



TUGAS AKHIR

**ANALISA KUAT TEKAN PASTA
GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR
KAOLIN DAN LUMPUR SIDOARJO**

YULTINO SYAIFULLAH FERDANA

NRP. 31 13 105 032

Dosen Pembimbing :

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

Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.

JURUSAN TEKNIK SIPIL

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015



FINAL PROJECT

**COMPRESSIVE STRENGTH ANALYSIS
OF GEOPOLYMER PASTE BASED
KAOLIN AND SIDOARJO MUD**

YULTINO SYAIFULLAH FERDANA

NRP. 31 13 105 032

Lecturer :

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

Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Faculty of Civil Engineering and Planning

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2015

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA KUAT TEKAN PASTA GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR KAOLIN DAN LUMPUR SIDOARJO

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

YULTINO SYAIFULLAH FERDANA

NRP. 3113 105 032

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. Eng Januarti JEP, ST. MT. : (Pembimbing I)
NIP. 197401122005012001

Prof. Dr. Ir. Triwulan DE (Pembimbing II)
NIP. 195103091974122001



**SURABAYA
JULI, 2015**

ANALISA KUAT TEKAN PASTA GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR KAOLIN DAN LUMPUR SIDOARJO

Nama Mahasiswa : Yultino Syaifullah Ferdana
NRP : 3113 105 032
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Konsultasi : Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST. MT.
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.

Abstrak

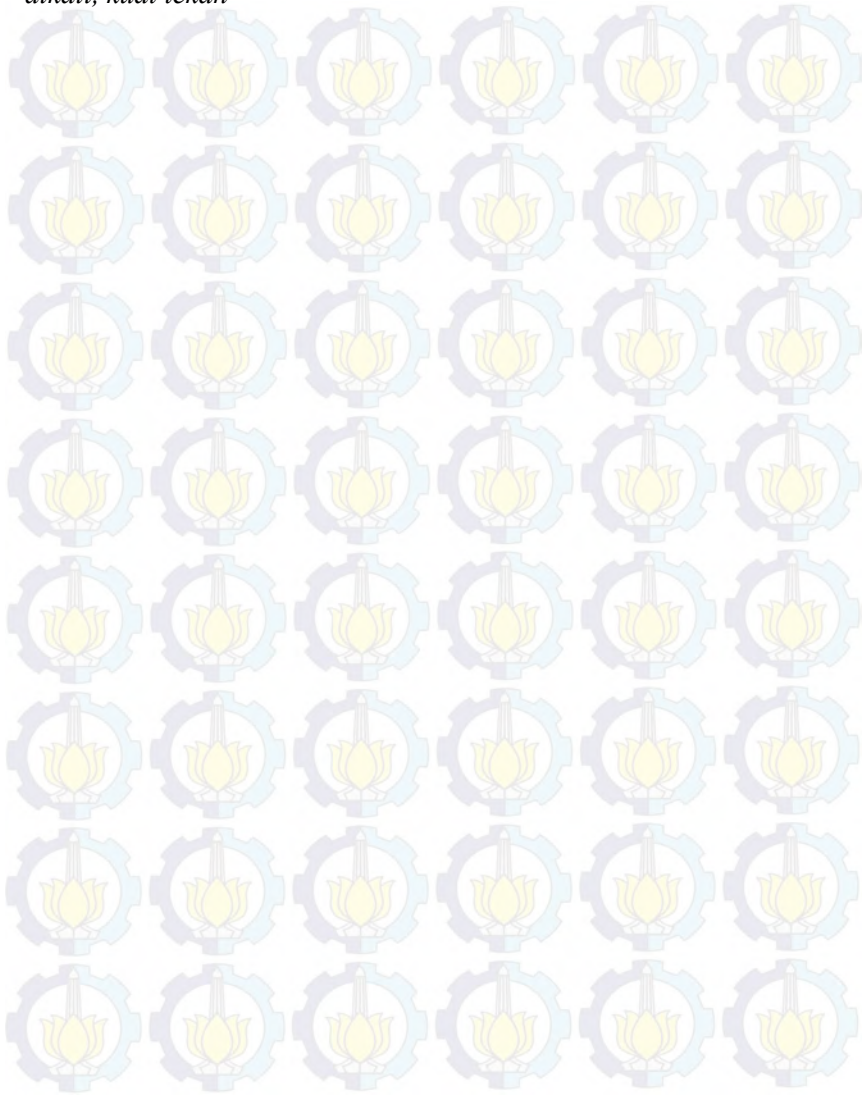
Beton geopolimer adalah sebuah senyawa silikat alumino anorganik yang disintesis dari bahan-bahan produk sampingan yang mengandung banyak silikon dan aluminium.

Pada penelitian ini akan dibuat pasta dengan menggunakan material dasar lusi (lumpur sidoarjo), dan metakaolin dari Bangka Belitung. Molaritas NaOH yang digunakan adalah NaOH 8 M dan 10 M. Tambahan silika yang digunakan adalah Na_2SiO_3 , dengan perbandingan Na_2SiO_3 dan NaOH dijaga konstan sebesar 2 dan 2,5.

Pengujian yang akan dilakukan adalah analisa kuat tekan pada variasi pasta umur 3,7,14,21 dan 28 hari. Selain itu, pasta umur 28 hari akan dianalisa kuat tekan setelah bakar dengan suhu 400°C selama 30 menit.

Dari hasil penelitian didapatkan kuat tekan tertinggi pada umur 28 hari adalah pasta dengan alkali NaOH 10 molar : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2.5$, binder metakaolin 50% dan lusi 50% (P 10-2.5-50) sebesar 82.81 MPa. Dari hasil analisa, diketahui bahwa ada kecenderungan kuat tekan pasta masih meningkat setelah umur 28 hari. Untuk kuat tekan setelah bakar, didapatkan bahwa pasta dengan alkali NaOH 10 molar : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2.5$, binder metakaolin 25% dan lusi 75% (P 10-2.5-25) kuat tekan sisa mencapai 42.37%. Dimana kuat tekan sebelum bakar 75.12 MPa dan sesudah bakar 31.83 MPa.

Kata kunci : pasta geopolimer, lumpur sidoarjo, metakaolin, alkali, kuat tekan



COMPRESSIVE STRENGTH ANALYSIS OF GEOPOLYMER PASTE BASED KAOLIN AND SIDOARJO MUD

Name : Yultino Syaifullah Ferdana
NRP : 3113 105 032
Faculty : Teknik Sipil FTSP – ITS
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA
Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST., MT.

Abstract

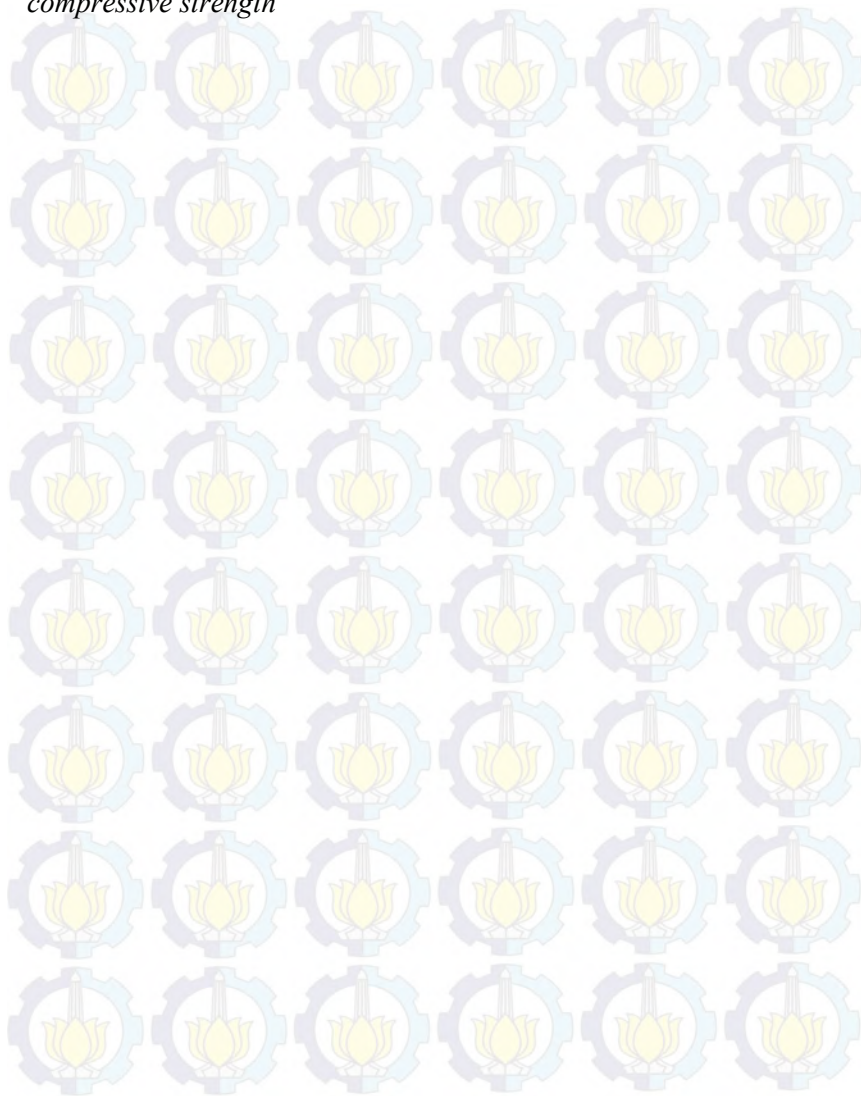
Geopolymer concrete is an organic aluminum silicate compound that is synthesized from waste materials which is much of silicon and aluminum.

In this research, the paste was made by sidoarjo mud mixed with metakaolin from Bangka Belitung. Molarity of NaOH was 8 M and 10 M. An additional silica (Na_2SiO_3), was used with the ratio of Na_2SiO_3 to NaOH was kept constant at 2 and 2.5.

The compressive strength paste was analysed for paste at 3, 7, 14, 21, and 28 days. Paste at 28 days was analysed for compressive strength. Residual strength was analysed after the paste were exposed to fire at 400°C for 30 minutes.

The results showed that the highest compressive strength of 82.81 MPa at 28 days was a paste with concentration of the ratio of alkaline NaOH 10 molar to Na_2SiO_3 was 2, and the binders containing 50% metakaolin and 50% lusi (P 10-2.5-50) up to. It is clear that there was a strong tendency of compressive strength paste still increased after 28 days. The results of compressive strength after burned showed that a paste with concentration of the ratio of alkaline NaOH 8 molar to Na_2SiO_3 was 2, and the binders containing 50% metakaolin and 50% lusi (P 10-2.5-50) has residual compressive strength up to 42.37%. Where compressive strength before burned was 75.12 MPa and compressive strength after burned was 31.83 MPa.

Keywords: *geopolymer paste, sidoarjo mud, metakaolin, alkali, compressive strength*



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat terselesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisa Kuat Tekan Pasta Geopolimer Berbahan Dasar Kaolin dan Lumpur Sidoarjo” ini dengan baik dan tepat pada waktunya.

Tugas Akhir ini merupakan prasyarat akademik untuk memenuhi syarat kelulusan Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil Lintas Jalur, FTSP-ITS. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan kontribusi yang nyata dalam bidang ketekniksipilan.

Dalam penyusunannya penulis banyak memperoleh banyak bantuan dari berbagai pihak, karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua dan segenap keluarga besar penulis yang telah memberikan dukungan, kasih, dan kepercayaan yang begitu besar.
2. Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST., MT., dan Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA, selaku dosen pembimbing, yang telah membimbing, memberi masukan, nasihat serta dukungan.
3. Laboran dari Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan, Pak Suharjo, Pak Totok, dan laboran dari Laboratorium Struktur Pak Ridwan. Karyawan Jurusan Teknik Sipil ITS yang telah membantu penulis untuk proses pengurusan surat ijin.
4. Teman-teman LBE Green Concrete ITS atas bantuan tenaga, motivasi, dan nasihat selama pelaksanaan tugas akhir.
5. Teman-teman LJ yang telah memberikan semangat, dukungan, dan bantuan ketika penulis menghadapi permasalahan sehingga dapat menemukan solusi atas permasalahan yang dihadapi.
6. Segenap Dosen dan Staf Jurusan Teknik Sipil, FTSP, ITS.
7. Dan pihak-pihak lain yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung dalam pengerjaan tugas akhir.

Pada pengerjaan Tugas Akhir ini tentunya tak luput dari kesalahan dan masih jauh dari kesempurnaan, namun penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya. Untuk itu kritik dan saran sangat diharapkan demi kesempurnaan penyusunan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan.....	iii
Abstrak	v
Kata Pengantar	ix
Daftar Isi	xi
Daftar Gambar.....	xv
Daftar Tabel.....	xxi
Daftar Lampiran	xxiii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 7
2.1 Geopolimer	7
2.1.1 Definisi Geopolimer	7
2.1.2 Sifat-Sifat Beton Geopolimer	9
2.1.3 Kelebihan dan Kekurangan Beton Geopolimer.....	10
2.1.4 Setting Time Geopolimer.....	11
2.1.5 Curing Geopolimer	12
2.1.6 Pengaruh Si/Al	13
2.1.7 Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$	14
2.1.6 Pengaruh Porositas	16
2.1.7 Ketahanan Terhadap Api	19
2.2 Lusi (Lumpur Lapindo)	22
2.2.1 Definisi Lusi	22
2.2.2 Kandungan Material Lusi	23
2.3 Kaolin	26
2.2.1 Definisi Kaolin	26

2.3.2 Transformasi Fasa Kaolin.....	27
2.3.3 Kandungan Mineral Kaolin	29
2.4 Larutan Alkali Aktifator	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 <i>Flowchart</i> Metode Penelitian	31
3.2 Studi Literatur	38
3.3 Persiapan Material	38
3.3.1 Lusi (Lumpur Lapindo)	38
3.3.2 Metakaolin.....	39
3.3.4 Larutan NaOH	41
3.3.5 Sodium Silikat (Na_2SiO_3)	42
3.3.6 Aquades	43
3.4 Analisa Material	43
3.4.1 Analisa Berat Jenis	43
3.4.2 Analisa XRD Lusi	44
3.4.3 Analisa XRF Lusi	44
3.4.4 Tes <i>Soluble Silicates</i>	45
3.5 Pembuatan Benda Uji	45
3.5.1 Komposisi Benda Uji	45
3.5.1 Kebutuhan Material.....	56
3.5.2 Cara Pembuatan Benda Uji	56
3.6 <i>Setting Time</i>	58
3.7 Proses <i>Curing</i>	60
3.8 Pengujian Benda Uji	60
3.8.1 Tes Kuat Tekan Benda Uji	60
3.8.2 Tes Berat Volume	62
3.8.3 Tes Porositas Pasta.....	63
3.8.4 Uji Kuat Tekan Paska Bakar	64
3.9 Analisa Hasil	66
3.10 Kesimpulan	67
BAB IV HASIL PENGUJIAN & ANALISA DATA	69
4.1 Umum	69
4.2 Hasil Analisa Material	69

4.2.1 Analisa Berat Jenis	69
4.2.2 Analisa XRD Lusi	70
4.2.3 Analisa XRF Lusi	72
4.2.4 Tes Soluble Silicates.....	73
4.3 Komposisi Pasta	74
4.4 Setting Time	81
4.4.1 Pengaruh Molaritas terhadap Setting Time ..	89
4.4.2 Pengaruh Binder terhadap Setting Time	92
4.4.3 Pengaruh Si/Al terhadap Setting Time	93
4.4.4 Pengaruh Na_2SiO_3 terhadap Setting Time	94
4.4.5 Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Setting Time	94
4.4.6 Pengaruh water/solid terhadap Setting Time	96
4.5 Berat Volume Pasta	98
4.5.1 Berat Volume Pasta umur 3 hari.....	98
4.5.2 Berat Volume Pasta umur 7 hari.....	99
4.5.3 Berat Volume Pasta umur 14 hari.....	101
4.5.4 Berat Volume Pasta umur 21 hari.....	102
4.5.5 Berat Volume Pasta umur 28 hari.....	103
4.6 Tes Kuat Tekan Pasta	105
4.6.1 Kuat Tekan Pasta Molaritas 8M	112
4.6.2 Kuat Tekan Pasta Molaritas 10M	113
4.6.3 Pengaruh Binder terhadap Kuat Tekan.....	114
4.6.4 Pengaruh Alkali terhadap Kuat Tekan.....	116
4.6.4.1 Pengaruh Molaritas NaOH	116
4.6.4.2 Pengaruh Rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$	118
4.6.5 Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan	119
4.6.6 Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan	120
4.6.7 Pengaruh water/solid terhadap Kuat Tekan	124
4.6.8 Hubungan Berat Volume terhadap Kuat Tekan.....	126
4.6.9 Hubungan Setting Time terhadap	

Kuat Tekan.....	127
4.7 Kuat Tekan Paska Bakar.....	130
4.7.1 Hubungan Penurunan Berat terhadap Kuat Tekan Sisa Paska Bakar	134
4.7.2 Pengaruh Binder terhadap Kuat Tekan Sisa Paska Bakar	135
4.7.3 Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Sisa Paska Bakar	136
4.7.4 Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Sisa Paska Bakar	137
4.7.5 Pengaruh water/solid terhadap Kuat Tekan Paska Bakar.....	139
4.8 Porositas.....	141
4.8.1 Pengaruh Alkali terhadap Posositas.....	148
4.8.2 Pengaruh Binder terhadap Posositas.....	149
4.8.3 Pengaruh Si/Al terhadap Posositas	149
4.8.4 Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Posositas	150
4.8.5 Pengaruh water/solid terhadap Posositas.....	154
4.8.6 Hubungan Berat Volume dengan Porositas	156
4.8.7 Hubungan Porositas dengan Kuat Tekan.....	157
4.8.8 Hubungan Porositas dengan Kuat Tekan Sisa.....	159
BAB V PENUTUP	161
5.1 Kesimpulan.....	161
5.2 Saran	162
5.3 Rekomendasi	163
Daftar Pustaka	165

DAFTAR TABEL

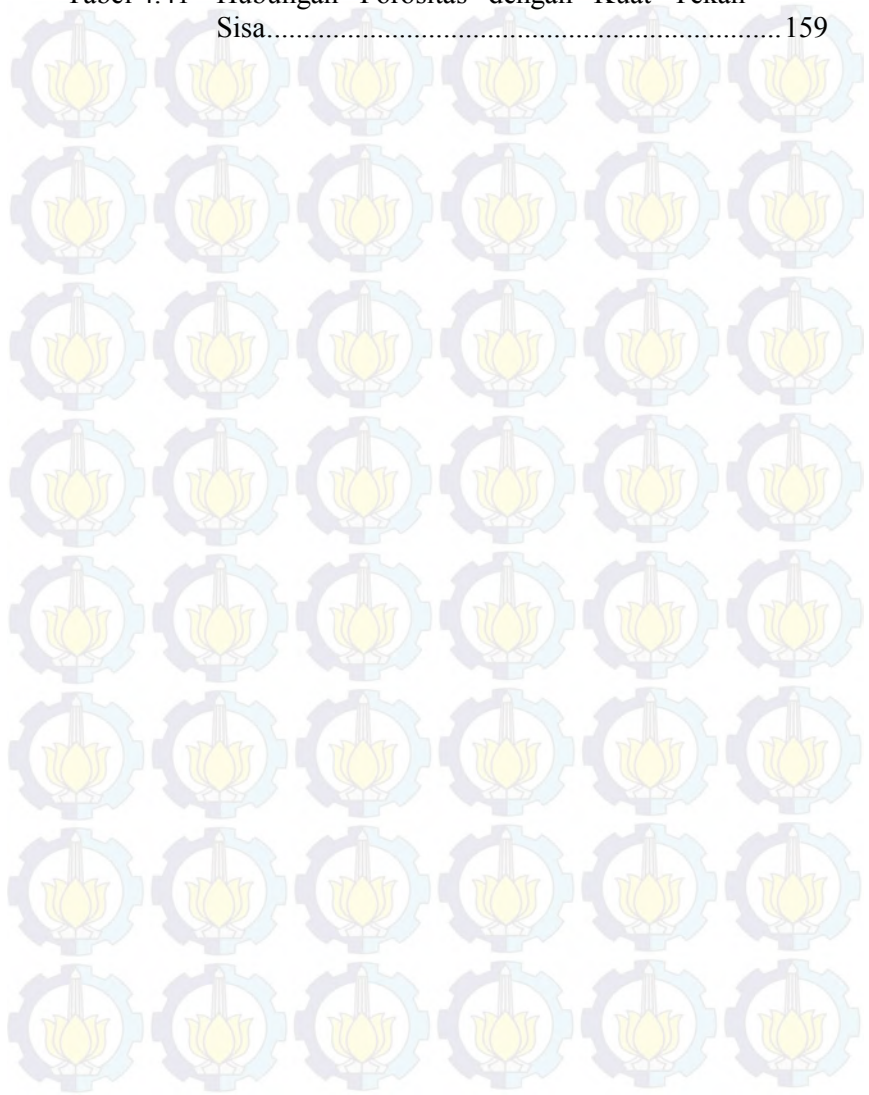
Tabel 2.1	Hasil analisa XRD Lusi	25
Tabel 2.2	Senyawa Oksida Lumpur Sidoarjo	25
Tabel 2.3	Hasil Analisa XRD Kaolin	30
Tabel 2.4	Hasil Analisa XRD Metakaolin Suhu 600°C	30
Tabel 2.5	Hasil Analisa XRD Metakaolin Suhu 700°C	30
Tabel 2.6	Senyawa Oksida Metakaolin	31
Tabel 3.1	Komposisi Benda Uji dalam Persentase	45
Tabel 3.2	Perhitungan massa air dalam 1 liter larutan NaOH	47
Tabel 3.3	Komposisi binder dengan Na ₂ SiO ₃ : NaOH (8 M) = 2	54
Tabel 3.4	Komposisi binder dengan Na ₂ SiO ₃ : NaOH (10 M) = 2	54
Tabel 3.5	Komposisi binder dengan Na ₂ SiO ₃ : NaOH (8 M) = 2,5	55
Tabel 3.6	Komposisi lusi dan metakaolin dengan Na ₂ SiO ₃ : NaOH (10 M) = 2,5	55
Tabel 3.7	Kebutuhan material	56
Tabel 3.8	Standar deviasi kontrol beton (SNI 03-6815-2002)	62
Tabel 4.1	Berat Jenis Lusi	70
Tabel 4.2	Berat Jenis Metakaolin	70
Tabel 4.3	Hasil Analisa XRD dan Jumlah Mineral lusi	72
Tabel 4.4	Hasil Analisa XRF Lusi	73
Tabel 4.5	Hasil tes soluble silicate dari tekmira	74
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan Tingkat Kereaktifan SiO ₂ dari XRF	74
Tabel 4.7	Variasi Komposisi Benda Uji	80
Tabel 4.8	Rekap Setting Time	89
Tabel 4.9	Pengaruh SiO ₂ / Na ₂ O terhadap Setting Time	94
Tabel 4.10	Berat Volume Pasta Umur 3 Hari	98
Tabel 4.11	Berat Volume Pasta Umur 7 Hari	99
Tabel 4.12	Berat Volume Pasta Umur 14 Hari	101

Tabel 4.13	Berat Volume Pasta Umur 21 Hari	102
Tabel 4.14	Berat Volume Pasta Umur 28 Hari	103
Tabel 4.15	Kuat Tekan Pasta Umur 3 Hari	106
Tabel 4.16	Kuat Tekan Pasta Umur 7 Hari	107
Tabel 4.17	Kuat Tekan Pasta Umur 14 Hari	108
Tabel 4.18	Kuat Tekan Pasta Umur 21 Hari	109
Tabel 4.19	Kuat Tekan Pasta Umur 28 Hari	110
Tabel 4.20	Kuat Tekan Pasta Sampai 28 Hari	111
Tabel 4.21	Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Pasta	119
Tabel 4.22	Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Pasta	121
Tabel 4.23	Pengaruh water/solid terhadap Kuat Tekan Pasta	124
Tabel 4.24	Hubungan Berat Volume terhadap Kuat Tekan Pasta	126
Tabel 4.25	Hubungan Setting Time terhadap Kuat Tekan Pasta pada Si/Al Optimum	128
Tabel 4.26	Kuat Tekan Pasta Bakar Umur 28 Hari	131
Tabel 4.27	Rekap Kuat Tekan Pasta Bakar Umur 28 Hari	132
Tabel 4.28	Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Sisa Pasta Bakar	136
Tabel 4.29	Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Sisa Pasta Bakar	138
Tabel 4.30	Pengaruh water/solid terhadap Kuat Tekan Sisa Pasta Bakar	140
Tabel 4.31	Hasil Porositas Pasta P 8-2	142
Tabel 4.32	Hasil Porositas Pasta P 10-2	143
Tabel 4.33	Hasil Porositas Pasta P 8-2.5	144
Tabel 4.34	Hasil Porositas Pasta P 10-2.5	145
Tabel 4.35	Hasil Rekap Porositas Pasta dan Kuat Tekan	146
Tabel 4.36	Pengaruh Si/Al terhadap Porositas	149
Tabel 4.37	Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Porositas	151
Tabel 4.38	Pengaruh water/solid terhadap Porositas	154
Tabel 4.39	Hubungan Berat Volume dengan Porositas	156

Tabel 4.40 Hubungan Porositas dengan Kuat Tekan..... 158

Tabel 4.41 Hubungan Porositas dengan Kuat Tekan

Sisa..... 159





BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton adalah campuran dari agregat kasar, agregat halus dan material pengikat seperti semen. Semen yang dicampur dengan air akan bereaksi menjadi pengikat agregat-agregat tersebut. Semua material-material tersebut dicampur menjadi satu dengan perbandingan yang sudah ditentukan. Namun dalam penggunaan semen sebagai bahan pengikat ada kekhawatiran dari para pengamat lingkungan. Karena pada proses produksi 1 ton semen akan mengeluarkan 0,55 ton CO₂ ke udara, sedangkan pada proses pembakaran bahan bakarnya akan mengeluarkan 0,4 ton CO₂ ke udara, jadi total CO₂ yang dikeluarkan diperkirakan adalah 0.95 ton yang akan mengotori udara (Davidovits, 2008). Hal tersebut sangat tidak ramah lingkungan, karena dapat menyebabkan gas asam beracun di langit yang berakibat menipisnya lapisan ozon di bumi, sehingga menyebabkan efek rumah kaca pada lingkungan di bumi yang sering kita kenal dengan istilah *global warming* (Davidovits, 1994).

Seiring dengan perkembangan teknologi, para ahli material memikirkan bagaimana cara membuat beton yang ramah lingkungan, salah satunya adalah beton *geopolimer*. Beton *geopolimer* adalah sebuah senyawa silikat aluminio anorganik yang disintesis dari bahan-bahan produk sampingan yang mengandung banyak silikon dan aluminium (Davidovits, 1994). Namun dalam proses pembentukan geopolimer ini diperlukan larutan alkali silika aktif (Davidovits, 1991). Alkali didapat dengan menggunakan larutan KOH atau NaOH. Selain kondisi alkali dan material dasar yang mengandung Al dan Si, beton geopolimer membutuhkan tambahan silika aktif yang didapat dari silika fume atau natrium silikat (Na₂SiO₃). Beton *geopolimer* memiliki banyak kelebihan di antaranya, tahan terhadap api, tahan terhadap lingkungan korosif, tahan terhadap reaksi alkali silika, mengurangi polusi udara, dan mempunyai rangkakan susut

yang kecil (Frantisek Skvara dkk, 2006). Beton geopolimer relatif tidak mengalami penyusutan seperti beton dari semen Portland. Beton geopolimer juga juga hemat energi dan ramah lingkungan. Energi yang diperlukan hanya kurang lebih 3/5 dibanding dengan pembuatan semen. Pembuatan beton geopolimer juga tidak menghasilkan emisi CO₂ seperti pada pembuatan semen portland (Davidovits, 1991).

Material dasar pembentuk pasta geopolimer adalah pozolan, baik dari pozolan alam maupun pozolan buatan. Material pozolan yang mengandung silika dan alumina dapat digunakan sebagai pengikat (*binder*) diantaranya adalah fly ash, metakaolin, abu sekam atau material vulkanik (Davidovits, 2008). Dalam penelitian kali ini akan digunakan campuran antara lumpur sidoarjo dan metakaolin sebagai *binder* serta ditambah dengan natrium hidroksida (NaOH) dengan natrium silikat (Na₂SiO₃) sebagai *alkali activator*.

Lumpur Sidoarjo (lusi) merupakan salah satu sumber pozolan yang menumpuk dan belum diolah menjadi salah satu perhatian di kalangan akademisi untuk mengurangi volumenya di lapangan (Ekaputri dan Triwulan, 2006). Menurut BPLS pada awal semburan Mei 2006 volume lumpur yang keluar dari pusat semburan diperkirakan sebesar 170.000 m³/hari bahkan pernah mencapai 180.000 m³/hari pada Desember 2006. Semburan mulai menurun menjadi sekitar 75.000 m³/hari pada Juli 2009. Pada Mei 2012, volume semburan jauh mengecil berkisar antara 25.000 - 50.000 m³/hari (Hadi S, 2012). Menurut penelitian sebelumnya, material ini dalam kondisi kering bisa digunakan sebagai pengikat pada beton geopolimer (Ekaputri dan Triwulan, 2006). Salah satu cara yang paling umum agar bisa dimanfaatkan menjadi material geopolimer adalah dengan mengkalsinasi (membakar) lusi pada suhu yang tepat untuk mengubah sifatnya menjadi reaktif dan bisa berikatan dengan alkali. Namun selama ini Lusi hanya dipadukan dengan *fly ash* sebagai material geopolimer, belum ada perpaduan antara lusi dan kaolin ataupun lempung.

Sementara itu, metakaolin merupakan fasa kaolin yang telah diaktivasi dan bersifat lebih amorf. Kaolin merupakan bahan baku yang paling banyak digunakan dalam mempelajari proses geopolimerisasi (Duxson dkk, 2005). Kaolin banyak sekali di jumpai di daerah pertambangan khususnya daerah Bangka Belitung. Kaolin merupakan tanah lempung dengan sedikit mengandung mineral besi. Kaolin termasuk bahan industri yang banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan kertas, keramik, cat, isolator dan mineral pengisian.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa mekanik pada variasi pasta dengan menggunakan campuran lusi dan metakaolin. Alkali yang digunakan adalah NaOH 8 M dan 10 M. Tambahan silika yang digunakan adalah Na_2SiO_3 , dengan perbandingan Na_2SiO_3 dan NaOH dijaga konstan sebesar 2 dan 2.5. Benda uji pasta akan dilakukan pengetesan diantaranya adalah *setting time*, uji kuat tekan hancur, uji kuat tekan paska bakar, dan uji porositas.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan alternatif sumber pozolan alam yang bisa dimanfaatkan untuk membuat beton geopolimer. Di samping itu adanya upaya untuk mengurangi volume lusi dan memanfaatkan metakaolin sebagai sumber utama pembuatan beton geopolimer.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Bagaimana komposisi mineral dan kimia yang terkandung dalam lumpur sidoarjo dan metakaolin?
2. Berapa lama *setting time* yang dibutuhkan antara lumpur sidoarjo dan metakaolin untuk terikat?
3. Bagaimana kuat tekan pasta geopolimer dengan material berupa lumpur sidoarjo dan metakaolin?
4. Berapa komposisi optimum material berupa lumpur sidoarjo dan metakaolin yang tepat pada pembuatan pasta geopolimer?

5. Bagaimana kuat tekan pasta geopolimer setelah terkena bakar?
6. Bagaimana sifat porositas pasta geopolimer yang dihasilkan?

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk beberapa hal, antara lain :

1. Untuk mengetahui komposisi mineral dan kimia yang terkandung dalam lumpur sidoarjo dan metakaolin.
2. Untuk menentukan lama waktu yang dibutuhkan antara lumpur sidoarjo dan metakaolin untuk terikat penuh.
3. Untuk mengetahui kuat tekan pasta geopolimer dengan material berupa lumpur sidoarjo dan metakaolin.
4. Untuk mencari komposisi optimum material berupa lumpur sidoarjo dan metakaolin yang tepat pada pembuatan pasta geopolimer.
5. Untuk mengetahui kuat tekan pasta geopolimer setelah terkena bakar?
6. Untuk mengetahui sifat porositas dari pasta geopolimer yang dihasilkan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan penelitian diperlukan sebagai berikut :

1. Penelitian hanya dilakukan pada skala laboratorium.
2. Penelitian ini hanya mencari campuran optimum untuk pasta dari beton geopolimer.
3. Tidak meninjau dari segi ekonomi dari beton geopolimer.

1.5 Manfaat

Manfaat Khusus :

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah menjadi salah satu usaha untuk melestarikan lingkungan dengan memanfaatkan limbah seperti Lumpur Sidoarjo dan memanfaatkan bahan milik indonesia sendiri seperti Kaolin menjadi material utama pengganti semen dalam pembuatan beton

geopolimer. Diharapkan pula agar penelitian ini menjadi acuan untuk menemukan campuran pasta geopolimer yang optimum untuk penelitian selanjutnya sehingga dapat digunakan untuk membuat beton geopolimer yang sesuai dengan yang diharapkan.

Manfaat Umum :

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi seluruh masyarakat dan kalangan pembaca.



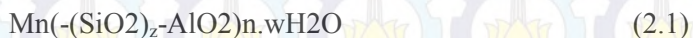
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geopolimer

2.1.1 Definisi Geopolimer

Geopolimer adalah senyawa silikat alumina anorganik yang disintesis dari bahan-bahan produk sampingan seperti abu terbang (*fly ash*), abu kulit padi (*rice husk ash*) dan lain-lain yang banyak mengandung silika dan alumina membentuk sebuah senyawa silikat alumina anorganik (Davidovits, 1997).

Geopolimer dihasilkan melalui aluminosilikat, terdiri atas silikon dan aluminium (*polysialate*) yang mudah dan akan terlarut dalam larutan alkali activator. Larutan alkali ini dihasilkan melalui pencampuran sodium hidroksida dan sodium silikat. *Polysialate* adalah rantai dan cincin polimer dari Si^{4+} dan Al^{3+} dengan *4-fold coordination with oxygen* yang memiliki struktur mulai dari amorf hingga semi-kristalin (Davidovits, 2002). Ion positif (Si^+ , K^+ , Li^+ , Ca^{++} , Ba^{++} , NH_4^+ , H_3O^+) harus hadir dalam kekosongan *framework* untuk menyeimbangkan muatan negatif dari Al^{3+} *4-fold coordination*. Sialat sendiri merupakan singkatan dari silikon-okso-aluminat dengan rumus empiris pada persamaan 2.1 (Davidovits, 1994) :



dimana : M : elemen alkali kation monovalent seperti kalium atau natrium

n : derajat polikondensasi atau polimerisasi

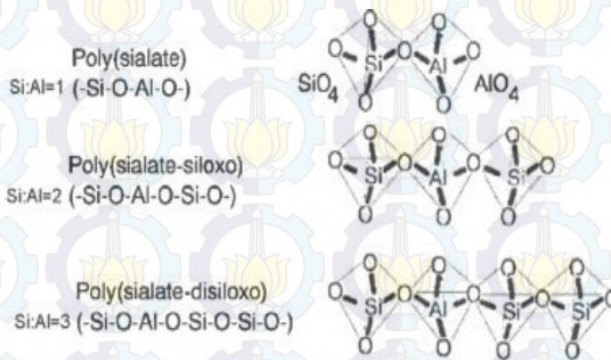
z : bilangan 1, 2, 3, ... 32

- : symbol ikatan

Menurut (Joseph Davidovits, 1994) proses polimerisasi yang terjadi di dalam beton geopolimer meliputi reaksi kimia yang terjadi antara alkalin dengan mineral Si-Al sehingga menghasilkan rantai polimeric tiga dimensi dan ikatan struktur Si-O-Al-O yang konsisten, yaitu memiliki 3 ikatan, antara lain:

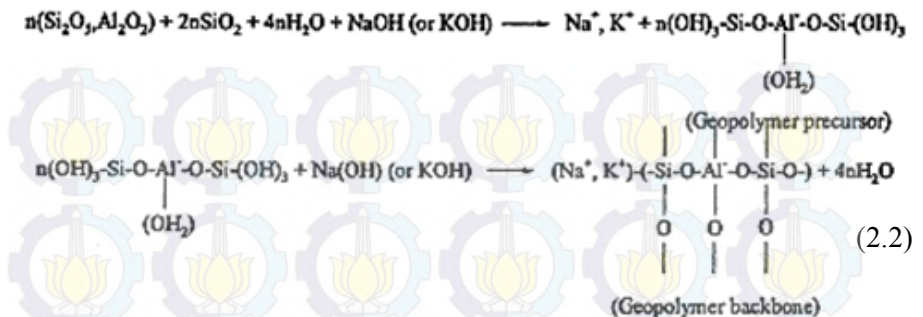
- *Poly(sialate)*, yang memiliki ikatan $\text{Mn}(-(\text{Si-O-Al-O})_n$
- *Poly(sialate-siloxo)*, yang memiliki ikatan $\text{Mn}(-(\text{Si-O-Al-O-Si-O})_n$
- *Poly(sialate-disiloxo)*, yang memiliki ikatan $\text{Mn}(-(\text{Si-O-Al-O-Si-O-Si-O})_n$

Dimana M adalah kation seperti Na, K, atau Ca dan n adalah derajat reaksi, rangkaian lengkapnya akan ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur Kimia Polysialate (Davidovits, 1994)

Seperti yang dijelaskan di atas bahwa bahan geopolimer terbentuk karena adanya reaksi polimerisasi, sehingga dalam pembuatannya diperlukan bahan tambahan lainnya, yaitu larutan sodium hidroksida dan sodium silikat yang berfungsi sebagai zat aktifator. Geopolimerisasi melibatkan reaksi kimia dari alumina-silikat oksida (Si_2O_5 , Al_2O_3) dengan alkali polisilikat yang menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al (R. Cioffi dkk, 2003). Polisilikat umumnya berupa natrium atau kalium silikat yang disuplai oleh industry kimia atau bubuk silica halus sebagai produk sampingan dari proses *ferro-silicon metallurgy*. Pada persamaan 2.2 menunjukkan polikondensasi oleh alkali menjadi poly (sialate-siloxo) (Xu and van Deventer, 2000).



Persamaan 2.2 mengindikasikan bahwa air dilepaskan selama reaksi kimia yang terjadi dalam pembuatan geopolimer. Air ini dikeluarkan selama proses *curing*.

Sementara itu 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).

2.1.2 Sifat – Sifat Beton Geopolimer

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan melaporkan bahwa geopolimer memiliki ketahanan terhadap asam, ketahanan terhadap korosi, tahan terhadap suhu tinggi (tahan terhadap api), memiliki kekuatan awal yang tinggi, penyusutan yang rendah, serta menghasilkan reaksi agregat alkali yang tidak berbahaya (Davidovits, 1991).

Geopolimer juga lebih unggul dari pada semen Portland karena dalam hal ketahan panas dan api, semen Portland mengalami penurunan kekuatan tekan yang cepat pada 300°C, sedangkan geopolimer tetap stabil sampai suhu di atas 600°C. Selain itu geopolimer memiliki setting time yang cepat pada suhu ruangan 20°C dengan kekuatan tekan yang mencapai 20 Mpa dan kekuatan tekan tersebut dapat meningkat seiring berjalannya waktu hingga 70-100 Mpa setelah 28 hari (Davidovits, 2008).

Geopolimer memiliki ketahanan terhadap sulfat dibandingkan dengan semen portland biasa (Davidovits, 1999). Mengenai ketahanan geopolimer terhadap lingkungan asam telah diteliti sebelumnya oleh (Song dkk, 2005). Selain itu juga dilaporkan bahwa asam sulfat yang mengganggu stabilitas dari geopolimer itu sendiri dapat dikontrol dengan mekanisme difusi. Selain itu penelitian terhadap ketahanan asam juga ditunjukkan dari pengujian terhadap sampel beton geopolimer yang direndam dalam 5 macam 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).

2.1.3 Kelebihan dan Kekurangan Beton Geopolimer

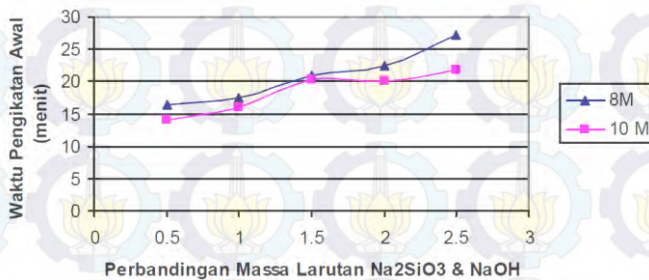
Menurut (Frantisek Skvara,dkk, 2006) beton geopolimer memiliki kelebihan dan beberapa kekurangan yang diantaranya adalah sebagai berikut :

- a. Kelebihan-kelebihan beton geopolimer
 - Tahan terhadap api.
 - Tahan terhadap lingkungan korosif.
 - Tahan terhadap reaksi alkali silika.
 - Tidak menggunakan semen sebagai bahan perekatnya, maka dapat mengurangi polusi udara.
 - Mempunyai rangkai susut yang kecil.
- b. Kekurangan-kekurangan beton geopolimer :
 - Pembuatan beton geopolimer lebih rumit dibandingkan beton semen, karena membutuhkan alkaline activator,
 - belum ada rancang campuran (mix design) yang pasti.

2.1.4 Setting Time Geopolimer

Setting time dari beton geopolimer dipengaruhi oleh rasio perbandingan molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. 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 (P. D. Silva, 2007). Si/Al juga mempengaruhi waktu *setting*. Semakin tinggi Si/Al , maka waktu *setting* yang dibutuhkan juga semakin lama (Triani, 2015).

Selain itu *Setting time* geopolimer juga tergantung pada molaritas alkali dan kepekatanya hal ini dibuktikan pada gambar 2.2. dan 2.3.



Gambar 2.2 Waktu Pengikatan Awal Binder Geopolimer Pada Molaritas 8M & 10M (Ekaputri dkk, 2007)

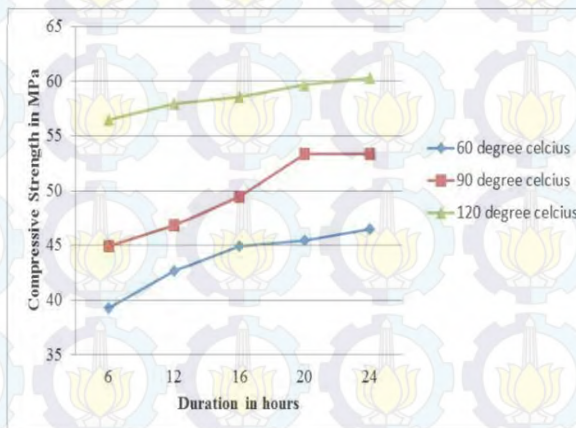


Gambar 2.3 Waktu Pengikatan Akhir Binder Geopolimer Pada Molaritas 8M & 10M (Ekaputri dkk, 2007)

Dari gambar 2.2 dan 2.3 didapatkan kalau semakin tinggi molaritas NaOH maka semakin cepat pengikatan awal maupun akhir. Karena semakin tinggi molaritas yang digunakan maka jumlah air yang ada dalam campuran juga semakin sedikit. Hal ini menyebabkan beton cepat mengeras (Ekaputri dkk, 2007). Sementara itu semakin tinggi perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ maka semakin lama waktu pengikatan awal namun semakin cepat pada pengikatan akhir.

2.1.5 Curing Geopolimer

Pada geopolimer proses *curing* memiliki peran penting terhadap kuat tekan geopolimer dimana lama proses *steam curing* pada beton geopolimer menyebabkan peningkatan proses polimerisasi pada beton geopolimer, dengan meningkatnya proses polimerisasi menghasilkan kuat tekan yang lebih besar (Hardjito dan Rangan, 2005). Pada tahun 2012 Menessh dkk, melakukan penelitian tentang pengaruh efek dari lamanya waktu dan suhu perawatan terhadap kuat tekan beton geopolimer didapatkan hasil pada gambar 2.4.



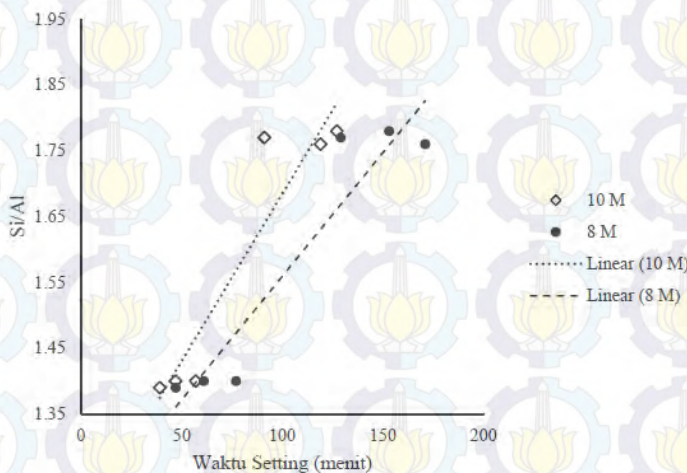
Gambar 2.4 Grafik Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan lama waktu dan *steam curing* (Menessh dkk, 2012)

Dari gambar 2.4, dapat disimpulkan kalau semakin lama dan tinggi proses *steam curing* maka dapat menghasilkan kuat tekan yang tinggi.

Selain itu proses curing beton geopolimer juga bisa dengan menggunakan plastik. Pada penelitian Ekaputri dkk, 2007 beton geopolimer yang berbahan fly ash setelah dilepas dari cetakkan, kemudian dibungkus dengan plastik dan dibiarkan dalam suhu ruang selama empat hari. Hal ini bertujuan untuk mengurangi kehilangan air atau penguapan selama proses curing berlangsung. Kemudian beton dibiarkan dalam suhu ruang hingga pengetesan dilakukan dan hasil kuat tekannya mencapai 50 Mpa.

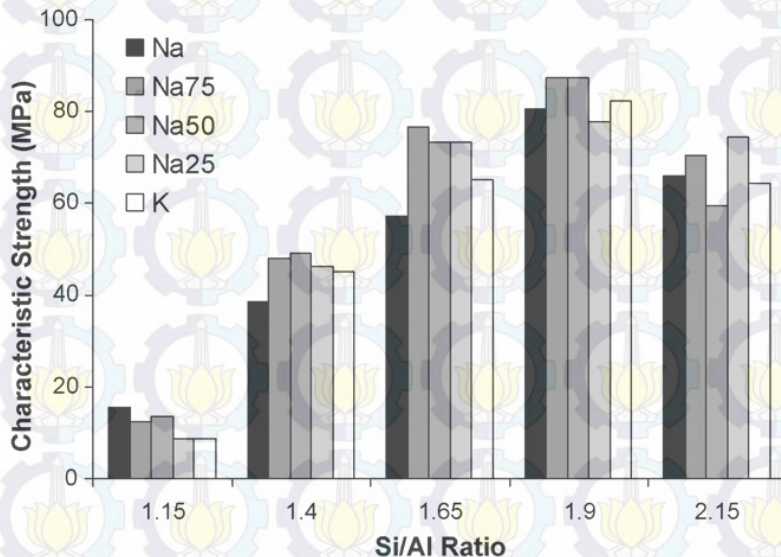
2.1.6 Pengaruh Si/Al

Menurut penelitian (P. D. Silva, 2007) Si/Al sangat mempengaruhi setting time. Pada penelitian yang dilakukan oleh Triani pada tahun 2015 menghasilkan bahwa Si/Al yang tinggi membuat *setting time* menjadi lama (lihat gambar 2.5). Saat itu material yang digunakan adalah metakaolin.



Gambar 2.5 Grafik Pengaruh Si/Al terhadap *setting time* (Triani, 2015)

Si/Al juga mempengaruhi kuat tekan. Pada tahun 2007, Petter Duxon dkk pernah melakukan penelitian tentang pengaruh Si/Al terhadap kuat tekan dengan material metakaolin dimana Si/Al yang digunakan adalah 1.15 sampai 2.15. Dari hasil penelitiannya kuat tekan naik seiring naiknya Si/Al. Namun hanya sampai Si/Al 1.9, kuat tekan akan turun saat Si/Al melebihi 1.9. Ini menunjukkan bahwa ada titik opotimumnya yaitu saat Si/Al antara 1.15 sampai 1.9 (lihat gambar 2.6).

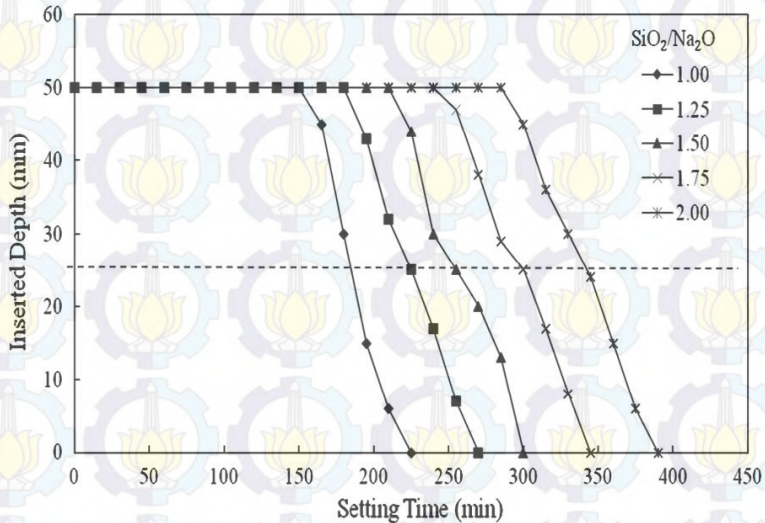


Gambar 2.6 Grafik Pengaruh Si/Al terhadap kuat tekan (P. Duxon dkk, 2007)

2.1.7 Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$

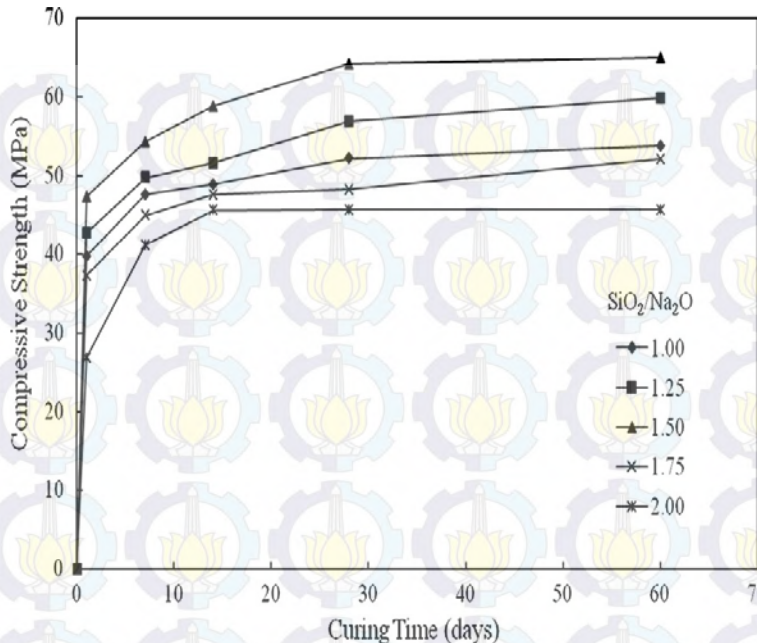
Pada tahun 2014 Kang Gao dkk melakukan penelitian dengan menggunakan material metakaolin tentang pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap geopolimer dimana $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ yang digunakan adalah 1.00 sampai 2.00. Dari penelitiannya didapatkan hasil bahwa $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ berpengaruh pada *setting time* yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 2.7. $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ juga

berpengaruh terhadap kuat tekan yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.7 Grafik Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap *setting time* (Kang Gao dkk, 2014)

Bila dilihat pada gambar 2.7, semakin tinggi $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ berdampak pada *setting time* yang lebih lama. Hal ini dikarenakan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ yang tinggi akibat kandungan natrium silikat (Na_2SiO_3) yang banyak. Banyaknya Na_2SiO_3 membuat campuran kental, sehingga pasta menjadi leceh, *workability* naik, dan *setting time* lama (Kang Gao dkk, 2014).



