa (%) Pasca bakar metakaolin.....	148
Gambar 4.75 Pengaruh SiO ₂ /Na ₂ O terhadap kuat tekan sisa (%) pasca bakar metakaoli.....	148
Gambar 4.76 Grafik Pengaruh Water/Solid terhadap kuat tekan sisa (%) pasca bakar metakaolin	149
Gambar 4.77 Grafik Pengaruh Si/Al terhadap % kuat tekan pasta Clay GD 1 pasca bakar	149

Gambar 4.78 Grafik Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap kuat tekan pasta Clay GD 1 pasca bakar	150
Gambar 4.79 Grafik Pengaruh Water/Solid terhadap kuat tekan pasta Clay GD 1 pasca bakar	150
Gambar 4.80 Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1 Pasca Bakar	151
Gambar 4.81 Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1 Pasca Bakar	152
Gambar 4.82 Perbandingan Pengaruh Water/Solid terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1 Pasca Bakar	153
Gambar 4.83 Perbandingan % Porositas Total Terhadap Kuat Tekan Clay GD 1	155
Gambar 4.84 Perbandingan % Porositas Total Terhadap Kuat Tekan Clay GD 1 Pasca Bakar Umur 28 hari	159
Gambar 4.85 Perbandingan % Porositas Total Terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin 8M Pasca Bakar umur 28 hari	160
Gambar 4.86 Perbandingan % Porositas Total Terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin 10 M Pasca Bakar umur 28 hari	161



“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Indonesia merupakan Negara berkembang yang saat ini sedang gencar melakukan pembangunan di berbagai daerah. Hal ini menyebabkan tingginya penggunaan semen di Indonesia, yang berdampak pada polusi udara berupa CO₂ (Davidovits, 1994). Dewasa ini, banyak cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi penggunaan semen Portland sebagai bahan dasar dalam pembuatan beton. Salah satunya adalah dengan mengembangkan beton tanpa semen yang lebih dikenal beton Geopolimer. Geopolimer didefinisikan sebagai material alumino-silikat dengan kerangka tiga dimensi yang terbentuk pada suhu rendah dan waktu yang relatif singkat (Davidovits, 1979). Material dasar yang digunakan sebagai pengganti semen diutamakan memiliki kandungan silika dan alumina yang tinggi. Beberapa yang telah diteliti dan dicoba diantaranya adalah: abu terbang (*fly ash*), *silica fume*, abu sekam padi, kaolin, lempung (*clay*) (Davidovits, 1994).

Pada penelitian ini, pasta yang akan diamati adalah pasta dengan bahan dasar kaolin dan clay. Untuk pemafaatan kaolin sebagai geopolimer sudah banyak diterapkan di berbagai negara di wilayah Eropa dan Australia. Penelitiannya pun sudah banyak dilakukan berbagai pihak seperti Davidovits (1984), Mackenzie K.J.D dkk(1985), Alonso S. (1999), P. Duxson dkk(2006), M. A. Soleimani dkk (2012), dan masih banyak lainnya. Kaolin tidak bisa digunakan langsung karena sifatnya yang tidak reaktif, maka dari itu perlu dilakukan pembakaran pada suhu tertentu sehingga kaolin dapat bereaksi dengan alkali, menjadi beton geopolimer. Hal tersebut juga berlaku juga untuk material clay. Berdasarkan penelitian terdahulu

ditemukan pembakaran yang dapat mengaktifkan kaolin menjadi material yang amorf berada pada suhu diatas 550°C (Davidovits, 2008). Kaolin yang telah mengalami dehidroksilasi setelah pembakaran tersebut dikenal dengan nama Metakaolin untuk perubahan kaolin. Dalam proses pembentukan geopolimer, diperlukan larutan alkali silika aktif pada kondisi alkali yang cukup tinggi (Davidovits, 1991). Pemanfaatan larutan alkali yang telah digunakan selama ini dapat berupa KOH dan NaOH, dengan variasi molar KOH berkisar 0,1 M – 8 M, dan variasi NaOH yang biasa dipakai adalah 8 M, 10 M, 12 M, 14 M, 18 M, hingga 20 M. Sedangkan untuk silika aktif yang dipergunakan bisa berupa silika fume maupun Na_2SiO_3 (Grazino, dkk). Penggunaan material dasar geopolimer dengan kandungan silika dan alumina, berdampak pada perbandingan molar Si/Al yang akan berperanan penting dalam penentuan sifat-sifat dari geopolimer (Peter dkk, 2007).

Indonesia sebagai Negara penghasil tambang yang berlimpah, dengan kaolin dan clay merupakan beberapa hasil tambangnya, yang banyak ditemukan di daerah Lampung, Bangka, Belitung, Jawa Barat, dan Kalimantan (Rachmat, 2012). Melihat kondisi tersebut, Indonesia yang saat ini masih minim pengembangan geopolimer, dapat mengembangkan kaolin maupun lempung sebagai bahan dasarnya. Bila dibandingkan dengan bahan dasar lain seperti *fly ash* atau *slag*, kualiti control terhadap kaolin jauh lebih gampang, sebab baik *fly ash* atau *slag* memiliki komposisi kimia yang bervariasi tergantung proses pembentukannya. Selain itu, kandungan besi pada *fly ash* cukup tinggi, yaitu berkisar 42%, sedangkan kaolin memiliki kandungan besi yang rendah, bahkan hampir tidak ada sehingga jauh lebih ramah lingkungan. (Santoso dkk, 2012). Pemanfaatan geopolimer berbahan dasar kaolin maupun lempung tidak hanya sebagai beton namun juga seharusnya bisa dimanfaatkan sebagai keramik, paving, coating dan masih banyak lainnya. Selain itu ketahanan panas yang dimiliki oleh

kaolin dan clay juga terbilang tinggi yaitu mencapai suhu diatas 500° - 1000° C.

Melihat kondisi Indonesia saat ini memiliki tingkat polusi cukup tinggi, ditambah CO_2 yang dihasilkan dari penggunaan semen Portland untuk pembangunan. Sebaiknya mulai dipikirkan pemanfaatan material ramah lingkungan seperti kaolin ataupun lempung sebagai bahan dasar beton, paving, coating atau bentuk lainnya. Maka dari itu, penelitian pemanfaatan kaolin dan clay di Indonesia sebagai bahan dasar geopolimer ada baiknya mulai dilakukan.

1.2 Rumusan masalah

- Berapa derajat suhu pembakaran kaolin dan clay yang optimal sehingga dapat terkalsinasi sempurna?
- Bagaimana komposisi kimia dan mineral dari kaolin dan lempung?
- Bagaimana pengaruh SiO_2/Na_2O dan Si/Al terhadap kuat tekan pasta geopolimer?
- Bagaimana pengaruh rasio air berbanding padatan terhadap kuat tekan pasta geopolimer?
- Bagaimana perbandingan sifat mekanik dari pasta geopolimer dengan menggunakan kaolin dan lempung?
- Bagaimana pengaruh dari pembakaran produk geopolimer berbahan dasar kaolin dan lempung?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

- Mendapatkan suhu pembakaran kaolin dan clay yang optimal
- Mencari dan menganalisa komposisi kimia dan mineral dari kaolin dan lempung.
- Mencari pengaruh SiO_2/Na_2O dan Si/Al terhadap Sifat pasta geopolimer berbahan dasar lempung dan metakaolin.

- d. Mendapatkan pengaruh rasio air berbanding padatan terhadap kuat tekan pasta geopolimer.
- e. Mendapatkan perbandingan sifat mekanik dari pasta geopolimer dengan menggunakan kaolin dan lempung
- f. Mendapatkan pengaruh dari pembakaran produk geopolimer berbahan dasar metakaolin dan clay yang terkalsinasi.

1.4 Batasan Masalah

Penulisan tugas akhir dibatasi oleh beberapa hal, diantaranya:

- a. Bahan dasar Kaolin yang dipergunakan didapat dari daerah Belitung, sedangkan untuk material clay didatangkan dari daerah Blitar
- b. Pembakaran dengan menggunakan mesin *furnace* PPNS dan jurusan teknik Sipil.
- c. Kehalusan metakaolin dan clay hingga lolos ayakan #200.
- d. Benda uji yang dibuat dibatasi hingga pasta.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat penulisan tugas akhir ini adalah :

- a. Dalam dunia konstruksi, dapat menjadi salah satu referensi dalam pemanfaatan kaolin sebagai bahan dasar pada pembuatan beton geopolimer
- b. Bagi peneliti dan pelajar, tulisan ini dapat menjadi salah satu referensi praktis yang nantinya bisa membantu penelitian lebih lanjut mengenai bahan dasar kaolin dan *clay* , untuk dijadikan beton geopolimer.
- c. Bagi penulis, tulisan ini dapat menambah pengetahuan mengenai kaolin itu sendiri, dan hal-hal mendasar dalam pembuatan beton geopolimer.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Istilah dan Ilmu Kimia Geopolimer

Istilah geopolimer pertama kali diperkenalkan oleh Davidovits pada tahun 1978 untuk menggambarkan jenis pengikat mineral yang memiliki komposisi kimia menyerupai zeolit tetapi memiliki mikrostruktur yang amorf atau kristal. Bentuk geopolimer dapat berupa kristal atau amorf tergantung dari temperatur kondensasinya, polimer yang amorf dapat dibentuk pada suhu 20⁰-90⁰C, sedangkan untuk kristalisasi polimer didapat pada suhu 150⁰C-200⁰C dengan bentuk strukturnya serupa dengan zeolite A (R. Coffi dkk, 2003). Davidovits juga menggunakan istilah poly(siliate) untuk geopolimer berbasis aluminat. Sialat adalah kependekan dari silikon-okso-aluminat (*silico-oxo-alumunate*). Sebelumnya melalui metode Bragg dijelaskan bahwa hubungan silico-aluminate yang mendasari geopolimer, poly(sialate), terdiri atas SiO₄ dan AlO₄ yang saling berhubungan untuk mensharing oksigen (Bragg dkk dalam Davidovits, 2008). Poly(sialates) memiliki rumus empiris sebagai berikut:

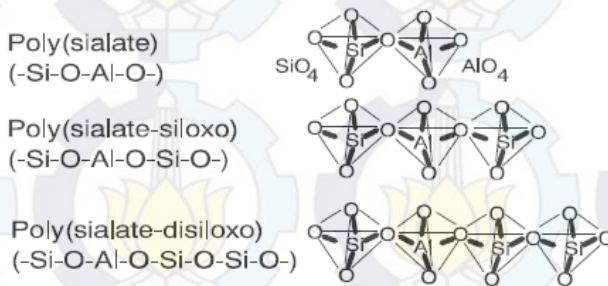


Nilai *z* adalah 1, 2, 3, atau lebih tinggi lagi, sedangkan *M* merupakan kation monovalent seperti Pottasium atau Sodium dan *n* merupakan derajat polikondensasi (Davidovits, 1976). Geopolimer dibagi menjadi 3 kelas berdasarkan rasio perbandingan silika/alumina, yaitu :

- polysialate (PS) (-Si-O-Al-O-) : memiliki perbandingan rasio SiO₂/Al₂O₃= 2

- Polysialatesiloxo (PSS) (-Si-O-Al-O-Si-O-) : dengan perbandingan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 4$
- Polysialatedisiloxo (PSDS) (-Si-O-Al-O-Si-O-Si-O-) : perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 6$ (R. Cioffi dkk, 2003)

Adapun gambar ikatan kimia dari rumus kimia diatas dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 1.1 Struktur kimia Polysialate (Davidovits, 1994)

Geopolimerisasi melibatkan reaksi kimia dari alumina-silikat oksida (Si_2O_5 , Al_2O_2) dengan alkali polisilikat yang menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al (R. Cioffi dkk, 2003). Secara umum geopolimer bisa disintesis oleh aktivator alkali jika bereaksi dengan material yang kaya akan kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 . Waktu *setting* dari beton geopolimer dipengaruhi oleh rasio perbandingan molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Davidovits menyatakan bahwa geopolimer memiliki setting time yang cepat pada suhu ruangan 20°C dengan kekuatan tekan yang dicapai berkisar 20 Mpa dan kekuatan tekan tersebut dapat meningkat seiring berjalannya waktu hingga 70-100 Mpa (pada 28 hari) (Davidovits, 2008). Selain itu perbandingan molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ juga mempengaruhi kuat tekan dari beton geopolimer, semakin besar rasionya maka kekuatan yang dicapai juga semakin

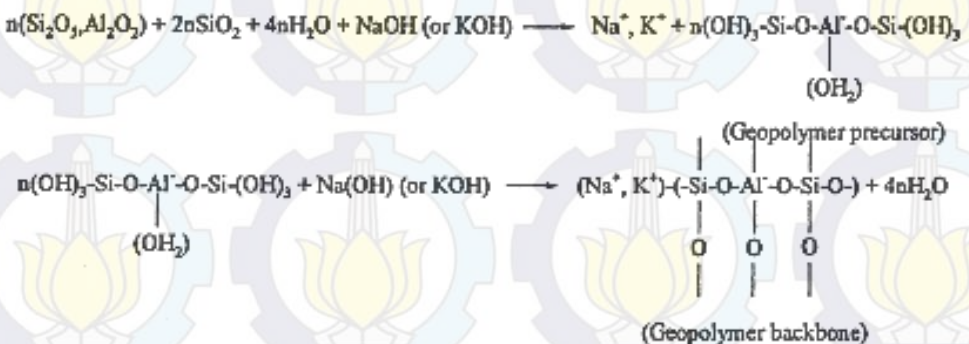
tinggi, sebaliknya jika rasio perbandingan molarnya rendah maka kekuatan yang dicapai juga rendah, hal ini tergantung dari kandungan silika dan alumina dari kaolin (P. De Silva, 2007). Sifat dan aplikasi dari beton geopolimer juga tergantung dari perbandingan molar Si:Al dari campuran geopolimer, hal tersebut dapat dilihat pada Table 2.2.

Tabel 1.1 Aplikasi dari setiap perbandingan Si/Al (Ionna G et. all, 2008)

Rasio Si : Al	karakteristik polimer	Aplikasi	
		Teknologi rendah	Teknologi tinggi
Si:Al = 1:1		Batu bata keramik Pelindung api	
Si:Al = 2:1	Jaringan 3D	Semen dan beton rendah CO ₂ Pengkapsulan bahan radioaktif dan racun	
Si:Al = 3:1	Rantai silang 2D	Pelindung api, komposit serat gelas Peralatan cor logam	Peralatan untuk Aeronautik Komposit tahan panas 200°C < Pemakaian < 1000°C

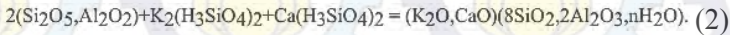
Si:Al > 3:1		Sealant untuk industri 200°C < Pemakaian < 1000°C	Peralatan aeronautik aluminium SPF
20:1 < Si:Al dan Si:Al > 35:1			Komposit serat yang tahan api dan panas

Polisilikat umumnya berupa alkali metal seperti kalium atau natrium silikat yang saat ini dapat disuplai dari industri kimia atau bisa juga didapatkan dari bubuk silika yang merupakan hasil sampingan atau limbah dari proses *ferro-silicon metalurgy* (Dian Adisty, 2009). Pada akhirnya Ikeda et al. (1998), van Jaarsveld dan van Deventer (1999), Phair et al. (2000), Xu and van Deventer (2000) and Xu et al. (2001) menemukan bahwa geopolimer bisa didapatkan dengan menggunakan macam-macam sumber silika aluminate. Gambar 2.2 berikut menunjukkan proses sintesis geopolimer



Gambar 1.2 Proses sintesis geopolimer (Xu and van Deventer, 2000)

Beton geopolimer ini sendiri memiliki sifat lebih ramah lingkungan dikarenakan CO₂ yang dihasilkan dalam proses kimianya tidak setinggi beton biasa. Davidovits (1985), Heitzmann (1987), dan Blumethal (1988) menampilkan hasil reaksi geopolimer adalah sebagai berikut :



Dapat dilihat, reaksi geopolimer tidak seperti semen portland biasa, geopolimer tidak membentuk *Calcium-silicate-hydrates* (CSHs) untuk pembentukan matriks dan kekuatan, melainkan didapat dari hasil polikondensasi dari prekursor silika dan alumina serta kandungan alkali tinggi untuk mencapai kekuatan struktural. Oleh karena itu istilah geopolimer kadang diganti menjadi pengikat alumina silikat teraktivasi oleh alkali (*alkali-activated alumino silicate binders*) (Davidovits dalam Dian Adisty, 2009). Namun Davidovits mengatakan bahwa penggunaan istilah ‘teraktivasi oleh alkali’ dapat menimbulkan kerancuan makna, hal ini dikarenakan istilah tersebut memiliki kesamaan singkatan dengan ARR, yang merupakan sebuah reaksi berbahaya yang dimiliki oleh beton akibat kandungan alkalinya (Davidovits, 1994).

2.2 Prekursor Geopolimer

Prekursor untuk geopolimer biasanya berbasis alumina silikat yang kaya akan silikon dan aluminium. Prekursor dapat berupa mineral alami seperti kaolin, tanah liat andalusit, spinel, Clay dan lainnya yang memiliki rumus empiris Si, Al dan O (Davidovits dalam Dian Adisty, 2009). Saat ini Prekursor geopolimer mulai dikembangkan dari produk sampingan seperti *silika fume*, *fly ash*, *rice-husk ash*, *slag*, dan lainnya. Beberapa faktor yang dipertimbangkan dalam pemilihan prekursor geopolimer, diantaranya adalah

biaya, asal, kebutuhan spesifik dari pemakaian akhir. Saat ini sedang gencar adalah dampaknya terhadap lingkungan (Davidovits, 1994). Kaolin merupakan mineral yang memiliki rumusan kimia $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Mineral tersebut terbentuk dari pelapukan atau perubahan hidrotermal dari mineral alumina silikat (Subaer, 2012). Kaolin tidak hanya didapat melalui hasil tambang, namun juga bisa di dapat dari proses ekstraksi pasir silika yang biasa terjadi saat proses manufaktur kaca (R. Coffi, 2003). Kaolin yang digunakan sebagai bahan dasar geopolimer, sebelumnya harus dikalsinasi terlebih dahulu dengan rentang suhu antara 500°C - 800°C . Proses kalsinasi ini mengubah material kaolin menjadi *metakaolin*. Metakaolin merupakan material yang sangat reaktif terhadap aktivator alkali, hal ini disebabkan oleh proses kalsinasi pada suhu sangat tinggi yang telah dialami sebelumnya, merubah kandungan mineral didalam kaolin menjadi amorf.

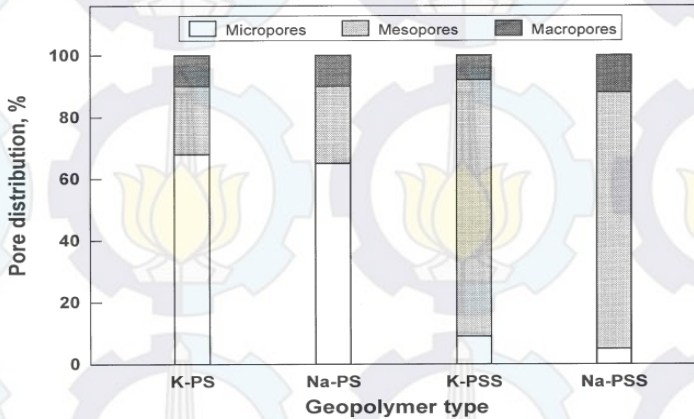
Davidovits sudah melakukan penelitian terhadap kaolinit sebagai bahan dasar geopolimer sejak tahun 1972, Idealnya kaoline dikalsinasi pada temperatur 500°C - 800°C , namun setelah melakukan banyak percobaan pembakaran kaolinite hingga akhirnya diperkenalkan sebagai *pure calcined kaolinite* atau yang dikenal KANDOXI (*KAolinit, Nacrite, Dickite, Oxide*) yang dikalsinasi pada suhu 750°C selama 6 jam, kaolin tersebut biasa disebut MK-750 yaitu singkatan dari metakaolin yang di kalsinasi pada suhu 750°C . (Davidovits, 1988). Pada tahun 2003, R. Coffi dkk juga melakukan penelitian dengan menggunakan kaolin (dari sumber yang berbeda dengan Davidovits) sebagai bahan dasar geopolimer, dan di temukan bahwa suhu optimal bagi kaolin untuk mengalami tahap kalsinasi adalah pada suhu 650°C dalam waktu 2 jam.

2.3 Larutan Alkali dan Soluble Silikat

Larutan alkali dan soluble silikat merupakan aktivator dalam pembentukan geopolimer. Xu dan Van Deventer (2000) sudah mempelajari beberapa jenis material aluminosilikat untuk membuat geopolimer. Dalam studi mereka, ditemukan mineral aluminosilikat merupakan sumber potensial untuk pembuatan geopolimer dan penggunaan larutan alkali yang digunakan adalah NaOH (natrium hidroksida) atau KOH (kalium Hidroksida). Dibandingkan dengan NaOH, KOH memiliki berat jenis yang lebih besar. Berat jenis beton geopolimer berkisar antara 2400-2600 kg/m³, berat tersebut lebih besar bila dibanding beton normal yang memiliki berat jenis berkisar 1900-2200 kg/m³. Hal ini disebabkan kerapatan yang dimiliki oleh beton geopolimer lebih besar dibanding beton normal yang berefek pada kekuatan beton geopolimer (Raul dkk, 2013). Dari Tabel 2.1 dan Gambar 2.3 bisa dilihat perbedaan volume pori yang dimiliki oleh geopolimer polysialate (PS) dan polysialatesiloxo (PSS) yang masing-masing menggunakan alkali natrium (NaOH) dan kalium (KOH) dengan suhu curing yang dipakai adalah 25⁰C.

Tabel 1.2 Kandungan pori dan *Spesific suraface area* geopolimer pada suhu 25⁰C (R. Cioffi, 2003)

Geopolymer	Porosity (m ³ /g)	Spesific suraface area (m ² /g)
K - PS	0.0139	38.23
K - PSS	0.0825	55.45
Na - PS	0.0176	29.19
Na - PSS	0.0811	44.32



Gambar 2.3 Persentase pori setelah dikondensasi selama 28 hari suhu 25°C (R. Cioffi, 2003)

Dari tabel 2.1 dan gambar 2.3, bisa dilihat perbandingan geopolimer tipe PS dan PSS, tipe PS memiliki kandungan pori lebih sedikit dibanding tipe PSS. Penambahan alkali metal kepada PSS menambah volume pori yang dimiliki PSS secara signifikan. Dari penggunaan kedua larutan alkali tersebut, ditemukan bahwa KOH memiliki kemampuan untuk meningkatkan kuat tekan dan juga sebagai pelarut yang baik, dengan kuat tekan tertinggi yang mampu dicapai berkisar 40 mPa. Ini jauh lebih besar dibanding kuat tekan beton biasa dengan suhu curing yang sama (25°C) yaitu sebesar 32,5 mPa (R. Coffi dkk, 2003). Xu dan van Deventer (2000) melaporkan bahwa perbandingan massa larutan alkali dengan alumino – silikat kira – kira 0.33 agar terjadi reaksi geopolimer. Berdasarkan penelitian Rahrier (2003), penggunaan NaOH dengan molaritas diatas 15 M tidak menjamin sifat mekanik beton geopolimer yang lebih baik. Hal tersebut dikarenakan terjadi pembentukan kristal zeolite yang tidak bereaksi dan berubah menjadi pengisi

pada beton. Pembentukan kristal tersebut menunjukkan bahwa tidak semua sodium aluminosilicate dari larutan alkali aktivasi bersifat amorf jika perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ nya < 0.8 .

Alkali aktivator akan segera membentuk *gel* yang tebal ketika bercampur dengan *alumino – silikat*. Dilakukan penelitian dengan benda uji yang berukuran $20 \times 20 \times 20$ mm. Kuat tekan maksimum yang diperoleh mencapai 19 MPa setelah di *curing* selama 72 jam pada suhu 35°C . Soluble silikat merupakan kombinasi dari alkali metal oksida M_2O , silikat SiO_2 , dan air. M_2O itu sendiri bisa berupa Na_2O , K_2O atau Li_2O dengan rumus kimia umumnya berupa $x\text{SiO}_2:\text{M}_2\text{O} \cdot z\text{H}_2\text{O}$, dimana x sendiri merupakan derajat polimerisasi dan z merupakan jumlah molekul air (Davidovits, 2008). Cheng dan Chui (2003) telah mempelajari pembuatan geopolimer tahan api dengan menggabungkan slag dari tanur tinggi dengan metakaolin dan memanfaatkan aktivator yang dihasilkan dari kombinasi kalium hidroksida dan natrium silikat. Dari penelitian yang dilakukan oleh Palomo dkk (1999), ditemukan bahwa tipe larutan alkali merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi sifat mekanik geopolimer.

2.4 Sifat Geopolimer

Berdasarkan penelitian – penilitan yang telah dilakukan sebelumnya ditemukan bahwa beton geopolimer memiliki berapa karakteristik, diantaranya adalah memiliki ketahanan terhadap asam, ketahanan terhadap korosi yang baik dibanding dengan beton biasa, tahan terhadap suhu tinggi (tahan terhadap api), memiliki kekuatan awal yang tinggi, penyusutan yang terjadi pada beton geopolimer lebih rendah dibanding dengan penyusutan yang terjadi pada betin dengan semen biasa, serta menghasilkan reaksi agregat alkali yang tdak berbahaya seperti yang dihasilkan oleh beton berbahan dasar semen biasa (Davidovits, 1991).

Alkali-Aggregate-Reaction (AAR) merupakan jenis alkali yang dihasilkan oleh semen atau beton dari semen portland itu sendiri. Namun dalam beton geopolimer, keberadaan AAR tidak terjadi meskipun kandungan alkali dalam beton geopolimer jauh lebih besar dibanding beton semen portland biasa (Davidovits, 1994). Dari penelitian sebelumnya ditemukan bahwa keberadaan *Alkali-Aggregate-Reaction* dapat dikurangi akibat penambahan natural pozzolan (seperti pottasium atau sodium alumino silikat) yang merupakan salah satu bahan dasar dalam pembuatan beton geopolimer (Mehta, 1981).

1.4.1 Ketahanan Terhadap Sulfat

Berdasarkan pengujian Davidovits, diketahui bahwa semua geopolimer memiliki ketahanan terhadap sulfat dibandingkan dengan semen portland biasa (Davidovits, 1999). Mengenai ketahanan geopolimer terhadap lingkungan asam telah di teliti sebelumnya oleh Song et al (2005), alkali yang dipakai merupakan alkali aktivasi prosedur yang tidak menyediakan kondensasi geopolimer secara menyeluruh. Selain itu juga dilaporkan bahwa asam sulfat yang mengganggu stabilitas dari geopolimer itu sendiri dapat dikontrol dengan mekanisme difusi yang dimiliki beton geopolimer. Selain itu penelitian terhadap ketahanan asam juga ditunjukkan dari pengujian terhadap sampel beton geopolimer yang direndam dalam 5 asam sulfat dan asam klorida, dan kehilangan berat yang terjadi pada beton geopolimer tersebut hanya berkisar 5-8%. Jika dibandingkan dengan beton dari semen *portland* biasa, kehilangan berat yang terjadi bisa meningkat hingga kisaran 30-60%. Hal ini menunjukkan bahwa beton geopolimer memiliki kemampuan yang baik terhadap kondisi asam daripada beton semen *portland* biasa (Davidovits, 2008).

1.4.2 Ketahanan Terhadap Panas

Geopolimer memiliki kemampuan menahan panas dan tetap stabil sampai suhu di atas 600°C . Terdapat tiga tahap pelepasan ikatan air yang terkandung didalam beton geopolimer dipanaskan, yaitu:

1. Tahap pertama adalah lepasnya ikatan fisika air pada beton geopolimer. Hal ini ditandai dengan penurunan berat dari beton secara signifikan disertai dengan timbulnya retak rambut dipermukaan beton. Biasanya tahap ini terjadi ketika beton geopolimer dipanaskan pada suhu 20°C - 100°C
2. Tahap kedua adalah lepasnya ikatan kimia air pada beton. Hal ini ditandai dengan penurunan berat dan terjadinya thermal shrinkage secara bersamaan. Tahap ini terjadi pada suhu 100°C - 300°C
3. Tahap ketiga adalah lepasnya ikatan hidroksil pada beton geopolimer. Hal ini ditandai dengan penurunan berat yang tidak terlalu signifikan, dan jumlah thermal shrinkage semakin meningkat. Tahap ini biasa terjadi pada suhu pembakaran diatas 300°C (Davidovits, Peter D. et. All)

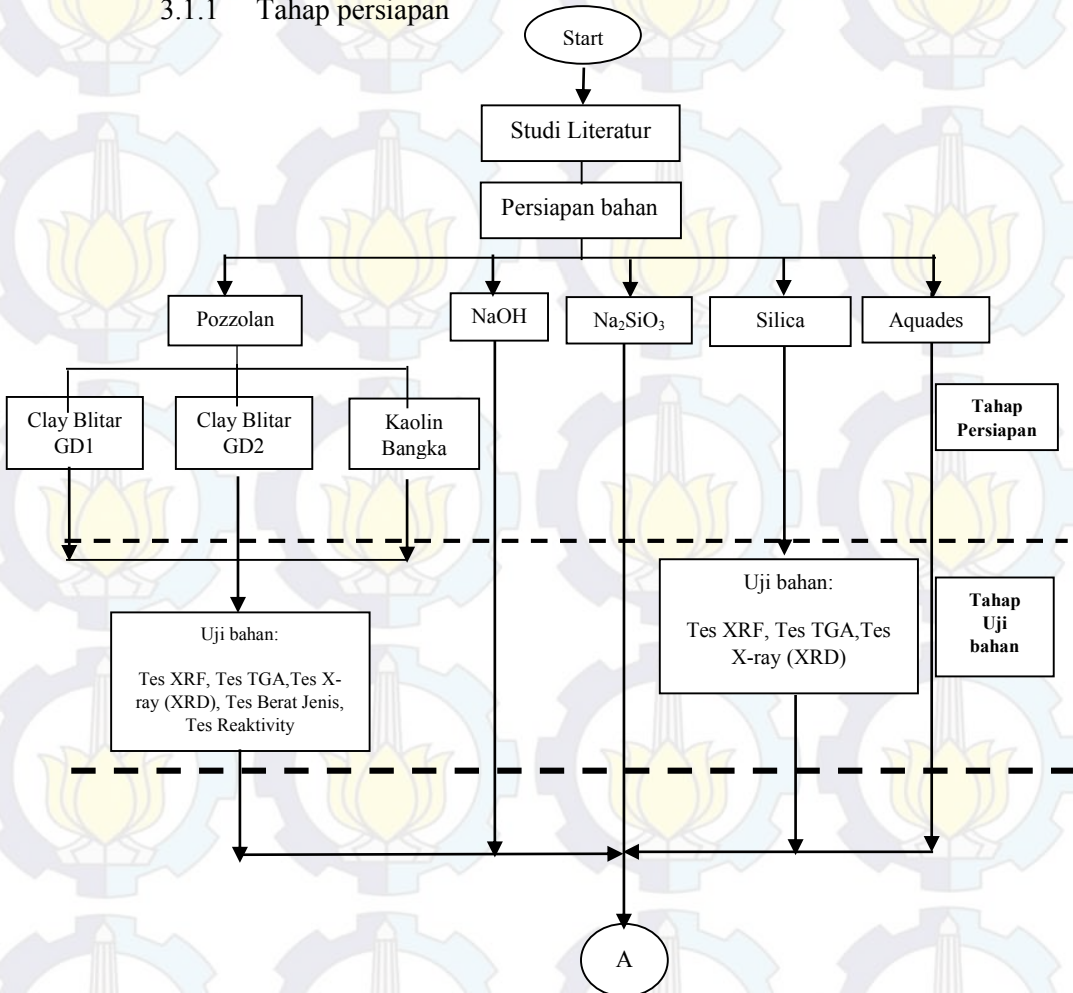
Berdasarkan tahapan diatas, diketahui kerusakan pada beton geopolimer mulai terjadi ketika suhu pembakaran berada diatas 300°C . Sedangkan untuk beton dengan OPC, kerusakan mulai terjadi ketika ikatan C-S-H beton mulai terdekomposisi. Berdasarkan penelitian Irma dkk (2009) dekomposisi beton OPC terjadi ketika beton mengalami pemanasan pada suhu diatas 200°C . Hal tersebut menunjukkan bahwa beton geopolimer lebih tahan terhadap panas dibanding dengan beton dengan OPC. Berdasarkan penelitian Antonius Mediyanto (2010), beton ringan berbahan dasar metakaolin yang dibakar pada suhu 500°C memiliki kuat tekan sisa sebanyak 64.26 %. Nilai tersebut lebih baik daripada ketahanan beton ringan dengan semen

biasa yang memiliki kuat tekan sisa sebesar 49.39 %. Sedangkan untuk mortar berbahan dasar *fly ash*, ketahanan terhadap bakar yang dimiliki mencapai suhu 800°C, dengan kuat tekan sisa sebesar 47.7 % (Mustafa dkk, 2013).

BAB III METODOLOGI

3.1 Skema Metodologi

3.1.1 Tahap persiapan



A

Mix Desain

Tahap Pembuatan mix desain pasta

Clay Blitar GD1

Kaolin Bangka

Si/Al = 2.8

Si/Al = 3.2

Si/Al = 1.4

Si/Al = 1.8

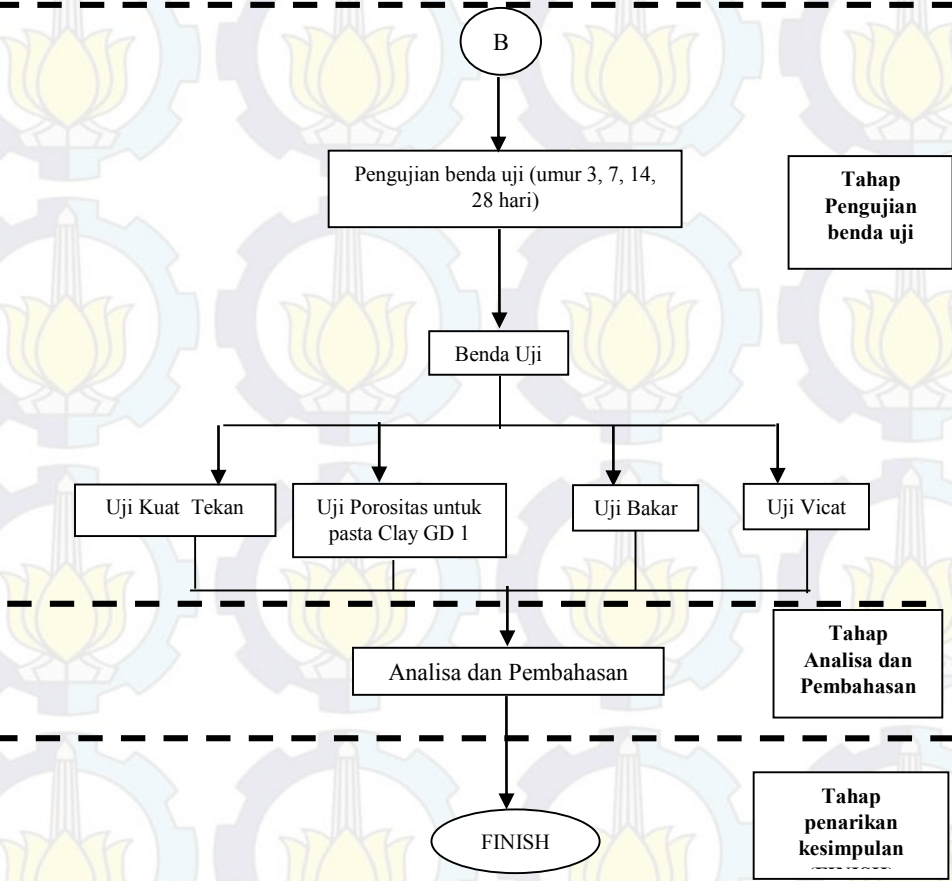
Variasi Aktivator alkali

NaOH 10 M + Na₂SiO₃

NaOH 8 M + Na₂SiO₃

Pembuatan Benda Uji (mixing)

B



3.2 Umum

Sebelum mengerjakan penelitian, perlu disusun langkah langkah pengerjaan yang sesuai dengan kegiatan yang akan dilakukan pada pengerjaan penelitian. Urutan pelaksanaan dimulai dari pengumpulan literatur dan pedoman penelitian, sampai mencapai tujuan penelitian

3.3 Persiapan Material

Sebelum membuat pasta geopolimer, terlebih dahulu mempersiapkan bahan-bahan yang dibutuhkan, antara lain :

3.3.1 Kaolin dan Clay

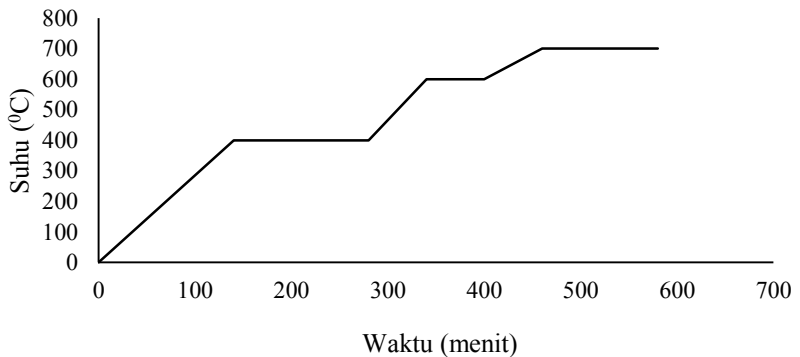
Untuk material kaolin yang dipergunakan merupakan kaolin yang didatangkan dari Bangka Belitung. Sedangkan untuk material clay yang dipergunakan berasal dari daerah Blitar, Jawa Timur. Material kaolin maupun clay yang didatangkan masih dalam keadaan belum siap pakai. Untuk kaolin Bangka perlu diadakan pencucian material terlebih dahulu, kemudian dikeringkan kemudian di kalsinasi pada suhu 700°C , kemudian dihaluskan dengan menggunakan bond mill hingga lolos ayakan no. 200. Sedangkan untuk clay Blitar juga dalam kondisi tidak siap pakai. Material harus dioven satu hari, kemudian dibakar pada suhu 700°C terlebih dahulu kemudian di ball mill hingga halus dan bisa lolos ayakan no. 200. Berikut adalah tahapan persiapan material kolin dan clay :

Persiapan Kaolin:

1. Kaolin dicuci terlebih dahulu dengan aquades dengan cara mencampur kaolin dengan aquades lalu diaduk sampai rata

2. Setelah itu, campuran didiamkan selama 1 hari
3. Setelah 1 hari, cucian kaolin dituang ke pan untuk di oven (yang dituang hanya bagian atas saja, endapannya di buang).
4. Kemudian kaolin yang sudah dicuci di oven selama 1-2 hari.
5. Setelah itu kaolin yang telah kering dihaluskan seadanya.
6. Kemudian dikalsinasi di mesin furnace dengan kenaikan suhu seperti pada Gambar 3.1

Grafik kalsinasi Metakaolin dan Clay GD 1



Gambar 4.1 Grafik kalsinasi Metakaolin dan Clay GD 1

7. Setelah dikalsinasi, metakaolin dihaluskan dengan menggunakan mesin bond ball mil
8. Setelah dihaluskan, metakaolin hingga lolos ayakan nomer 200.



