

✓ 34649/09



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



RSS
620.136
Tri
S-1

2008

TUGAS AKHIR - PS 1380

SELF COMPACTED CONCRETE DAN GROUTING DARI BETON GEOPOLYMER

RETNO TRIMURTININGRUM
NRP 3104 100 084

Dosen Pembimbing :
Prof.Dr.Ir. Triwulan, DEA
Ir. Aman Subakti, MS

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2008

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	07-10-08
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	232097



FINAL PROJECT - PS 1380

SELF COMPACTED CONCRETE AND GROUTING FROM GEOPOLYMER CONCRETE

RETNO TRIMURTININGRUM
NRP 3104 100 084

Promotor :
Prof.Dr.Ir. Triwulan, DEA
Ir. Aman Subakti, MS

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2008

SELF COMPACTED CONCRETE DAN GROUTING DARI BETON GEOPOLYMER

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

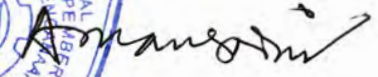
RETNO TRIMURTININGRUM

NRP. 3104 100 084

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :



Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA



Ir. Aman Subakti, MS

SURABAYA

JULI, 2008

SELF COMPACTED CONCRETE DAN GROUTING DARI BETON GEOPOLYMER

Nama : Retno Trimurtiningrum
NRP. : 3104.100.084
Jurusan : Teknik Sipil FTSP – ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA
Ir. Aman Subakti, MS

ABSTRAK

Beton geopolymer adalah beton yang tidak menggunakan semen sebagai binder. Oleh karena itu, beton geopolymer dipandang sebagai salah satu solusi dalam pemecahan masalah peningkatnya pemanasan global akibat produksi semen Portland dan diharapkan menjadi alternatif baru selain beton konvensional. Beton geopolymer segar mempunyai sifat kekentalan yang kaku sehingga kondisinya tidak workable, padahal dalam proses pengecoran, workabilitas beton sangat dibutuhkan untuk mempermudah pelaksanaan di lapangan.

Untuk mengatasi masalah workabilitas, telah ditemukan salah satu inovasi beton yaitu Self Compacted Concrete (SCC). SCC adalah campuran beton yang dapat memadat sendiri tanpa menggunakan alat pemadat (vibrator) (Sugiharto, Kusuma, Himawan, Dharma, 2001). Beberapa metoda yang telah diterapkan Okamura dan Ouchi (2003) untuk memperoleh sifat beton yang self-compactibility adalah : membatasi kandungan agregat, rasio water-powder yang rendah dan penggunaan bahan additive seperti superplasticizer. Diharapkan dengan penambahan superplasticizer, sifat geopolymer bisa menjadi lebih workable dan mempunyai waktu setting yang lebih panjang.

Akan tetapi setelah dilakukan penelitian, ternyata hasil yang diperoleh adalah penambahan superplasticizer baik yang berbasis naphthelene sulphonated dan polycarboxylic

ether hyper plasticizer tidak mempengaruhi waktu setting binder secara signifikan. Binder geopolimer tetap mempunyai waktu setting yang relatif cepat. Dengan waktu setting yang sangat cepat sangat sulit untuk membuat geopolimer dalam skala besar, sehingga disimpulkan aplikasi geopolimer untuk self compacted concrete sangat sulit diwujudkan dan dilaksanakan. Sehingga disimpulkan bahwa geopolimer lebih cocok digunakan untuk grout, karena skala pekerjaan yang dibutuhkan untuk grout jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan skala untuk pekerjaan beton. Selain itu, sifat pasta geopolimer flow sehingga lebih cocok untuk pekerjaan grouting.

Injection atau pressure grouting adalah proses memasukkan atau menginjeksikan material cementitious ke dalam tempat yang tidak dapat dicapai seperti di bawah pondasi struktur untuk tujuan menutup lapisan, retak dan celah atau mengisi rongga (Shroff, Shah, 1993).

Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi molaritas (6M, 8M dan 10 M) dan penambahan superplasticizer sampai 3 %. Dari hasil penelitian, ternyata kuat tekan tertinggi adalah pada campuran tanpa penambahan superplasticizer. Kuat tekan tertinggi pasta geopolimer terdapat pada campuran M10CA1.5SP0 yaitu 104,46 pada umur 28 hari dan kuat tekan tertinggi mortar geopolimer terdapat pada campuran M10CA1.5SP0 yaitu 71 pada umur 28 hari

Kata kunci : beton geopolimer, fly ash, sodium hydroxide, sodium silicate, self compacted concrete, superplasticizer, grouting.

SELF COMPACTED CONCRETE AND GROUTING FROM GEOPOLYMER CONCRETE

Name : Retno Trimurtiningrum
NRP. : 3104.100.084
Department : Teknik Sipil FTSP – ITS
Promotor : Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA
Ir. Aman Subakti, MS

ABSTRACT

Geopolymer concrete is a concrete that doesn't use cement as its binder. Therefore, geopolymer concrete is considered as a solution to solve the global warming problem that caused by portland cement production. Geopolymer concrete is expected to become a new alternative besides conventional concrete. The fresh geopolymer concrete has a stiff consistency and high viscosity, that makes geopolymer concrete not workable, whereas in placing concrete process, high workability is needed.