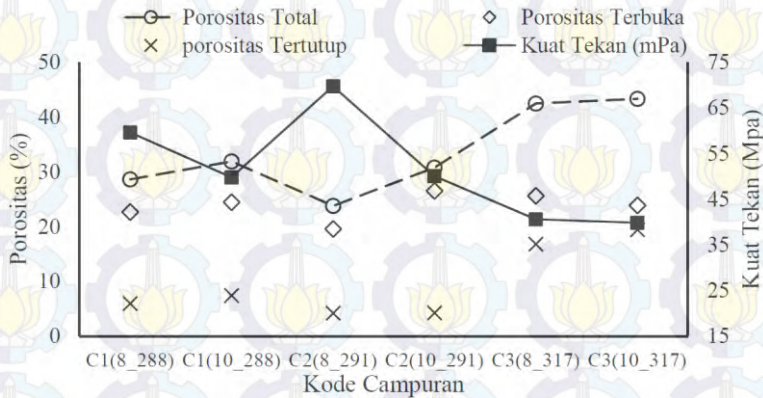
Gambar 2.7 Grafik Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap kuat tekan (Kang Gao dkk, 2014)

Dari gambar 2.8, untuk semua variasi *curing time* terlihat kalau kenaikan maksimum terjadi saat $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ mencapai 1.50. Dimana kuat tekan naik saat $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ antara 1.00 sampai 1.50, selanjutnya kuat tekannya turun ketika $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ naik. Ini menunjukkan bahwa ada titik opotimumnya yaitu saat $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ antara 1.00 sampai 1.50.

2.1.8 Pengaruh Porositas

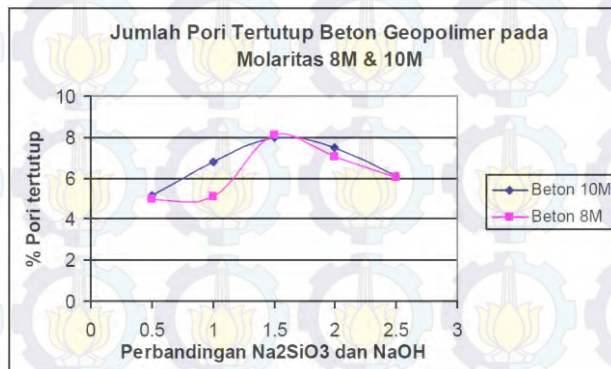
Kuat tekan sangat dipengaruhi oleh porositas sebuah beton atau pasta beton. Nilai kuat tekan berbanding terbalik dengan nilai porositas. Semakin kecil porositas maka semakin besar kuat tekannya dan sebaliknya seperti terlihat pada gambar 2.8. Pernyataan tersebut diutarakan oleh (Triani, 2015) yang pada

penelitiannya menggunakan pasta geopolimer berbahan dasar metakaolin

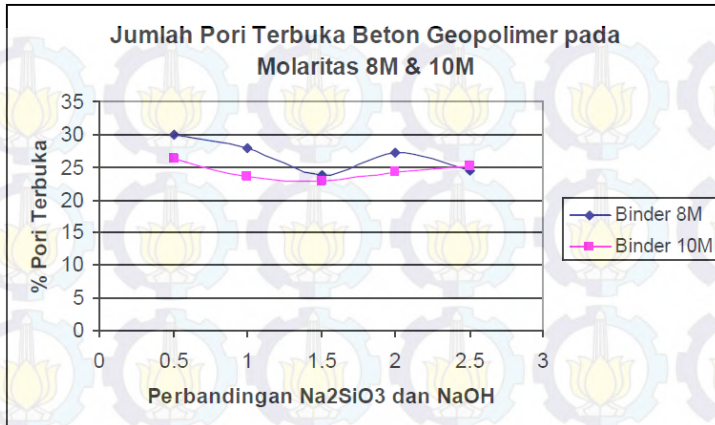


Gambar 2.8 Grafik Hubungan antara Porositas dengan Kuat Tekan Pasta Dasar Umur 28 Hari (Triani, 2015)

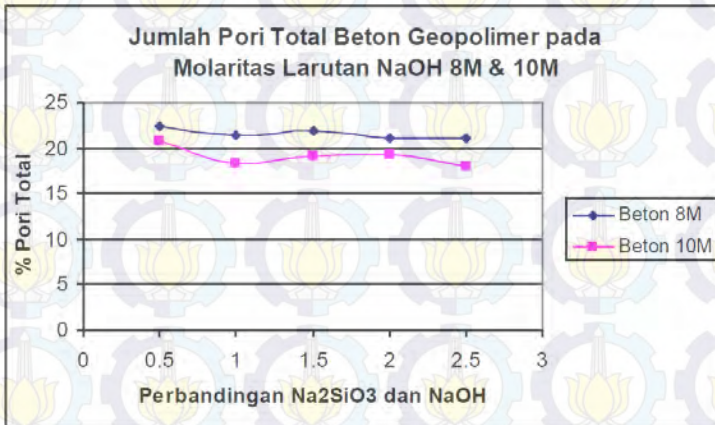
Pada tahun 2007 Ekaputri dkk, melakukan penelitian tentang beton geopolimer yang berbahan dasar fly ash dan melakukan pengujian porositas dengan hasil seperti pada gambar 2.9, 2.10 dan 2.11.



Gambar 2.9 Grafik Jumlah Pori Tertutup Beton Geopolimer pada Molaritas Larutan NaOH 8M & 10M (Ekaputri dkk, 2007)



Gambar 2.10 Grafik Jumlah Pori Terbuka Beton Geopolimer pada Molaritas Larutan NaOH 8M & 10M (Ekaputri dkk, 2007)



Gambar 2.11 Grafik Jumlah Pori Total Beton Geopolimer pada Molaritas Larutan NaOH 8M & 10M (Ekaputri dkk, 2007)

Dari gambar 2.9, jumlah pori tertutup dalam beton 8M dan 10M ini terdapat titik optimum pada perbandingan massa Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida = 1.5. Hasil tes porositas ini

berhubungan erat dengan hasil tes tekan. Pori tertutup memiliki tekanan hidrostatis yang membantu meningkatkan kuat tekan beton sehingga jika semakin besar jumlah pori tertutup maka semakin tinggi pula kuat tekan yang dihasilkan beton geopolimer (Ekaputri dkk, 2007).

Pada gambar 2.10, beton geopolimer yang menggunakan perbandingan massa larutan Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida =1.5 memiliki pori terbuka yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan beton komposisi lain. Terlihat komposisi larutan NaOH 10M dan perbandingan massa larutan Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida =1.5 memiliki kuat tekan yang tertinggi. Karena pori terbuka yang ada didalam beton menyebabkan beton menjadi keropos, sehingga jika semakin banyak jumlah pori terbuka maka semakin menurun pula kuat tekan dan kuat tarik belah yang dihasilkan.

Sementara pada gambar 2.11, semakin tinggi molaritas jumlah total pori semakin sedikit tetapi jumlah pori tertutup semakin banyak. Beton yang menggunakan larutan NaOH 10M lebih pekat karena sedikit air, jika dibandingkan dengan beton yang menggunakan larutan 8M. Pada saat proses curing dilakukan, air yang berada dalam beton akan menguap sehingga rongga yang dulunya ditempati oleh air menjadi kosong. Oleh sebab itu, jumlah total pori beton 8M relative lebih banyak jika dibandingkan dengan beton 10M.

2.1.9 Ketahanan Terhadap Api

Pada subbab sebelumnya sudah dijelaskan bahwa beton geopolimer memiliki ketahanan terhadap api lebih baik dari pada beton dari semen Portland. Hal ini diperjelas pada 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 portland 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).

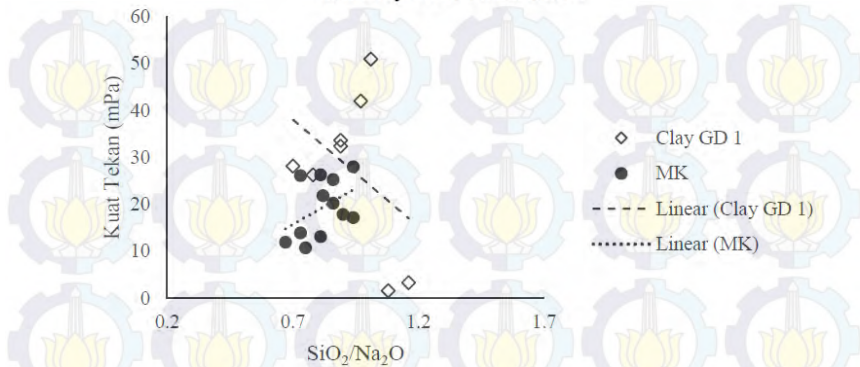
Pada tahun 2015 Triani melakukan penelitian tentang ketahanan bakar pada material metakaolin dan clay yang dibakar pada suhu 400°C selama 30 menit. Pada penelitian ini nilai Si/Al mempengaruhi hasil dari tes kuat tekan setelah dibakar seperti yang terlihat pada gambar 2.12. Sementara itu pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ dapat dilihat pada gambar 2.13 dan pengaruh water/solid pada gambar 2.14.



Gambar 2.12 Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1 Pasca Bakar (Triani, 2015)

Pada gambar 2.12, menunjukkan bahwa pada metakaolin 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, terlihat bahwa ketika Si/Al tinggi, kuat tekan cenderung turun. Hal ini dikarenakan campuran clay GD 1 memiliki water/solid yang paling tinggi, sehingga kuat tekan mengalami penurunan drastik saat water/solid tinggi yang dapat dilihat pada gambar 2.14 (Triani, 2015).

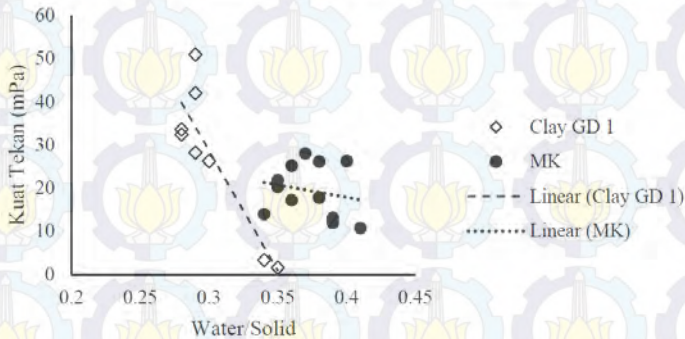
Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1 Pasca Bakar



Gambar 2.13 Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1 Pasca Bakar (Triani, 2015)

Pada gambar 2.13, 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, terlihat kecenderungan kuat tekan pasca bakar dengan perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ tinggi berefek pada kuat tekan pasta yang menurun.

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



Gambar 2.14 Pengaruh water/solid terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1 Pasca Bakar (Triani, 2015)

Dari gambar 2.14, menunjukkan bahwa bahwa kuat tekan pasca bakar pasta clay GD 1 mengalami penurunan drastis saat water/solid nya tinggi. Penurunan kuat tekan pasca bakar juga dialami pasta metakaolin namun tidak terlalu drastis.

2.2 Lusi (Lumpur Sidoarjo)

2.2.1 Definisi Lusi

Lumpur adalah material-material yang berasal dari perut bumi yang mengandung mineral, gas, dan kandungan tanah yang keluar dari permukaan sehingga menjadi limbah yang tidak terpakai (Aristianto, 2006). Sementara itu lumpur sidoarjo adalah lumpur yang berasal dari sidoarjo. Semburan lumpur panas sidoarjo yang berada di permukaan dalam konteks ini dikategorikan 3 jenis yaitu :

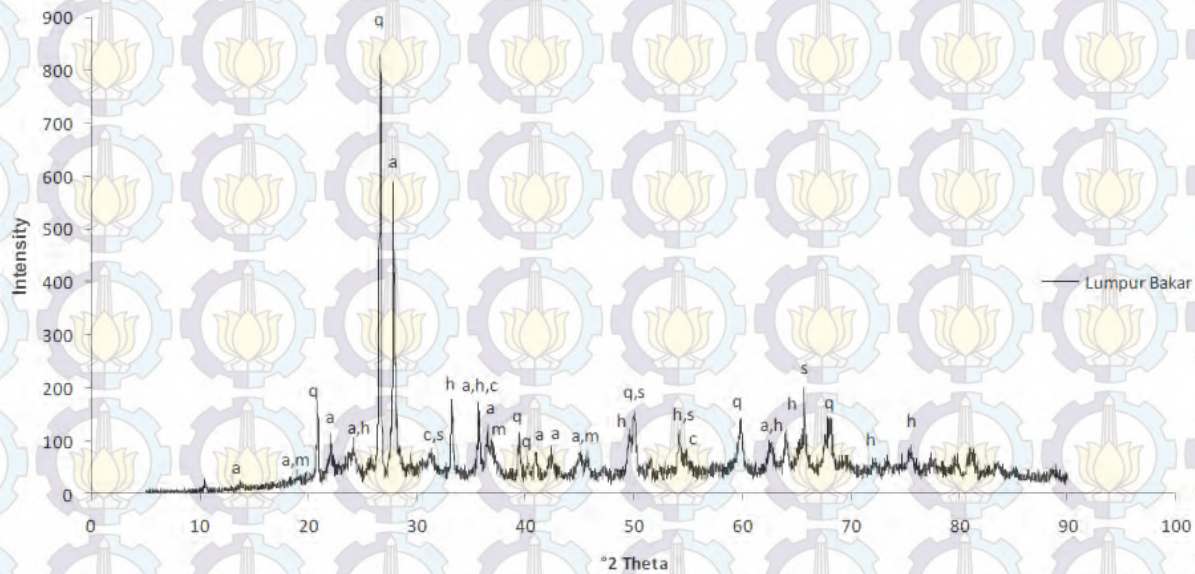
- Lumpur panas (yang belum terpisah)
- Air lumpur
- Padatan lumpur

Kualitas lumpur yang disajikan adalah lumpur panas dan padatan lumpur.

Menurut penelitian sebelumnya material ini dalam kondisi kering bisa digunakan sebagai pengikat pada beton geopolimer. Salah satu cara yang paling umum agar bisa dimanfaatkan menjadi material geopolimer adalah dengan mengkalsinasi (membakar) lusi pada suhu yang tepat untuk mengubah sifatnya menjadi reaktif dan bisa berikatan dengan alkali (Ekaputri dan Triwulan 2013).

2.2.2 Kandungan Material Lusi

Lumpur sidoarjo memiliki banyak kandungan mineral yang terkandung didalamnya ini ditunjukkan pada pada gambar 2.13. Lumpur yang sudah dibakar pada suhu 800°C selama 2 jam kemudian dianalisa menggunakan analisa XRD (Triwulan dkk, 2014).



Gambar 2.15 Grafik Analisa XRD Lusi (Triwulan dkk, 2014)

Dari gambar 2.15 dapat diketahui komposisi mineral yang terkandung dalam lusi bakar, dimana hasil analisa tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Hasil analisa XRD Lusi

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia
q	Quartz = Silicon Oxide	SiO ₂
h	Hematite = Iron Oxide	Fe ₂ O ₃
c	Copper Iron Oxide	CuFeO ₂
a	Anorthite = Calcium Aluminium Silicate	CaAl ₂ Si ₂ O ₈
m	Manganese Oxide	MnO ₂
s	Sillimanite = Aluminium Silicate	Al ₂ SiO ₅

Sumber : (Triwulan dkk, 2014)

Selain itu lusi bakar memiliki senyawa oksida, yang uji kimianya menggunakan analisa XRF dengan hasil seperti pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Senyawa Oksida Lumpur Sidoarjo

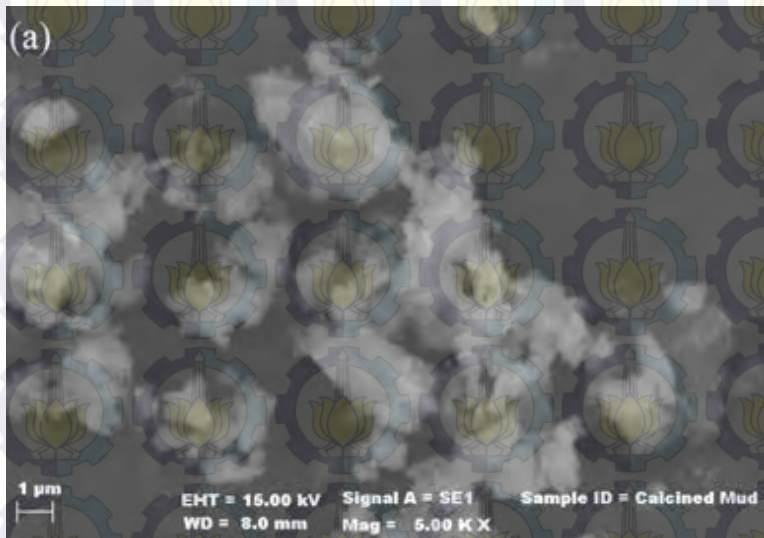
Senyawa	Kadar (% berat)
SiO ₂	32
Al ₂ O ₃	5.8
Fe ₂ O ₃	42.22
CaO	7
MnO	0.67
K ₂ O	4.51
SO ₃	2.6
Lain-lain	5.06

Sumber : (Triwulan dkk, 2014)

Dari tabel 2.2, komposisi senyawa oksida lumpur bakar yang dominan adalah Al₂O₃, Fe₂O₃ dan SiO₂, total dari ketiga mineral tersebut yaitu sebesar 80.02%. Menurut ASTM C618

material digolongkan kedalam *pozzolan* jika mengandung minimum 70% senyawa yang terdiri dari Al_2O_3 , Fe_2O_3 dan SiO_2 . Sehingga lumpur bakar dapat digolongkan kedalam *pozzolanik* material (Triwulan dkk, 2014).

Pada gambar 2.16, lusi bakar yang diamati melalui Scanning Electron Microscopy (SEM) kira-kira 2-3 μm memiliki partikel yang berbentuk serpihan (Ekaputri dkk, 2015).



Gambar 2.16 Analisa SEM Lusi (Ekaputri dkk, 2015)

2.3 Kaolin

2.3.1 Definisi Kaolin

Kaolin yang telah diaktifasi menjadi fasa metakaolin, dimana bersifat lebih amorf daripada kaolin, merupakan bahan baku yang paling banyak digunakan dalam mempelajari proses geopolimerisasi (Duxson dkk, 2005). Kaolin merupakan tanah lempung dengan sedikit mengandung mineral besi. Kaolin termasuk bahan industri yang banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan kertas, keramik, cat, isolator dan mineral pengisian. Kaolinite (bukan kaolin) merupakan mineral tanah liat

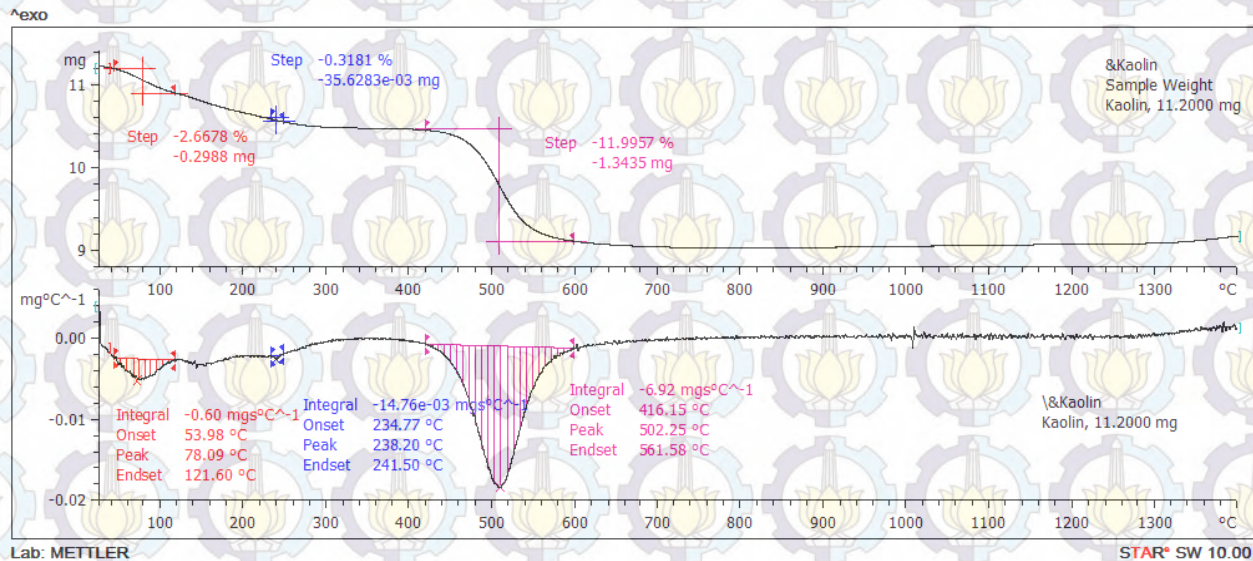
(clay), dengan komposisi kimia $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ yang merupakan mineral silikat lapisan dengan satu tetrahedral yang dihubungkan dengan alumina melalui atom oksigen (Bellotto dkk, 1995).

2.3.2 Transformasi Fasa Kaolin

Kaolin akan mengalami serangkaian transformasi fasa di bawah kondisi perlakuan panas tekanan atmosfer. Pada temperatur 550-600 °C terjadi dehidroksilasi (atau dehidrasi) yang berlangsung secara endotermik, menghasilkan *disordered metakaolin* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$). Namun jika dipanaskan hingga mencapai temperatur 900 °C akan menyebabkan hilangnya hidroksil terus menerus dan oksidasi secara bertahap pada metakaolin. Hal ini membuat metakaolin bukan sebagai campuran amorf silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) sederhana, namun lebih merupakan struktur amorf kompleks yang dapat mempertahankan *longer-range order* (namun bukan *kristalin*) (Bellotto dkk, 1995).

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.

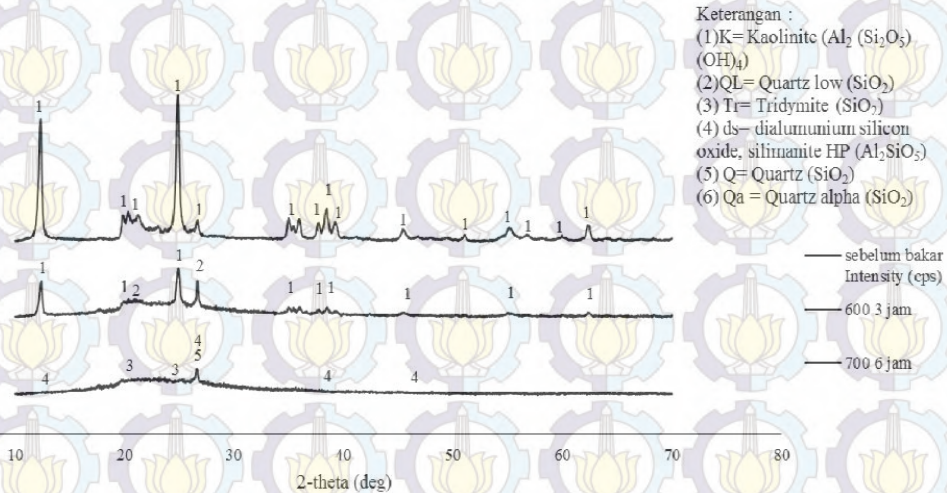
Didalam penelitian (Triani, 2015) melakukan pengujian TGA/DTA untuk mengetahui suhu dehidroksilasi pada kaolin yang ditunjukkan pada gambar 2.17 . Dimana menunjukan hasil bahwa suhu optimum yang disarankan untuk kaolin mengalami dehidroksilasi berada di kisaran 400°C-600°C.



Gambar 2.17 Grafik Analisa TGA / DTA (Triani, 2015)

2.3.3 Kandungan Mineral Kaolin

Kaolin memiliki banyak kandungan mineral-mineral bila mana dilakukan proses kalsinasi maka kandungan mineral tersebut mengalami perubahan, ini ditunjukkan pada penelien yang dilakukan Triani pada tahun 2015. Melalui analisa XRD pada gambar 2.18 Triani membandingkan kaolin yang sebelum dibakar dengan kaolin yang setelah dibakar pada suhu 600°C selama 3 jam dan suhu 700°C selama 6 jam.



Gambar 2.18 Grafik Analisa XRD (Triani, 2015)

Tabel 2.3 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%

Sumber : (Triani, 2015)

Tabel 2.4 Hasil Analisa XRD Metakaolin Suhu 600⁰C

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Persentase (%)
K	Kaolinite 1A	$\text{AlO}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	90%
QL	Quartz Low	SiO_2	10%

Sumber : (Triani, 2015)

Tabel 2.5 Hasil Analisa XRD Metakaolin Suhu 700⁰C

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%

Sumber : (Triani, 2015)

Pada tabel 2.3 dapat dilihat bahwa mineral dasar kaolin sebelum dibakar adalah kaolinite $\text{AlO}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ sebesar 100%. Ketika kaolin mengalami pembakaran pada suhu 600⁰C selama 3 jam, pada tabel 2.4, 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) (Triani, 2015). Ini diakibatkan pembakaran yang dilakukan masih berada di suhu berada di kisaran 573⁰C -600⁰C (Subaer, 2012).

Sedangkan pada tabel 2.5 saat kaolin dibakar pada suhu 700⁰C selama 6 jam, terjadi perubahan pada mineral kaolinite $\text{AlO}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ secara keseluruhan menjadi tridymite (SiO_2), dialuminum silicon oxide (Al_2SiO_5) dan Quartz (SiO_2). Berdasarkan perubahan mineral yang terjadi, maka suhu yang

dipergunakan untuk pembakaran kaolin menjadi metakaolin adalah 700°C (Triani, 2015).

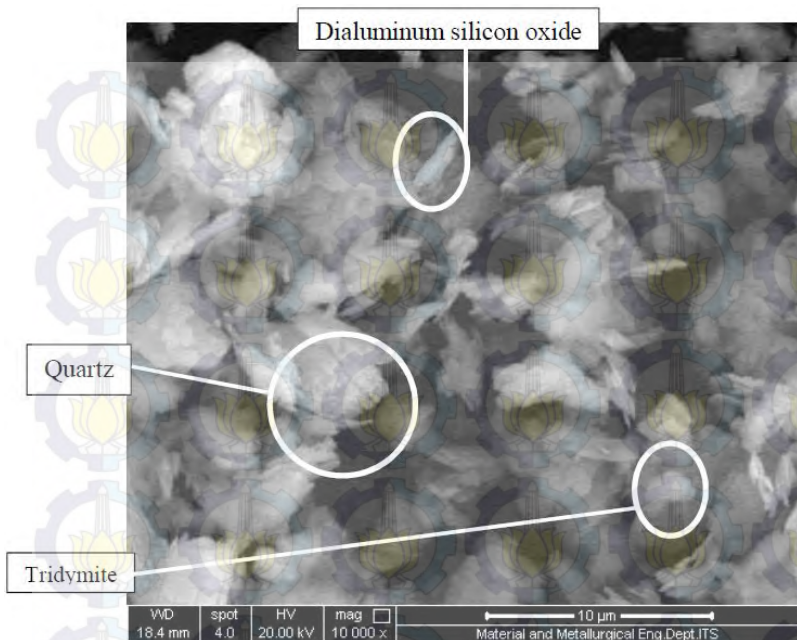
Selain itu kaolin setelah mengalami pembakaran suhu 700°C beberapa mengandung senyawa oksida diantaranya bisa dilihat pada tabel 2.6. Berdasarkan ASTM 618, jika total persen dari silikon oksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan feri oksida (Fe_2O_3) melebihi 70% dan merupakan bahan tambang, maka metakaolin dapat digolongkan kedalam *pozzolan* kelas N (Triani, 2015).

Tabel 2.6 Senyawa Oksida Metakaolin

Senyawa	Kadar (% berat)
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	4.27

Sumber : (Triani, 2015)

Diperlihatkan Scanning Electron Microscopy (SEM) metakaolin yang telah dibakar selama 700°C selama 6 jam. Terlihat pada gambar 2.19 seperti apa bentuk mineral-mineral yang terkandung di dalam metakaolin (Triani, 2015).



Gambar 2.19 Analisa SEM metakaolin 700°C selama 6 jam (Triani, 2015)

2.4 Larutan Alkali Aktifator

Geopolimer dihasilkan melalui material aluminosilikat (silicon dan aluminum) yang mudah terlarut dalam larutan alkali activator. Rasio komposisi antara material *binder* geopolimer dengan larutan alkali activator berperan dalam menentukan kuat tekan pasta geopolimer dalam temperature tinggi (Daniel dkk, 2006). Sejak tahun 1972, Davidovits bekerja dengan menggunakan kaolinit sebagai material asal dengan larutan alkali berupa natrium hidroksida (NaOH) dan kalium hidroksida (KOH) untuk membuat geopolimer. Untuk larutan alkali NaOH dibandingkan dengan KOH, larutan alkali KOH memiliki kekuatan tekan dan pelarutan yang lebih baik (Xu dan Van Deventer, 2000).

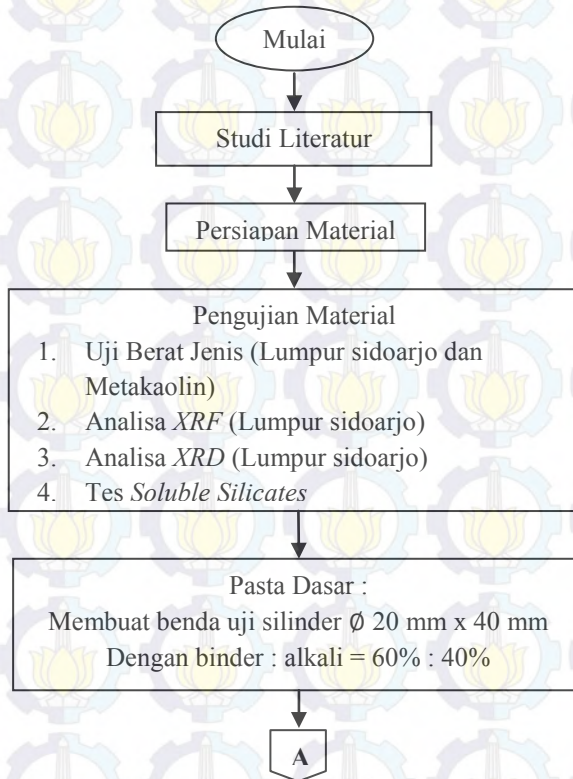
Berdasarkan pada penelitian yang dilakukan (Palomo dkk, 1999), larutan alkali yang dapat menghasilkan kuat tekan yang optimum adalah larutan alkali campuran antara natrium hidroksida (NaOH) dengan natrium silikat (Na_2SiO_3) atau campuran antara kalium hidroksida (KOH) dengan kalium silikat (K_2SiO_3). Dari hasil penelitian mereka menyimpulkan bahwa kombinasi antara natrium hidroksida dan natrium silikat memberikan kekuatan tekan yang paling tinggi. Sodium silikat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi, sedangkan natrium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *binder* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat (Hardjito dkk, 2004). Pada tahun 2005, Hardjito dan Rangan menggunakan konsentrasi natrium hidroksida (NaOH) yang digunakan berkisar antara 8 M – 16 M. Perbandingan massa antara natrium silikat dan natrium hidroksida berkisar antara 0.4 sampai 2.5. Sedangkan perbandingan massa antara *alkali activator* dengan *binder* kira-kira 35 %. Mereka menyimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi molaritas NaOH menyebabkan semakin tinggi pula kuat tekan beton geopolimer. Dan semakin tinggi perbandingan Na_2SiO_3 dan NaOH menyebabkan semakin tinggi pula kuat tekan yang dihasilkan.

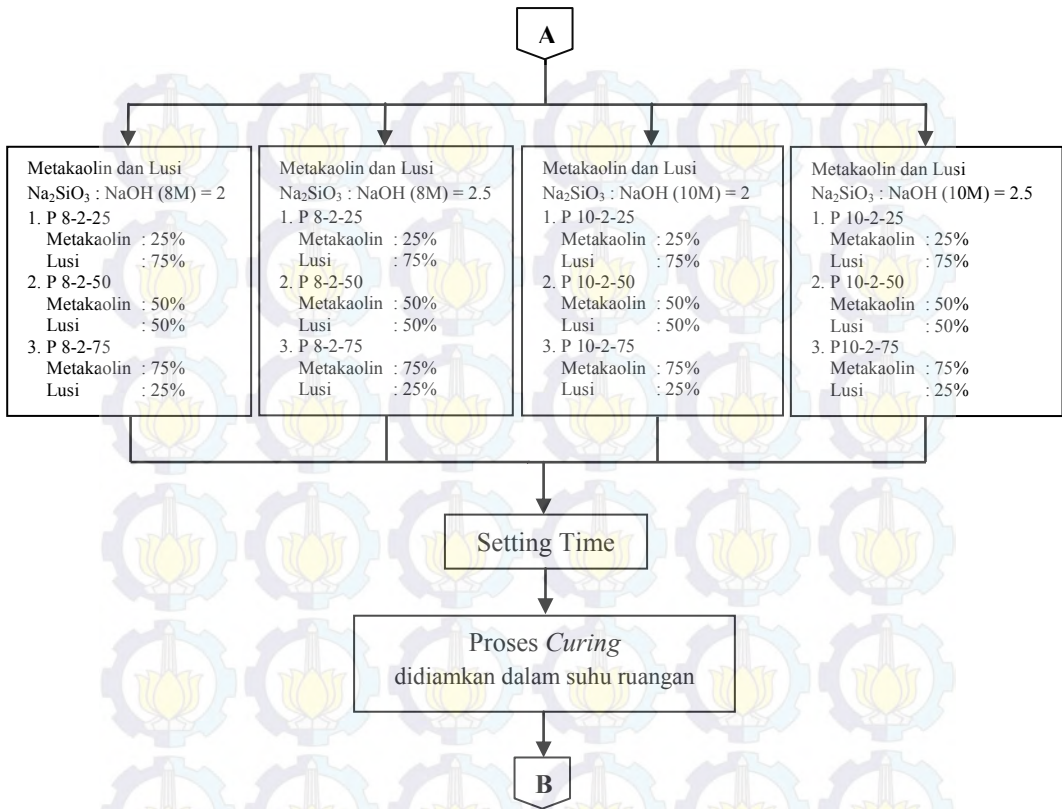


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 *Flowchart Metode Penelitian*

Untuk memudahkan dan menyelesaikan penelitian ini, ada beberapa langkah-langkah yang harus di lakukan. Berikut adalah bagan alir penelitian ini :





Keterangan (P 8-2-25) :

P : Pasta

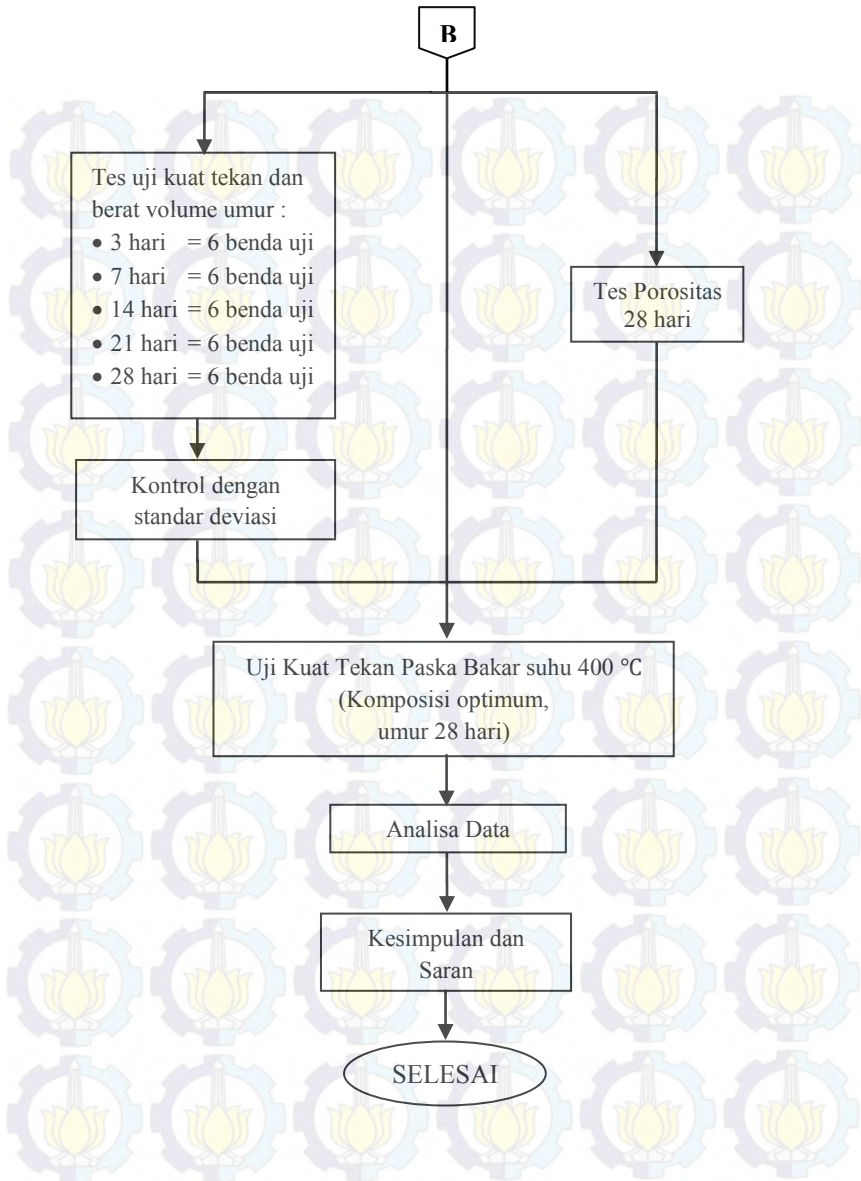
8 : NaOH 8 M

2 : Perbandingan alkali $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH}$ adalah 2

25 : Perbandingan binder lusi 75% dan metakaolin 25%

Misal :

P 8-2-25 : (Pasta dengan alkali NaOH 8 Molar : Na_2SiO_3 adalah 2, binder Lusi 75% dan metakaolin 25%)



3.2 Studi Literatur

Studi literatur ini merupakan tahapan awal persiapan guna membantu proses pengolahan yang akan dilakukan di penelitian ini. Persiapan yang dilakukan adalah mengumpulkan data yang berhubungan dan dapat mendukung penelitian ini. Sumber acuan yang dijadikan referensi dalam studi literatur ini diambil dari penelitian terdahulu, jurnal, buku-buku yang berkaitan dengan penelitian ini, hasil penelitian, dan informasi dari internet.

3.3 Persiapan Material

Bahan-bahan yang perlu dipersiapkan didalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Lusi (Lumpur Sidoarjo)
- Metakaolin (hasil pembakaran kaolin dari Bangka Belitung)
- Larutan NaOH 8M dan 10 M
- Sodium silikat (Na_2SiO_3)
- Aquades

3.3.1 Lusi (Lumpur Sidoarjo)

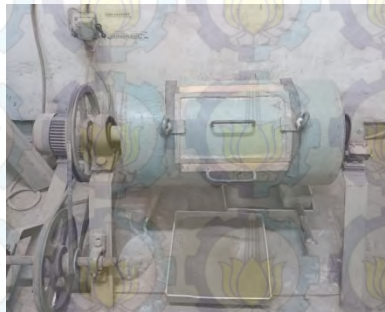


Gambar 3.1 Lusi yang telah dibakar dalam alat *furnace*

Lusi yang digunakan sudah berupa bongkahan batu seperti pada gambar 3.1 merupakan hasil dari proses pembakaran dari penelitian sebelumnya. Dimana pada penelitian sebelumnya lusi kering yang telah di oven $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, kemudian dibakar dengan suhu

± 800 °C selama ± 2 jam, dan didinginkan. Lusi yang dalam bentuk bongkahan itu kemudian di proses sebagai berikut :

1. Digiling menggunakan *bond ball mill* (lihat gambar 3.2), sampai halus seperti tepung.
2. Diayak menggunakan saringan no.200 (75 μ m).
3. Lusi sudah siap digunakan sebagai bahan campuran.
(Petunjuk lebih lanjut terdapat pada lampiran 1)



Gambar 3.2 Alat *bond ball mill*

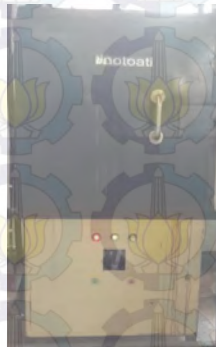
3.3.2 Metakaolin

Metakolin ini merupakan hasil pembakaran dari kaolin yang berasal dari Bangka Belitung. Sebelum menjadi metakolin kaolin diproses terlebih dahulu sebelum bisa digunakan sebagai bahan geopolimer, prosesnya adalah sebagai berikut :

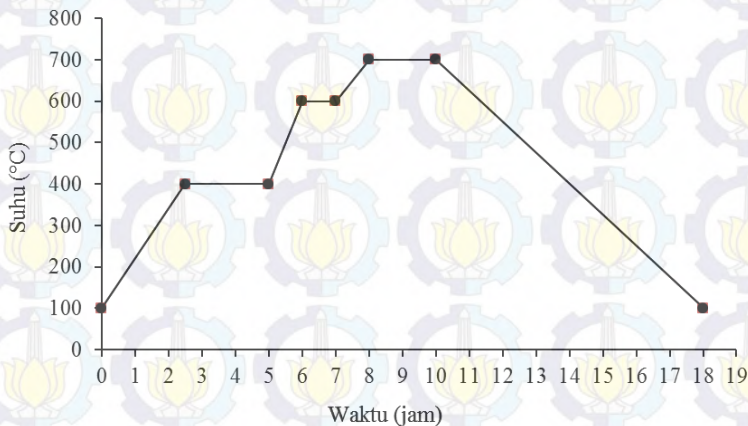
1. Kaolin dicuci atau direndam dengan air aquades, pencucian dilakukan dengan cara sebagai berikut :
 - a. Kaolin direndam dengan aquades sambil diaduk selama ± 10 -15 menit.
 - b. Didiamkan dan biarkan terjadi endapan selama ± 30 menit (endapan ini diduga mengandung material yang tidak diperlukan).
 - c. Tuangkan bagian atas ke dalam wadah dan buang bagian endapan.
 - d. Keringkan dengan oven suhu rendah pada suhu 100°C.

e. Kaolin yang telah kering kemudian digerus hingga halus.

2. Kaolin yang sudah selesai dari proses pencucian kemudian dibakar menggunakan mesin *furnace* seperti gambar 3.3 dengan suhu $\pm 700^\circ\text{C}$ selama ± 2 jam (lebih detailnya suhu dan lama pembakarannya lihat gambar 3.4, untuk petunjuk tentang mesin *furnace* terdapat pada lampiran 2), kemudian didinginkan.



Gambar 3.3 Mesin *furnace*



Gambar 3.4 Grafik Suhu dan lama waktu pembakaran kaolin

3. Digiling menggunakan *bond ball mill*, sampai halus seperti tepung.
4. Diayak menggunakan saringan no.200 (75 μm) seperti gambar 3.5.
5. Metakaolin sudah siap digunakan sebagai bahan campuran.



Gambar 3.5 Ayakan no. 200

3.3.3 Larutan NaOH

Larutan NaOH digunakan sebagai alkali activator yang didapatkan dari toko kimia. Pembuatan larutan NaOH awalnya berasal dari kristal NaOH yang dicampur dengan air dan dibuat laurtannya tergantung molaritasnya. Sementara molaritasnya tergantung dengan berapa molar yang diinginkan, dan untuk penelitian ini menggunakan 8 M dan 10 M. Untuk mendapatkan molaritas 8 M atau 10 M gunakan persamaan 3.1 kemudian didapatkan kristal NaOH dengan persamaan 3.2.

$$M = \frac{1}{V} \times \frac{\text{massa}}{M_r} \quad (3.1)$$

Kristal NaOH yang dibutuhkan adalah :

$$\text{Massa} = M \times V \times M_r \quad (3.2)$$

Dimana :

Massa = Massa NaOH (gram)

V	= Volume	(L)
M	= Molaritas	(M)
Mr	= Massa Relatif	

Untuk molaritas 8 M :

$$\text{Massa} = 8 \times 1 \times 40 = 320 \text{ gram}$$

Berikut ini dijelaskan cara pembuatan larutan 1 Liter NaOH 8 M :

1. Timbang NaOH padat sebanyak 320 gram untuk 8 M seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 NaOH padat

2. Masukkan NaOH ke dalam gelas yang telah diisi air sebagian.
3. Aduk dengan menggunakan spatula hingga NaOH larut dan gunakan sarung tangan plastik untuk melindungi bagian tangan dikarenakan cairan NaOH ini apabila terkena kulit dapat menyebabkan iritasi dan gatal-gatal.
4. Tambahkan aquades sampai volume 1 liter.

3.3.4 Sodium Silikat (Na_2SiO_3)

Didalam penelitian ini sodium silikat digunakan sebagai katalisator dari sodium hidroksida (NaOH). Sodium silikat ini didapatkan dari PT. Kasmaji Inti Utama (PT. KIU) dengan keadaan siap pakai (lihat gambar 3.7). Sodium silikat ini

bertekstur cair dan kental dengan kandungannya adalah Na_2O 18%, SiO_2 36%, H_2O 46%.



Gambar 3.7 Sodium silikat (Na_2SiO_3)

3.3.5 Aquades

Aquades atau air suling, didapatkan dengan membeli di toko kimia. Pemakaian aquades dimaksudkan agar air yang digunakan lebih murni. Selain itu, *aquades* juga digunakan untuk melarutkan kristal NaOH untuk dijadikan larutan NaOH .

3.4 Analisa Material

Material yang diuji adalah *binder* yang berupa lusi, metakaolin, dan *clay*. Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui kelayakan dari materialnya yang nantinya digunakan untuk penelitian ini. Berikut ini adalah pengujian material yang akan dilakukan :

3.4.1 Analisa Berat Jenis

Untuk menentukan berat jenis dilakukan analisa yang berdasar pada (ASTM C 188-95). Analisa ini dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil ITS, analisisnya adalah sebagai berikut :

1. Alat yang digunakan
 - a. Labu Ukur 500cc
 - b. Timbangan
 - c. Piphet
 - d. corong
2. Bahan

- a. *Binder* (lusi, metakaolin, *clay*) lolos ayakan no. 200
 - b. Aquades
 3. Prosedur pengerjaan
 - a. Siapkan *binder* dan timbang berat *binder* yang akan diuji, sebut berat ini dengan (W_1)
 - b. Masukkan *binder* kedalam labu takar 500 cc dengan menggunakan corong,
 - c. Masukkan aquades kedalam labu takar sampai batas garis, labu takar di miringkan dan diputar – putar sampai udara di dalam keluar.
 - d. Lalu timbang, sebut berat ini dengan (W_2)
 - e. Kosongkan labu takar sampai bersih, isi dengan air sampai batas garis.
 - f. Lalu timbang, sebut berat ini dengan (W_3)
 - g. Bersihkan labu takar.
- (Petunjuk lebih lanjut terdapat pada lampiran 3)

4. Perhitungan

$$B_j = \frac{W_1}{W_1 - (W_2 - W_3)} \times B_j \text{ air} \quad (3.3)$$

Dimana :

W_1 = Berat *binder* (gr)

W_2 = Berat *binder* + air + labu takar (gr)

W_3 = Berat air + labu takar (gr)

3.4.2 Analisa XRD Lusi

X-Ray *Flourescence* (XRF) bertujuan untuk menganalisis komposisi kimia (senyawa oksida) yang terkandung dalam sample dengan menggunakan metode spektrometri. Pengujian ini dilakukan di PT. Sucofindo Surabaya.

3.4.3 Analisa XRF Lusi

X-Ray *Diffraction* (XRD) bertujuan untuk mengidentifikasi komposisi mineral dengan menggunakan sudut kemiringan 2° Theta. Pengujian ini dilakukan di Universitas Hasanuddin Makasar.

3.4.4 Tes *Soluble Silicates*

Tes ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kereaktifan dari SiO_2 . Material yang diuji adalah lusi dan metakaolin. Tes ini dilakukan di Laboratorium Pengujian Tekmira. Material yang diuji adalah lusi dan metakaolin.

3.5 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji ini dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil ITS. Benda uji yang akan dibuat adalah pasta dasar silinder dengan ukuran silinder ($\emptyset$ 20 mm x 40 mm).