Gambar 4.2 Metakaolin yang telah dihaluskan

Persiapan Clay:

1. Oven Clay GD 1 selama 1 hari
2. Setelah itu clay yang telah kering bongkahan-bongkahan besar di hancurkan seadanya.
3. Kemudian dikalsinasi di mesin furnace dengan kenaikan suhu seperti pada Gambar 3.1
4. Setelah dikalsinasi, Clay dihaluskan dengan menggunakan mesin bond ball mil
5. Setelah dihaluskan, metakaolin hingga lolos ayakan nomer 200.



Gambar 4.3 Clay Blitar sebelum kalsinasi (a), Clay Blitar GD 1 sesudah kalsinasi (b)



Gambar 4.4 Ayakan no. 200



Gambar 3.4 Mesin Ball Mill

3.3.2 Pembuatan Larutan NaOH 8M dan NaOH 10M :

$$M = 1/v \times \text{Massa NaOH}/M_r \dots\dots\dots 4.1$$

Larutan sodium hidroksida adalah :

$$\text{Massa NaOH} = M \times V \times M_r \dots\dots\dots 4.2$$

Dengan :

Massa = Massa NaOH (gram)

V = Volume larutan (L)

M = Molaritas (M)

M_r = Massa molekul relatif NaOH = ΣAr

A_r = Massa atom relatif, dimana $A_r \text{ Na} = 23$ (gr/mol)

$A_r \text{ O} = 16$ (gr/mol)

$A_r \text{ H} = 1$ (gr/mol)

Jadi $M_r \text{ NaOH} = \Sigma Ar (\text{Na} + \text{O} + \text{H}) = 40$ (gr/mol)

Untuk molaritas 10 M dibutuhkan NaOH flek sebagai berikut :

$$\text{Massa} = 10 \text{ mol} / 1 \text{ L larutan} \times 1 \text{ L} \times 40 = 400 \text{ gr},$$

Untuk molaritas 8 M dibutuhkan NaOH flek sebagai berikut : Massa = 8 mol/ 1L larutan x 1L x 40 = 320 gr

- Prosedur Pembuatan Larutan NaOH 8 dan 10 Molar
1. Timbang NaOH flek sebanyak 400 gr untuk NaOH 10 M dan 320 gr untuk NaOH 8 M
 2. Maukan NaOH kedalam beaker



Gambar 4.5 NaOH flek

3. Tambahkan aquades kedalam beaker yang sudah terisi NaOH flek hingga mencapai setengah ukuran beaker.
4. Kemudian aduk menggunakan spatula kaca. Disarankan menggunakan sarung tangan dan masker mulut untuk melindungi tangan dan pernafasan dari cairan NaOH dan uap NaOH, sebab cairan NaOH dapat menyebabkan gatal-gatal dan perih pada tangan, serta menyebabkan batuk-batuk dan sesak pada pernafasan jika terhirup langsung.

Pembuatan larutan alkali aktivator

- Prosedur Pembuatan Larutan alkali aktivator
 - Mencampur larutan NaOH 10 M dengan Na_2SiO_3 sesuai mix desain Si/Al = 1.4 dan 1.8.
 - Mencampur larutan NaOH 8M dengan Na_2SiO_3 sesuai mix desain Si/Al = 1.4 dan 1.8

3.3.3 Aquades

Aquades atau air suling, didapatkan dengan membeli di toko kimia. Pemakaian aquades dimaksudkan agar air yang digunakan lebih murni dan tidak mengandung mineral lain yang bisa mengganggu proses reaksi larutan NaOH.



Gambar 3.5 Aquades

3.4 Pengujian Material

3.4.1 Kaolin dan clay

Analisa Material dilakukan di beberapa tempat, diantaranya adalah :

- Pengetesan kandungan oksida material metakaolin, kaolin, dan silica fume pada laboratorium TAKI teknik kimia ITS.

- Pengetesan berat jenis material metakaolin dan Clay GD 1 dan GD 2 pada laboratorium beton dan bahan teknik sipil ITS.
- Pengetesan XRD dan SEM untuk material metakaolin, Clay, dan silica fume, dilakukan di Makasar.
- Pengetesan XRF untuk material Metakaolin di laboratorium Sucofindo
- Tes TGA / DTA untuk material Metakaolin di laboratorium metalurgi ITS dan laboratorium kimia UNESA.

4.4.1.1 Pengujian Berat Jenis kaolin dan clay (ASTM C642-97)

Tujuan : Untuk mengetahui pori yang dimiliki pasta geopolimer oleh baik terbuka maupun tertutup

Peralatan :

- Labu Takar 500 cc
- Timbangan
- Oven
- Pan

Bahan : Clay GD 1, GD 2 dan Metakaolin 700°C (material pozzolan)

Prosedur Pelaksanaan :

- Timang Labu takar dengan aquades yang diisi setinggi garis pada labu (W3)
- Siapkan material pozzolan sebanyak 250 gr (W1)
- Masukkan material pozzolan kedalam labu takar, kemudian tambahkan aquades hingga mencapai garis batas kemudian putar putar labu takar

hingga gelembung-gelembung udara didalam material pozzolan keluar

- Kemudian setelah gelembung-gelembung keluar, lihat kembali batas labu takar, jika air berkurang, maka tambahkan lagi hingga mencapai garis batas labu takar, kemudian ditimbang lagi (W2)

Rumus yang digunakan dalam perhitungan berat jenis adalah sebagai berikut :

$$B_j = \frac{w_1}{w_1 - (w_2 - w_3)} \times B_j \text{ air} \dots 4.3$$

4.4.1.2 Pengujian Reaktivty kaolin dan clay (ASTM C 593-95)

Tujuan : Percobaan ini dilakukan untuk ,membandingkan reaktivitas material metakaolin, clay GD 1 dan GD2.

Peralatan yang diperlukan :

1. Timbangan
2. Gelas ukur
3. Tempat pengaduk
4. Alat pengaduk
5. Alat perojok
6. Cetakan mortar silinder diameter 5 cm dan tinggi 10 cm
7. Alat *steam curing*

Bahan yang diperlukan:

1. Clay GD 1, GD2 dan Metakaolin 700°C (material pozzolan)
2. Kapur (CaOH₂)
3. Pasir bergradasi standar

4. Air

Prosedur pelaksanaan

1. Siapkan dan timbang material kurang lebih untuk 3 benda uji silinder mortar 5 cm x 10 cm. Dengan proporsi berat campuran 4% kapur, 24% material pozzolan (clay GD 1, GD2, atau Metakaolin yang dikalsinasi pada suhu 700°C), dan 72% pasir dalam kondisi SSD.
2. Tentukan kadar air jenuh material kapur dan serbuk kaca sesuai ASTM D 1557-02 dengan persamaan (3.3):

$$w_{sat} = \frac{(\gamma_w)G_s - \gamma_d}{(\gamma_d)G_s} \times 100 \dots 4.4$$

Dimana:

w_{sat} = Kadar air jenuh material, %

γ_w = Berat volume air, 1 gr/cm³ pada suhu 20°C

γ_d = Berat volume kering material, gr/cm³

G_s = Berat jenis material, gr/cm³

3. Timbang air sesuai dengan kadar jenuh masing-masing material.
4. Campur material pozzolan, kapur, dan pasir seperti Gambar 4.6. Aduk sampai merata.



Gambar 4.6 Pencampuran Material

5. Tambahkan air yang sudah ditimbang sedikit demi sedikit sambil tetap diaduk seperti Gambar 4.7 sampai tercapai kondisi jenuh material.



Gambar 4.7 Penambahan Air ke Campuran

6. Setelah jenuh, masukkan campuran ke dalam cetakan setiap $\frac{1}{3}$ bagian, kemudian setiap bagian dirojok 56 kali dengan alat pemadat sesuai metode C ASTM D 1557-02 seperti Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Proses Perojokan Campuran

7. Setelah penuh, permukaan diratakan.
8. Cetakan kemudian dilepas perlahan-lahan karena campuran merupakan *dry mix* dan rawan rapuh.
9. Setelah dilepas, mortar diletakkan pada tempat yang datar. Kemudian langsung dilakukan *curing* dengan memasukkan ke dalam alat *steam* dengan suhu $38 \pm 2^\circ\text{C}$ selama 7 hari seperti Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Proses *Curing* Mortar
10. Setelah 7 hari, mortar dikeluarkan dan ditimbang, kemudian direndam selama 4 jam di dalam air. Setelah direndam mortar dikeringkan selama 1 jam kemudian di-*capping* dan dites kuat tekan.

3.4.2 Silica Fume

Analisa Material didapat dari PT. BASF Indonesia

3.4.3 Natrium Silikat (Na_2SiO_3)

Analisa Material didapat dari PT Kasmaji

3.5 Komposisi Pasta

Penelitian geopolimer kaolin ini menggunakan 4 jenis variabel yaitu dengan variasi molaritas dari NaOH yaitu 10 Molar dan 8 Molar, dan menggunakan perbandingan molar Si dan Al rencana adalah 1.4 dan 1.8. Kaolin yang digunakan sebelumnya harus dikalsinasi dalam mesin *furnace* untuk material clay dan metakaolin harus dibakar pada suhu 700°C selama 2 jam untuk clay dan 7.4 jam untuk metakaolin. Jenis campuran dan jumlah benda uji untuk pasta dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan 3.2.

Tabel 4.1 Mix Desain Pasta Metakaolin

Kode	binder			Alkali		
	% total	% MK	% SF	% total	% Na ₂ SiO ₃	% NaOH
MK1 (8_139)	50	50	-	50	56	44
MK2 (8_14)	52	52	-	48	61	39
MK3 (8_14)	51	51	-	49	59	41
MK1 (10_14)	50	50	-	50	56	44
MK2 (10_14)	52	52	-	48	61	39
MK3 (10_14)	51	51	-	49	59	41
MK4 (8_177)	50	86	14	50	59	41
MK5 (8_178)	52	86	14	48	65	35
MK6 (8_176)	51	88	12	49	65	35
MK4 (10_177)	50	86	14	50	59	41
MK5 (10_178)	52	86	14	48	65	35
MK6 (10_176)	51	88	12	49	65	35

Tabel 4.2 Kebutuhan pasta Metakaolin per m³

Kode	berat volume (kg/m ³)	binder			Alkali			
		total (kg/m ³)	MK (kg/m ³)	SF (kg/m ³)	total (kg/m ³)	Na ₂ SiO ₃ (kg/m ³)	NaOH(kg/m ³)	
MK1 (8_139)	302.68	151.34	151.	34	-	151.34	84.75	66.59
MK2 (8_14)	311.43	161.94	161.	94	-	149.49	92.32	59.02
MK3 (8_14)	309.97	158.08	158.	08	-	151.89	89.29	62.05
MK4 (8_177)	307.46	153.73	132.	21	21.5	153.73	89.29	62.05
MK5 (8_178)	307.55	159.92	137.	53	22.3	147.62	98.37	52.97
MK6 (8_176)	313.12	159.69	140.	53	19.1	153.43	98.37	52.97
MK1 (10_14)	306.97	153.49	153.	49	-	153.49	84.75	66.59
MK2 (10_14)	309.82	161.11	161.	11	-	148.72	92.32	59.02
MK3 (10_14)	313.90	160.09	160.	09	-	153.81	89.29	62.05
MK4 (10_177)	307.59	153.80	132.	26	21.5	153.80	89.29	62.05

MK5 (10_178)	311.62	162.04	139. 35	22.6 9	149.58	98.37	52.97
MK6 (10_176)	315.11	160.71	141. 42	19.2 8	154.40	98.37	52.97

Tabel 4.3 Mix Desain Pasta Clay GD 1

Kode	binder			Alkali		
	% total	% Clay	% SF	% total	% Na ₂ SiO ₃	% NaOH
C1(8_288)	59	59	-	41	67	33
C1(10_288)	59	59	-	41	67	33
C2(8_291)	59	59	-	41	70	30
C2(10_291)	59	59	-	41	70	30
C3(8_317)	52	52	-	48	74	26
C3(10_317)	52	52	-	48	74	26
C4(10_323)	59	89	10.5	41	58	42
C4(8_323)	59	89	10.5	41	58	42

Tabel 4.4 Komposisi kimia mix desain Clay GD 1

Kode	berat volume (kg/m ³)	binder			Alkali			
		total (kg/m ³)	Clay (kg/m ³)	SF (kg/m ³)	total (kg/m ³)	Na ₂ SiO ₃ (kg/m ³)	NaOH(kg/m ³)	
C1(8_288)	334.43	197.3	1	197.31	-	137.12	91.87	30.32
C1(10_288)	331.50	195.5	8	195.58	-	135.91	91.06	30.05
C2(8_291)	338.69	199.8	3	199.83	-	138.86	97.20	29.16
C2(10_291)	335.48	197.9	3	197.93	-	137.55	96.28	28.88
C3(8_317)	329.74	194.5	5	194.55	-	135.19	100.04	26.01
C3(10_317)	332.52	172.9	1	172.91	-	159.61	118.11	30.71
C4(10_323)	334.75	174.0	7	154.92	19.15	160.68	93.19	39.14
C4(8_323)	330.70	195.1	1	173.65	21.46	135.59	78.64	33.03

Perhitungan :

1. Penentuan Si/Al

- a. Untuk mengetahui mol Si, terlebih dahulu dicari mol total dari sumber SiO₂. SiO₂ didapat dari metakaolin/clay dan dari Na₂SiO₃, sedangkan untuk molar Al₂O₃ didapat hanya dari metakaolin/clay.
- b. Berdasarkan XRF, dapat diketahui % SiO₂ yang terkandung dari masing-masing material, begitu juga dengan Al₂O₃
- c. Mol SiO₂ dan Al₂O₃ dapat dicari dengan rumus :

$$\frac{\text{berat}}{Mr} \dots\dots\dots 4.5$$

Keterangan:

Berat = berat SiO₂ atau Al₂O₃ di dalam metakaolin/clay/Na₂SiO₃ (dalam gram) sesuai persentase yang didapat dari hasil XRF.

Mr = Massa molekul relatif SiO₂ atau Al₂O₃ = $\sum Ar$

Mr SiO₂ = 60 ; Mr Al₂O₃ = 102.

- d. Mol SiO₂ dari metakaolin/clay + mol SiO₂ Na₂SiO₃, maka didapat mol total SiO₂ dari campuran.

Dalam stokiometri, didapat 1 mol Si = 1 x mol SiO₂4.6

Dalam Stokiometri, didapat 1 mol Al = 2 x mol Al₂O₃.....4.7

- e. Dari perhitungan e. dan f. dapat dicari perbandingan mol Si/Al

2. Penentuan SiO₂/Na₂O dalam larutan aktivator

- a. Na₂O terkandung didalam Na₂SiO₃ dan didalam NaOH
- b. Berdasarkan data yang didapat dari PT. Kasmaji, didapat data kandungan Na₂SiO₃ terdiri atas 18% Na₂O, 36% SiO₂ dan

46% H₂O. Sedangkan dari untuk NaOH flek, dipakai 100% Na₂O.

- c. mol Na₂O didalam NaOH didapat dengan cara seperti 3.5 diatas, yaitu membagi berat (gr) NaOH flek yang digunakan dengan Mr NaOH yaitu 40. Sedangkan mol Na₂O didalam Na₂SiO₃ didapat dengan cara seperti 3.5, dengan Mr Na₂O = 62. Setelah itu Na₂O dalam NaOH + Na₂O di dalam Na₂SiO₃.
- d. Untuk mol SiO₂ yang dipergunakan hanya berasal dari Na₂SiO₂.
- e. Mencari mol SiO₂ didalam Na₂SiO₃ dapat menggunakan rumus 3.5
- f. Dari hasil e dan c, dapat diketahui perbandingan mol SiO₂/Na₂O.

3. Mencari perbandingan water/solid

Perbandingan water/solid didapat dari perbandingan berat (gr) H₂O didalam NaOH dan Na₂SiO₃. Sedangkan untuk solid didapat dari

gram Na₂O+SiO₂ (didalam Na₂SiO₃)+ gram total metakaolin /clay + gram flek NaOH.....4.8

Tabel 4.5 Jenis dan jumlah benda uji pasta pasta

Material	Kode campuran	Jenis Campuran	NaOH (M)	Hari				bakar (28 hari)	Total
				3	7	14	28		
MK	MK1 (8_139)	Si/Al= 1.4	8	6	6	6	6	6	30
	MK2 (8_14)		8	6	6	6	6	6	30
	MK3 (8_14)		8	6	6	6	6	6	30
	MK4 (8_177)	Si/Al= 1.8	8	6	6	6	6	6	30
	MK5 (8_178)		8	6	6	6	6	6	30
	MK6 (8_176)		8	6	6	6	6	6	30
Bangka	MK1 (10_139)	Si/Al= 1.4	10	6	6	6	6	6	30
	MK2 (10_14)		10	6	6	6	6	6	30
	MK3 (10_14)		10	6	6	6	6	6	30
	MK4 (10_177)	Si/Al= 1.8	10	6	6	6	6	6	30
	MK5 (10_178)		10	6	6	6	6	6	30
	MK6 (10_176)		10	6	6	6	6	6	30

Sambungan Tabel 4.6 Jenis dan jumlah benda uji pasta pasta

Clay Blitar	C1(8_288)	Si/Al= 2.8	8	6	6	6	6	6	30
	C1(10_288)		10	6	6	6	6	6	30
	C2(8_291)		8	6	6	6	6	6	30
	C2(10_291)		10	6	6	6	6	6	30
	C3(8_317)	Si/Al= 3.2	8	6	6	6	6	6	30
	C3(10_317)		10	6	6	6	6	6	30
	C4(10_323)		10	6	6	6	6	6	30
	C4(8_323)		8	6	6	6	6	6	30
								total	600

3.6 Pembuatan Pasta Geopolimer

a. Bahan :

- Larutan NaOH 8M dan 10 M
- Aquades
- Clay GD 1 dan Metakaolin (lolos ayakan nomer 200)
- Natrium Silikat (Na_2SiO_3)

b. Peralatan :

- Timbangan
- Gelas ukur
- Mixer
- *Bowl* (tempat pengaduk)
- Solet

Prosedur Pelaksanaan :

1. Siapkan cetakan dan lumuri minyak pasta ukuran 2 cm x 4 cm.
2. Campurkan Natrium Silikat dan NaOH (8M atau 10 M) sesuai dengan persentase dari campuran yang akan diuji yang telah dijelaskan pada Tabel 3.1 dan 3.2
3. Diamkan larutan alkali aktivator tadi sampai dingin
4. Campurkan larutan Aktivator dengan Clay GD 1 / Metakaolin dengan perbandingan yang telah dijabarkan pada Tabel 3.1 dan 3.2. kemudian dimixer selama 4 menit.
5. Setelah itu, masukan pasta yang telah tercampur kedalam cetakan , setiap 1/3 bagian dari cetakan. Kemudian rojok pasta sebanyak 28 kali agar pasta menjadi padat dan mengeluarkan gelembung-

gelembung udara di didalam pasta, karena dapat menyebabkan pori – pori pada pasta.

6. Setelah penuh, ratakan permukaan pasta dengan menggunakan solet kemudian tutup cetakan dan eratkan bautnya.
7. Cetakan bisa dibuka setelah pasta mengeras. Kemudian simpan pasta didalam plastik klipdan beri label sesuai komposisi.

3.7 Sistem Curing

Sistem curing yang digunakan adalah dengan melapisi benda uji dengan memasukan benda uji dengan menggunakan plastik clip selama 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari.

3.8 Pengetesan Benda Uji

Pengetesan benda uji berdasarkan kuat tekan pasta,, kuat tekan pasca bakar, dan tes porositas. Untuk pengetesan kuat tekan pasta dibagi berdasar umur pasta, yaitu tahap 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Sedangkan untuk uji bakar dan porositas, dilakukan pada benda uji berumur 28 hari. Adapun langkah-langkah dari masing-masing pengujian adalah sebagai berikut :

4.8.1.1 Pengujian Kuat Tekan (ASTM C39/39M-01)

Tujuan : Untuk mendapatkan kuat tekan dari pasta geopolimer umur 7, 14, 21, dan 28 hari.

Peralatan : Mesin UTM 5 ton tipe AU-5 kapasitas 5 ton

Hasil yang dikeluarkan dari uji tes tekan berupa beban (kgf) yang kemudian dikonversi menjadi tegangan dengan rumus

$$3.5: \sigma = \frac{P}{A \times 100} \times g \dots\dots\dots 4.9$$

Keterangan :

σ = Besar kuat tekan beton (mPa)

P = Besar beban yang diberikan (kgf)

A = Luas permukaan benda uji yang terbebani gaya tekan P(cm²)

g = gravitasi (9.81 m/s²)

4.8.1.2 Percobaan Waktu Mengikat dan Mengeras Pasta (ASTM C 191-03)

Percobaan ini dilakukan untuk menentukan waktu pengikatan awal (mulai mengikat) dan akhir (mulai mengeras)pasta geopolimer berbahan dasar metakaolin dan clay GD 1.

Waktu mengikat : Waktu yang dibutuhkan dar pasta mengikat hingga terjadi penurunan 25 mm.

Waktu mengeras : Waktu yang dibutuhkan pasta hingga tidak terjadi penurunan lagi pada pasta.

Peralatan :

- Seperangkat alat vicat
- Timbangan
- Gelas ukur
- Mixer
- *Bowl* (tempat pengaduk)
- Solet

Bahan:

- Larutan NaOH 8M dan 10 M
- Aquades
- Clay GD 1 dan Metakaolin (lolos ayakan nomer 200)

- Natrium Silikat (Na_2SiO_3)

Prosedur Pelaksanaan :

8. Campurkan Natrium Silikat dan NaOH (8M atau 10 M) sesuai dengan persentase dari campuran yang akan diuji
9. Diamkan larutan alkali aktivator tadi sampai dingin
10. Siapkan peralatan *setting time* , kemudian atur jarum vikat agar berada di angka 0.
11. Campurkan larutan Aktivator dengan Clay GD 1 / Metakaolin dengan perbandingan yang telah dijabarkan pada Tabel 3.1 dan 3.2. kemudian dimixer selama 4 menit
12. Setelah campuran tercampur rata, masukan campuran ke dalam konikel yang sudah dialasi kaca dengan diameter kecil dibawah, dan diameter besar diatas, kemudian di rojok dengan spatula untuk menghilangkan gelembung udara
13. Getarkan kaca (jangan sampai pasta keluar konikel) hingga pasta di dalam konikel rata, kemudian tempelkan kaca pada bagian atas dan kemudian konikel dibalik.
14. Lepas kaca yang menempel pada konikel dengan diameter yang lebih besar, kemudian posisikan jarum vikat ditengah-tengah konikel.
15. Jatuhkan jarum vikat pada pasta, dengan titik-titik setiap penurunan memiliki jarak minimum 6.5 mm dan jarak minimum dengan tepi konikel adalah 9.5 mm. Catat setiap penurunan yang terjadi pada setiap titik.

4.8.1.3 Pengujian Porositas pasta clay (AFNOR NF B49104 / ASTM C 642 -97)

Tujuan : Untuk mengetahui pori yang dimiliki pasta geopolimer oleh baik terbuka maupun tertutup

Peralatan :

- Gelas Beaker
- Jaring – jarring kawat
- Timbangan
- Oven
- Pan
- Alat Perebus
- Ayakan nomer 200

Bahan : Semua campuran Pasta Clay GD 1 (kecuali pasta dengan *Silica Fume* dengan berat ± 20 gr .

Prosedur Pelaksanaan :

- Sisa hasil kuat tekan Clay GD 1 yang berumur 28 hari, direndam dalam air selama 2 hari atau bisa juga direbus selama 5 jam, dengan tujuan semua pori yang ada di dalam benda uji telah terisi dengan air.
- Setelah itu benda uji yang telah direbus, Benda uji ditimbang didalam air untuk mengetahui berat benda uji didalam air (Ma)
- Setelah itu benda uji dikeringkan dengan lap atau handuk hingga SSD, kemudian benda uji ditimbang kembali (Mh)
- Kemudian benda uji dimasukan kedalam oven dengan suhu $\pm 100^{\circ}\text{C}$ selama beberapa hari hingga

seluruh air di dalam benda uji menguap, kemudian benda uji ditimbang kembali (M_o)

- Benda uji yang telah kering selanjutnya dihaluskan hingga lolos ayakan no. 200, kemudian ditimbang kembali (m_o)

Rumus yang digunakan dalam perhitungan berat jenis adalah sebagai berikut :

1. Kerapatan Absolut (ρ)

$$\rho = \frac{m_o}{v_o} \dots \dots \dots 4.10$$

2. Kerapatan visual (α)

$$\alpha = \frac{M_o}{(M_h - M_a)} \dots \dots \dots 4.11$$

3. Porositas total dalam persen (π_t)

$$\pi_t (\%) = 100 \times 1 - \left[\frac{\alpha}{\rho} \right] \dots \dots \dots 4.12$$

4. Porositas terbuka (π_o)

$$\pi_o (\%) = 100 \times \left[\frac{(M_h - M_o)}{(M_h - M_a)} \right] \dots \dots 4.13$$

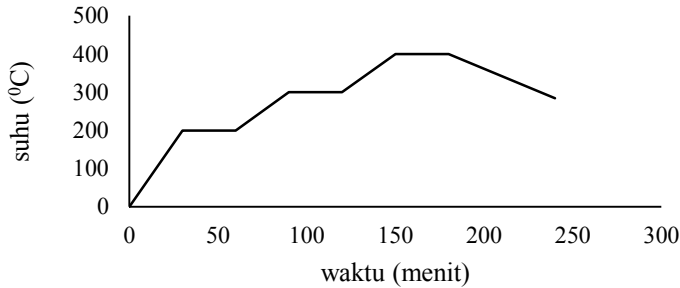
5. Porositas tertutup (π_f)

$$\pi_f (\%) = \pi_t - \pi_o \dots \dots \dots 4.14$$

4.8.1.4 Pengujian Bakar

Pengujian kuat bakar dilakukan terhadap 6 buah benda uji pasta silinder berukuran 2 cm x 4 cm pada 28 hari. Untuk mengetahui ketahanan pasta geopolimer terhadap bakar. Kontrol kualitas pasta dilakukan dengan melakukan pengujian kuat tekan setelah pasta dibakar pada suhu yang 400°C selama 30 menit menggunakan mesin *furnace*, dengan kenaikan suhu dan total waktu pembakaran dapat dilihat pada grafk 4.30.

Grafik kenaikan suhu terhadap waktu untuk pengujian bakar



Gambar 4.10 Grafik tangga suhu pembakaran untuk pengujian bakar

3.9 Hasil Penelitian

Setelah semua benda uji sudah dites, maka data pengetesan di olah untuk mendapatkan hasil perbandingan antara komposisi yang kuat tekan pasta. Penyajian hasil penelitian berupa grafik berdasarkan komposisi dan umur pasta.

3.10 Kesimpulan Penelitian

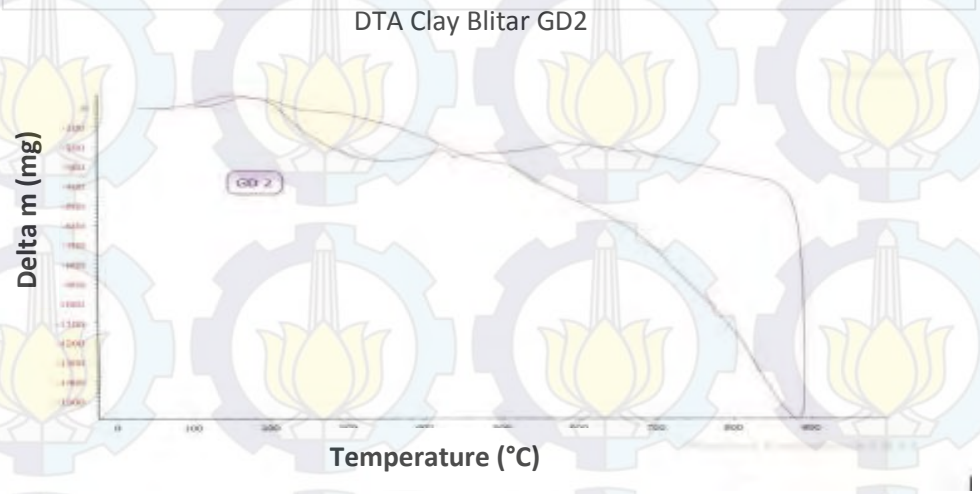
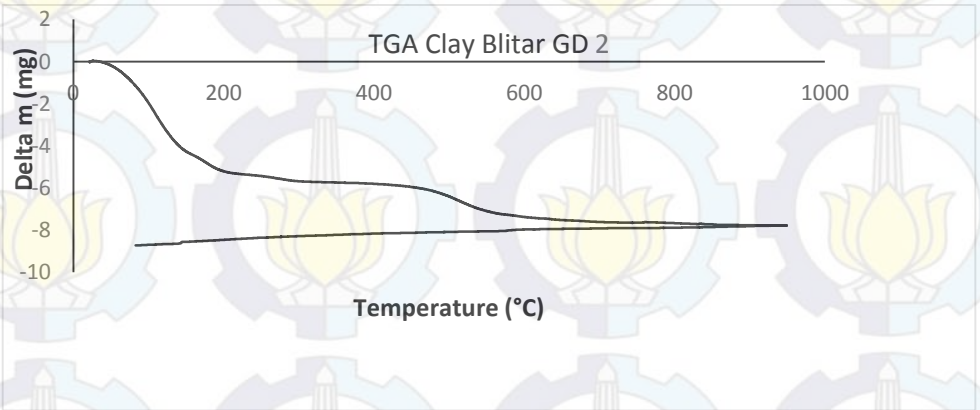
Dari penelitian yang telah dilakukan, maka didapat pengaruh tiap variable dalam campuran pasta terhadap besarnya kuat tekan dan sifat fisis beton. Dari penelitian geopolimer, didapat komposisi pasta optimal sesuai dengan tujuan utama penelitian yang berdasar pada nilai kuat tekan pasta tertinggi.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

4.2.1 Analisa Clay Blitar GD 2

4.2.3.1 Analisa TGA / DTA Clay Blitar GD 2

Analisa TGA/DTA dilakukan untuk mengetahui suhu dehidroksilasi yang tepat pada Clay Blitar. Untuk 7j



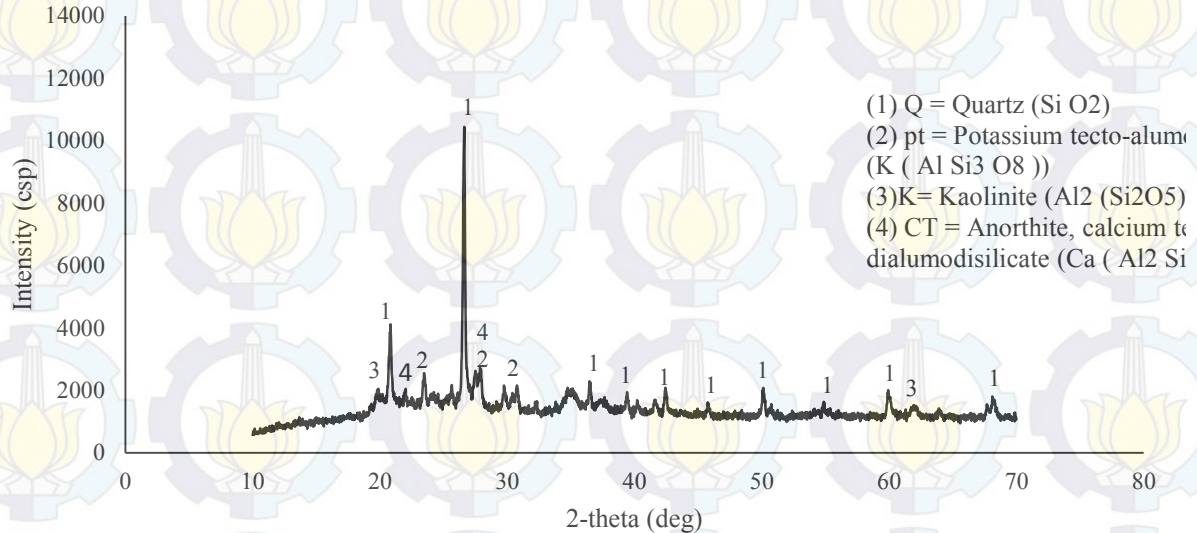
Gambar Error! No text of specified style in

Dari Gambar 4.14, didapat suhu pembakaran optimum berada dari suhu 500°C - 700°C mirip dengan suhu pembakaran yang dimiliki oleh clay Blitar GD 2, sehingga dilakukan pembakaran material GD2 pada suhu 700°C selama 2 jam, dan 500°C selama 2 jam.

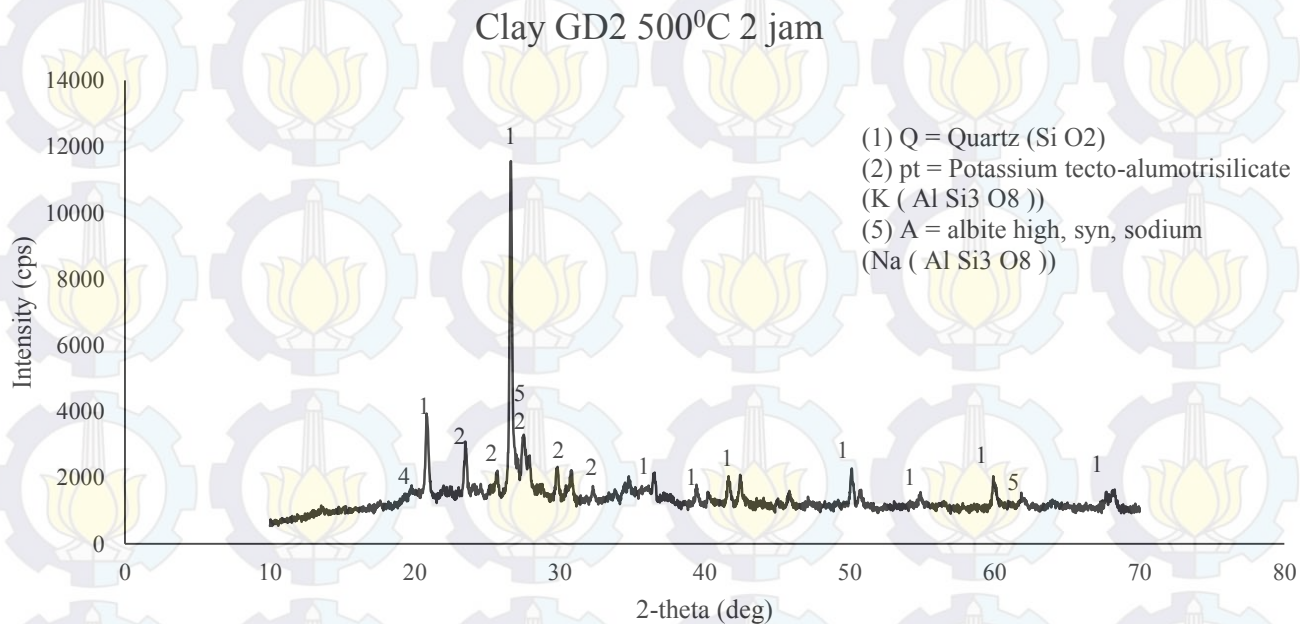
4.1.1.1 Analisa XRD Clay Blitar GD 2

Analisa XRD dilakukan untuk mengetahui mineral yang terkandung didalam dari clay Blitar GD2. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 4.15 XRD untuk clay GD 2 sebelum difurnace, Gambar 4.16 XRD untuk clay setelah difurnace pada suhu 500°C 2 jam, dan Gambar 4.17 XRD untuk clay setelah difurnace pada suhu 700°C 2 jam.