Self compacted concrete (SCC) is considered to solve the workability problem. SCC is concrete mix that is able to achieve full compaction under its own weight and doesn't need any vibration (Sugiharto, Kusuma, Himawan, Dharma, 2001). The methods of achieving self compactibility concrete that have been applied by Okamura and Ouchi (2003) are limited aggregate concrete, low water-powder ratio and use of superplasticizer as an additive. The addition of superplasticizer is expected to make fresh geopolymer concrete more workable and has longer setting time.

But, after the research has been done, one of the result is the addition of superplasticizer based on naphthalene sulphonated or polycarboxylic ether hyper plasticizer doesn't influence the setting time binder significantly. Geopolymer binder still set too fast after the addition of superplasticizer. It's really hard to make

geopolymer concrete in a big scale if the fresh geopolymer concrete has a short setting time, self compacted concrete is difficult to apply. So, it is concluded that geopolymer is more suitable for grout, because grout has a smaller scope of work than concrete. On the other hand, geopolymer paste is flowable so it is suitable for grouting.

Injection or pressure grouting is define as process of injecting cementitious material into inaccessible places such as underlying formations of foundations of structure, for the purpose of sealing seams, cracks and fissures or filling voids (Shroff, Shah, 1993).

This research use 2 variations, the variations are based on molarity (NaOH 6M, 8M and 10 M) and percentage of superplasticizer (0-3% of cementitious material). The compressive strength tests reveal that mixture with 0% addition of superplasticizer has the highest compressive strength. The highest compressive strength of geopolymer paste is achieved by mixture M10CA1.5SP0 with 104,46 MPa in 28 days and the highest compressive strength of geopolymer mortar is achieved by mixture M10CA1.5SP0 with 71 MPa in 28 days.

Keywords : geopolymer concrete, fly ash, sodium hydroxide, sodium silicate, self compacted concrete, superplaticizer, grouting.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas berkah dan limpahan rahmat-Nyalah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “ **SELF COMPACTED CONCRETE DAN GROUTING DARI BETON GEOPOLYMER** “.

Tugas Akhir ini adalah sebagai persyaratan kurikulum yang haru ditempuh oleh setiap mahasiswa Teknk Sipil ITS untuk menyelesaikan masa studi tingkat sarjananya (S1).

Penulis menyadari bahwa dalam Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu sangat diharapkan kritik atau saran yang bersifat membangun demi semakin sempurnanya Tugas Akhir ini.

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

- Prof. Dr. Ir. Triwulan dan Ir. Aman Subakti, MS selaku dosen pembimbing yang telah berkenan meluangkan waktu dan perhatian untuk penelitian ini.
- Seluruh laboran di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan serta Workshop Laboratorium Struktur yang telah banyak membantu pada saat praktikum.
- Pak Fakih, mbak Nurin, mas Handoko dari CIC yang telah banyak membantu penyediaan kebutuhan material serta ilmu yang telah dibagikan kepada kami.
- Bapak Waluyo dari Kontraktor Bima Wira Utama, terima kasih buat data hara materialnya pak.
- Orang tua yang selalu mendoakan dan menyemangati penulis untuk segera menyelesaikan stusi S1 nya.
- Ibusina Wirakusuma, terima kasih atas kesabaran, doa, dukungan dan bantuan yang sudah diberikan selama penyelesaian tugas akhir ini.
- Teman-teman praktikum laboratorium, terutama Andi, Hamka, Ica, Ari dan Hamzah, terima kasih atas bantuan yang sudah diberikan selama penyelesaian tugas akhir ini.



- Teman-teman S47 yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Juli 2008

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Rumusan Masalah.....	3
I.3. Maksud dan Tujuan Penulisan.....	4
I.4. Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
II.1. Dampak Produksi Semen Terhadap Lingkungan	7
II.2. Fly Ash	8
II.3. Penggunaan Fly Ash pada Beton.....	8
II.4. Beton Geopolymer	9
II.4.1. Unsur-unsur Pokok Beton Geopolymer	11
II.4.2. Proporsi Campuran.....	13
II.4.3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Sifat Beton Geopolymer.....	16
II.5. Self Compacted Concrete (SCC).....	18
II.5.1. Unsur-unsur Pokok Material	20
II.5.2. Metoda Pengetesan Self-Compactibility	25
II.6. Grout	28
II.6.1. Klasifikasi Grout Mix.....	29
II.6.2. Macam-Macam Campuran Grout.....	29
II.6.3. Persyaratan Grout.....	30
II.6.4. Pengetesan Grouting	31

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
III.1. Tahapan Pelaksanaan Penelitian	33
III.1.1. Studi Literatur	38
III.1.2. Mempersiapkan Material dan Alat serta Menganalisa Material yang akan Digunakan ...	38
III.1.2.1. Fly Ash	38
III.1.2.2. Cairan Alkali	38
III.1.2.3. Agregat Halus.....	41
III.1.2.4. Agregat Kasar.....	47
III.1.3. Pembuatan Benda Uji Trial Mix	53
III.1.4. Tes Benda Uji Kondisi Segar dan Keras.....	59
 BAB IV ANALISA DAN DATA	 85
IV.1. Analisa yang Dilakukan Terhadap Material	85
IV.1.1. Fly Ash.....	85
IV.1.2. Agregat Halus	86
IV.1.2.1. Data Hasil Percobaan Kelembaban Pasir..	86
IV.1.2.2. Data Hasil Percobaan Berat Jenis Pasir	87
IV.1.2.3. Data Hasil Percobaan Air Resapan pada Pasir	89
IV.1.2.4. Data Hasil Percobaan Berat Volume Pasir	90
IV.1.2.5. Data Hasil Percobaan Kadar Zat Organik.	91
IV.1.2.6. Data Hasil Percobaan Kadar Lumpur (Pencucian)	92
IV.1.2.7. Data Hasil Percobaan Analisa Saringan Agregat Halus	93
IV.1.3. Agregat Kasar	95
IV.1.3.1. Data Hasil Percobaan Kelembaban Batu Pecah	95
IV.1.3.2. Data Hasil Percobaan Berat Jenis Batu Pecah.....	97
IV.1.3.3. Data Hasil Percobaan Air Resapan pada Batu Pecah	99
IV.1.3.4. Data Hasil Percobaan Berat Volume	