3.5.1 Komposisi Benda Uji

Tersusun benda uji dengan mix desain sebagai berikut :

1. Perbandingan antara *binder* dan *alkali* adalah 55% *binder* : 45% *alkali*.
Sebelumnya sudah dilakukan percobaan dengan menggunakan perbandingan 60% *binder* : 40% *alkali* namun pada komposisi yang paling kental tidak bisa tercampur
2. Dengan *binder*, campuran antara :
 - Lusi dan metakaolin
3. Dengan *alkali activator*, perbandingan antara :
 - Na_2SiO_3 : NaOH (8 M) = 2
 - Na_2SiO_3 : NaOH (10 M) = 2,5

Komposisi benda uji dalam persentase dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Komposisi Benda Uji dalam Persentase

Kode Benda Uji	Binder (55%)		Alkali (45%)	
	Lusi	Metakaolin	Na_2SiO_3	NaOH
P 8-2-25	75	25	67	33
P 8-2-50	50	50	67	33
P 8-2-75	25	75	67	33

P 10-2-25	75	25	67	33
P 10-2-50	50	50	67	33
P 10-2-75	25	75	67	33
P 8-2.5-25	75	25	72	28
P 8-2.5-50	50	50	72	28
P 8-2.5-75	25	75	72	28
P 10-2.5-25	75	25	72	28
P 10-2.5-50	50	50	72	28
P 10-2.5-75	25	75	72	28

4. Perhitungan Si/Al, SiO₂/Na₂O, dan water/solid

- Menghitung berat material dalam 1 buah cetakan pasta yang berisi 6 benda uji.

$$x = b \times b_j \times v_p \times j_p \times m \dots\dots\dots 3.1$$

Keterangan :

x = Berat material (gr)

b = Persentase binder atau alkali yang digunakan (%)

b_j = Berat jenis pasta didapat dari penelitian (1.94 g/cm³)

v_p = Volume pasta ($\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$)..... 3.1

j_p = Jumlah pasta

m = Persentase material (%)

- Menghitung mol

a. Dihitung senyawanya terlebih dahulu (SiO₂, Al₂O₃, Na₂O)

$$\text{Berat senyawa} = \% \text{senyawa} \times \text{berat material} \dots\dots 3.2$$

b. Untuk mengetahui Si, terlebih dahulu dicari mol total dari SiO₂ yang didapat dari metakaolin, lusi dan Na₂SiO₃. Sedangkan untuk Al, didapat dari mol total Al₂O₃ yang didapat dari metakaolin dan lusi.

c. Berdasarkan XRF, dapat diketahui %SiO₂ dan %Al₂O₃ dari metakaolin dan lusi.

d. Mol dapat dicari dengan rumus :

$$\text{Mol} = \frac{\text{massa}}{\text{Mr}} \dots\dots\dots 3.3$$

Keterangan :

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

Mr = Massa molekul relatif = ΣAr

$$\begin{aligned} \text{Mr SiO}_2 &= \Sigma \text{Ar} \\ &= 28 + (2 \times 16) = 60 \text{ gr/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mr Al}_2\text{O}_3 &= \Sigma \text{Ar} \\ &= (2 \times 27) + (3 \times 16) = 102 \text{ gr/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mr H}_2\text{O} &= \Sigma \text{Ar} \\ &= (2 \times 1) + 16 = 18 \text{ gr/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mr Na}_2\text{O} &= \Sigma \text{Ar} \\ &= (2 \times 23) + 18 = 62 \text{ gr/mol} \end{aligned}$$

e. Kandungan mol Na₂O dan H₂O pada larutan NaOH Di dalam larutan NaOH terdapat H₂O dan NaOH_(s), perhitungannya sebagai berikut:

Tabel 3.2 Perhitungan massa air dalam 1 liter larutan NaOH

Molaritas NaOH	8 M	10 M
Massa NaOH yang diperlukan (gr)	320	400
Massa 1 L larutan NaOH (gr)	1220	1296
Massa air di larutan (gr)	904	895

(sumber : triani, 2015)

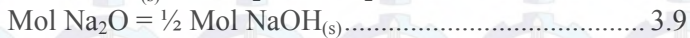
Menghitung H₂O dan NaOH_(s) pada larutan NaOH

$$\text{Berat air} = \frac{\text{Massa air di larutan}}{\text{Massa 1 L larutan NaOH}} \times \text{Massa larutan NaOH} \dots\dots\dots 3.4$$

Menghitung mol H₂O seperti persamaan 3.3

$$\text{Berat NaOH}_{(s)} = \frac{\text{Massa NaOH yg diperlukan}}{\text{Massa 1 L larutan NaOH}} \times \text{Massa larutan NaOH} \dots 3.5$$

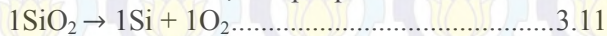
$\text{NaOH}_{(s)}$ diuraikan menjadi H_2O dan Na_2O sesuai persamaan berikut :



Menghitung mol Na_2O dan H_2O seperti persamaan 3.3

- Menghitung Si/Al

a. Dalam stokiometri, didapat persamaan :



b. Dari persamaan 3.2 dan 3.3 dapat dicari perbandingan mol Si/Al dengan cara

$$\frac{\text{mol Si (lusi + metakaolin + natrium silikat)}}{\text{mol Al (lusi + metakaolin)}} \dots 3.13$$

- Menghitung $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$

$$\frac{\text{mol SiO}_2 \text{ (lusi + metakaolin + natrium silikat)}}{\text{mol Na}_2\text{O (lusi + metakaolin + natrium silikat + NaOH)}} \dots 3.14$$

- Menghitung water/solid (w/s)

$$\frac{\text{berat H}_2\text{O (natrium silikat + NaOH)}}{\sum \text{berat SiO}_2 + \sum \text{berat Al}_2\text{O}_3 + \sum \text{berat Na}_2\text{O}} \dots 3.15$$

Salah satu contoh yang digunakan untuk menghitung adalah pasta P 10-2,5-75. Sebelumnya telah dilakukan tes XRF pada lusi ke PT. Sucofindo Surabaya dengan hasil tertera pada bab IV, dimana untuk kandungan lusi (dalam persen berat adalah) SiO_2 55,12%, Al_2O_3 22,17%, Na_2O 2,87% dan penelitian sebelumnya oleh triani 2015, menyatakan bahwa kandungan metakaolin (dalam persen berat adalah) SiO_2 50,26%, Al_2O_3 43,00%, Na_2O 0,04%.

Contoh perhitungan P 10-2,5-75

➤ Dalam pembuatan 6 benda uji pasta dibutuhkan

- Lusi = %pozzolan material x BJ. pasta x vol. pasta x jumlah pasta x %lusi

$$= 55\% \times 1,94 \text{ g/cm}^3 \times (0,24 \cdot \pi \cdot 2^2 \cdot 4) \times 6 \times 25\%$$

$$= 20,11 \text{ g}$$
- Metakaolin = 3 x berat lusi

$$= 3 \times 20,11 \text{ g}$$

$$= 60,33 \text{ g}$$
- Na_2SiO_3 = %alkali x BJ. Beton x vol. pasta x jumlah pasta x % Na_2SiO_3

$$= 45\% \times 1,94 \text{ g/cm}^3 \times (0,24 \cdot \pi \cdot 2^2 \cdot 4) \times 6 \times 72\%$$

$$= 47,02 \text{ g}$$
- NaOH = %alkali x BJ. Beton x vol. pasta x jumlah pasta x % NaOH

$$= 45\% \times 1,94 \text{ g/cm}^3 \times (0,24 \cdot \pi \cdot 2^2 \cdot 4) \times 6 \times 28\%$$

$$= 18,81 \text{ g}$$

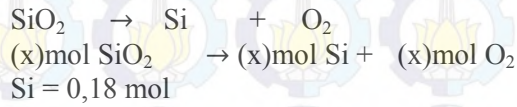
➤ Mencari mol

- Lusi
 - SiO_2 = % SiO_2 x berat lusi

$$= 55,12\% \times 20,11 \text{ g}$$

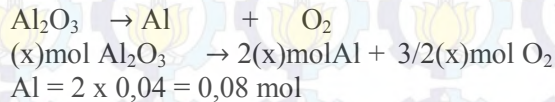
$$= 11,08 \text{ g}$$

$$\text{mol SiO}_2 = \text{SiO}_2 / \text{Mr} = \frac{11,08 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = 0,18 \text{ mol}$$



$$\begin{array}{l} - \text{Al}_2\text{O}_3 = \% \text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{berat lusi} \\ = 22,17\% \times 20,11 \text{ g} \\ = 4,45 \text{ g} \end{array}$$

$$\text{mol Al}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Mr} = \frac{4,45 \text{ g}}{102 \text{ g/mol}} = 0,04 \text{ mol}$$



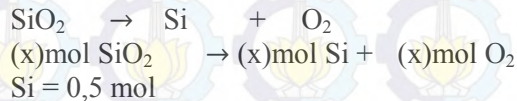
$$\begin{array}{l} - \text{Na}_2\text{O} = \% \text{Na}_2\text{O} \times \text{berat lusi} \\ = 2,87\% \times 20,11 \text{ g} \\ = 0,57 \text{ g} \end{array}$$

$$\text{mol Na}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O} / \text{Mr} = \frac{0,57 \text{ g}}{62 \text{ g/mol}} = 0,009 \text{ mol}$$

• Metakaolin

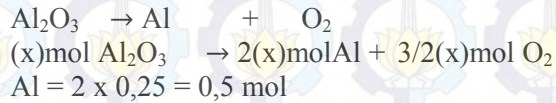
$$\begin{array}{l} - \text{SiO}_2 = \% \text{SiO}_2 \times \text{berat metakaolin} \\ = 50,26\% \times 60,34 \text{ g} \\ = 30,32 \text{ g} \end{array}$$

$$\text{mol SiO}_2 = \text{SiO}_2 / \text{Mr} = \frac{30,32 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = 0,5 \text{ mol}$$



$$\begin{array}{l} - \text{Al}_2\text{O}_3 = \% \text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{berat metakaolin} \\ = 43,00\% \times 60,34 \text{ g} \\ = 25,94 \text{ g} \end{array}$$

$$\text{mol Al}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Mr} = \frac{25,94 \text{ g}}{102 \text{ g/mol}} = 0,25 \text{ g}$$



$$\begin{aligned} - \text{Na}_2\text{O} &= \% \text{Na}_2\text{O} \times \text{berat metakaolin} \\ &= 0,04\% \times 60,34 \text{ g} \\ &= 0,02 \text{ g} \end{aligned}$$

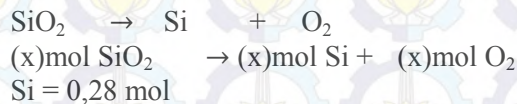
$$\text{mol Na}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O} / \text{Mr} = \frac{0,02 \text{ g}}{62 \text{ g/mol}} = 0,00039 \text{ mol}$$

• Natrium Silikat (Na_2SiO_3)

Kandungan Na_2SiO_3 dalam berat didapat dari subbab 3.3.4

$$\begin{aligned} - \text{SiO}_2 &= \% \text{SiO}_2 \times \text{berat Na}_2\text{SiO}_3 \\ &= 36\% \times 47,02 \text{ g} \\ &= 16,93 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{mol SiO}_2 = \text{SiO}_2 / \text{Mr} = \frac{16,93 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = 0,28 \text{ mol}$$



$$\begin{aligned} - \text{Na}_2\text{O} &= \% \text{Na}_2\text{O} \times \text{berat Na}_2\text{SiO}_3 \\ &= 18\% \times 47,02 \text{ g} \\ &= 8,46 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{mol Na}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O} / \text{Mr} = \frac{8,46 \text{ g}}{62 \text{ g/mol}} = 0,13 \text{ mol}$$

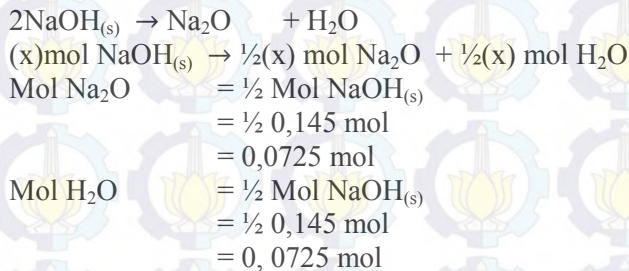
$$\begin{aligned} - \text{H}_2\text{O} &= \% \text{H}_2\text{O} \times \text{berat Na}_2\text{SiO}_3 \\ &= 46\% \times 47,02 \text{ g} \\ &= 21,62 \text{ g} \end{aligned}$$

- Larutan Natrium Hidroksida (NaOH)

$$\begin{aligned} \text{- Berat air} &= \frac{\text{Massa air di larutan}}{\text{Massa 1 L larutan NaOH}} \times \text{Massa larutan NaOH} \\ &= \frac{896 \text{ g}}{1296 \text{ g}} \times 18,81 \text{ g} = 13,01 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Berat NaOH}_{(s)} &= \frac{\text{Massa NaOH yg diperlukan}}{\text{Massa 1 L larutan NaOH}} \times \text{Massa larutan NaOH} \\ &= \frac{400 \text{ g}}{1296 \text{ g}} \times 18,81 \text{ g} = 5,8 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{Mol NaOH}_{(s)} = \text{NaOH}_{(s)} / \text{Mr} = \frac{5.8 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0,145 \text{ mol}$$



$$\begin{aligned} \text{Massa Na}_2\text{O} &= \text{mol Na}_2\text{O} \times \text{Mr} \\ &= 0.06 \text{ mol} \times 62 \text{ gr/mol} \\ &= 3.72 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa H}_2\text{O} &= \text{mol H}_2\text{O} \times \text{Mr} \\ &= 0.06 \text{ mol} \times 18 \text{ gr/mol} \\ &= 1.08 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\text{Massa H}_2\text{O total} = 1.08 \text{ gr} + 13.01 \text{ gr} = 14.09 \text{ gr}$$

➤ Menghitung Si/Al, SiO₂/Na₂O, dan water/solid

- $\text{Si/Al} = \frac{\text{mol Si (lusi + metakaolin + Na}_2\text{SiO}_3)}{\text{mol Al (lusi + metakaolin)}}$

$$= \frac{0,18 \text{ g} + 0,5 \text{ g} + 0,28 \text{ g}}{0,08 \text{ g} + 0,5 \text{ g}} = 1,63$$

$$\bullet \frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O}} = \frac{\text{mol SiO}_2 (\text{lusi} + \text{metakaolin} + \text{Na}_2\text{SiO}_3)}{\text{mol Na}_2\text{O} (\text{lusi} + \text{metakaolin} + \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH})}$$

$$= \frac{0,18 \text{ g} + 0,5 \text{ g} + 0,28 \text{ g}}{0,009 \text{ g} + 0,00039 \text{ g} + 0,13 \text{ g} + 0,07 \text{ g}}$$

$$= 4,05$$

$$\bullet \frac{\text{water}}{\text{solid}} = \frac{\text{berat H}_2\text{O} (\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH})}{\sum \text{berat SiO}_2 + \sum \text{berat Al}_2\text{O}_3 + \sum \text{berat Na}_2\text{O}}$$

$$= \frac{21,62 \text{ g} + 14,09 \text{ g}}{58,33 \text{ g} + 30,40 \text{ g} + 14,87 \text{ g}}$$

$$= 0,33$$

Selanjutnya hasil perhitungan yang lainnya akan ditabelkan yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 3.1 sampai 3.4.

Untuk komposisi binder dengan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH} (8 \text{ M}) = 2$ akan ditabelkan pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Komposisi binder dengan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH} (8 \text{ M}) = 2$

No	Kode Benda Uji	Binder %		<u>Si</u> Al	<u>SiO₂</u> Na ₂ O	<u>w</u> s	3 hari	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari	Total
1	P 8-2-25	25	75	2,28	3,97	0,37	6	6	6	6	12	36
2	P 8-2-50	50	50	1,88	4,05	0,36	6	6	6	6	12	36
3	P 8-2-75	75	25	1,59	4,15	0,35	6	6	6	6	12	36
Total												108

Untuk komposisi binder dengan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH} (10 \text{ M}) = 2$ akan ditabelkan pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Komposisi binder dengan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH} (10 \text{ M}) = 2$

No	Kode Benda Uji	Binder %		<u>Si</u> Al	<u>SiO₂</u> Na ₂ O	<u>w</u> s	3 hari	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari	Total
1	P 10-2-25	25	75	2,28	3,72	0,36	6	6	6	6	12	36
2	P 10-2-50	50	50	1,88	3,79	0,35	6	6	6	6	12	36
3	P 10-2-75	75	25	1,59	3,87	0,34	6	6	6	6	12	36
Total												108

55

Tabel 3.5 Komposisi binder dengan Na_2SiO_3 : NaOH (8 M) = 2,5

[illegible]

Untuk komposisi binder dengan Na_2SiO_3 : NaOH (10 M) = 2,5 akan ditabelkan pada tabel 3.6.

Tabel 3.6 Komposisi lusi dan metakaolin dengan Na_2SiO_3 : NaOH (10 M) = 2,5

[illegible]

3.5.2 Kebutuhan Material

Dari tabel komposisi didapatkan total benda uji sebanyak 432 buah. Adapun total material yang akan dibutuhkan dalam penelitian ini nantinya kira-kira akan mencapai, lihat pada tabel 3.7.

Tabel 3.7 Kebutuhan material

Material	Kebutuhan (gr)
Metakaolin	12000
Lusi	12000
Na_2SiO_3	13500
NaOH (8 M)	5500
NaOH (10 M)	5500

3.5.3 Cara Pembuatan Benda Uji (SNI 1974 : 2011)

Pada proses ini akan dibuat salah satu contoh cara pembuatan benda uji dengan komposisi lusi dan metakaolin dengan Na_2SiO_3 : NaOH (8 M) = 2,5 adalah sebagai berikut :

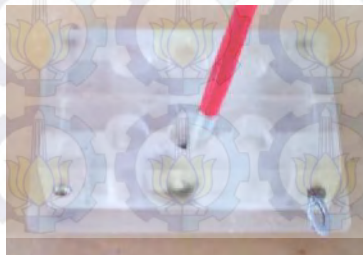
1. Persiapan alat dan bahan :
 - a. Alat :
 - Seperangkat mixer
 - Cetakan silinder ukuran ($\varnothing$ 20 mm x 40 mm).
 - Wadah
 - Timbangan
 - b. Bahan
 - Lusi
 - Metakaolin
 - Na_2SiO_3
 - NaOH
2. Prosedur pengerjaan :
 - a. Timbang berapa kebutuhan lusi dan metakaolin yang dibutuhkan.

- b. Masukkan lusi dan metakaolin kedalam wadah lalu aduk bahan tersebut sampai tercampur rata.
- c. Timbang berapa kebutuhan Na_2SiO_3 dan NaOH (8 M) yang dibutuhkan.
- d. Masukkan Na_2SiO_3 dan NaOH (8 M) kedalam wadah lalu aduk bahan tersebut sampai tercampur rata.
- e. Campur cairan pada (d) kedalam wadah yang telah berisi lusi dan metakaolin yang tercampur rata. Setelah itu, campur dengan menggunakan mixer selama ± 5 menit hingga menjadi adonan yang rata (lihat gambar 3.8).



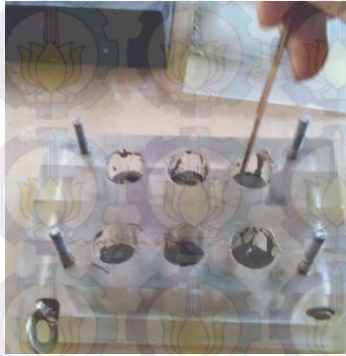
Gambar 3.8 *Mixing Benda Uji*

- f. Lumuri cetakan silender dengan oli agar binder tidak lengket pada cetakan silender (lihat gambar 3.9).



Gambar 3.9 Cetakan dilumuri oli

- g. Masukkan adonan ke dalam cetakan dan rojok (setiap 1/3 bagian) getarkan cetakan hingga campuran padat dan tidak ada rongga udara yang terperangkap, lakukan sampai terisi penuh (lihat gambar 3.10).



Gambar 3.10 Perojokan Benda Uji

- h. Cetakan bisa dilepas setelah adonan mengeras atau ± 24 jam setelah pembuatan.
i. Setelah itu simpan simpan pasta di dalam wadah plastik dan namai pada setiap benda uji agar tidak tertukar dengan benda uji lain (lihat gambar 3.12).

3.6 *Setting Time (Waktu Ikat)*

Untuk tes waktu ikat dilakukan uji yang berdasar pada ASTM C 191-03. Uji ini dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil ITS. Tes ini bertujuan untuk mengetahui waktu pengikatan awal dan pengikatan akhir pasta geopolimer, cara kerjanya adalah sebagai berikut :

1. Persiapan alat dan bahan :
 - a. Alat :
 - Seperangkat alat vicat
 - Solet perata

- Stop watch
- Sarung tangan
- b. Bahan
 - Adonan pasta geopolimer
- 2. Prosedur pengerjaan :
 - a. Tuangkan pasta geopolimer ke dalam cetakan konikel yang diletakkan diatas plat kaca (lihat gambar 3.11).



Gambar 3.11 Uji *setting Time*

- b. Ratakan pasta geopolimer tersebut dengan menggunakan solet perata, kemudian letakkan di bawah jarum vicat diameter 1 mm, tunggu 5 menit dihitung dari mulai *binder* kontak dengan larutan alkali.
- c. Setelah 5 menit tempelkan ujung jarum pada permukaan pasta dan setelah 30 detik jarum dihentikan dan penurunan jarum vicat dibaca.
- d. Angkat jarum vicat dan dibersihkan ujungnya dari pasta geopolimer yang menempel pada jarum vicat.
- e. Kemudian 5 menit selanjutnya, dites lagi pada permukaan pasta yang berbeda dengan digeser minimum 3 mm dari tempat tes sebelumnya.
- f. Jatuhkan jarum pada pasta dan setelah 30 detik jarum dihentikan dan dibaca penurunannya untuk kemudian

dilakukan pencatatan. Kemudian jarum diangkat dan dibersihkan dari sisa pasta geopolimer yang menempel pada jarum.

- g. Lakukan langkah (5) dan (6) sampai penurunan jarum vicat menunjukkan penurunan 0 mm dengan interval waktu setiap 2 menit.
- h. Hentikan percobaan tes vicat apabila sudah menunjukkan penurunan 0 mm.
- i. Buat grafik penurunannya untuk mengetahui waktu pengikatan awal (pada penurunan 25 mm) dan waktu pengikatan akhir (pada penurunan 0 mm).

3.7 Proses Curing

Proses curing ini dilakukan setelah benda uji dilepas dari cetakan, kemudian di simpan pada wadah plastik dan namai pada setiap benda uji agar tidak tertukar dengan benda uji lain (lihat gambar 3.12). Benda uji didiamkan pada suhu ruang sampai benda uji siap untuk di tes pada penelitian ini umur 3,7,14,21 dan 28 hari.



Gambar 3.12 *Curing Lembab Pasta*

3.8 Pengujian Benda Uji

3.8.1 Tes Kuat Tekan Benda Uji

Untuk tes kuat tekan benda uji dilakukan uji yang berdasar pada ASTM C 39/C 39M-01. Uji ini dilakukan di Laboratorium Struktur (*Workshop*) Jurusan Teknik Sipil ITS. Dilakukan tes tekan

pasta pada usia 3, 7, 14 dan 28 hari dengan menggunakan mesin *torsi universal testing machine* AU – 5 (lihat gambar 3.13, petunjuk lebih lanjut terdapat pada lampiran 4).



Gambar 3.13 Mesin *torsi universal testing machine* AU – 5

Untuk mengetahui kualitas dari pasta dasar yang telah dibuat, perlu dilakukan kontrol kualitas pasta menggunakan persamaan 3.4, agar nantinya dapat diketahui mutu dari pasta dasar yang telah dibuat. Kontrol hasil kuat tekan pada tabel 3.8.

$$\text{Standar deviasi } = S^2 = \frac{\sum (x - \mu)^2}{n - 1} \dots\dots\dots 3.14$$

dimana :

- x = nilai benda uji
- μ = rata-rata
- n = jumlah benda uji

Tabel 3.8 Standar deviasi kontrol beton (SNI 03-6815-2002)

Kelas	Standar Deviasi untuk Kontrol yang Berbeda, Mpa (psi)				
	Istimewa	Sangat Baik	Baik	Cukup	Kurang
Umum	< 2.8	2.8 - 3.4	3.4 - 4.1	4.1 - 4.8	> 4.8
Pengujian Kontruksi	< 400	400 - 500	500 - 600	600 - 700	> 700
Laboratorium	< 1,4	1.4 - 1.7	1.7 - 2.1	2.1 - 2.4	> 2.4
% Covarian	< 4.7	4.7 - 5.7	5.7 - 7		> 8
Percobaan Batch	< 200	200 - 250	250 - 300	300 - 350	> 350

3.8.2 Tes Berat Volume Pasta

Uji ini dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil ITS. Tes ini bertujuan untuk mengetahui berat volume pasta geopolimer, cara kerjanya adalah sebagai berikut :

1. Persiapan alat dan bahan :
 - a. Alat :
 - Timbangan
 - b. Bahan
 - Benda uji pasta silinder
2. Prosedur pengerjaan :
 - a. Pada umur yang telah ditentukan, benda uji diambil sebelum dilakukan pengujian kuat tekan.
 - b. Timbang dan catat berat benda uji.
 - c. Hitung berat isi benda uji dengan rumus :

$$p_m = B_m / V \dots\dots\dots 3.15$$

dimana :

p_m = berat volume pasta (gr/cm³)

Bm = berat benda uji (gr)
 V = Volume benda uji (cm³)

3.8.3 Tes Porositas Pasta (AFNOR NF B 49 104)

Tes porositas pasta ini bertujuan untuk mengetahui besarnya pori terbuka dan pori tertutup yang ada di dalam benda uji. Benda uji yang akan di uji pasta umur 28 hari, pengujian ini di lakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil ITS. Langkah-langkah yang harus dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Persiapan alat dan bahan :
 - a. Alat :
 - Timbangan
 - Oven
 - Piknometer
 - Alat perebus
 - Alat penghancur
 - Ayakan no. 200
 - b. Bahan
 - Benda uji pasta (umur 28 hari)
2. Prosedur pengerjaan :
 - a. Kepadatan diambil setelah benda uji umur 28 hari. Benda uji direbus selama 5 jam agar semua pori di dalam pasta terisi air.
 - b. Dalam keadaan basah, benda uji ditimbang dalam air (μ).
 - c. Benda uji ditimbang dalam keadaan SSD (Mh).
 - d. Benda uji dimasukkan ke dalam oven dengan suhu $\pm 100^{\circ}\text{C}$ selama beberapa hari agar semua air yang ada di dalam benda uji keluar semua. Setelah kering oven, timbang benda uji (Mo).
 - e. Benda uji dihaluskan sampai lolos ayakan no. 200.
 - f. Contoh yang telah dihaluskan ditimbang (mo)
 - g. Masukkan ke dalam piknometer, tambahkan air, aduk sampai semua pori serbuk menyerap air, tambahkan air

sampai garis batas piknometer, timbang (V_1), lalu keluarkan semua isinya, bersihkan.

h. Isi lagi piknometer dengan air saja sampai garis batasnya, lalu timbang (V_2).

i. Maka $V_o = V_1 - V_2$
(petunjuk lebih lanjut terdapat pada lampiran 5)

3. Penentuan hasil :

a. Kepadatan absolut (r) adalah perbandingan volume dalam keadaan halus.

$$r = \frac{m_o}{V_o} \dots\dots\dots 3.16$$

b. Kepadatan visual (α) adalah perbandingan antara sampel dalam keadaan kering (M_o) terhadap volume yang tampak ($Mh-\mu$).

$$\alpha = \frac{M_o}{Mh-\mu} \dots\dots\dots 3.17$$

c. Porositas total (Pt) dalam persen adalah perbandingan volume pori terhadap volume yang tampak.

$$Pt (\%) = 100 \times \left(1 - \frac{\alpha}{r} \right) \dots\dots\dots 3.18$$

d. Porositas terbuka (Po) dalam persen adalah perbandingan volume porositas terbuka terhadap volume yang tampak.

$$Po (\%) = 100 \times \left(\frac{Mh - M_o}{Mh - \mu} \right) \dots\dots\dots 3.19$$

e. Porositas tertutup (pt) dalam persen adalah perbandingan volume porositas tertutup terhadap volume yang tampak.

$$Pf (\%) = Pt - Po \dots\dots\dots 3.20$$

3.8.4 Uji Kuat Tekan Paska Bakar

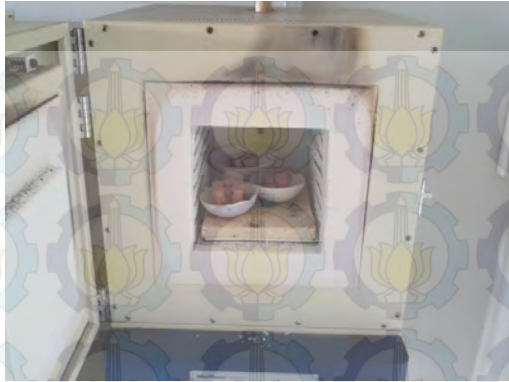
Uji kuat tekan paska bakar ini bertujuan untuk mengetahui berapa kuat tekan yang dialami benda uji setelah dibakar. Benda uji yang akan di uji umur 28 hari. Pembakara dilakukan di Laboratorium Energi ITS dan pengujian kuat tekan di Laboratorium Struktur (*Workshop*) Jurusan Teknik Sipil ITS. Langkah-langkah yang harus dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Persiapan alat dan bahan :
 - a. Alat :
 - Mesin *furnace*
 - *torsi universal testing machine* AU – 5
 - b. Bahan :
 - Benda uji pasta (umur 28 hari)
2. Prosedur pekerjaan :
 - a. Taruh benda uji umur 28 hari pada pan evaporating (lihat gambar 3.14).

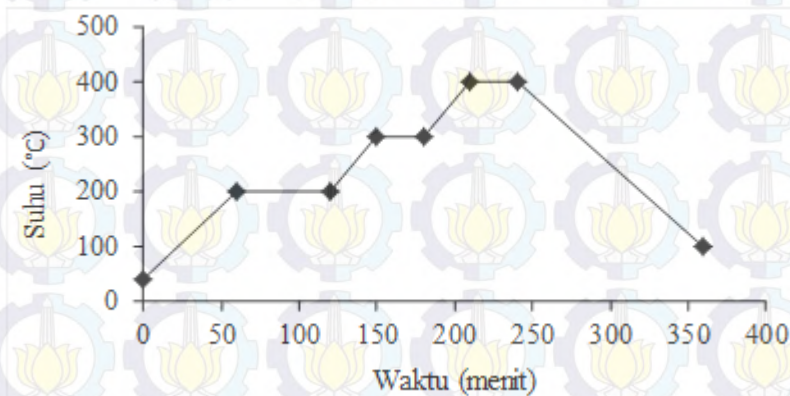


Gambar 3.14 Benda Uji Sebelum dibakar

- b. Masukkan benda uji umur 28 hari kedalam mesin *furnace* (lihat gambar 3.15), lalu bakar dengan suhu $\pm 400^{\circ}\text{C}$ selama 30 menit (untuk grafik tangga pembakaran lihat gambar 3.16).
 - c. Benda uji didinginkan, dan di uji tekan dengan alat *torsi universal testing machine* AU – 5.
 - d. Kontrol kualitas seperti pada subbab 3.7.1.



Gambar 3.15 Benda Uji di dalam Mesin *furnace*



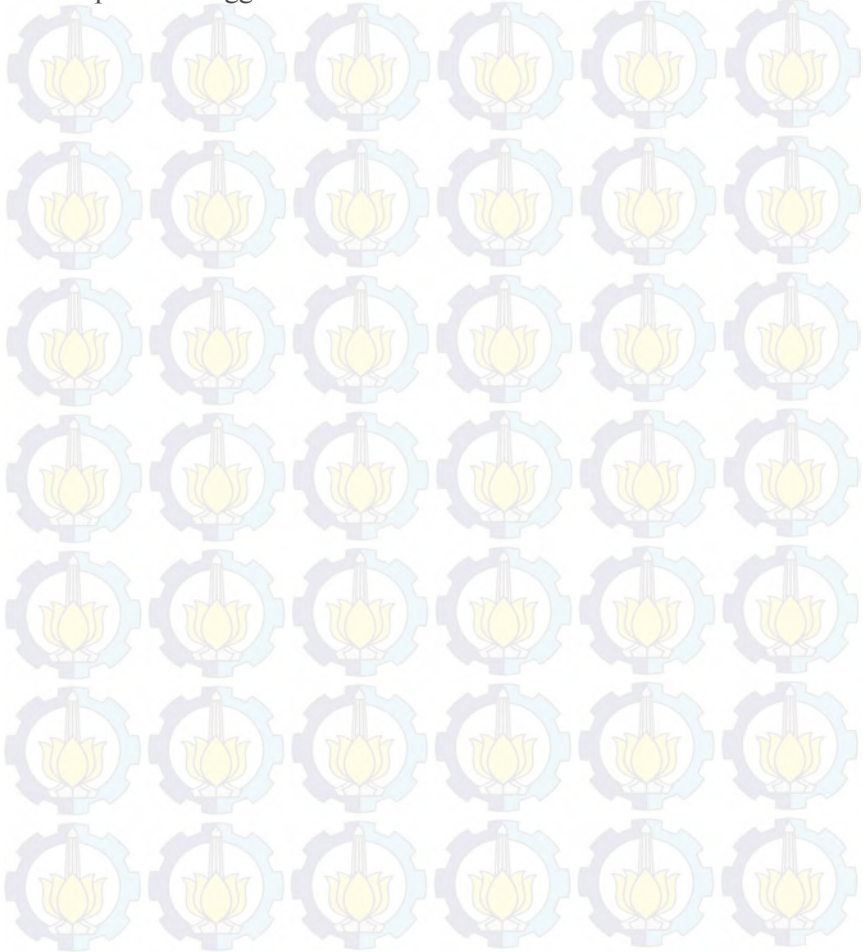
Gambar 3.16 Grafik Tangga Suhu Pembakaran Pasta

3.9 Analisa Hasil

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

3.10 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka didapat pengaruh tiap variable dalam campuran pasta terhadap besarnya kuat tekan dan sifat fisik pasta. Sesuai dengan tujuan utama penelitian ini, didapatkan komposisi pasta optimal yang berdasarkan pada nilai kuat tekan pasta tertinggi.





BAB IV

HASIL PENGUJIAN & ANALISA DATA

4.1 Umum

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

Secara keseluruhan bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan pasta geopolimer dalam penelitian ini adalah :

- Lusi (Lumpur Sidoarjo)
- Metakaolin (hasil pembakaran kaolin dari Bangka Belitung)
- Larutan NaOH 8M dan 10 M
- Sodium silikat (Na_2SiO_3)
- Aquades

4.2 Hasil Analisa Material

Dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat fisik dan kimia dari material-material yang digunakan. Meliputi percobaan tes berat jenis yang berfungsi untuk mengetahui sifat fisik, tes XRF untuk mengetahui komposisi kimia dan tes XRD untuk mengetahui mineral yang terkandung didalam sample.

4.2.1 Analisa Berat Jenis

Untuk mencari berat jenis lusi dan metakaolin, percobaan perlu dilakukan dua kali untuk menghindari kesalahan. Hasil dari percobaan untuk lusi dapat dilihat pada tabel 4.1. Sementara itu, hasil dari percobaan untuk metakaolin dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.1 Berat Jenis Lusi

Percobaan Nomor	1	2
Berat Lusi (w_1) (gram)	250	250
Berat Labu + Lusi + Air (w_2) (gram)	802	800
Berat Labu + Air (w_3) (gram)	645	645
Berat Jenis (gram/cm^3)	2.68	2.63
Rata-Rata (gram/cm^3)	2.66	

Tabel 4.2 Berat Jenis Metakaolin

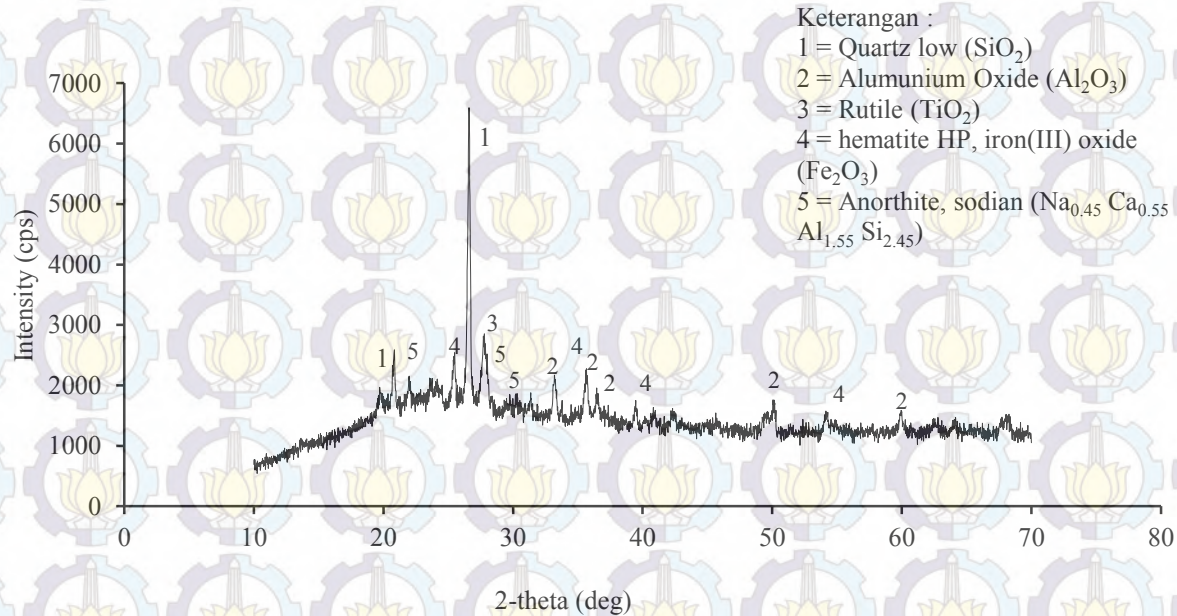
Percobaan Nomor	1	2
Berat Metakaolin (w_1) (gram)	100	100
Berat Labu + Metakaolin + Air (w_2) (gram)	705	705
Berat Labu + Air (w_3) (gram)	645	645
Berat Jenis (gram/cm^3)	2.5	2.5
Rata-Rata (gram/cm^3)	2.5	

Pada tabel 4.1 didapat rata-rata berat jenis lusi sebesar 2.66 gr/cm^3 . Nilai tersebut lebih besar dibandingkan dengan nilai berat jenis metakaolin sebesar 2.5 gr/cm^3 yang dapat dilihat pada tabel 4.2.

4.2.2 Analisa XRD Lusi

Analisa XRD ini digunakan untuk mengetahui mineral yang terkandung dalam lusi. Dalam pengujian XRD ada satu *sample* yang digunakan yaitu lusi yang sudah dibakar suhu 800°C dan dihaluskan dengan menggunakan mesin *bond ball mill*. Hasil analisa XRD dapat dilihat pada gambar 4.1.

Selanjutnya komposisi mineral hasil analisa XRD akan dijelaskan dalam bentuk tabel. Hasil dari komposisi mineral lusi setelah dihaluskan dapat dilihat pada tabel 4.3.



Gambar 4.1 Grafik Analisa XRD Lusi

Tabel 4.3 Hasil Analisa XRD dan Jumlah Mineral lusi

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Jumlah (%)
1	Quartz low	SiO_2	39
2	Alumunium Oxide	Al_2O_3	13
3	Rutile	TiO_2	14
4	hematite HP, iron(III) oxide	Fe_2O_3	4.1
5	Anorthite, sodian	$\text{Na}_{0.45}\text{Ca}_{0.55}\text{Al}_{1.55}\text{Si}_{2.45}$	29

Dari gambar 4.1 dan tabel 4.3 dapat disimpulkan bahwa material yang terkandung di dalam lusi adalah Quartz low (SiO_2); Alumunium Oxide (Al_2O_3); Rutile (TiO_2); hematite HP, iron(III) oxide (Fe_2O_3) dan Anorthite, sodian ($\text{Na}_{0.45}\text{Ca}_{0.55}\text{Al}_{1.55}\text{Si}_{2.45}$) yang termasuk amorf.

Bila dilihat dari gambar 4.1 terdapat luasan dibawah garis *peak* maka bisa dikatakan kalau lusi dibakar suhu 800°C ini termasuk amorf. Sedangkan puncak difraksi tertinggi terdapat mineral jenis quartz low (SiO_2) dimana jumlahnya mencapai 39%. Selain itu mineral-mineral tersebut mengandung Si (Silika) dan Al (Aluminium) yang kemungkinan reaktif jika dicampurkan dengan alkali aktifator.

4.2.3 Analisa XRF Lusi

Analisa XRF ini digunakan untuk mengetahui kandungan kimia yang terdapat di dalam lusi. Analisa ini dilakukan pada lusi yang sudah dibakar suhu 800°C dan dihaluskan dengan menggunakan mesin *bond ball mill*. Hasil analisa dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Analisa XRF Lusi

Oksida	Jumlah (%)
SiO ₂	55.12
Al ₂ O ₃	22.17
MgO	3.08
CaO	3.35
Na ₂ O	2.87
K ₂ O	1.59
Cr ₂ O ₃	0.01
MnO ₂	0.16
Fe ₂ O ₃	7.32
TiO ₂	0.72

Dari tabel 4.5 dapat disimpulkan bahwa komposisi lusi yang paling dominan adalah SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃. Total persentase silikon oksida (SiO₂), aluminium oksida (Al₂O₃), dan feri oksida (Fe₂O₃) adalah 84.61 melebihi 70% sehingga lusi diklasifikasikan sebagai *pozzolan* material (ASTM C618).

Terlihat bahwa ada beberapa material seperti MgO, K₂O, Cr₂O₃ dan MnO₂ yang tidak terdeteksi pada analisa XRD (lihat tabel 4.3). Ini dikarenakan analisa XRD hanya dapat mendeteksi senyawa-senyawa yang memiliki persentase besar, sementara pada XRF lebih detail dalam mendeteksi senyawa. Oleh karena itu, ada beberapa senyawa yang tidak terdeteksi oleh XRD.

4.2.4 Tes Soluble Silicates

Menurut hasil tes *soluble silicate* dari laboratorium pengujian tekmitra menyatakan bahwa tingkat reaktif dari SiO₂ dapat dilihat pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil tes *soluble silicate* dari tekmlira

Material	SiO ₂ total (%)	SiO ₂ bebas (%)	SiO ₂ reaktif (%)	Persentase SiO ₂ reaktif terhadap SiO ₂ total (%)
Lusi	53	10.29	42.7	80.56
Metakaolin	49.5	0.67	48.8	98.58

Dari tabel 4.5, terlihat bahwa dari lusi tingkat persentase SiO₂ reaktif terhadap SiO₂ total sebesar 80.56%. Sementara itu, dari lusi tingkat persentase SiO₂ reaktif terhadap SiO₂ total sebesar 98.58%. Dari hasil tersebut, dibuat perhitungan tingkat kereaktifan SiO₂ dari hasil XRF PT. Sucofindo, hasilnya dapat dilihat pada 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Tingkat Kereaktifan SiO₂ dari XRF

Material	SiO ₂ total (%)	Persentase SiO ₂ reaktif terhadap SiO ₂ total (%)	SiO ₂ reaktif (%)	SiO ₂ bebas (%)
Lusi	55.12	80.56	44.4	10.71
Metakaolin	50.26	98.58	49.55	0.71

4.3 Komposisi Pasta

Pada bab 3 sudah dijelaskan berapa banyak variasi serta tiap variasi terdapat komposisi seperti apa, dan jumlah pasta yang akan dibuat. Untuk mengulang kembali, akan dijelaskan komposisi tiap variasi dengan perhitungan Si/Al, SiO₂/Na₂O, dan water/solid. Untuk SiO₂ didapat dari SiO₂ reaktif pada tabel 4.6, dimana dalam persen berat kandungan lusi dan metakaolin masing-masing adalah 44.4% dan 49.55%. Untuk kandungan lusi lain didapat dari hasil XRF dimana Al₂O₃ 22,17% dan Na₂O 2,87%. Pada penelitian sebelumnya oleh triani 2015, menyatakan bahwa kandungan metakaolin (dalam persen berat adalah) Al₂O₃ 43,00% dan Na₂O 0,04%.

Contoh perhitungan P 10-2,5-75

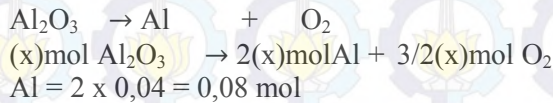
➤ **Dalam pembuatan 6 benda uji pasta dibutuhkan**

- Lusi = %pozzolan material x BJ. pasta x vol. pasta x jumlah pasta x %lusi
 $= 55\% \times 1,94 \text{ g/cm}^3 \times (0,24 \cdot \pi \cdot 2^2 \cdot 4) \times 6 \times 25\%$
 $= 20,11 \text{ g}$
- Metakaolin = 3 x berat lusi
 $= 3 \times 20,11 \text{ g}$
 $= 60,33 \text{ g}$
- Na_2SiO_3 = %binder x BJ. pasta x vol. pasta x jumlah pasta x % Na_2SiO_3
 $= 45\% \times 1,94 \text{ g/cm}^3 \times (0,24 \cdot \pi \cdot 2^2 \cdot 4) \times 6 \times 72\%$
 $= 47,02 \text{ g}$
- NaOH = %binder x BJ. pasta x vol. pasta x jumlah pasta x % NaOH
 $= 45\% \times 1,94 \text{ g/cm}^3 \times (0,24 \cdot \pi \cdot 2^2 \cdot 4) \times 6 \times 28\%$
 $= 18,81 \text{ g}$

➤ **Mencari mol**

- Lusi
 - SiO_2 = % SiO_2 x berat lusi
 $= 44,41\% \times 20,11 \text{ g}$
 $= 8,93 \text{ g}$
- $$\text{mol SiO}_2 = \text{SiO}_2 / \text{Mr} = \frac{8,93 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = 0,15 \text{ mol}$$
- $$\text{SiO}_2 \rightarrow \text{Si} + \text{O}_2$$
- $$(x)\text{mol SiO}_2 \rightarrow (x)\text{mol Si} + (x)\text{mol O}_2$$
- $$\text{Si} = 0,15 \text{ mol}$$
- Al_2O_3 = % Al_2O_3 x berat lusi
 $= 22,17\% \times 20,11 \text{ g}$
 $= 4,46 \text{ g}$

$$\text{mol Al}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3/\text{Mr} = \frac{4,46 \text{ g}}{102 \text{ g/mol}} = 0,04 \text{ mol}$$



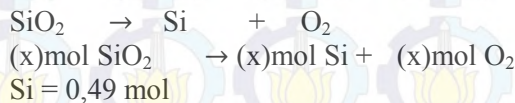
$$\begin{aligned} - \text{Na}_2\text{O} &= \% \text{Na}_2\text{O} \times \text{berat lusi} \\ &= 2,87\% \times 20,11 \text{ g} \\ &= 0,57 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{mol Na}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O}/\text{Mr} = \frac{0,57 \text{ g}}{62 \text{ g/mol}} = 0,009 \text{ mol}$$

• Metakaolin

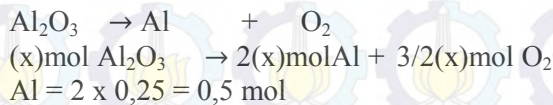
$$\begin{aligned} - \text{SiO}_2 &= \% \text{SiO}_2 \times \text{berat metakaolin} \\ &= 49,55\% \times 60,33 \text{ g} \\ &= 29,89 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{mol SiO}_2 = \text{SiO}_2/\text{Mr} = \frac{29,89 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = 0,49 \text{ mol}$$



$$\begin{aligned} - \text{Al}_2\text{O}_3 &= \% \text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{berat metakaolin} \\ &= 43,00\% \times 60,33 \text{ g} \\ &= 25,94 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{mol Al}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3/\text{Mr} = \frac{25,94 \text{ g}}{102 \text{ g/mol}} = 0,25 \text{ g}$$



$$\begin{aligned} - \text{Na}_2\text{O} &= \% \text{Na}_2\text{O} \times \text{berat metakaolin} \\ &= 0,04\% \times 60,33 \text{ g} \\ &= 0,024 \text{ g} \end{aligned}$$

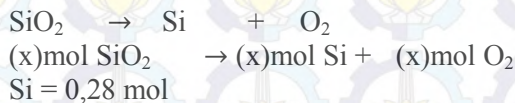
$$\text{mol Na}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O}/\text{Mr} = \frac{0,024 \text{ g}}{62 \text{ g/mol}} = 0,0004 \text{ mol}$$

- Natrium Silikat (Na_2SiO_3)

Kandungan Na_2SiO_3 dalam berat didapat dari subbab 3.3.4

$$\begin{aligned} - \text{SiO}_2 &= \% \text{SiO}_2 \times \text{berat Na}_2\text{SiO}_3 \\ &= 36\% \times 47,02 \text{ g} \\ &= 16,93 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{mol SiO}_2 = \text{SiO}_2 / \text{MR} = \frac{16,93 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = 0,28 \text{ mol}$$



$$\begin{aligned} - \text{Na}_2\text{O} &= \% \text{Na}_2\text{O} \times \text{berat Na}_2\text{SiO}_3 \\ &= 18\% \times 47,02 \text{ g} \\ &= 8,46 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{mol Na}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O} / \text{MR} = \frac{8,46 \text{ g}}{62 \text{ g/mol}} = 0,13 \text{ mol}$$

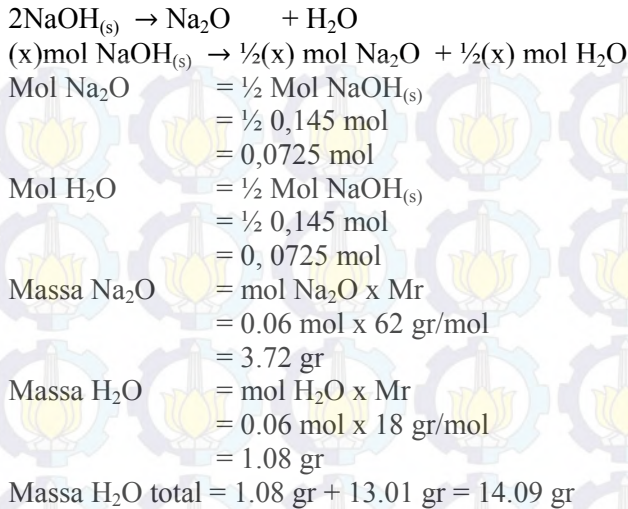
$$\begin{aligned} - \text{H}_2\text{O} &= \% \text{H}_2\text{O} \times \text{berat Na}_2\text{SiO}_3 \\ &= 46\% \times 47,02 \text{ g} \\ &= 21,62 \text{ g} \end{aligned}$$

- Larutan Natrium Hidroksida (NaOH)

$$\begin{aligned} \text{Berat air} &= \frac{\text{Massa air di larutan}}{\text{Massa 1 L larutan NaOH}} \times \text{Massa larutan NaOH} \\ &= \frac{896 \text{ g}}{1296 \text{ g}} \times 18,81 \text{ g} = 13,01 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat NaOH}_{(s)} &= \frac{\text{Massa NaOH yg diperlukan}}{\text{Massa 1 L larutan NaOH}} \times \text{Massa larutan NaOH} \\ &= \frac{400 \text{ g}}{1296 \text{ g}} \times 18,81 \text{ g} = 5,8 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{Mol NaOH}_{(s)} = \text{NaOH}_{(s)} / \text{Mr} = \frac{5,8 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0,145 \text{ mol}$$



➤ Menghitung Si/Al, SiO₂/Na₂O, dan water/solid

- $$\text{Si/A} = \frac{\text{mol Si (lusi + metakaolin + Na}_2\text{SiO}_3)}{\text{mol Al (lusi + metakaolin)}}$$

$$= \frac{0,15 \text{ g} + 0,49 \text{ g} + 0,28 \text{ g}}{0,08 \text{ g} + 0,5 \text{ g}} = 1,559$$
- $$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O}} = \frac{\text{mol SiO}_2 (\text{lusi} + \text{metakaolin} + \text{Na}_2\text{SiO}_3)}{\text{mol Na}_2\text{O} (\text{lusi} + \text{metakaolin} + \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH})}$$

$$= \frac{0,15 \text{ g} + 0,49 \text{ g} + 0,28 \text{ g}}{0,009 \text{ g} + 0,0004 \text{ g} + 0,13 \text{ g} + 0,07 \text{ g}}$$

$$= 3,874$$
- $$\frac{\text{water}}{\text{solid}} = \frac{\text{berat H}_2\text{O} (\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH})}{\sum \text{berat SiO}_2 + \sum \text{berat Na}_2\text{O} + \sum \text{berat Al}_2\text{O}_3}$$

$$= \frac{21,62 \text{ g} + 14,09 \text{ g}}{55,75 \text{ g} + 30,40 \text{ g} + 14,87 \text{ g}}$$

$$= 0,343$$

Dari contoh perhitungan diatas dibuat perhitungan untuk variasi yang lain. Dimana hasil perhitungan akan dijadikan beberapa kondisi analisa didalam penelitian ini yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.7.

Dari tabel 4.7 dan hasil perhitungan menunjukkan molaritas yang berbeda tidak menunjukkan adanya perbedaan dihasil Si/Al. Perbedaan tingkat Si/Al ditunjukkan pada perbandingan rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ yang berbeda dan binder yang berbeda. Semntara itu untuk $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$, dan water/solid hasilnya akan berbeda seiring dengan berbedanya molaritas, perbandingan rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$, dan perbedaan binder.