Clay Blitar GD2 Sebelum dibakar

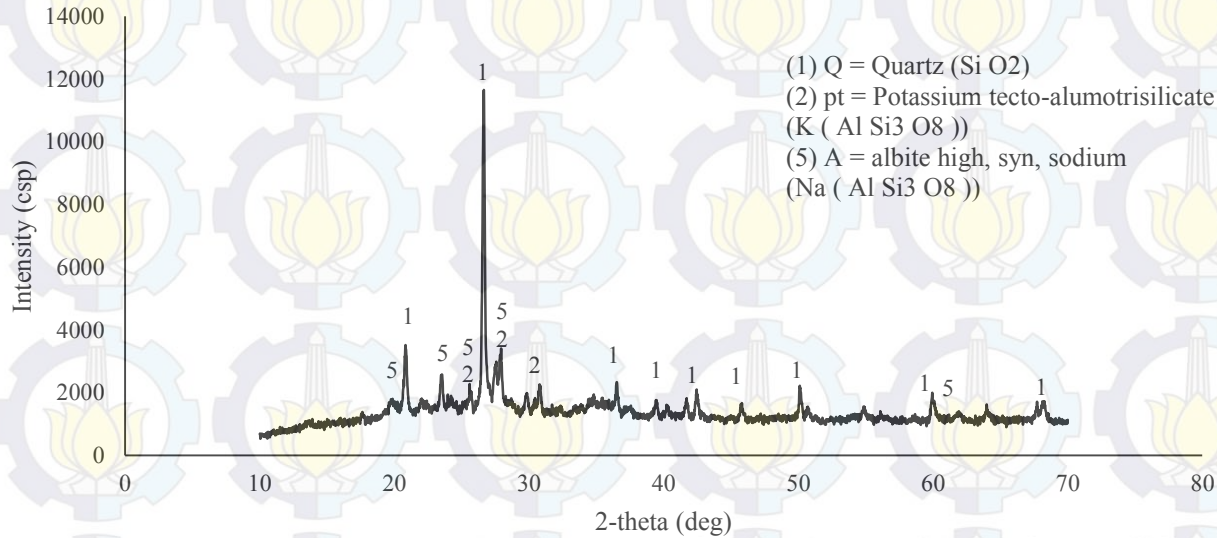


Gambar Error! No text of specified style in document.2 XRD Clay Blitar GD 2 sebelum dikalsinasi

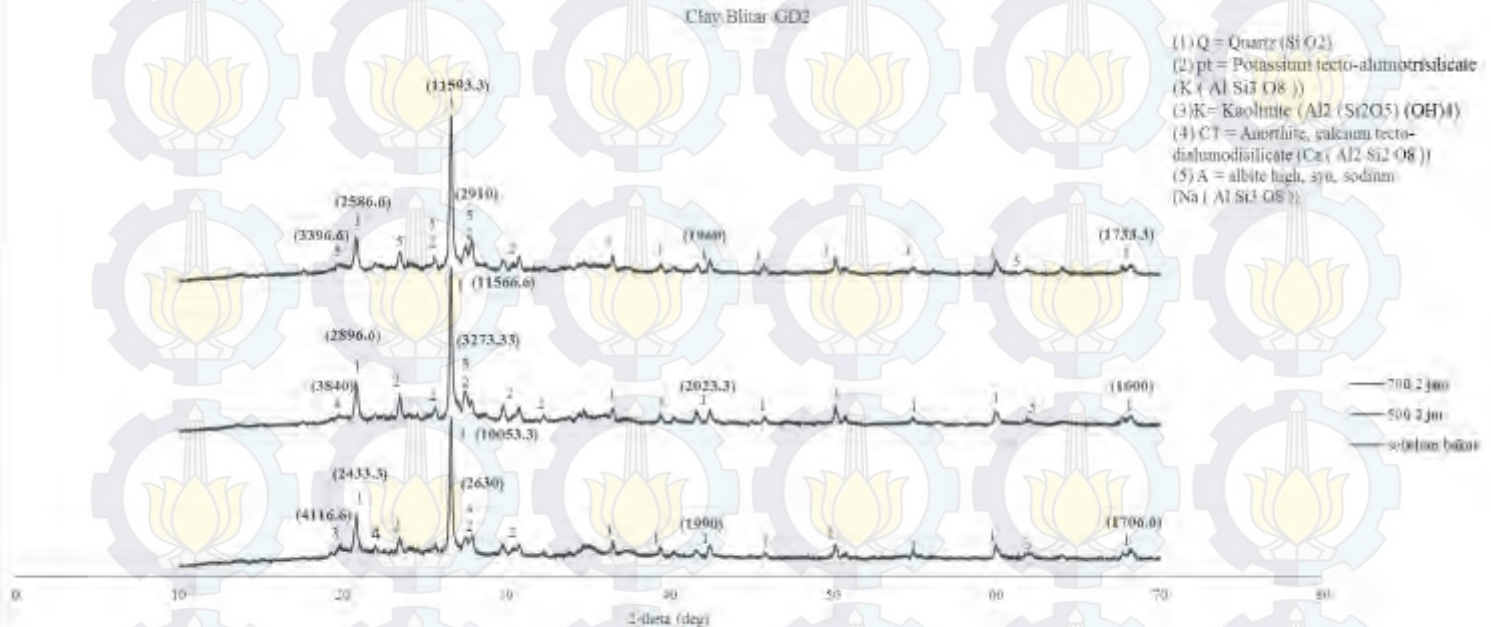


Gambar 4.23 XRD Clay Blitar GD 2 dikalsinasi pada suhu 500°C 2jam

Clay Blitar GD2 700°C 2 jam



Gambar 4.24 XRD Clay Blitar GD 2 dikalsinasi pada suhu 700°C 2jam



Gambar 4.25 XRD Clay Blitar GD 2 Sebelum dan Setelah Kalsinasi pada Berbagai Suhu

Dari Gambar 4.15, Gambar 4.16, dan Gambar 4.17, didapatkan komposisi mineral dari clay, clay disuhu 500°C selama 2 jam, dan clay di suhu 700°C selama 2 jam yang dapat dilihat pada Tabel 4.11, Tabel 4.12, dan Tabel 4.13.

Tabel 4.11 Hasil Analisa XRD Clay Blitar GD2 sebelum dikalsinasi

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Persentase
Q	Quartz,syn	SiO ₂	75%
CT	Calcium tecto dialuminodisilicate, Anorhite high	(Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈))	11%
Tr	Tridymite	SiO ₂	14%

Tabel 4.12 Hasil Analisa XRD Clay Blitar GD2 suhu 500°C 2 jam

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Persentase
Q	Quartz,syn	SiO ₂	58%
Pt	Potassium tecto-alumotrisilicate	K (Al Si ₃ O ₈)	38%
An	andalusite, high	Al ₂ (Si O ₄) O	7%

Tabel 4.13 Hasil Analisa XRD Clay Blitar GD2 suhu 700°C 2 jam

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Persentase
Q	Quartz low,syn	SiO ₂	55%
Al	Albite high, syn, sodium tecto-alumotrisilicate	Na (Al Si ₃ O ₈)	33%
An	Andalusite, high	Al ₂ (Si O ₄) O	12%

Berdasarkan tabel 4.13, bisa dilihat kandungan awal dari material clay blitar GD 2 kaya akan sumber silika dan alumina. Silika yang dimiliki berbentuk quartz (SiO_2) dan Tridymite (SiO_2) sedangkan sumber alumina berasal dari Calcium tecto dialuminodisilicate, Anorhite high ($\text{Ca}(\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8)$). Meskipun kandungan dalam clay GD 2 sudah dalam bentuk seperti itu, namun ketika dilakukan mixing dengan mencampurkan clay GD2 tanpa kalsinasi dengan alkali, tidak terjadi setting pada pasta.

Kemudian clay GD 2 dikalsinasi pada suhu 500°C selama 2 jam. Dapat dilihat terjadi perubahan persentase quartz (SiO_2), dari yang awalnya sebesar 75% menjadi 58%, kemudian sumber alumina awal yang berasal dari calcium tecto dialuminodisilicate, Anorhite high ($\text{Ca}(\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8)$) berubah menjadi Potassium tecto-alumotrisilicate K (AlSi_3O_8) dengan persentase 38%, sedangkan untuk tridymite (SiO_2) mengalami perubahan menjadi andalusite, high $\text{Al}_2(\text{SiO}_4)\text{O}$ sebesar 7%.

Kemudian untuk kalsinasi suhu 700°C selama 2 jam, mineral quartz mengalami perubahan menjadi quartz low lagi (SiO_2) sebanyak 55%, sedangkan untuk persen andalusite, high ($\text{Al}_2(\text{SiO}_4)\text{O}$) bertambah menjadi 12%, dan untuk mineral Potassium tecto-alumotrisilicate K (AlSi_3O_8) berubah menjadi Albite high, syn, sodium tecto-alumotrisilicate ($\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$) dengan persentase hanya 33%.

4.2.3.3 Analisa XRF Clay Blitar GD 2

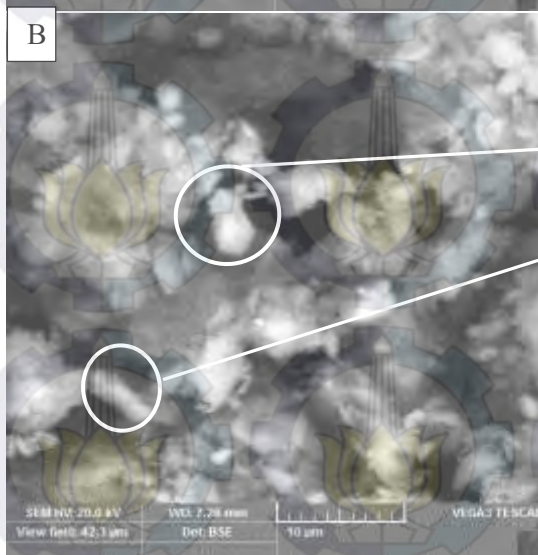
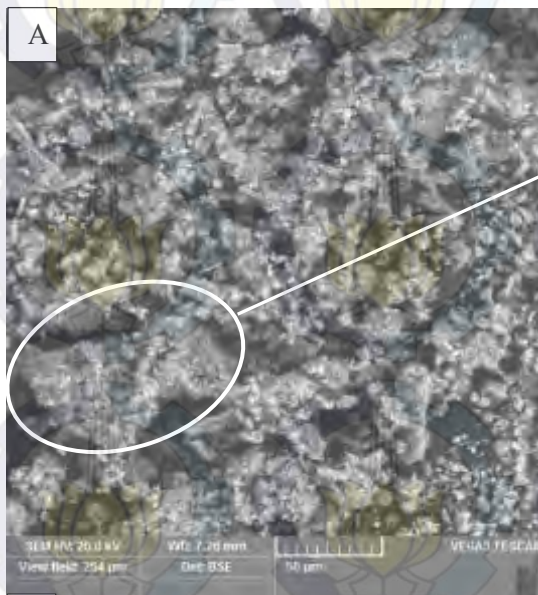
Tabel 4.14 Hasil Analisa XRF Clay Blitar GD 2

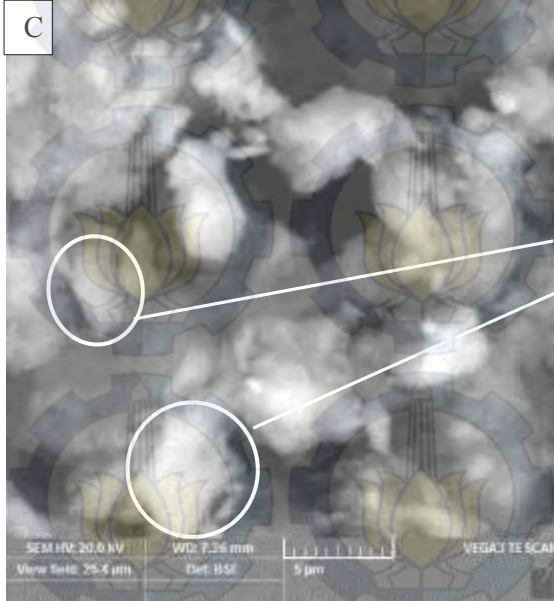
Senyawa	%
SiO ₂	56.75
Al ₂ O ₃	20.68
MgO	3.18
CaO	2.58
Na ₂ O	1.67
K ₂ O	3.56
Cr ₂ O ₃	0.01
MnO ₂	0.01
Fe ₂ O ₃	7.13
TiO ₂	0.76
LOI	3.41

Dari hasil XRF pada tabel 4.12, dapat dilihat pada kandungan utama kaolin adalah silikon oksida (SiO₂) dan aluminium oksida (Al₂O₃). Total persen dari ketiga kandungan kimia ini melebihi 70%, selain itu kaolin juga merupakan bahan tambang sehingga dia masuk kedalam *pozzolan* kelas N (**ASTM C618**).

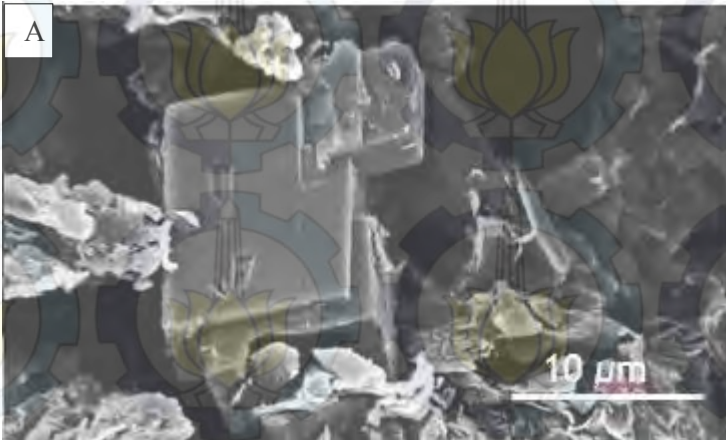
4.1.1.2 Analisa SEM Clay Blitar GD 2

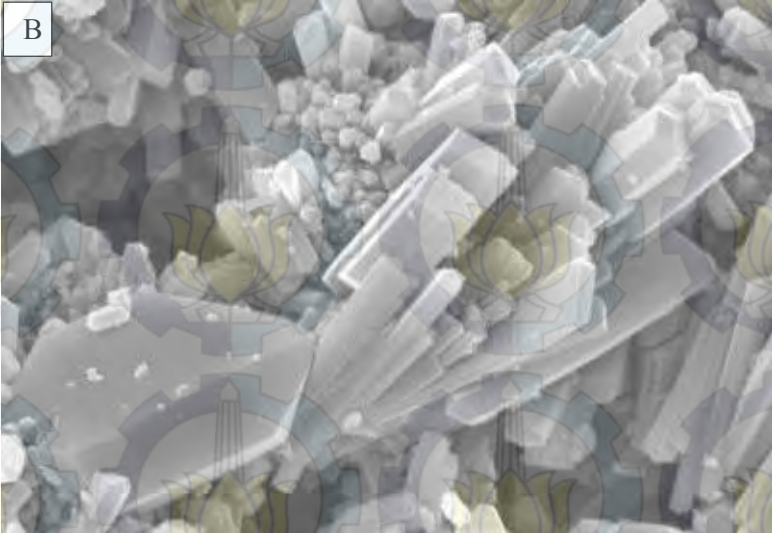
Hasil analisa SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada material clay Blitar dapat dilihat pada gambar 4.16 untuk SEM clay Blitar GD 2 yang belum dibakar, dan pada gambar 4.17 untuk SEM clay Blitar GD 2 sebelum dibakar





Gambar Error! No text of specified style in document..6
Analisa SEM Clay GD 1 (A) 50μm, (B) 10 μm, dam 5 μm





Gambar 4.27 (A) Scanning Electron Microscope Orthoclase (www.microped.uni-bremen.de), (B) Scanning Electron Microscope Anorthite (www.geos.ed.ac.uk)

Hasil SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada gambar 4.27 menunjukkan bahwa clay GD 2 mengandung quartz, anorthite, orthoclase dan kaolinite. Hal tersebut sesuai hasil XRD tabel 4.14. Sebagai pendukung, gambar 4.28 menunjukkan SEM orthoclase dan anorthite pada penelitian terdahulu.

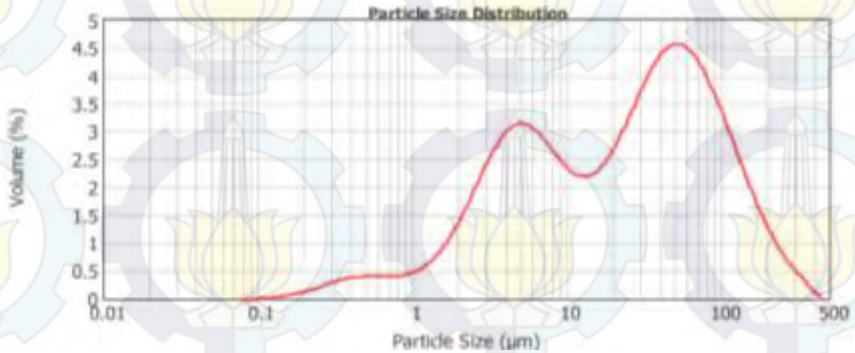
4.2.2 Analisa Silica Fume

4.1.2.1 *Particle Size Analysis* (PSA)

Silica fume yang dipakai dalam penelitian dilakukan analisa ukuran partikel (*Particle Size Analysis*) untuk mengetahui ukuran dan gradasi partikel *silica fume*. Hasil PSA dapat dilihat pada Tabel 4.19 dan Tabel 4.20.

Tabel 4.19 Hasil Analisa Ukuran Partikel *Silica Fume*

Ukuran (μm)	Volume Lolos (%)
450	100.00
425	99.97
400	99.93
300	99.34
250	98.57
200	97.07
150	93.96
125	91.15
100	86.77
75	79.68
50	67.94
40	61.40
45	64.82
25	49.63



Gambar 4.28 Distribusi Ukuran Partikel *Silica Fume*

Dari 4.28, dapat diketahui *silica fume* yang dipakai memiliki ukuran partikel lolos ayakan 450 µm. Dari **Error! Reference source not found.**, dapat diketahui bahwa *silica fume* memiliki ukuran kurang dari 75 µm hanya sebanyak 79.68% dari total volume. Sedangkan yang tertahan pada ukuran 45 µm sebesar 35.18%. Hal tersebut tidak sesuai dengan ASTM 1240-03 yang mensyaratkan total volume tertahan pada ukuran 45 µm maksimal sebesar 10%.

4.1.2.2 Berat Jenis

Analisa berat jenis *silica fume* seperti pada Tabel 4.20

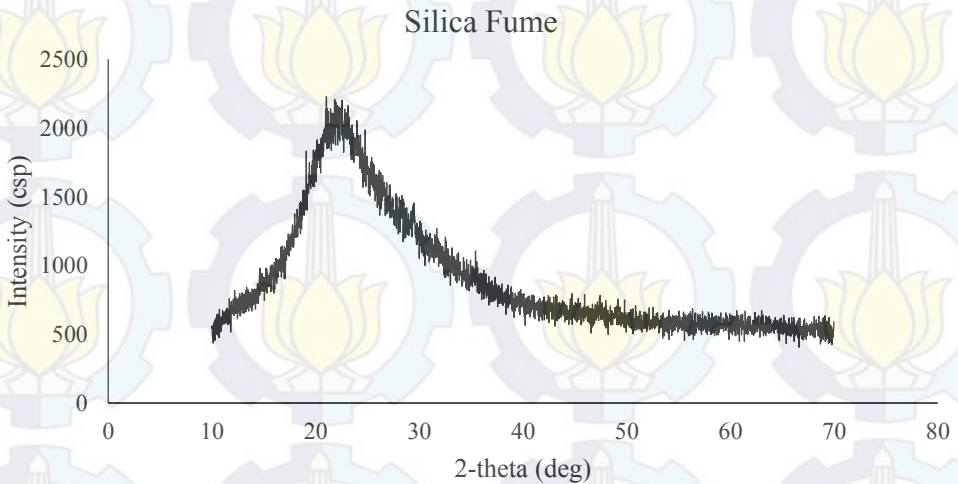
Tabel 4.20 Berat Jenis *Silica Fume*

Percobaan Nomor	1	2
Berat <i>silica fume</i> (w1) (gram)	250	250
Berat <i>silica fume</i> + minyak + labu takar (w2) (gram)	700	700
Berat labu takar + minyak (w3) (gram)	545	545
Berat jenis (gram/cm ³)	2.105	2.105
Rata-rata (gram/cm ³)	2.105	

Berat jenis *silica fume* sebesar 2.105 gram/cm³ lebih kecil dari berat jenis semen (3.077 gram/cm³), fly ash (2.38 gram/cm³) (Kosmatka & Wilson, 2011), metakaolin (2.5 gram/cm³), dan clay (2.63 gram/cm³) .

4.1.2.3 Analisa XRD Silica Fume

Analisa XRD dilakukan untuk mengetahui mineral yang terkandung didalam dari silica fume. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 4.26 XRD untuk silica fume.



Gambar 4.29 Analisa XRD Silica Fume

Berdasarkan analisa XRD, dapat dilihat bahwa material silica fume memiliki kandungan SiO₂ 100% dengan tingkat reaktivitas yang tinggi.

4.3 Data dan hasil pasta Geopolimer

4.2.3 Komposisi pasta geopolimer berbahan dasar Metakaolin

Komposisi pasta geopolimer berbahan dasar metakaolin terdiri dari metakaolin, NaOH dan sodium silikat. Karena penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$, Si/Al , dan water/solid terhadap kuat tekan dari pasta geopolimer berbahan dasar metakaolin, maka penggunaan NaOH divariasikan dengan 2 molaritas yaitu 10 M dan 8M, dengan perbandingan Si/Al , $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ dan water/solid rasio dapat dilihat pada tabel 4.17.

Tabel 4.20 Komposisi campuran pasta geopolimer berbahan dasar metakaolin

Kode	$\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$	Si/Al	$\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ (aktivator)	W/S
MK1 (8_139)	1.27	1.39	0.75	0.41
MK2 (8_14)	1.56	1.4	0.9	0.38
MK3 (8_14)	1.44	1.4	0.81	0.39
MK1 (10_14)	1.27	1.39	0.67	0.39
MK2 (10_14)	1.56	1.4	0.82	0.35
MK3 (10_14)	1.44	1.4	0.73	0.38

Sambungan Tabel 4.21 Komposisi campuran pasta geopolimer berbahan dasar metakaolin

Kode	Na ₂ SiO ₃ / NaOH	Si/Al	SiO ₂ /Na ₂ O (aktivator)	W/S
MK4 (8_177)	1.44	1.77	0.81	0.4
MK5 (8_178)	1.86	1.78	0.94	0.36
MK6 (8_176)	1.86	1.76	0.94	0.37
MK4 (10_177)	1.44	1.77	0.73	0.34
MK5 (10_178)	1.86	1.78	0.86	0.35
MK6 (10_176)	1.86	1.76	0.86	0.36

Keterangan:

MKa (b_c); variable:

a= variasi perbandingan binder dan alkali.

b= molaritas NaOH yang dipergunakan .

c= perbandingan molar Si/Al.

4.2.4 Komposisi pasta geopolimer berbahan dasar *clay*

Komposisi pasta geopolimer berbahan dasar clay terdiri dari *clay* Blitar (GD1), NaOH dan sodium silikat. Karena penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$, Si/Al , dan water/solid terhadap kuat tekan dari pasta geopolimer berbahan dasar metakaolin, maka penggunaan NaOH divariasikan dengan 2 molaritas yaitu 10 M dan 8M, dengan perbandingan Si/Al , $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ dan water/solid rasio dapat dilihat pada tabel 4.15.

Tabel 4.22 Komposisi pasta geopolimer berbahan dasar *clay* Blitar (GD1)

Kode	$\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$	Si/Al	$\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$	W/S
C1(8_288)	2.030	2.88	0.97	0.29
C1(10_288)	2.030	2.88	0.89	0.28
C2(8_291)	2.333	2.91	1.01	0.29
C2(10_291)	2.333	2.91	0.89	0.28
C3(8_317)	2.846	3.17	1.16	0.34
C3(10_317)	2.846	3.17	1.08	0.35
C4(10_323)	1.381	3.23	0.7	0.29
C4(8_323)	1.381	3.23	0.78	0.3

Keterangan:

Ca (b_c); variable:

a= variasi perbandingan binder dan alkali.

b= molaritas NaOH yang dipergunakan .

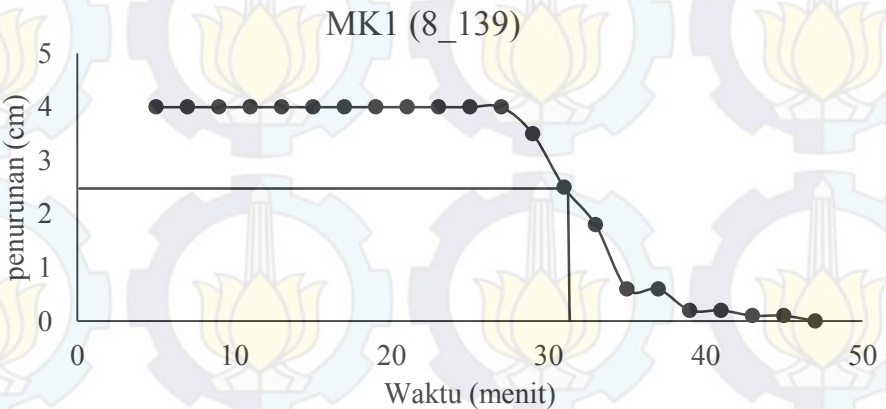
c= perbandingan molar Si/Al.

4.1.1 Setting Time

Setting time merupakan pengujian untuk mengetahui waktu pengikatan awal dan akhir pada pasta geopolimer. Indikasi pengikatan awal terjadi adalah ketika terjadi penurunan jarum vicat 25 mm, sedangkan untuk pengikatan akhir terjadi ketika jarum vicat mengalami penurunan 0 mm, atau tidak terjadi penurunan lagi.

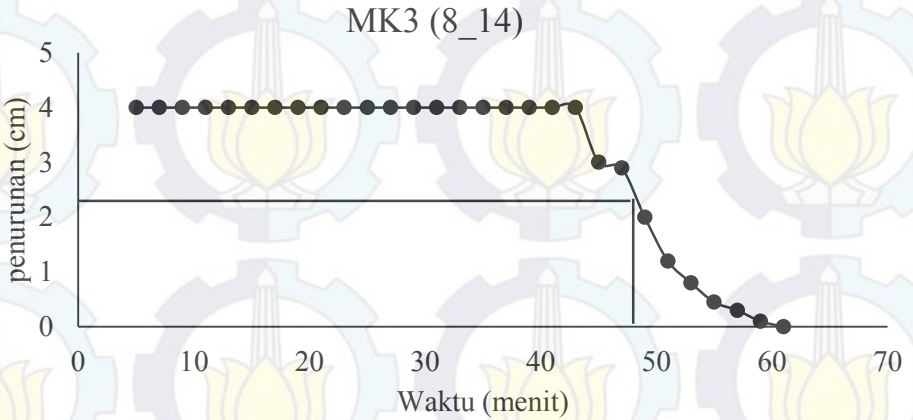
4.1.1.1 Pasta Geopolimer Metakaolin 8M

4.1.1.1.1 Pasta MK1 (8_139)



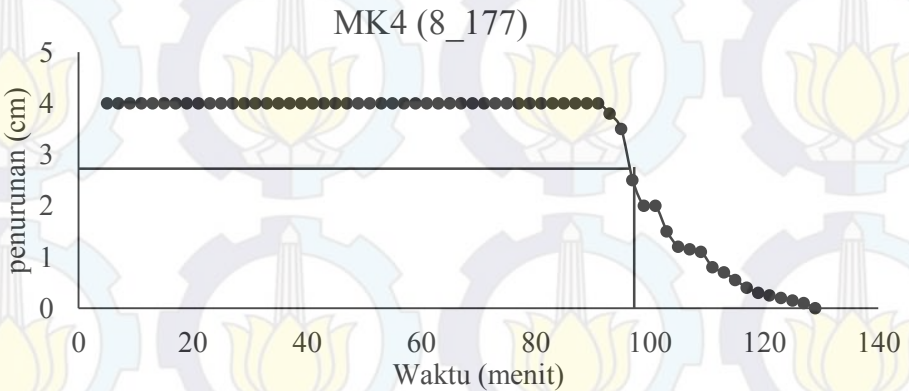
Gambar 4.30 Grafik setting time MK 1(8_139)

4.1.1.1.2 Pasta MK3 (8_14)



Gambar 4.31 Grafik setting time MK3 (8_14)

4.1.1.1.3 Pasta MK4 (8_177)

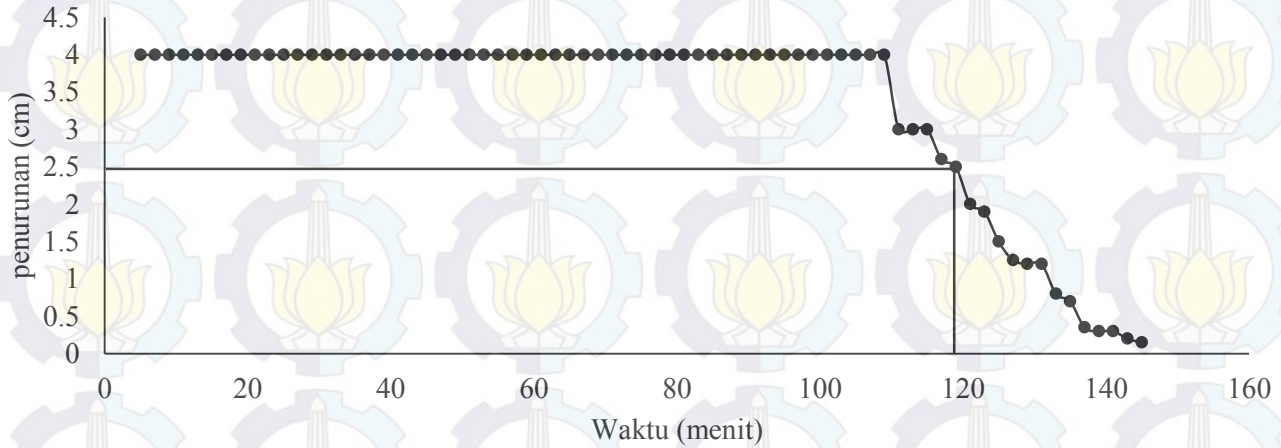


Gambar 4.32 Grafik setting time pasta MK4 (8_177)

100

4.1.1.1.4 Pasta MK5 (8_18)

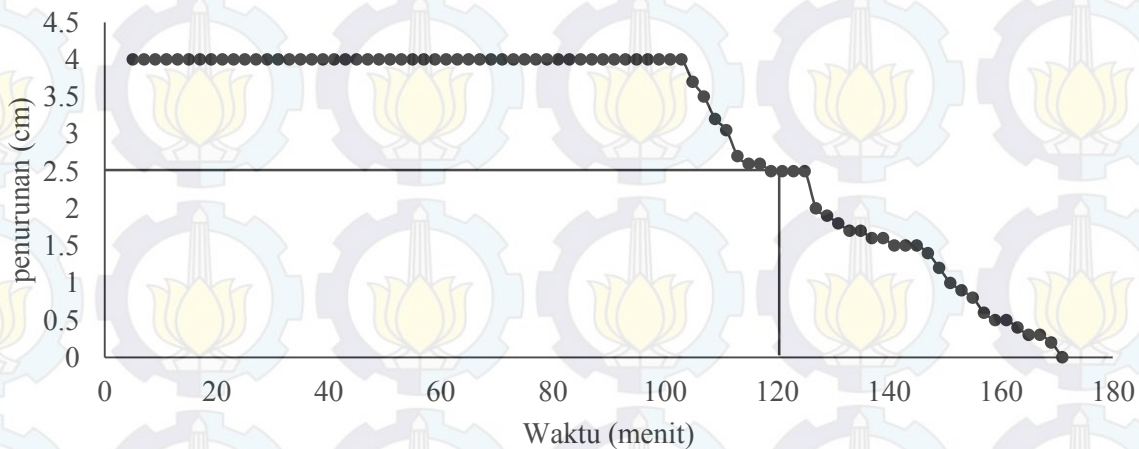
MK5 (8_18)



Gambar 4.33 Grafik setting time pasta MK5 (8_18)

4.1.1.1.5 Pasta MK6 (8_18)

MK6 (8_18)



Gambar 4.34 Grafik setting time MK6 (8_18)

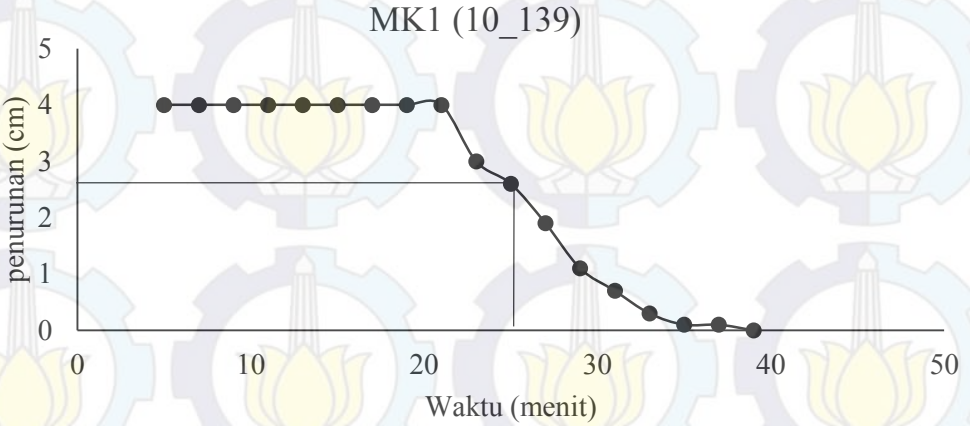
Berdasarkan Gambar 4.27 hingga tabel 4.32 dapat dibuat rangkum setting time awal dan akhir yang terjadi pada pasta geopolimer berbahan dasar metakaolin dengan menggunakan NaOH 8 M adalah sebagai berikut :

Tabel 4.24 Setting time awal dan akhir pasta geopolimer berbahan dasar metakaolin (NaOH 8M) .