Batu Pecah	102
IV.1.3.5. Data Hasil Percobaan Kadar Lumpur (Pencucian)	104
IV.1.3.6. Data Hasil Percobaan Keausan Agregat ...	107
IV.1.3.7. Data Hasil Percobaan Analisa Saringan Agregat Kasar	108
IV.2. Analisa Pengaruh Superplasticizer Terhadap Setting Time Pasta/Binder Geopolymer.....	110
IV.2.1. Perhitungan untuk mendapatkan massa fly ash, Na_2SiO_3 dan NaOH dalam kebutuhan setting time binder geopolymer	110
IV.2.2. Hasil Tes Setting Time Binder Geopolymer	112
IV.3. Perhitungan Kebutuhan Bahan yang Diperlukan untuk Tiap-Tiap Tes	132
IV.3.1. Perhitungan massa fly ash, NaOH dan Na_2SiO_3 yang dibutuhkan dalam test flow Cone	132
IV.3.2. Perhitungan massa fly ash, NaOH dan Na_2SiO_3 yang dibutuhkan dalam test flow Table.....	134
IV.3.3. Perhitungan massa fly ash, NaOH dan Na_2SiO_3 yang dibutuhkan dalam test setting time	136
IV.3.4. Perhitungan massa fly ash, NaOH dan Na_2SiO_3 yang dibutuhkan dalam Pembuatan benda uji tes tekan	139
IV.3.5. Perhitungan massa fly ash, NaOH dan Na_2SiO_3 yang dibutuhkan dalam pembuatan benda uji tes susut	142
IV.3.6. Menentukan proporsi bahan mortar Geopolymer	143
IV.3.7. Perhitungan massa fly ash, pasir, NaOH dan Na_2SiO_3 yang dibutuhkan dalam test flow Table.....	146
IV.3.8. Perhitungan massa fly ash, pasir, NaOH dan	

Na ₂ SiO ₃ yang dibutuhkan dalam tes tekan mortar.....	148
IV.3.9. Perhitungan massa fly ash, pasir, NaOH dan Na ₂ SiO ₃ yang dibutuhkan dalam test tekan susut.....	151
IV.4. Analisa Terhadap Campuran Pasta dan mortar geopolimer dalam Kondisi Segar maupun Keras	153
IV.4.1. Analisa Tes Setting Time	153
IV.4.2. Analisa Tes Flow Cone	191
IV.4.3. Analisa Hasil Tes Flow Table	194
IV.4.4. Analisa Tes Tekan.....	196
IV.4.4.1. Analisa tes tekan binder geopolimer .	196
IV.4.4.2. Analisa tes tekan mortar geopolimer.	229
IV.4.5. Analisa Tes Susut.....	237
IV. 5. Analisa Biaya.....	249
V. KESIMPULAN DAN SARAN	253
V.1. Kesimpulan	253
V.2. Saran	255
DAFTAR PUSTAKA.....	257
BIODATA PENULIS.....	259

DAFTAR GAMBAR

2.1.	Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dengan Waktu Curing.....	17
2.2.	Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dengan Temperatur Curing	17
2.3.	Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dengan Umur Beton	18
2.4.	Perbandingan Agregat Kasar dalam Beton dan Agregat Halus dalam Mortar	22
2.5.	Reaksi tarik-menarik antar partikel semen sebelum penambahan superplasticizer	23
2.6.	Adanya electrostatic repulsion akibat dari penambahan naphthalene	23
2.7.	Struktur Molekul Dari <i>Naphtalene</i> dan mekanisme kerja naphthalene	24
2.8.	Mekanisme kerja <i>Polycarboxylic</i>	24
2.9.	Struktur molekul <i>polycarboxylic</i>	25
2.10.	Alat U-Flow Test dan L-Box Test	26
2.11.	Slump Flow Test	27
2.12.	V-Funnel Test	28
2.13.	Flow Cone	31
2.14.	Meja Alir dan Cincin Leleh	32
3.1.	Fly ash	38
3.2.	Kepingan Sodium Hidroksida (NaOH).....	39
3.3.	Sodium silikat (NaSi2O3).....	39
3.4.	Binder geopolimer yang telah dimasukkan di cetakan	54
3.5.	Binder geopolimer yang telah mengeras.....	55
3.6.	Cetakan Mortar	57
3.7.	Pencetakan Mortar geopolimer	58
3.8.	Curing binder geopolimer dengan cara dibungkus plastik	58
3.9.	Curing mortar geopolimer dengan cara ditutup plastik	59