Tabel 4.7 Variasi Komposisi Benda Uji

No	Kode Benda Uji	Binder %		NaOH	$\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}}$	$\frac{\text{Si}}{\text{Al}}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O}}$	$\frac{\text{water}}{\text{solid}}$
		Metakaolin	Lusi					
1	P 8-2-25	25	75	8	2	2.028	3.528	0.404
2	P 8-2-50	50	50	8	2	1.738	3.736	0.384
3	P 8-2-75	75	25	8	2	1.527	3.960	0.366
4	P 10-2-25	25	75	10	2	2.028	3.308	0.388
5	P 10-2-50	50	50	10	2	1.738	3.495	0.384
6	P 10-2-75	75	25	10	2	1.527	3.695	0.366
7	P 8-2,5-25	25	75	8	2,5	2.072	3.665	0.391
8	P 8-2,5-50	50	50	8	2,5	1.774	3.882	0.359
9	P 8-2,5-75	75	25	8	2,5	1.559	4.116	0.343
10	P 10-2,5-25	25	75	10	2,5	2.072	3.465	0.377
11	P 10-2,5-50	50	50	10	2,5	1.774	3.662	0.359
12	P 10-2,5-75	75	25	10	2,5	1.559	3.874	0.343

Keterangan Kode :

P a-b-c

P: Pasta

a : molaritas NaOH

b : rasio $\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}}$

c : persentase metakaolin terhadap lusi

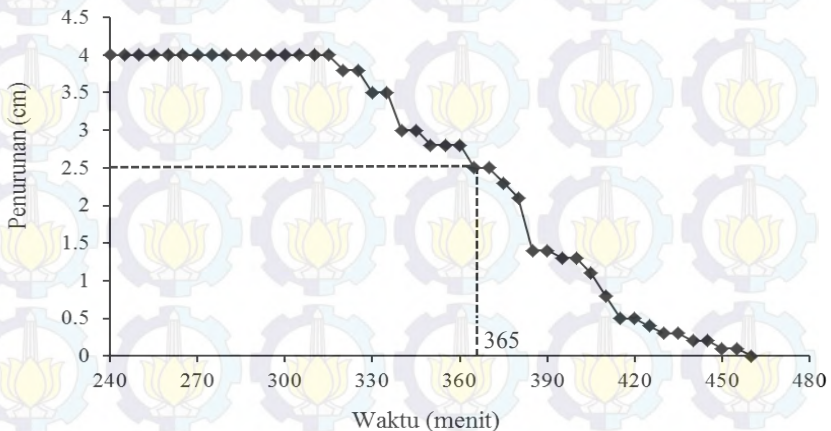
4.4 Setting Time

Setting time dilakukan untuk mengetahui waktu pengikatan awal sampai akhir pada penelitian ini. Indikasi waktu ikat awal adalah ketika penurunan jarum vikat mencapai 2.5 cm. Sedangkan waktu ikat akhir ketika jarum vikat tidak turun atau 0 cm.

Tes dilakukan pada setiap variasi pasta geopolimer diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Pasta P 8-2-25

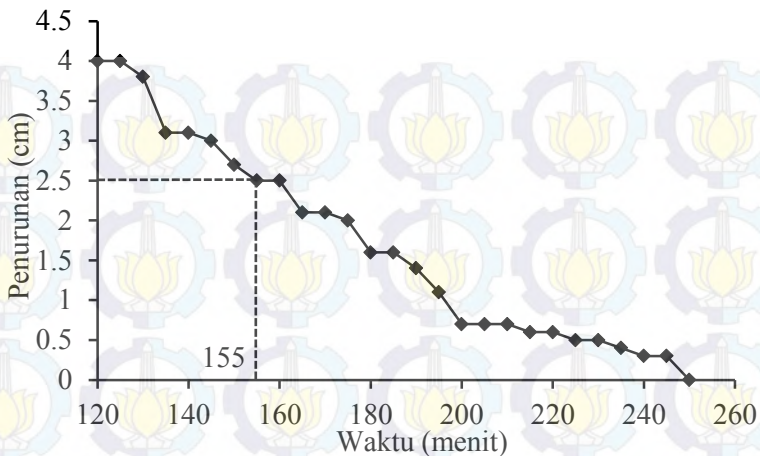
Hasil *setting time* dapat dilihat pada gambar 4.2. Pada gambar 4.2 terlihat bahwa penurunan awal 365 menit dan penurunan akhir 460 menit.



Gambar 4.2 Grafik *Setting Time* P 8-2-25

2. Pasta P 8-2-50

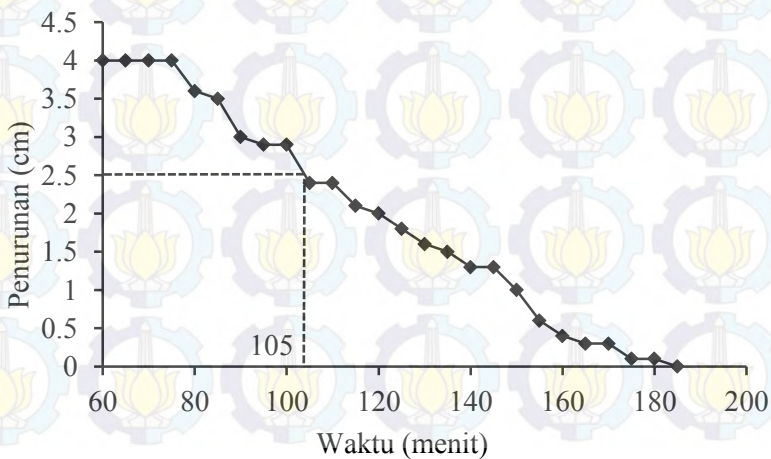
Hasil *setting time* dapat dilihat pada gambar 4.3. Pada gambar 4.3 terlihat bahwa penurunan awal 155 menit dan penurunan akhir 250 menit.



Gambar 4.3 Grafik *Setting Time* P 8-2-50

3. Pasta P 8-2-75

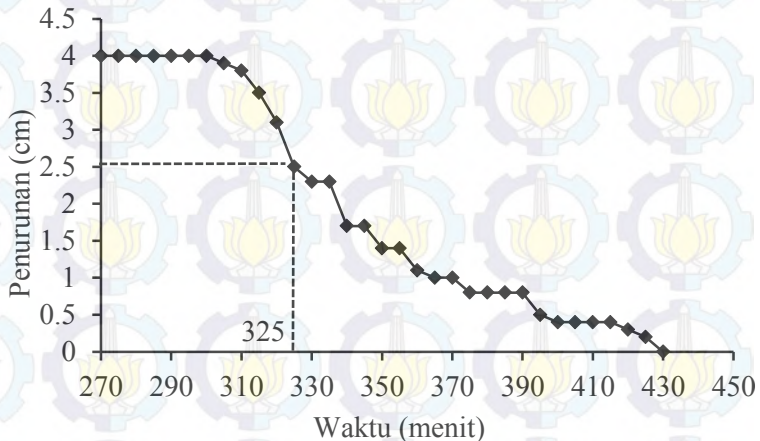
Hasil *setting time* dapat dilihat pada gambar 4.4. Pada gambar 4.4 terlihat bahwa penurunan awal 105 menit dan penurunan akhir 185 menit.



Gambar 4.4 Grafik *Setting Time* P 8-2-75

4. Pasta P 10-2-25

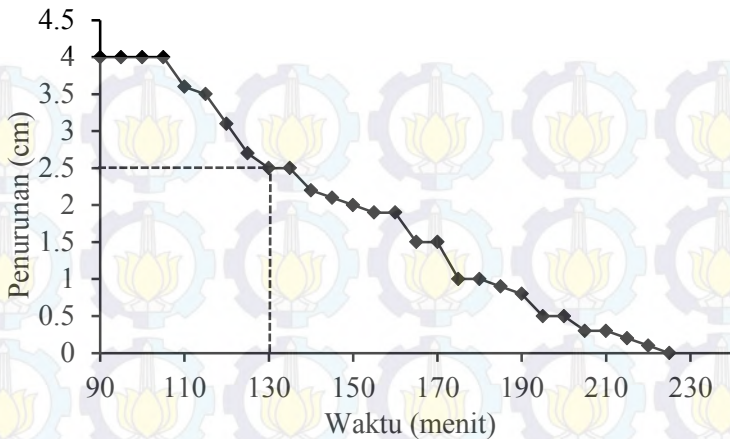
Hasil *setting time* dapat dilihat pada gambar 4.5. Pada gambar 4.5 terlihat bahwa penurunan awal 325 menit dan penurunan akhir 430 menit.



Gambar 4.5 Grafik *Setting Time* P 10-2-25

5. Pasta P 10-2-50

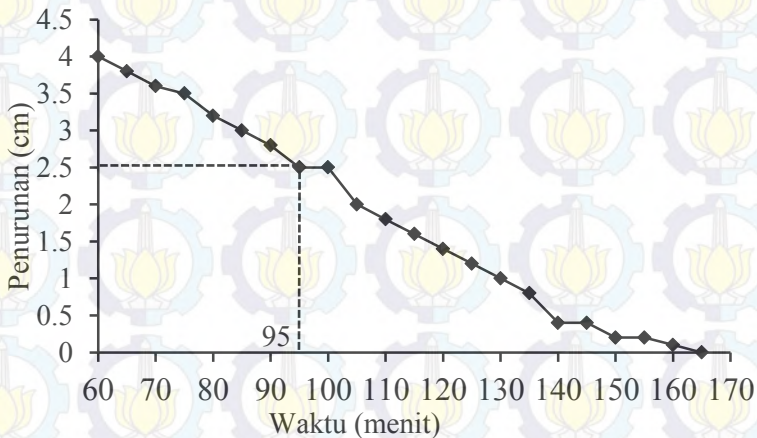
Hasil *setting time* dapat dilihat pada gambar 4.6. Pada gambar 4.6 terlihat bahwa penurunan awal 130 menit dan penurunan akhir 225 menit.



Gambar 4.6 Grafik *Setting Time* P 10-2-50

6. Pasta P 10-2-75

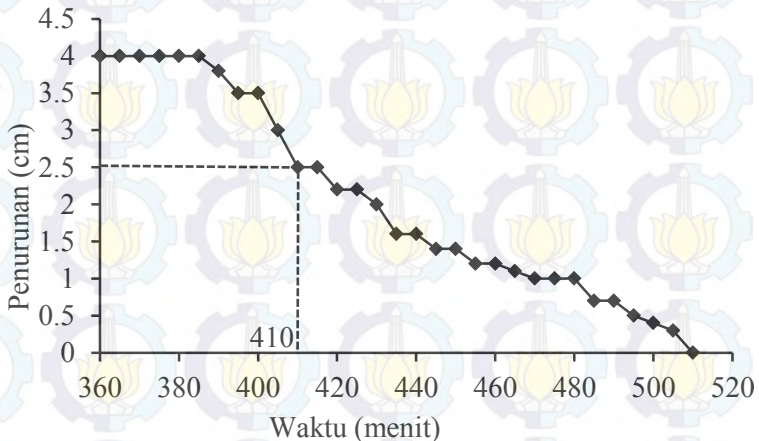
Hasil *setting time* dapat dilihat pada gambar 4.7. Pada gambar 4.7 terlihat bahwa penurunan awal 95 menit dan penurunan akhir 165 menit.



Gambar 4.7 Grafik *Setting Time* P 10-2-75

7. Pasta P 8-2.5-25

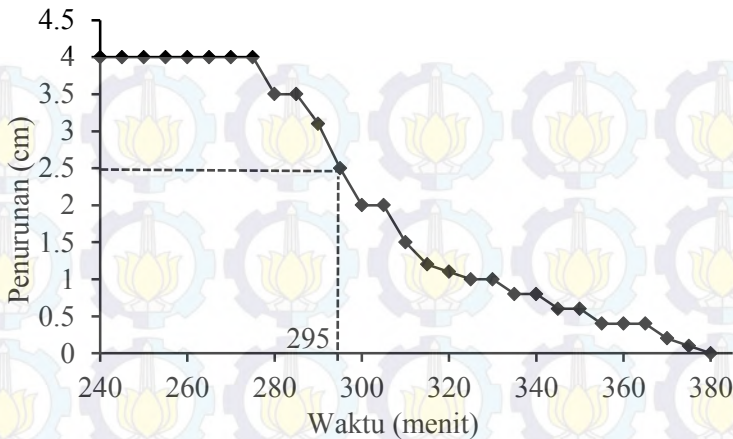
Hasil *setting time* dapat dilihat pada gambar 4.8. Pada gambar 4.8 terlihat bahwa penurunan awal 410 menit dan penurunan akhir 510 menit.



Gambar 4.8 Grafik *Setting Time* P 8-2.5-25

8. Pasta P 8-2.5-50

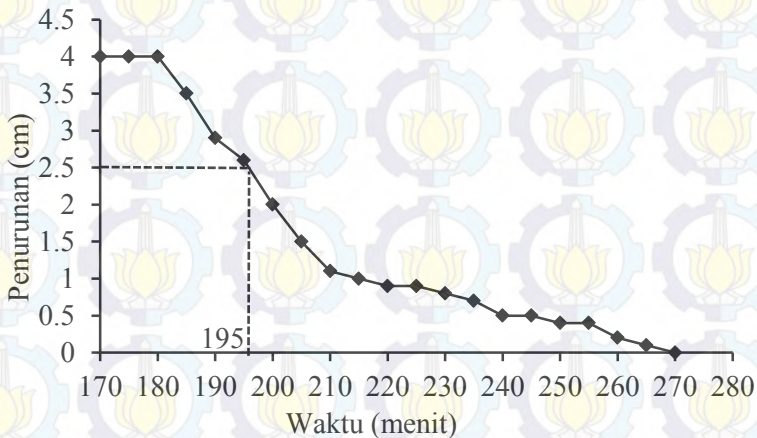
Hasil *setting time* dapat dilihat pada gambar 4.9. Pada gambar 4.9 terlihat bahwa penurunan awal 295 menit dan penurunan akhir 380 menit.



Gambar 4.9 Grafik *Setting Time* P 8-2.5-50

9. Pasta P 8-2.5-75

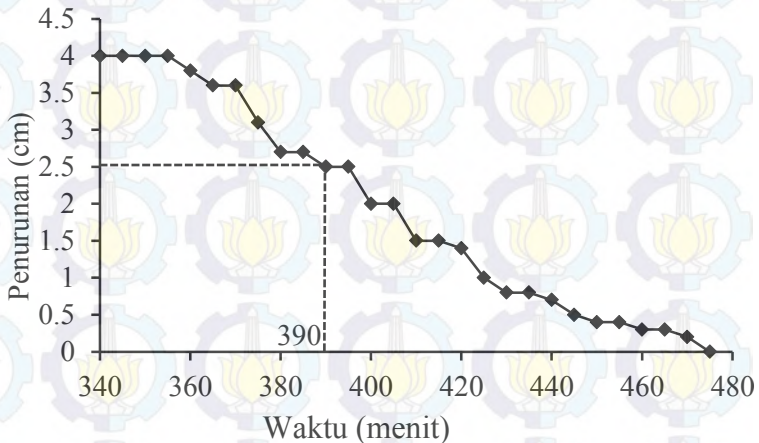
Hasil *setting time* dapat dilihat pada gambar 4.10. Pada gambar 4.10 terlihat bahwa penurunan awal 195 menit dan penurunan akhir 270 menit.



Gambar 4.10 Grafik *Setting Time* P 8-2.5-75

10. Pasta P 10-2.5-25

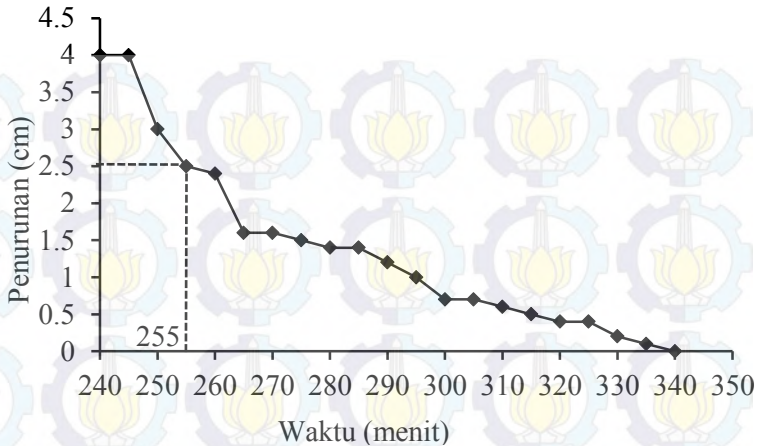
Hasil *setting time* dapat dilihat pada gambar 4.11. Pada gambar 4.11 terlihat bahwa penurunan awal 390 menit dan penurunan akhir 475 menit.



Gambar 4.11 Grafik *Setting Time* P 10-2.5-25

11. Pasta P 10-2.5-50

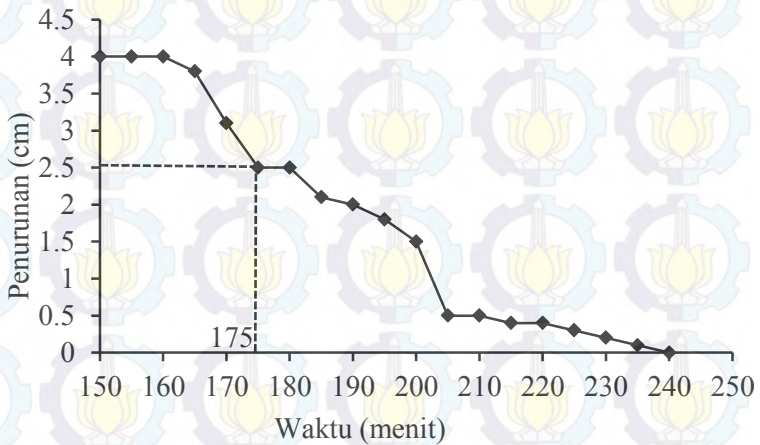
Hasil *setting time* dapat dilihat pada gambar 4.12. Pada gambar 4.12 terlihat bahwa penurunan awal 255 menit dan penurunan akhir 340 menit.



Gambar 4.12 Grafik *Setting Time* P 10-2.5-50

12. Pasta P 10-2.5-75

Hasil *setting time* dapat dilihat pada gambar 4.13. Pada gambar 4.13 terlihat bahwa penurunan awal 175 menit dan penurunan akhir 240 menit.



Gambar 4.13 Grafik *Setting Time* P 10-2.5-75

Dari tes *setting time* ke-12 variasi diatas dapat disimpulkan pengikatan awal dan pengikatan akhir bisa dilihat pada tabel 4.8.

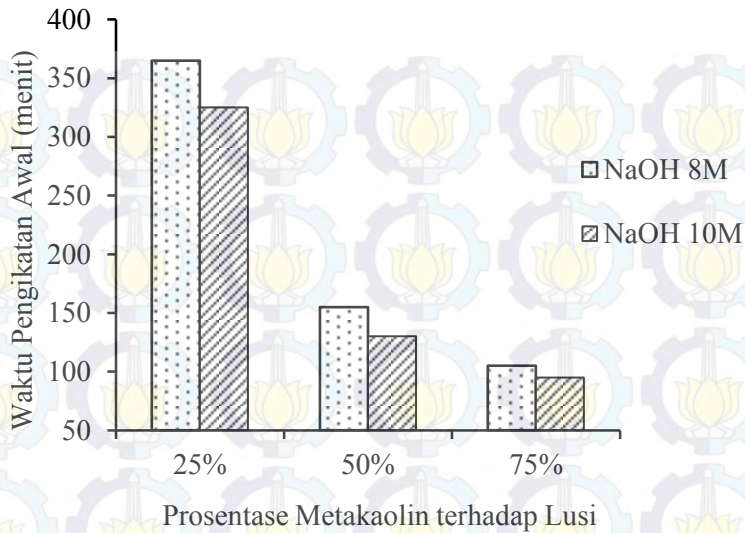
Tabel 4.8 Rekap *Setting Time*

No	Kode Benda Uji	$\frac{\text{Si}}{\text{Al}}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O}}$	$\frac{\text{water}}{\text{solid}}$	Pengikatan awal	Pengikatan akhir
1	P 8-2-25	2.028	3.528	0.404	365	460
2	P 8-2-50	1.738	3.736	0.384	155	250
3	P 8-2-75	1.527	3.960	0.366	105	185
4	P 10-2-25	2.028	3.308	0.388	325	430
5	P 10-2-50	1.738	3.495	0.384	130	225
6	P 10-2-75	1.527	3.695	0.366	95	165
7	P 8-2.5-25	2.072	3.665	0.391	410	510
8	P 8-2.5-50	1.774	3.882	0.359	295	380
9	P 8-2.5-75	1.559	4.116	0.343	195	270
10	P 10-2.5-25	2.072	3.465	0.377	390	475
11	P 10-2.5-50	1.774	3.662	0.359	255	340
12	P 10-2.5-75	1.559	3.874	0.343	175	240

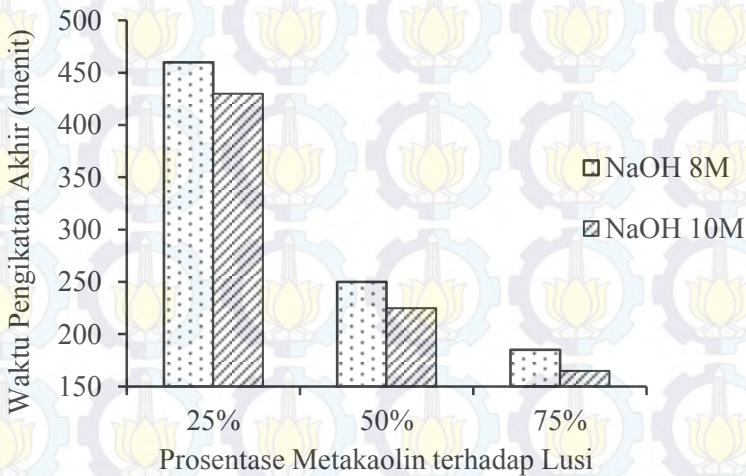
Dari tabel 4.8, dapat dibuat beberapa kondisi yang mempengaruhi hasil *setting time* diantaranya adalah sbb :

4.4.1 Pengaruh Molaritas terhadap Setting Time

Pada pengaruh molaritas kali ini, akan dibedakan kondisi alkali dengan rasio perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2$ yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.14 dan 4.15. Dan Untuk alalkali dengan rasio perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2,5$ dapat dilihat pada gambar 4.16 dan 4.17.

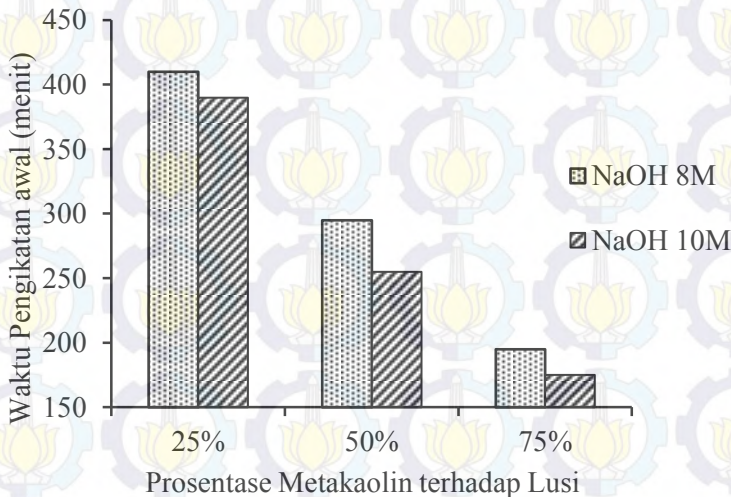


Gambar 4.14 Grafik Pengaruh Molaritas terhadap Waktu Pengikatan Awal ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2$)

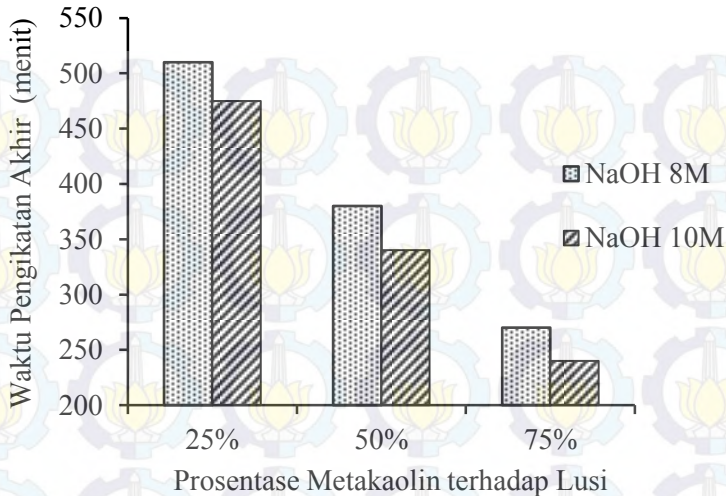


Gambar 4.15 Grafik Pengaruh Molaritas terhadap Waktu Pengikatan Akhir ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2$)

Dari gambar 4.14 dan 4.15, dengan rasio perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2$ menunjukkan bahwa molaritas 10M lebih cepat mengalami pengikatan awal maupun akhir daripada molaritas 8M. Larutan NaOH 10M lebih pekat jika dibandingkan dengan larutan NaOH 8M. sehingga proses pemutusan rantai aluminosilikat akibat penambahan molaritas NaOH dapat berlangsung lebih cepat, dan berakibat pada proses setting yang berlangsung cepat (Wiyoto, 2007). Olehkarena itu, semakin tinggi kepekatan NaOH dalam campuran, maka proses pengikatan awal akan berjalan lebih cepat.



Gambar 4.16 Grafik Pengaruh Molaritas terhadap Waktu Pengikatan Awal ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2.5$)



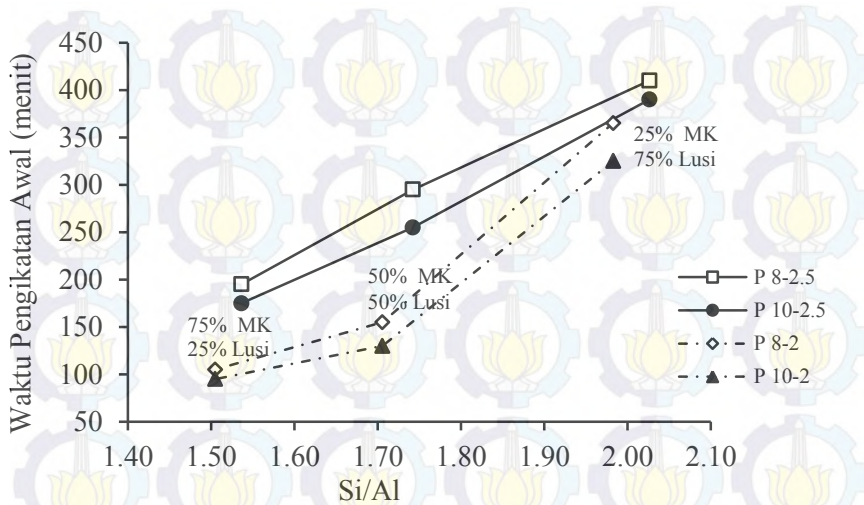
Gambar 4.17 Grafik Pengaruh Molaritas terhadap Waktu Pengikatan Akhir ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2.5$)

Dari gambar 4.16 dan 4.17, dengan rasio perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2.5$ menunjukkan bahwa molaritas 10M lebih cepat mengalami pengikatan awal maupun akhir daripada molaritas 8M. Larutan NaOH 10M lebih pekat jika dibandingkan dengan larutan NaOH 8M, sehingga proses pemutusan rantai alumino silikat akibat penambahan molaritas NaOH dapat berlangsung lebih cepat, dan berakibat pada proses setting yang berlangsung cepat (Wiyoto, 2007).

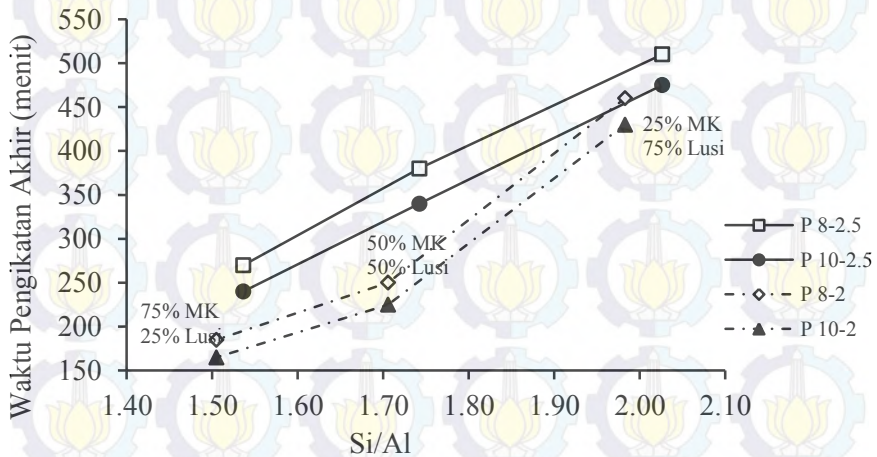
4.4.2 Pengaruh Binder terhadap Setting Time

Pada gambar 4.14 sampai 4.17, terlihat bahwa semakin banyak kandungan metakaolin maka semakin cepat pengikatan awal dan pengikatan akhir. Hal ini dikarenakan sifat binder metakaolin yang pada saat pencampuran sangat banyak menyerap air. Sehingga menyebabkan kondisi pasta yang airnya lebih sedikit menjadi lebih cepat *setting*.

4.4.3 Pengaruh Si/Al terhadap Setting Time



Gambar 4.18 Grafik Pengaruh Si/Al terhadap Waktu Pengikatan Awal



Gambar 4.19 Grafik Pengaruh Si/Al terhadap Waktu Pengikatan Akhir

Pada gambar 4.18, terlihat bahwa semakin tinggi Si/Al maka waktu pengikatan awal semakin cepat. Hal itu juga terjadi pada gambar 4.19, terlihat bahwa semakin tinggi Si/Al maka waktu pengikatan akhir semakin cepat. (P. De Silva, 2007) mengatakan bahwa kandungan silika dan alumina berpengaruh pada hasil setting time dimana dalam penelitian ini semakin tinggi Si/Al maka semakin lama waktu setting time. Pernyataan ini sama dengan yang dikemukakan oleh Triani pada penelitiannya di tahun 2015.

4.4.4 Pengaruh Na_2SiO_3 terhadap Setting Time

Pada gambar 4.18 dan 4.19, terlihat bahwa semakin banyak kandungan Na_2SiO_3 maka semakin lama pengikatan awal dan pengikatan akhir. Ini dikarenakan Na_2SiO_3 memiliki kandungan *silica* dan jika itu ditambahkan lebih maka akan meningkatkan konsentrasi Si/Al dan sesuai dari penelitian ini semakin tinggi Si/Al semakin lama waktu *setting*. Akibat penambahan sodium silikat juga membuat pasta menjadi lengket, workability naik, dan setting time lama (K. Gao dkk, 2013).

4.4.5 Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Setting Time

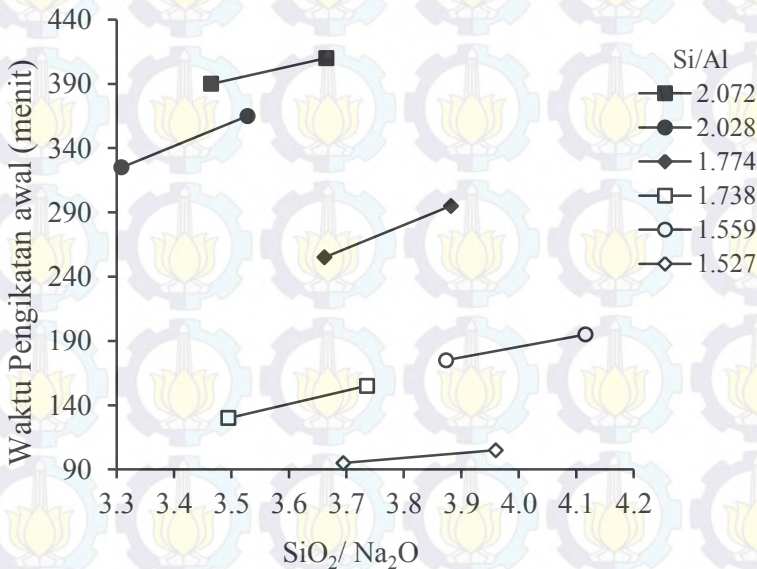
Untuk menentukan pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap setting time akan dibuat beberapa kondisi variasi dimana Si/Al yang sama namun $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ yang berbeda, bisa dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Setting Time

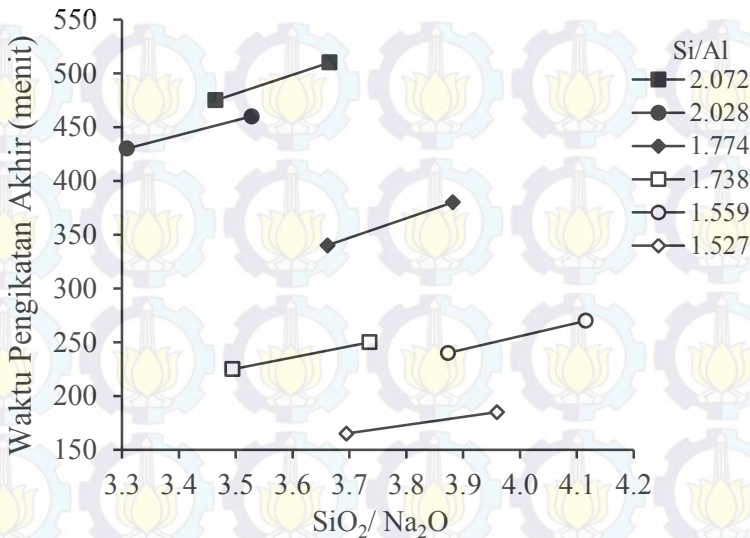
Si/Al	$\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$	Pengikatan awal	Pengikatan akhir
2.072	3.465	390	475
	3.665	410	510
2.028	3.308	325	430
	3.528	365	460
1.774	3.662	255	340
	3.882	295	380

1.738	3.495	130	225
	3.736	155	250
1.559	3.874	175	240
	4.116	195	270
1.527	3.695	95	165
	3.960	105	185

Untuk mempermudah analisa dari tabel 4.9 dibuat grafik hubungan $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap setting time seperti pada gambar 4.20 dan 4.21.



Gambar 4.20 Grafik Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Waktu Pengikatan Awal

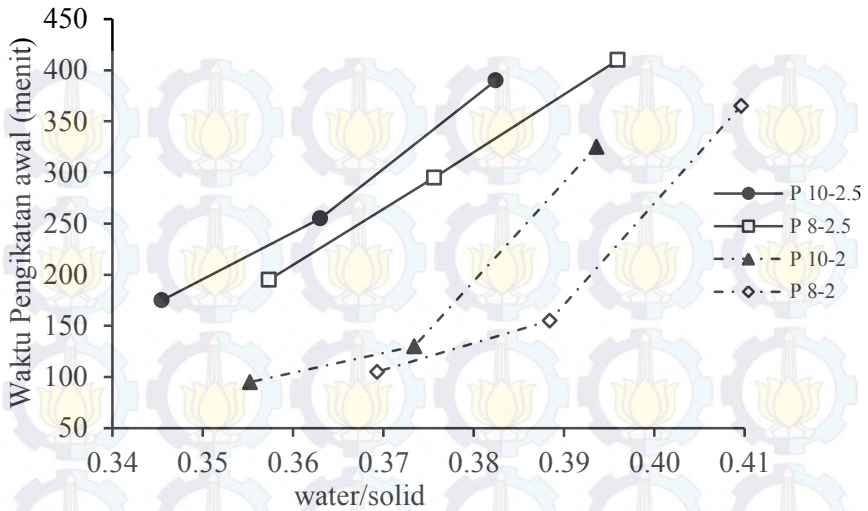


Gambar 4.21 Grafik Pengaruh SiO₂/ Na₂O terhadap Waktu Pengikatan Akhir

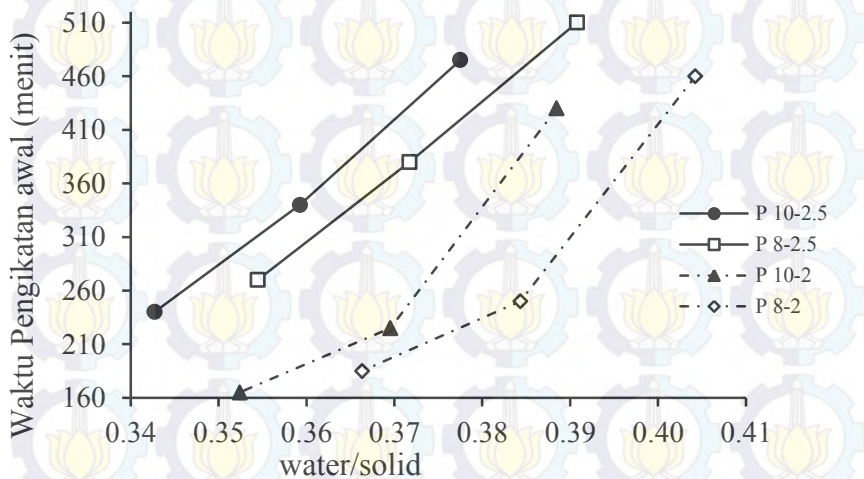
Dari gambar 4.20 dan 4.21, terlihat bahwa kecenderungan semakin tinggi SiO₂/Na₂O maka semakin lama waktu setting. Hal ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Kang Gao pada tahun 2014. Dia mengatakan bahwa akibat penambahan sodium silikat membuat SiO/Na₂O menjadi naik dan membuat waktu setting menjadi lama.

4.4.6 Pengaruh water/solid terhadap Setting Time

Semakin sedikit water/solid maka semakin cepat pengikatan awal dan pengikatan akhir (lihat gambar 4.22 dan 4.23). Ini dikarenakan saat w/s sedikit, air yang terkandung dalam pasta lebih sedikit daripada binder dan itu menyebabkan reaksi pada pasta lebih cepat. Namun itu tidak berlaku pada komposisi yang memiliki kandungan silica atau Na₂SiO₃ yang tinggi dan itu sudah dijelaskan pada subbab 4.4.3.



Gambar 4.22 Grafik Pengaruh water/solid terhadap Waktu Pengikatan Awal



Gambar 4.23 Grafik Pengaruh water/solid terhadap Waktu Pengikatan Akhir

4.5 Berat Volume Pasta

Tes ini dilakuakn untuk mengetahui berat volume pasta sebelum pasta dites kuat tekan. Tes ini dilakukan pada umur 3,7,14,21 dan 28 hari. Rata-rata berat volume diambil dari minimal 3 benda uji yang dipakai untuk tes kuat tekan.

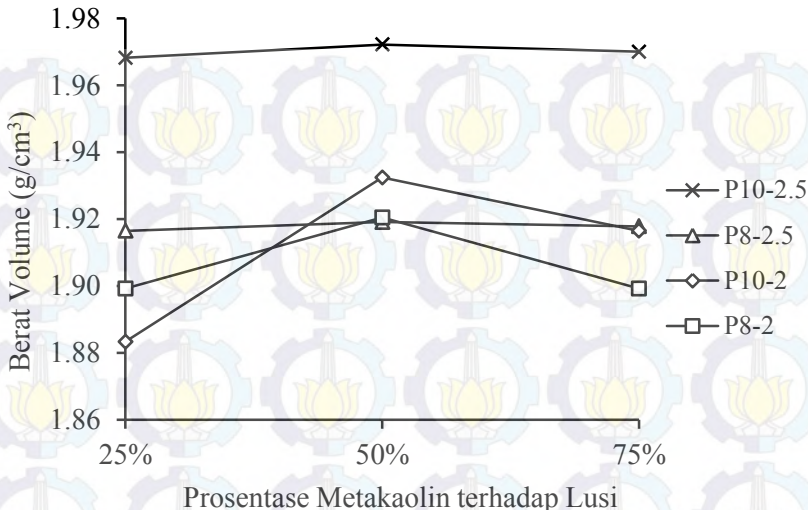
4.5.1 Berat Volume Pasta umur 3 hari

Hasil berat volume benda uji umur 3 hari dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Berat Volume Pasta Umur 3 Hari

Kode Benda Uji	Rata-rata Berat Volume (g/cm ³)	Kode Benda Uji	Rata-rata Berat Volume (g/cm ³)
P 8-2-25	1.90	P 8-2.5-25	1.92
P 8-2-50	1.92	P 8-2.5-50	1.92
P 8-2-75	1.90	P 8-2.5-75	1.92
P 10-2-25	1.88	P 10-2.5-25	1.97
P 10-2-50	1.93	P 10-2.5-50	1.97
P 10-2-75	1.92	P 10-2.5-75	1.97

Dari tabel 4.10, dibuat grafik hubungan antara rata-rata berat volume dengan variasi pasta umur 3 hari seperti pada gambar 4.24.



Gambar 4.24 Grafik Hubungan Berat Volume Pasta dengan Prosentase Metakaolin terhadap Lusi Umur 3 Hari

Dari gambar 4.24 dapat dilihat bahwa variasi binder dengan metakaolin 50% dan lusi 50% memiliki berat volume yang lebih besar daripada saat prosentase metakaolin berkurang menjadi 25% atau lebih menjadi 75% terhadap lusi. Dapat disimpulkan kalau penambahan metakaolin membuat berat volume menjadi naik, tapi tidak saat terlalu banyak metakaolin.

4.5.2 Berat Volume Pasta umur 7 hari

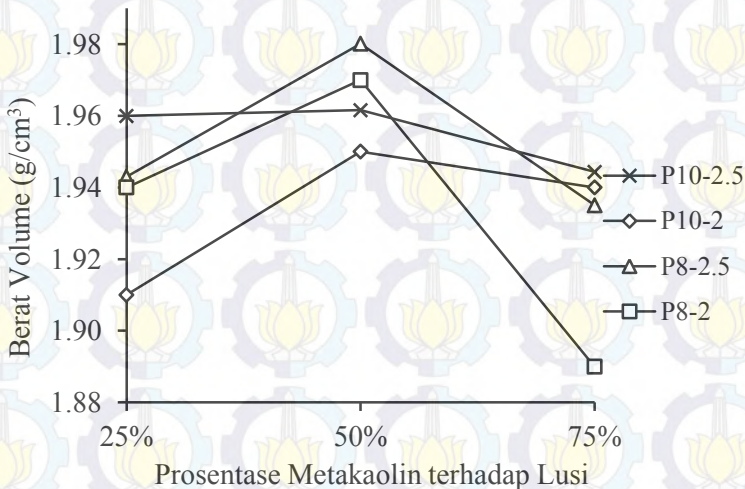
Hasil berat volume benda uji umur 7 hari dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Berat Volume Pasta Umur 7 Hari

Kode Benda Uji	Rata-rata Berat Volume (g/cm^3)	Kode Benda Uji	Rata-rata Berat Volume (g/cm^3)
P 8-2-25	1.94	P 8-2.5-25	1.94

P 8-2-50	1.97	P 8-2.5-50	1.98
P 8-2-75	1.89	P 8-2.5-75	1.94
P 10-2-25	1.91	P 10-2.5-25	1.96
P 10-2-50	1.95	P 10-2.5-50	1.96
P 10-2-75	1.94	P 10-2.5-75	1.94

Dari tabel 4.11 dibuat grafik hubungan antara rata-rata berat volume dengan variasi pasta umur 7 hari seperti pada gambar 4.25.



Gambar 4.25 Grafik Hubungan Berat Volume Pasta dengan Prosentase Metakaolin terhadap Lusi Umur 7 Hari

Dari gambar 4.25 dapat dilihat bahwa berat volume pasta umur 7 hari memiliki kecenderungan yang sama dengan berat volume umur 3 hari. Yaitu variasi binder dengan metakaolin 50% dan lusi 50% memiliki berat volume yang besar daripada saat prosentase metakaolin berkurang menjadi 25% atau lebih menjadi 75% terhadap lusi. Dapat disimpulkan kalau penambahan

metakaolin membuat berat volume menjadi naik, tapi tidak saat terlalu banyak metakaolin.

4.5.3 Berat Volume Pasta umur 14 hari

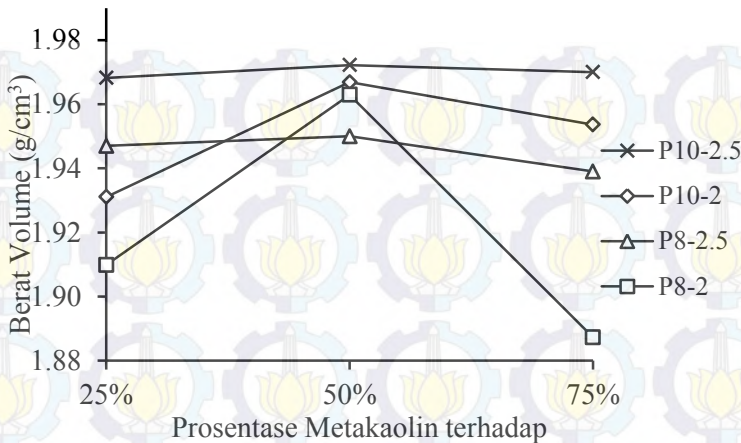
Hasil berat volume benda uji umur 14 hari dapat dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Berat Volume Pasta Umur 14 Hari

Kode Benda Uji	Rata-rata Berat Volume (g/cm^3)	Kode Benda Uji	Rata-rata Berat Volume (g/cm^3)
P 8-2-25	1.91	P 8-2.5-25	1.95
P 8-2-50	1.96	P 8-2.5-50	1.97
P 8-2-75	1.89	P 8-2.5-75	1.94
P 10-2-25	1.93	P 10-2.5-25	1.97
P 10-2-50	1.97	P 10-2.5-50	1.97
P 10-2-75	1.95	P 10-2.5-75	1.97

Dari tabel 4.12 dibuat grafik hubungan antara rata-rata berat volume dengan variasi pasta umur 14 hari seperti pada gambar 4.26.

Dari gambar 4.26 dapat dilihat bahwa berat volume pasta umur 14 hari memiliki kecenderungan yang sama dengan berat volume umur 3 dan 7 hari. Yaitu variasi binder dengan metakaolin 50% dan lusi 50% memiliki berat volume yang lebih besar daripada saat prosentase metakaolin berkurang menjadi 25% atau lebih menjadi 75% terhadap lusi. Dapat disimpulkan kalau penambahan metakaolin membuat berat volume menjadi naik, tapi tidak saat terlalu banyak metakaolin.



Gambar 4.26 Grafik Hubungan Berat Volume Pasta dengan Prosentase Metakaolin terhadap Lusi Umur 14 Hari

4.5.4 Berat Volume Pasta umur 21 hari

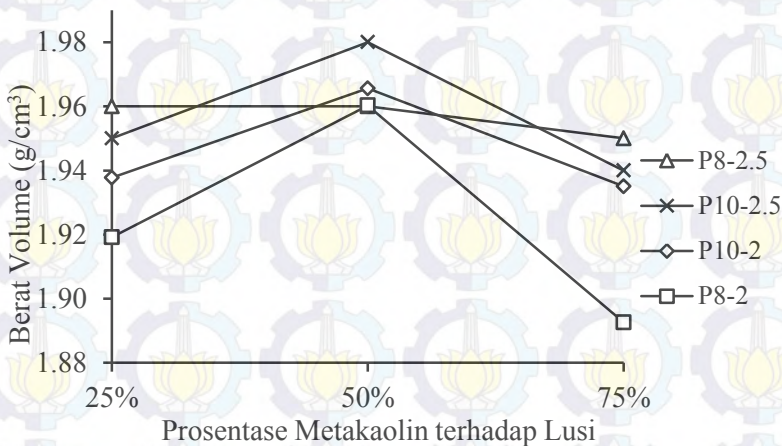
Hasil berat volume benda uji umur 21 hari dapat dilihat pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 Berat Volume Pasta Umur 21 Hari

Kode Benda Uji	Rata-rata Berat Volume (g/cm ³)	Kode Benda Uji	Rata-rata Berat Volume (g/cm ³)
P 8-2-25	1.91	P 8-2.5-25	1.95
P 8-2-50	1.96	P 8-2.5-50	1.97
P 8-2-75	1.89	P 8-2.5-75	1.94
P 10-2-25	1.93	P 10-2.5-25	1.97
P 10-2-50	1.97	P 10-2.5-50	1.97
P 10-2-75	1.95	P 10-2.5-75	1.97

Dari tabel 4.13 dibuat grafik hubungan antara rata-rata berat volume dengan variasi pasta umur 21 hari seperti pada gambar 4.27.

Dari gambar 4.27 dapat dilihat bahwa berat volume pasta umur 21 hari memiliki kecenderungan yang sama dengan berat volume umur 3,7 dan 14 hari. Yaitu variasi binder dengan metakaolin 50% dan lusi 50% memiliki berat volume yang lebih besar daripada saat prosentase metakaolin berkurang menjadi 25% atau lebih menjadi 75% terhadap lusi. Dapat disimpulkan kalau penambahan metakaolin membuat berat volume menjadi naik, tapi tidak saat terlalu banyak metakaolin.



Gambar 4.27 Grafik Hubungan Berat Volume Pasta dengan Prosentase Metakaolin terhadap Lusi Umur 21 Hari

4.5.5 Berat Volume Pasta umur 28 hari

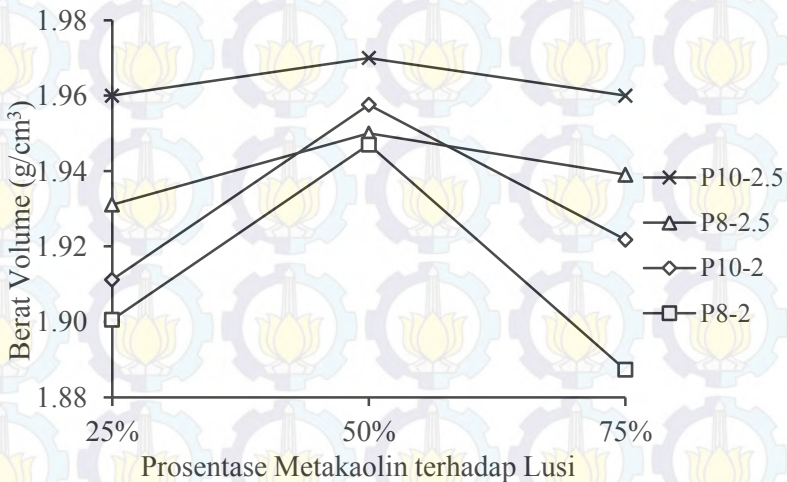
Hasil berat volume benda uji umur 28 hari dapat dilihat pada tabel 4.14.

Tabel 4.14 Berat Volume Pasta Umur 28 Hari

Kode Benda Uji	Rata-rata Berat Volume (g/cm ³)	Kode Benda Uji	Rata-rata Berat Volume (g/cm ³)
P 8-2-25	1.90	P 8-2.5-25	1.93

P 8-2-50	1.95	P 8-2.5-50	1.95
P 8-2-75	1.89	P 8-2.5-75	1.94
P 10-2-25	1.91	P 10-2.5-25	1.96
P 10-2-50	1.96	P 10-2.5-50	1.97
P 10-2-75	1.92	P 10-2.5-75	1.96

Dari tabel 4.14 dibuat grafik hubungan antara rata-rata berat volume dengan variasi pasta umur 28 hari seperti pada gambar 4.28.