Kode Campuran	Setting Awal	Setting akhir
MK1 (8_139)	31	47
MK2 (8_14)	58	77
MK3 (8_14)	48	61
MK4 (8_177)	97	129
MK5 (8_178)	119	153
MK6 (8_176)	119	171

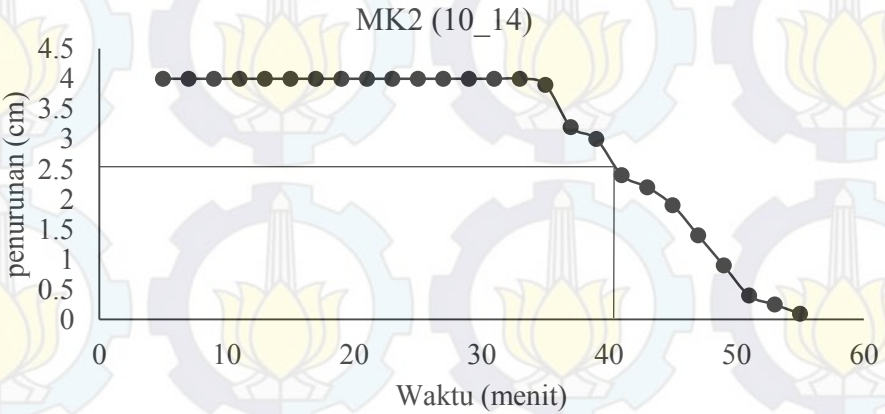
4.1.1.2 Pasta Geopolimer Metakaolin 10 M

4.1.1.2.1 Pasta MK1 (10_139)



Gambar 4.35 Grafik Setting time pasta MK1 (10_139)

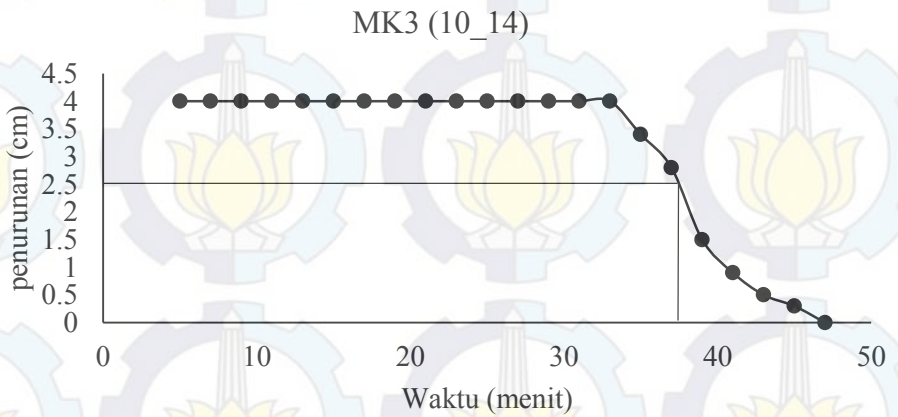
4.1.1.2.2 Pasta MK2 (10_14)



Gambar 4.36 Grafik Setting time pasta MK2 (10_14)

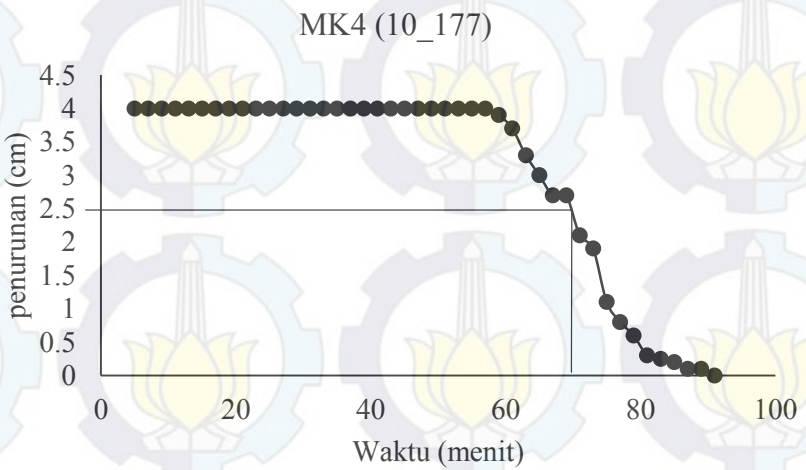
104

4.1.1.2.3 Pasta MK3 (10_14)



Gambar 4.37 Grafik Setting time pasta MK3 (10_14)

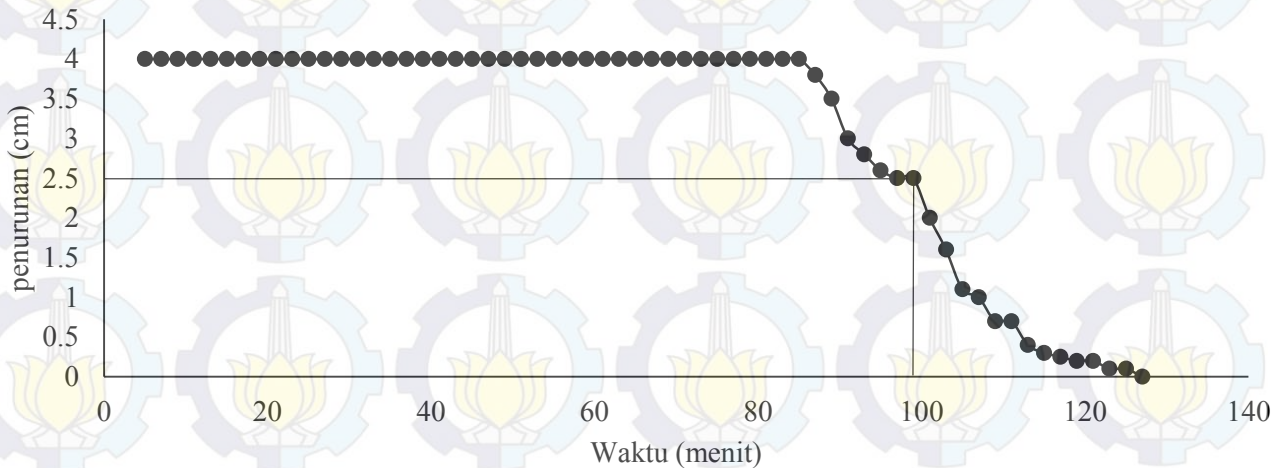
4.1.1.2.4 Pasta MK4 (10_177)



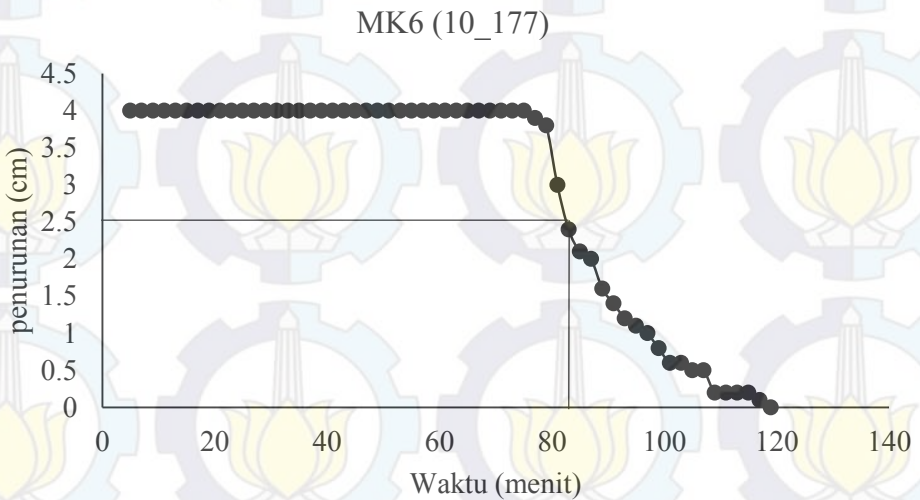
Gambar4.38 Grafik Setting time pasta MK4 (10_177)

4.1.1.2.5 Pasta MK5 (10_178)

MK5 (10_178)



Gambar 4.39 Grafik Setting Time Pasta MK5 (10_178)



Gambar 4.40 Grafik Setting Time Pasta MK5 (10_176)

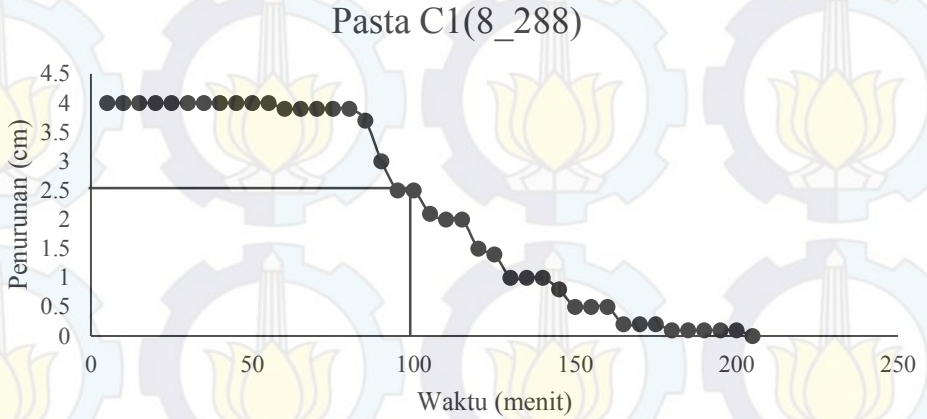
Berdasarkan Gambar 4.33 hingga 4.38 dapat dibuat rangkum setting time awal dan akhir yang terjadi pada pasta geopolimer berbahan dasar metakaolin dengan menggunakan NaOH 10M adalah sebagai berikut :

Tabel 4.25 Setting time awal dan akhir pasta geopolimer berbahan dasar metakaolin (NaOH 10M) .

Kode Campuran	Setting Awal	Setting akhir
MK1 (10_139)	26	39
MK2 (10_14)	40	57
MK3 (10_14)	38	47
MK4 (10_177)	70	91
MK5 (10_178)	97	127
MK6 (10_176)	82	119

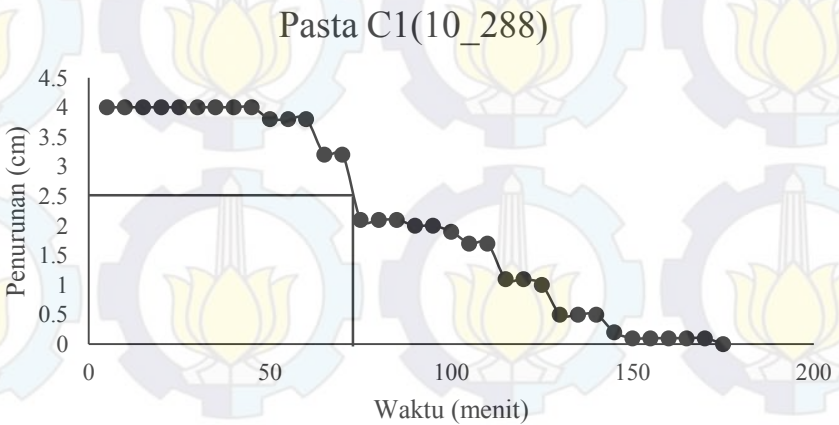
4.1.1.3 Pasta Geopolimer Clay GD 1

4.1.1.3.1 Pasta C1(8_288)



Gambar 4.41 Grafik Setting Time Pasta C1(8_288)

4.1.1.3.2 Pasta C1(10_288)

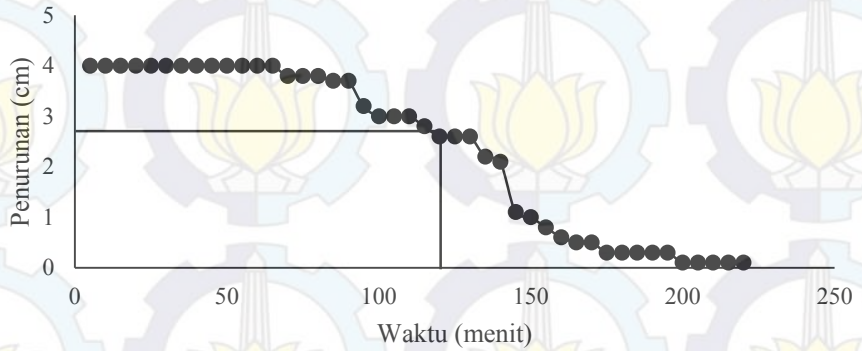


Gambar 4.42 Grafik Setting Time Pasta C1(10_288)

108

4.1.1.3.3 Pasta C2(8_291)

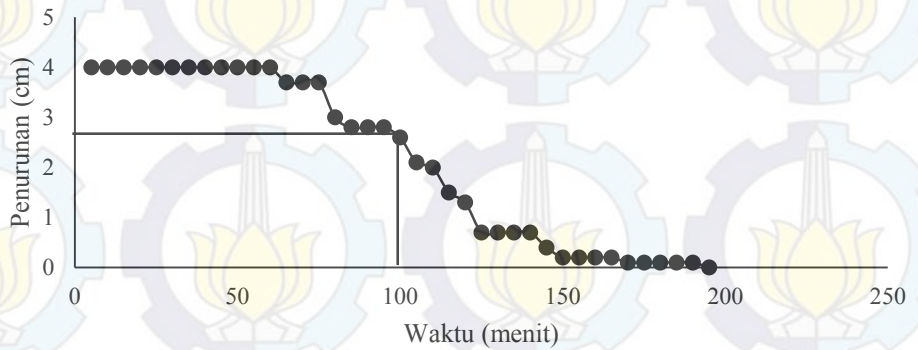
Pasta C2(8_291)



Gambar 4.43 Grafik Setting Time Pasta C2(8_291)

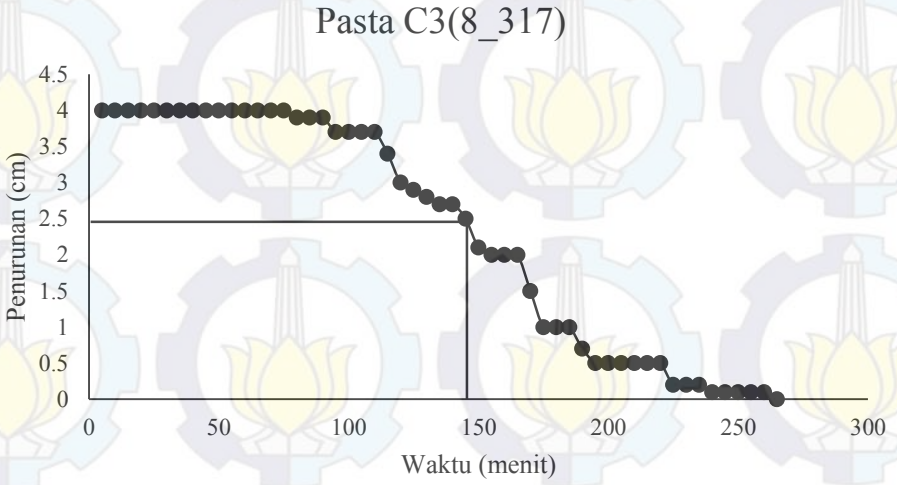
4.1.1.3.4 Pasta C2(10_291)

Pasta C2(10_291)



Gambar4.44 Grafik Setting Time Pasta C2(10_291)

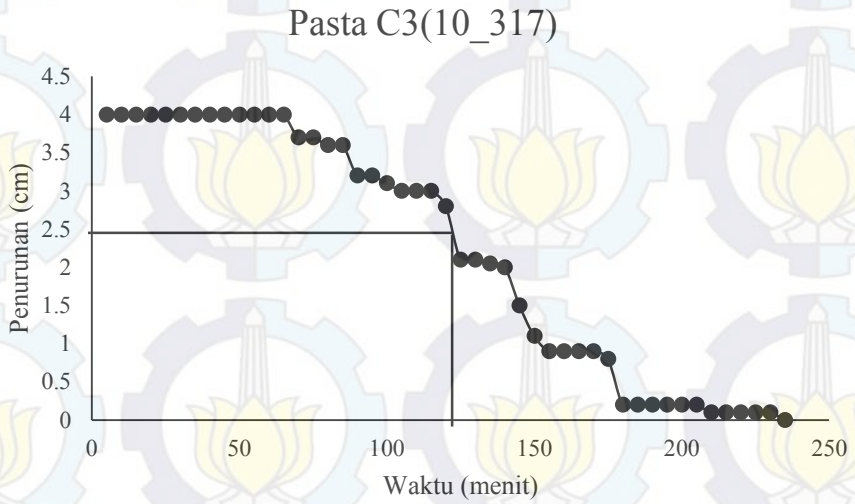
4.1.1.3.5 Pasta C3(8_317)



Gambar4.45 Grafik Setting Time Pasta C3(8_317)

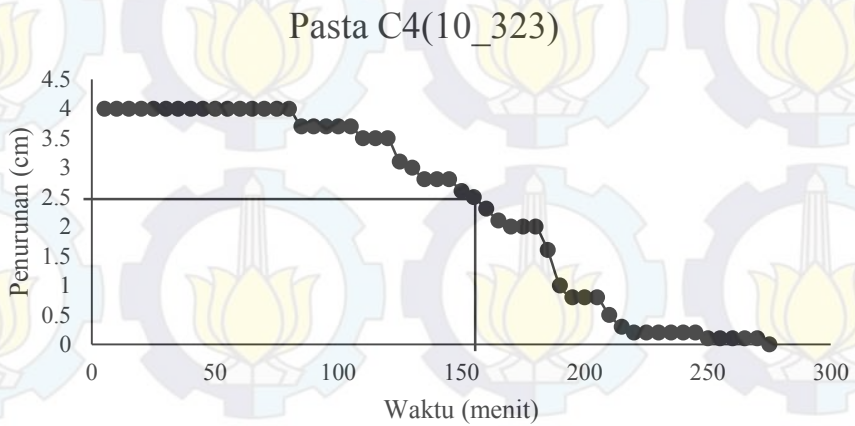
110

4.1.1.3.6 Pasta C3(10_317)



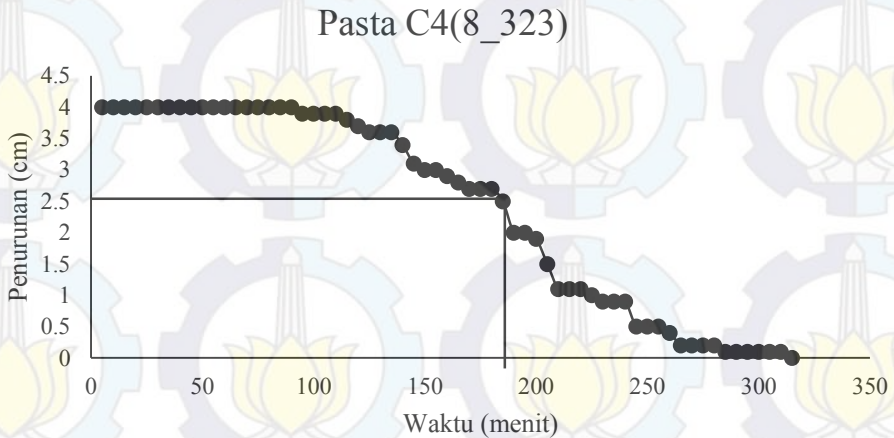
Gambar 4.46 Grafik Setting Time Pasta C3(10_317)

4.1.1.3.7 Pasta C4(10_323)



Gambar 4.47 Grafik Setting Time Pasta C4(10_323)

4.1.1.3.8 Pasta C4(8_323)



Gambar 4.48 Grafik Setting Time Pasta C4(8_323)

Berdasarkan Gambar 4.39 hingga 4.46 dapat dibuat rangkum setting time awal dan akhir yang terjadi pada pasta geopolimer berbahan dasar metakaolin dengan menggunakan NaOH 8 M dan 10 M adalah sebagai berikut

Tabel 4.26 Setting time awal dan akhir pasta geopolimer berbahan dasar Clay GD 1

Kode Campuran	Setting Awal	Setting akhir
C1(8_288)	95	205
C1(10_288)	72	175
C2(8_291)	139	225
C2(10_291)	104	195
C3(8_317)	145	265
C3(10_317)	118	235

C4(10_323)

155

275

C4(8_323)

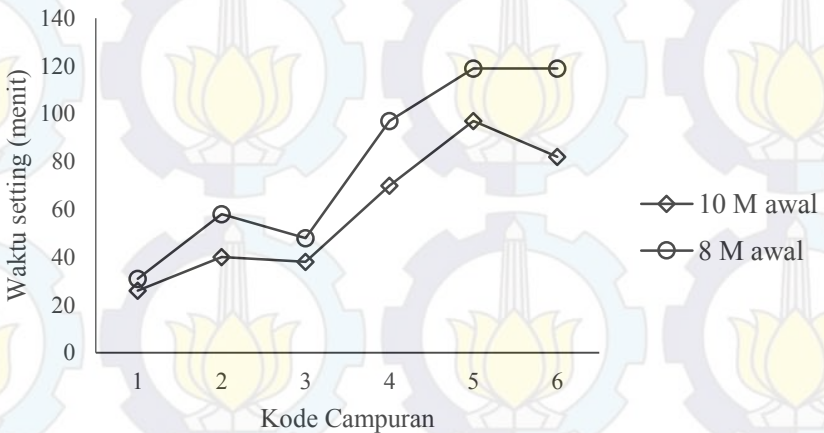
185

315

4.1.1.4 Analisa Setting Time

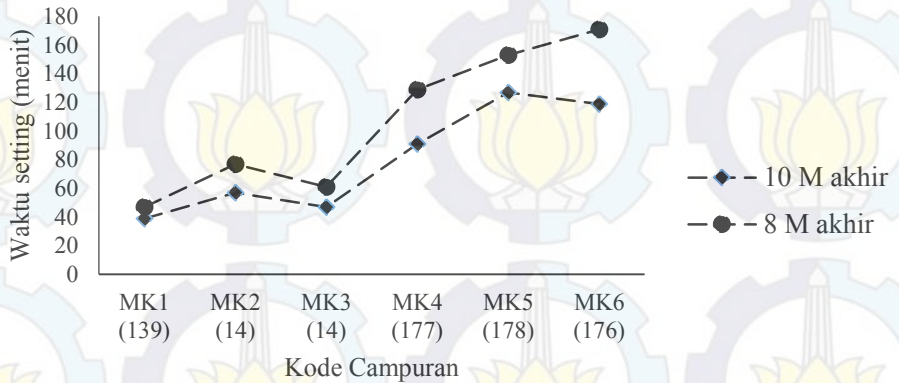
Berdasarkan tabel 4.33 dan 4.41 dapat dibuat grafik perbandingan waktu setting awal dan akhir antara pasta berbahan dasar metakaolin dengan 8 M dan 10 M yang dapat dilihat pada Gambar dan Gambar berikut :

Perbandingan Setting Time Awal Pasta Metakaolin
8M dan 10 M



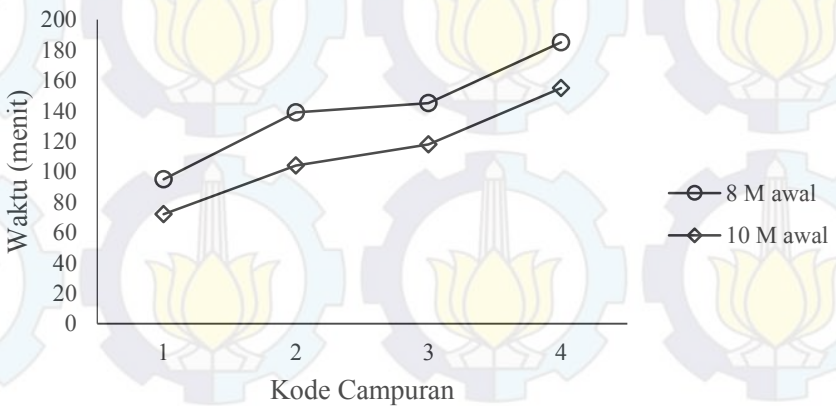
Gambar4.49 Grafik Perbandingan waktu setting awal pasta metakaolin 8M dan 10 M

Perbandingan Setting Time Akhir Pasta Metakaolin 8M dan 10 M



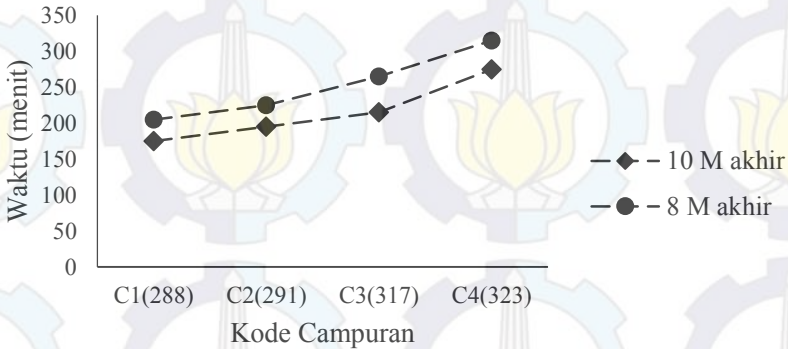
Gambar4.50 Grafik perbandingan setting time akhir pasta metakaolin 8M dan 10 M.

Perbandingan Setting Time Awal Pasta Clay GD 1 8M dan 10 M



Gambar 4.51 Grafik perbandingan setting time awal pasta clay GD 1 8M dan 10 M.

Perbandingan Setting Time Akhir Pasta Clay GD 1 8M dan 10 M

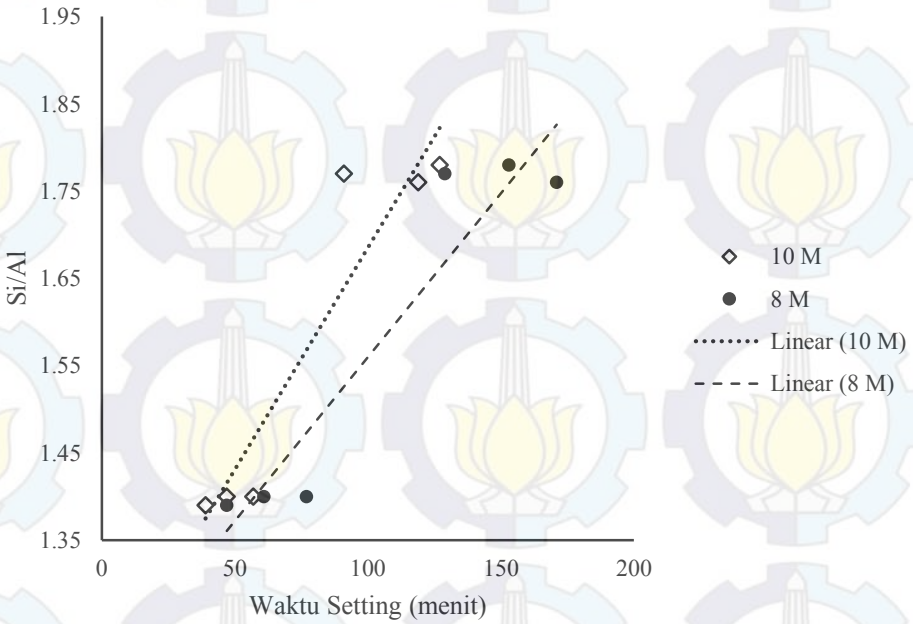


Gambar 4.52 Grafik perbandingan setting time akhir pasta clay GD 1 8M dan 10 M.

Dari gambar 4.47 dan 4.49 dapat dilihat bahwa pasta metakaolin dan pasta clay GD 1 dengan molaritas 8 memiliki waktu setting awal yang lebih panjang dari pada pasta dengan molaritas 10, hal tersebut juga berlaku pada waktu setting akhir yang dapat dilihat pada gambar 4.48 dan 4.50, semakin tinggi molaritasnya, maka semakin cepat waktu setting yang dibutuhkan oleh pasta. Hal ini disebabkan karena penambahan molaritas dari 8 M menjadi 10 M mengakibatkan larutan NaOH menjadi lebih kental, sehingga proses pemutusan rantai alumino silikat akibat penambahan molaritas NaOH dapat berlangsung lebih cepat, dan berakibat pada proses setting yang berlangsung cepat (Wiyoto, 2007).

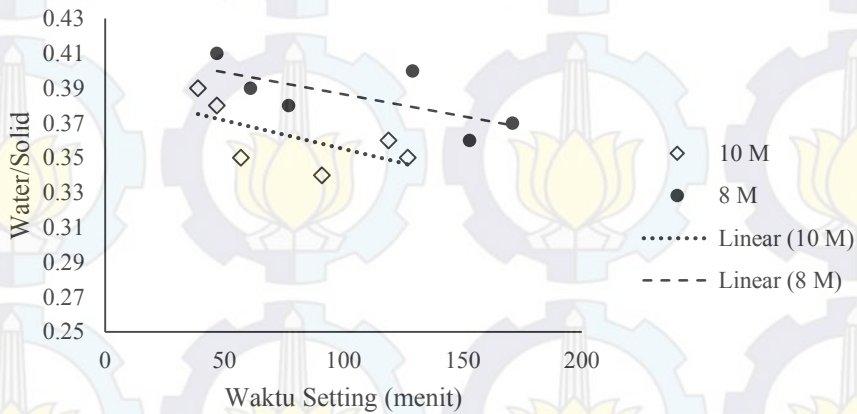
Selain pengaruh molaritas, lama setting time juga dipengaruhi oleh beberapa hal seperti perbandingan molar Si/Al, perbandingan water/solid dan perbandingan dari $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ pada campuran pasta dapat dilihat pada gambar 4.34 dan 4.35

Pengaruh Si/Al terhadap Setting Time



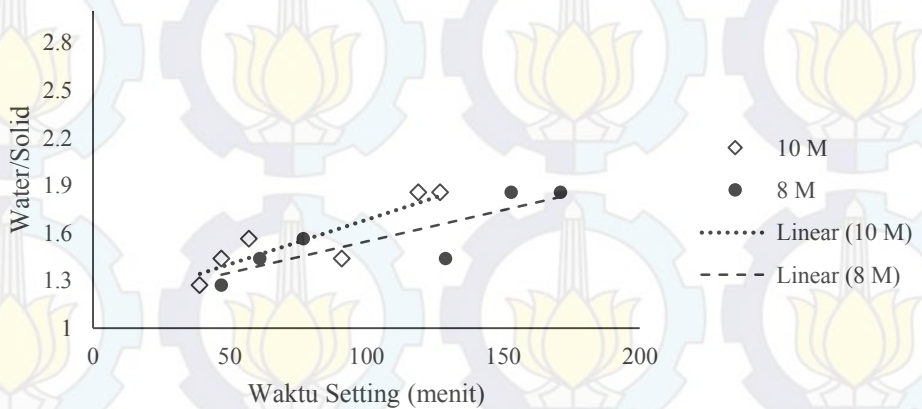
Gambar 4.53 Grafik Perbandingan Si/Al terhadap setting time pasta metakaolin 8M dan 10M

Pengaruh Water/ Solid terhadap Setting Time



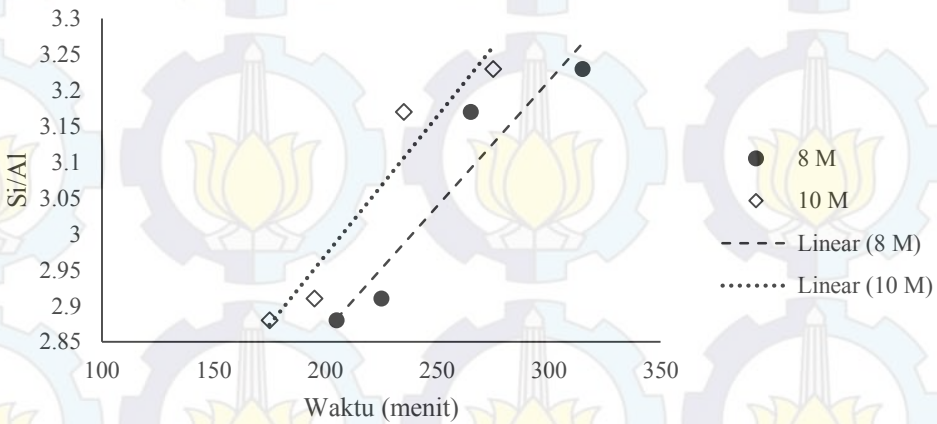
Gambar 4.54 Grafik Perbandingan Water/Solid terhadap setting time pasta metakaolin 8M dan 10M

Pengaruh $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ terhadap Setting Time



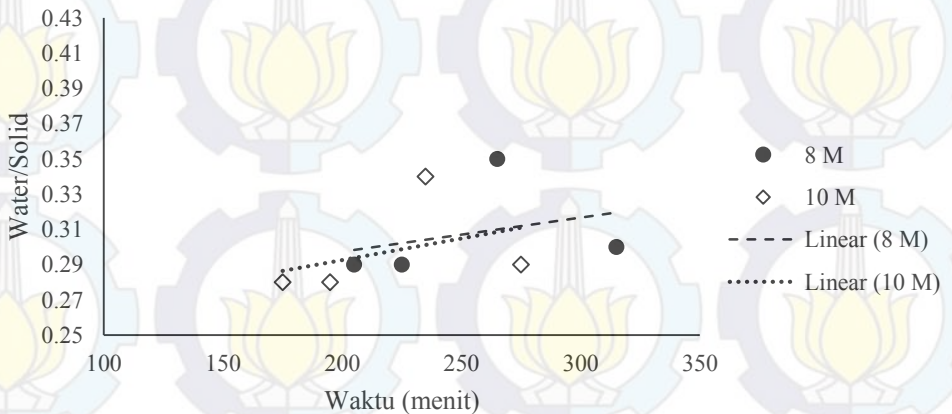
Gambar 4.55 Grafik Perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ terhadap setting time pasta metakaolin 8M dan 10M

Pengaruh Si/Al terhadap Setting Time



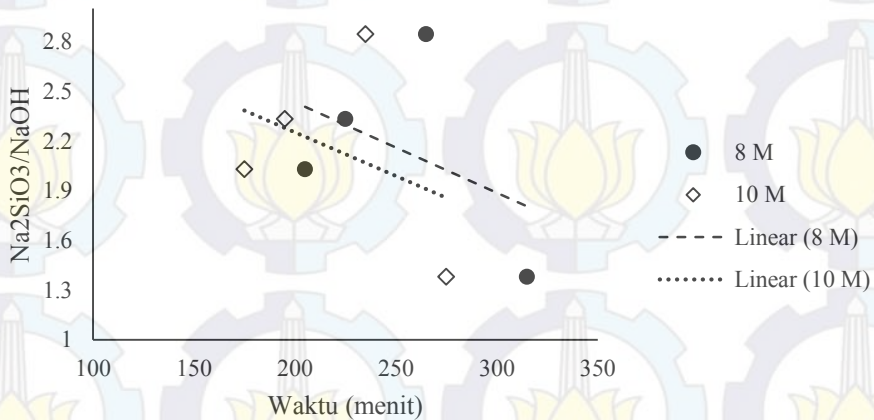
Gambar 4.56 Grafik Perbandingan Si/Al terhadap setting time pasta Clay GD 1 8M dan 10M

Pengaruh Water/Solid terhadap Setting Time



Gambar 4.57 Grafik Perbandingan Water/Solid terhadap setting time pasta Clay GD 1 8M dan 10M

Pengaruh $\text{Na}_2\text{SiO}_3 / \text{NaOH}$ terhadap Setting Time



Gambar 4.58 Grafik Perbandingan Water/Solid terhadap setting time pasta Clay GD 1 8M dan 10M

Pada gambar 4.44 dan 4.46, dapat dilihat bahwa semakin tinggi perbandingan Si/Al baik itu pada pasta metakaolin maupun pasta clay GD 1 dengan molaritas 8 M dan 10 M, maka semakin lama juga setting timenya. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh P. De Silva (2007) mengenai pengaruh Si/Al pada mekanisme geopolimer. Jika dibandingkan antara setting time metakaolin dan clay GD 1, setting time clay GD 1 lebih lama daripada metakaolin, hal ini juga membuktikan Si/Al yang tinggi mengakibatkan setting time pasta lebih panjang.

Kemudian pada gambar 4.45 dan 4.48 dapat dilihat bahwa pengaruh dan Water/Solid rasio terhadap setting time menunjukkan kecenderungan semakin rendah maka semakin cepat juga setting time akhir untuk pasta clay, namun sebaliknya pada pasta metakaolin. Jika melihat tabel 4.18, dapat pasta metakaolin MK 1 (10_139) dan MK1(8_139) dengan

water/solid terbesar yaitu 0.41 dan 0.39 memiliki setting time yang cepat jika dibandingkan campuran lain pada masing-masing molarnya. Hal ini disebabkan karena Si/Al MK 1 paling kecil diantara campuran lainnya yaitu 1.39, selain itu perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ dari MK 1 juga cukup mempengaruhi. Jika dilihat dari grafik 4.46 bila dilihat kecenderungan semakin besar perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ maka semakin lama setting timenya, untuk campuran MK 1, perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ nya paling kecil yaitu 1.27, sehingga setting timenya lebih cepat disbanding campuran lainnya. Jika melihat campuran MK 5 dan 6, perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ sama, yang membedakan adalah perbandingan water/solid dan Si/Al. Water/Solid dari MK 5 lebih besar 0.01 dari MK 6, namun Si/Al MK 5 lebih besar dari MK 6 yaitu sebesar 1.78, dan hasil uji setting menunjukkan lama waktu setting MK 5 lebih besar dibanding MK 6.

Untuk material clay, dapat dilihat pada grafik 4.47, semakin besar perbandingan Si/Al, maka waktu settingnya semakin lama, sama seperti metakaolin. Untuk pengaruh Water/Solid pada campuran clay dapat dilihat pada grafik 4.48 menunjukkan kecenderungan semakin banyak water/solid, maka setting time semakin lama juga. Selain itu pada grafik 4.49 juga menunjukkan perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ terhadap waktu setting memiliki kecenderungan berbanding terbalik dengan perbandingan water/solid, semakin tinggi perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ maka semakin cepat waktu settingnya.

Grafik perbandingan water / solid dan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ dari metakaolin dan Clay GD 1 saling bertolak belakang, untuk clay GD 1, hampir setiap campuran dengan Si/Al yang rendah memiliki water/solid yang rendah juga sehingga waktu setting yang dibutuhkan lebih cepat seiring bertambahnya perbandingan water/solid, sedangkan untuk metakaolin, tidak semua perbandingan water/solid bertambah seiring

penambahan Si/Al. Sedangkan untuk grafik 4.49, kecenderungan yang terjadi disebabkan karena campuran C4 memiliki perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ yang paling kecil diantara yang lain, namun Si/Al nya paling besar, hal tersebut menyebabkan waktu setting yang lebih panjang dibandingkan campuran yang lain.

Dapat dilihat bahwa penambahan molar Si/Al memiliki efek yang paling signifikan terhadap waktu setting (P. De Silva, 2007) dibandingkan perbandingan water/solid dan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ untuk semua material.

4.1.2 Tes Kuat Tekan

Tes kuat tekan dilakukan terhadap 6 buah benda uji pasta silinder berukuran 2 cm x 4 cm pada umur 3, 7, 14, 21, 28 hari. Untuk mengetahui kualitas dari campuran campuran pasta geopolimer, perlu diadakan kontrol kualitas agar nantinya bisa diketahui mutu pada setiap campuran yang dibuat. Kontrol kualitas yang dipakai diambil berdasarkan SNI 03-06813-2002 dapat dilihat pada tabel 4.54.

Tabel 4.27 Standar Deviasi dan kovarian SNI SNI 03-06813-2002

Standar Deviasi (Mpa)		Kovarian (%)		Kualitas
Kelas		Kelas		
Lapangan	Laboratorium	Lapangan	Laboratorium	
< 2.8	< 1.4	< 9.33	< 4.67	Istimewa Sangat
2.8 - 3.5	1.4 - 1.7	9.33 - 11.67	4.67 - 5.67	Baik
3.5 - 4.2	1.7 - 2.1	1.67 - 14.00	15.67 - 7.00	Baik
4.2 - 4.9	2.1 - 2.4	14.00 - 16.33	7.00 - 8.00	Cukup
> 4.9	> 2.4	> 16.33	> 8.00	Kurang

Untuk hasil pengelasan kuat tekan, serta kontrol kualitas dari mix desain geopolimer berbahan dasar clay GD 1 dapat dilihat pada tabel 4.16.