3.10. Tes setting time pasta.....	61
3.11. Corong air	63
3.12. Tes meja alir.....	64
3.13. Cetakan Susut.....	66
3.14. Benda uji susut yang dicuring.....	67
3.15. Tes susut.....	67
3.16. Base Plate.....	70
3.17. Base Plate dan Abram Cone	70
3.18. Dimensi cincin pemberat	71
3.19. Detail L-box	75
3.20. V-Funnel	78
3.21. Tes tekan mortar	83
4.1. Grafik lengkung ayakan pasir	94
4.2. Grafik lengkung ayakan pasir zona 2.....	94
4.3. Grafik lengkung ayakan batu pecah gabungan	109
4.4. Grafik lengkung ayakan batu pecah gabungan Zona 3/4 sampai 3/16 in.....	110
4.5. Grafik Tes Setting time Binder M10CA1.5SP0.....	113
4.6. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP1N	115
4.7. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP3N	116
4.8. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP5N	118
4.9. Grafik Tes Settnng Time Binder M10CA1.5SP15N	119
4.10. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP1P	121
4.11. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP3P	123
4.12. Grafik Tes Setting Time Bnder M10CA1.5SP5P	124
4.13. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP15P	126
4.14. Pengaruh Napthalene terhadap Setting Awal Binder Geopolymer	128
4.15. Pengaruh Polycarboxylic terhadap Setting Awal Binder Geopolymer.....	129
4.16. Pengaruh Napthalene terhadap Setting Akhir Binder Geopolymer	129
4.17. Pengaruh Polycarboylic terhadap Setting Akhir Binder Geopolymer.....	130
4.18. Hasil campuran mortar trial mix 1	144

4.19. Hasil campuran mortar trial mix 1 yang telah dicetak	145
4.20. Hasil campuran mortar trial mix 2 yang telah dicetak ...	145
4.21. Grafik Tes Setting Time Binder M6CA1.5SP0	154
4.22. Grafik Tes Setting Time Binder M6CA1.5SP1N	155
4.23. Grafik Tes Setting Time Binder M6CA1.5SP2N	156
4.24. Grafik Tes Setting Time Binder M6CA1.5SP3N	158
4.25. Grafik Tes Setting Time Binder M6CA1.5SP1P	159
4.26. Grafik Tes Setting Time Binder M6CA1.5SP2P	161
4.27. Grafik Tes Setting Time Binder M6CA1.5SP3P	163
4.28. Grafik Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP0	164
4.29. Grafik Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP1N	166
4.30. Grafik Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP2N	168
4.31. Grafik Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP3N	169
4.32. Grafik Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP1P	171
4.33. Grafik Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP2P	173
4.34. Grafik Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP3P	175
4.35. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP0	176
4.36. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP1N	178
4.37. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP2N	180
4.38. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP3N	182
4.39. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP1P	183
4.40. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP2P	185
4.41. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP3P	187
4.42. Grafik Pengaruh Molaritas dan Penambahan Superplasticizer Napthalene terhadap waktu setting	190
4.43. Grafik Pengaruh Molaritas dan Penambahan Superplasticizer Polycarboxylic terhadap waktu setting	190
4.44. Grafik Kuat Tekan Binder M10CA1.5SP0	199
4.45. Grafik Kuat Tekan Binder M10CA1.5SP1N	199
4.46. Grafik Kuat Tekan Binder M10CA1.5SP2N	200
4.47. Grafik Kuat Tekan Binder M10CA1.5SP3N	201
4.48. Grafik Kuat Tekan Binder M10CA1.5SP1P	202

4.49. Grafik Kuat Tekan Binder M10CA1.5SP2P	202
4.50. Grafik Kuat Tekan Binder M10CA1.5SP3P	203
4.51. Grafik Kuat Tekan Binder M8CA1.5SP0	205
4.52. Grafik Kuat Tekan Binder M8CA1.5SP1N	205
4.53. Grafik Kuat Tekan Binder M8CA1.5SP2N	206
4.54. Grafik Kuat Tekan Binder M8CA1.5SP3N	207
4.55. Grafik Kuat Tekan Binder M8CA1.5SP1P	208
4.56. Grafik Kuat Tekan Binder M10CA1.5SP2P	209
4.57. Grafik Kuat Tekan Binder M8CA1.5SP3P	209
4.58. Grafik Kuat Tekan Binder M6CA1.5SP0	212
4.59. Grafik Kuat Tekan Binder M6CA1.5SP1N	212
4.60. Grafik Kuat Tekan Binder M6CA1.5SP2N	213
4.61. Grafik Kuat Tekan Binder M6CA1.5SP3N	214
4.62. Grafik Kuat Tekan Binder M6CA1.5SP1P	215
4.63. Grafik Kuat Tekan Binder M6CA1.5SP2P	215
4.64. Grafik Kuat Tekan Binder M6CA1.5SP3P	216
4.65. Grafik Kuat Tekan Binder M10CA1.5 terhadap penambahan Napthalene	217
4.66. Grafik Kuat Tekan Binder M10CA1.5 terhadap penambahan polycarboxylic	217
4.67. Grafik Kuat Tekan Binder M8CA1.5 terhadap penambahan Napthalene	219
4.68. Grafik Kuat Tekan Binder M8CA1.5 terhadap penambahan Polycarboxylic	219
4.69. Grafik Kuat Tekan Binder M6CA1.5 terhadap penambahan Napthalene	220
4.70. Grafik Kuat Tekan Binder M6CA1.5 terhadap penambahan Polycarboxylic	220
4.71. Grafik Kuat Tekan Binder terhadap variasi Molaritas NaOH.....	223
4.72. Grafik Kuat Tekan Binder (penambahan SP 1 % napthalene terhadap variasi Molaritas NaOH).....	224
4.73. Grafik Kuat Tekan Binder (penambahan SP 2 % napthalene terhadap variasi Molaritas NaOH).....	224
4.74. Grafik Kuat Tekan Binder (penambahan SP 3 %	