Gambar 4.28 Grafik Hubungan Berat Volume Pasta dengan Prosentase Metakaolin terhadap Lusi Umur 28 Hari

Dari gambar 4.28 dapat dilihat bahwa berat volume pasta umur 28 hari memiliki kecenderungan yang sama dengan berat volume umur 3,7,14 dan 21 hari. Yaitu variasi binder dengan metakaolin 50% dan lusi 50% memiliki berat volume yang lebih besar daripada saat prosentase metakaolin berkurang menjadi 25% atau lebih menjadi 75% terhadap lusi. Dapat disimpulkan kalau penambahan metakaolin membuat berat volume menjadi

naik, tapi tidak saat terlalu banyak metakaolin. Hal ini dimungkinkan karena saat metakaolin terlalu banyak membuat *workability* menjadi jelek sehingga pasta memiliki banyak rongga dan berat volume turun.

4.6 Tes Kuat Tekan Pasta

Tes kuat tekan pasta dilakukan terhadap 6 buah benda uji. Dan untuk membuat kontrol kualitas menjadi lebih baik, perlu menghilangkan beberapa benda uji minimal tersisa 4 buah. Untuk mengetahui kualitas dari campuran pasta geopolimer perlu dilakukan kontrol kualitas agar nantinya dapat diketahui mutu dari setiap campuran yang dibuat. Hasil kuat tekan pasta umur 3,7,14,21 dan 28 hari bisa dilihat berurutan pada tabel 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 dan 4.19.

Tabel 4.15 Kuat Tekan Pasta Umur 3 Hari

Kode Benda Uji	Umur	Kuat Tekan Benda Uji (MPa)						Rata -rata (MPa)	SD	kovarian (%)	Kontrol
		1	2	3	4	5	6				
P 8-2-25	3 hari	-	42.02	42.97	43.29	41.70	42.97	42.59	0.69	1.62	Istimewa
P 8-2-50	3 hari	-	59.84	63.03	63.34	61.75	60.16	61.62	1.60	2.60	Istimewa
P 8-2-75	3 hari	-	57.93	58.89	60.16	61.43	56.98	59.08	1.77	2.99	Istimewa
P 10-2-25	3 hari	-	49.34	52.52	50.13	46.15	49.02	49.43	2.29	4.63	Istimewa
P 10-2-50	3 hari	-	65.25	61.12	62.07	65.25	62.07	63.15	1.96	3.10	Istimewa
P 10-2-75	3 hari	-	63.34	61.75	64.30	66.53	65.25	64.23	1.82	2.83	Istimewa
P 8-2.5-25	3 hari	50.29	50.29	49.66	49.02	48.38	49.34	49.50	0.75	1.51	Istimewa
P 8-2.5-50	3 hari	-	67.48	66.21	67.48	71.62	66.84	67.93	2.13	3.14	Istimewa
P 8-2.5-75	3 hari	-	66.84	63.34	61.12	68.12	63.66	64.62	2.83	4.38	Istimewa
P 10-2.5-25	3 hari	55.39	56.02	53.79	55.70	58.89	56.66	56.08	1.68	2.99	Istimewa
P 10-2.5-50	3 hari	-	0.00	66.21	70.35	72.57	67.16	69.07	2.93	4.24	Istimewa
P 10-2.5-75	3 hari	-	63.98	64.94	65.89	63.66	68.44	65.38	1.92	2.93	Istimewa

Tabel 4.16 Kuat Tekan Pasta Umur 7 Hari

Kode Benda Uji	Umur	Kuat Tekan Benda Uji (MPa)						Rata-rata (MPa)	SD	kovarian (%)	Kontrol
		1	2	3	4	5	6				
P 8-2-25	7 hari	-	50.61	51.25	51.57	50.93	52.52	51.38	0.73	1.62	Istimewa
P 8-2-50	7 hari	-	62.07	66.84	68.44	64.30	62.07	64.74	2.85	2.60	Istimewa
P 8-2-75	7 hari	-	63.03	61.43	63.03	58.57	63.66	61.94	2.06	2.99	Istimewa
P 10-2-25	7 hari	54.11	50.93	52.52	52.52	56.98	53.79	53.48	2.05	3.84	Istimewa
P 10-2-50	7 hari	-	64.94	63.66	66.84	63.34	68.44	65.44	2.17	3.31	Istimewa
P 10-2-75	7 hari	66.84	63.34	60.48	68.12	63.03	64.30	64.35	2.76	4.29	Istimewa
P 8-2.5-25	7 hari	-	51.25	55.70	54.43	56.98	53.79	54.43	2.16	3.97	Istimewa
P 8-2.5-50	7 hari	-	66.53	68.44	71.30	65.25	72.89	68.88	3.20	4.64	Istimewa
P 8-2.5-75	7 hari	-	64.30	63.34	64.30	67.48	66.84	65.25	1.80	2.76	Istimewa
P 10-2.5-25	7 hari	-	65.25	60.80	66.21	63.98	63.03	63.85	2.09	3.28	Istimewa
P 10-2.5-50	7 hari	-	74.80	72.57	73.53	75.76	70.66	73.47	1.98	2.70	Istimewa
P 10-2.5-75	7 hari	-	66.21	65.25	68.44	63.03	70.03	66.59	2.73	4.10	Istimewa

Tabel 4.17 Kuat Tekan Pasta Umur 14 Hari

Kode Benda Uji	Umur	Kuat Tekan Benda Uji (MPa)						Rata -rata (MPa)	SD	kovarian (%)	Kontrol
		1	2	3	4	5	6				
P 8-2-25	21 hari	-	57.61	55.70	57.61	58.89	54.11	56.79	1.88	3.31	Istimewa
P 8-2-50	21 hari	-	63.66	70.03	66.84	63.66	63.66	65.57	2.85	4.34	Istimewa
P 8-2-75	21 hari	-	65.25	60.48	63.34	60.48	63.66	62.64	2.10	3.36	Istimewa
P 10-2-25	21 hari	-	55.70	59.84	60.48	63.98	59.21	59.84	2.96	4.95	Sangat Baik
P 10-2-50	21 hari	-	62.07	63.66	68.44	67.48	63.66	65.06	2.74	4.22	Istimewa
P 10-2-75	21 hari	65.25	63.98	63.66	67.16	66.84	68.44	65.89	1.90	2.88	Istimewa
P 8-2.5-25	21 hari	-	58.57	54.11	58.89	62.07	61.12	58.95	3.08	5.23	Sangat Baik
P 8-2.5-50	21 hari	-	68.44	68.75	71.62	68.44	71.30	69.71	1.61	2.31	Istimewa
P 8-2.5-75	21 hari	67.16	67.48	64.30	67.16	65.25	66.84	66.37	1.29	1.94	Istimewa
P 10-2.5-25	21 hari	-	70.03	64.62	64.94	63.66	70.35	66.72	3.20	4.80	Sangat Baik
P 10-2.5-50	21 hari	-	70.03	74.80	76.08	76.71	77.03	74.93	2.87	3.83	Istimewa
P 10-2.5-75	21 hari	-	71.94	67.80	63.34	69.71	69.39	68.44	3.21	4.69	Sangat Baik

Tabel 4.18 Kuat Tekan Pasta Umur 21 Hari

Kode Benda Uji	Umur	Kuat Tekan Benda Uji (MPa)						Rata -rata (MPa)	SD	kovarian (%)	Kontrol
		1	2	3	4	5	6				
P 8-2-25	21 hari	-	-	61.75	60.80	60.80	61.12	61.12	0.45	0.74	Istimewa
P 8-2-50	21 hari	-	72.89	67.48	68.44	68.44	65.25	68.50	2.78	4.06	Istimewa
P 8-2-75	21 hari	-	68.12	63.66	65.25	62.07	62.07	64.23	2.54	3.96	Istimewa
P 10-2-25	21 hari	-	63.66	65.25	65.25	63.66	66.84	64.94	1.33	2.05	Istimewa
P 10-2-50	21 hari	-	66.53	66.21	70.35	70.35	68.44	68.37	1.99	2.91	Istimewa
P 10-2-75	21 hari	-	66.53	68.12	68.44	65.25	63.98	66.46	1.89	2.84	Istimewa
P 8-2.5-25	21 hari	-	-	60.80	61.12	61.12	63.66	61.67	1.33	2.16	Istimewa
P 8-2.5-50	21 hari	-	68.44	71.94	71.62	71.62	74.48	71.62	2.15	3.00	Istimewa
P 8-2.5-75	21 hari	-	69.71	67.16	67.48	63.98	65.25	66.72	2.20	3.30	Istimewa
P 10-2.5-25	21 hari	-	-	71.62	71.62	73.85	70.35	71.86	1.46	2.03	Istimewa
P 10-2.5-50	21 hari	-	79.58	79.58	84.35	74.80	77.99	79.26	3.45	4.35	Istimewa
P 10-2.5-75	21 hari	-	71.62	71.62	67.16	71.62	73.85	71.17	2.44	3.43	Istimewa

Tabel 4.19 Kuat Tekan Pasta Umur 28 Hari

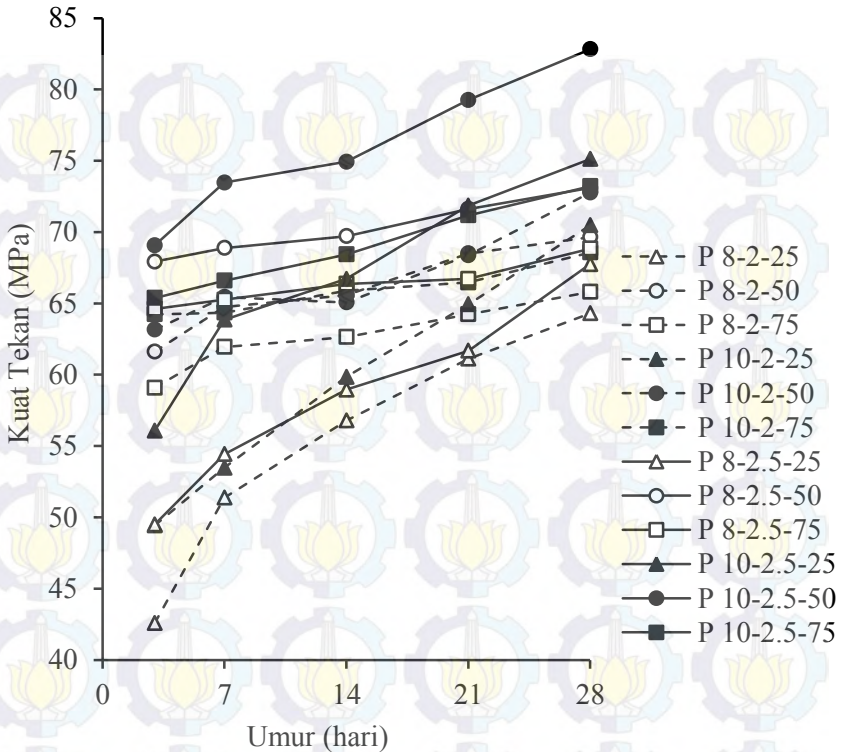
Kode Benda Uji	Umur	Kuat Tekan Benda Uji (MPa)						Rata -rata (MPa)	SD	kovarian (%)	Kontrol
		1	2	3	4	5	6				
P 8-2-25	28 hari	-	-	63.98	63.66	64.30	65.25	64.30	0.69	1.07	Istimewa
P 8-2-50	28 hari	-	70.03	73.21	65.25	73.53	66.21	69.65	3.84	5.52	Sangat Baik
P 8-2-75	28 hari	-	-	65.57	67.48	66.53	63.66	65.81	1.63	2.48	Istimewa
P 10-2-25	28 hari	-	68.12	72.57	70.03	71.62	70.03	70.47	1.71	2.42	Istimewa
P 10-2-50	28 hari	-	71.62	72.89	71.94	73.85	73.53	72.77	0.97	1.33	Istimewa
P 10-2-75	28 hari	-	69.71	68.44	70.03	66.84	67.80	68.56	1.32	1.93	Istimewa
P 8-2.5-25	28 hari	67.48	66.84	67.16	70.66	67.48	66.84	67.75	1.46	2.15	Istimewa
P 8-2.5-50	28 hari	-	71.62	72.57	73.85	77.99	69.39	73.08	3.19	4.36	Istimewa
P 8-2.5-75	28 hari	-	-	70.03	67.48	67.48	70.35	68.83	1.57	2.28	Istimewa
P 10-2.5-25	28 hari	-	73.21	76.39	73.21	71.62	81.17	75.12	3.80	5.06	Sangat Baik
P 10-2.5-50	28 hari	80.85	87.54	81.17	83.08	82.76	81.49	82.81	2.48	2.99	Istimewa
P 10-2.5-75	28 hari	-	70.03	74.80	70.66	76.39	74.17	73.21	2.75	3.75	Istimewa

Dari hasil kuat tekan pada tabel 4.15 – 4.19 di atas dapat direkap menjadi lebih sederhana agar mempermudah analisa, bisa dilihat pada tabel 4.20.

Tabel 4.20 Kuat Tekan Pasta Sampai 28 Hari

Kode Benda Uji	Kuat Tekan Benda Uji Umur x Hari (MPa)				
	3 Hari	7 Hari	14 Hari	21 Hari	28 Hari
P 8-2-25	42.59	51.38	56.79	61.12	64.30
P 8-2-50	61.62	64.74	65.57	68.50	69.65
P 8-2-75	59.08	61.94	62.64	64.23	65.81
P 10-2-25	49.43	53.48	59.84	64.94	70.47
P 10-2-50	63.15	65.44	65.06	68.37	72.77
P 10-2-75	64.23	64.35	65.89	66.46	68.56
P 8-2.5-25	49.50	54.43	58.95	61.67	67.75
P 8-2.5-50	67.93	68.88	69.71	71.62	73.08
P 8-2.5-75	64.62	65.25	66.37	66.72	68.83
P 10-2.5-25	56.08	63.85	66.72	71.86	75.12
P 10-2.5-50	69.07	73.47	74.93	79.26	82.81
P 10-2.5-75	65.38	66.59	68.44	71.17	73.21

Dari tabel 4.20 dibuat grafik hubungan antara umur dengan kuat tekan semua variasi pasta, dan hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.29.

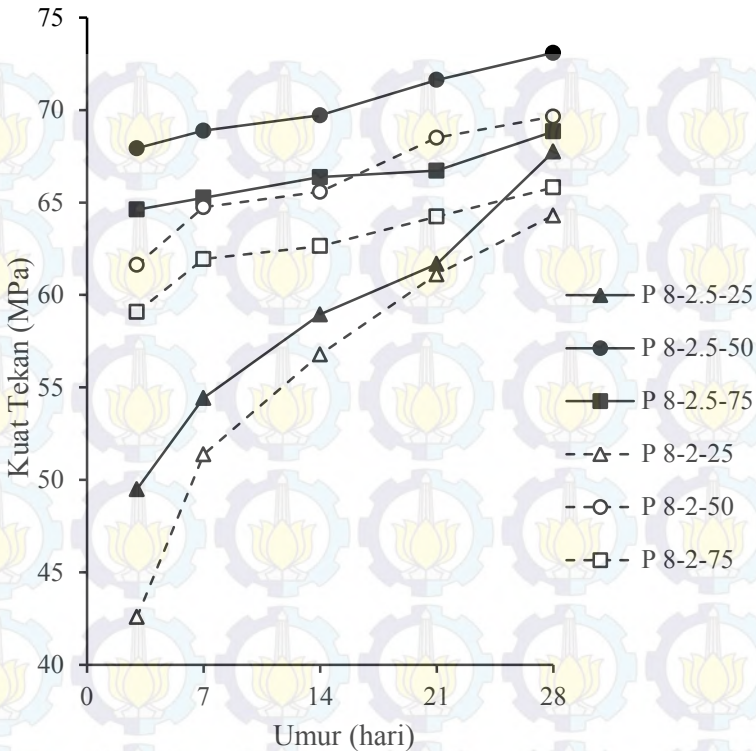


Gambar 4.29 Grafik Kuat Tekan Pasta Sampai 28 Hari

Dari gambar 4.29, dapat dilihat bahwa kecenderungan semakin naik kuat tekan seiring dengan naiknya umur pasta. untuk mempermudah analisa akan dibedakan hubungan antara umur dengan kuat tekan pasta pada molaritas 8M dan pasta dengan molaritas 10M.

4.6.1 Kuat Tekan Pasta Molaritas 8M

Hasil kuat tekan pasta dengan molaritas 8M dapat dilihat pada gambar 4.30

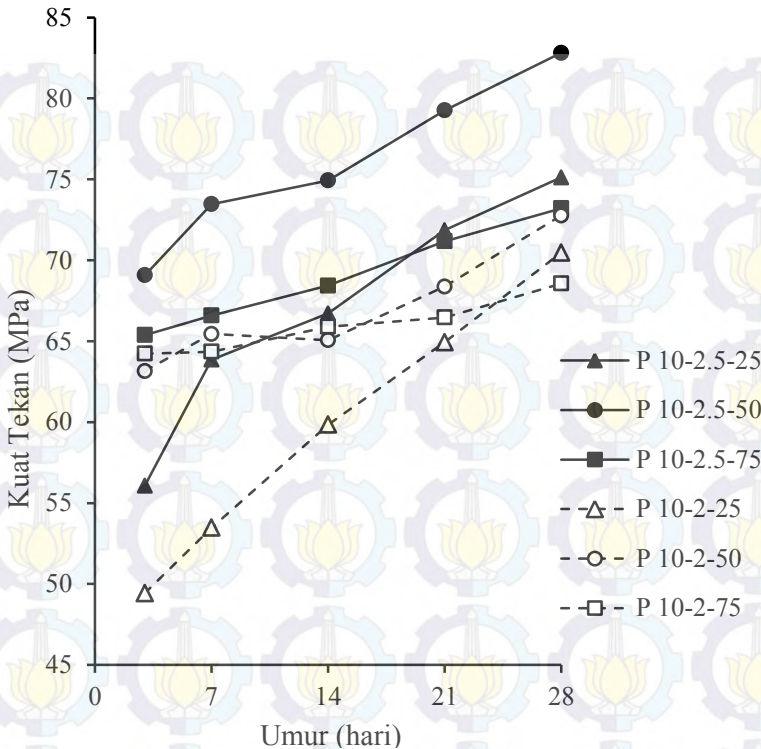


Gambar 4.30 Grafik Kuat Tekan Pasta 8M Sampai 28 Hari

Dari gambar 4.30, dapat diketahui kalau campuran P 8-2.5-50 (Pasta dengan binder MK 50% dan Lusi 50% dan NaOH 8M : Na_2SiO_3 sebesar 2.5) merupakan pasta dengan kuat tekan tertinggi. Pada umur 28 hari bisa mencapai 73,08 MPa. Untuk kuat tekan terendah terlihat pada campuarn P 8-2-25 (Pasta dengan binder MK 25% dan Lusi 75% dan NaOH 8M : Na_2SiO_3 sebesar 2), pada umur 28 hari mencapai 64.30 MPa

4.6.2 Kuat Tekan Pasta Molaritas 10M

Hasil kuat tekan pasta dengan molaritas 10M dapat dilihat pada gambar 4.31



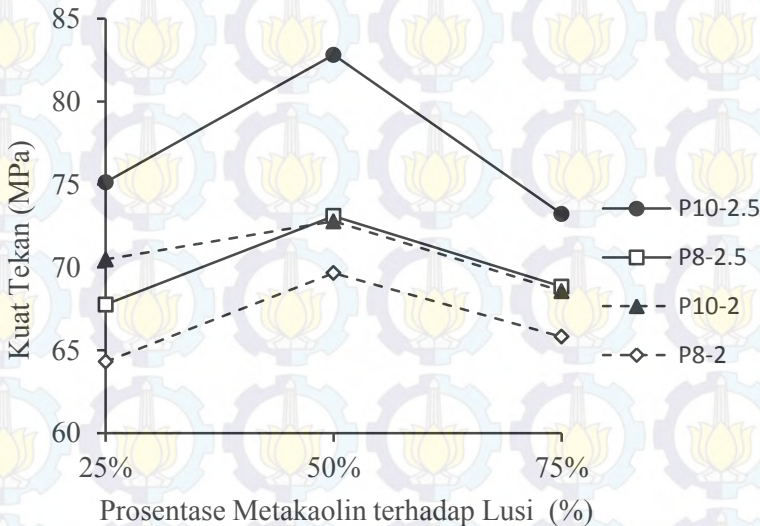
Gambar 4.31 Grafik Kuat Tekan Pasta 10M Sampai 28 Hari

Dari gambar 4.31, dapat diketahui kalau campuran P 10-2.5-50 (Pasta dengan binder MK 50% dan Lusi 50% dan NaOH 10M : Na_2SiO_3 sebesar 2.5) merupakan pasta dengan kuat tekan tertinggi. Pada umur 28 hari bisa mencapai 82,81 MPa. Untuk kuat tekan terendah terlihat pada campuran P 10-2-75 (Pasta dengan binder MK 75% dan Lusi 25% dan NaOH 10M : Na_2SiO_3 sebesar 2), pada umur 28 hari mencapai 70.47 MPa

4.6.3 Pengaruh Binder terhadap Kuat Tekan

Kali ini akan dilihat seberapa pengaruh binder antara metakaolin dan lusi terhadap kuat tekan. Benda uji yang akan

dianalisa adalah umur 28 hari dan hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.32.



Gambar 4.32 Grafik Pengaruh Binder terhadap Kuat Tekan Pasta Umur 28 Hari

Dari gambar 4.32, dapat disimpulkan bahwa metakaolin sangat berpengaruh terhadap kuat tekan dan membuat kuat tekan menjadi naik. Hal ini dikarenakan Si reaktif yang ada pada metakaolin sehingga kuat tekan naik saat metakaolin pada 25% dan 50% terhadap lusi. Namun tidak dimana saat kondisi metakaolin terlalu banyak ini membuat kuat tekan menjadi turun. Hal ini disebabkan karena berat jenis metakaolin yang lebih ringan daripada lusi. Sehingga metakaolin lebih banyak membutuhkan air dalam pembuatan. Oleh karena itu, saat proses pembuatan, air yang terkandung lebih sedikit daripada binder yang mengandung banyak metakaolin. Sedikitnya air dalam binder membuat *workability* pasta menjadi turun dan kuat tekan juga ikut turun (lihat gambar 4.33).

Selain itu, bila dilihat pada hasil Si/Al di gambar 4.38 terlihat bahwa hasil kuat tekan optimum terdapat pada Si/Al antara 1.75-1.8. Hasil Si/Al tersebut merupakan titik optimum dimana kondisi persentase binder metakaolin 50% dan lusi 50%. Jika, persentase metakaolin terhadap lusi ditambah atau dikurangi maka hasil Si/Al akan kurang dari atau lebih dari Si/Al optimum antara 1.75-1.8 dan akan membuat kuat tekan turun.

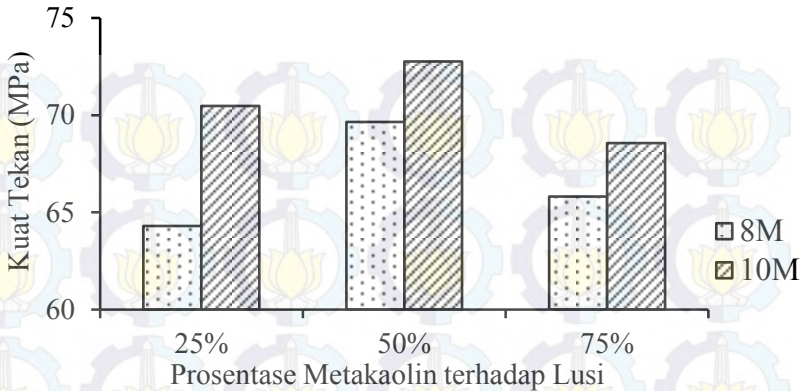


Gambar 4.33 Pasta Dengan Binder Metakaolin 75% terhadap Lusi

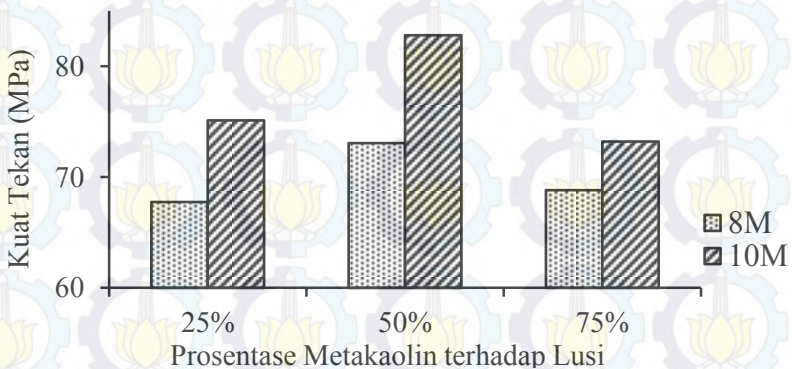
4.6.4 Pengaruh Alkali terhadap Kuat Tekan

4.6.4.1 Pengaruh Molaritas NaOH

Benda uji yang akan dianalisa adalah pasta pada umur 28 hari. Untuk alalkali dengan rasio perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2$ dapat dilihat pada gambar 4.34. Dan Untuk alalkali dengan rasio perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2,5$ dapat dilihat pada gambar 4.35.



Gambar 4.34 Grafik Kuat Tekan Pasta Dengan Alkali Rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2$

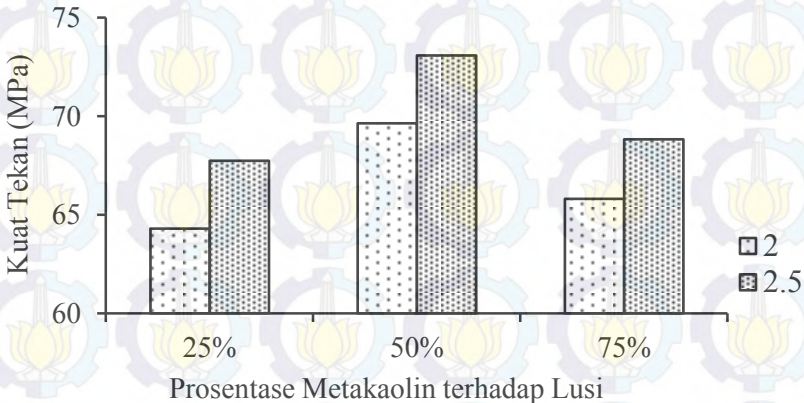


Gambar 4.35 Grafik Kuat Tekan Pasta dengan Alkali Rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2,5$

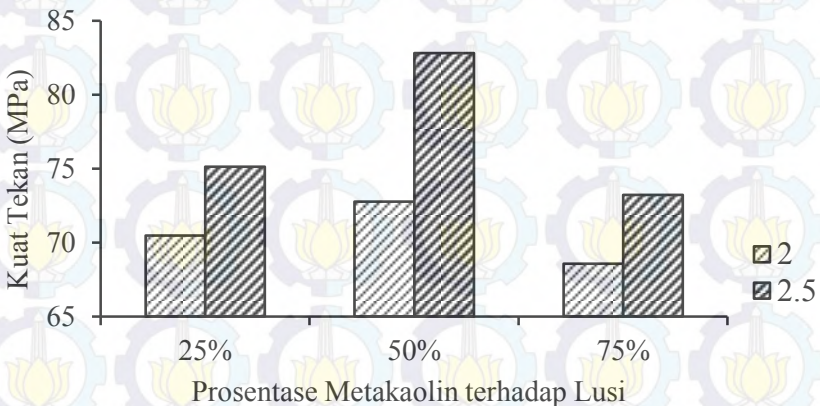
Dari gambar 4.34 dan 4.35, terlihat bahwa NaOH 10M lebih tinggi kuat tekannya dari pada NaOH 8M. Hal ini dikarenakan NaOH 10M lebih pekat dan lebih sedikit jumlah airnya daripada NaOH 8M. Semakin sedikit jumlah air yang berada dalam campuran, maka akan meningkatkan kuat tekan. Hal ini sama dengan teori yang berlaku untuk beton konvensional (Ekaputri dkk, 2007).

4.6.4.2 Pengaruh Rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$

Benda uji yang akan dianalisa adalah pasta pada umur 28 hari. Untuk alkali dengan molaritas NaOH (8M) dapat dilihat pada gambar 4.36. Dan Untuk alkali dengan molaritas NaOH (10M) dapat dilihat pada gambar 4.37.



Gambar 4.36 Grafik Kuat Tekan Pasta Dengan Molaritas NaOH (8M)



Gambar 4.37 Grafik Kuat Tekan Pasta Dengan Molaritas NaOH (10M)

Dari gambar 4.36 dan 4.37, terlihat rasio perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 2.5 lebih tinggi kuat tekannya daripada $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 2. Terlihat bahwa rasio perbandingan 2.5 kandungan Na_2SiO_3 lebih banyak daripada 2. Dan menurut (K. Gao dkk, 2013) akibat penambahan sodium silikat membuat *workability* pasta naik. Naiknya *workability* membuat kuat tekan menjadi meningkat.

4.6.5 Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan

Benda uji yang akan dianalisa adalah pasta pada umur 28 hari. Hasil dapat dilihat pada tabel 4.21.

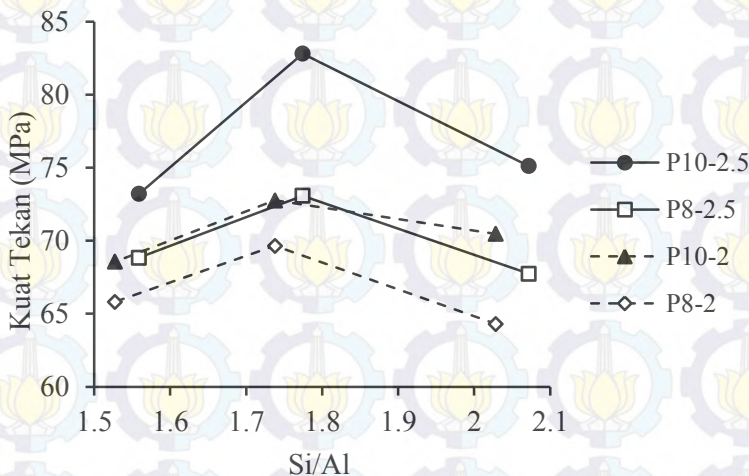
Pada tahun 2007 Petter Duxon pernah melakukan penelitian tentang pengaruh Si/Al terhadap kuat tekan dimana Si/Al yang digunakan adalah 1.15 sampai 2.15. Dari hasil penelitiannya kuat tekan naik seiring naiknya Si/Al. Namun hanya sampai Si/Al 1.9, kuat tekan akan turun saat Si/Al melebihi 1.9. Ini menunjukkan bahwa ada titik optimumnya yaitu saat Si/Al antara 1.15 sampai 1.9. Hal ini juga yang dialami pada penelitian ini, dimana kuat tekan tertinggi terjadi pada Si/Al yang optimum.

Tabel 4.21 Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Pasta

Kode Benda Uji	Si/Al	Kuat Tekan Umur 28 Hari (MPa)
P 8-2-25	2.03	64.30
P 8-2-50	1.74	69.65
P 8-2-75	1.53	65.81
P 10-2-25	2.03	70.47
P 10-2-50	1.74	72.77
P 10-2-75	1.53	68.56
P 8-2.5-25	2.07	67.75
P 8-2.5-50	1.77	73.08
P 8-2.5-75	1.56	68.83

P 10-2.5-25	2.07	75.12
P 10-2.5-50	1.77	82.81
P 10-2.5-75	1.56	73.21

Agar mempermudah analisa dari tabel 4.21, dibuat grafik hubungan antara Si/Al dengan kuat tekan pasta umur 28 hari yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.38.



Gambar 4.38 Grafik Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Pasta

Dari gambar 4.38, terlihat bahwa kuat tekan naik saat Si/Al naik dari 1.5 sampai 1.8. Namun kuat tekan akan turun saat Si/Al melebihi 1.8. Berarti dapat disimpulkan kalau kuat tekan optimum terjadi saat Si/Al mencapai 1.8.

4.6.6 Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan

Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ ini pernah diteliti oleh (K. Gao, dkk) pada tahun 2014. Dimana $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ yang digunakan saat itu adalah antara 1.00 sampai 2.00. Dari penelitiannya menghasilkan kalau kenaikan maksimum terjadi saat $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ mencapai 1.50. Dimana kuat tekan naik saat $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ antara 1.00 sampai 1.50,

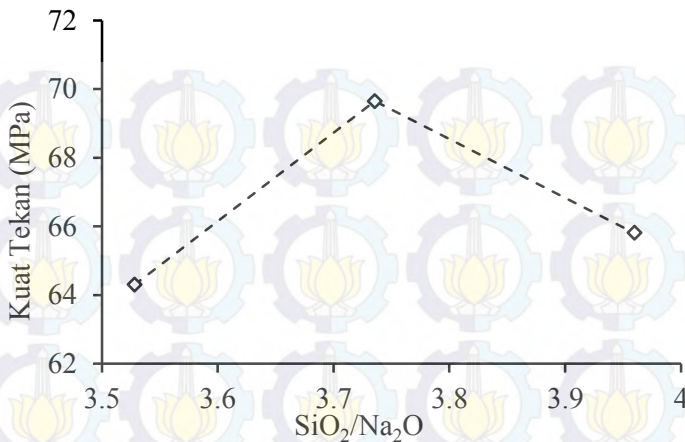
selanjutnya kuat tekannya turun ketika $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ naik. Ini menunjukkan bahwa ada titik opotimumnya yaitu saat $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ antara 1.00 sampai 1.50. Hal ini juga yang dialami pada penelitian ini.

Pada penelitian ini Benda uji yang akan dianalisa adalah pasta pada umur 28 hari yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.22.

Tabel 4.22 Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Pasta

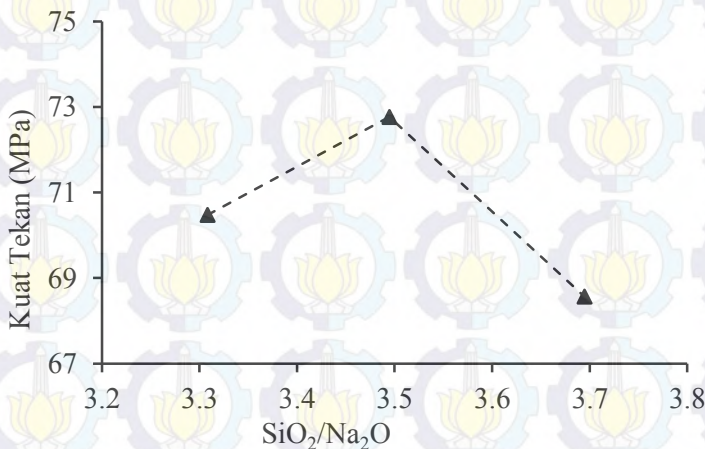
Kode Benda Uji	$\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
P 8-2-25	3.53	64.30
P 8-2-50	3.74	69.65
P 8-2-75	3.96	65.81
P 10-2-25	3.31	70.47
P 10-2-50	3.49	72.77
P 10-2-75	3.69	68.56
P 8-2.5-25	3.67	67.75
P 8-2.5-50	3.88	73.08
P 8-2.5-75	4.12	68.83
P 10-2.5-25	3.46	75.12
P 10-2.5-50	3.66	82.81
P 10-2.5-75	3.87	73.21

Agar mempermudah analisa dari tabel 4.22, dibuat grafik hubungan antara $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ dengan kuat tekan pasta umur 28 hari. Karena hasil $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ yang berbeda-beda dan tidak teratur maka benda uji akan dibedakan antara pasta dengan alkali yang berbeda yaitu : P 8-2, P 10-2, P 8-2.5 dan P 10-2.5. Hasilnya dapat dilihat berturut-turut pada gambar 4.39 sampai gambar 4.42.



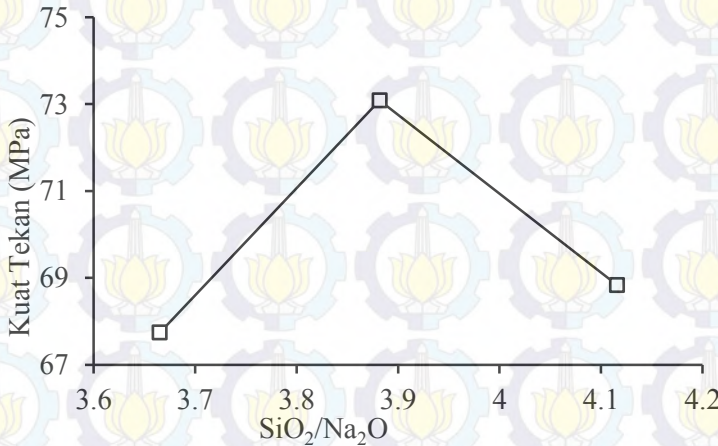
Gambar 4.39 Grafik Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Pasta P 8-2

Dari gambar 4.39, terlihat bahwa kuat tekan optimum untuk pasta dengan alkali $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}(8\text{M}) = 2$ terjadi saat $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ mencapai 3.74.



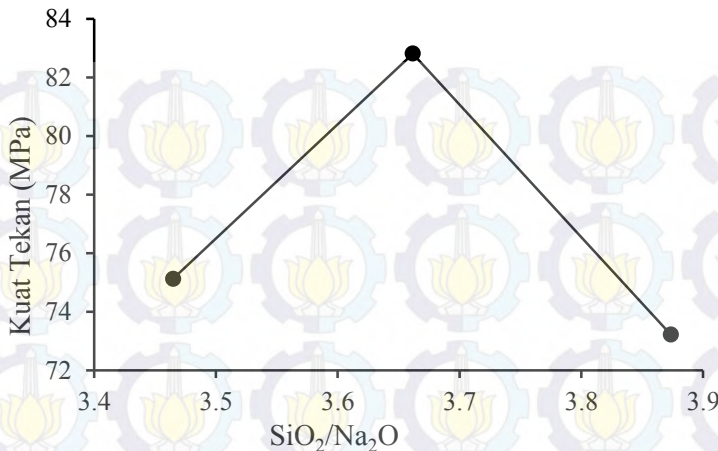
Gambar 4.40 Grafik Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Pasta P 10-2

Dari gambar 4.40, terlihat bahwa kuat tekan optimum untuk pasta dengan alkali $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}(10\text{M}) = 2$ terjadi saat $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ mencapai 3.50.



Gambar 4.41 Grafik Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Pasta P 8-2.5

Dari gambar 4.41, terlihat bahwa kuat tekan optimum untuk pasta dengan alkali $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}(8\text{M}) = 2.5$ terjadi saat $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ mencapai 3.88.



Gambar 4.42 Grafik Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Pasta P 10-2.5

Dari gambar 4.42, terlihat bahwa kuat tekan optimum untuk pasta dengan alkali $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}(10\text{M}) = 2.5$ terjadi saat $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ mencapai 3.66.

4.6.7 Pengaruh water/solid terhadap Kuat Tekan

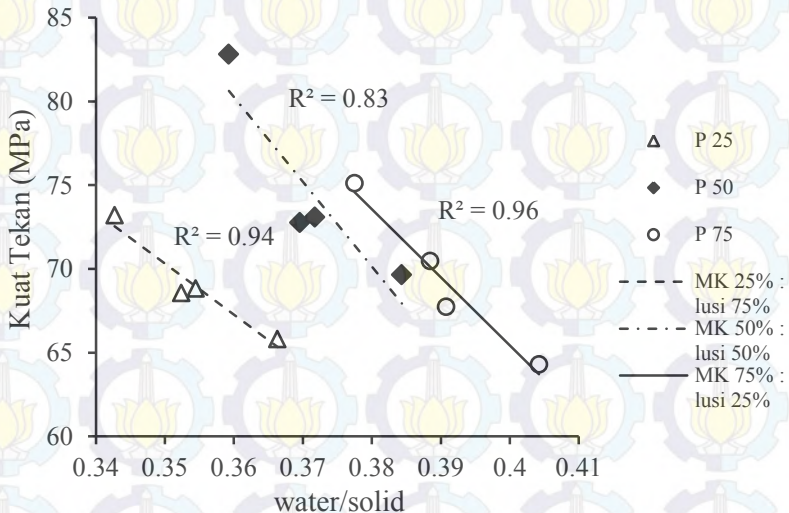
Pada penelitian ini benda uji yang akan dianalisa adalah pasta pada umur 28 hari. Karena hasil kuat tekan sangat dipengaruhi oleh persentase binder, maka akan dikelompokkan menurut persentase metakaolin terhadap lusi berturut-turut adalah 25%, 50%, 75% dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.23.

Tabel 4.23 Pengaruh water/solid terhadap Kuat Tekan Pasta

Kode Benda Uji	water/solid	Kuat Tekan Umur 28 Hari (MPa)
P 8-2-25	0.404	64.30
P 10-2-25	0.388	70.47
P 8-2.5-25	0.391	67.75

P 10-2.5-25	0.377	75.12
P 8-2-50	0.384	69.65
P 10-2-50	0.370	72.77
P 8-2.5-50	0.372	73.08
P 10-2.5-50	0.359	82.81
P 8-2-75	0.366	65.81
P 10-2-75	0.352	68.56
P 8-2.5-75	0.354	68.83
P 10-2.5-75	0.343	73.21

Agar mempermudah analisa dari tabel 4.23, dibuat grafik hubungan antara water/solid dengan kuat tekan pasta umur 28 hari yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.43.



Gambar 4.43 Grafik Pengaruh water/solid terhadap Kuat Tekan Pasta

Pada gambar 4.43, terlihat bahwa kecenderungan kuat tekan akan turun kalau water/solid naik. Kondisi w/s naik adalah karena kandungan air yang terkandung dalam pasta lebih banyak, dan itu menyebabkan kuat tekan turun. Pernyataan ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh (Hui cheng dkk, 2015). Pada penelitiannya kuat tekan tertinggi terjadi ketika air yang terkandung lebih sedikit dan sebaliknya kuat tekan terendah terjadi ketika air yang terkandung lebih banyak.

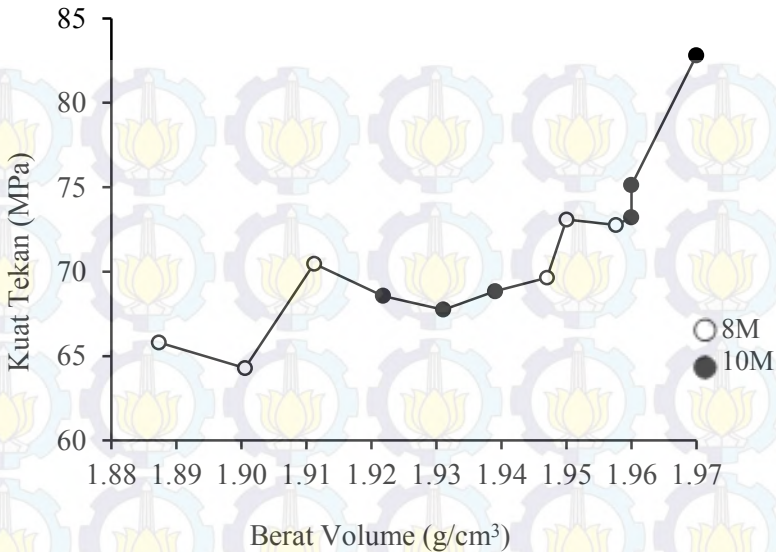
4.6.8 Hubungan Berat Volume terhadap Kuat Tekan

Pada penelitian ini benda uji yang akan dianalisa adalah pasta pada umur 28 hari. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.24.

Tabel 4.24 Hubungan Berat Volume terhadap Kuat Tekan Pasta

Kode Benda Uji	Berat Volume (g/cm ³)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (MPa)
P 8-2-25	1.90	64.30
P 8-2-50	1.95	69.65
P 8-2-75	1.89	65.81
P 10-2-25	1.91	70.47
P 10-2-50	1.96	72.77
P 10-2-75	1.92	68.56
P 8-2.5-25	1.93	67.75
P 8-2.5-50	1.95	73.08
P 8-2.5-75	1.94	68.83
P 10-2.5-25	1.96	75.12
P 10-2.5-50	1.97	82.81
P 10-2.5-75	1.96	73.21

Agar mempermudah analisa dari tabel 4.24, dibuat grafik hubungan antara berat volume dengan kuat tekan pasta umur 28 hari yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.44.



Gambar 4.44 Grafik Hubungan Berat Volume terhadap Kuat Tekan Pasta

Dari gambar 4.44 terlihat bahwa kecenderungan kuat tekan akan naik ketika berat volume naik. Hal ini dikarenakan pasta yang memiliki berat volume besar menyebabkan pasta lebih padat. Dimana pasta yang padat itu memiliki rongga udara yang sedikit atau kecil sehingga kuat tekan akan tinggi.

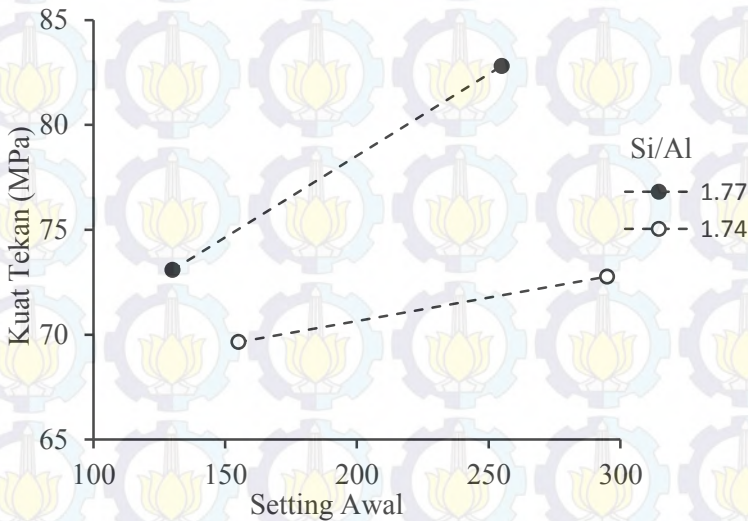
4.6.9 Hubungan *Setting Time* terhadap Kuat Tekan

Setting time sangat dipengaruhi oleh Si/Al dimana Si/Al yang tinggi membuat *setting time* menjadi lebih lama. Sementara itu Si/Al juga mempengaruhi kuat tekan dimana ada titik optimum yang membuat kuat tekan tertinggi. Oleh karena itu, analisa kali ini akan dibuat hubungan *setting time* terhadap kuat tekan pada Si/Al yang optimum yaitu 1.74 dan 1.77. Kuat tekan benda uji yang akan dianalisa adalah umur 28 hari, hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.25.

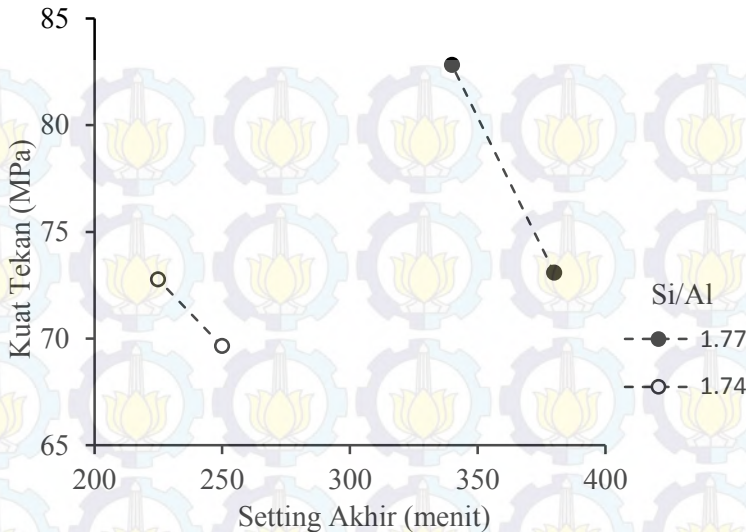
Tabel 4.25 Hubungan *Setting Time* terhadap Kuat Tekan Pasta pada Si/Al Optimum

Kode Benda Uji	Si/Al	Setting Awal	Setting Akhir	Kuat Tekan Umur 28 Hari (MPa)
P 8-2-50	1.74	155	250	69.64
P 10-2-50	1.74	295	225	72.76
P 8-2.5-50	1.77	130	380	73.08
P 10-2.5-50	1.77	255	340	82.81

Agar mempermudah analisa dari tabel 4.25, dibuat grafik hubungan antara *setting time* dengan kuat tekan pasta umur 28 hari yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.45 dan 4.46.



Gambar 4.45 Grafik Hubungan *Setting Awal* terhadap Kuat Tekan Pasta pada Si/Al Optimum

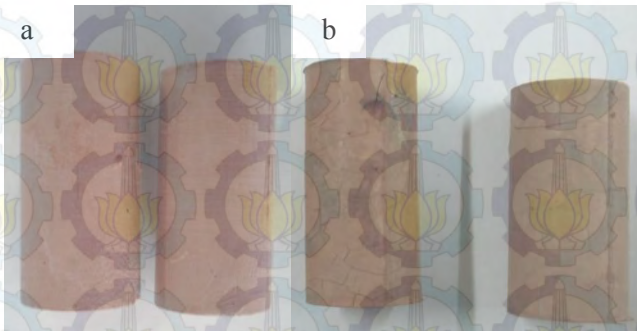


Gambar 4.46 Grafik Hubungan *Setting Akhir* terhadap Kuat Tekan Pasta pada Si/Al Optimum

Dari gambar 4.45 terlihat bahwa semakin lama pengikatan awal membuat kuat tekan menjadi semakin tinggi. Dapat dilihat bahwa pada Si/Al 1.77, kuat tekan tertinggi sebesar 82.81 MPa terjadi ketika setting awal pada 250 menit. Pada Si/Al 1.74, kuat tekan tertinggi sebesar 72.76 MPa terjadi ketika setting awal pada 295 menit. Namun untuk pengikatan akhir, semakin lama pengikatan akhir membuat kuat tekan menjadi semakin rendah. Dapat dilihat pada gambar 4.46, bahwa pada Si/Al 1.77, kuat tekan terendah sebesar 73.08 MPa terjadi ketika setting akhir pada 130 menit. Pada Si/Al 1.74, kuat tekan tertinggi sebesar 69.64 MPa terjadi ketika setting akhir pada 250 menit.

4.7 Kuat Tekan Paska Bakar

Sebelumnya sudah dilakukan pembakaran pada semua variasi pasta umur 28 hari. Pasta dibakar dengan suhu 400°C selama 30 menit. Kemudian setelah dibakar pasta dilakukan tes kuat tekan. Sama seperti sebelumnya untuk tes kuat tekan dilakukan terhadap 6 buah benda uji dan untuk membuat kontrol kualitas menjadi lebih baik, perlu menghilangkan beberapa benda uji minimal tersisa 4 buah. Hasil tes kuat tekan paska bakar bisa dilihat pada tabel 4.47.



Gambar 4.47 Pasta (a) Sebelum Dibakar, (b) Setelah Dibakar

Dapat dilihat dari gambar 4.47 pasta yang telah mengalami proses pembakaran berbeda dengan sebelum pembakaran. Setelah dibakar warna pasta terlihat lebih gelap karena hangus dan terdapat retakan-retakan di permukaan pasta.