4.1.2.1 Kuat Tekan Pasta Metakaolin

Tabel 4.28 Hasil uji kuat tekan dan kontrol kualitas pasta s

Umur (hari)	Kode benda uji	Rata-rata Total (mPa)	Standar Deviasi	Kovarian %	Kontrol Kualitas
28	MK1 (8_139)	61.04	1.87	3.06	Istimewa
	MK2 (8_14)	73.51	1.22	1.65	Istimewa
	MK3 (8_14)	65.29	3.47	5.32	Sangat Baik
	MK4 (8_177)	61.25	3.69	6.03	Baik
	MK5 (8_179)	64.12	3.19	4.98	Sangat Baik
	MK6 (8_176)	67.20	3.98	5.93	Baik
21	MK1 (8_139)	60.19	3.86	6.42	Baik
	MK2 (8_14)	66.88	1.47	2.20	Istimewa
	MK3 (8_14)	61.25	4.16	6.79	Baik
	MK4 (8_177)	56.93	1.50	2.64	Istimewa
	MK5 (8_179)	60.59	3.45	5.70	Baik
	MK6 (8_176)	61.27	1.45	2.37	Istimewa
14	MK1 (8_139)	55.68	2.20	3.95	Istimewa
	MK2 (8_14)	63.82	3.60	5.64	Baik
	MK3 (8_14)	61.21	3.39	5.54	Sangat Baik
	MK4 (8_177)	54.97	1.97	3.59	Istimewa
	MK5 (8_179)	57.13	2.51	4.40	Istimewa
	MK6 (8_176)	60.13	2.20	3.66	Istimewa
7	MK1 (8_139)	54.65	0.73	1.34	Istimewa

Sambungan Tabel 4.50 Hasil uji kuat tekan dan kontrol kualitas pasta berbahan dasar Metakaolin 8 M

Umur (hari)	Kode benda uji	Rata-rata Total (mPa)	Standar Deviasi	Kovarian %	Kontrol Kualitas
	MK2 (8_14)	63.46	3.83	6.04	Baik
	MK3 (8_14)	59.47	2.50	4.20	Baik
	MK4 (8_177)	51.78	3.28	6.34	Baik
	MK5 (8_179)	52.17	2.22	4.26	Istimewa
	MK6 (8_176)	59.71	2.57	4.30	Istimewa
3	MK1 (8_139)	42.44	1.59	3.75	Istimewa
	MK2 (8_14)	59.98	3.31	5.53	Sangat Baik
	MK3 (8_14)	52.39	3.66	6.99	Istimewa
	MK4 (8_177)	43.07	1.67	3.88	Istimewa
	MK5 (8_179)	47.69	2.18	4.57	Istimewa
	MK6 (8_176)	45.67	1.74	3.81	Istimewa

Tabel 4.29 Hasil uji kuat tekan dan kontrol kualitas pasta berbahan dasar Metakaolin 10 M

Umur (hari)	Kode benda uji	Rata-rata Total (mPa)	Standar Deviasi	Kovarian %	Kontrol Kualitas
	MK1 (10_139)	64.01	3.02	4.72	Sangat Baik
	MK2 (10_14)	75.37	4.66	6.19	Baik
28	MK3 (10_14)	67.41	3.31	4.92	Baik
	MK4 (10_177)	65.92	3.97	6.02	Baik
	MK5 (10_179)	61.09	3.49	5.71	Baik
	MK6 (10_176)	72.21	3.30	4.57	Istimewa
	MK1 (10_139)	63.69	2.92	4.58	Istimewa
21	MK2 (10_14)	63.14	3.70	5.86	Baik
	MK3 (10_14)	66.56	3.07	4.61	Istimewa

Sambungan Tabel 4.51 Hasil uji kuat tekan dan kontrol kualitas pasta berbahan dasar Metakaolin 10 M

Umur (hari)	Kode benda uji	Rata-rata Total (mPa)	Standar Deviasi	Kovarian %	Kontrol Kualitas
21	MK4 (10_177)	62.74	0.84	1.34	Istimewa
	MK5 (10_179)	60.45	2.53	4.19	Istimewa
	MK6 (10_176)	68.07	3.63	5.34	Sangat Baik
	MK1 (10_139)	60.19	2.55	4.23	Istimewa
	MK2 (10_14)	60.08	4.13	6.88	Istimewa
	MK3 (10_14)	63.59	3.19	5.02	Istimewa
14	MK4 (10_177)	61.89	2.59	4.19	Istimewa
	MK5 (10_179)	53.61	2.49	4.64	Istimewa
	MK6 (10_176)	61.25	3.09	5.04	Sangat Baik
	MK1 (10_139)	59.00	1.02	1.73	Istimewa
	MK2 (10_14)	54.35	1.29	2.37	Istimewa
	MK3 (10_14)	61.15	1.72	0.03	Istimewa
7	MK4 (10_177)	58.49	3.77	6.45	Baik
	MK5 (10_179)	52.79	3.25	6.16	Baik
	MK6 (10_176)	54.30	3.74	6.89	Baik
	MK1 (10_139)	49.88	1.81	3.62	Istimewa
	MK2 (10_14)	48.09	1.86	3.86	Istimewa
	MK3 (10_14)	57.71	3.96	6.86	Baik
3	MK4 (10_177)	51.27	3.07	5.99	Baik
	MK5 (10_179)	48.20	2.96	6.15	Baik
	MK6 (10_176)	46.39	1.33	2.86	Istimewa

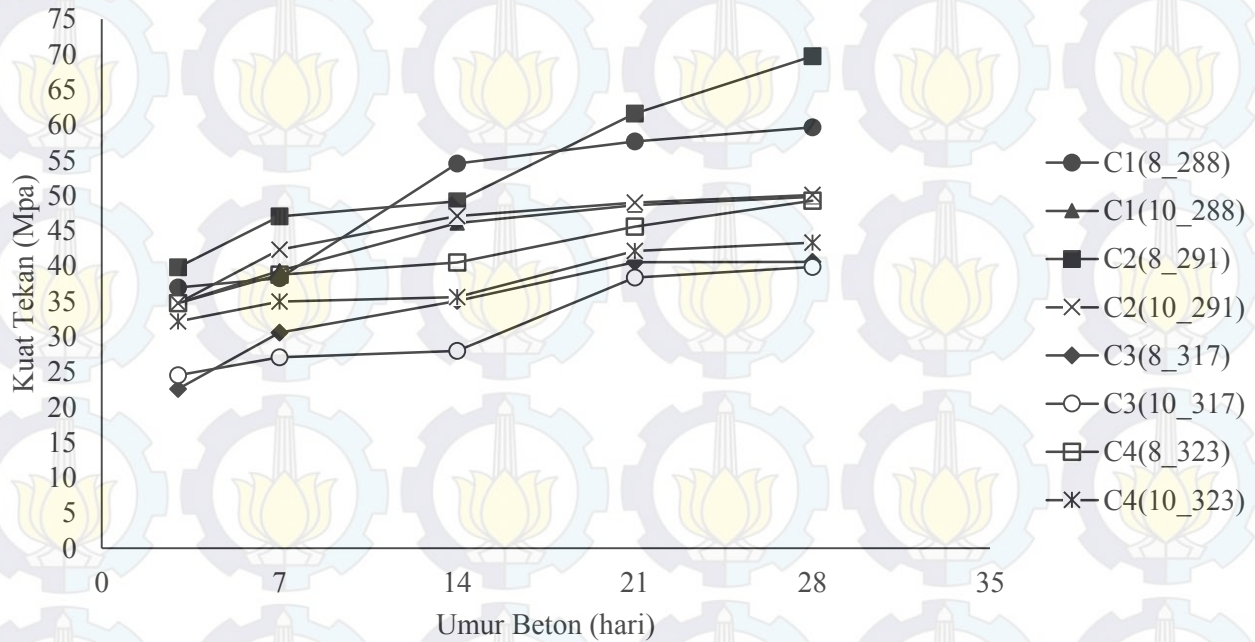
4.1.2.2 Kuat Tekan Pasta Clay Blitar GD 1

Tabel 4.30 Hasil uji kuat tekan dan kontrol kualitas pasta berbahan dasar clay Blitar GD 1

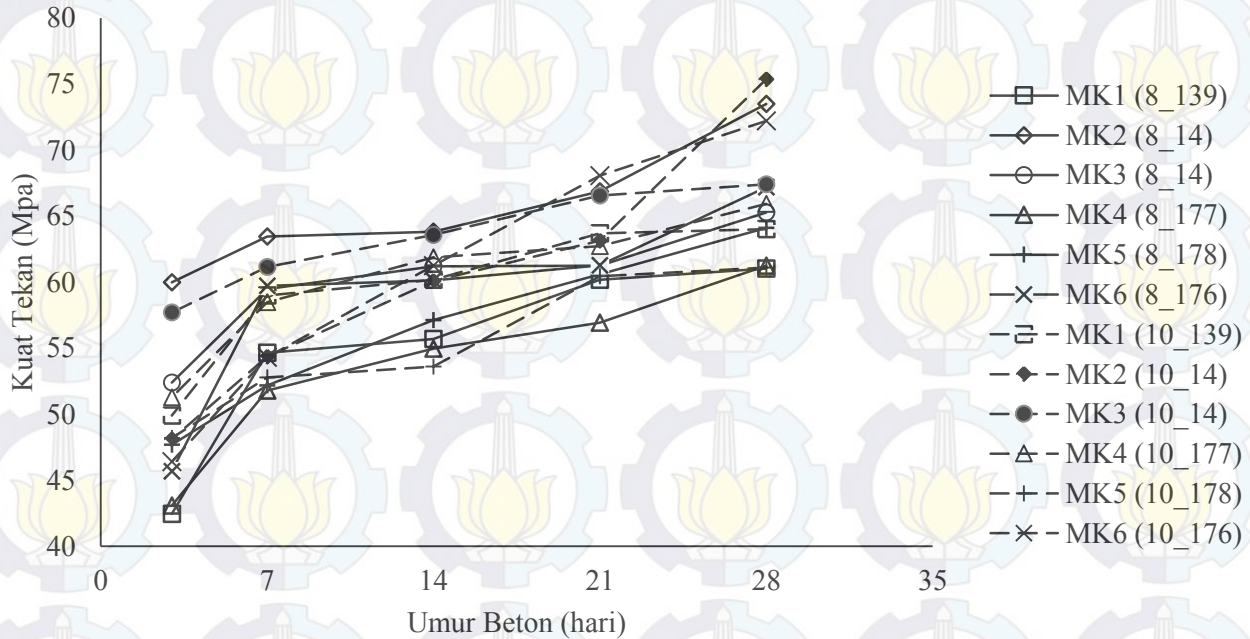
Umur	Kode benda uji	Rata-rata Total	Standar Deviasi	Kovarian %	Kontrol Kualitas
28	C1(8_288)	59.66	2.078	3.483	Istimewa
	C1(10_288)	49.80	2.453	4.926	Sangat Baik
	C2(8_291)	69.75	4.398	6.306	Baik
	C2(10_291)	50.08	1.809	3.611	Istimewa
	C3(8_317)	40.61	2.451	6.037	Baik
	C3(10_317)	39.86	1.060	2.660	Istimewa
	C4(10_323)	43.31	0.891	3.162	Istimewa
	C4(8_323)	49.28	2.281	4.628	Istimewa
21	C1(8_288)	57.64	2.919	5.064	Sangat Baik
	C1(10_288)	48.64	2.469	5.076	Sangat Baik
	C2(8_291)	61.62	1.613	2.618	Istimewa
	C2(10_291)	49.00	1.535	3.132	Istimewa
	C3(8_317)	40.55	1.611	3.972	Istimewa
	C3(10_317)	38.39	0.837	2.180	Istimewa
	C4(10_323)	42.14	1.634	3.878	Istimewa
	C4(8_323)	45.60	3.140	6.886	Baik
14	C1(8_288)	54.51	2.549	4.677	Sangat Baik
	C1(10_288)	46.08	2.823	6.126	Baik
	C2(8_291)	49.18	1.058	2.152	Istimewa
	C2(10_291)	47.08	1.326	2.816	Istimewa
	C3(8_317)	35.07	1.717	4.895	Sangat Baik
	C3(10_317)	27.99	0.457	1.634	Istimewa
	C4(10_323)	35.58	1.700	4.778	Sangat Baik
	C4(8_323)	40.50	1.754	4.331	Sangat Baik

Sambungan Tabel 4.30 Hasil uji kuat tekan dan kontrol kualitas pasta berbahan dasar clay Blitar GD 1

Umur (hari)	Kode benda uji	Rata-rata Total (mPa)	Standar Deviasi	Kovarian %	Kontrol Kualitas
7	C1(8_288)	38.27	0.718	1.876	Istimewa
	C1(10_288)	39.30	2.389	6.078	Baik
	C2(8_291)	47.03	1.427	3.035	Istimewa
	C2(10_291)	42.30	0.559	1.322	Istimewa
	C3(8_317)	30.57	1.566	5.121	Sangat Baik
	C3(10_317)	27.07	1.519	5.611	Sangat Baik
	C4(10_323)	34.98	0.559	1.599	Istimewa
	C4(8_323)	38.75	0.590	1.522	Istimewa
3	C1(8_288)	36.94	0.872	2.361	Istimewa
	C1(10_288)	34.71	1.933	5.569	Sangat Baik
	C2(8_291)	39.81	2.389	6.000	Baik
	C2(10_291)	34.71	1.115	3.211	Istimewa
	C3(8_317)	22.58	1.065	4.715	Sangat Baik
	C3(10_317)	24.52	1.148	4.683	Sangat Baik
	C4(10_323)	32.17	1.741	5.414	Sangat Baik
	C4(8_323)	34.71	2.129	6.132	Baik



Gambar 4.59 Grafik Kuat tekan pasta geopolime berbahan dasar Clay GD 1



Gambar 4.60 Grafik Kuat tekan pasta geopolime berbahan dasar Metakaolin

4.1.2.3 Analisa dan Pembahasan

Berdasarkan Tabel 4.56 dan Gambar 4.50, didapat bahwa campuran pasta metakaolin dengan kuat tekan tertinggi adalah campuran MK 2 (10_14) sedangkan untuk campuran clay tertinggi terjadi pada campuran C2(8_291), dapat dilihat Tabel 4.18, campuran C2(8_291) memiliki Si/Al sebesar 2.91, sedangkan perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ sebesar 1.01 dan rasio water/solid nya sebesar 0.29. Untuk pasta metakaolin dengan kode MK3 2 (10_14), dari Tabel 4.18, didapat Si/Al sebesar 1.4, sedangkan perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ sebesar 0.82 dan rasio water/solid nya sebesar 0.35.

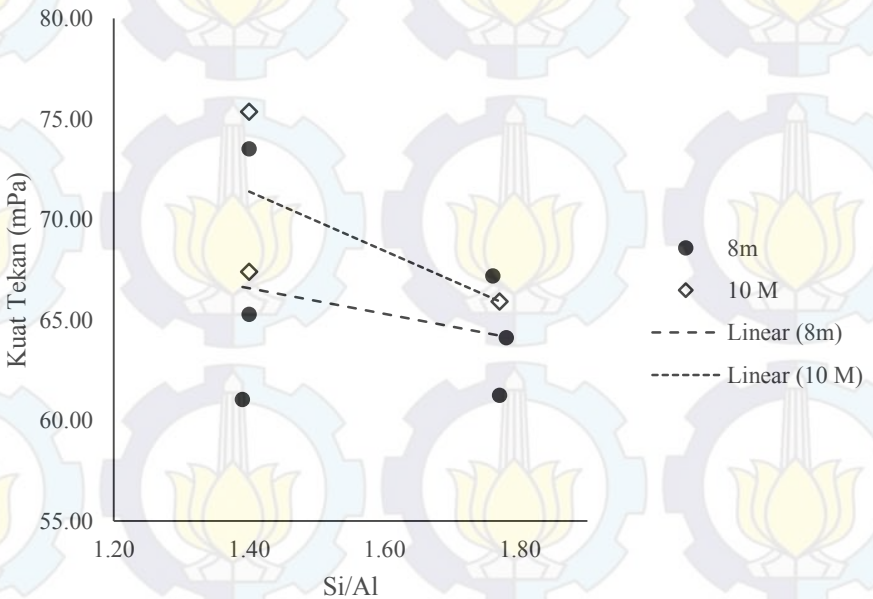
Berdasarkan penelitian Petter Duxson dkk (2007) perbandingan molar Si/Al > 1 , menghasilkan sifat mekanik geopolimer yang lebih baik. Namun hal tersebut tidak selalu berlaku, sebab sifat mekanik tersebut tidak hanya dipengaruhi oleh perbandingan molar Si/Al, perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ dan water/solid juga mempengaruhi sifat mekanik dari pasta geopolimer. Perbandingan molar $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ pada larutan alkali aktivator yang diharapkan untuk menghasilkan sifat mekanik yang baik adalah > 0.8 , hal ini disebabkan karena Na_2SiO_3 (Natrium Silikat) yang digunakan untuk membuat larutan alkali, tidak sepenuhnya reaktif jika perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} < 0.8$ (Rahrier dkk, 2003). Sedangkan efek dari water / solid sama seperti efek water/cement pada pasta berbahan dasar semen, semakin tinggi rasio water/cement maka semakin tinggi pori yang dihasilkan pada beton, sehingga sifat mekanik pasta berbahan dasar semen akan lebih buruk, terutama pada pengaruh kuat tekannya. Hal tersebut berlaku pula pada rasio water/solid dari pasta geopolimer berbahan dasar clay Blitar.

Berdasarkan tabel 4.55, 4.56, 4.17 dan 4.18, dapat digambarkan grafik hubungan antara kuat tekan dengan perbandingan molar Si/Al, $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$, dan water / solid. Untuk perbandingan Kuat tekan terhadap Si/Al untuk pasta clay GD 1 dan

130

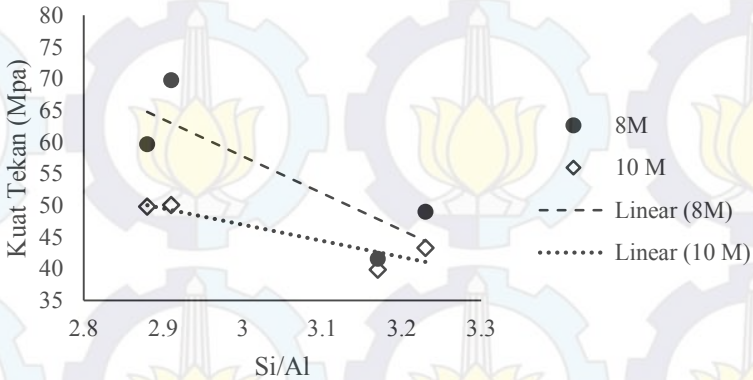
Metakaolin dapat dilihat pada Gambar 4.52 dan 4.53, kemudian untuk perbandingan Kuat tekan terhadap $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ dapat dilihat pada Gambar 4.54, 4.55, dan untuk Kuat tekan terhadap water/solid dapat dilihat pada Gambar 4.56 dan 4.57.

Pengaruh Si/Al terhadap Kuat tekan Pasta Metakaolin umur 28 hari



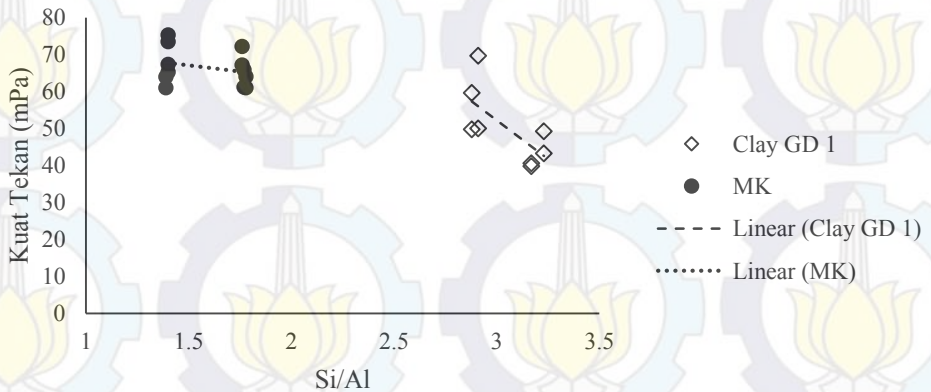
Gambar 4.61 Grafik Si/Al terhadap Kuat Tekan Pasta metakaolin 28 hari

Grafik Si/Al terhadap Kuat Tekan Pasta Clay GD 1 umur 28 hari



Gambar 4.62 Grafik Si/Al terhadap Kuat Tekan Pasta Clay GD 1 28 hari

Perbandingan Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1

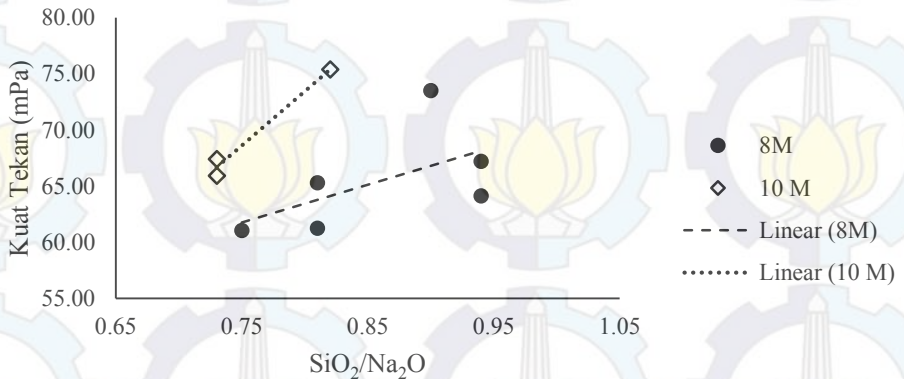


Gambar 4.63 Perbandingan Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1

Berdasarkan gambar 4.27 dapat dilihat bahwa kuat tekan dari Si/Al dengan range 2.88-2,91 jauh lebih baik dari Si/Al dengan range 3.19-3.23, sedangkan untuk Si/Al pada metakaolin, berdasarkan Gambar 4.52, kuat tekan pada Si/Al sebesar 1.39-1.4 jauh lebih baik dibandingkan Si/Al dengan range 1.76-1.77. Jika dilihat dari perbandingan kuat tekan pasta metakaolin dan clay GD 1 terhadap perbandingan Si/Al pada Gambar 4.58, terlihat bahwa kuat tekan metakaolin lebih baik dibanding dengan kuat tekan dari pasta clay GD 1, meskipun Si/Al dari clay GD 1 lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa Si/Al yang tinggi tidak menjamin kuat tekan yang tinggi, terdapat titik optimum dari perbandingan Si/Al yang untuk menghasilkan sifat mekanik pasta yang baik (P. D. Silva et. Al, 2007)

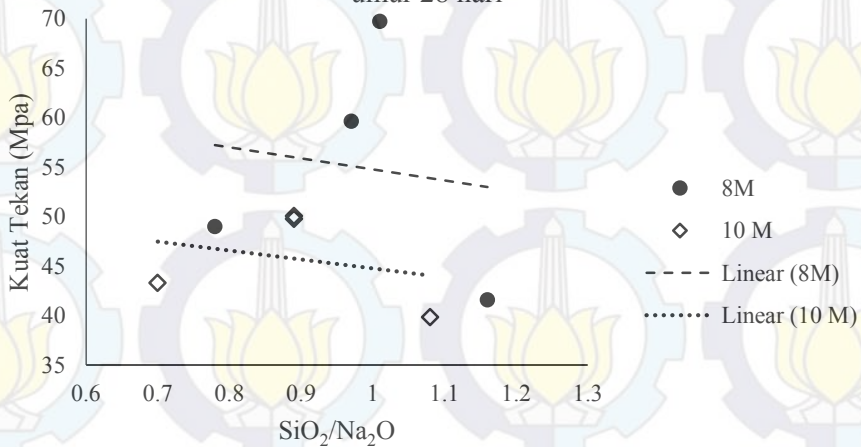
Selain perbandingan Si/Al pada pasta, perbandingan dari rasio water/solid dan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ memiliki pengaruh terhadap sifat mekanik dari pasta. Dari gambar 4.26 didapat campuran C2(8_291) memiliki kuat tekan tertinggi jika dibandingkan campuran C4(10_323) maupun C4(8_323). Selain perbandingan water/solid dan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$, penambahan *silica fume* kedalam mix desain juga berpengaruh kedalam peningkatan kuat tekan, hal tersebut dapat dilihat pada campuran MK 4, MK5, dan MK6, yang memiliki range Si/Al yang tinggi yaitu 1.76-1.77, begitu juga untuk clay GD 1 dengan Si/Al 3.14, menunjukkan bahwa kuat tekan dari campuran dengan *silica fume* tidak sebaik tanpa *silica fume*.

Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ Terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin umur 28 hari



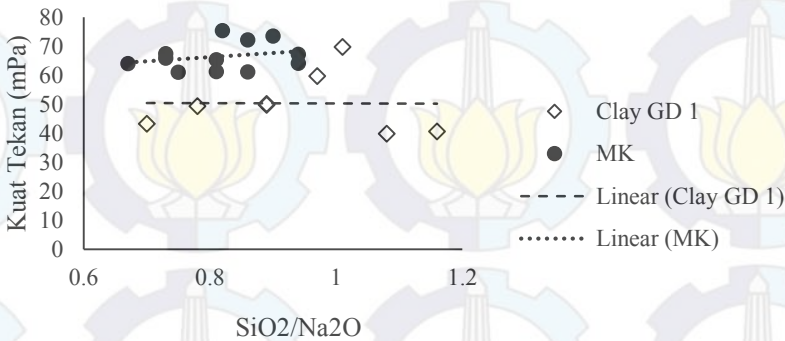
Gambar 4.64 Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ Terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin umur 28 hari

Grafik $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Pasta Clay GD 1 umur 28 hari



Gambar 4.65 Grafik $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Pasta Clay GD 1 umur 28 hari

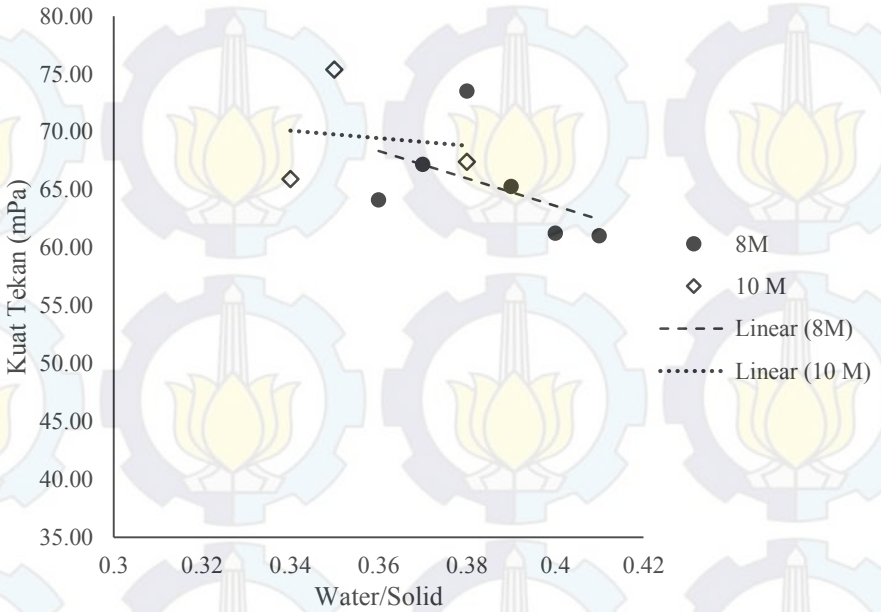
Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1



Gambar 4.66 Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1

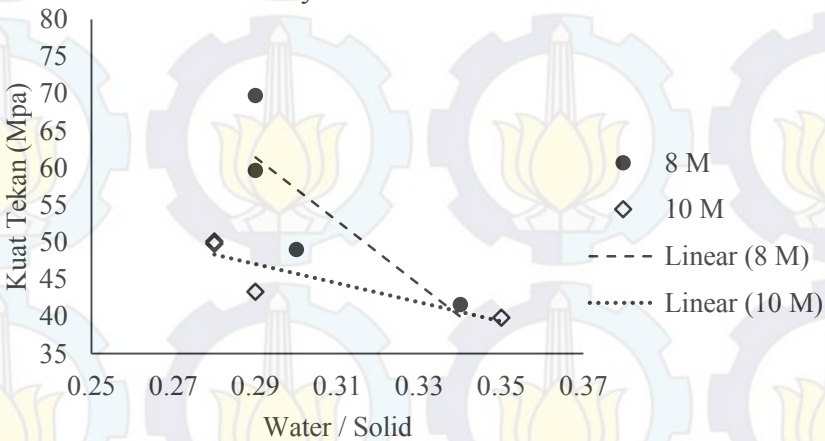
Berdasarkan gambar 4.54, terdapat kecenderungan kuat tekan pasta metakaolin mengalami kenaikan saat perbandingan molar $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ dalam larutan meningkat, sesuai dengan teori yang dikemukakan Rahrier dkk (2003). Namun, untuk pasta clay GD 1, dapat dilihat pada gambar 4.55, kuat tekan pasta cenderung turun seiring bertambahnya perbandingan molar $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ pada larutan alkali aktivator. Jika dilihat, campuran clay GD 1 C2(8_291) yang merupakan campuran dengan kuat tekan tertinggi memiliki perbandingan molar $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ tergolong cukup tinggi yaitu 1.01, namun bila di banding dengan campuran C4(10_323) maupun C4(8_323) yang memiliki perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ yang lebih tinggi yaitu 1.16 dan 1.08, kuat tekan dari campuran C4(10_323) maupun C4(8_323) termasuk paling rendah dibanding campuran yang lain.

Pengaruh Water/Solid Terhadap Kuat Tekan Pasta
Metakaolin umur 28 hari



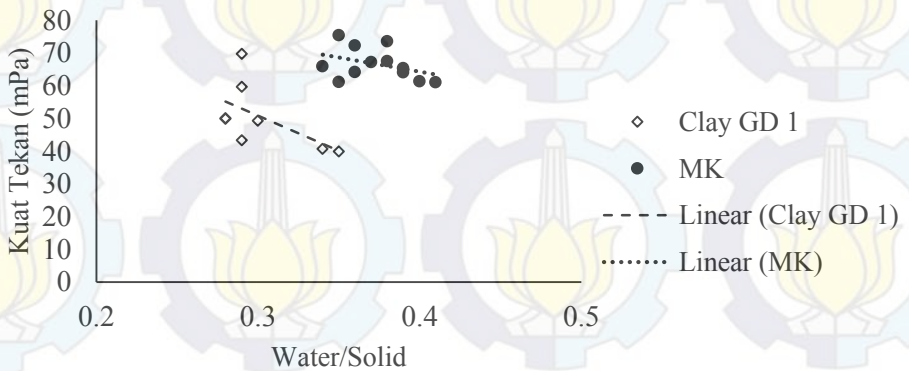
Gamba4.67 Pengaruh Water/Solid Terhadap Kuat Tekan Pasta
Metakaolin umur 28 hari

Pengaruh Water/Solid Terhadap Kuat Tekan Pasta Clay GD 1 umur 28 hari



Gambar 4.68 Pengaruh Water/Solid Terhadap Kuat Tekan Pasta Clay GD 1 umur 28 hari

Pengaruh Water/Solid terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1



Gambar 4.69 Pengaruh Water/Solid terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1

Berdasarkan gambar 4.56 dan 4.57, baik pada pasta metakaolin, ataupun pasta clay GD 1, dapat dilihat bahwa semakin tinggi perbandingan water/solid yang dimiliki, semakin menurun pula kuat tekannya, seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.

Namun, untuk pasta metakaolin, penurunan kuat tekan akibat perubahan water/solid tidak terlalu signifikan, berbeda dengan pasta clay GD 1, dapat dilihat pada Gambar 4.66 dan Gambar 4.67, penurunan kuat tekan pasta clay terjadi drastis ketika perbandingan water/solid bertambah. Jika melihat kembali perbandingan water / solid yang dimiliki campuran C3(10_317) maupun C3(8_317) yang memiliki kuat tekan paling kecil dibanding semua pasta clay, nilainya memang cukup tinggi dibanding campuran yang lain yaitu 0.34 dan 0.35, jauh lebih tinggi dibanding C2(8_291) yang hanya 0.29 dan hal tersebut sangat mempengaruhi kuat tekan dari pasta berbahan dasar clay GD 1, sebab sifat clay GD 1 yang sangat sensitif terhadap keberadaan air didalam campurannya, yang berefek pada persentase pori yang dimiliki oleh campuran clay. Hal tersebut, dapat dilihat dari hasil pengujian porositas, untuk mengetahui persentase pori yang dimiliki pada campuran clay GD1 pada subbab selanjutnya.

4.1.3 Tes Bakar

4.1.3.1 Tes Bakar Metakaolin

4.1.3.1.1 Hasil Tes Kuat Tekan Pasta Berbahan dasar metakaolin

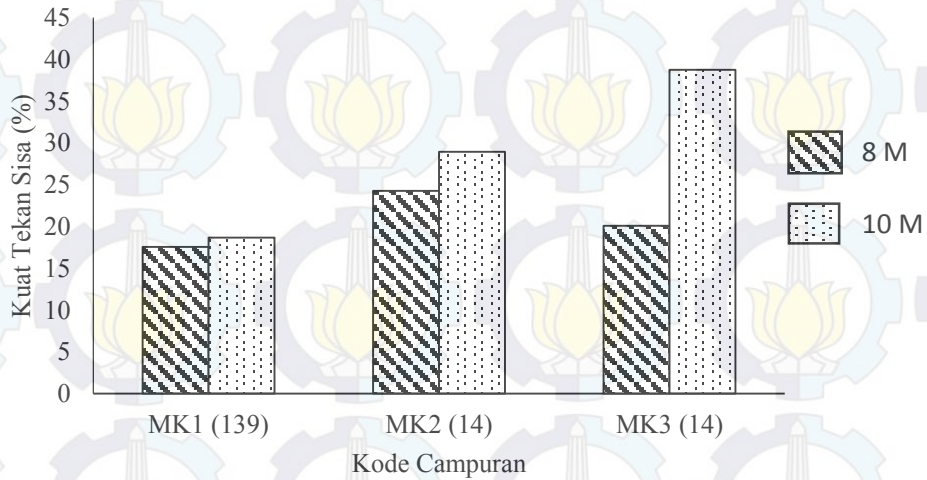
Tabel 4.31 Hasil tes kuat tekan pasca bakar 8M umur 28 hari

Kode Camp.	Rata-rata Total	Standar Deviasi	Kovarian %	Kontrol Kualitas
MK1 (8_139)	10.72	0.40	3.74	Istimewa
MK2 (8_14)	17.83	0.99	5.55	Sangat Baik
MK3 (8_14)	13.11	0.33	2.53	Istimewa
MK4 (8_177)	26.27	0.99	3.78	Istimewa
MK5 (8_178)	17.19	0.99	5.78	Baik
MK6 (8_176)	28.03	1.31	4.66	Istimewa
MK1 (10_139)	11.94	0.32	2.67	Istimewa
MK2 (10_14)	21.82	0.42	1.93	Istimewa
MK3 (10_14)	26.11	1.02	3.89	Istimewa
MK4 (10_177)	13.95	0.57	4.08	Istimewa
MK5 (10_178)	20.22	1.31	6.49	Baik
MK6 (10_176)	25.24	1.04	4.14	Istimewa

Tabel 4.32 Persen Kuat Tekan Sisa dan Persen Penurunan Berat Pasta Metakaolin Pasca Bakar

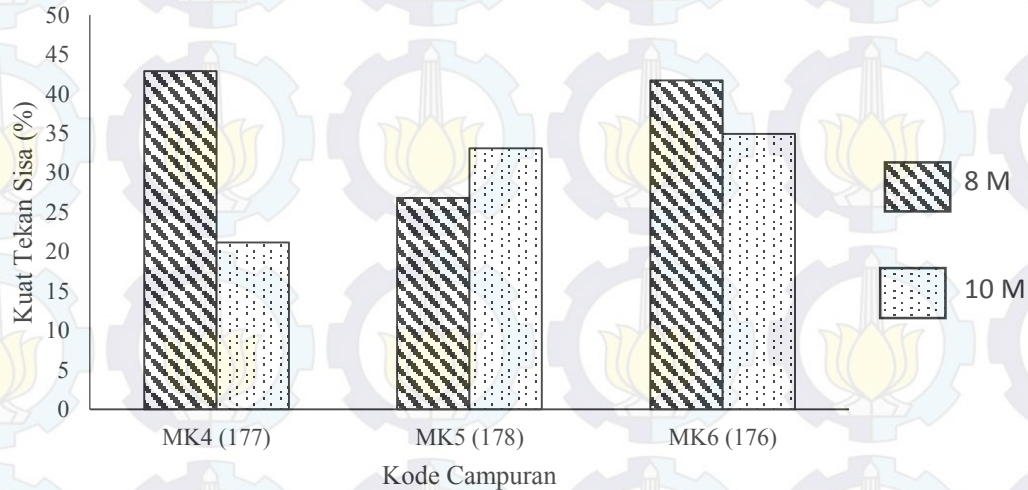
Umur	Kode benda uji	Kuat tekan Sebelum bakar	Kuat tekan Sesudah Bakar	% penurunan Kuat tekan	% Kuat Tekan Sisa	Berat Sebelum Bakar (gr)	Berat Sesudah Bakar (gr)	% penurunan berat
28 hari	MK1 (8_139)	61.04	10.72	82.43	17.57	21.58	16.50	23.54
	MK2 (8_14)	73.51	17.83	75.74	24.26	21.62	16.45	23.90
	MK3 (8_14)	65.29	13.11	79.92	20.08	22.64	17.56	22.44
	MK4 (8_177)	61.25	26.27	57.11	42.89	22.58	17.28	23.47
	MK5 (8_178)	64.12	17.20	73.18	26.82	22.98	17.92	22.04
	MK6 (8_176)	67.20	28.03	58.29	41.71	22.83	17.70	22.48
	MK1 (10_14)	64.01	11.94	81.34	18.66	22.28	16.6	25.49
	MK2 (10_14)	75.37	21.82	71.06	28.94	23.65	18.8	20.51
	MK3 (10_14)	67.41	26.11	61.26	38.74	23.88	18.44	22.78
	MK4 (10_177)	65.92	13.95	78.84	21.16	22.28	17.23	22.67
	MK5 (10_178)	61.09	20.22	66.90	33.10	22.90	17.97	21.54
	MK6 (10_176)	72.21	25.24	65.05	34.95	23.30	18.22	21.82

Perbandingan Kuat Tekan Sisa Pasca Bakar Pasta
Metakaolin 8M dan 10 M (Tanpa *Silica Fume*)



Gambar 4.70 Perbandingan Kuat Tekan Sisa Pasta Metakaolin 8M dan 10 M (Tanpa *Silica Fume*)

Perbandingan Kuat Tekan Sisa Pasca Bakar Pasta Metakaolin 8M dan 10 M (Dengan *Silica Fume*)



Gambar 4.71 Perbandingan Kuat Tekan Sisa Pasca Bakar Pasta Metakaolin 8M dan 10 M (Tanpa *Silica Fume*)