naphthalene terhadap variasi Molaritas NaOH).....	225
4.75. Grafik Kuat Tekan Binder (penambahan SP 1 % polycarboxylic terhadap variasi Molaritas NaOH)	225
4.76. Grafik Kuat Tekan Binder (penambahan SP 2 % polycarboxylic terhadap variasi Molaritas NaOH)	226
4.77. Grafik Kuat Tekan Binder (penambahan SP 3 % polycarboxylic terhadap variasi Molaritas NaOH)	226
4.78. Grafik Kuat Tekan Mortar M10CA1.5SP0	232
4.79. Grafik Kuat Tekan Mortar M10CA1.5SP1N	232
4.80. Grafik Kuat Tekan Mortar M10CA1.5SP2N	233
4.81. Grafik Kuat Tekan Mortar M10CA1.5SP3N	234
4.82. Grafik Kuat Mortar M10CA1.5 terhadap variasi penambahan superplasticizer naphthalene	235
4.83. Perubahan Panjang Pasta Geopolimer M10CA1.5SP0 ..	239
4.84. Perubahan Panjang Pasta Geopolimer M8CA1.5SP0	241
4.85. Perubahan Panjang Pasta Geopolimer M6CA1.5SP0	243
4.86. Perubahan Panjang Pasta Geopolimer dengan variasi Molaritas	244
4.84. Perubahan Panjang Mortar Geopolimer campuran M10CA1.5SP0	248

DAFTAR TABEL

2.1. Spesifikasi Hasil Pengetesan High Strength Self Compacted Concrete Kondisi Segar	28
2.2. Persyaratan Material Grout	30
2.3. Waktu setting untuk multi purpose grout.....	31
3.1. Presisi penyebaran slump flow dan waktu flow T50	73
3.2. Presisi Passing L-box dan rasio blocking.....	77
3.3. Presisi waktu flow V-funnel.....	80
4.1. Tabel komposisi kimia fly ash	85
4.2. Kelembaban Pasir (ASTM C 566 - 89)	86
4.3. Berat Jenis Pasir (ASTM C 128-78)	87
4.4. Air Resapan pada Pasir (ASTM C 128- 93)	89
4.5. Berat Volume Pasir (ASTM C 29 – 91)	90
4.6. Kadar Zat Organik (ASTM C 40 – 92)	91
4.7. Kebersihan Pasir terhadap Lumpur dengan Cara Pencucian (ASTM C 117- 95)	92
4.8. Hasil analisa saringan agregat halus.....	93
4.9. Kelembaban Batu Pecah (5-10 mm) (ASTM 566-89)	95
4.10. Kelembaban Batu Pecah (10-20 mm) (ASTM 566-89)	96
4.11. Berat Jenis Batu Pecah (5-10 mm) (ASTM C 127-88-93)	97
4.12. Berat Jenis Batu Pecah (10-20 mm) (ASTM C 127-88-93)	98
4.13. Air Resapan pada Batu Pecah (5-10 mm) (ASTM C 127-88 Reapp 93)	99
4.14. Air Resapan pada Batu Pecah (10-20 mm) (ASTM C 127-88 Reapp 93).....	100
4.15. Berat Volume Batu Pecah (5-10 mm) (ASTM C 29 – 91)	102
4.16. Berat Volume Batu Pecah (10-20 mm) (ASTM C 29 – 91)	103

4.17. Kebersihan Batu Pecah (5-10 mm) terhadap Lumpur dengan cara Pencucian (ASTM C117 – 95)	104
4.18. Kebersihan Batu Pecah (10-20 mm) terhadap lumpur dengan cara Pencucian (ASTM C117 – 95)	105
4.19. Percobaan Keausan Agregat (ASTM C 131 –89)	107
4.20. Hasil analisa saringan agregat kasar (Batu pecah 5-10).....	108
4.21. Hasil analisa saringan agregat kasar (Batu pecah 10-20).....	108
4.22. Hasil analisa saringan agregat kasar gabungan.....	109
4.23. Kebutuhan Benda Uji tes setting time dalam gram	112
4.24. Hasil Setting time binder M10CA1.5SP0	113
4.25. Hasil Setting time binder M10CA1.5SP1(N)	114
4.26. Hasil Setting time binder M10CA1.5SP3(N)	116
4.27. Hasil Setting time binder M10CA1.5SP5(N).....	117
4.28. Hasil Setting time binder M10CA1.5SP15(N)	118
4.29. Hasil Setting time binder M10CA1.5SP1P	121
4.30. Hasil Setting time binder M10CA1.5SP3P	122
4.31. Hasil Setting time binder M10CA1.5SP5P.....	124
4.32. Hasil Setting time binder M10CA1.5SP15P	125
4.33. Hasil Setting time Awal Binder M10CA1.5 dengan Variasi Penambahan Napthalene	128
4.34. Hasil Setting time Awal Binder M10CA1.5 dengan Variasi Penambahan Polycarboxylic	128
4.35. Hasil Setting time Akhit Binder M10CA1.5 dengan Variasi Penambahan Napthalene	129
4.36. Hasil Setting time Akhir Binder M10CA1.5 dengan Variasi Penambahan Polycarboxylic	130
4.37. Kebutuhan Bahan untuk tes flow cone dalam gram.....	133
4.38. Kebutuhan Bahan untuk tes flow table dalam gram	136
4.39. Kebutuhan Bahan untuk tes setting time dalam gram	138
4.40. Kebutuhan Bahan untuk Pembuatan Benda Uji Tes Tekan Binder dalam gram	140