Tabel 4.26 Kuat Tekan Paska Bakar Umur 28 Hari

Kode Benda Uji	Kuat Tekan Benda Uji (MPa)						Rata-rata (MPa)	SD	kovarian (%)	Kontrol
	1	2	3	4	5	6				
P 8-2-25	-	-	24.83	24.67	23.08	22.28	23.71	1.24	5.23	Sangat Baik
P 8-2-50	-	14.32	15.28	16.23	14.64	14.32	14.96	0.81	5.42	Sangat Baik
P 8-2-75	12.10	12.41	12.73	12.73	11.78	13.05	12.47	0.47	3.76	Istimewa
P 10-2-25	-	24.51	27.06	24.67	24.67	22.28	24.64	1.69	6.86	Baik
P 10-2-50	-	15.92	15.92	16.71	16.71	0.00	16.31	0.46	2.82	Istimewa
P 10-2-75	-	14.32	12.73	14.32	14.64	0.00	14.01	0.86	6.15	Baik
P 8-2.5-25	-	27.85	28.33	27.06	28.65	30.24	28.43	1.18	4.14	Istimewa
P 8-2.5-50	-	0.00	19.10	19.10	18.46	19.42	19.02	0.40	2.11	Istimewa
P 8-2.5-75	16.23	15.92	17.51	16.71	0.00	0.00	16.59	0.69	4.17	Istimewa
P 10-2.5-25	31.04	32.31	31.83	33.42	30.56	0.00	31.83	1.12	3.52	Istimewa
P 10-2.5-50	-	-	21.49	20.69	21.49	23.08	21.68	1.00	4.62	Istimewa
P 10-2.5-75	-	-	16.71	16.71	16.23	16.23	16.87	0.98	5.82	Baik

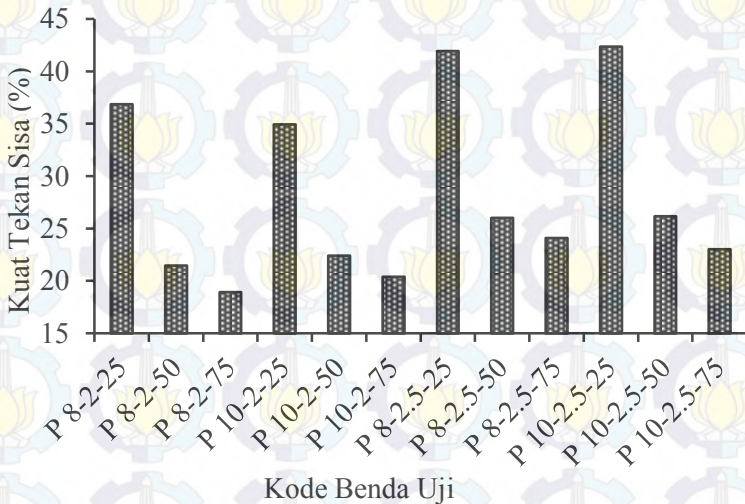
Dari tabel 4.26, dibuat analisa perhitungan penurunan kuat tekan dan sisa kuat tekan dalam presentase dan dibuat perhitungan penurunan berat pasta. Selain itu juga dibuat analisa perhitungan

penurunan berat dari sebelum bakar menjadi setelah bakar, hasilnya bisa dilihat pada tabel 4.27.

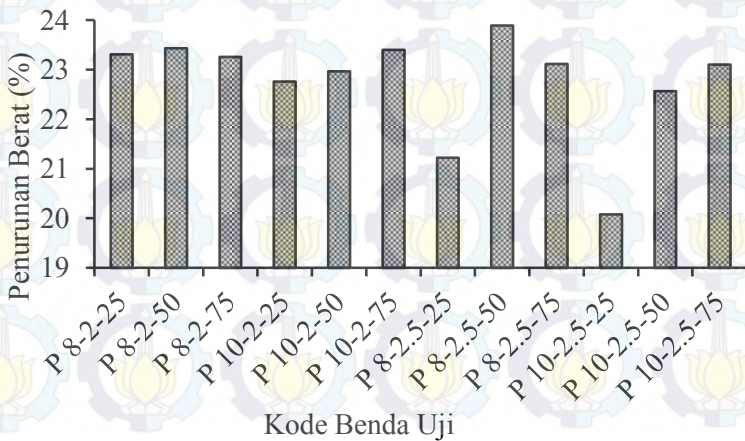
Tabel 4.27 Rekap Kuat Tekan Paska Bakar Umur 28 Hari

Kode Benda Uji	Kuat Tekan sebelum Bakar (MPa)	Kuat Tekan sesudah Bakar (MPa)	Penurunan Kuat Tekan (%)	Kuat Tekan Sisa (%)	Berat sebelum Bakar (gram)	Berat sesudah Bakar (gram)	Penurunan Berat (%)
P 8-2-25	64.30	23.71	63.12	36.88	23.88	18.32	23.31
P 8-2-50	69.65	14.96	78.52	21.48	24.47	18.73	23.43
P 8-2-75	65.81	12.47	81.06	18.94	23.72	18.20	23.26
P 10-2-25	70.47	24.64	65.04	34.96	24.02	18.55	22.76
P 10-2-50	72.77	16.31	77.58	22.42	24.60	18.95	22.97
P 10-2-75	68.56	14.01	79.57	20.43	23.72	18.17	23.40
P 8-2.5-25	67.75	28.43	58.04	41.96	24.27	19.12	21.22
P 8-2.5-50	73.08	19.02	73.98	26.02	24.83	18.90	23.89
P 8-2.5-75	68.83	16.59	75.90	24.10	24.37	18.73	23.12
P 10-2.5-25	75.12	31.83	57.63	42.37	24.23	19.37	20.08
P 10-2.5-50	82.81	21.68	73.81	26.19	25.03	19.38	22.57
P 10-2.5-75	73.21	16.87	76.96	23.04	24.60	18.92	23.10

Agar mempermudah analisa dari tabel 4.27, dibuat grafik kuat tekan sisa paska bakar yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.48 dan 4.49.



Gambar 4.48 Grafik Kuat Tekan Sisa



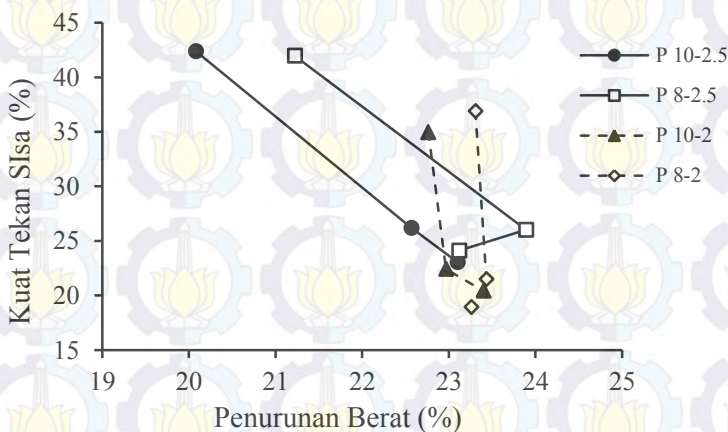
Gambar 4.49 Grafik Penurunan Berat

Dari gambar 4.48, dapat dilihat bahwa kuat tekan sisa paling besar terdapat pada pasta (P 10-2.5-25) yaitu sebesar 42.37 dimana kuat tekan sebelum bakar 82.81 MPa dan kuat tekan sesudah bakar 21.68 MPa. Kuat tekan sisa paling kecil terdapat pada pasta (P 8-2-75) yaitu sebesar 18.94 dimana kuat tekan sebelum bakar 65.81 MPa dan kuat tekan sesudah bakar 12.47 MPa.

Sementara itu, dapat dilihat pada gambar 4.49 untuk penurunan berat paling kecil terdapat pada pasta (P10-2.5-25) yaitu sebesar 20.08 dimana berat sebelum bakar 24.23 gram dan berat sesudah bakar 19.37 gram. Penurunan berat paling besar terdapat pada pasta (P8-2.5-50) yaitu sebesar 23.89 dimana berat sebelum bakar 24.83 gram dan berat sesudah bakar 18.90 gram.

4.7.1 Hubungan Penurunan Berat terhadap Kuat Tekan Sisa Paska Bakar

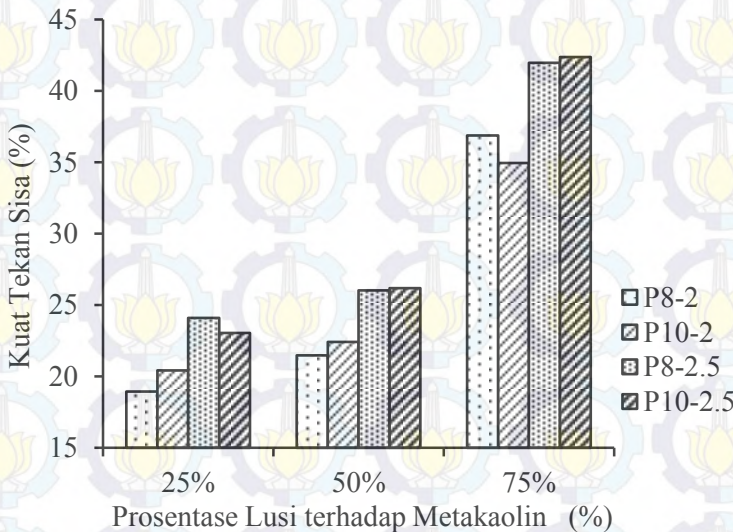
Dari tabel 4.36, dibuat grafik hubungan penurunan berat terhadap kuat tekan sisa pasta umur 28 hari yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.50.



Gambar 4.50 Grafik Hubungan Penurunan Berat terhadap Kuat Tekan Sisa

Dari gambar 4.50, terlihat bahwa ada kecenderungan semakin kecil penurunan berat membuat semakin besar kuat tekan sisa. Pasta yang berat merupakan pasta yang memiliki tingkat kepadatan tinggi. Dimana kepadatan yang tinggi menghasilkan pasta yang lebih tahan terhadap api. Dapat dilihat dari gambar 4.50, pasta yang memiliki tingkat kepadatan tinggi setelah dibakar masih tersisa kuat tekan yang lebih baik.

4.7.2 Pengaruh Binder terhadap Kuat Tekan Sisa Paska Bakar



Gambar 4.51 Grafik Pengaruh Binder terhadap Kuat Tekan Sisa (%) Paska Bakar

Dari gambar 4.51, terlihat bahwa ada kecenderungan semakin banyak lusi akan membuat semakin besar kuat tekan sisa. Terlihat bahwa lebih banyak lusi membuat pasta geopolimer menjadi lebih tahan bakar. Pada saat pasta yang mengandung banyak lusi dan metakaolin sedikit, air yang terkandung lebih

banyak daripada binder. Banyaknya air memungkinkan pasta lebih tahan terhadap api.

Dapat dilihat bahwa pasta yang memiliki kuat tekan sisa paling besar terdapat pada pasta dimana lebih banyak sodium silikat (Na_2SiO_3).

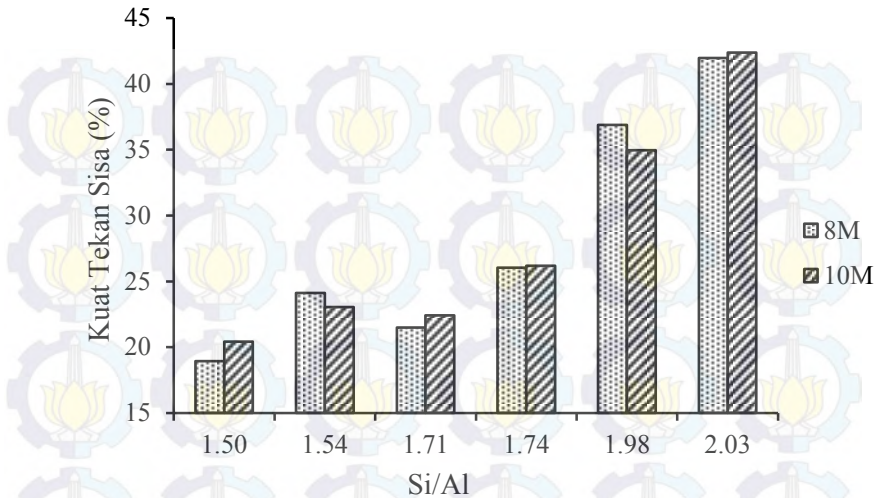
4.7.3 Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Sisa Paska Bakar

Dalam penelitian ini akan dilihat efek dari Si/Al terhadap kuat tekan sisa paska bakar dimana hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.28.

Tabel 4.28 Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Sisa Paska Bakar

Kode Benda Uji	Si/Al	Kuat Tekan Sisa (%)
P 8-2-25	1.983	36.88
P 8-2-50	1.706	21.48
P 8-2-75	1.505	18.94
P 10-2-25	1.983	34.96
P 10-2-50	1.706	22.42
P 10-2-75	1.505	20.43
P 8-2.5-25	2.026	41.96
P 8-2.5-50	1.742	26.02
P 8-2.5-75	1.536	24.10
P 10-2.5-25	2.026	42.37
P 10-2.5-50	1.742	26.19
P 10-2.5-75	1.536	23.04

Agar mempermudah analisa dari tabel 4.28, dibuat grafik hubungan antara Si/Al terhadap kuat tekan sisa paska bakar yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.52.



Gambar 4.52 Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Sisa (%) Paska Bakar

Pada gambar 4.52, terlihat bahwa semakin tinggi Si/Al kecenderungan semakin tinggi kuat tekan sisa. Hal ini terlihat dari kuat tekan yang lebih baik saat Si/Al yang tinggi setelah mengalami pembakaran. Pernyataan ini sama dengan yang dikemukakan oleh Triani pada penelitiannya di tahun 2015. Terlihat pada gambar 4.52 efek dari molaritas tidak terlalu berpengaruh dimana terdapat pasta dengan 10M lebih baik dari 8M dan ada pasta dengan 10M tidak lebih baik dari 8M.

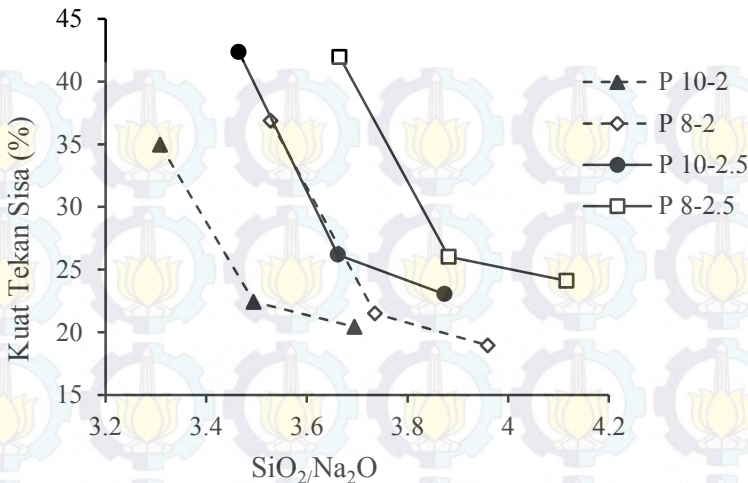
4.7.4 Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Sisa Paska Bakar

Dalam penelitian ini akan dilihat efek dari $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap kuat tekan sisa paska bakar dimana hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.29.

Tabel 4.29 Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Sisa Paska Bakar

Kode Benda Uji	$\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$	Kuat Tekan Sisa (%)
P 8-2-25	3.449	36.88
P 8-2-50	3.667	21.48
P 8-2-75	3.902	18.94
P 10-2-25	3.234	34.96
P 10-2-50	3.430	22.42
P 10-2-75	3.641	20.43
P 8-2.5-25	3.585	41.96
P 8-2.5-50	3.812	26.02
P 8-2.5-75	4.057	24.10
P 10-2.5-25	3.388	42.37
P 10-2.5-50	3.595	26.19
P 10-2.5-75	3.818	23.04

Agar mempermudah analisa dari tabel 4.29, dibuat grafik hubungan antara $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap kuat tekan sisa paska bakar yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.53.



Gambar 4.53 Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Sisa (%) Paska Bakar

Pada gambar 4.53, terlihat bahwa semakin tinggi $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ kecenderungan semakin rendah kuat tekan sisa. Hal ini terlihat dari kuat tekan sisa yang lebih rendah saat $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ yang tinggi setelah mengalami pembakaran. Jika dilihat $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ menjadi kecil akibat penambahan kandungan Na_2O yang lebih. Sementara itu, kandungan Na_2O menjadi lebih banyak dikarenakan bisa dikarenakan molaritas NaOH yang tinggi dan Na_2SiO_3 yang banyak. Oleh karena itu, pada gambar 4.53 terlihat bahwa molaritas 10M lebih baik kuat tekan sisa daripada 8M dan Na_2SiO_3 2.5 lebih baik kuat tekan sisa daripada 2.

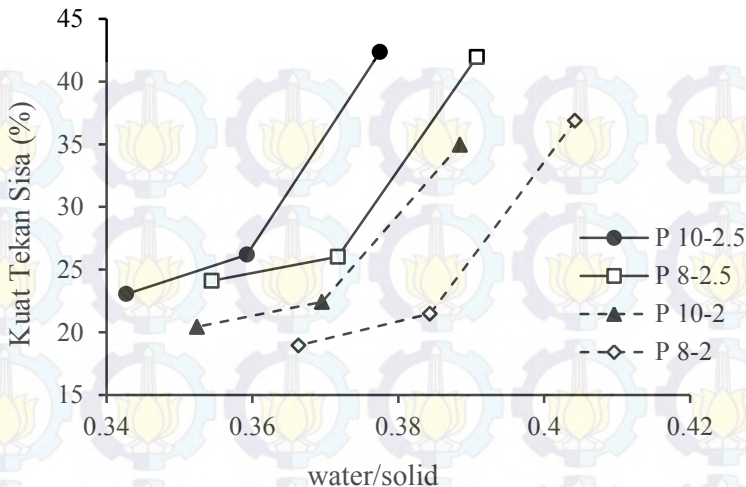
4.7.5 Pengaruh water/solid terhadap Kuat Tekan Paska Bakar

Dalam penelitian ini akan dilihat efek dari water/solid terhadap kuat tekan sisa paska bakar dimana hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.30.

Tabel 4.30 Pengaruh water/solid terhadap Kuat Tekan Sisa Paska Bakar

Kode Benda Uji	water/solid	Kuat Tekan Sisa (%)
P 8-2-25	0.410	36.88
P 8-2-50	0.388	21.48
P 8-2-75	0.369	18.94
P 10-2-25	0.394	34.96
P 10-2-50	0.373	22.42
P 10-2-75	0.355	20.43
P 8-2.5-25	0.396	41.96
P 8-2.5-50	0.376	26.02
P 8-2.5-75	0.357	24.10
P 10-2.5-25	0.382	42.37
P 10-2.5-50	0.363	26.19
P 10-2.5-75	0.345	23.04

Agar mempermudah analisa dari tabel 4.30, dibuat grafik hubungan antara water/solid terhadap kuat tekan sisa paska bakar yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.54.



Gambar 4.54 Pengaruh water/solid terhadap Kuat Tekan Sisa (%) Paska Bakar

Pada gambar 4.54, terlihat bahwa semakin tinggi water/solid kecenderungan semakin tinggi kuat tekan sisa. Hal ini terlihat dari kuat tekan yang lebih tinggi saat water/solid yang tinggi setelah mengalami pembakaran. Jika dilihat tingginya w/s karena kandungan air yang banyak. Kandungan air yang banyak disebabkan oleh sedikitnya molaritas dan Na_2SiO_3 . Oleh karena itu, dimungkinkan kalau banyaknya air yang terkandung dalam pasta menyebabkan pasta menjadi lebih tahan terhadap pembakaran.

4.8 Porositas

Pengujian porositas pasta dasar dilakukan untuk mengetahui pengaruh banyaknya pori pada pasta dasar. Pasta yang akan diuji adalah pasta dengan umur 28 hari. Berat awal untuk pengujian masing-masing 20 gram. Hasil pengujian porositas bisa dilihat pada tabel 4.31 – 4.34.

Tabel 4.31 Hasil Porositas Pasta P 8-2

Kode Benda Uji	P8-2-25			P8-2-50			P8-2-75		
No. Benda Uji	1	2	rata-rata	1	2	rata-rata	1	2	rata-rata
Berat Awal (gram)	20	20		20	20		20	20	
Dalam Air (u) gram	9.5	9.5		9.7	9.7		9.3	9.3	
SSD (Mh) gram	20.3	20.2		20.2	20.1		20.3	20.2	
Kering Oven (Mo) gram	19.1	19.1		19.2	19.1		19.1	19	
Kondisi Halus (mo) gram	16.2	16.1		16.5	16.4		15.8	15.8	
Volume (Vo) gram	7.8	7.8		7.9	7.9		7.9	7.8	
r (kepadatan absolut)	2.08	2.06		2.09	2.08		2.00	2.03	
a (kepadatan visual)	1.77	1.79		1.83	1.84		1.74	1.74	
Porositas total (Pt)	14.85	13.52	14.18	12.45	11.53	11.99	13.18	13.95	13.56
Porositas terbuka (Po)	11.11	10.28	10.70	9.52	9.62	9.57	10.91	11.01	10.96
Porositas tertutup (Pf)	3.74	3.24	3.49	2.93	1.92	2.42	2.27	2.94	2.61

Label 4.32 Hasil Porositas Pasta P 10-2

Kode Benda Uji	P10-2-25			P10-2-50			P10-2-75		
No. Benda Uji	1	2	rata-rata	1	2	rata-rata	1	2	rata-rata
Berat Awal (gram)	20	20		20	20		20	20	
Dalam Air (u) gram	9.6	9.5		9.5	9.6		9.7	9.7	
SSD (Mh) gram	20.2	20.3		20.1	20.1		20.2	20.2	
Kering Oven (Mo) gram	19.2	19.2		19.3	19.4		19.1	19.1	
Kondisi Halus (mo) gram	16.2	16.2		15.9	16		16.2	16.1	
Volume (Vo) gram	7.9	7.9		7.9	7.9		7.8	7.8	
r (kepadatan absolut)	2.05	2.05		2.01	2.03		2.08	2.06	
a (kepadatan visual)	1.83	1.81		1.84	1.87		1.84	1.84	
Porositas total (Pt)	11.67	13.31	12.49	9.53	8.77	9.15	12.42	11.87	12.14
Porositas terbuka (Po)	9.43	10.19	9.81	7.55	6.67	7.11	10.48	10.48	10.48
Porositas tertutup (Pf)	2.24	3.12	2.68	1.99	2.11	2.05	1.94	1.40	1.67

Tabel 4.33 Hasil Porositas Pasta P 8-2.5

Kode Benda Uji	P8-2.5-25			P8-2.5-50			P8-2.5-75		
No. Benda Uji	1	2	rata-rata	1	2	rata-rata	1	2	rata-rata
Berat Awal (gram)	20	20		20	20		20	20	
Dalam Air (u) gram	9.4	9.5		9.7	9.6		9.7	9.8	
SSD (Mh) gram	20.2	20.2		20.1	20.1		20.2	20.1	
Kering Oven (Mo) gram	19.2	19.3		19.5	19.6		19.2	19.2	
Kondisi Halus (mo) gram	16.1	16.1		16.1	16.2		16.3	16.3	
Volume (Vo) gram	8	7.9		8	8		7.8	7.8	
r (kepadatan absolut)	2.01	2.04		2.01	2.03		2.09	2.09	
a (kepadatan visual)	1.78	1.82		1.89	1.88		1.83	1.86	
Porositas total (Pt)	11.66	11.49	11.58	6.83	7.82	7.33	12.50	10.80	11.65
Porositas terbuka (Po)	9.26	8.41	8.84	5.77	4.76	5.27	9.52	8.74	9.13
Porositas tertutup (Pf)	2.40	3.08	2.74	1.06	3.06	2.06	2.97	2.06	2.52

Tabel 4.34 Hasil Porositas Pasta P 10-2.5

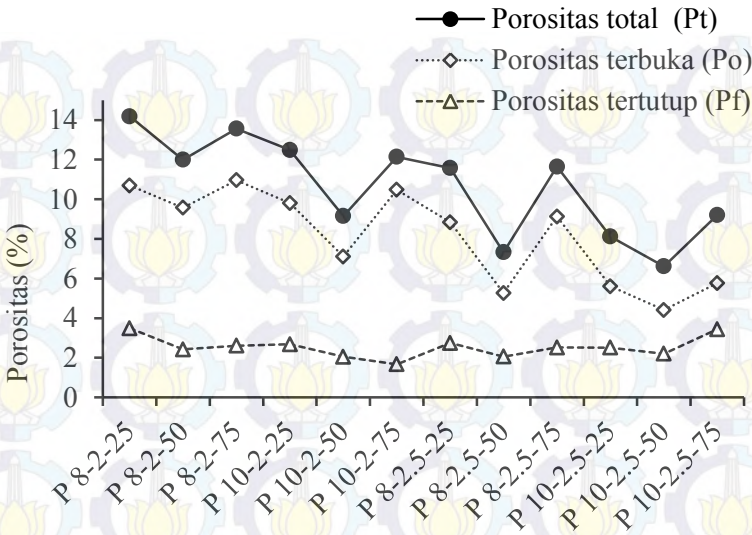
Kode Benda Uji	P10-2.5-25			P10-2.5-50			P10-2.5-75		
No. Benda Uji	1	2	rata-rata	1	2	rata-rata	1	2	rata-rata
Berat Awal (gram)	20	20		20	20		20	20	
Dalam Air (u) gram	9.5	9.5		9.9	9.9		9.8	9.7	
SSD (Mh) gram	20.2	20.2		20.1	20.1		20.2	20.1	
Kering Oven (Mo) gram	19.6	19.6		19.7	19.6		19.6	19.5	
Kondisi Halus (mo) gram	15.8	15.9		16.4	16.4		16.1	16.2	
Volume (Vo) gram	8	7.9		8	7.9		7.8	7.8	
r (kepadatan absolut)	1.98	2.01		2.05	2.08		2.06	2.08	
a (kepadatan visual)	1.85	1.85		1.95	1.94		1.92	1.88	
Porositas total (Pt)	7.25	8.99	8.12	5.79	7.44	6.61	8.70	9.72	9.21
Porositas terbuka (Po)	5.61	5.61	5.61	3.92	4.90	4.41	5.77	5.77	5.77
Porositas tertutup (Pf)	1.64	3.38	2.51	1.87	2.53	2.20	2.93	3.95	3.44

Dari tabel 4.31 – 4.34, akan direkap menjadi lebih sederhana agar mudah dalam melakukan analisa. Hasilnya bisa dilihat pada tabel 4.35.

Tabel 4.35 Hasil Rekap Porositas Pasta dan Kuat Tekan

Kode Benda Uji	Porositas total % (Pt)	Porositas terbuka % (Po)	Porositas tertutup % (Pf)	Kuat Tekan (Mpa)
P 8-2-25	14.18	10.70	3.49	64.30
P 8-2-50	11.99	9.57	2.42	69.65
P 8-2-75	13.56	10.96	2.61	65.81
P 10-2-25	12.49	9.81	2.68	70.47
P 10-2-50	9.15	7.11	2.05	72.77
P 10-2-75	12.14	10.48	1.67	68.56
P 8-2.5-25	11.58	8.84	2.74	67.75
P 8-2.5-50	7.33	5.27	2.06	73.08
P 8-2.5-75	11.65	9.13	2.52	68.83
P 10-2.5-25	8.12	5.61	2.51	75.12
P 10-2.5-50	6.61	4.41	2.20	82.81
P 10-2.5-75	9.21	5.77	3.44	73.21

Dari tabel 4.35, dibuat grafik porositas yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.55.

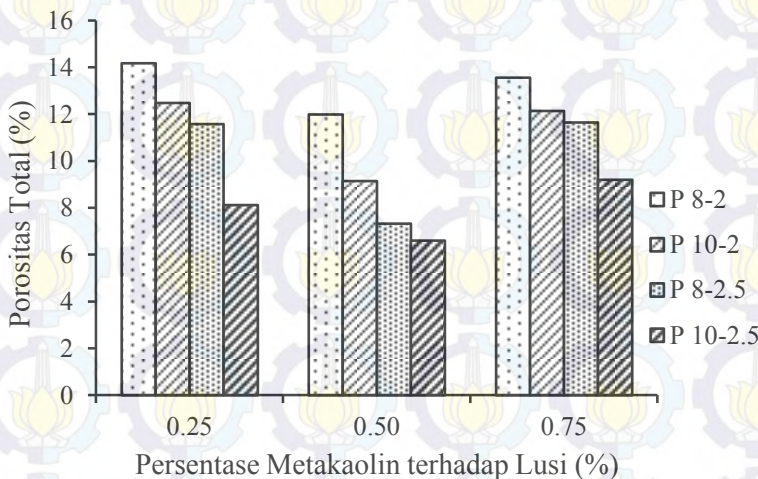


Gambar 4.55 Grafik Hasil Tes Porositas

Dari gambar 4.55, dapat dilihat bahwa porositas total terbesar terdapat pada pasta P 8-2-25 sebesar 14.18% dimana porositas terbuka 10.70% dan porositas tertutup 3.49%. Sementara itu, porositas total terkecil terdapat pada pasta P 10-2.5-50 sebesar 6.61% dimana porositas terbuka 4.41% dan porositas tertutup 2.20%.

4.8.1 Pengaruh Alkali terhadap Porositas

Dalam penelitian ini akan dilihat efek dari alkali terhadap porositas dimana hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.56.



Gambar 4.56 Pengaruh Alkali terhadap Posositas

Dari gambar 4.56, dapat dilihat bahwa molaritas 10M lebih kecil total porinya dibandingkan dengan molaritas 8M. NaOH 10M lebih pekat dan banyak airnya daripada NaOH 8M. Menurut (Ekaputri dkk, 2007) pada saat proses curing dilakukan, air yang berada dalam binder akan menguap sehingga rongga yang dulunya ditempati oleh air menjadi kosong. Oleh karena itu, jumlah air yang berada dalam rongga binder 10M lebih sedikit jika dibandingkan dengan binder yang menggunakan larutan NaOH 8M. Hal itu menyebabkan jumlah total pori binder 8M relatif lebih banyak jika dibandingkan dengan binder 10M.

Sementara itu dapat dilihat kalau binder yang menggunakan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2.5$ lebih sedikit total porinya dari pada yang menggunakan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2$. Sama halnya dengan NaOH, rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ dipengaruhi oleh kepekatan dan jumlah air yang terkandung dalam binder. Rasio

$\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2.5$ lebih pekat dari pada yang rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2$. Oleh karena itu, total pori binder $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2$ relatif lebih banyak jika dibandingkan dengan binder $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2.5$.

4.8.2 Pengaruh Binder terhadap Porositas

Kalau dilihat dari gambar 4.56, terlihat bahwa persentase pori total yang paling sedikit adalah saat binder metakaolin dan lusi 50:50 untuk semua variasi. Kemungkinan ini dikarenakan berat jenis keduanya yang berbeda. Dimana berat jenis yang berbeda akan membuat material saling mengisi rongga udara yang kosong. Sehingga jika dicampur menyebabkan rongga yang ada dalam binder menjadi kecil.

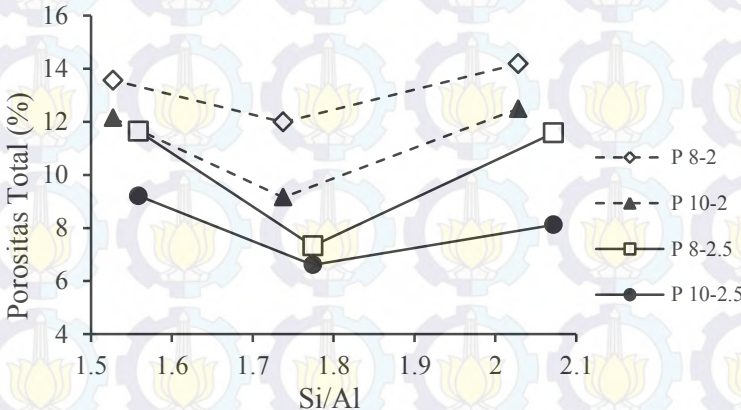
4.8.3 Pengaruh Si/Al terhadap Porositas

Dalam penelitian ini akan dilihat efek dari Si/Al terhadap porositas dimana hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.36.

Tabel 4.36 Pengaruh Si/Al terhadap Porositas

Kode Benda Uji	Si/Al	Porositas total % (Pt)
P 8-2-25	2.03	14.18
P 8-2-50	1.74	11.99
P 8-2-75	1.53	13.56
P 10-2-25	2.03	12.49
P 10-2-50	1.74	9.15
P 10-2-75	1.53	12.14
P 8-2.5-25	2.07	11.58
P 8-2.5-50	1.77	7.33
P 8-2.5-75	1.56	11.65
P 10-2.5-25	2.07	8.12
P 10-2.5-50	1.77	6.61
P 10-2.5-75	1.56	9.21

Agar mempermudah analisa dari tabel 4.36, dibuat grafik hubungan antara Si/Al terhadap porositas yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.57.



Gambar 4.57 Pengaruh Si/Al terhadap Posositas

Si/Al berpengaruh pada kuat tekan, dimana ada nilai optimum dari Si/Al yang membuat kuat tekan pasta menjadi lebih besar. dimana pada penelitian ini kuat tekan terbesar ada saat Si/Al diantara 1.7-1.8. Sama halnya dengan porositas yang hasilnya dapat dilihat dari gambar 4.47 ada nilai optimum dari Si/Al yang menyebabkan porositas menjadi lebih kecil dibandingkan dengan Si/Al lainnya. Dari gambar 4.57, dapat dilihat ada kecenderungan kalau porositas terkecil dari semua variasi adalah saat Si/Al diantara 1.7-1.8, ini yang menyebabkan kuat tekan besar. Sedangkan porositas akan naik saat Si/Al dibawah 1.7 atau diatas 1.8, ini yang menyebabkan kuat tekan menjadi turun.

4.8.4 Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Porositas

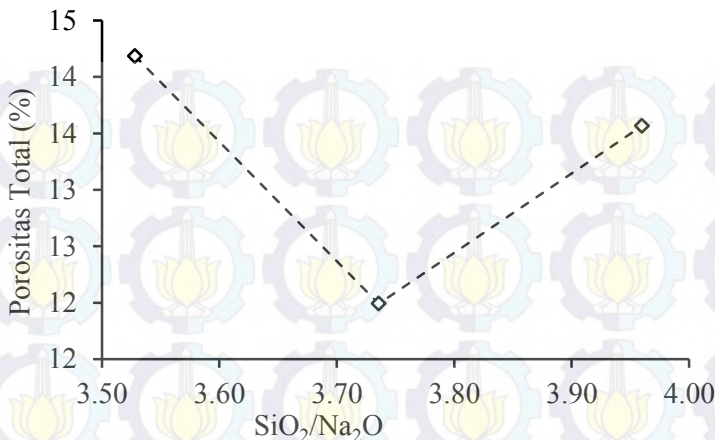
Dalam penelitian ini akan dilihat efek dari Si/Al terhadap porositas dimana hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.37.

Tabel 4.37 Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Porositas

Kode Benda Uji	$\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$	Porositas total % (Pt)
P 8-2-25	3.53	14.18
P 8-2-50	3.74	11.99
P 8-2-75	3.96	13.56
P 10-2-25	3.31	12.49
P 10-2-50	3.49	9.15
P 10-2-75	3.69	12.14
P 8-2.5-25	3.67	11.58
P 8-2.5-50	3.88	7.33
P 8-2.5-75	4.12	11.65
P 10-2.5-25	3.46	8.12
P 10-2.5-50	3.66	6.61
P 10-2.5-75	3.87	9.21

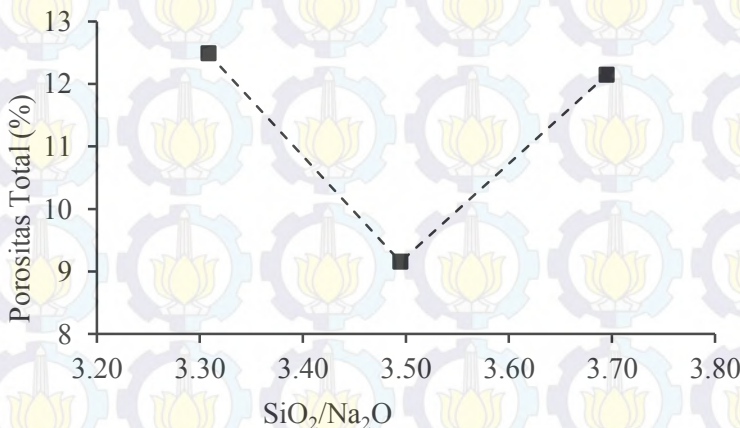
Menurut penelitian yang dilakukan oleh (K. Gao dll, 2013) bahwa naiknya $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ menyebabkan porositas kecil dimana saat itu $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ antara 1.00-1.50. Saat $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ melebihi 1.50 pori yang dihasilkan menjadi besar. Ini menandakan ada nilai optimum dari $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ yang menyebabkan porositas kecil dan kuat tekan menjadi naik.

Agar mempermudah analisa dari tabel 4.37, dibuat grafik hubungan antara $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ dengan porositas. Karena hasil $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ yang berbeda-beda dan tidak teratur maka benda uji akan dibedakan antara pasta dengan alkali yang berbeda yaitu : P 8-2, P 10-2, P 8-2.5 dan P 10-2.5. Hasilnya dapat dilihat berturut-turut pada gambar 4.58 sampai gambar 4.61.



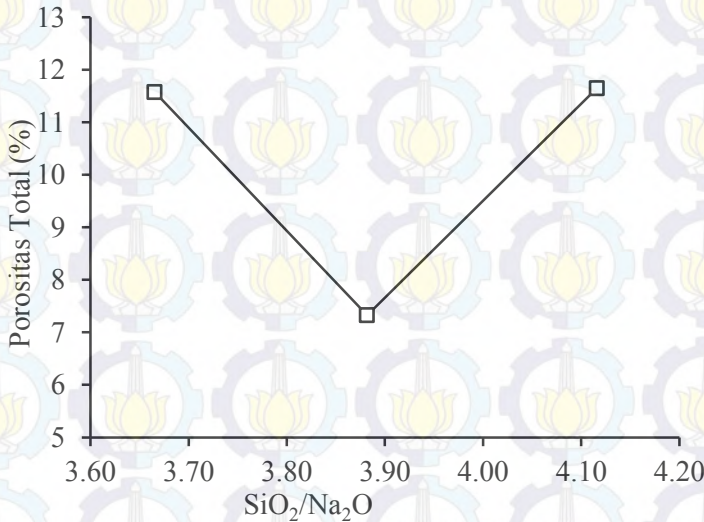
Gambar 4.58 Grafik Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Porositas Pasta P 8-2

Dari gambar 4.58, terlihat bahwa pada pasta P 8-2 porositas terkecil saat $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ mencapai 3.74. Porositas akan menjadi besar saat $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ kurang dari atau melebihi 3.74.



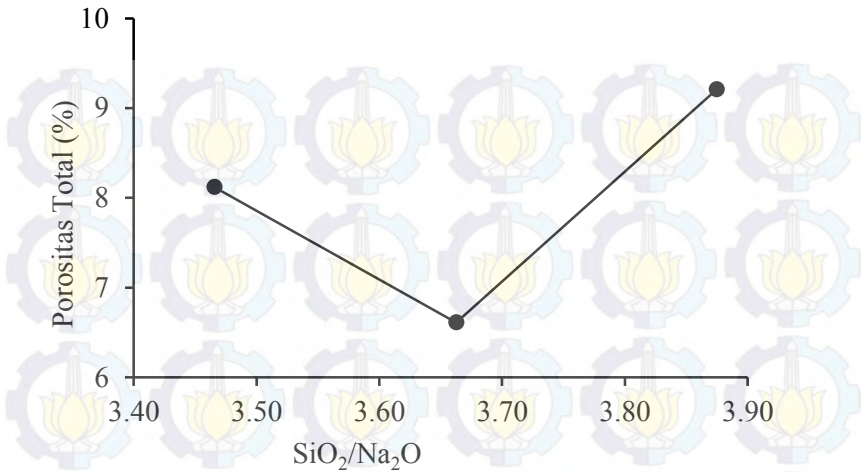
Gambar 4.59 Grafik Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Porositas Pasta P 10-2

Dari gambar 4.59, terlihat bahwa pada pasta P 10-2 porositas terkecil saat $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ mencapai 3.49. Porositas akan menjadi besar saat $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ kurang dari atau melebihi 3.49.



Gambar 4.60 Grafik Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Porositas Pasta P 8-2.5

Dari gambar 4.60, terlihat bahwa pada pasta P 8-2.5 porositas terkecil saat $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ mencapai 3.88. Porositas akan menjadi besar saat $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ kurang dari atau melebihi 3.88.



Gambar 4.61 Grafik Pengaruh SiO₂/Na₂O terhadap Porositas Pasta P 10-2.5

Dari gambar 4.61, terlihat bahwa pada pasta P 10-2.5 porositas terkecil saat SiO₂/Na₂O mencapai 3.66. Porositas akan menjadi besar saat SiO₂/Na₂O kurang dari atau melebihi 3.66.

4.8.5 Pengaruh water/solid terhadap Porositas

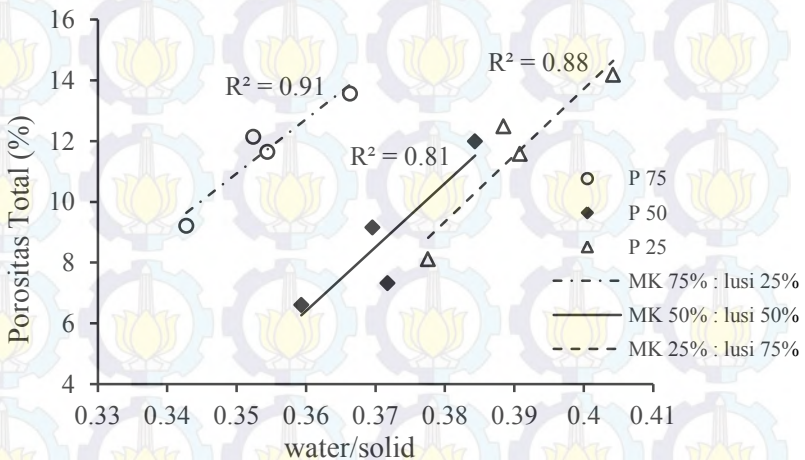
Dalam penelitian ini akan dilihat efek dari water/solid terhadap porositas dimana akan dikelompokkan menurut persentase metakaolin terhadap lusi berturut-turut 25%, 50%, 75% dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.38.

Tabel 4.38 Pengaruh water/solid terhadap Porositas

Kode Benda Uji	water/solid	Porositas total % (Pt)
P 8-2-25	0.40	14.18
P 10-2-25	0.39	11.99
P 8-2.5-25	0.39	13.56
P 10-2.5-25	0.38	12.49

P 8-2-50	0.38	9.15
P 10-2-50	0.37	12.14
P 8-2.5-50	0.37	11.58
P 10-2.5-50	0.36	7.33
P 8-2-75	0.37	11.65
P 10-2-75	0.35	8.12
P 8-2.5-75	0.35	6.61
P 10-2.5-75	0.34	9.21

Agar mempermudah analisa dari tabel 4.38, dibuat grafik hubungan antara water/solid terhadap porositas yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.62.



Gambar 4.62 Grafik Pengaruh water/solid terhadap Porositas

Dari gambar 4.62, terlihat bahwa kecenderungan porositas besar saat water/solid naik. Hal ini dikarenakan kandungan air yang terdapat pada binder menguap saat curing dilakukan, sehingga rongga yang dulunya ditempati oleh air menjadi kosong (Ekaputri dkk, 2007). Water/solid rendah memiliki kandungan air

yang lebih sedikit daripada water/solid tinggi. Oleh karena itu, persentase porositas kecil saat jumlah air yang berada dalam binder lebih sedikit dari pada saat jumlah air yang berada dalam binder lebih banyak.

Hasil ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh (H. Cheng dkk, 2015). Pada penelitiannya porositas kecil terjadi ketika air yang terkandung lebih sedikit dan sebaliknya porositas besar terjadi ketika air yang terkandung lebih banyak.

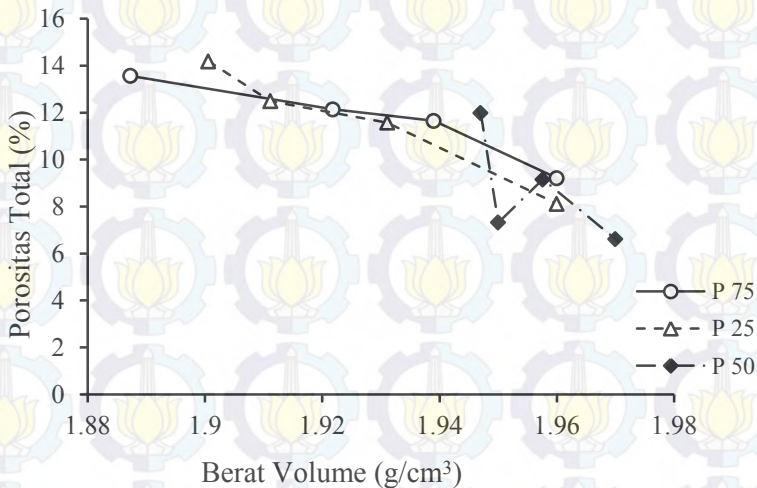
4.8.6 Hubungan Berat Volume dengan Porositas

Dalam penelitian ini akan dilihat seperti apa hubungan dari berat volume terhadap porositas dimana akan dikelompokkan menurut persentase metakaolin terhadap lusi berturut-turut 25%, 50%, 75% dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.39.

Tabel 4.39 Hubungan Berat Volume dengan Porositas

Kode Benda Uji	Berat Volume umur 28 Hari (g/cm^3)	Porositas total % (Pt)
P 8-2-25	1.901	14.184
P 10-2-25	1.911	11.99
P 8-2.5-25	1.931	13.56
P 10-2.5-25	1.960	12.49
P 8-2-50	1.947	9.15
P 10-2-50	1.958	12.14
P 8-2.5-50	1.950	11.58
P 10-2.5-50	1.970	7.33
P 8-2-75	1.887	11.65
P 10-2-75	1.922	8.12
P 8-2.5-75	1.939	6.61
P 10-2.5-75	1.960	9.21

Agar mempermudah analisa dari tabel 4.39, dibuat grafik hubungan antara water/solid terhadap porositas yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.63.



Gambar 4.63 Hubungan Berat Volume dengan Porositas

Dari gambar 4.63, terlihat bahwa kecenderungan dimana berat volume kecil menyebabkan porositas menjadi besar dan sebaliknya berat volume besar menyebabkan porositas menjadi kecil. Berat volume yang besar memiliki tingkat kepadatan yang tinggi. Dimana pasta yang memiliki kepadatan tinggi rongga di dalamnya sedikit. Oleh karena itu, pasta yang memiliki berat volume besar membuat porositas menjadi kecil.

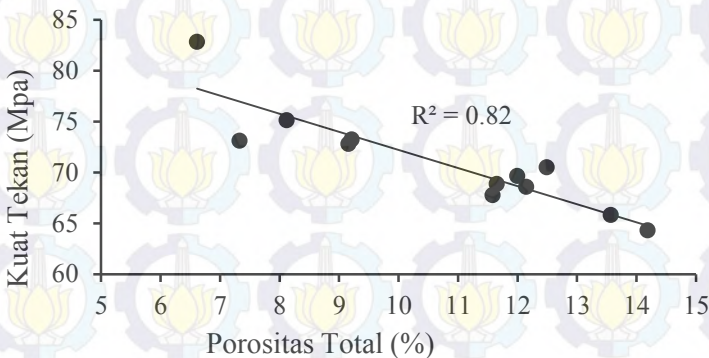
4.8.7 Hubungan Porositas dengan Kuat Tekan

Dari pengaruh-pengaruh yang menyebabkan hasil porositas pada subbab ini. Dapat ditarik hubungan antara hasil porositas dengan kuat tekan yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.40.

Tabel 4.40 Hubungan Porositas dengan Kuat Tekan

Kode Benda Uji	Porositas total % (Pt)	Kuat Tekan (MPa)
P 8-2-25	14.18	64.30
P 8-2-50	11.99	69.65
P 8-2-75	13.56	65.81
P 10-2-25	12.49	70.47
P 10-2-50	9.15	72.77
P 10-2-75	12.14	68.56
P 8-2.5-25	11.58	67.75
P 8-2.5-50	7.33	73.08
P 8-2.5-75	11.65	68.83
P 10-2.5-25	8.12	75.12
P 10-2.5-50	6.61	82.81
P 10-2.5-75	9.21	73.21

Agar mempermudah analisa dari tabel 4.40, dibuat grafik hubungan antara water/solid terhadap porositas yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.64.

**Gambar 4.64** Grafik Hubungan Porositas dengan Kuat Tekan

Dari gambar 4.64, terlihat bahwa kecenderungan dimana porositas kecil menyebabkan kuat tekan menjadi tinggi dan sebaliknya porositas besar menyebabkan kuat tekan menjadi besar. Dimana persentase porositas yang kecil merupakan pasta yang padat. Pasta yang padat memiliki rongga udara yang sedikit. Sehingga saat pasta terkena gaya tekan penyebaran gaya akan merata saat rongga yang didalam pasta sedikit. Berbeda dengan pasta yang memiliki rongga yang banyak, karena akan menghambat penyebaran gaya saat pasta menerima gaya tekan.

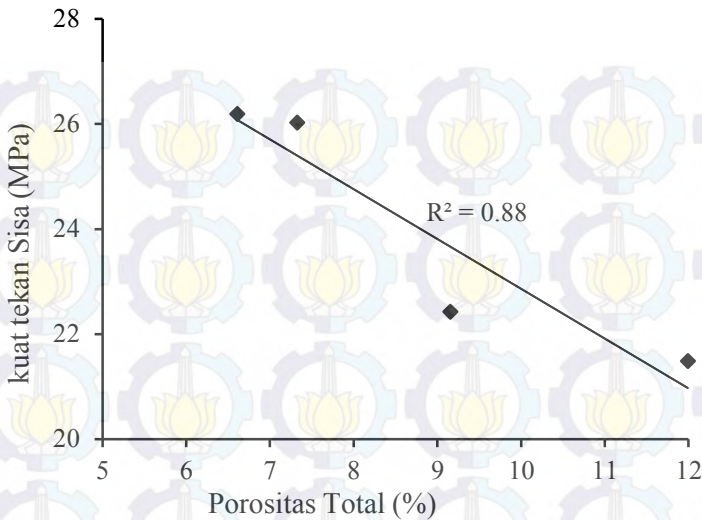
4.8.8 Hubungan Porositas dengan Kuat Tekan Sisa

Dari subbab 4.8.2 terlihat bahwa porositas sangat dipengaruhi oleh persentase metakaolin terhadap lusi. Oleh karena itu, hubungan dari porositas terhadap kuat tekan sisa akan diambil pada komposisi binder optimum yaitu persentase lusi 50% : metakaolin 50%, dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.41

Tabel 4.41 Hubungan Porositas dengan Kuat Tekan Sisa

Kode Benda Uji	Porositas total % (Pt)	Kuat Tekan Sisa (MPa)
P 8-2-50	11.99	21.48
P 10-2-50	9.15	22.42
P 8-2.5-50	7.33	26.02
P 10-2.5-50	6.61	26.19

Agar mempermudah analisa dari tabel 4.40, dibuat grafik hubungan antara water/solid terhadap porositas yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.65.