4.1.3.2 Tes Bakar Clay GD 1

4.1.3.2.1 Hasil Tes Kuat Tekan Pasta Berbahan dasar clay GD 1

Tabel 4.33 Hasil tes kuat tekan pasta clay GD 1 pasca bakar

Umur	Kode benda uji	Rata-rata Total	Standar Deviasi	Kovarian %	Kontrol Kualitas
28 hari	C1(8_288)	42.04	1.82	4.32	Istimewa
	C1(10_288)	32.40	0.99	3.04	Istimewa
	C2(8_291)	50.96	2.76	5.41	Sangat Baik
	C2(10_291)	33.65	1.63	4.86	Sangat Baik
	C3(8_317)	3.32	0.19	5.78	Baik
	C3(10_317)	1.59	0.09	5.88	Baik
	C4(10_323)	28.18	0.89	3.16	Istimewa
	C4(8_323)	26.27	1.13	4.29	Istimewa

Tabel 4.34 Persen Kuat Tekan Sisa dan Persen Penurunan Berat Pasta Metakaolin Pasca Bakar

Umur (hari)	Kode benda uji	Kuat tekan Sebelum bakar	Kuat tekan Sesudah Bakar	% Kuat tekan sisa	Berat Sebelum Bakar (gr)	Berat Sesudah Bakar (gr)	% penurunan berat
28	C1(8_288)	59.66	42.04	70.46	24.98	19.96	20.10
	C2(8_291)	69.75	50.96	73.06	25.40	19.80	22.04
	C3(8_317)	40.61	3.32	8.18	24.86	16.18	34.04
	C4(8_323)	49.28	26.27	53.31	24.48	19.45	19.52
	C1(10_288)	49.80	32.40	65.07	24.86	19.96	19.71
	C2(10_291)	50.08	33.65	67.20	25.20	20.30	19.45
	C3(10_317)	39.86	1.59	3.98	24.54	17.20	30.83
	C4(10_323)	43.31	28.18	65.07	25.20	20.28	19.52

144

Kuat Tekan Pasta Clay GD 1 pasca bakar

60.00

50.00

40.00

30.00

20.00

10.00

0.00

- Clay tanpa SF
- Clay Dengan SF

C1(8_288)

C1(10_288)

C2(8_291)

C2(10_291)

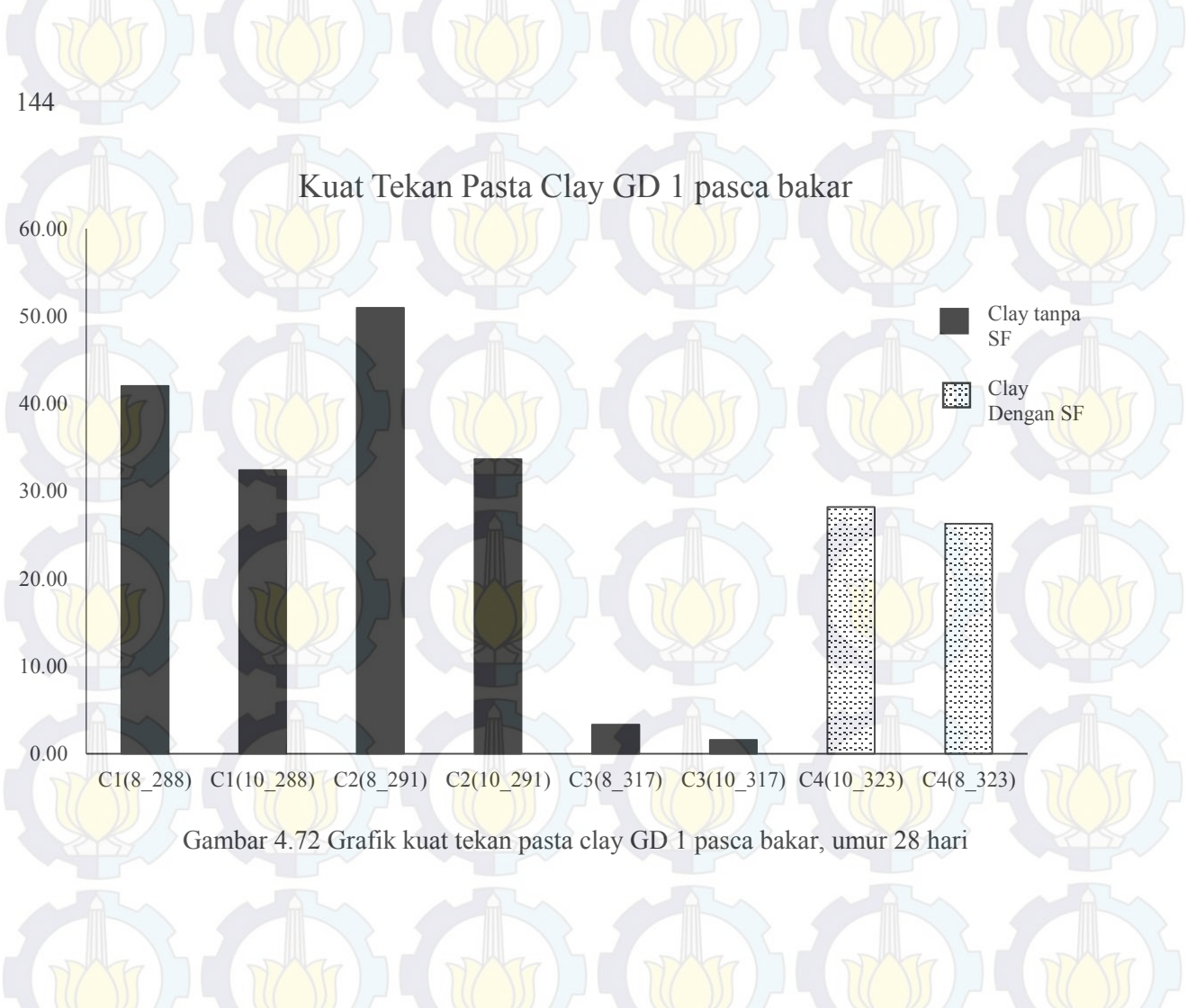
C3(8_317)

C3(10_317)

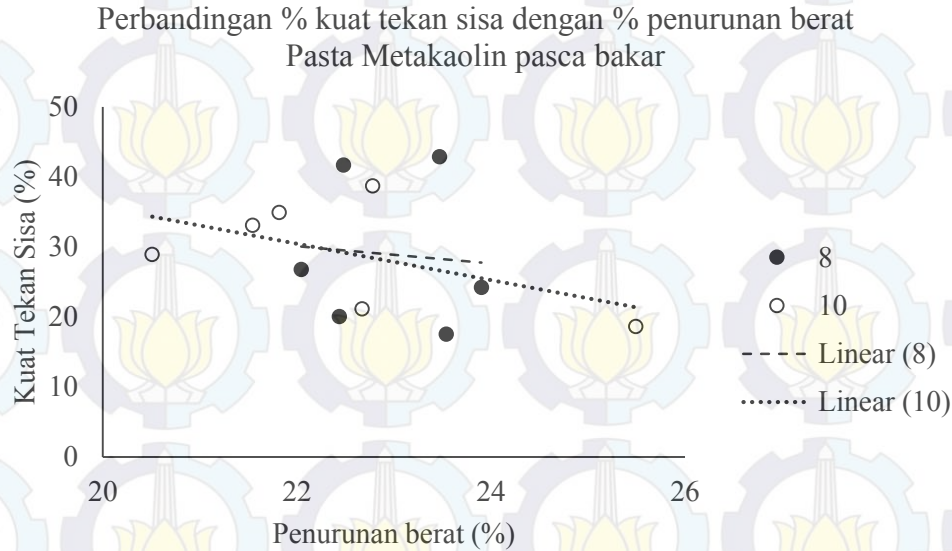
C4(10_323)

C4(8_323)

Gambar 4.72 Grafik kuat tekan pasta clay GD 1 pasca bakar, umur 28 hari

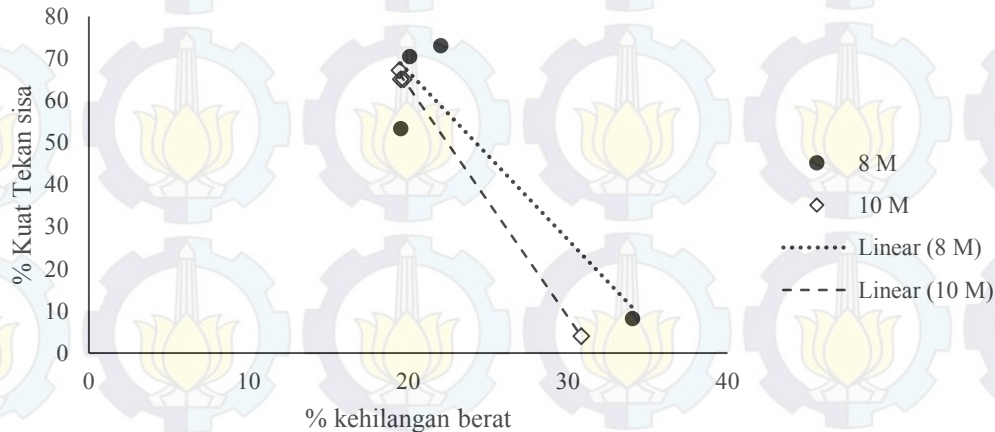


Berdasarkan Tabel 4.59, 4.62, dapat dibuat grafik perbandingan % Kuat tekan sisa terhadap % berat sisa pasca bakar seperti pada Gambar 4.61



Gambar 4.73 Perbandingan % kuat tekan sisa dengan % penurunan berat pasta Metakaolin pasca bakar

Perbandingan % Kuat Tekan Sisa terhadap % Penurunan Berat
Pasta Clay GD1 pasca Bakar



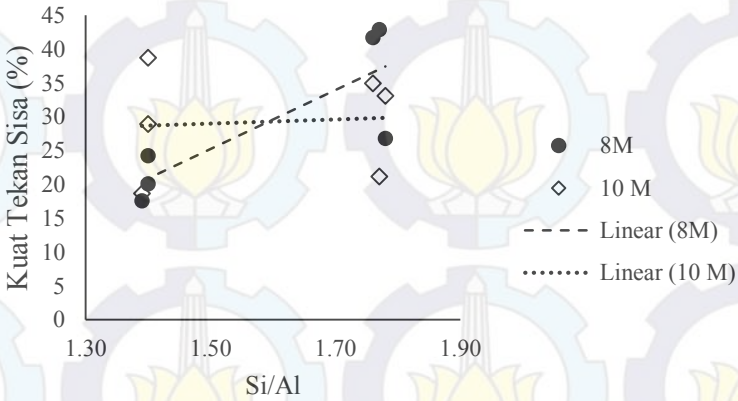
Gambar 4.74 Perbandingan % Kuat Tekan Sisa terhadap % Penurunan Berat pasta Clay GD 1 pasca bakar

4.1.3.3 Analisa Tes Bakar

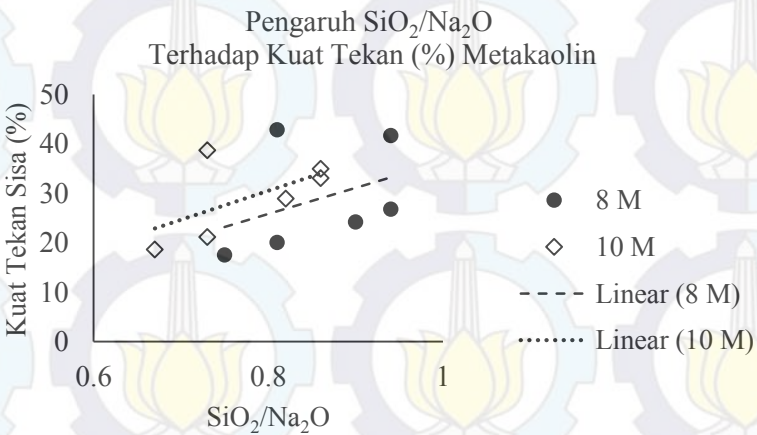
Berdasarkan Tabel 4.54 dan 4.57, dapat dilihat bahwa kehilangan kuat tekan yang dialami oleh metakaolin lebih besar daripada clay GD1. Namun untuk Clay kode C3, tetap memiliki kuat tekan sisa yang paling rendah jika dibandingkan metakaolin dan campuran clay lainnya. Kemudian dari Gambar 4.62 dan 4.63, baik metakaolin maupun clay GD1 mengalami penurunan kuat tekan seiring berkurangnya berat benda uji akibat pembakaran. Berdasarkan Peter Duxson dkk (2007) pembakaran pada suhu diatas 350°C merupakan pembakaran pada region III, yang berarti benda uji mengalami kehilangan berat dan juga mengalami retak thermal yang berefek pada penurunan kuat tekan dari benda uji.

Pengaruh Si/Al, water/solid dan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap ketahanan bakar untuk material clay GD1 dan Metakaolin dapat dilihat pada gambar 4.58 sampai 4.63.

Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Sisa (%)
Metakaolin

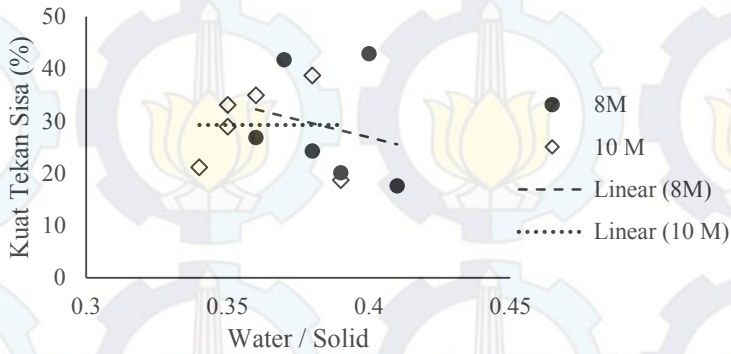


Gambar 4.75 Grafik Pengaruh Si/Al terhadap kuat tekan sisa (%) Pasca bakar metakaolin.



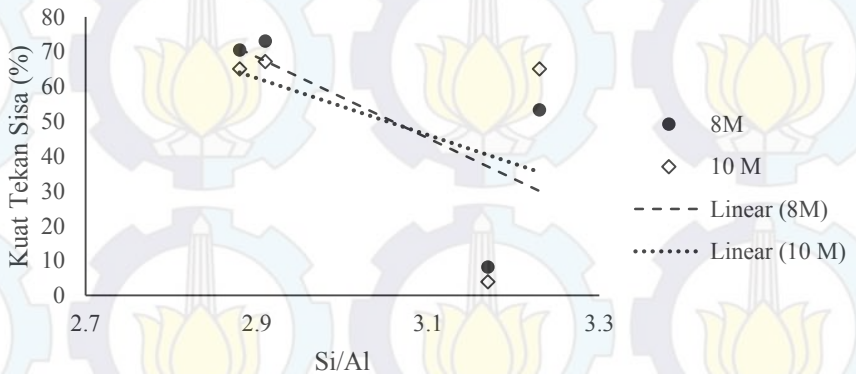
Gambar 4.76 Pengaruh SiO₂/Na₂O terhadap kuat tekan sisa (%) pasca bakar metakaoli

Pengaruh Water / Solid Terhadap Kuat Tekan (%) Metakaolin



Gambar 4.77 Grafik Pengaruh Water/Solid terhadap kuat tekan sisa (%) pasca bakar metakaolin

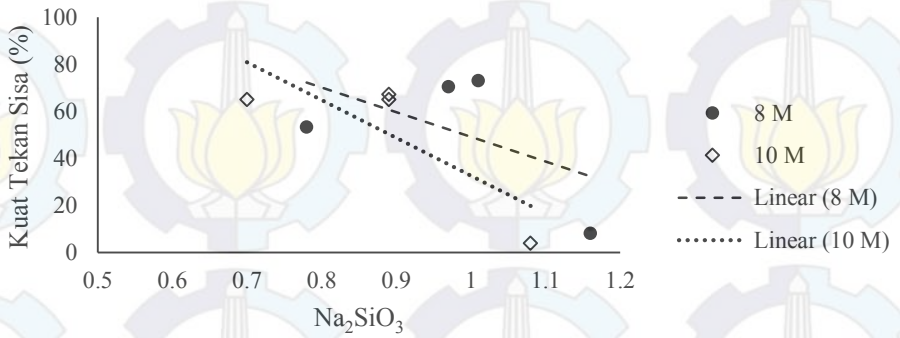
Pengaruh Si/Al terhadap % kuat tekan sisa pasta Clay GD 1 pasca bakar



Gambar 4.78 Grafik Pengaruh Si/Al terhadap % kuat tekan pasta Clay GD 1 pasca bakar

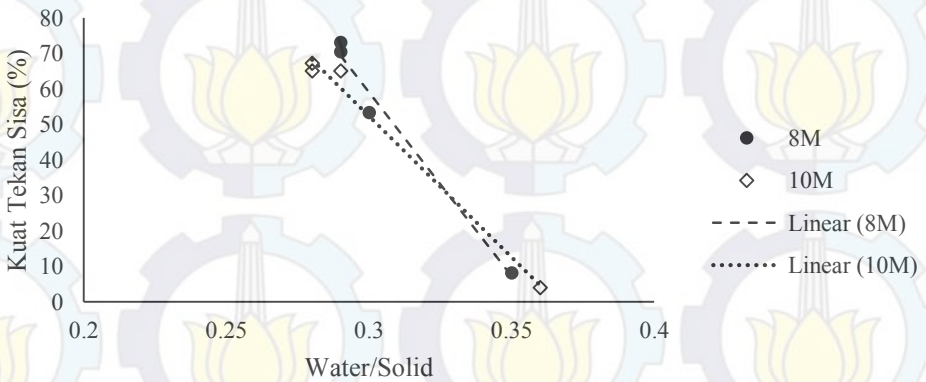
150

Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap % kuat tekan pasta Clay GD 1 pascabakar



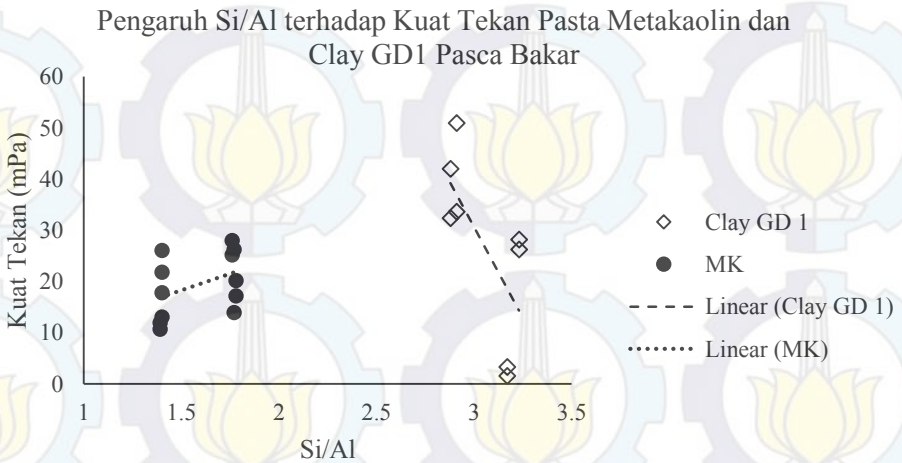
Gambar 4.79 Grafik Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap kuat tekan pasta Clay GD 1 pascabakar

Pengaruh Water/Solid terhadap % kuat tekan sisa pasta Clay GD 1 pascabakar



Gambar 4.80 Grafik Pengaruh Water/Solid terhadap kuat tekan pasta Clay GD 1 pascabakar

Berdasarkan Grafik 4.59, menunjukkan kecenderungan semakin tinggi perbandingan Si/Al, maka semakin baik ketahanannya terhadap bakar, hal ini terlihat dari kuat tekan yang lebih baik saat Si/Al yang tinggi setelah mengalami pembakaran. Namun pada material clay GD 1, berdasarkan grafik 4.61 terlihat kecenderungan ketika Si/Al tinggi, kuat tekan cenderung turun. Pada Gambar 4.74, dapat dilihat perbandingan dari kuat tekan pasca bakar pasta metakaolin dan clay GD 1 terhadap perbandingan molar Si/Al.

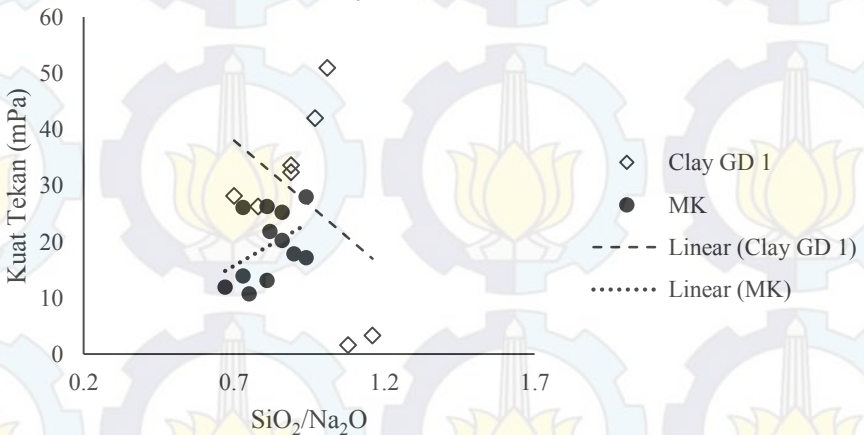


Gambar 4.81 Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1 Pasca Bakar

Sedangkan untuk efek dari peningkatan perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ dapat dilihat pada grafik 4.69, semakin tinggi $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ maka kecenderungan kuat tekan pasta metakaolin pasca bakar lebih tinggi, sehingga terlihat bahwa ketahanan bakar pasta metakaolin dengan perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ tinggi lebih baik. Namun hal tersebut tidak terjadi pada pasta

berbahan dasar clay GD 1, berdasarkan grafik 4.62, terlihat kecenderungan kuat tekan pasca bakar dengan perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ tinggi berefek pada kuat tekan pasta yang menurun. Adapun perbandingan kuat tekan pasca bakar metakaolin dan clay GD 1 terhadap perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ dapat dilihat pada Gambar 4.75.

Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1 Pasca Bakar

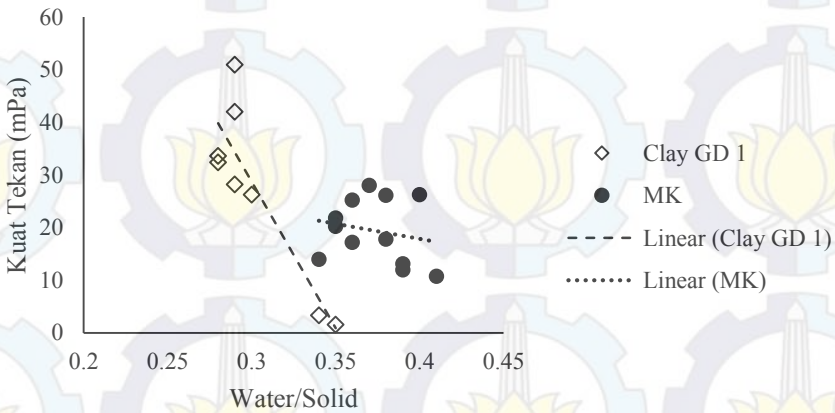


Gambar 4.82 Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1 Pasca Bakar.

Keanehan yang terjadi pada clay GD 1 dikarenakan campuran clay C3 mengalami penurunan kuat tekan yang drastis, yang mengakibatkan tredline kuat tekan cenderung turun meskipun perbandingan Si/Al dan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ tinggi. Jika dilihat, campuran clay C3 memiliki water/solid yang paling tinggi diantara campuran lainnya, sehingga pada grafik 4.73 dapat dilihat bahwa kuat tekan pasta clay GD 1 mengalami penurunan drastis saat water/solid nya tinggi, selain itu penurunan kuat tekan pasca bakar akibat

peningkatan perbandingan water/solid juga terjadi pada pasta metakaolin seperti pada Gambar 4.65, namun penurunan yang terjadi tidak sedrastis pasta dengan bahan dasar clay GD . Berikut dapat dilihat perbandingan kuat tekan pasta metakaolin dan clay GD 1 pasca bakar, terhadap rasio water/solidnya pada Gambar 4.77.

Perbandingan Pengaruh Water/Solid terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1 Pasca Bakar



Gambar 4.83 Perbandingan Pengaruh Water/Solid terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1 Pasca Bakar.

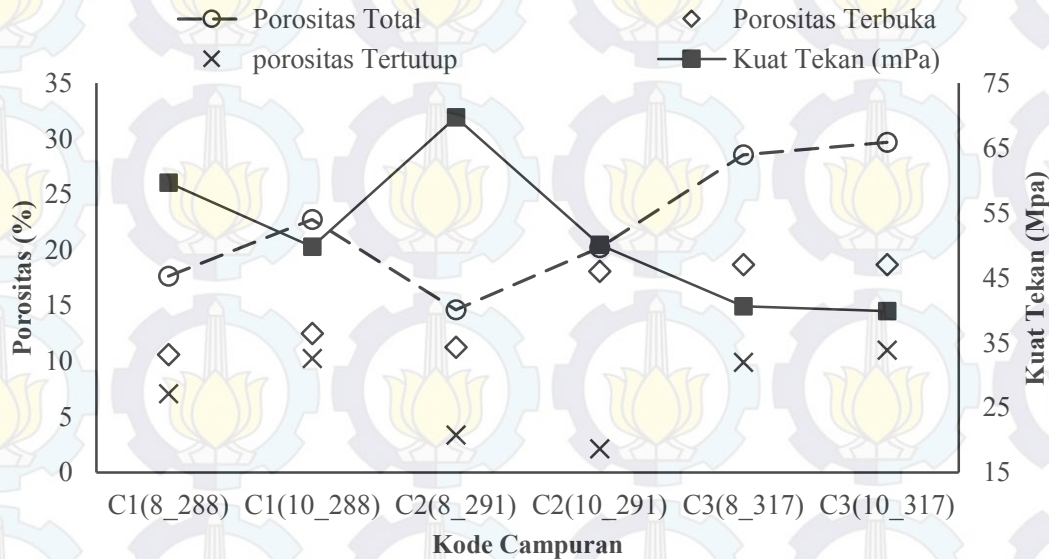
4.1.4 Tes Porositas

Analisa porositas hanya dilakukan pada campuran pasta berbahan dasar clay GD 1, hal tersebut dikarenakan sifat material clay yang sensitif terhadap air sehingga berdampak pada kuat tekannya. Campuran yang diuji hanya campuran C1, C2 dan C3, sedangkan campuran C4 tidak diujikan karena dalam komposisinya terdapat penambahan silica fume. Pada Tabel 4.67 dapat dilihat hasil pengujian porositas pada pasta berbahan dasar clay

Tabel 4.35 Hasil Pengujian Porositas Clay

Kode Benda Uji	C1(8 288)	C1(10 288)	C2(8 291)	C2(10 291)	C3(8 317)	C3(10 317)
Berat Dalam Air (Ma)	9.5	9.4	9.6	9.8	9.1	9.3
berat SSD (Mh)	18	18.2	18.5	19.2	18.2	18.4
berat Kering oven (Mo)	17.1	17.1	17.5	17.5	16.5	16.7
Berat kering halus (mo)	17.3	17.3	17.9	17.8	16.8	16.9
volume (v)	7	6.8	7.6	7.5	6.5	6.4
kerapatan absolut ®	2.44	2.51	2.30	2.33	2.54	2.61
kerapatan visual (a)	2.01	1.94	1.97	1.86	1.81	1.84
porositas terbuka (%)	10.59	12.50	11.24	18.09	18.68	18.68
porositas total (%)	17.65	22.73	14.61	20.21	28.57	29.67
porositas tertutup (%)	7.06	10.23	3.37	2.13	9.89	10.99

Berdasarkan Tabel 4.35, dapat dibuat grafik hubungan antara kuat tekan sebelum bakar dan pasca bakar, terhadap % porositas yang dapat dilihat pada Gambar 4.83.



Gambar 4,84 Perbandingan % Porositas Total Terhadap Kuat Tekan Clay GD 1

Pengujian porositas juga dilakukan pada pasta clay dan metakaolin pasca bakar. Hal ini dilakukan untuk melihat dan membandingkan kandungan pori dari pasta-pasta tersebut pasca bakar. Hasil pengujian porositas pada masing-masing pasta dapat dilihat pada Tabel 4.36, Tabel 4.37, dan Tabel 4.38

Tabel 4.36 Hasil Pengujian Porositas Clay Pasca Bakar

Kode Benda Uji	C1(8 288)	C1(10 288)	C2(8 291)	C2(10 291)	C3(8 317)	C3(10 317)
Berat Dalam Air (Ma)	9.5	9	9.5	9.45	7.3	7
berat SSD (Mh)	18.6	18.6	18.7	20	20.1	20.6
berat Kering oven (Mo)	17	16.8	17.8	17.6	17.4	17.8
Berat kering halus (mo)	17.1	16.9	18	17.9	17.6	18
volume (v)	6.6	6.4	7.2	7.3	6.1	6.1
kerapatan absolut ®	2.58	2.63	2.47	2.41	2.85	2.92
kerapatan visual (a)	1.87	1.75	1.93	1.67	1.36	1.31
porositas terbuka (%)	17.58	18.75	9.78	22.75	21.09	20.59
porositas total (%)	27.47	33.33	21.74	30.81	52.34	55.15
porositas tertutup (%)	9.89	14.58	11.96	8.06	31.25	34.56

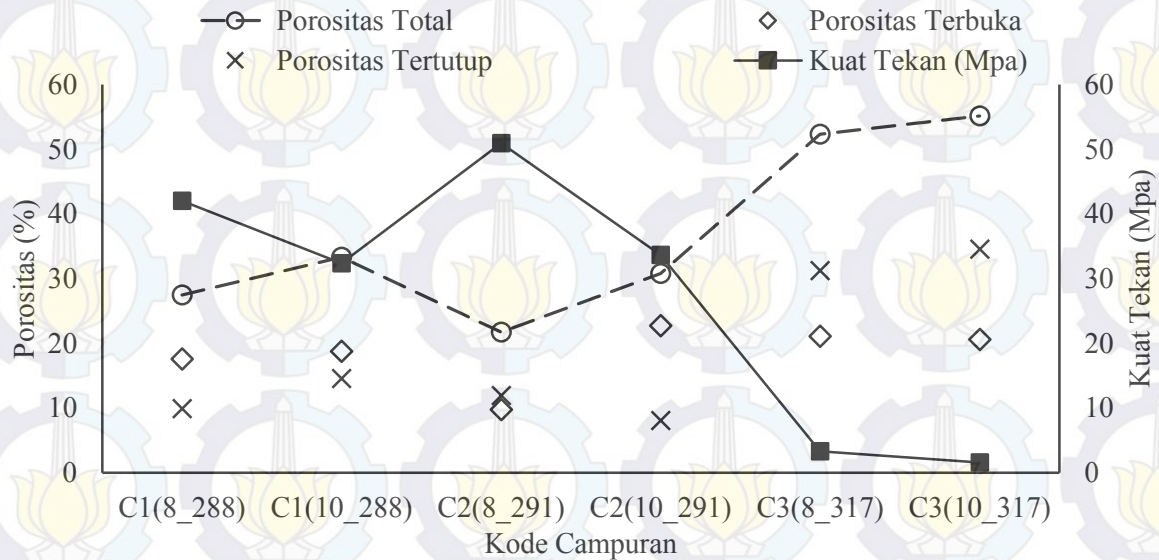
Tabel 4.37 Hasil Pengujian Porositas Metakaolin 8M Pasca Bakar

Kode Benda Uji	MK1 (8 139)	MK2 (8 14)	MK3 (8 14)	MK4 (8 177)	MK5 (8 178)	MK6 (8 176)
Berat Dalam Air (Ma)	9.5	8.5	9.7	10	9	8
berat SSD (Mh)	25.5	24.1	25	24.3	24.5	22.7
berat Kering oven (Mo)	22.5	21.7	23.7	22.9	21.7	21.1
Berat kering halus (mo)	22.8	21.8	23.9	23	22	21.2
volume (v)	8.5	9.1	8.6	9.1	8.9	9.5
kerapatan absolut ®	2.65	2.38	2.76	2.52	2.44	2.22
kerapatan visual (a)	1.41	1.39	1.55	1.60	1.40	1.44
porositas terbuka (%)	18.75	15.38	8.50	9.79	18.06	10.88
porositas total (%)	46.88	41.67	43.79	36.36	42.58	35.37
porositas tertutup (%)	28.13	26.28	35.29	26.57	24.52	24.49

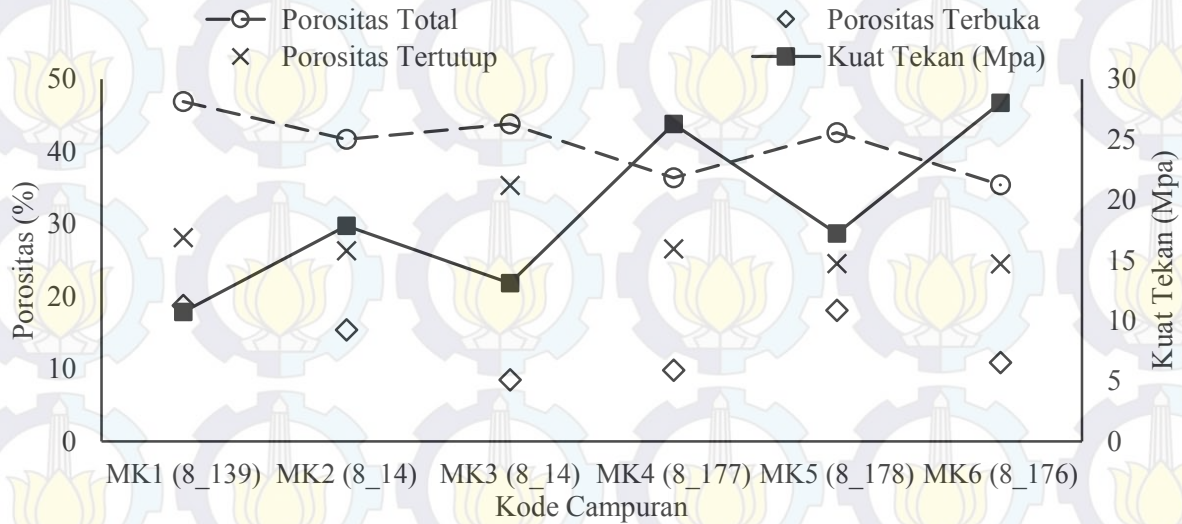
Tabel 4.38 Hasil Pengujian Porositas Metakaolin 10M Pasca Bakar

Kode Benda Uji	MK1 (10 139)	MK2 (10 14)	MK3 (10 14)	MK4 (10 177)	MK5 (10 178)	MK6 (10 176)
Berat Dalam Air (Ma)	10.1	10.5	10.5	10.2	10.5	11.3
berat SSD (Mh)	26	25.8	24.8	26	25.8	25.6
berat Kering oven (Mo)	25	22.9	22.3	23.7	23.3	23
Berat kering halus (mo)	25.1	23.1	22.5	23.8	23.7	23.5
volume (v)	8.8	9.2	9.2	9	9.1	8.8
kerapatan absolut ®	2.84	2.49	2.42	2.63	2.56	2.61
kerapatan visual (a)	1.57	1.50	1.56	1.50	1.52	1.61
porositas terbuka (%)	6.29	18.95	17.48	14.56	16.34	18.18
porositas total (%)	44.65	39.87	35.66	43.04	40.52	38.46
porositas tertutup (%)	38.36	20.92	18.18	28.48	24.18	20.28

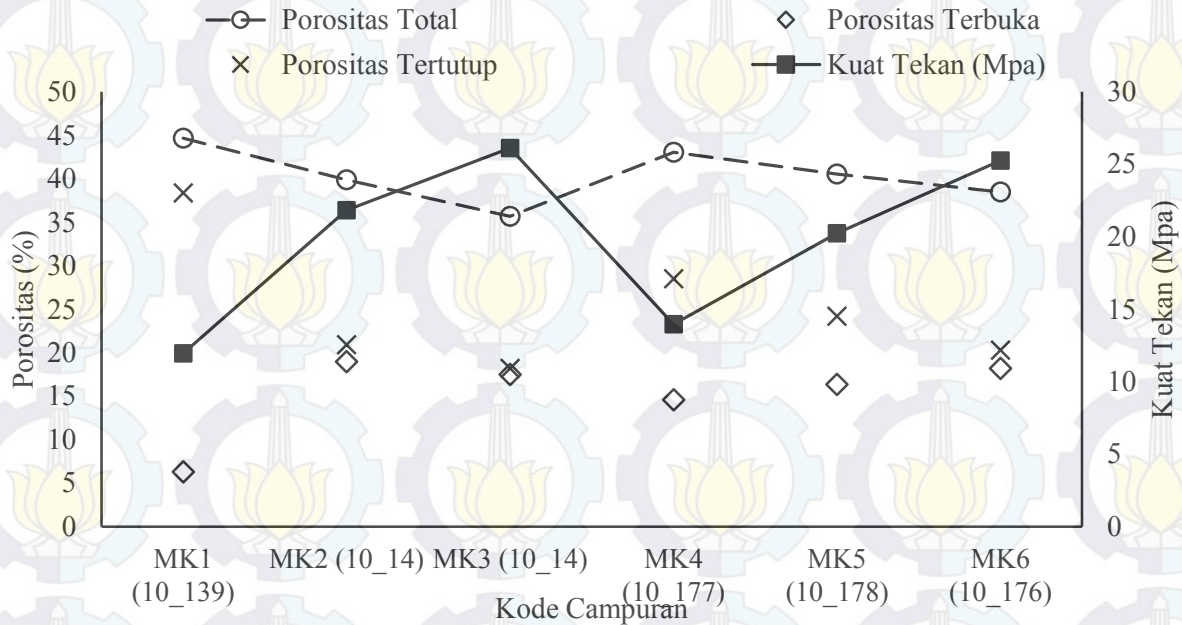
Berdasarkan Tabel 4.36, 4.37, dan 4.38, dapat dibuat grafik hubungan antara kuat tekan sebelum bakar dan pasca bakar, terhadap % porositas yang dapat dilihat pada Gambar 4.84, 4.85, dan 4.86.