4.41. Jumlah Kebutuhan Benda Uji Tes Tekan Binder	141
4.42. Kebutuhan Bahan untuk pengetesan flow table mortar dalam gram.....	148
4.43. Kebutuhan Bahan untuk pembuatan benda uji mortar dalam gram.....	150
4.44. Kebutuhan benda uji mortar.....	150
4.45. Kebutuhan Bahan untuk pembuatan benda uji susut mortar dalam gram	153
4.46. Hasil Setting Time M6CA1.5SP0	153
4.47. Hasil Setting Time M6CA1.5SP1N	155
4.48. Hasil Setting Time Binder M6CA1.5SP2N	156
4.49. Hasil Setting Time Binder M6CA1.5SP3N	157
4.50. Hasil Setting Time Binder M6CA1.5SP1P	159
4.51. Hasil Setting Time Binder M6CA1.5SP2P	160
4.52. Hasil Setting Time Binder M6CA1.5SP3P	162
4.53. Hasil Setting Time Binder M8CA1.5SP0	163
4.54. Hasil Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP1N	165
4.55. Hasil Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP2N	167
4.56. Hasil Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP3N	169
4.57. Hasil Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP1P	170
4.58. Hasil Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP2P	172
4.59. Hasil Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP3P	174
4.60. Hasil Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP0	176
4.61. Hasil Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP1N	177
4.62. Hasil Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP2N	179
4.63. Hasil Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP3N	181
4.64. Hasil Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP1P	183
4.65. Hasil Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP2P	184
4.66. Hasil Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP3P	186
4.67. Setting Awal dan Setting Akhir Binder M10CA1.5 dengan variasi superplasticizer.....	188
4.68. Setting Awal dan Setting Akhir Binder M8CA1.5 dengan variasi superplasticizer	189
4.69. Setting Awal dan Setting Akhir Binder M6CA1.5 dengan variasi superplasticizer	189

4.70. Waktu alir pasta geopolymer NaOH 10 M dengan variasi penambahan superplasticizer	192
4.71. Waktu alir pasta geopolymer NaOH 6M, 8M dan 10M tanpa variasi superplasticizer	192
4.72. Hasil Percobaan Flow Table untuk pasta geopolimer....	194
4.73. Hasil Percobaan Flow Table untuk mortar geopolimer .	195
4.74. Hasil Tes Kuat Tekan Binder Geopolymer dengan NaOH 10 M dan variasi superplasticizer naphthalene ...	197
4.75. Hasil Tes Kuat Tekan Binder Geopolymer dengan NaOH 8 M dan variasi superplasticizer polycarboxilic.....	204
4.76. Hasil Tes Kuat Tekan Binder Geopolymer dengan NaOH 6 M dan variasi superplasticizer.....	211
4.77. Kuat tekan M10CA1.5 variasi superlasticizer pada umur 7 hari dan 28 hari	228
4.78. Kuat tekan M8CA1.5 variasi superlasticizer pada umur 7 hari dan 28 hari	228
4.79. Kuat tekan M6CA1.5 variasi superlasticizer pada umur 7 hari dan 28 hari	229
4.80. Hasil tes kuat tekan mortar geopolimer M10CA1.5 dengan variasi prosentase superplasticizer naphthalene .	231
4.81. Kuat tekan mortar M10CA1.5 variasi superlasticizer pada umur 7 hari dan 28 hari.....	236
4.82. Perubahan Panjang campuran pasta geopolimer M10CA1.5SP0	238
4.83. Perubahan Panjang campuran pasta geopolimer M8CA1.5SP0	240
4.84. Perubahan Panjang campuran pasta geopolimer M6CA1.5SP0	242
4.85. Perubahan panjang campuran mortar geopolimer M10CA1.5SP0	247
4.86. Perhitungan biaya untuk campuran pasta M10CA1.5SP0	250
4.87. Perhitungan biaya untuk campuran mortar M10CA1.5SP0	252

BABI PENDAHULUAN

I.1.LATAR BELAKANG

Beton sebagai salah satu material bangunan mempunyai beberapa keuntungan seperti dapat dicetak menurut bentuk yang dikehendaki, material yang digunakan seperti kerikil dan batu pecah mudah diperoleh dimana-mana sehingga harganya relative murah, dalam pembuatan beton tenaga unskill dan semi skill banyak terlibat dibanding dengan yang skill labour, dan juga untuk struktur sederhana alat-alat yang dibutuhkan tidak terlalu canggih (Subakti,1995). Keuntungan-keuntungan tersebut menyebabkan beton lebih banyak digunakan dari pada bahan konstruksi lain, seperti kayu dan baja. Oleh karena itu, kebutuhan terhadap semen, sebagai bahan penting dalam pembuatan beton terus meningkat. Produksi semen di Indonesia sampai tahun 1992 diperkirakan mencapai 18 juta ton (Subakti,1995). Akan tetapi, proses produksi semen berdampak buruk terhadap lingkungan. Produksi semen Portland berkontribusi melepaskan sekitar 1.35 milyar ton gas emisi rumah kaca per tahun atau sekitar 7 % dari total gas emisi rumah kaca ke atmosfer (Hardjito, Rangan,2005). Hal tersebutlah yang merupakan salah satu faktor pendorong untuk ditemukannya bahan pengikat (binder) lain selain semen, sehingga dapat menciptakan beton yang lebih ramah lingkungan.