Gambar 4.65 Grafik Hubungan Porositas dengan Kuat Tekan Sisa

Dari gambar 4.65, terlihat bahwa kecenderungan dimana porositas kecil menyebabkan kuat tekan sisa menjadi tinggi dan sebaliknya. Dari hasil subbab 4.8.6 pasta yang padat memiliki kecenderungan porositas lebih kecil. Dari hasil subbab 4.7.1 pasta yang padat lebih tahan api daripada pasta yang memiliki banyak rongga. Bila dihubungkan pasta yang padat memiliki porositas kecil dan tahan terhadap api. Oleh karena itu, pasta yang memiliki porositas kecil menyebabkan kuat tekan sisa menjadi tinggi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Hasil uji material
 - a. Dari hasil XRD lusi, termasuk material amorf dan mineral yang banyak terkandung didalam lusi adalah Quartz low (SiO_2) sebesar 39%.
 - b. Dari hasil XRF lusi, lusi diklasifikasikan sebagai *pozzolan* material dimana total persentase silikon oksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3), dan feri oksida (Fe_2O_3) adalah 84.61 melebihi 70%.
2. Hasil Uji *Setting time*

Setting paling cepat adalah komposisi (P 10-2-75) yaitu selama 165 menit dengan Si/Al 1.50. Sementara itu, setting terlama adalah pasta P 8-2.5-25 yaitu selama 510 menit dengan Si/Al 2.03.
3. Hasil uji kuat tekan
 - a. Kuat tekan terbesar terdapat pada komposisi (P 10-2.5-50) dimana hasilnya sebesar 82.81 MPa saat umur 28 hari dengan Si/Al sebesar 1.77.
 - b. Kuat tekan terkecil terdapat pada komposisi (P 8-2 -25) dimana hasilnya sebesar 64.30 MPa saat umur 28 hari dengan Si/Al sebesar 2.03.
 - c. Dari hasil penelitian berat volume pasta tertinggi adalah saat kondisi binder antara metakaolin dan lusi 50:50, untuk umur pasta 3,7,14,21 dan 28.
4. Kondisi dimana binder metakaolin 50% dan lusi 50% kondisi optimum saat kuat tekan mencapai titik tertinggi

dengan kuat tekan umur 28 hari sebesar 82.81 MPa dan Si/Al mencapai 1.77.

5. Hasil uji kuat tekan paska bakar

- a. Kuat tekan sisa paling besar terdapat pada komposisi (P 10-2.5-25) yaitu sebesar 42.37% dimana kuat tekan sebelum bakar 82.81 MPa dan kuat tekan sesudah bakar 21.68 Mpa, dengan Si/Al 2.03.
- b. Kuat tekan sisa paling kecil terdapat pada komposisi (P 8-2-75) yaitu sebesar 18.94% dimana kuat tekan sebelum bakar 65.81 MPa dan kuat tekan sesudah bakar 12.46 Mpa, dengan Si/Al 1.50.
- c. Penurunan berat paling kecil terdapat pada komposisi (P 10-2.5-25) yaitu sebesar 20.08% dimana berat sebelum bakar 24.23 gram dan berat sesudah bakar 19.37 gram.

6. Hasil uji porositas

- a. Porositas total terkecil terdapat pada komposisi (P 10-2.5-50) sebesar 6.61% dimana porositas terbuka 4.41% dan porositas tertutup 2.20%, dengan kuat tekan mencapai 82.81 MPa.
- b. Porositas total terbesar terdapat pada komposisi (P 8-2-25) sebesar 14.18% dimana porositas terbuka 10.70% dan porositas tertutup 3.49%, dengan kuat tekan mencapai 64.30 MPa

Untuk hasil kesimpulan lebih lanjut dan lebih detail dapat dilihat pada lampiran

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, antara lain :

1. Sebaiknya sebelum mengaplikasikan pasta ini menjadi beton atau mortar sebaiknya dilakukan trial pembuatan

terlebih dahulu. Karena untuk pasta saja rasio campuran binder terhadap alkali adalah 40% dan 60% dan itu kental. Apalagi ditambah dengan metakaolin yang menyerap banyak air.

2. Karena campurannya kental perlu adanya *admixture superplasticizer* agar lebih encer dan mudah saat pelaksanaan.
3. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya pada penambahan molaritas dan penambahan Na_2SiO_3 sehingga didapat kuat tekan yang lebih tinggi.

5.3 Rekomendasi

Untuk selanjutnya bila melanjutkan penelitian ini menjadi ke beton komposisi yang digunakan adalah :

1. Komposisi P 8-2.5-50 dengan kuat tekan 28 hari yang dicapai sebesar 73.08 MPa, dengan waktu setting 380 menit. Untuk work abilitynya tergolong sangat baik.
2. Komposisi P 8-2.5-25 dengan kuat tekan 28 hari yang dicapai sebesar 67.76 MPa, dengan waktu setting 510 menit. Untuk work abilitynya tergolong lebih baik dibandingkan P 8-2.5.50.

Namun tetap dalam pembuatannya sebaiknya ditambahkan *admixture superplasticizer* agar lebih encer dan mudah saat pelaksanaan.



DAFTAR PUSTAKA

AFNOR NF B 49104, n.d. In: s.l.:s.n.

A. Raul dkk., 2013. *Geopolymer Mortars Based on a Low Grade Metakaolin: Effects of The Chemical Composition, Temperature and Aggregate : Binder Ratio*, Science Direct.

Aristianto. 2006. *Pemeriksaan Pendahuluan Lumpur Panas Lapindo Sidoarjo*. Bandung: Balai Keramik Departemen Perindustrian.

ASTM C 191, 2003. *Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle*. In: s.l.:Philadelphia: American Society of Testing and Materials.

ASTM C 39/C 39M, 2001. *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. In: s.l.:Philadelphia: American Society of Testing and Materials.

Belotto, M., Gualtieri, A., Artioli, G., dan Clark, S.M. 1995. *Kinetic Study of the Kaolinite-Mullite Reaction Sequence*. Part I: Kaolinite Dehydroxylation. Phys. Chem. Minerals 22: 207-214

Daniel K., Sanjaya J., dan Sagoe-Crentsil K. 2006. *The Behaviior of Geopolymer Paste and Concrete at Elevated Temperatures*, International Conference on Pozolan, Concret and Geopolymer, Khon Kaen, Thailand, p. 105-108.

Cheng Hui, Lin K.L., Cui R., Hwang C.L., Cheng T.W., Chang Y.M., *Effect of Solid-to-Liquid Ratios on The Properties of Waste catalyst-Metakaolin Based Geopolymers*. Science

Direct, Construction and Building Materials, 88 (2015) 74–83.

Ekaputri, J.J. dan Triwulan, 2006, Study on Porong Mud-Based Geopolymer Concrete, *Jurnal HAKI (Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia)*, Vol. 7 No 2.

Ekaputri J.J., dan Triwulan, 2013. *Sodium sebagai Aktivator Fly Ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer*. Jurnal Teknik Sipil volume 20 No. 1

Ekaputri J.J., Triwulan, Damayanti O., 2007. *Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan dasar Fly ash Jawa Paiton sebagai Material alternatif*. Jurnal PONDASI, volume 13 no 2 Desember 2007 ISSN 0853-814X.

Ekaputri J.J., Triwulan, Junaedi S., Fansuri, aji R.B., 2015. *Light Weight Geopolymer Paste made with Sidoarjo Mud (Lusi)*. Materials Science Forum Vol. 803 (2015) pp 63-74.

Davidovits J. 1991. *Geopolymer: Inorganic Polymeric New Materias, J. Thermal Analysis*. Geopolymer Institute.

Davidovits J. 1994. *Global Warming Impact on the Cement and Aggregates Industries*. Geopolymer Institute.

Davidovits J. 1994. *Properties of Geopolymer Cement*. Geopolymer Institute. France : Saint-Quentin.

Davidovits J. 1999. *Geopolimeric Cement based on Low Cost Geologic Materials*. Result from the European Research Project GEOCISTEM. Geopolymer '99 Proceedings. Science Direct, p. 83-96.

Davidovits J. 2008. *Geopolymer Chemistry and Applications*. Geopolymer Institute.

Davidovits J. 2002. *30 Years of Successes and Failures in Geopolymer Application, Market Trend and Potential Breakthroughs*. Proceeding at the Geopolymer 2002 Conference, Melbourne, Australia.

Duxson Peter, P., Provis, J.L., Luckey, G. C., Mallicoat, S. W., Kriven, W. M., dan van Deventer, J. 2005. *Understanding the Relationship Between Geopolymer Composition, Microstructure and Mechanical Properties*. Colloids and Surface A: Physicochemistry Engineering Aspects. Vol: 292, p: 8-20.

Frantisek Skvara, dkk. 2006. *Concrete based on fly ash geopolymer*.

Gao Kang, Lin Kae-Long, Wang D.Y., Hwang C.L., Shiu H.S., Chang Y.M., Cheng T.W., 2013. *Effects SiO₂/Na₂O Molar Ratio on Mechanical Properties and The Microstructure of Nano-SiO₂ Metakaolin-Based Geopolymers*. Science Direct, Construction and Building Materials, 53 (2014) 503–510.

Hadi S. 2012. BPLS Klaim Volume Semburan Lumpur Sidoarjo Menurun. <http://surabaya.okezone.com/read/2012/05/28/521/636685/bpls-klaim-volume-sembruran-lumpur-sidoarjo-menurun>, www.bpls.go.id.

Palomo, A., Grutzeck M.W., dan Blanco, M.T. 1999. *Alkali-activated Fly Ashes: A Cement for the Future*. Cem. Conc. Res. 29(8): 1323-9.

P. D. Silva, K. S. Crenstil, V. Sirivivatnanon. *Kinetic of Geopolymerization : Role of Al₂O₃ and SiO₂*. Science Direct, 2007: 512-518.

- R.Cioffi, dkk. 2003. *Optimization of Geopolymer Syntesis by Calcination and Polycondensation of a Kaoliniticresidu*. Resource Coservation and Recycling. Scient Direct, p. 27-38
- Rukzon, Sumrerng., dan Chindaprasirt, Prinya. *Strength and Porosity of Baggase Ash-baed Geopolymer Mortar*. Journal of Applied Sciences volume. 6 No. 14, 2014 ISSN No. 1812 - 5654: 586 - 591
- Satpute, Manesh B., Wakchaure, Madhukar R., dan Patankar, Subhash V. *Effect of Duration and Temprature of Curing on Compressive Strength of Geopolymer Concrete*. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) volume. 1 No. 5, 2012 ISSN No. 2277-3754: 152- 155.
- SNI 1974 : 2011. 2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta
- Triani D.D., 2015. *Pemanfaatan Pozzolan sebagai Bahan Dasar Geopolimer*, Surabaya : FTSP-ITS.
- Triwulan, Ekaputri J.J., Fadyah A.T. 2014. *Campuran serat Pada Pasta dengan Bahan Dasar Lumpur Sidoarjo*. Seminar Nasional X – 2014 Teknik Sipil ITS Surabaya
- Song XJ, Marosszecky, Brungs MM., dan Mun, R. 2005. *Durability of Fly Ash-based Geopolymer Concrete Against Sulphuric Acid Attack*. Lyon, France.
- Valentino, Edwin., Christanto, David., Hardjito, Djwantoro., dan Antoni. 2013. *Batako Berlubang Geopolimer Berbahan Dasar Lumpur Sidoarjo*. Skripsi, Surabaya: Universitas Kristen Petra.

Wallah SE, Rangan BV. 2006. Geopolimer concrete: long term properties. *Research Report. University of Curtin.*

Wiyoto, Januk. 2007. *Pengaruh variasi molaritas NaOH (12 M dan 14 M) dan perbandingan aktivator untuk mendapatkan peningkatan kuat tekan beton geopolimer yang berbahan dasar fly ash dengan tambahan trass sebagai pengisi.* Surabaya: FTSP-ITS.

Xu H., dan van Deventer JSJ, 2000, *The Geopolymerisation of Alumino-Silicate Minerals.* Int. J Miner Process, Cement and Concrete Research.



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Lamongan, 14 Juli 1992, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Kencana Putra, SDN Deket Wetan II Lamongan, SMP Negeri 2 Lamongan, dan SMA Negeri 1 Lamongan dan Program Studi DIII Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya. Setelah lulus dari DIII Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya penulis melanjutkan pendidikan Sarjana di Program Studi Lintas Jalur Teknik

Sipil FTSP-ITS pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP. 3113 105 032.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Kimia Polysialate	8
Gambar 2.2	Waktu Pengikatan Awal Binder Geopolimer Pada Molaritas 8M & 10M.....	11
Gambar 2.3	Waktu Pengikatan Akhir Binder Geopolimer Pada Molaritas 8M & 10M.....	11
Gambar 2.4	Grafik Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan lama waktu dan steam curing	12
Gambar 2.5	Grafik Pengaruh Si/Al terhadap setting time	13
Gambar 2.6	Grafik Pengaruh Si/Al terhadap kuat tekan...	14
Gambar 2.7	Grafik Pengaruh SiO ₂ /Na ₂ O terhadap setting time	15
Gambar 2.7	Grafik Pengaruh SiO ₂ /Na ₂ O terhadap kuat tekan.....	16
Gambar 2.8	Grafik Hubungan antara Porositas dengan Kuat Tekan Pasta Dasar Umur 28 Hari	17
Gambar 2.9	Grafik Jumlah Pori Tertutup Beton Geopolimer pada Molaritas Larutan NaOH 8M & 10M	17
Gambar 2.10	Grafik Jumlah Pori Terbuka Beton Geopolimer pada Molaritas Larutan NaOH 8M & 10M.....	18
Gambar 2.11	Grafik Jumlah Pori Total Beton Geopolimer pada Molaritas Larutan NaOH 8M & 10M...	18
Gambar 2.12	Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1 Pasca Bakar.....	20
Gambar 2.13	Pengaruh SiO ₂ /Na ₂ O terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1 Pasca Bakar	21
Gambar 2.14	Pengaruh water/solid terhadap Kuat Tekan Pasta Metakaolin dan Clay GD1 Pasca Bakar	22
Gambar 2.15	Grafik Analisa XRD Lusi.....	24

Gambar 2.16	Analisa SEM.....	26
Gambar 2.17	Grafik Analisa TGA / DTA.....	28
Gambar 2.18	Grafik Analisa XRD.....	29
Gambar 2.19	Analisa SEM metakaolin 700°C selama 6 jam.....	32
Gambar 3.1	Lusi yang telah dibakar dalam alat furnace...	38
Gambar 3.2	Alat bond ball mill.....	39
Gambar 3.3	Mesin furnace.....	40
Gambar 3.4	Grafik Suhu dan lama waktu pembakaran kaolin.....	40
Gambar 3.5	Ayakan no. 200.....	41
Gambar 3.6	NaOH padat.....	42
Gambar 3.7	Sodium silikat (Na_2SiO_3).....	43
Gambar 3.8	Mixing Benda Uji.....	57
Gambar 3.9	Cetakan dilumuri oli.....	57
Gambar 3.10	Perojokan Benda Uji.....	58
Gambar 3.8	Mesin torsi universal testing machine AU – 5.....	54
Gambar 3.9	Grafik Tangga Suhu Pembakaran Pasta.....	58
Gambar 4.1	Grafik Analisa XRD Lusi.....	63
Gambar 4.2	Grafik Setting Time P 8-2-25.....	81
Gambar 4.3	Grafik Setting Time P 8-2-50.....	82
Gambar 4.4	Grafik Setting Time P 8-2-75.....	82
Gambar 4.5	Grafik Setting Time P 10-2-25.....	83
Gambar 4.6	Grafik Setting Time P 10-2-50.....	84
Gambar 4.7	Grafik Setting Time P 10-2-75.....	84
Gambar 4.8	Grafik Setting Time P 8-2.5-25.....	85
Gambar 4.9	Grafik Setting Time P 8-2.5-50.....	86
Gambar 4.10	Grafik Setting Time P 8-2.5-75.....	86
Gambar 4.11	Grafik Setting Time P 10-2.5-25.....	87
Gambar 4.12	Grafik Setting Time P 10-2.5-50.....	88
Gambar 4.13	Grafik Setting Time P 10-2.5-75.....	88
Gambar 4.14	Grafik Pengaruh Molaritas terhadap Waktu Pengikatan Awal ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2$).....	90

Gambar 4.15	Grafik Pengaruh Molaritas terhadap Waktu Pengikatan Akhir ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2$).....	90
Gambar 4.16	Grafik Pengaruh Molaritas terhadap Waktu Pengikatan Awal ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2.5$).....	91
Gambar 4.17	Grafik Pengaruh Molaritas terhadap Waktu Pengikatan Akhir ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2.5$).....	92
Gambar 4.18	Grafik Pengaruh Si/Al terhadap Waktu Pengikatan Awal	93
Gambar 4.19	Grafik Pengaruh Si/Al terhadap Waktu Pengikatan Awal	93
Gambar 4.20	Grafik Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Waktu Pengikatan Awal	95
Gambar 4.21	Grafik Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Waktu Pengikatan Akhir.....	96
Gambar 4.22	Grafik Pengaruh water/solid terhadap Waktu Pengikatan Awal	97
Gambar 4.23	Grafik Pengaruh water/solid terhadap Waktu Pengikatan Akhir.....	97
Gambar 4.24	Grafik Hubungan Berat Volume Pasta dengan Prosentase Metakaolin terhadap Lusi Umur 3 Hari	99
Gambar 4.25	Grafik Hubungan Berat Volume Pasta dengan Prosentase Metakaolin terhadap Lusi Umur 7 Hari	100
Gambar 4.26	Grafik Hubungan Berat Volume Pasta dengan Prosentase Metakaolin terhadap Lusi Umur 14 Hari	102
Gambar 4.27	Grafik Hubungan Berat Volume Pasta dengan Prosentase Metakaolin terhadap Lusi Umur 21 Hari	103
Gambar 4.28	Grafik Hubungan Berat Volume Pasta dengan Prosentase Metakaolin terhadap Lusi Umur 28 Hari	104
Gambar 4.29	Grafik Kuat Tekan Pasta Sampai 28 Hari	112

Gambar 4.30	Grafik Kuat Tekan Pasta 8M Sampai 28 Hari.....	113
Gambar 4.31	Grafik Kuat Tekan Pasta 10M Sampai 28 Hari.....	114
Gambar 4.32	Grafik Pengaruh Binder terhadap Kuat Tekan Pasta Umur 28 Hari	115
Gambar 4.33	Pasta Dengan Binder Metakaolin 75% terhadap Lusi	116
Gambar 4.34	Grafik Kuat Tekan Pasta Dengan Alakali Rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2$	117
Gambar 4.35	Grafik Kuat Tekan Pasta dengan Alkali Rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2,5$	117
Gambar 4.36	Grafik Kuat Tekan Pasta Dengan Molaritas NaOH (8M)	118
Gambar 4.37	Grafik Kuat Tekan Pasta Dengan Molaritas NaOH (10M)	118
Gambar 4.38	Grafik Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Pasta	120
Gambar 4.39	Grafik Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Pasta P 8-2.....	122
Gambar 4.40	Grafik Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Pasta P 10-2.....	122
Gambar 4.41	Grafik Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Pasta P 8-2.5	123
Gambar 4.42	Grafik Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Pasta P 10-2.5	124
Gambar 4.43	Grafik Pengaruh water/solid terhadap Kuat Tekan Pasta.....	125
Gambar 4.44	Grafik Hubungan Berat Volume terhadap Kuat Tekan Pasta.....	127
Gambar 4.45	Grafik Hubungan Setting Awal terhadap Kuat Tekan Pasta pada Si/Al Optimum.....	128
Gambar 4.46	Grafik Hubungan Setting Akhir terhadap Kuat Tekan Pasta pada Si/Al Optimum.....	129

Gambar 4.47	Pasta (a) Sebelum Dibakar, (b) Setelah Dibakar.....	130
Gambar 4.48	Grafik Kuat Tekan Sisa	133
Gambar 4.49	Grafik Penurunan Berat.....	133
Gambar 4.50	Grafik Hubungan Penurunan Berat terhadap Kuat Tekan Sisa	134
Gambar 4.51	Grafik Pengaruh Binder terhadap Kuat Tekan Sisa (%) Paska Bakar	135
Gambar 4.52	Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Sisa (%) Paska Bakar	137
Gambar 4.53	Pengaruh SiO ₂ /Na ₂ O terhadap Kuat Tekan Sisa (%) Paska Bakar	139
Gambar 4.54	Pengaruh water/solid terhadap Kuat Tekan Sisa (%) Paska Bakar	141
Gambar 4.55	Grafik Hasil Tes Porositas.....	147
Gambar 4.56	Pengaruh Alkali terhadap Posositas	148
Gambar 4.57	Pengaruh Alkali terhadap Posositas	150
Gambar 4.58	Grafik Pengaruh SiO ₂ /Na ₂ O terhadap Porositas Pasta P 8-2	152
Gambar 4.59	Grafik Pengaruh SiO ₂ /Na ₂ O terhadap Porositas Pasta P 10-2	152
Gambar 4.60	Grafik Pengaruh SiO ₂ /Na ₂ O terhadap Porositas Pasta P 8-2.5	153
Gambar 4.61	Grafik Pengaruh SiO ₂ /Na ₂ O terhadap Porositas Pasta P 10-2.5	154
Gambar 4.62	Grafik Pengaruh water/solid terhadap Porositas	155
Gambar 4.63	Hubungan Berat Volume dengan Porositas... ..	157
Gambar 4.64	Grafik Hubungan Porositas dengan Kuat Tekan.....	158
Gambar 4.65	Grafik Hubungan Porositas dengan Kuat Tekan Sisa	160



ANALISA KUAT TEKAN PASTA GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR KAOLIN DAN LUMPUR SIDOARJO

Yultino Syaifullah Ferdana, Januarti Jaya Ekaputri, Triwulan
Teknik Sipil, Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: januarti@ce.its.ac.id, triwulan@ce.its.ac.id

Abstrak - Beton geopolimer adalah sebuah senyawa silikat aluminio organik yang disintesis dari bahan-bahan produk sampingan yang mengandung banyak silika dan alumina. Silika dan alumina banyak terkandung pada material pozolan diantaranya adalah fly ash, metakaolin, abu sekam atau material vulkanik.

Pada penelitian ini akan dibuat pasta dengan menggunakan material dasar lusi (lumpur sidoarjo), dan metakaolin dari Bangka Belitung. Molaritas NaOH yang digunakan adalah NaOH 8 M dan 10 M. Tambahan silika yang digunakan adalah Na_2SiO_3 , dengan perbandingan Na_2SiO_3 dan NaOH dijaga konstan sebesar 2 dan 2,5.

Pengujian yang akan dilakukan adalah analisa kuat tekan pada variasi pasta umur 3,7,14,21 dan 28 hari. Selain itu, pasta umur 28 hari akan dianalisa kuat tekan setelah bakar dengan suhu 40°C selama 30 menit.

Dari hasil penelitian didapatkan kuat tekan tertinggi pada umur 28 hari adalah pasta dengan alkali NaOH 10 molar : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2,5$, binder metakaolin 50% dan lusi 50% (P 10-2.5-50) sebesar 82.81 MPa. Dari hasil analisa, diketahui bahwa ada kecenderungan kuat tekan pasta masih meningkat setelah umur 28 hari. Untuk kuat tekan setelah bakar, didapatkan bahwa pasta dengan alkali NaOH 10 molar : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2,5$, binder metakaolin 25% dan lusi 75% (P 10-2.5-25) kuat tekan sisa mencapai 42.37%. Dimana kuat tekan sebelum bakar 75.12 MPa dan sesudah bakar 31.83 Mpa.

kata kunci : pasta geopolimer, lumpur sidoarjo, metakaolin, alkali, kuat tekan

I. PENDAHULUAN

Berbeda dengan semen portland yang dalam produksinya mengeluarkan emisi CO_2 yang tidak sedikit ke udara, beton geopolimer lebih ramah lingkungan [1]. Beton geopolimer adalah sebuah senyawa silikat aluminio anorganik yang disintesis dari bahan-bahan produk sampingan yang mengandung banyak silikon dan aluminium [2]. Beton geopolimer memiliki banyak kelebihan di antaranya, tahan terhadap api, tahan terhadap lingkungan korosif, tahan terhadap reaksi alkali silika, mengurangi polusi udara, dan mempunyai rangkai susut yang kecil [3]. Material dasar pembentuk pasta geopolimer adalah pozolan, baik dari pozolan alam maupun pozolan buatan. Material pozolan yang mengandung silika dan alumina dapat digunakan sebagai pengikat (*binder*) diantaranya adalah fly ash, metakaolin, abu sekam atau material vulkanik [1]. Dalam penelitian kali ini akan digunakan campuran antara lumpur sidoarjo dan metakaolin sebagai *binder* serta ditambah

dengan natrium hidroksida (NaOH) dengan natrium silikat (Na_2SiO_3) sebagai *alkali activator*.

Menurut BPLS pada awal semburan Mei 2006 volume lumpur yang keluar dari pusat semburan diperkirakan sebesar 170.000 m^3 /hari bahkan pernah mencapai 180.000 m^3 /hari pada Desember 2006. Semburan mulai menurun menjadi sekitar 75.000 m^3 /hari pada Juli 2009. Pada Mei 2012, volume semburan jauh mengecil berkisar antara 25.000 - 50.000 m^3 /hari [4]. Menurut penelitian sebelumnya, material ini dalam kondisi kering bisa digunakan sebagai pengikat pada beton geopolimer [5]. Salah satu cara yang paling umum agar bisa dimanfaatkan menjadi material geopolimer adalah dengan mengkalsinasi (membakar) lusi pada suhu yang tepat untuk mengubah sifatnya menjadi reaktif dan bisa berikatan dengan alkali. Namun selama ini Lusi hanya dipadukan dengan *fly ash* sebagai material geopolimer, belum ada perpaduan antara lusi dan kaolin ataupun material pozolan yang lain.

Sementara itu, metakaolin merupakan fasa kaolin yang telah diaktivasi dan bersifat lebih amorf daripada kaolin merupakan bahan baku yang paling banyak digunakan dalam mempelajari proses geopolimerisasi [6]. Kaolin banyak sekali di jumpai di daerah pertambangan khususnya daerah Bangka Belitung. Kaolin merupakan tanah lempung dengan sedikit mengandung mineral besi. Kaolin termasuk bahan industri yang banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan kertas, keramik, cat, isolator dan mineral pengisian.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa mekanik pada variasi pasta dengan menggunakan campuran lusi dan metakaolin. Alkali yang digunakan adalah NaOH 8 M dan 10 M. Tambahan silika yang digunakan adalah Na_2SiO_3 , dengan perbandingan Na_2SiO_3 dan NaOH dijaga konstan sebesar 2 dan 2,5.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan alternatif sumber pozolan alam yang bisa dimanfaatkan untuk membuat beton geopolimer. Di samping itu adanya upaya untuk mengurangi volume lusi dan memanfaatkan metakaolin sebagai sumber utama pembuatan beton geopolimer.

II. URAIAN PENELITIAN

A. MATERIAL

1. Metakaolin

Metakaolin yang digunakan berasal dari daerah Bangka Belitung. Sebelum digunakan material ini awalnya berupa kaolin. Untuk mengubah kaolin menjadi material yang amorf (metakaolin) dengan mengkalsinasi kaolin pada suhu 700°C [7]. Sebelumnya sudah dilakukan pengujian berat jenis dan

XRF dengan hasil berat jenis sebesar 2.5 gr/cm^3 , dengan ukuran partikel lolos ayakan #200 [7]. Dari hasil XRF, komposisi senyawa oksida dari metakaolin dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Senyawa Oksida Metakaolin

Senyawa	Kadar (% berat)
SiO ₂	50.26
Al ₂ O ₃	43.00
MgO	0.12
CaO	0.04
Na ₂ O	0.04
K ₂ O	0.57
Cr ₂ O ₃	0.01
MnO ₂	0.01
Fe ₂ O ₃	0.73
TiO ₂	0.28
S	4.72
P	0.01
LOI	4.27

Sumber : [7]

Sementara itu, menurut hasil tes *soluble silicate* dari laboratorium pengujian tekMIRA menyatakan bahwa dari SiO₂ total sebanyak 49,5 % terdapat SiO₂ bebas sebanyak 0,67 % dan SiO₂ reaktif sebanyak 48,88 %.

2. Lusi (Lumpur Sidoarjo)

Berdasarkan penelitian terdahulu lusi sebelum digunakan menjadi material geopolimer lusi dibakar pada suhu 800°C selama 2 jam [8]. Sementara itu berat jenisnya adalah $2,66 \text{ gr/cm}^3$, dengan ukuran partikel lolos ayakan #200. Dari hasil XRF, komposisi senyawa oksida dari lusi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Senyawa Oksida Lusi

Oksida	Jumlah (%)
SiO ₂	55.12
Al ₂ O ₃	22.17
MgO	3.08
CaO	3.35
Na ₂ O	2.87
K ₂ O	1.59
Cr ₂ O ₃	0.01
MnO ₂	0.16
Fe ₂ O ₃	7.32
TiO ₂	0.72

Sementara itu, menurut hasil tes *soluble silicate* dari laboratorium pengujian tekMIRA menyatakan bahwa dari SiO₂ total sebanyak 53,0 % terdapat SiO₂ bebas sebanyak 10,29 % dan SiO₂ reaktif sebanyak 42,71 %.

3. Alkali Aktivator

Alkali aktivator yang digunakan adalah Natrium Silikat (Na₂SiO₃) yang dicampur bersama larutan NaOH. Adapun komposisi senyawa oksida dari Na₂SiO₃ terdiri dari 18% Na₂O, 36% SiO₂ dan 46% H₂O. Rasio perbandingan Na₂SiO₃ dan NaOH dijaga konstan sebesar 2 dan 2.5. Sedangkan NaOH dicampurkan dengan air suling sehingga berkonsentrasi 8M dan 10M.

B. Prosedur Eksperimen

Terdapat beberapa tahapan pada penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut

1. Analisa Material

Analisa yang dilakukan hanya pada lusi yaitu pengujian berat jenis, analisa XRF (*X-Ray Fluorescence*), dan analisa XRD (*X-Ray Diffraction*).

2. Pembuatan pasta Geopolimer

- Perbandingan antara *binder* dan alalkali adalah 55% *binder* : 45% *alkali*.
- Binder campuran antara Lusi dan metakaolin
- Alkali activator, perbandingan antara :
 - Na₂SiO₃ : NaOH (8 M) = 2
 - Na₂SiO₃ : NaOH (10 M) = 2,5

Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Tabel 3. dengan perbandingan Si/Al, SiO₂/Na₂O dan water/solid.

Tabel 3 Komposisi Mix Desain

Kode	Binder %		Na OH	Na ₂ SiO ₃ NaOH	Si Al	SiO ₂ Na ₂ O	water solid
	MK	Lusi					
P 8-2-25	25	75	8	2	1,98	3,45	0,41
P 8-2-50	50	50	8	2	1,71	3,67	0,39
P 8-2-75	75	25	8	2	1,50	3,90	0,37
P 10-2-25	25	75	10	2	1,98	3,23	0,39
P 10-2-50	50	50	10	2	1,71	3,43	0,37
P 10-2-75	75	25	10	2	1,50	3,64	0,36
P 8-2,5-25	25	75	8	2,5	2,03	3,53	0,40
P 8-2,5-50	50	50	8	2,5	1,74	3,81	0,38
P 8-2,5-75	75	25	8	2,5	1,54	4,06	0,36
P 10-2,5-25	25	75	10	2,5	2,03	3,39	0,38
P 10-2,5-50	50	50	10	2,5	1,74	3,60	0,36
P 10-2,5-75	75	25	10	2,5	1,54	3,82	0,35

Keterangan Kode : (P a-b-c)

P : Pasta

a : molaritas NaOH

b : rasio $\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}}$

c : persentase metakaolin terhadap lusi

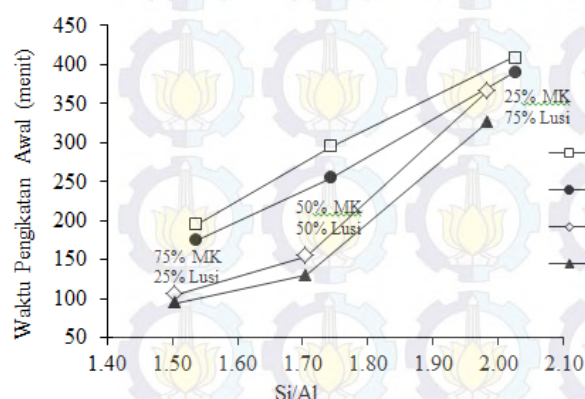
C. Metode Pengetesan

Pengetesan yang dilakukan untuk pasta adalah sebagai berikut : Uji Waktu ikat / Setting Time [9], Uji Kuat Tekan Hancur [10], Uji Porositas [11], dan Uji Kuat Tekan Paska Bakar [7].

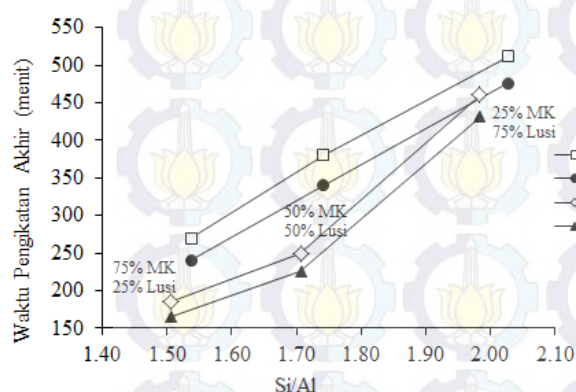
III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Setting Time

Dari gambar 1 dan 2, terlihat bahwa yang paling mempengaruhi waktu *setting* adalah Si/Al dimana semakin tinggi Si/Al membuat semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk pengikatan awal ataupun akhir. Kandungan silika dan alumina berpengaruh pada hasil setting time [12], dimana dalam penelitian ini semakin tinggi Si/Al maka semakin lama waktu setting time. Selain itu molaritas NaOH juga ikut mempengaruhi, terlihat bahwa 10M lebih cepat mengalami setting daripada 8M. Hal ini disebabkan karena 10M lebih kental, sehingga proses pemutusan rantai alumino silikat akibat penambahan molaritas NaOH dapat berlangsung lebih cepat, dan berakibat pada proses setting yang berlangsung cepat [13]. Terlihat juga bahwa semakin banyak kandungan metakaolin akan membuat waktu setting menjadi lebih cepat.



Gambar 1. Grafik Pengikatan Awal



Gambar 2. Grafik Pengikatan Akhir

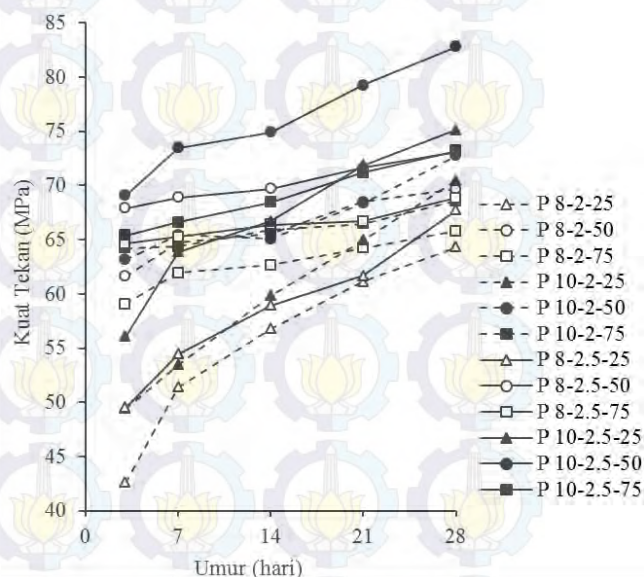
B. Kuat Tekan

Dari hasil penelitian diketahui kalau campuran P 10-2.5-50 merupakan pasta dengan kuat tekan tertinggi. Pada umur 28 hari bisa mencapai 82,81 Mpa. Sementara itu kuat tekan terendah pada pasta P 8-2-25 64.30 Mpa bisa dilihat pada Gambar 3. Dari hasil penelitian banyak yang mempengaruhi kuat tekan, namun pada penelitian ini akan difokuskan menjadi 3 hal yang mempengaruhi kuat tekan. Pengaruh itu diantaranya adalah sebagai berikut :

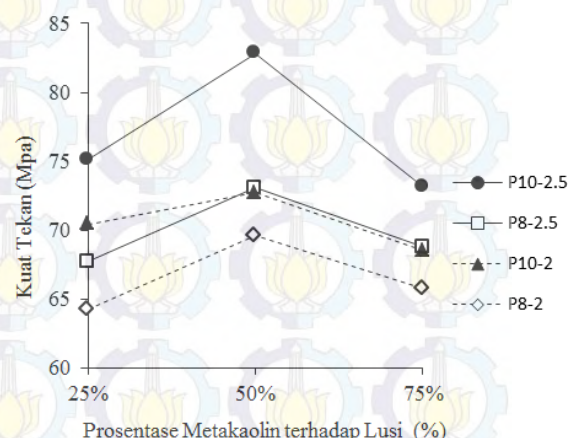
1. Pengaruh Binder

Kali ini akan dilihat seberapa pengaruh binder antara metakaolin dan lusi terhadap kuat tekan. Benda uji yang akan dianalisa adalah umur 28 hari dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4. Dari Gambar 4, dapat disimpulkan bahwa metakaolin sangat berpengaruh terhadap kuat tekan dan membuat kuat tekan menjadi naik. Namun tidak dimana saat

kondisi metakaolin terlalu banyak ini membuat kuat tekan menjadi turun. Hal ini disebabkan karena metakaolin menyerap banyak air pada saat proses pembuatan pasta dan membuat *workability* pasta menjadi turun dan kuat tekan juga ikut turun (lihat Gambar 5).



Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Pasta Umur x Hari



Gambar 4. Grafik Pengaruh Binder terhadap Kuat Tekan Pasta Umur 28 Hari



Gambar 5. Pasta Dengan Binder Metakaolin 75% terhadap Lusi

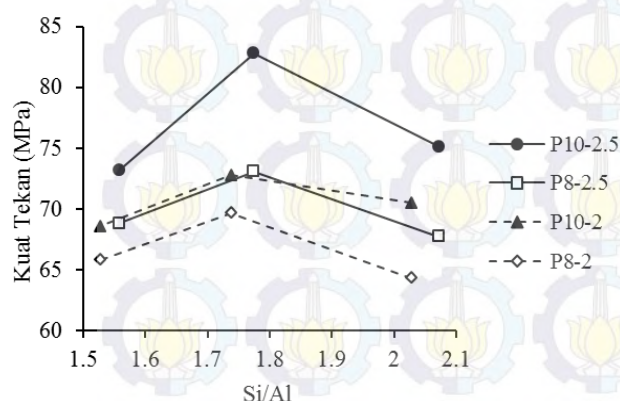
2. Pengaruh Alkali

Dapat dilihat dari gambar 4, terlihat bahwa molaritas (10M) lebih tinggi kuat tekannya daripada (8M). Terlihat pula rasio perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 2.5 lebih tinggi kuat tekannya daripada $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 2.

3. Pengaruh Si/Al

Pada tahun 2007 Petter Duxon pernah melakukan pengaruh Si/Al terhadap kuat tekan dimana Si/Al yang

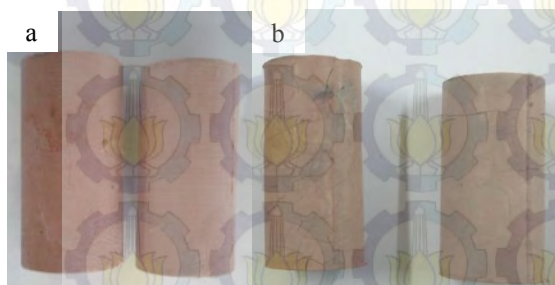
digunakan adalah 1.15 sampai 2.15. Dari hasil penelitiannya kuat tekan naik seiring naiknya Si/Al. Namun hanya sampai 1.9, kuat tekan akan turun saat Si/Al melebihi 1.9. Ini menunjukkan bahwa ada titik optimumnya yaitu saat Si/Al antara 1.15 sampai 1.9 [14]. Hal ini juga yang dialami pada penelitian ini, dimana kuat tekan tertinggi terjadi pada Si/Al yang optimum. Dapat dilihat dari Gambar 6, terlihat bahwa kuat tekan naik saat Si/Al naik dari 1.5 sampai 1.8. Namun kuat tekan akan turun saat Si/Al melebihi 1.8. Berarti dapat disimpulkan kalau kuat tekan optimum terjadi saat Si/Al mencapai 1.8.



Gambar 6. Grafik Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Pasta

C. Kuat Tekan Paska Bakar

Sebelumnya sudah dilakukan pembakaran pada semua variasi pasta umur 28 hari. Pasta dibakar dengan suhu 400°C selama 30 menit.



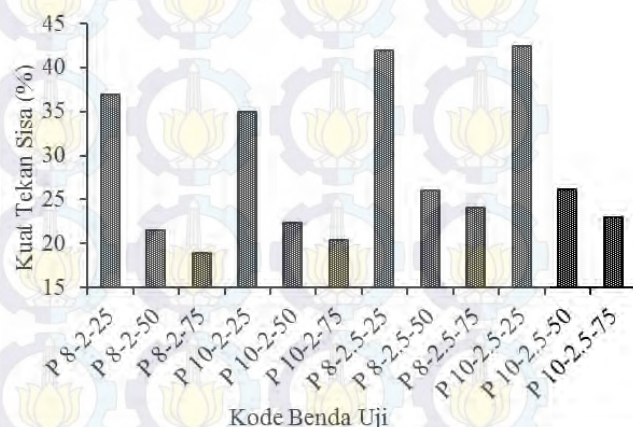
Gambar 7. Pasta (a) Sebelum Dibakar, (b) Setelah Dibakar

Dapat dilihat dari Gambar 7. pasta yang telah mengalami proses pembakaran berbeda dengan sebelum pembakaran. Setelah dibakar warna pasta terlihat lebih pudar dan terdapat retakan-retakan di permukaan pasta. Setelah pasta mengalami pembakaran pasta akan dites kuat tekan dan dibandingkan hasilnya dengan sebelum dibakar. Masih tersisa berapa (%) kuat tekannya setelah dibakar, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 8. Selain itu pasta juga dibuat analisa perhitungan penurunan berat dari sebelum bakar menjadi setelah bakar, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 9.

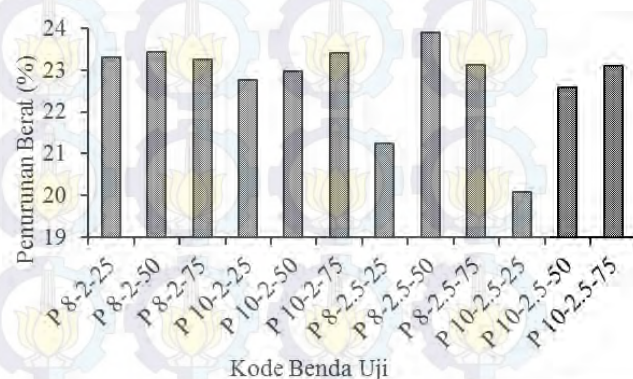
Dari Gambar 8, dapat dilihat bahwa kuat tekan sisa paling besar terdapat pada pasta (P 10-2.5-25) yaitu sebesar 42.37 dimana kuat tekan sebelum bakar 82.81 MPa dan kuat tekan sesudah bakar 21.68 MPa. Kuat tekan sisa paling kecil terdapat pada pasta (P 8-2-75) yaitu sebesar 18.94 dimana kuat tekan sebelum bakar 65.81 MPa dan kuat tekan sesudah bakar 12.47 MPa.

Sementara itu, dapat dilihat pada Gambar 9 untuk penurunan berat paling kecil terdapat pada pasta (P10-2.5-25) yaitu sebesar 20.08 dimana berat sebelum bakar 24.23

gram dan berat sesudah bakar 19.37 gram. Penurunan berat paling besar terdapat pada pasta (P8-2.5-50) yaitu sebesar 23.89 dimana berat sebelum bakar 24.83 gram dan berat sesudah bakar 18.90 gram.

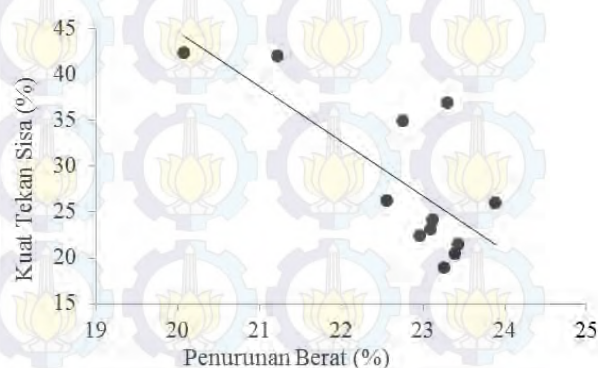


Gambar 8. Grafik Kuat Tekan Sisa Paska Bakar



Gambar 9. Grafik Penurunan Berat

Dari Gambar 8 dan 9, dibuat grafik hubungan penurunan berat terhadap kuat tekan sisa pasta umur 28 hari yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 10.

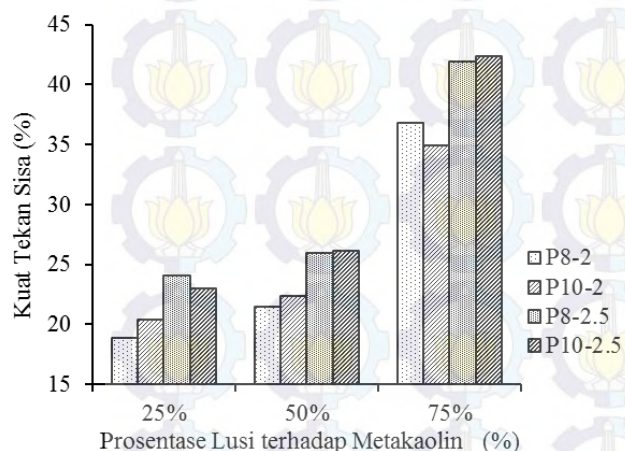


Gambar 10. Grafik Hubungan Penurunan Berat terhadap Kuat Tekan Sisa

Dari Gambar 10, terlihat bahwa ada kecenderungan semakin kecil penurunan berat membuat semakin besar kuat tekan sisa. Pasta yang berat merupakan pasta yang memiliki tingkat kepadatan tinggi. Dapat dilihat dari Gambar 4.40, pasta yang memiliki tingkat kepadatan tinggi setelah dibakar masih tersisa kuat tekan yang lebih baik.

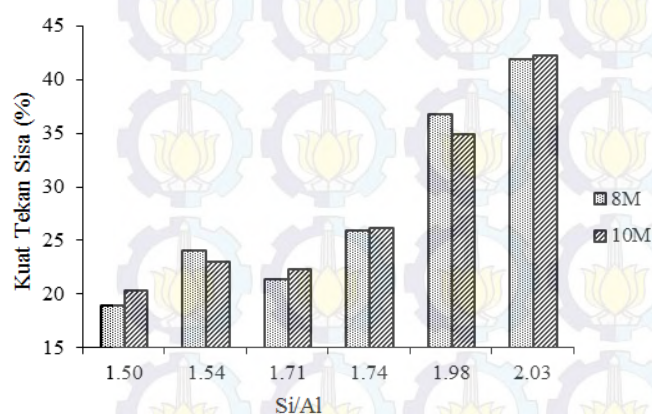
1. Pengaruh Binder terhadap Kuat Tekan Sisa Paska Bakar

Dari Gambar 11, terlihat bahwa ada kecenderungan semakin banyak lusi akan membuat semakin besar kuat tekan sisa. Terlihat bahwa lebih banyak lusi membuat pasta geopolimer menjadi lebih tahan bakar. Dapat dilihat bahwa pasta yang memiliki kuat tekan sisa paling besar terdapat pada pasta dimana lebih banyak sodium silikat (Na_2SiO_3).



Gambar 11. Grafik Pengaruh Binder terhadap Kuat Tekan Sisa

2. Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Sisa Paska Bakar

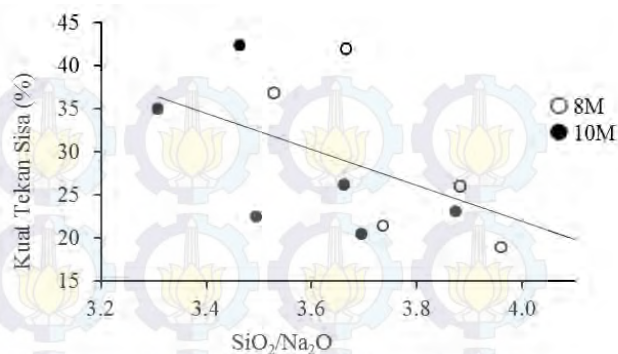


Gambar 12. Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Sisa Paska Bakar

Pada Gambar 12, terlihat bahwa semakin tinggi Si/Al kecenderungan semakin tinggi kuat tekan sisa. Hal ini terlihat dari kuat tekan yang lebih baik saat Si/Al yang tinggi setelah mengalami pembakaran. Pernyataan ini sama dengan yang dikemukakan oleh Triani pada penelitiannya di tahun 2015 [7]. Terlihat pada Gambar 12 efek dari molaritas tidak terlalu berpengaruh dimana terdapat pasta dengan 10M lebih baik dari 8M dan ada pasta dengan 10M tidak lebih baik dari 8M.

3. Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Sisa Paska Bakar

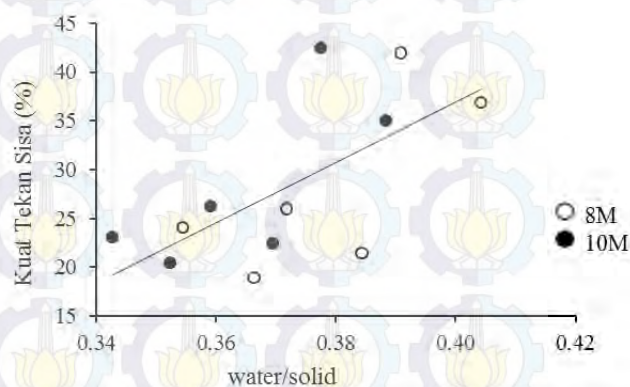
Pada gambar 13, terlihat bahwa semakin tinggi $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ kecenderungan semakin rendah kuat tekan sisa. Jika dilihat $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ menjadi kecil akibat penambahan kandungan Na_2O yang lebih. Sementara itu, kandungan Na_2O menjadi lebih banyak dikarenakan molaritas yang tinggi. Oleh karena itu, pada gambar 13 terlihat bahwa molaritas 10M lebih baik kuat tekan sisa daripada 8M..



Gambar 13. Pengaruh $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ terhadap Kuat Tekan Sisa Paska Bakar

4. Pengaruh water/solid terhadap Kuat Tekan Sisa Paska Bakar

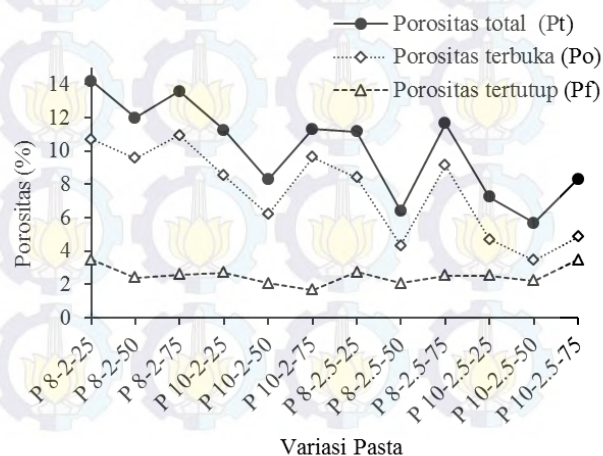
Pada gambar 14, terlihat bahwa semakin tinggi water/solid kecenderungan semakin tinggi kuat tekan sisa. Jika dilihat tingginya w/s karena kandungan air yang banyak. Oleh karena itu, dimungkinkan kalau banyaknya air yang terkandung dalam pasta menyebabkan pasta menjadi lebih tahan terhadap pembakaran.