Gambar4.85 Perbandingan % Porositas Total Terhadap Kuat Tekan Clay GD 1 Pasca Bakar Umur 28 hari



Gambar 4.86 Perbandingan % Porositas Total Terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin 8M Pasca Bakar umur 28 hari



Gambar 4.87 Perbandingan % Porositas Total Terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin 10 M Pasca Bakar umur 28 hari

4.1.4.1 Analisa Porositas

Dari Gambar 4.69 dan 4.70, dapat dilihat bahwa semakin tinggi persen porositas total, maka semakin berkurang kuat tekan pasta. Berdasarkan Tabel 4.66 dapat dilihat bahwa campuran C3 memiliki % porositas total terbanyak yaitu 28.57% dan 29.67% . Hal ini juga menunjukkan bahwa pori yang ada di dalam campuran C3 paling banyak dibanding C1 dan C2. Berdasarkan Tabel 4.19, dapat dilihat bahwa perbandingan water/solid dari campuran adalah 0.34 dan 0.35, yang merupakan perbandingan tertinggi pada campuran pasta clay GD1. Tingginya perbandingan water/solid menunjukkan tingginya kandungan air dalam binder, yang menyebabkan pori pada campuran C3 menjadi banyak dan berdampak pada kuat tekannya sebelum bakar maupun pasca bakar.

Sedangkan untuk porositas total pasca bakar, clay GD 1 mengalami peningkatan yang tidak terlalu signifikan. Hal tersebut berdampak pada kuat tekan pasta clay yang tidak terlalu jauh dibanding clay sebelum bakar. Sedangkan untuk pasta metakaolin pasca bakar, porositas totalnya sangat besar. Hal ini berdampak pada menurunnya kuat tekan metakaolin secara drastis setelah mengalami kalsinasi. Hal ini disebabkan karena Si/Al yang dimiliki oleh clay GD 1 lebih tinggi dibandingkan metakaolin. Tingginya Si/Al menghasilkan polimer jenis polysialate (siloxo) yang memiliki struktur yang lebih rapat sehingga ketahanan terhadap bakar yang dimiliki lebih baik (P. De Silva, 2007). Selain itu perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ yang dimiliki oleh clay GD rata-rata diatas 0.8, sehingga jumlah sodium alumino silicate dalam larutan aktivator yang mengalami pengkristalan lebih sedikit dibanding metakaolin (Rahrier, 2003). Tingginya Kristal oksida yang terbentuk tersebut akan berefek pada retak dan porositas ada pasta pasca bakar.

4.1.5 Uji Reaktivty

Tabel 4.39 Hasil kuat tekan uji reactivity

Jenis Material	nomer	berat (gr)	kuat tekan		Rata-rata (mPa)
			kgf	mPa	
Clay GD 1	1	370	130	0.65	0.76
	2	387	120	0.60	
	3	402	160	0.80	
	4	417	195	0.98	
Clay GD 2	1	370	30	0.15	0.17
	2	360	20	0.10	
	3	382	50	0.25	
	4	377	35	0.18	
Metakaolin	1	355	70	0.35	0.47
	2	365	95	0.48	
	3	364	80	0.40	
	4	349	130	0.65	

4.1.5.1 Analisa Uji reactivity

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan yang dijabarkan pada tabel 4.58, dapat dilihat bahwa kuat tekan dari uji reactivity yang dimiliki material Clay GD 1 paling tinggi dibanding material lainnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa Clay GD 1 merupakan material yang paling reaktif. Dan dari pengujian ini bisa dilihat bahwa kemampuan dari clay GD 2 sangat kecil, yaitu 0.17 mPa, hal tersebut menunjukkan bahwa material tersebut tidak reaktif jika dibandingkan metakaolin dan clay GD 1 sehingga dapat menjawab pertanyaan dari material clay GD 2 yang tidak bisa mengeras (setting) meskipun telah dibakar di suhu 700°C.

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

4.1 Umum

Dalam bab ini akan dijelaskan hasil dari seluruh percobaan yang telah dilakukan di laboratorium untuk kemudian dianalisa dan ditarik kesimpulan. Hasil percobaan meliputi hasil uji material, dan hasil uji pasta geopolimer. Untuk memudahkan dalam menganalisa, data-data hasil pengujian dan analisis akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Secara keseluruhan spesifikasi material yang digunakan dalam pembuatan pasta geopolimer ini antara lain :

1. Kaolin
2. NaOH
3. Silica Fume
4. Sodium Silikat (*water glass*)
5. Aquades.

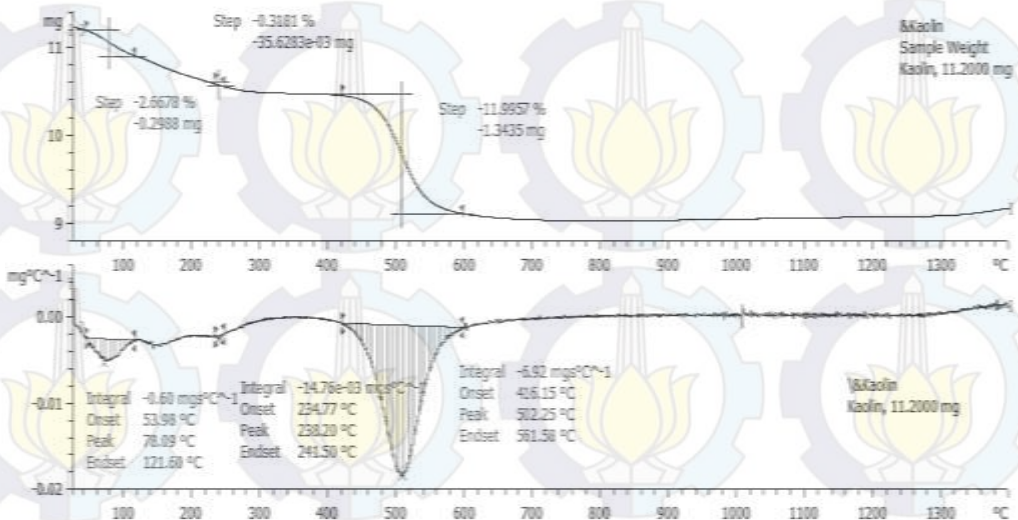
4.2 Data Hasil Analisa Material

Analisa material dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat fisik dan kimia dari material yang digunakan. Meliputi percobaan tes berat jenis yang berfungsi untuk mengetahui sifat fisik, tes XRD dan AAS atau XRF yang berfungsi untuk mengetahui sifat kimia material melalui kandungan kimianya, serta tes TGA / DTA untuk mengetahui suhu pembakaran optimum dari masing-masing material.

4.2.1 Analisa Kaolin dan Metakaolin

4.2.1.1 Analisa TGA / DTA kaolin dan metakaolin Bangka Belitung

Analisa TGA/DTA dilakukan untuk mengetahui suhu dehidrosilasi yang tepat pada kaolin Bangka Belitung dan Clay Blitar. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 4.1 TGA / DTA untuk kaolin Bangka, Gambar 4.2 TGA / DTA untuk Clay Blitar GD1, dan Gambar 4.3 untuk clay Blitar GD2

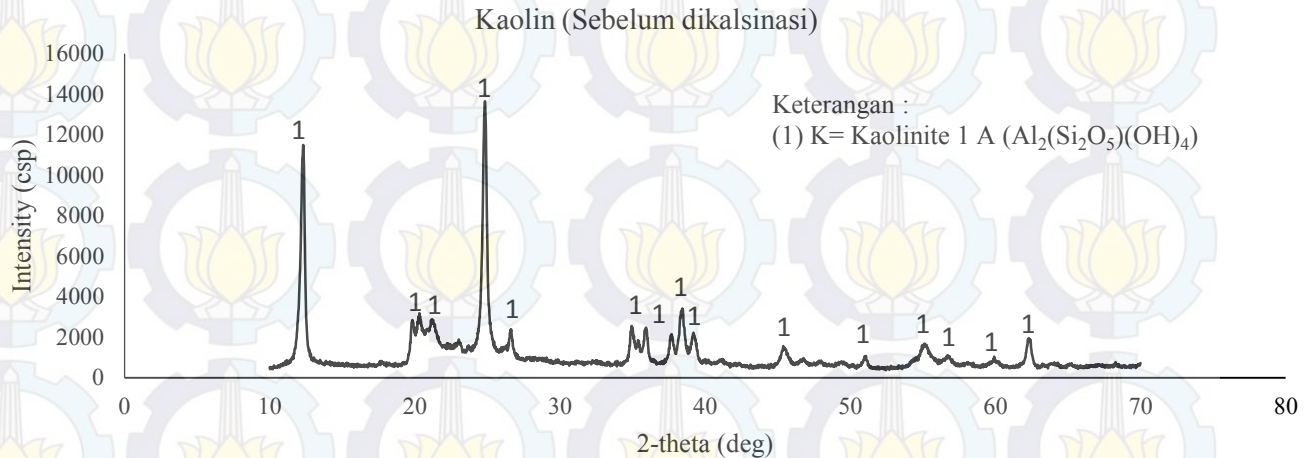


Gambar 4.1 Grafik analisa hasil TGA / DTA kaolin Bangka

Dari Gambar 4.1 didapatkan bahwa suhu optimum yang disarankan untuk material kaolin Bangka mengalami dehidrosilasi berada di kisaran 400°C-600°C.

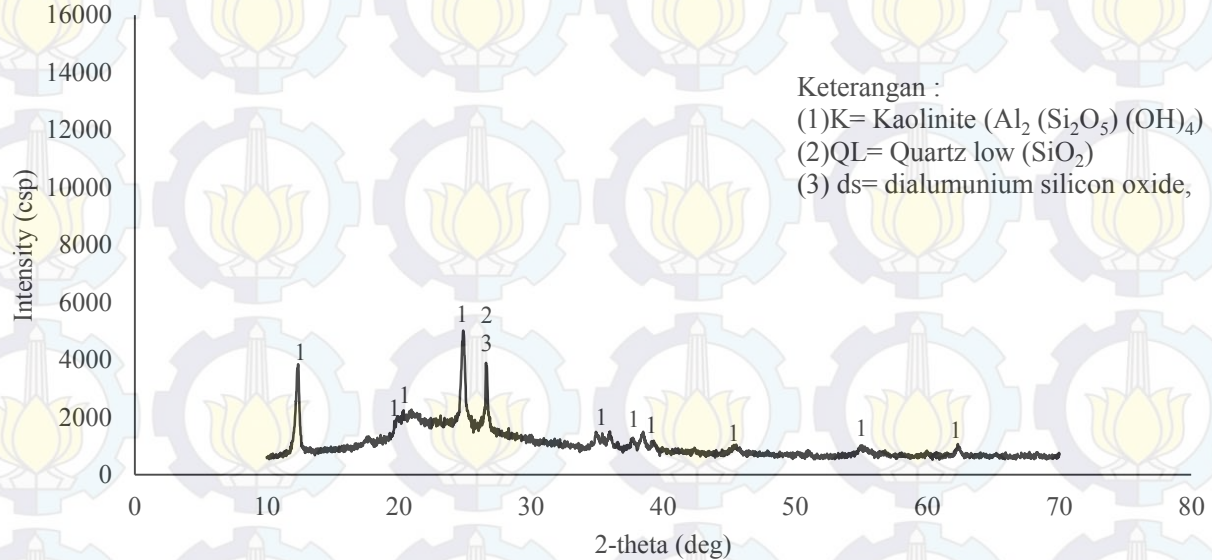
4.2.1.2 Analisa XRD kaolin dan metakaolin Bangka Belitung

Analisa XRD dilakukan untuk mengetahui mineral yang terkandung didalam dari kaolin Bangka Belitung. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 4.4 XRD untuk kaolin sebelum difurnace, Gambar 4.5 XRD untuk metakaolin setelah difurnace pada suhu 600°C 3 jam dan Gambar 4.6 XRD untuk metakaolin setelah difurnace pada suhu 700°C 6 jam.



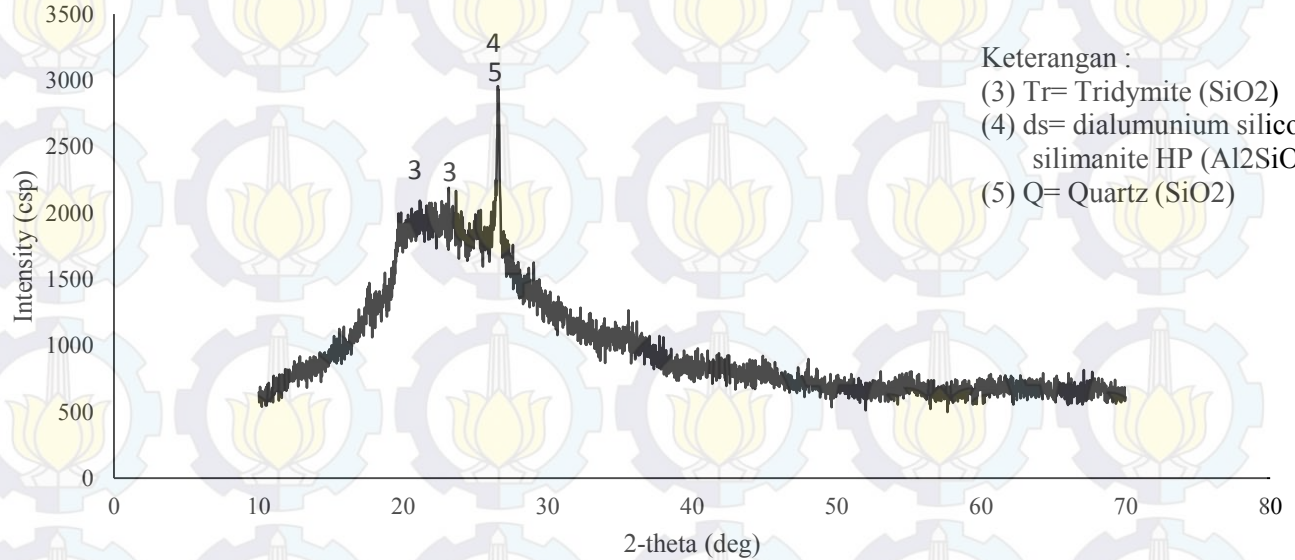
Gambar 4.2 XRD kaolin Bangka

Metakaolin dikalsinasi suhu 600°C selama 3 jam



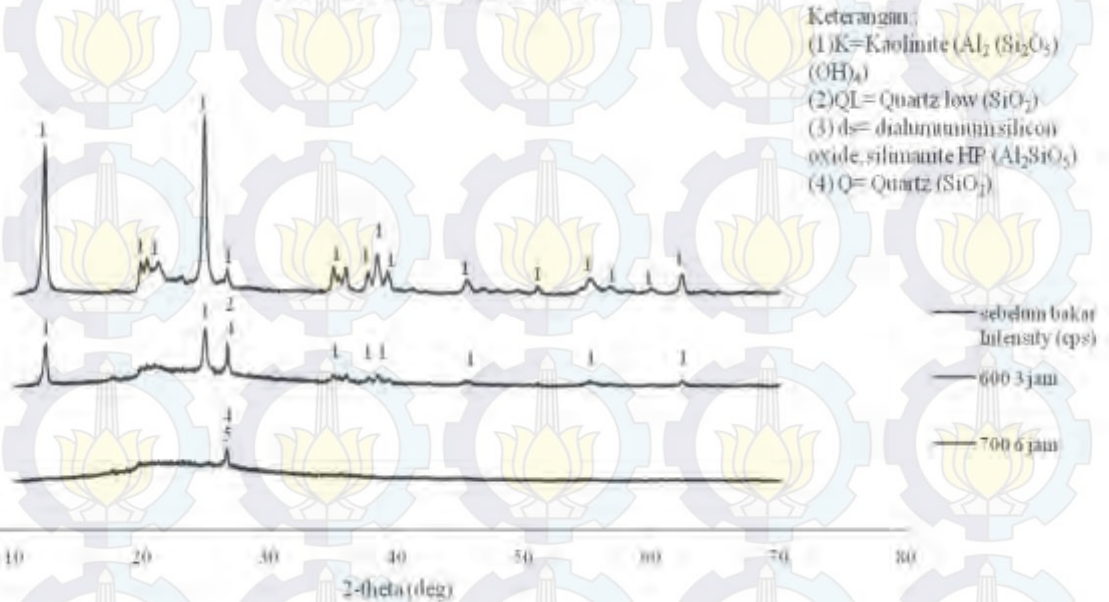
Gambar 4.3 XRD MK 600 3 jam

Metakaolin dikalsinasi suhu 700°C selama 6 jam



Gambar 4.4 XRD MK 700 6 jam

XRD Kaolin dan Metakaolin



Gambar 4.6 XRD gabungan Kaolin dan Metakaolin

Dari Gambar 4.4, Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 didapatkan komposisi mineral dari kaolin, metakaolin disuhu 600°C selama 3 jam dan metakaolin di suhu 700°C selama 6 jam yang dapat dilihat pada Tabel 4.1, Tabel 4.2 dan Tabel 4.3

Tabel 4.1 Hasil Analisa XRD kaolin

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Persentase
K	Kaolinite 1A	$\text{AlO}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	100%

Tabel 4.2 Hasil Analisa XRD Metakaolin suhu 600°C 3 jam

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Persentase
K	Kaolinite 1A	$\text{AlO}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	69.37%
ds	dialuminum silicon oxide, silimanite	Al_2SiO_5	3.22%
Q	Quartz Low	SiO_2	24.7%

Tabel 4.3 Hasil Analisa XRD Metakaolin suhu 700°C 6 jam

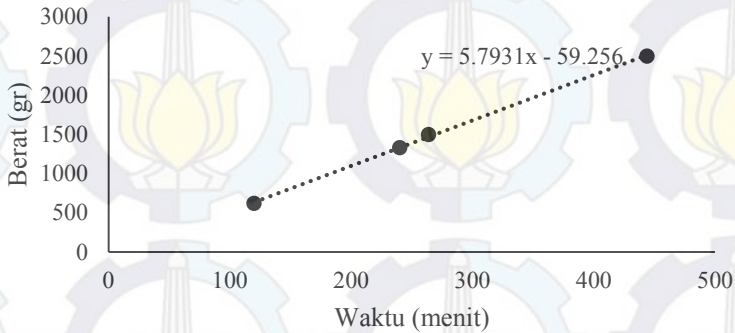
Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Persentase
Tr	Tridymite	SiO_2	51.80%
ds	dialuminum silicon oxide, silimanite HP	Al_2SiO_5	39.10%
Q	Quartz	SiO_2	9.10%

Berdasarkan Tabel 4.1, 4.2 dan 4.3, dapat dilihat bahwa kandungan yang dimiliki metakaolin berubah ubah

sesuai suhu pembakarannya. Pada tabel 4.1 terlihat mineral dasar kaolin sebelum dibakar adalah kaolinite 1A $\text{AlO}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ sebesar 100 %. Ketika kaolin mengalami pembakaran pada suhu 600°C selama 3 jam, mineral kaolinite $\text{AlO}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ mengalami perubahan namun tidak menyeluruh karena sebesar 90% mineralnya masih tetap berupa $\text{AlO}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$, dan hanya 10% saja yang mengalami perubahan mineral Si menjadi quartz low (SiO_2) akibat pembakaran yang dilakukan masih berada di suhu berada di kisaran 573°C - 600°C (Subaer, 2012).

Namun ketika dibakar pada suhu 700°C selama 6 jam, dapat dilihat pada tabel 4.3, terjadi perubahan mineral kaolinite 1A $\text{AlO}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ secara keseluruhan menjadi tridymite (SiO_2), Quartz(SiO_2) dan dialuminium silicon oxide (Al_2SiO_5). Berdasarkan perubahan mineral yang terjadi, maka suhu yang dipegunakan untuk pembakaran kaolin menjadi metakaolin adalah 700°C dengan lama pembakaran tergantung dari berat kaolin yang akan dibakar. Adapun perbandingan dari lama kalsinasi dan berat kaolin yang dikalsinasi dapat dilihat pada Gambar 4.7

Perbandingan Waktu Kalsinasi Terhadap Berat (Metakaolin)



4.2.1 Gambar 4.7 Perbandingan Waktu Kalsinasi Terhadap Berat
(Metakaolin)

Hasil analisa AAS dan XRF kaolin Bangka Belitung dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan tabel 4.5

Tabel 4.4 Hasil Analisa AAS Kaolin Bangka Belitung

Senyawa	%
SiO ₂	70.39
Fe ₂ O ₃	1.05
Al ₂ O ₃	18.17
CaO	1.04
Na ₂ O	4.07
K ₂ O	2.48

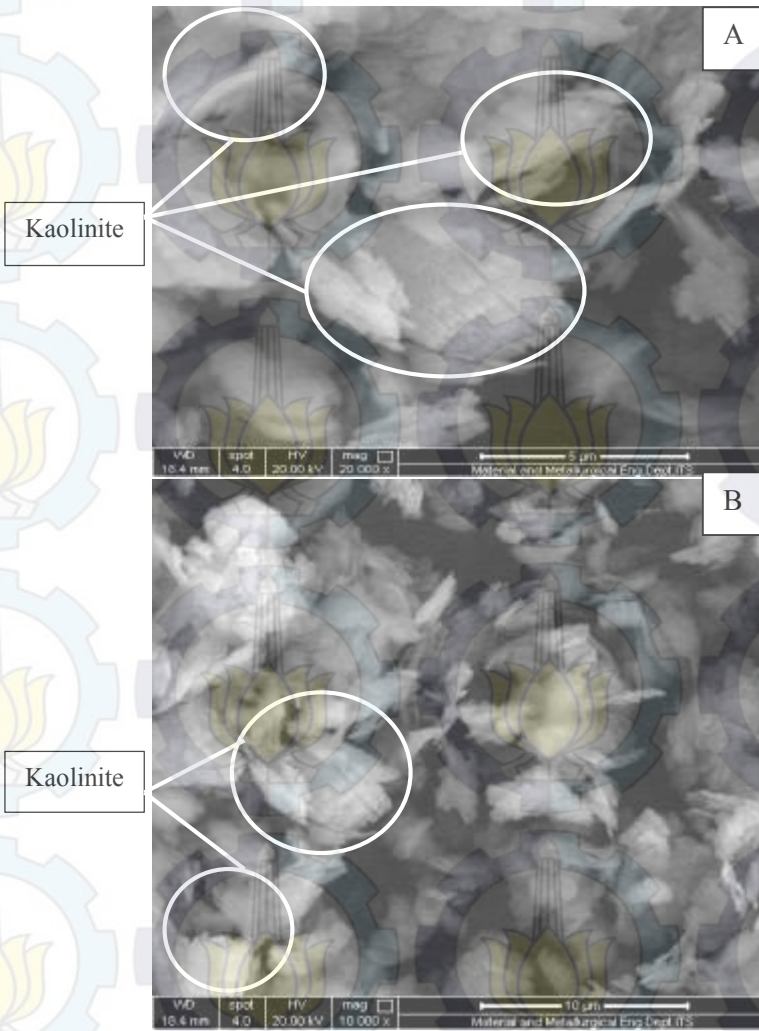
Tabel 4.5 Hasil Analisa XRF Kaolin Bangka Belitung

Senyawa	%
SiO ₂	50.26

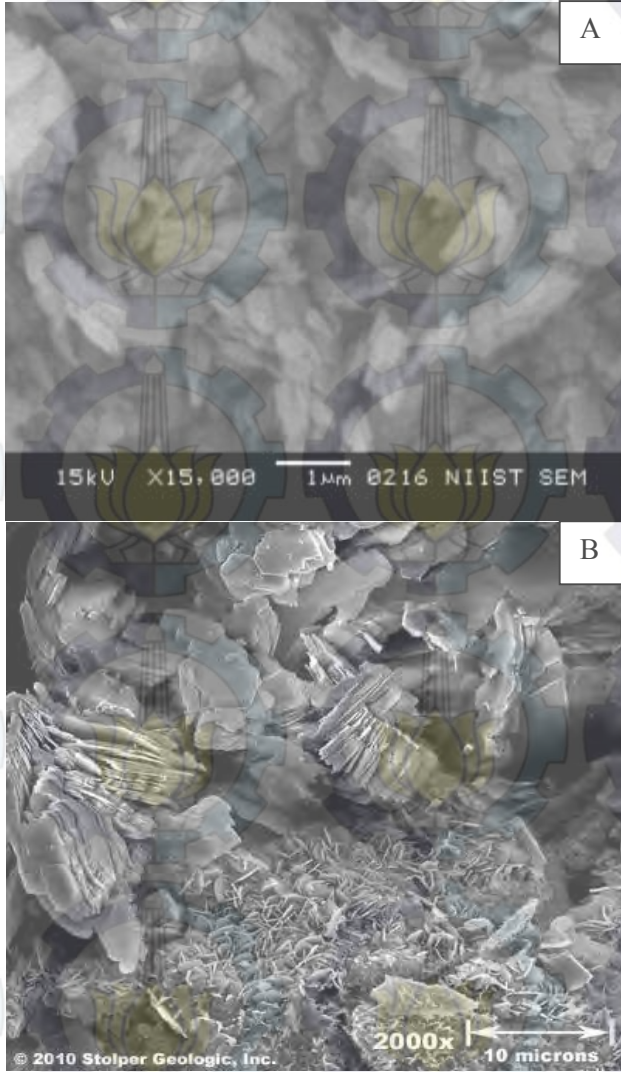
Al_2O_3	43.00
MgO	0.12
CaO	0.04
Na_2O	0.04
K_2O	0.57
Cr_2O_3	0.01
MnO_2	0.01
Fe_2O_3	0.73
TiO_2	0.28
S	4.72
P	0.01
LOI	4.72

Tabel 4.4 dan 4.5 menunjukkan perbedaan persentase dari masing-masing kandungan yang terdapat pada kaolin Bangka, hal ini disebabkan karena metode yang digunakan untuk menentukan persentase mineral oksida dengan menggunakan AAS dan XRD berbeda. Jika menggunakan AAS, material akan dibakar dengan suhu tinggi, sedangkan XRF menggunakan sinar X-ray. Dalam pengecekan kandungan dengan menggunakan AAS maupun XRF pada Tabel 4.4 dan tabel 4.5, kandungan utama kaolin adalah silikon oksida (SiO_2) dan aluminium oksida (Al_2O_3). Berdasarkan ASTM 618, jika total persen dari silikon oksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan Fe_2O_3 melebihi 70% dan merupakan bahan tambang, maka kaolin dapat digolongkan kedalam *pozzolan* kelas N.

4.2.1.4 Analisa SEM kaolin dan metakaolin Bangka Belitung



Gambar 4.8 (A) dan (B) SEM kaolin Bangka sebelum bakar



Gambar 4.9 SEM kaolinite (A.....), (B) stolpergeologic.com

Hasil SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa kaolin Bangka mengandung mineral kaolinite. Hal tersebut sesuai hasil XRD tabel 4.1. Sebagai pendukung, gambar 4.10 menunjukkan SEM kaolin pada penelitian terdahulu, yang menampilkan tampilan dari SEM kaolinite.

4.2.1.5 Analisa berat jenis metakaolin Bangka Belitung (ASTM C 128 – 78)

Tabel 4.6 Berat Jenis Metakaolin Bangka

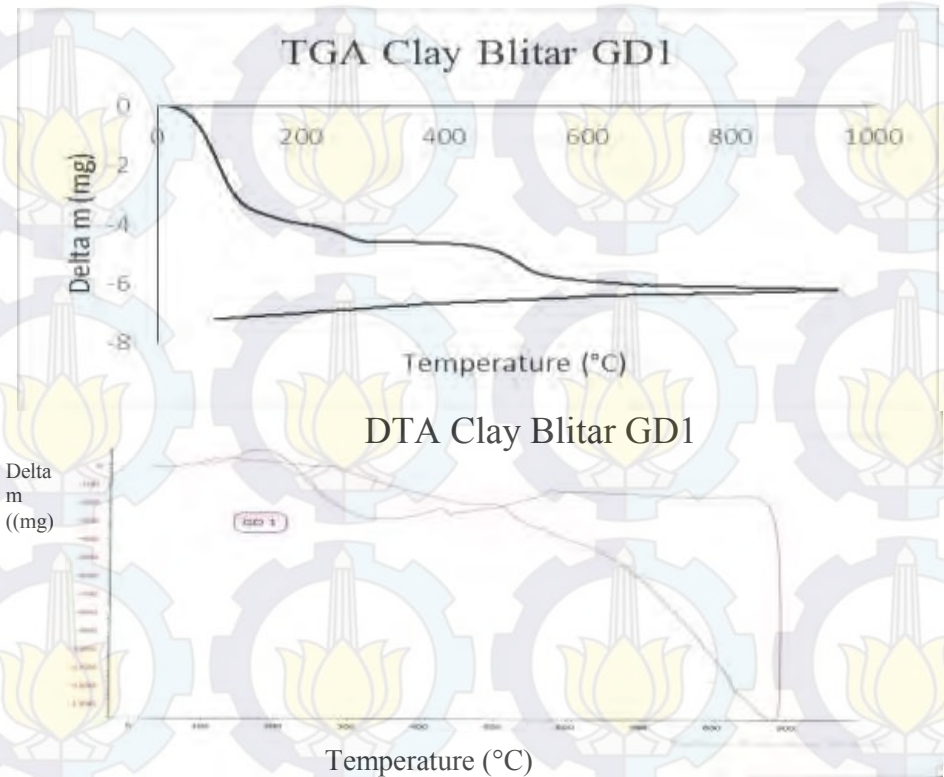
Percobaan no.	1	2
Berat Metakaolin (W1)	100 gr	100 gr
Berat Metakaolin + air + labu (W2)	705 gr	705 gr
Berat labu + Air (W3)	645 gr	645 gr
$B_j = \frac{w_1}{w_1 - (w_2 - w_3)} \times B_j \text{ air}$	2.5 gr/m ³	2.5 gr/m ³

Dari hasil pengukuran didapat rata-rata berat jenis *Metakaolin* sebesar 2.5 gr/cm³. Berat jenis ini lebih kecil dari berat jenis semen, sehingga berat benda uji yang dihasilkan jauh lebih ringan dari semen biasa.

4.2.2 Analisa Clay Blitar GD 1

4.2.2.1 Analisa TGA / DTA Clay Blitar GD 1

Analisa TGA/DTA dilakukan untuk mengetahui suhu dehidroksilasi yang tepat pada Clay Blitar. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 4.6 TGA / DTA untuk clay Blitar GD 1.



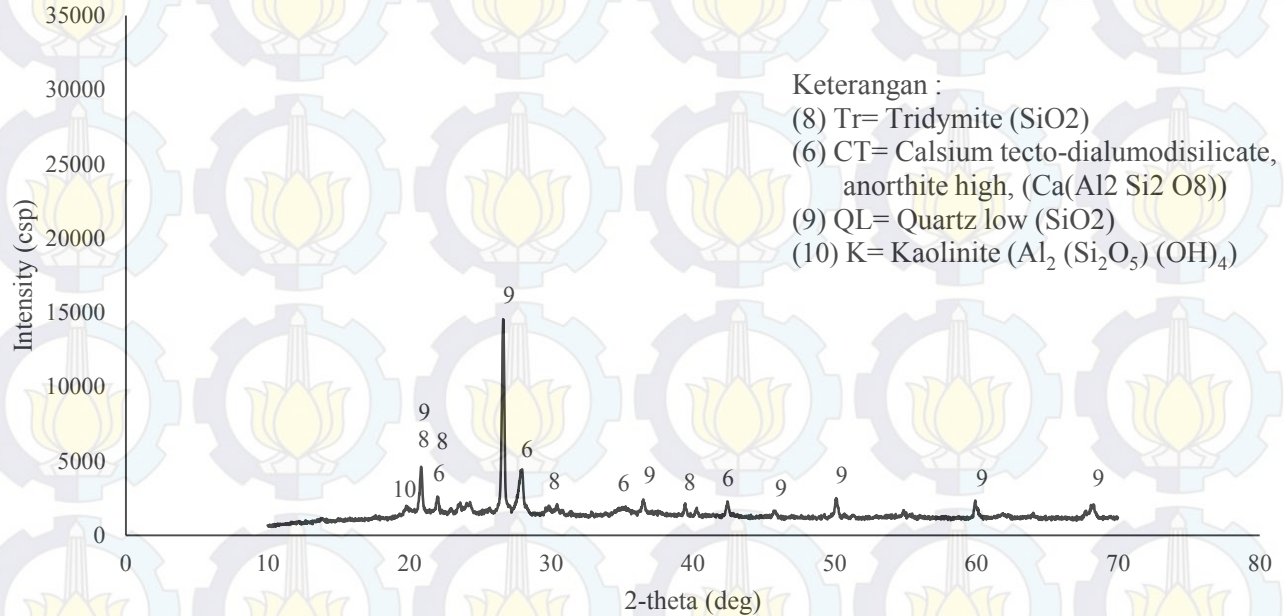
Gambar 4.10 TGA/DTA Clay GD1

Dari Gambar 4.6, didapat bahwa suhu optimum yang disarankan untuk material kaolin Bangka mengalami dehidroksilasi berada dari suhu 500°C - 700°C , sehingga dilakukan pembakaran material GDI pada suhu 500°C selama 2 jam, 600°C selama 3 jam, 600°C selama 4 jam dan 700°C selama 2 jam.

4.2.2.2 Analisa XRD Clay Blitar GD 1

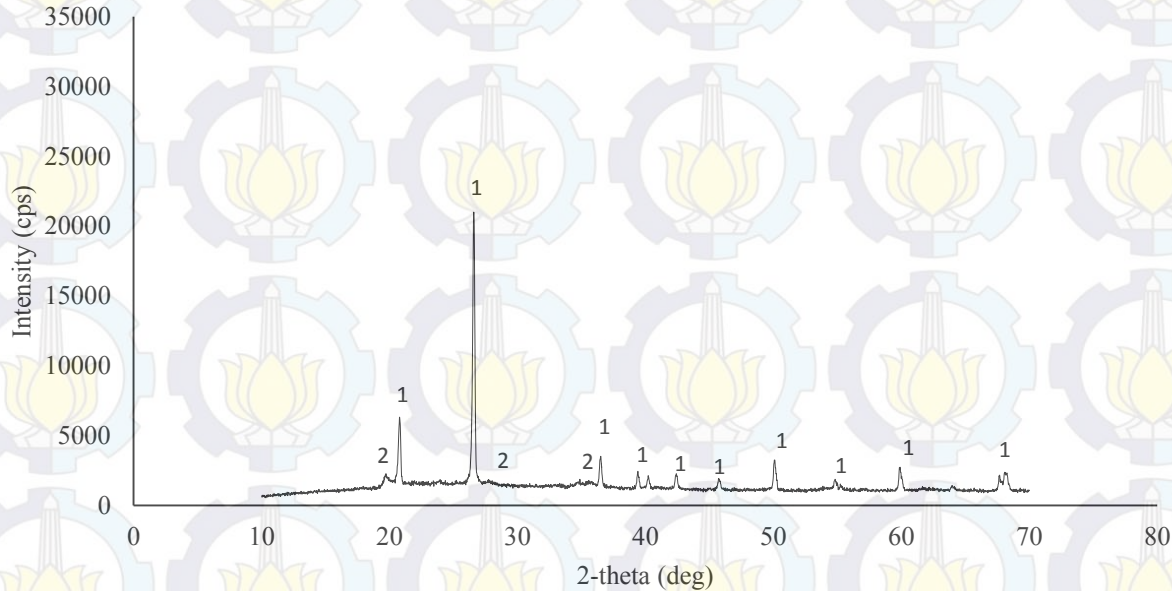
Analisa XRD dilakukan untuk mengetahui mineral yang terkandung didalam dari clay Blitar GD1. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 4.7 XRD untuk clay sebelum difurnace, Gambar 4.8 XRD untuk clay setelah difurnace pada suhu 500°C 2 jam, Gambar 4.9 XRD untuk clay setelah difurnace pada suhu 600°C 3 jam, Gambar 4.10 XRD untuk clay setelah difurnace pada suhu 600°C 4 jam, dan Gambar 4.11 XRD untuk clay setelah difurnace pada suhu 700°C 2 jam.