Beton Geopolymer adalah beton yang tidak menggunakan semen sebagai binder. Beberapa kesimpulan dari penelitian-penelitian sebelumnya mengenai binder beton geopolymer adalah Davidovits (1999) mengemukakan bahwa binder dapat diproduksi melalui reaksi polimerisasi dari cairan alkaline dengan silicon dan alumunium dalam sumber material dari bumi atau material hasil sampingan seperti *fly ash* dan *rice husk ash* (abu sekam) (Hardjito, Rangan, 2005) dan Palomo (1999) mengusulkan bahwa pozzolan seperti *blast furnace slag* (sisir pembakaran tanur baja)

dapat direaksikan dengan menggunakan cairan alkaline untuk membentuk binder dan karenanya dapat menggantikan penggunaan OPC dalam beton secara keseluruhan (Hardjito, Rangan, 2005). Cairan alkaline yang umum digunakan untuk pembentukan geopolymer adalah kombinasi antara *sodium hydroxide* (NaOH) atau *potassium hydroxide* (KOH) dan *sodium silicate* atau *potassium silicate* (Davidovits 1999 dalam Hardjito, Rangan, 2005). Pada kondisi segar beton geopolymer mempunyai sifat kekentalan yang kaku (Hardjito, Wallah, Sumajouw, Rangan, 2004), padahal dalam proses pengecoran, workabilitas beton sangat dibutuhkan untuk mempermudah pelaksanaan di lapangan.

Untuk mengatasi permasalahan workabilitas beton, pada tahun 1988 di Jepang ditemukan salah satu inovasi beton yaitu *self compacted concrete*(SCC) yang tidak memerlukan penggetaran dalam proses pengecoran dan pemadatan beton. SCC dapat mengalir mengandalkan berat sendirinya, mengisi ruang dalam bekisting dan mencapai pemadatan walaupun pada kondisi yang rapat dengan tulangan (The European Guidelines for SCC, 2005). Oleh karena itu, SCC dapat mempermudah pelaksanaan di lapangan, karena mempunyai tingkat workabilitas yang tinggi. SCC yang mengeras bersifat padat, homogen dan mempunyai sifat-sifat *engineer* dan durabilitas yang sama dengan beton konvensional yang ditetarkan (The European Guidelines for SCC, 2005). Beberapa metoda yang telah diterapkan Okamura dan Ouchi (2003) untuk memperoleh sifat beton yang *self-compactibility* adalah :membatasi kandungan agregat, rasio *water-powder* yang rendah dan penggunaan bahan *additive* seperti *superplasticizer*.

Selain untuk pembuatan beton, pekerjaan *mixing* yang tidak kalah penting adalah *mixing* untuk pekerjaan grouting. Grout sangat diperlukan dalam beberapa pekerjaan struktur, seperti : pada pekerjaan perbaikan struktur beton, mengisi tendon beton pratekan, melevelkan kaki kolom plat baja pada bangunan industri, perbaikan tanah, dsb. Material yang biasa digunakan

untuk campuran grout adalah semen. Selain semen, terdapat beberapa material hasil samping produk yang dapat digunakan sebagai bahan tambahan atau pengganti semen pada grout semen portland biasa. Material yang dapat digunakan sebagai pengganti semen adalah yang mengandung silika dalam jumlah yang signifikan. Beberapa material sampingan yang kaya akan silika adalah *fly ash* dan *ground granulated blast furnace slag*. Penggunaan material hasil samping produk ini dapat membantu mengatasi masalah lingkungan yaitu *waste disposal* (Domone, Jefferis, 1994).

Oleh karena itu, diharapkan dalam penelitian ini dapat menentukan bahan additive yang sesuai untuk menambah workabilitas geopolymer, sehingga geopolymer dapat diaplikasikan untuk pembuatan beton geopolymer yang bersifat *self-compacted* dan grouting serta mengetahui sifat fisik dan mekaniknya.

1.2.RUMUSAN MASALAH :

Rumusan masalah mengenai self compacted concrete dari beton geopolymer, adalah sebagai berikut :

1. Apa sajakah komposisi kimia yang terkandung dalam fly ash yang digunakan?
2. Additive apa yang dapat digunakan sehingga membuat sifat beton geopolymer menjadi *self-compacted*?
3. Bagaimanakah perilaku fisik dan mekanik dari beton geopolymer yang bersifat *self-compacted* terhadap molaritas larutan NaOH?
4. Bagaimanakah perilaku fisik dan mekanik dari beton geopolymer yang bersifat *self-compacted* terhadap prosentase *additive* yang terdapat dalam campuran beton?
5. Bagaimanakah perilaku fisik dan mekanik dari geopolymer sebagai material grout terhadap molaritas larutan NaOH?

6. Bagaimanakah perilaku fisik dan mekanik dari geopolymer sebagai material grout terhadap prosentase *additive* yang terdapat dalam campuran grout?
7. Manakah komposisi mix desain yang menghasilkan kuat tekan yang paling optimum dan berapa biaya yang diperlukan untuk pembuatannya?