Gambar 14. Pengaruh water/solid terhadap Kuat Tekan Sisa Paska Bakar

D. Porositas

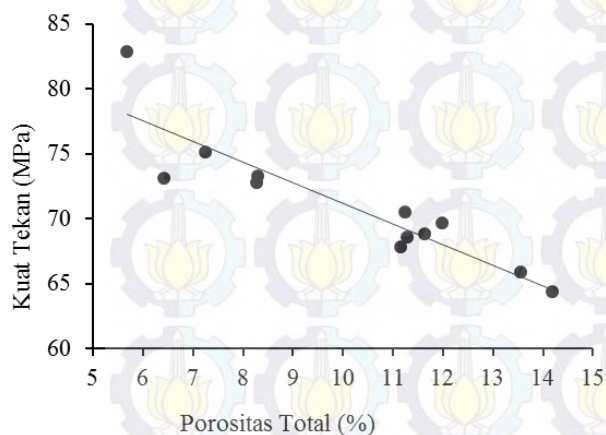
Pengujian porositas pasta dasar dilakukan untuk mengetahui pengaruh banyaknya pori pada pasta dasar. Pasta yang akan diuji adalah pasta dengan umur 28 hari. Hasil pengujian porositas bisa dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Grafik Hasil Tes Porositas

Dari Gambar 15, dapat dilihat bahwa porositas total terbesar terdapat pada pasta P 8-2-25 sebesar 14.18% dimana porositas terbuka 10.70% dan porositas tertutup 3.49%. Sementara itu, porositas total terkecil terdapat pada pasta P 10-2.5-50 sebesar 5.69% dimana porositas terbuka 3.47% dan porositas tertutup 2.22%.

Dari Gambar 15, dapat ditarik hubungan antara hasil porositas dengan kuat tekan yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik Hubungan Porositas dengan Kuat Tekan

Dari Gambar 16, terlihat bahwa kecenderungan dimana porositas kecil menyebabkan kuat tekan menjadi tinggi dan sebaliknya porositas besar menyebabkan kuat tekan menjadi besar. Dimana persentase porositas yang kecil merupakan pasta yang padat. Pasta yang padat memiliki rongga udara yang sedikit. Sehingga saat pasta terkena gaya tekan penyebaran gaya akan merata saat rongga yang didalam pasta sedikit. Berbeda dengan pasta yang memiliki rongga yang banyak, karena akan menghambat penyebaran gaya saat pasta menerima gaya tekan.

IV. KESIMPULAN

1. Pada penelitian ini, terlihat semakin tinggi perbandingan Si/Al, maka semakin lama waktu setting pasta. Selain itu, semakin tinggi molaritas NaOH, maka setting time dari pasta semakin cepat. Terlihat juga bahwa semakin banyak kandungan metakaolin akan membuat waktu setting menjadi lebih cepat.
2. Kuat tekan optimum terdapat pada pasta P 10-2.5-50 (Pasta dengan binder MK 50 % dan Lusi 50% dan NaOH 10M : Na_2SiO_3 sebesar 2.5) merupakan pasta dengan kuat tekan tertinggi, pada umur 28 hari bisa mencapai 82,81 Mpa.
3. Metakaolin sangat berpengaruh terhadap kuat tekan dan membuat kuat tekan menjadi naik. Namun tidak dimana saat kondisi metakaolin terlalu banyak ini membuat kuat tekan menjadi turun.
4. Molaritas (10M) lebih tinggi kuat tekannya daripada (8M). Rasio perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 2.5 lebih tinggi kuat tekannya daripada $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 2.
5. Kuat tekan naik saat Si/Al naik dari 1.5 sampai 1.8. Namun kuat tekan akan turun saat Si/Al melebihi 1.8. Dapat disimpulkan kalau kuat tekan optimum terjadi saat Si/Al mencapai 1.8.
6. Semakin kecil penurunan berat membuat semakin besar kuat tekan sisa.

7. Semakin tinggi Si/Al kecenderungan semakin tinggi kuat tekan sisa.
8. Semakin tinggi $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ kecenderungan semakin rendah kuat tekan sisa.
9. Semakin tinggi water/solid kecenderungan semakin tinggi kuat tekan sisa.
10. Semakin besar porositas pasta maka semakin kecil kuat tekan pasta dan sebaliknya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Davidovits J. 2008. *Geopolymer Chemistry and Application*, Geopolymer Institute.
- [2] Davidovits J. 1994. *Properties of Geopolymer Cement*. Geopolymer Institute. France : Saint-Quentin.
- [3] Frantisek Skvara, dkk. 2006. *Concrete bash on fly ash geopolymer*.
- [4] Hadi S. 2012. *BPLS Klaim Volume Semburan Lumpur Sidoarjo Menurun*. <http://surabaya.okezone.com/read/2012/05/28/521/636685/bpls-klaim-volume-sembruran-lumpur-sidoarjo-menurun>, www.bpls.go.id.
- [5] Ekaputri, J.J. dan Triwulan, 2006, *Study on Porong Mud-Based Geopolymer Concrete*, Jurnal HAKI (Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia), Vol. 7 No 2.
- [6] Duxson Peter, P., Provis, J.L., Luckey, G. C., Mallicoat, S. W., Kriven, W. M., dan van Deventer, J. 2005. *Understanding the Relationship Between Geopolymer Composition, Microstructure and Mechanical Properties*. Colloids and Surface A: Physicochemistry Engineering Aspects. Vol: 292, p: 8-20.
- [7] Triani D.D., 2015. *Pemanfaatan Pozzolan sebagai Bahan Dasar Geopolimer*, Surabaya : FTSP-ITS.
- [8] Triwulan, Ekaputri J.J., Fadyah A.T. 2014. *Campuran serat Pada Pasta dengan Bahan Dasar Lumpur Sidoarjo*. Seminar Nasional X – 2014 Teknik Sipil ITS Surabaya
- [9] ASTM C 191. *Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle*. Philadelphia: American Society of Testing and Materials, 2001.
- [10] ASTM C 39/C 39M. *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. Philadelphia: American Society of Testing and Materials, 2001.
- [11] AFNOR NF B 49104. n.d.
- [12] P. D. Silva, K. S. Crenstil, V. Sirivivatnanon. *Kinetic of Geopolymerization : Role of Al_2O_3 and SiO_2* . Science Direct, 2007: 512-518.
- [13] Wiyoto, Januk. 2007. *Pengaruh variasi molaritas NaOH (12 M dan 14 M) dan perbandingan aktivator untuk mendapatkan peningkatan kuat tekan beton geopolimer yang berbahan dasar fly ash dengan tambahan trass sebagai pengisi*. Surabaya: FTSP-ITS.
- [14] Duxson Peter, P., Provis, J.L., Luckey, G. C., Mallicoat, S. W., Kriven, W. M., dan van Deventer, J. 2005. *Understanding the Relationship Between Geopolymer Composition, Microstructure and Mechanical Properties*. Colloids and Surface A: Physicochemistry Engineering Aspects. Vol: 292, p: 8-20.



**Presentasi Tugas Akhir
Selasa, 03 Juli 2015**

**ANALISA KUAT TEKAN PASTA GEOPOLIMER BERBAHAN
DASAR KAOLIN DAN LUMPUR SIDOARJO**

Oleh
**Yultino Syaifullah F
3113105032**

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**



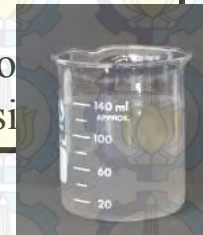
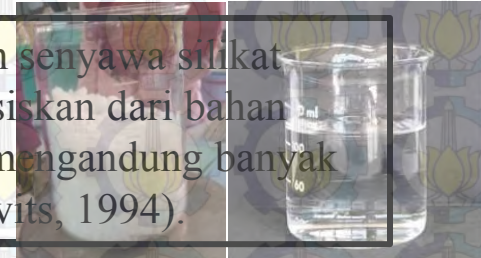
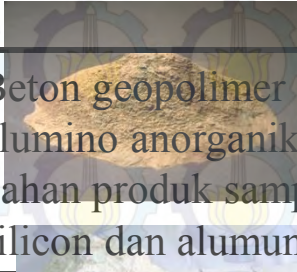
Latar Belakang

Beton geopolimer adalah sebuah senyawa silikat aluminosilikat anorganik yang disintesis dari bahan-bahan produk sampingan yang mengandung banyak silikon dan aluminium (Davidovits, 1994).

- Karakteristik Beton Geopolimer adalah:
- Tidak memerlukan lingkungan koersifikasi
 - Tidak memerlukan reaksi alkali silikat



Beton Geopolimer





LUSI KAOLIN

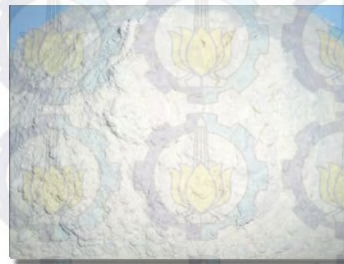


Menurut BPLS Mei 2012, volume
semburan berkisar antara 25.000 -

dalam kondisi kering bisa digunakan sebagai
pengikat pada beton geopolimer karena
bahan baku pembuatan kertas, keramik, cat, isolator
kaolin dibakar menjadi metakaolin yang bersifat
lebih amorf dan banyak mengandung Si dan Al.



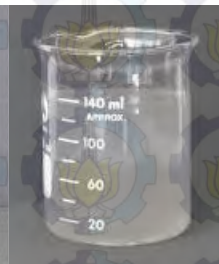
Lusi



Metakaolin



NaOH



Na₂SiO₃



Tujuan Penelitian

1. Untuk mencari komposisi optimum material berupa lumpur sidoarjo dan metakaolin yang tepat pada pembuatan pasta geopolimer.
2. Untuk mengetahui kuat tekan pasta geopolimer
3. Untuk mengetahui kuat tekan pasta geopolimer setelah terkena bakar
4. Untuk mengetahui sifat porositas dari pasta geopolimer yang dihasilkan.





Komposisi Benda Uji

No	Kode Benda Uji	Alkali (45%)		Binder (55%)		$\frac{\text{Si}}{\text{Al}}$
		NaOH	Na_2SiO_3	Metakaolin %	Lusi %	
1	P 8-2-25	8	2	25	75	2.028
2	P 8-2-50	8	2	50	50	1.738
3	P 8-2-75	8	2	75	25	1.527
4	P 10-2-25	10	2	25	75	2.028
5	P 10-2-50	10	2	50	50	1.738
6	P 10-2-75	10	2	75	25	1.527
7	P 8-2,5-25	8	2,5	25	75	2.072
8	P 8-2,5-50	8	2,5	50	50	1.774
9	P 8-2,5-75	8	2,5	75	25	1.559
10	P 10-2,5-25	10	2,5	25	75	2.072
11	P 10-2,5-50	10	2,5	50	50	1.774
12	P 10-2,5-75	10	2,5	75	25	1.559

Keterangan Kode : P a-b-c

P : Pasta

a : molaritas NaOH

b : rasio

c : persentase metakaolin terhadap lusi



Pengujian



Setting Time

Semua komposisi pasta.



Benda uji pasta
 $d = 2\text{cm}$, $t = 4\text{cm}$



Tes Kuat Tekan Paska Bakar

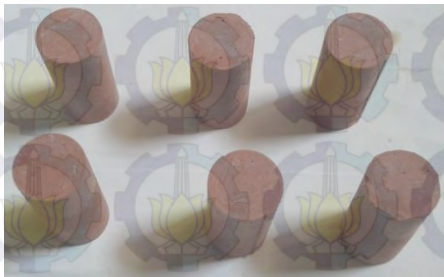


Tes Kuat Tekan

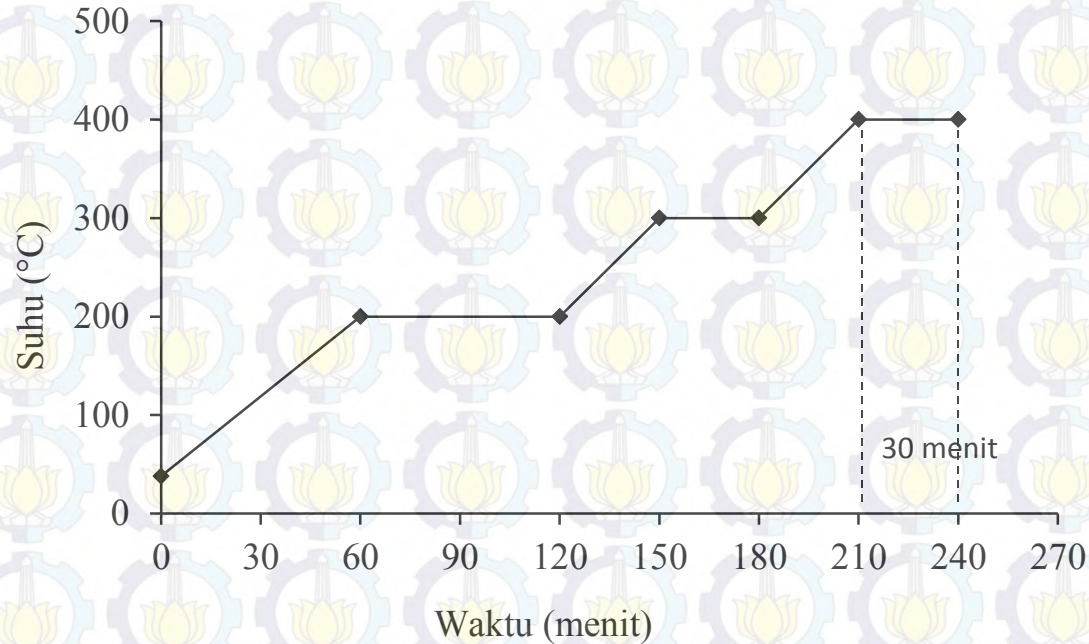
Semua komposisi
pasta umur 3, 7, 14,
21, dan 28 hari
Masing-masing 6
a uji

nda

Pengujian benda uji pasta meliputi : setting time, tes kuat tekan, tes kuat tekan paska bakar, tes porositas



Benda uji pasta
 $d = 2\text{cm}$, $t = 4\text{cm}$



Pengujian benda uji pasta meliputi : setting time, tes kuat tekan, tes kuat tekan paska bakar, tes porositas



Benda uji pasta
 $d = 2\text{cm}$, $t = 4\text{cm}$



Tes Porositas

Semua komposisi
pasta umur 28 hari
Masing-masing 20g
2 x percobaan

Pengujian benda uji pasta meliputi : setting time, tes kuat tekan, tes kuat tekan paska bakar, tes porositas



Hasil Setting Time

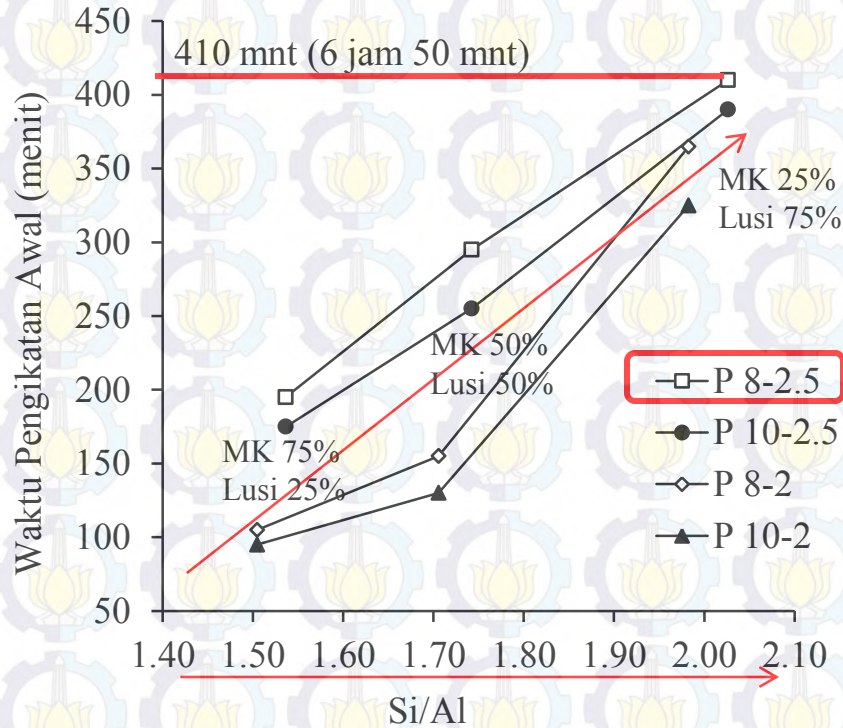
No	Kode Benda Uji	Pengikatan awal (menit)	Pengikatan akhir (menit)
1	P 8-2-25	365	460
2	P 8-2-50	155	250
3	P 8-2-75	105	185
4	P 10-2-25	325	430
5	P 10-2-50	130	225
6	P 10-2-75	95	165
7	P 8-2.5-25	410	510
8	P 8-2.5-50	295	380
9	P 8-2.5-75	195	270
10	P 10-2.5-25	390	475
11	P 10-2.5-50	255	340
12	P 10-2.5-75	175	240

Cepat setting : Komposisi P 10-2-75 (pengikatan awal 95 menit ; pengikatan akhir 165 menit)
Lama setting : Komposisi P 8-2.5-25 (pengikatan awal 410 menit ; pengikatan akhir 510 menit)

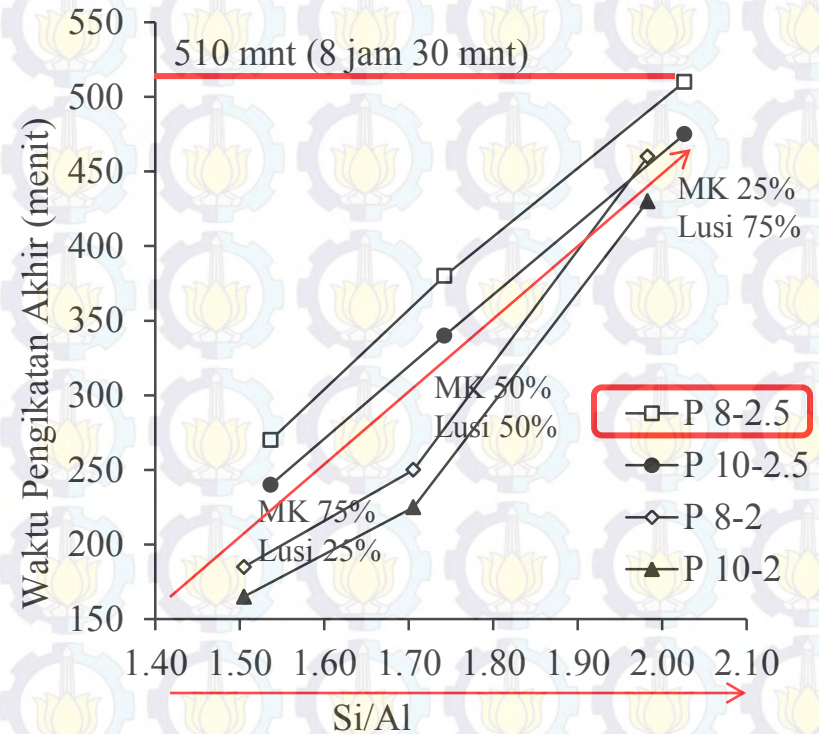


Pengaruh Si/Al terhadap Setting Time

Grafik Waktu Pengikatan Awal



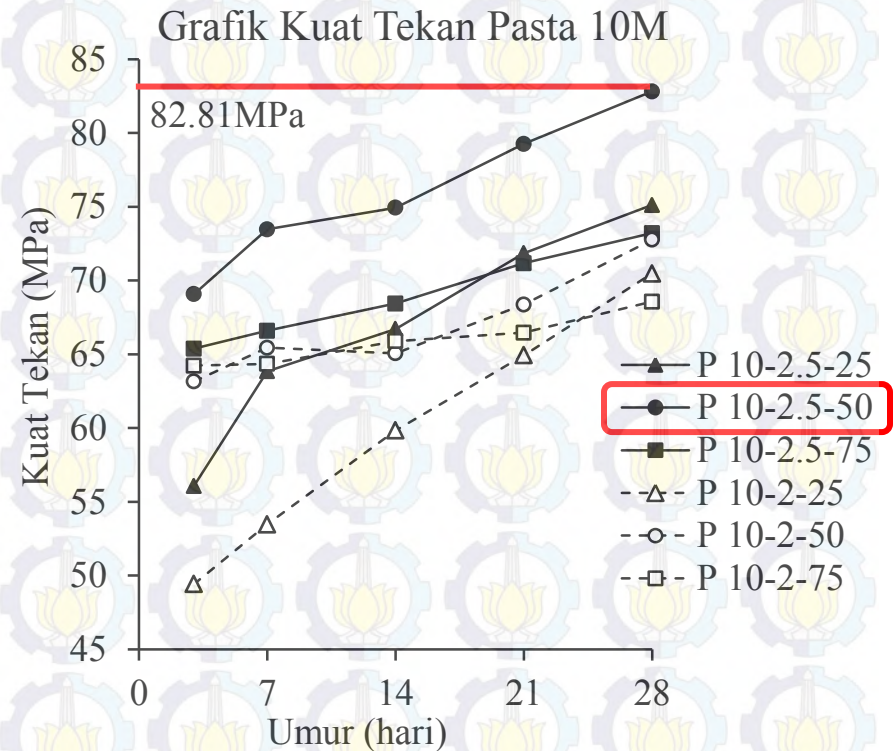
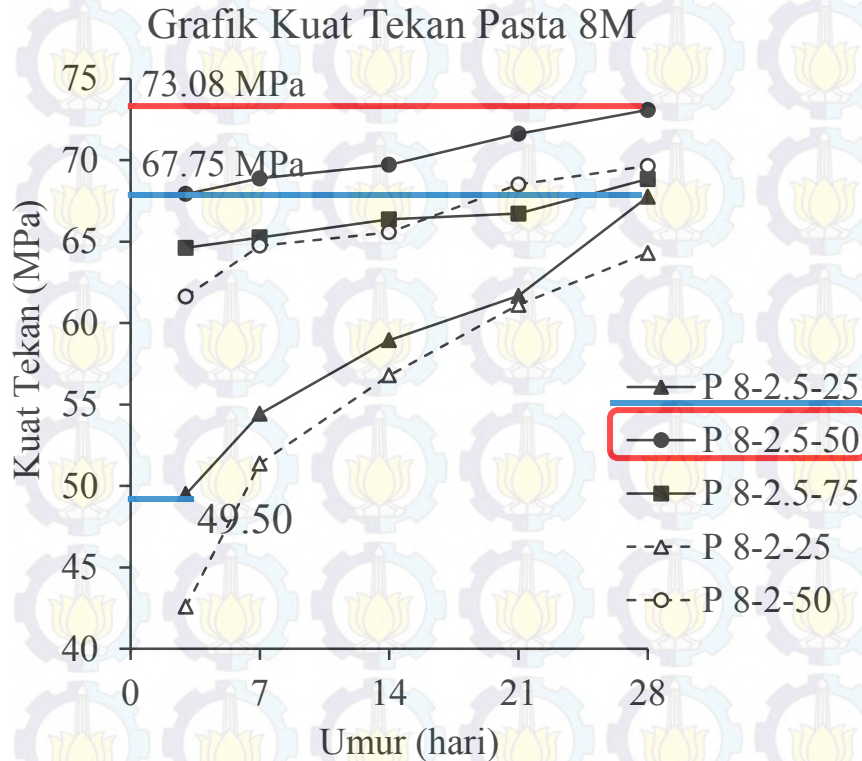
Grafik Waktu Pengikatan Akhir



Semakin tinggi Si/Al membuat semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk pengikatan awal ataupun akhir.



Hasil Kuat Tekan



Pasta 8M

Kuat tekan tertinggi pada komposisi P 8-2.5-50
Pada umur 28 hari mencapai 73.08 MPa

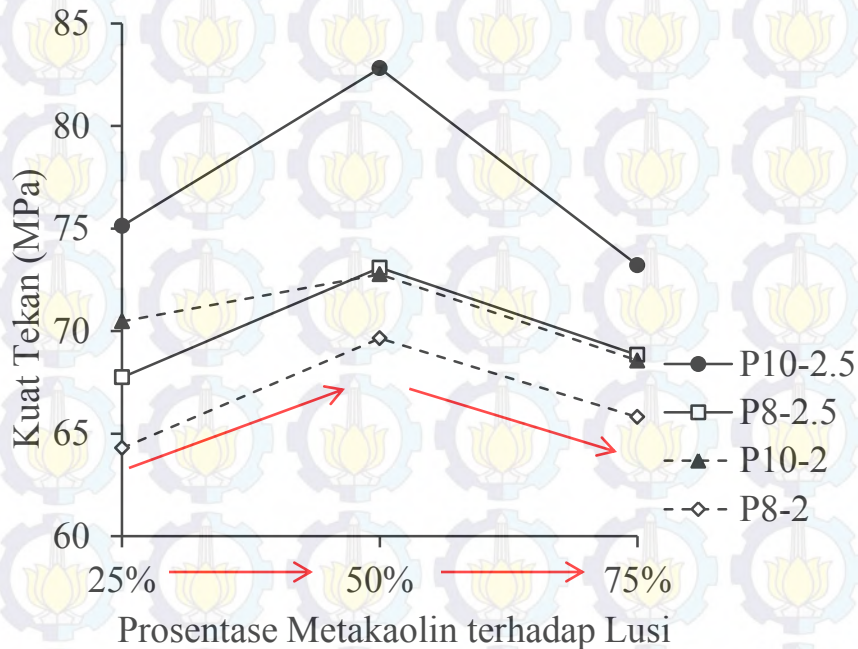
Pasta 10M

Kuat tekan tertinggi pada komposisi P 10-2.5-50
Pada umur 28 hari mencapai 82.81 MPa



Pengaruh Binder terhadap Kuat Tekan

Grafik Pengaruh Binder Terhadap Kuat Tekan umur 28 hari



Metakaolin

SiO_2 Reaktif = **98.58%**

Workability Jelek



Tabel hasil solubel silicates tekmira

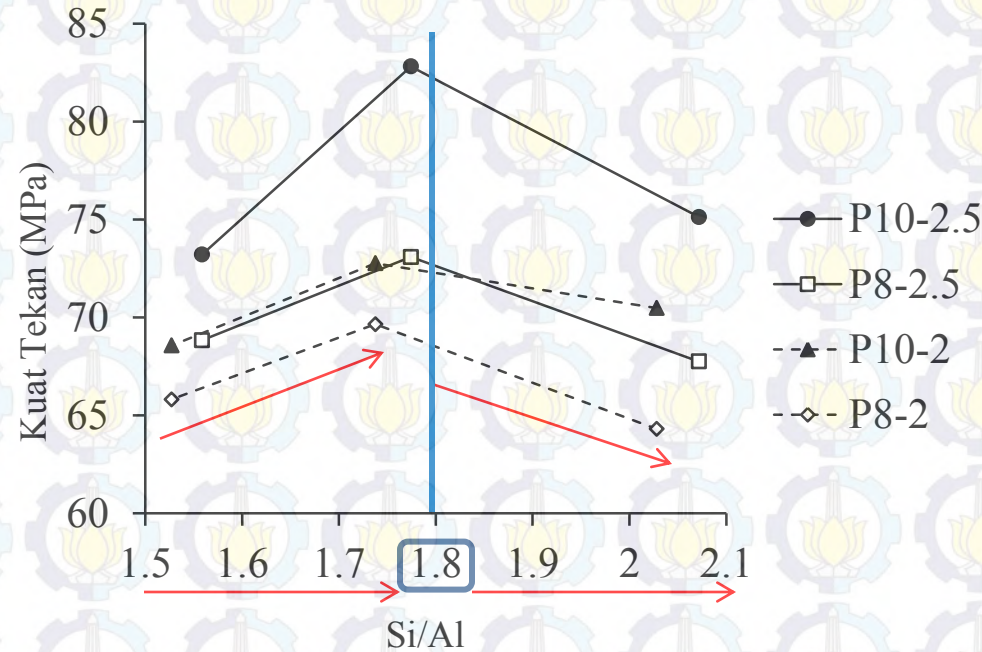
Material	SiO ₂ total (%)	SiO ₂ bebas (%)	SiO ₂ reaktif (%)	Persentase SiO ₂ reaktif terhadap SiO ₂ total (%)
Lusi	53	10.29	42.7	80.56
Metakaolin	49.5	0.67	48.8	98.58

Bertambahnya metakaolin membuat kuat tekan menjadi naik.
Tidak dimana saat kondisi metakaolin terlalu banyak ini membuat kuat tekan menjadi turun.



Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan

Grafik Pengaruh Si/Al Terhadap Kuat Tekan umur 28 hari



Kuat tekan naik saat Si/Al naik dari 1.5 - 1.8. Namun kuat tekan akan turun saat Si/Al melebihi 1.8. Dapat disimpulkan kalau kuat tekan optimum terjadi saat Si/Al mencapai 1.8.



Pasta setelah bakar

Pasta sebelum bakar



Pasta sesudah bakar



Warna menjadi gelap / hangus (efek dari pembakaran)
Terdapat retak-retak rambut di permukaan

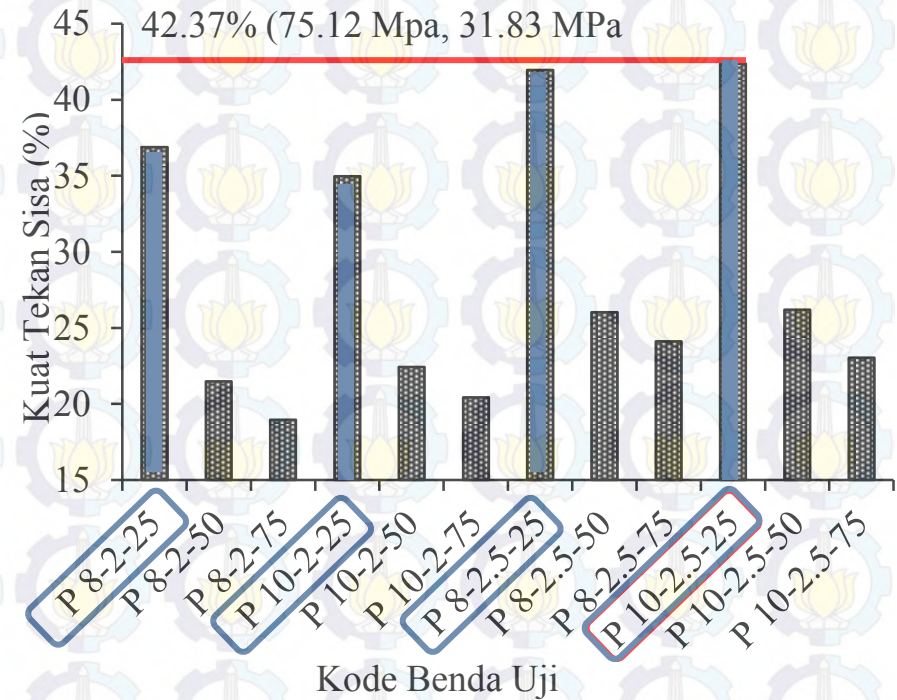


Hasil Kuat Tekan Paska Bakar

Tabel Kuat Tekan Sebelum & Sesudah Bakar umur 28 hari

Kode Benda Uji	Kuat Tekan		
	Sebelum Bakar (MPa)	Sesudah Bakar (MPa)	Sisa (%)
P 8-2-25	64.30	23.71	36.88
P 8-2-50	69.65	14.96	21.48
P 8-2-75	65.81	12.47	18.94
P 10-2-25	70.47	24.64	34.96
P 10-2-50	72.77	16.31	22.42
P 10-2-75	68.56	14.01	20.43
P 8-2.5-25	67.75	28.43	41.96
P 8-2.5-50	73.08	19.02	26.02
P 8-2.5-75	68.83	16.59	24.10
P 10-2.5-25	75.12	31.83	42.37
P 10-2.5-50	82.81	21.68	26.19
P 10-2.5-75	73.21	16.87	23.04

Grafik Kuat Tekan Sisa umur 28 hari



4) Kuat minimum

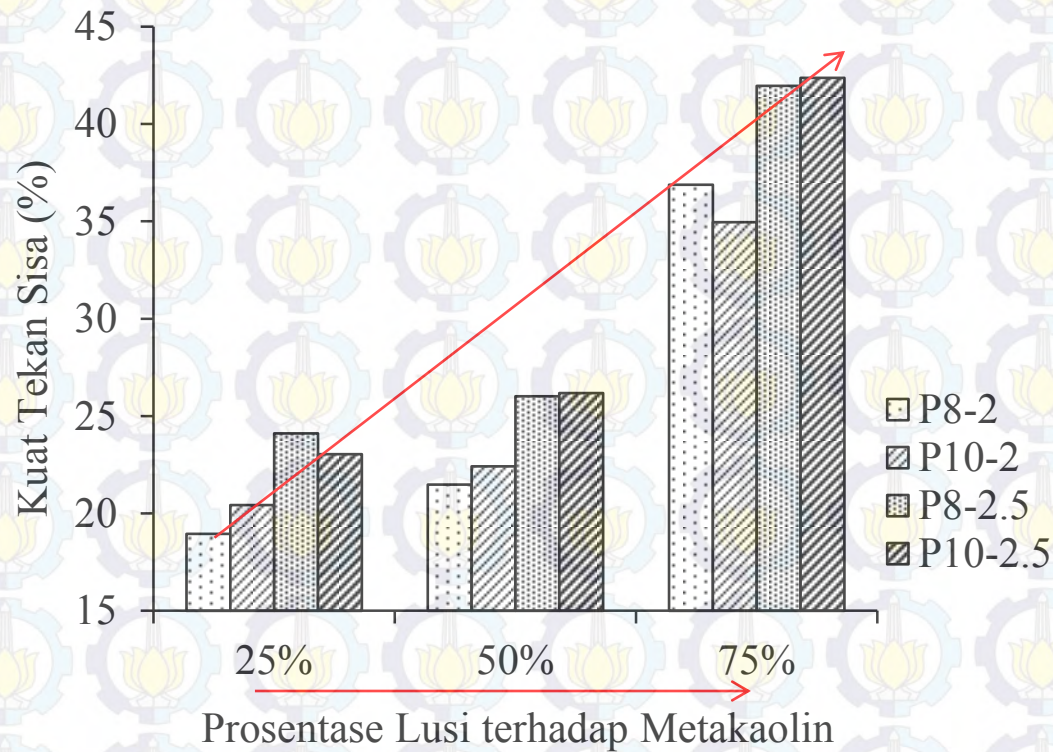
Kuat tekan beton polos yang digunakan untuk tujuan struktural harus tidak boleh kurang dari 17,5 MPa. (SNI 2847 2002)

Kuat tekan sisa terbesar pada komposisi P 10-2.5-25 sekitar 42.37 %
Dimana kuat tekan sebelum bakar adalah 75.12 MPa dan kuat tekan sesudah bakar adalah 31.83 MPa



Pengaruh Binder terhadap Kuat Tekan Sisa Paska Bakar

Grafik Pengaruh Binder terhadap Kuat Tekan Sisa
umur 28 hari

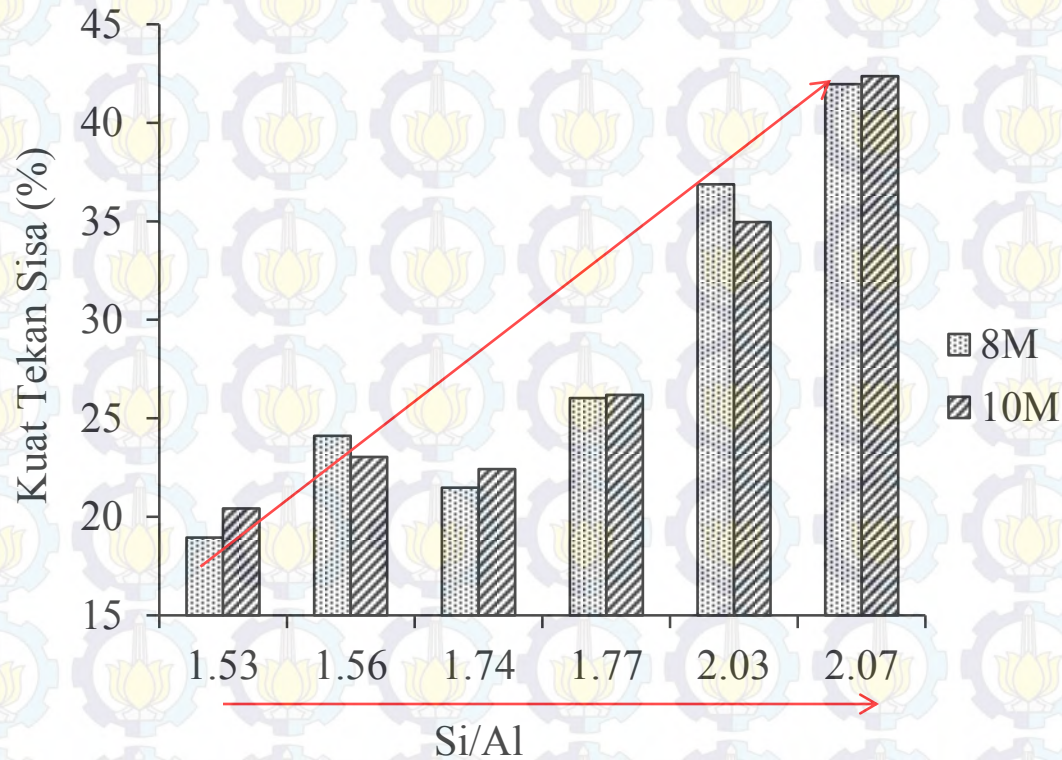


Semakin banyak lusi akan membuat semakin besar kuat tekan sisa paska bakar.



Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Sisa Paska Bakar

Grafik Pengaruh Si/Al terhadap Kuat Tekan Sisa
umur 28 hari



semakin tinggi Si/Al kecenderungan semakin tinggi kuat tekan sisa.

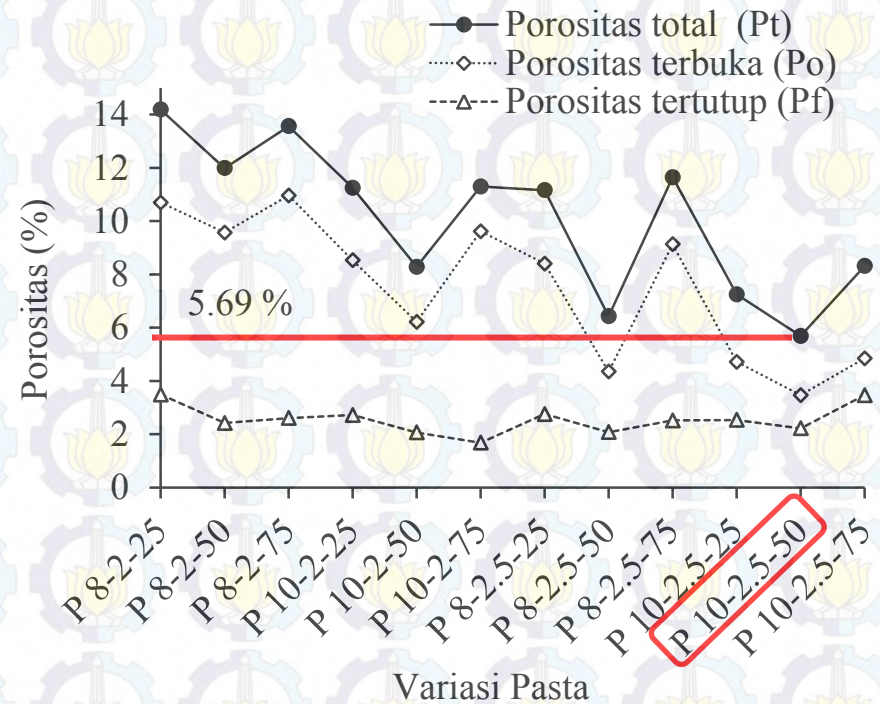


Hasil Porositas

Tabel Hasil Porositas umur 28 hari

Kode Benda Uji	Porositas total % (Pt)	Porositas terbuka % (Po)	Porositas tertutup % (Pf)
P 8-2-25	14.18	10.70	3.49
P 8-2-50	11.99	9.57	2.42
P 8-2-75	13.56	10.96	2.61
P 10-2-25	11.25	8.53	2.72
P 10-2-50	8.28	6.22	2.07
P 10-2-75	11.30	9.62	1.68
P 8-2.5-25	11.16	8.40	2.76
P 8-2.5-50	6.43	4.35	2.08
P 8-2.5-75	11.65	9.13	2.52
P 10-2.5-25	7.25	4.72	2.54
P 10-2.5-50	5.69	3.47	2.22
P 10-2.5-75	8.31	4.85	3.47

Grafik Hasil Porositas umur 28 hari

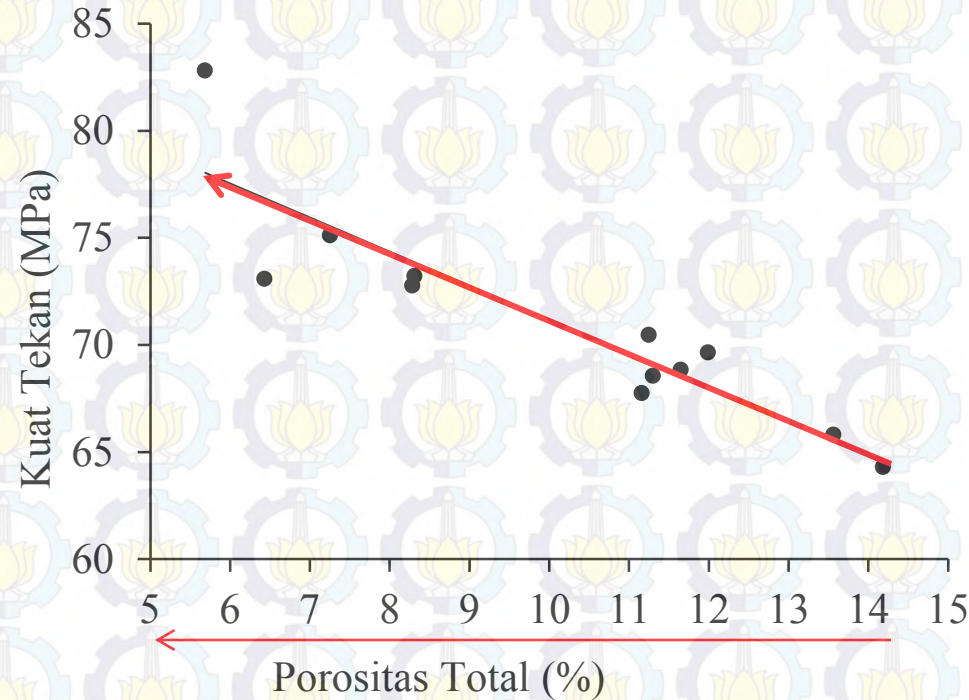


Porositas terkecil pada komposisi P 10-2.5-50 sekitar 2.22%
Dimana porositas terbuka adalah 3.47% dan porositas tertutup adalah 2.22%



Hubungan Porositas dengan Kuat Tekan

Grafik Hubungan Porositas dengan Kuat Tekan
umur 28 hari

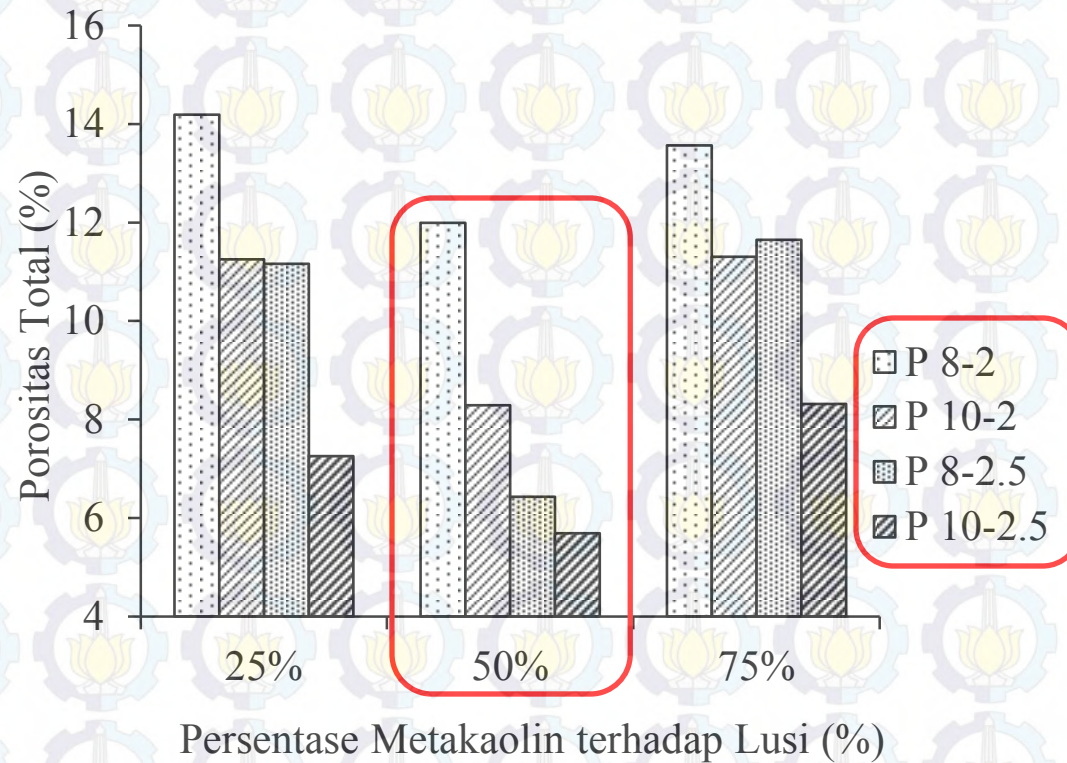


Porositas kecil menyebabkan kuat tekan menjadi tinggi dan sebaliknya porositas besar menyebabkan kuat tekan menjadi besar.



Pengaruh binder terhadap porositas

Grafik Pengaruh binder terhadap porositas total umur 28 hari



Kondisi binder metakaolin 50% : lusi 50% menunjukkan lebih kecil nilai porositas total untuk semua variasi dibanding dengan binder yang lain.

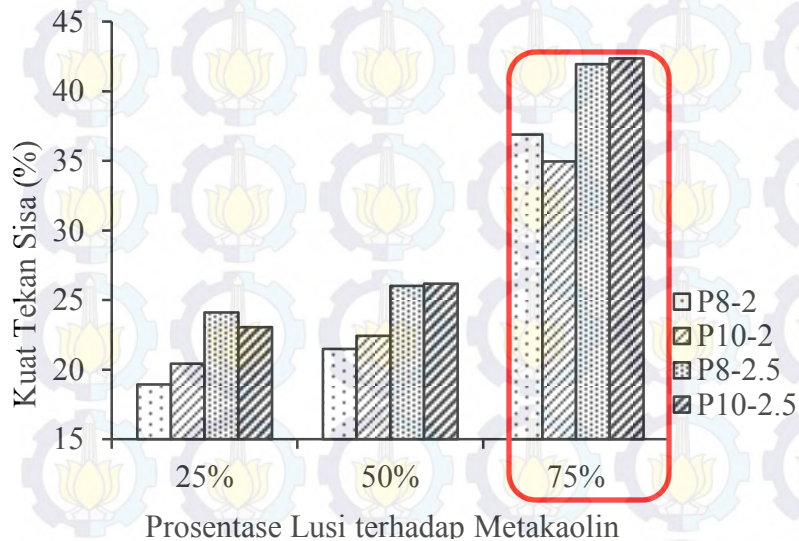


Pengaruh porositas terhadap kuat tekan sisa

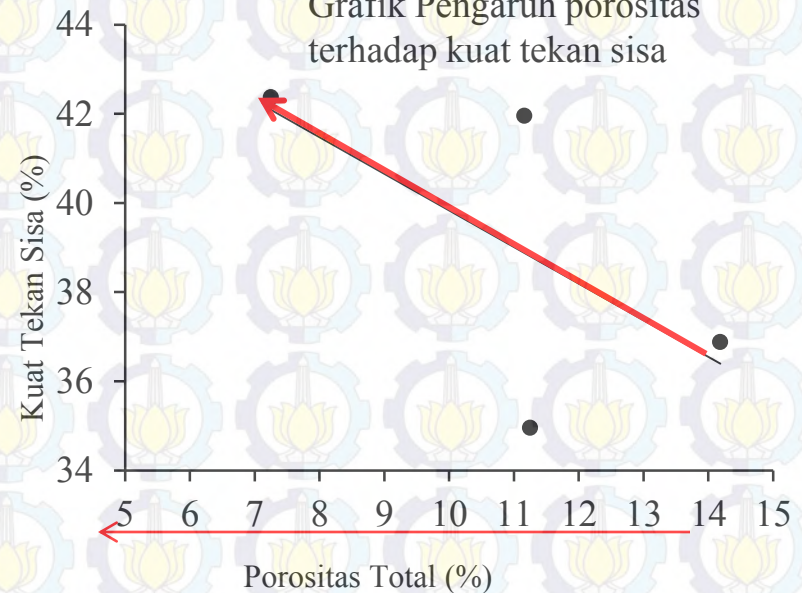
Tabel Pengaruh porositas terhadap kuat tekan sisa

Kode Benda Uji	Porositas total (Pt)	Kuat tekan sisa (%)
P 8-2-25	14.18	36.88
P 10-2-25	11.25	34.96
P 8-2.5-25	11.16	41.96
P 10-2.5-25	7.25	42.37

Grafik Pengaruh binder terhadap kuat tekan sisa



Grafik Pengaruh porositas terhadap kuat tekan sisa



Porositas kecil menyebabkan kuat tekan sisa menjadi tinggi dan sebaliknya porositas besar menyebabkan kuat tekan sisa menjadi besar.



1. Kuat Tekan

Tertinggi komposisi P 10-2.5-50, pada umur 28 hari = **82.81 MPa**

Setting time (pengikatan awal 255 mnt / 4 jam 15 mnt ; pengikatan akhir 340 mnt / 5 jam 40 mnt)

Rekomendasi komposisi P 8-2.5-25, pada umur 28 hari = **67.75 MPa**

Setting time (pengikatan awal 410 mnt / 6 jam 50 mnt ; pengikatan akhir 510 mnt / 8 jam 30 mnt)

2. Kuat Tekan Sisa Paska Bakar

Tertinggi komposisi P 10-2.5-25, kuat tekan sisa **42.37%**

kuat tekan sebelum bakar = **75.21 MPa**; kuat tekan sesudah bakar = **31.83 Mpa**.

P 8-2.5-25, kuat tekan sisa **41.96%**

kuat tekan sebelum bakar = **67.75 MPa**; kuat tekan sesudah bakar = **28.43 Mpa**.

P 10-2.5-50, kuat tekan sisa **26.19%**

kuat tekan sebelum bakar = **82.81 MPa**; kuat tekan sesudah bakar = **21.68 Mpa**.

3. Porositas

P 8-2.5-25 = **11.16%**

P 10-2.5-25 = **7.25%**

P 10-2.5-50 = **5.69%**



Kesimpulan

Tabel Hasil Kesimpulan

Kode	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Paska Bakar (MPa)	Kuat Tekan Sisa (%)	Setting Time (jam)		Porositas (%)
				Awal	Akhir	
P 8-2.5-25	67.75	28.43	41.96	6.50	8.30	11.16
P 10-2.5-25	75.21	31.83	42.37	6.30	7.55	5.69
P 10-2.5-50	82.81	21.68	26.19	4.15	5.40	5.69



**SEKIAN
DAN
TERIMAH KASIH**