Clay Blitar GD 1 (Sebelum bakar)



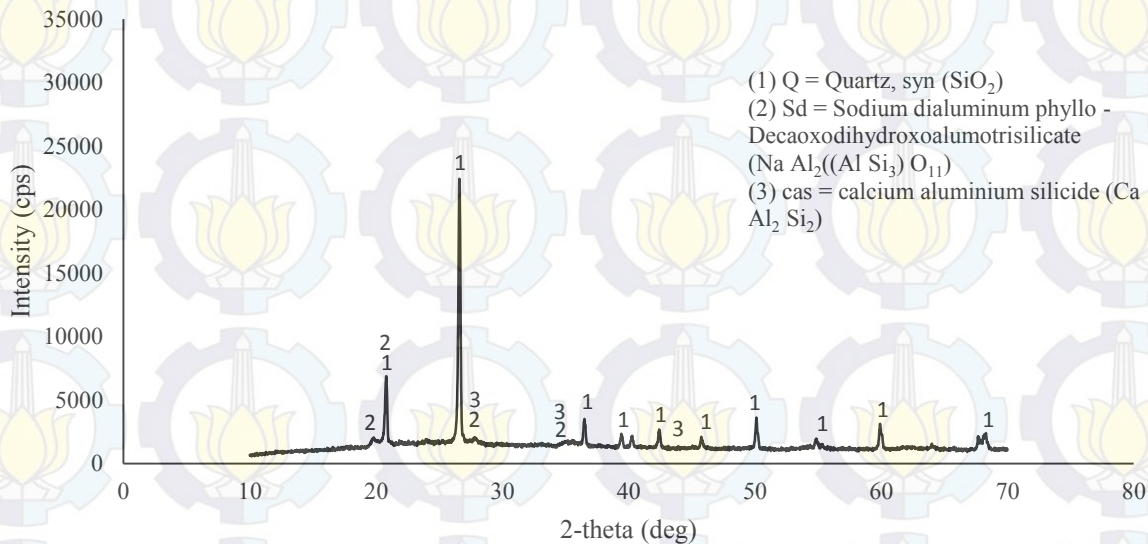
Gambar 4.11 XRD Clay Blitar GD 1 sebelum difurnace

Clay Blitar GD 1 dikalsinasi suhu 500°C 2 jam

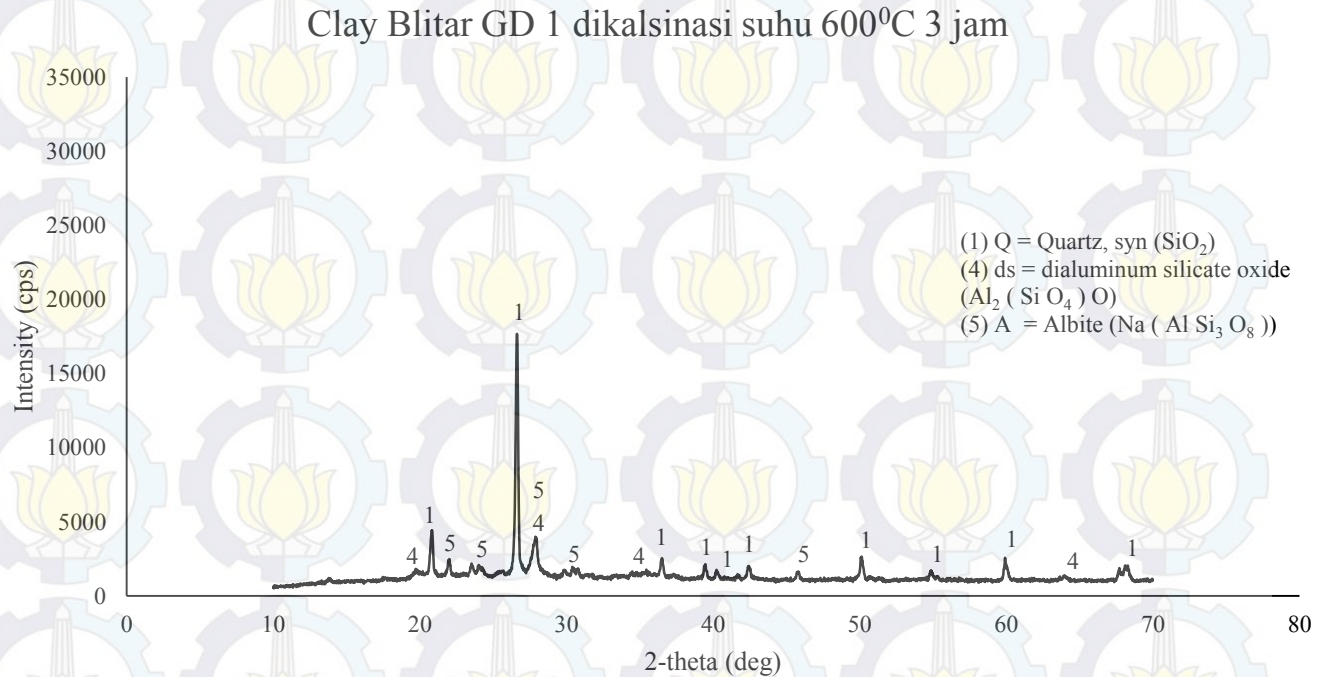


Gambar 4.12 XRD Clay Blitar GD 1 dikalsinasi suhu 500°C 2 jam

Clay Blitar GD 1 dikalsinasi suhu 500°C 6 jam

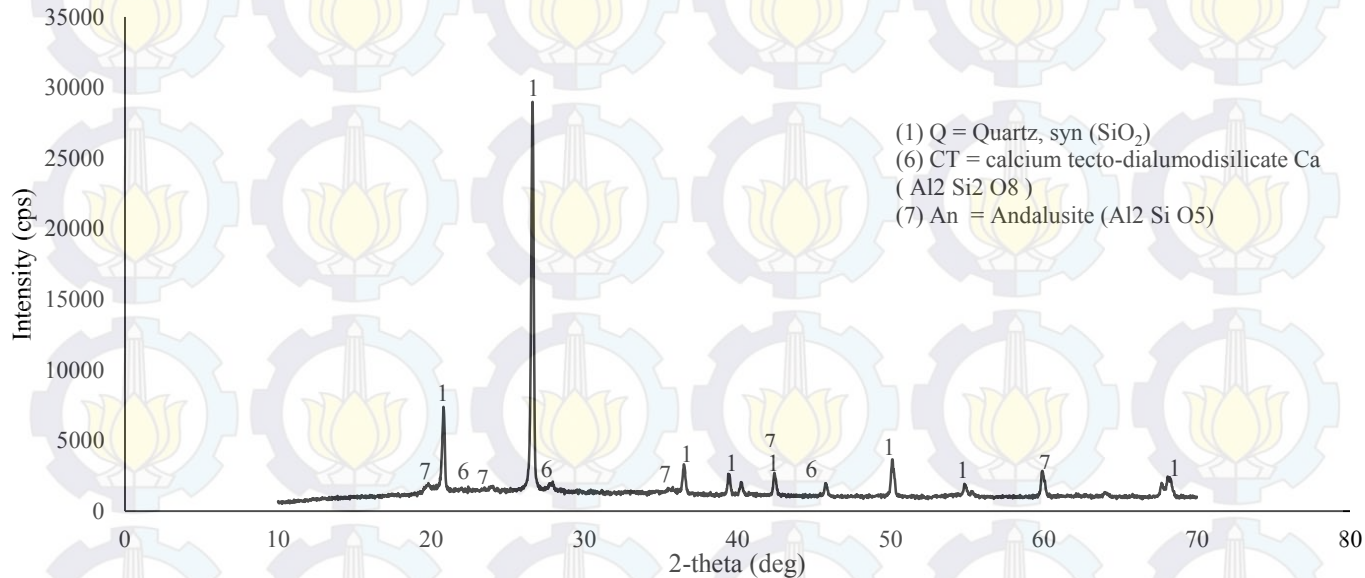


Gambar 4.13 XRD Clay Blitar furnace 500°C 6 jam

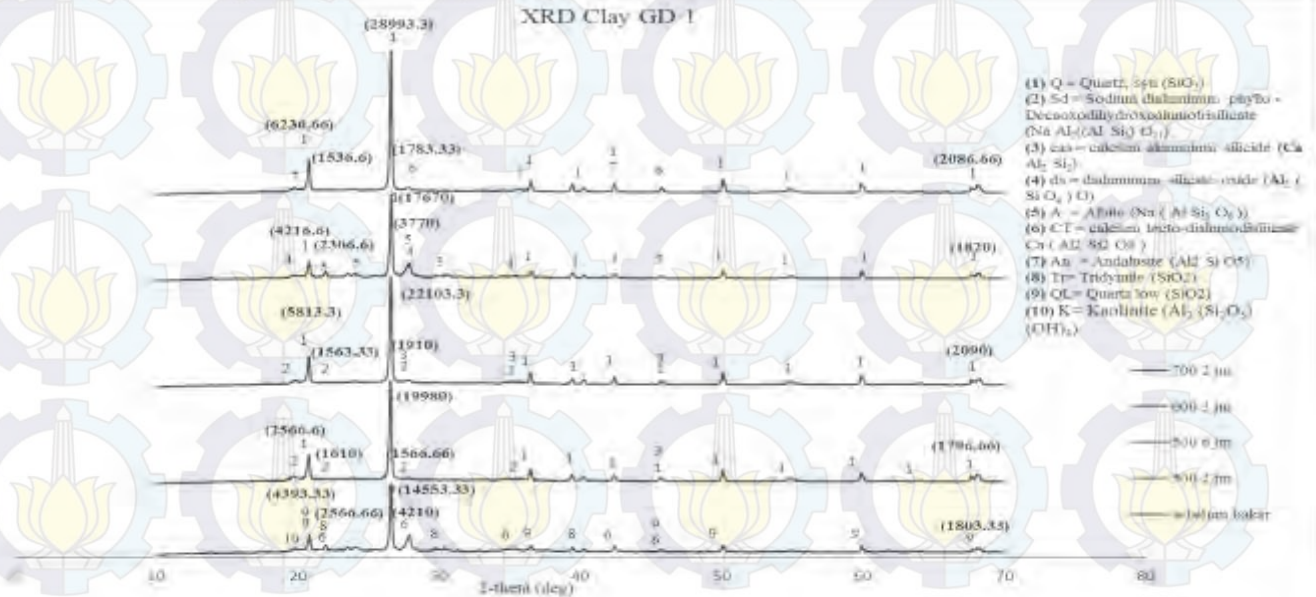


Gambar 4.14 XRD Clay Blitar furnace 600°C 3 jam

Clay Blitar GD 1 dikalsinasi suhu 700°C 2 jam



Gambar 4.15 XRD Clay Blitar furnace 700°C 2 jam



Gambar 4.16 XRD Clay Blitar GD 1

Dari Gambar 4.7, Gambar 4.8, Gambar 4.9, Gambar 4.10, dan Gambar 4.11, didapatkan komposisi mineral dari clay, clay disuhu 500°C selama 2 jam, clay disuhu 500°C selama 6 jam, clay disuhu 600°C selama 3 jam dan clay di suhu 700°C selama 2 jam yang dapat dilihat pada Tabel 4.6, Tabel 4.7, Tabel 4.8, Tabel 4.9, dan Tabel 4.10.

Tabel 4.7 Hasil Analisa XRD Clay Blitar GD1, sebelum dibakar

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Persentase
QL	Quartz Low, syn	SiO ₂	54%
CT	Calcium tecto dialuminodisilicate, Anorhite high	(Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈))	33%
Tr	Tridymite	SiO ₂	0.99%
K	Kaolinite 1A	AlO ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄	11.80%

Tabel 4.8 Hasil Analisa XRD Clay Blitar GD1 disuhu 500°C selama 2 jam

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Persentase
Q	Quartz, syn	SiO ₂	59.6%
Sd	Sodium dialuminum phyllo-decaoxodihydrox oalumotrisilicate	Na Al ₂ ((Al Si ₃) O ₁₁)	40%
Unknown	-	-	0.40%

Tabel 4.9 Hasil Analisa XRD Clay Blitar GD1 disuhu 500°C selama 6 jam

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Persenta se
Q	Quartz, syn	SiO ₂	85%
Sd	Sodium dialuminum phyllo-decaoxodihydroxoalumotris ilicate	Na Al ₂ ((Al Si ₃) O ₁₁)	11%
cas	calcium aluminium silicide	Ca Al ₂ Si ₂	3.6%

Tabel 4.10 Hasil Analisa XRD Clay Blitar GD1 disuhu 600°C selama 3 jam

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Persentase
Q	Quartz, syn	SiO ₂	51%
ds	dialuminum silicate oxide	Na Al ₂ ((Al Si ₃) O ₁₁)	33%
A	Albite	Na (Al Si ₃ O ₈)	16%

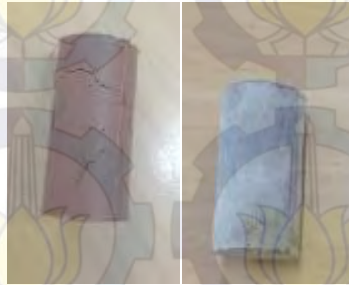
Tabel 4.11 Hasil Analisa XRD Clay Blitar GD1 disuhu 700°C selama 2 jam

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Persentase
Q	Quartz, syn	SiO ₂	91%
ds	dialuminum silicate oxide	Na Al ₂ ((Al Si ₃) O ₁₁)	8.6%
A	Albite	Na (Al Si ₃ O ₈)	0.6%

Berdasarkan Tabel 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 dan 4.11, dapat dilihat bahwa Clay GD 1 mengalami perubahan mineral dan persentase kandungan dari masing-masing pembakaran.

Sebelum dibakar dapat dilihat pada tabel 4.7 mineral clay telah memiliki kandungan Silika dalam bentuk quartz low (SiO_2) dan tridymite (SiO_2) dan mineral aluminium ($(\text{Ca}(\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8))$), dimana material yang mengandung Si (silika) dan Al (aluminium) kemungkinan reaktif jika dicampur dengan alkali aktivator, sehingga dapat digunakan sebagai bahan dasar semen geopolimer. Namun jenis SiO_2 yang dimiliki banyak terkandung dalam quartz low, yang merupakan jenis quartz yang memiliki bentuk struktur kurang presisi jika dibandingkan quartz. Selain itu mineral aluminiumnya masih merupakan aluminium yang tidak reaktif, sehingga meskipun clay GD 1 di campur alkali tanpa pembakaran, tidak akan terjadi pengerasan.

Ketika clay mengalami pembakaran disuhu 500°C , dapat dilihat bahwa quartz low (SiO_2) yang ada pada mineral clay telah berubah menjadi quartz (SiO_2) yang merupakan jenis quartz dengan bentuk struktur lebih reaktif, kemudian mineral aluminium dalam bentuk $\text{Ca}(\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8)$ mulai berubah bentuk menjadi $\text{Na Al}_2 ((\text{Al Si}_3) \text{O}_{11})$. Pada pembakaran di suhu ini, material clay sudah bisa mengalami *setting*. Pada tabel 4.8 dan 4.9 pembakaran clay dilakukan pada jangka waktu yang berbeda yaitu 2 dan 6 jam, dan dapat dilihat adanya perubahan jumlah dari kandungan quartz dan mineral aluminium, menunjukkan tingkat kereaktifan dari masing-masing mineral. Adapun hasil pasta dari pembakaran 500°C selama 2 jam dan 6 jam dapat dilihat pada gambar 4.12 A dan B.



A

B

Gambar 4.17 A Clay bakar 500°C 2 jam, B Clay bakar 500°C 6 jam.

Dari gambar 4.12 A dapat dilihat bahwa banyak retak yang terbentuk akibat pasta berbahan dasar clay 500°C 2 jam mengalami kontak dengan udara luar dimana retak yang terjadi diakibatkan oleh swelling pada pasta. Sedangkan pada gambar 4.12 B bisa dilihat swelling tidak terjadi namun penggambaran pada sisi luar pasta dapat terlihat dengan jelas saat pasta mengalami kontak dengan udara luar, hal ini dapat terjadi jika ion Na^+ yang didapat dari NaOH dan Na_2SiO_3 tidak semuanya mengalami reaksi dengan material clay, selain itu pasta geopolimer tetap mengalami retak, namun retak yang terjadi hanya berupa retak rambut. Hal tersebut kuat tekan pada pasta geopolimer dengan suhu bakar 500°C menjadi tidak optimal.

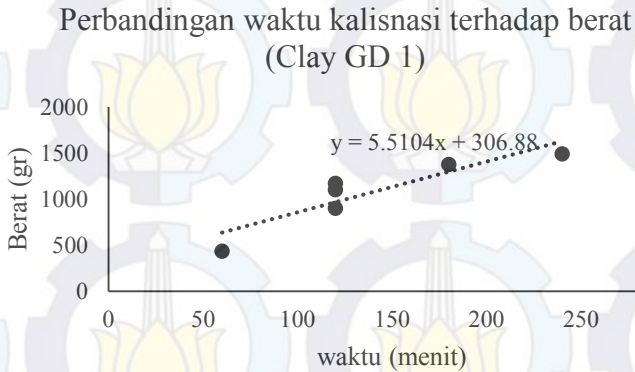
Namun ketika clay dibakar pada suhu 600°C , material clay tidak dapat setting selama 1 minggu lebih, meskipun dia mengandung mineral quartz (SiO_2) dan mineral aluminium dalam bentuk dialuminium silicate oxide ($\text{Na Al}_2 ((\text{Al Si}_3) \text{O}_{11})$) dan Albite ($\text{Na (Al Si}_3 \text{O}_8)$). Namun jika dibandingkan dengan pembakaran clay 500°C selama 6 jam, jumlah quartz yang dimiliki mengalami penurunan yang cukup signifikan, sedangkan mineral aluminium meningkat drastic dengan total

mineral aluminium 49%. Selain itu berdasarkan hasil TGA – DTA clay pada gambar 4.6, dapat dilihat terdapat peak yang terbentuk jika pembakaran terjadi pada suhu 600°C, hal itu bisa menjadi indikasi terjadinya kristalisasi pada mineral Silika maupun aluminium yang terkandung didalam clay, sehingga material clay tidak dapat bereaksi dengan baik.

Untuk pembakaran clay pada suhu 700°C selama 2 jam dapat dilihat kandungan quartz (SiO_2) mengalami peningkatan kembali hingga mencapai 91% sedangkan mineral aluminium dalam bentuk dialuminium silicate oxide ($\text{Na Al}_2 ((\text{Al Si}_3) \text{O}_{11})$) dan Albite ($\text{Na (Al Si}_3 \text{O}_8)$) mengalami penurunan drastis yaitu sebesar 8.6% dan 0.6 %. Dari percobaan, pasta geopolimer dengan clay 700°C dapat mengalami setting, bahkan waktu yang dibutuhkan lebih cepat yaitu berkisar 3 jam jika dibandingkan dengan clay di suhu 500°C yang memakan waktu hingga setengah hari untuk *setting*. Selain itu dari tampak fisik, pasta tidak mengalami *swelling*, retak rambut, ataupun bergaram. Hal ini menunjukkan bahwa material clay telah bereaksi sepenuhnya dengan alkali yang dipakai. Dari kondisi yang telah diamati selama percobaan, dapat dilihat bahwa clay GD 1 merupakan mineral lempung yang sensitif terhadap udara luar, hal ini dapat berhubungan dengan kondisi uap air yang ada di lingkungan luar, sebab retak tidak terjadi ketika sample diletakan pada plastik klip. Selain itu, berdasarkan hasil XRF, dapat dilihat mineral clay memiliki kandungan Mg dan Fe yang cukup signifikan. Hal tersebut menunjukkan bahwa mineral clay GD 1 merupakan lempung kelompok *smectite*, yaitu kelompok lempung yang sensitif terhadap air, karena volumenya dapat bertambah jika lempung tersebut terkena air (Subaer, 2012).

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, maka diambil suhu kalsinasi clay Blitar yaitu suhu 700°C, dengan lama

waktu pembakaran disesuaikan dengan berat clay yang dibakar. Adapun korelasi berat clay terhadap lama waktu pembakaran dapat dilihat pada Gambar



Gambar 4.18 Perbandingan waktu kalnsasi terhadap berat (Clay GD 1)

4.2.2.3 Analisa XRF Clay Blitar GD 1

Tabel 4.12 Hasil Analisa XRF Clay Blitar GD 1

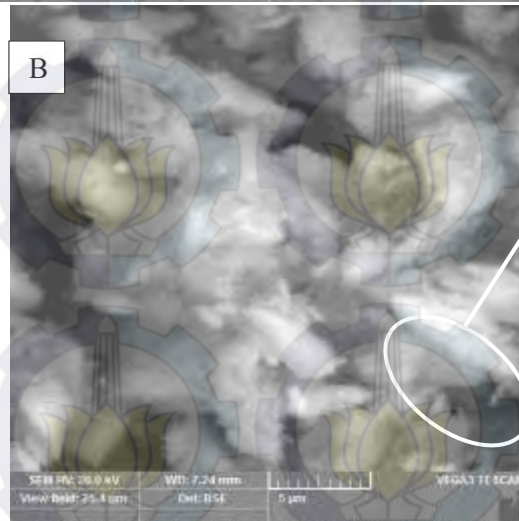
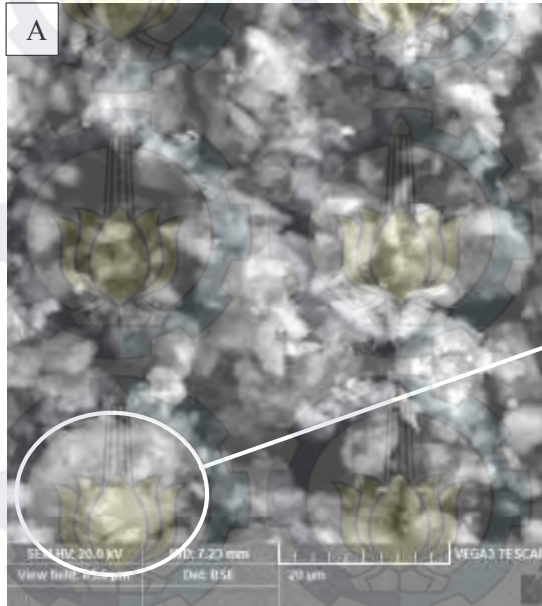
Senyawa	%
SiO ₂	62.63
Al ₂ O ₃	23.48
MgO	0.94
CaO	0.5
Na ₂ O	0.42
Senyawa	%
K ₂ O	0.84

Cr ₂ O ₃	0.01
MnO ₂	0.07
Fe ₂ O ₃	6.47
TiO ₂	0.51
S	0.03
P	0.03
<u>LOI</u>	<u>3.87</u>

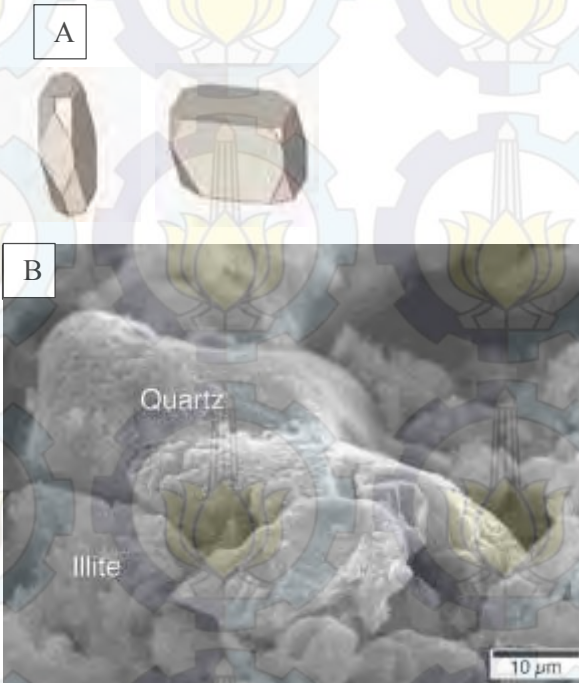
Dari hasil XRF pada tabel 4.12, dapat dilihat pada kandungan utama kaolin adalah silikon oksida (SiO₂) dan aluminium oksida (Al₂O₃). Total persen dari ketiga kandungan kimia ini melebihi 70%, selain itu kaolin juga merupakan bahan tambang sehingga dia masuk kedalam *pozzolan* kelas N (**ASTM C618**).

4.2.2.4 Analisa SEM Clay Blitar GD 1

Hasil analisa SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada material clay Blitar dapat dilihat pada gambar 4.12 untuk SEM clay Blitar yang belum dibakar, dan pada gambar 4.13 untuk SEM clay Blitar yang dibakar pada suhu 700°C selama 2 jam.



Gambar 4.19 Analisa SEM Clay GD 1 (A) 20 μ m dan (B) 5 μ m



Gambar 4.20 (A) Struktur Mineral Albite (www.minerals.net), (B) Scanning Electron Microscope Quartz (www.minerals.net)

Hasil SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada gambar 4.20 menunjukkan bahwa clay GD 1 mengandung quartz dan Albite. Hal tersebut sesuai hasil XRD tabel 4.7. Sebagai pendukung, gambar 4.21 menunjukkan SEM Quartz dan struktur dari mineral albite pada penelitian terdahulu. Namun pada hasil SEM, mineral tridymite dan kaolinite tidak terlihat karena jumlahnya yang sedikit dan posisi gambar SEM hanya pada satu tempat.

4.2.2.5 Analisa berat jenis metakaolin Bangka Belitung (ASTM C 128 – 78)

Tabel 4.13 Berat Jenis Clay Blitar GD 1

Percobaan no.	1	2
Berat Clay GD 1 (W1)	250 gr	250 gr
Berat Clay GD1 + air + labu (W2)	800 gr	800 gr
Berat labu + Air (W3)	645 gr	645 gr
$Bj = \frac{w_1}{w_1 - (w_2 - w_3)} \times Bj \text{ air}$	2.63 gr/m ³	2.63 gr/m ³

Dari hasil pengukuran didapat rata-rata berat jenis clay sebesar 2.63 gr/cm³. Berat jenis ini lebih kecil dari berat jenis semen, sehingga berat benda uji yang dihasilkan jauh lebih ringan dari semen biasa. Namun berat jenisnya lebih besar jika dibandingkan dengan berat jenis metakaolin Bangka.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan Penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Suhu Pembakaran

Untuk material metakaolin, dari hasil pengamatan dari XRD pada bab IV, didapat suhu kalsinasi optimal baik untuk metakaolin maupun clay GD 1 adalah suhu 700°C dengan lama waktu kalsinasi tergantung dari beratnya.

Sedangkan untuk clay GD 2, tidak dapat digunakan meskipun dikalsinasi pada suhu 700° . Berdasarkan hasil uji reaktivitas, dapat dilihat bahwa kuat tekan dari benda uji clay GD 2 paling rendah dibanding material lainnya. Hal itu menyebabkan material clay tidak dapat bereaksi dan setting, meskipun telah dicampur dengan alkali aktivator.

2. Komposisi kimia kaolin, Clay GD1 dan Clay GD2 berdasarkan XRF adalah sebagai berikut

Berdasarkan data dari Bab IV, diketahui SiO_2 yang dikandung oleh clay GD1 paling tinggi dibanding lainnya, dan kaolin memiliki kandungan SiO_2 terendah dibanding GD2. Namun hal tersebut tidak menjamin clay GD2 bisa lebih baik dari kaolin, seperti yang disampaikan pada sub 1, bahwa clay GD 2 tidak bisa setting meski telah dibakar di suhu 700°C

3. Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$, Si/Al dan $\text{water}/\text{solid}$ terhadap sifat pasta geopolimer berbahan dasar lempung dan metakaolin.

- Setting time:

Berdasarkan penelitian yang telah dijabarkan pada bab IV, semakin tinggi Si/Al, maka waktu setting yang dibutuhkan semakin lama. Untuk pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ dari larutan alkali terlihat tidak terlalu dominan dibanding perbandingan Si/Al, namun terlihat kecenderungan semakin tinggi perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$, maka waktu settingnya juga semakin lama, sedangkan untuk pengaruh water/solid hampir tidak memiliki pengaruh signifikan jika dibandingkan dengan perubahan Si/Al dan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$.

- Kuat Tekan

Semakin Tinggi Si/Al, maka kuat tekan pasta metakaolin dan clay GD 1, cenderung menunjukkan penurunan seiring bertambahnya perbandingan mol Si/Al. Namun untuk ketahanan pasca bakar, semakin tinggi perbandingan Si/Al maka ketahanan bakarnya semakin meningkat.

Selain pengaruh dari Si/Al, kuat tekan juga dipengaruhi oleh perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ dan water/solid. Berdasarkan penjelasan pada bab IV, dapat dilihat kecenderungan peningkatan kuat tekan seiring bertambahnya $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$. Sedangkan untuk ketahanan bakar, seiring meningkatnya perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$, maka ketahanan bakar dari pasta metakaolin cenderung membaik, namun hal tersebut tidak terjadi pada pasta clay GD 1. Jika melihat dari pengaruh water/solid, kuat tekan masing-masing pasta mengalami penurunan seiring meningkatnya perbandingan water/solid. Begitu juga dengan ketahanan bakar pastanya.

4. Penambahan *Silica Fume* kedalam campuran pasta tidak terlalu berdampak signifikan dalam peningkatan kuat tekan jika dibandingkan dengan penambahan Na_2SiO_3 .

5.2 Saran

Penulis memberikan saran kepada pembaca yang akan melanjutkan penelitian pemanfaatan pozzolan Metakaolin dan Clay sebagai bahan dasar Geopolimer untuk memperhatikan :

1. Saat melakukan pembakaran, ada baiknya mengkorelasikan lama kalsinasi dengan jumlah material yang dibakar, hal tersebut bertujuan untuk menyempurnakan hasil kalsinasi, terutama untuk material clay karena sifatnya sangat sensitif terhadap lama pembakaran.
2. Penelitian selanjutnya diharapkan melakukan analisa kimia terhadap kandungan mineral yang terdapat pada masing-masing pasta.
3. Penelitian diharapkan dapat dilanjutkan hingga ketahap beton.

5.3 Rekomendasi

1. Berdasarkan hasil yang telah dijabarkan pada Bab 4 , mix desain C pasta clay GD 1 dan mix desain MK yang direkomendasikan adalah C2 (8_291) dan MK 1 (8_139) . Adapun kebutuhan kg per m³ dari mix desain C2 (8_291) dan adalah sebagai berikut

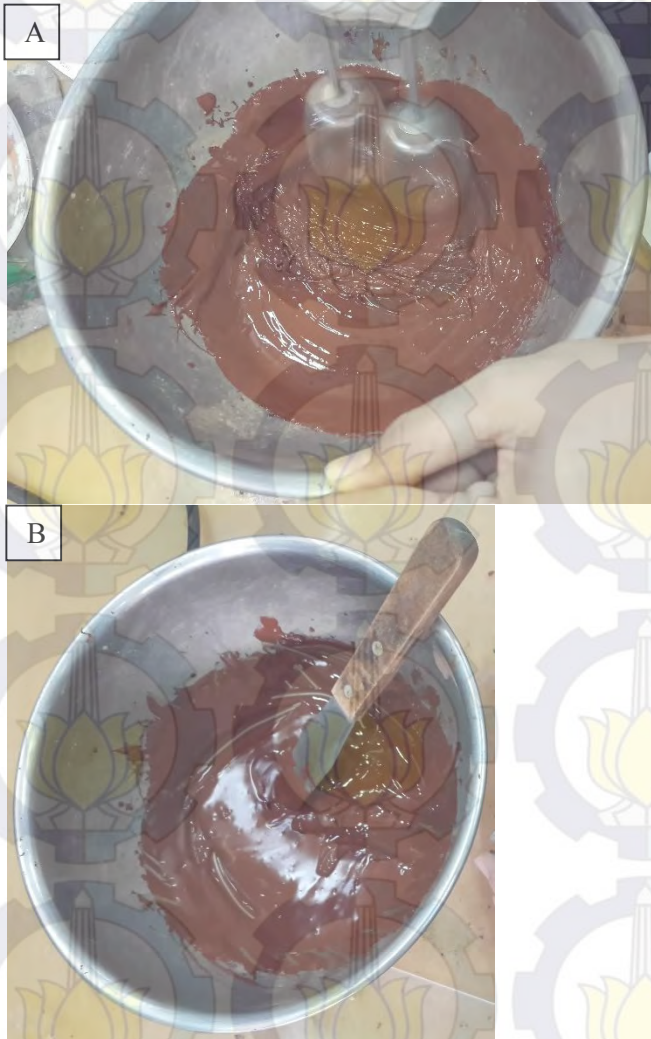
berat volume (kg/m ³)	binder				Alkali			
	total (kg/m ³)	Clay (kg/m ³)	SF (kg/m ³)	total (kg/m ³)	Na ₂ SiO ₃ (kg/m ³)	NaOH total (kg/m ³)	NaOH pelet (kg/m ³)	Aquad es (kg/m ³)
334.43	197.31	197.31	0	137.12	91.87	30.32	7.95	22.36

Sedangkan untuk mix desain MK 1 (8_139) adalah sebagai berikut

berat volume (kg/m ³)	binder				Alkali			
	total (kg/m ³)	MK (kg/m ³)	SF (kg/m ³)	total (kg/m ³)	Na ₂ SiO ₃ (kg/m ³)	NaOH total (kg/m ³)	NaOH pelet (kg/m ³)	Aquad es (kg/m ³)
302.68	151.34	151.34	0	151.34	84.75	66.59	17.47	49.12

Kuat tekan 28 hari yang dicapai mix desain C2 (8_291) sebesar 69.75 Mpa, dengan waktu setting 225 menit. Untuk work abilitynya tergolong sangat baik. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.1.

Untuk pasta MK 1 (8_139), kuat tekan umur 28 harinya sebesar 61.04 Mpa, dengan waktu setting akhir yang cepat yaitu 47 menit. Namun, work ability yang dimiliki jauh lebih baik dibanding campuran metakaolin yang lainnya. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 4.1 (A) dan (B) *Work Ability* pasta clay C2 (8_291)



Gambar 4.2 *Work Ability* pasta clay MK 1 (8_139)

2. Penambahan *silica fume* ke dalam campuran tidak terlalu berdampak signifikan pada kuat tekan. Sehingga lebih direkomendasikan untuk menggunakan Na_2SiO_3 sebagai sumber *soluble silicate*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Davidovits, J., "SPE – PATEC." *Society of Plastic Engineering, Brookfield Center*, 1979
- [2] Davidovits, J., "Global Warming Impact on the Cement and Aggregates Industries." *Geopolymer Institute*, 1994.
- [3] Davidovits J. "Geopolimer Chemistry and Applications." *Geopolymer Institut*, 2008.
- [4] Davidovits J. "Geopolymer: Inorganic Polymeric New Materias, J. Thermal Analysis." *Geopolymer Institute*, 1991.
- [5] Grazino ML, Blanco MT., Ramirez SM. "Alkali Activation of Metakaolins: Parameter Affecting Mecanical, Structural and Microstructural Properties." *Spinger Science and Bussines Media*, 2007: 2934-2943.
- [6] Rachmat. *Ringkasan Pengetahuan Sosial*. Jakarta: Grasindo, 2012.
- [7] ASTM C 191. *Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle*. Philadelphia: American Society of Testing and Materials, 2001.
- [8] ASTM C 39/C 39M. *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. Philadelphia: American Society of Testing and Materials, 2001.
- [9] AFNOR NF B 49104. n.d.
- [10] Santoso, *Studi Komposisi Morfologi Bulir dan Suseptibilitas Mineral Magnetik fly ash Sisa Pembakaran Batu Bara pada PLTU PT. IPMOMI Paiton dan Pasaran*. Universitas Negri Malang, 2012

- 
- [11] R.Cioffi, *Optimization of Geopolymer Synthesis by Calcination and Polycondensation of a Kaoliniticresidu*, Resource Coservation and Recycling, Scient Direct, p. 27-38, 2003
- [12] Soliman, A.M. and M.L. Nehdi, *Self-Accelerated Reactive Powder Concrete Using Partially Hydrated Cementitious Materials*. ACI Materials Journal, 2011.
- [13] Davidovits J., *Solid Phase Synthesis of Mineral Block Polymer by Low Temperature Polycondensation of Aluminosilicate*, IUAPC, International Symposium on Macromolecur Stockhlom, 1976
- [14] Davidovits J. *Geopolymer: Inorganic Polymeric New Materias*, J. Matter. Educ. 16, 1994
- [15] P. D. Silva, K. S. Crenstil, V. Sirivivatnanon. "Kinetic of Geopolymerization : Role of Al₂O₃ and SiO₂." *Science Direct*, 2007: 512-518.
- [16] Dian Adist, *Sintesis Geopolimer berbahan dasar Fly Ash.*, Jakarta, Universitas Indonesia, 2009
- [17] Xu H, van Deventer JSJ, *The Geopolimerisation of Alumino-Silicate Minerals*. Int. Miner Process, Cement and Concrete Research, 2000
- [18] Subaer, *Pengantar Fisika Geopolimer*, Makassar, Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, 2012
- [19] Davidovits J., *Geopolymer Cemistry and Properties*, Geopolimer '88 Proceedings, 1988, p 25-58.
- [20] Arellano Raul, *Geopolymer Mortars Based on a Low Grade Metakaolin: Effects of The Chemical Composition, Temperature and Aggregate : Binder Ratio*, Science Direct, 2013
- [21] Davidovits J, *Geopolimeric Cement based on Low Cost Geologic Materials*. Result from the European Research Project GEOCISTEM. Geopolymer '99 Proceedings. Science Direct, 1999, p. 83-96.
- [22] G Ioanna, *Structure, Design and Applications of Geopolymeric Materials*, Athens, School of Mining and



Metallurgical Engineering, Laboratory of Metallurgy,
2008

[23]Mehta P.K., *Studies on Blended Portland Cemens
Containing Santorin Earth.* Cem. Concr. Science Direct,
1981

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kupang, pada tanggal 20 Desember 1993 dengan nama lengkap Desak Nyoman Deasi Triani. Penulis merupakan anak pertama dari 4 bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh oleh penulis, yaitu TK Eka Utama, SD Negeri 10 Pemecutan, SMP Negeri 7 Denpasar, SMA Negeri 4 Denpasar. Setelah lulus dari SMA Negeri 4 Denpasar, penulis mengikuti SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri) dan diterima di jurusan Teknik Sipil FTSP ITS

Surabaya pada tahun 2011 dan terdaftar dengan NRP. 31111000008.

Selama berkuliah di Jurusan Teknik Sipil ITS, penulis sangat tertarik pada Bidang Studi Material Struktur, terutama pada penggunaan pengganti semen untuk beton. Oleh karena itu pada Tugas Akhir ini penulis mengambil topik bahasan mengenai pemanfaatan pozzolan sebagai bahan dasar geopolimer. Penulis sangat berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta bagi penulis sendiri. Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan penulis, dapat melalui email:

deasi.triani@gmail.com