I.3. MAKSUD DAN TUJUAN PENULISAN :

1. Untuk mengetahui komposisi kimia apa saja yang terdapat dalam *fly ash* yang digunakan
2. Untuk menentukan *additive* yang dapat digunakan untuk membuat beton geopolymer bersifat *self-compacted*.
3. Untuk mengetahui perilaku fisik dan mekanik beton geopolymer yang bersifat *self-compacted* terhadap molaritas larutan NaOH
4. Untuk mengetahui perilaku fisik dan mekanik beton geopolymer yang bersifat *self-compacted* terhadap prosentase *additive* yang terdapat dalam campuran beton
5. Untuk mengetahui perilaku fisik dan mekanik geopolymer sebagai material grout terhadap molaritas larutan NaOH
6. Untuk mengetahui perilaku fisik dan mekanik geopolymer sebagai material grout terhadap prosentase *additive* yang terdapat dalam campuran beton.
7. Untuk mengetahui komposisi mix desain yang menghasilkan kuat tekan yang paling optimum serta biaya dan yang diperlukan untuk membuat komposisi tersebut.

I.4. BATASAN MASALAH :

Batasan – batasan dalam penelitian ini, antara lain :

1. Material pembentuk binder yang digunakan adalah *fly ash*.
2. Molaritas NaOH yang digunakan adalah 6M, 8 M dan 10 M.
3. Perbandingan massa activator yang digunakan adalah 1,5.

4. Tidak membahas reaksi-reaksi kimia yang terdapat dalam beton geopolymer.
5. Komposisi yang paling baik dipilih berdasarkan kuat tekan yang paling tinggi.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1. DAMPAK PRODUKSI SEMEN TERHADAP LINGKUNGAN

Produksi sekitar satu ton *Portland cement* membutuhkan $\pm 2,8$ ton material mentah, termasuk bahan bakar dan material lain dan menghasilkan 5 sampai 10 % debu, semuanya sekitar 6000-14000 m³ aliran udara yang mengandung debu dilepaskan setiap produksi satu ton semen (Khale, Chandary, 2007).

Proses produksi semen juga berkontribusi melepaskan sekitar 1.35 milyar ton gas emisi rumah kaca per tahun atau sekitar 7 % dari total gas emisi rumah kaca ke atmosfer (Hardjito, Rangan, 2005). Gas emisi rumah kaca atau gas emisi CO₂ yang dilepaskan menyebabkan efek rumah kaca yang berkontribusi terhadap kenaikan temperatur global yang menghasilkan perubahan iklim (Hardjito, Rangan, 2005). Oleh karena itu, strategi untuk mempertahankan beton sebagai bahan konstruksi material dalam pengembangan infrastruktur, dan membuat beton menjadi material yang ramah lingkungan di masa mendatang telah diuraikan. (Mehta 2001:Plenge 2001 diambil dari Hardjito, Rangan, 2005).

Mehta (2002) diambil dari Hardjito, Wallah, Sumajouw, Rangan, (2004) menyarankan langkah-langkah untuk memproduksi beton yang ramah lingkungan adalah :

- Usaha jangka pendek yaitu : usaha untuk menggunakan lebih sedikit sumber daya alam, menggunakan sedikit energi dan meminimalkan emisi CO₂.
- Usaha jangka panjang yaitu : mengurangi dampak dari hasil samping produksi yang tidak diinginkan dengan mengurangi tingkat konsumsi material.

II.2. FLY ASH

Fly ash adalah bubuk halus sisa pembakaran batubara atau bubuk batubara yang ditransportasikan melalui cerobong gas dari zona pembakaran ke system pembuangan partikel (ACI Committee 232 2004 diambil dari Hardjito, Rangan, 2005). *Fly ash* diambil dari gas hasil pembakaran dengan menggunakan system pengumpul debu secara mekanik atau dengan menggunakan *electronic precipitators* sebelum gas tersebut dilepaskan ke atmosfer. Partikel *fly ash* berbentuk bola, lebih halus daripada *portland cement* dan berdiameter kurang dari $1\mu\text{m}$ dan tidak lebih dari $150\mu\text{m}$ (Hardjito, Rangan, 2005).

Fly ash dibagi menjadi 2 tipe, yaitu tipe C dan F. *Fly ash* tipe C disebut juga *high-calcium fly ash* adalah *fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran batubara subbitumes dan mengandung lebih dari 20 persen CaO . *Fly ash* tipe F disebut juga *low-calcium fly ash* adalah *fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran batubara antrasit atau batubara bitomius dan mengandung kurang dari 10 persen CaO .

II.3. PENGGUNAAN FLY ASH PADA BETON

Salah satu usaha untuk memproduksi beton yang lebih ramah lingkungan adalah mengurangi penggunaan OPC dengan menggantikan sejumlah semen dalam beton dengan material hasil sampingan seperti *fly ash*. Sebagai bahan pengganti semen, *fly ash* berperan sebagai pozolan buatan, dimana kandungan SiO_2 yang terdapat didalamnya bereaksi dengan CaOH yang berasal dari proses hidrasi semen untuk membentuk gel calcium-silicate-hydrate (C-S-H) (Hardjito, Rangan, 2005).

Partikel *fly ash* yang berbentuk bola membantu meningkatkan workabilitas beton segar dan partikelnya yang kecil juga berperan sebagai pengisi pori-pori di dalam beton, sehingga menghasilkan beton yang padat dan durable (awet) (Hardjito, Rangan, 2005). Selain itu, penggunaan *fly ash* dalam produksi beton mempunyai beberapa keuntungan yang bersifat lingkungan, yaitu : mengurangi produksi gas efek rumah kaca, mengurangi

jumlah *fly ash* yang harus dibuang ke lahan pembuangan dan menghemat pemakaian maerial dan sumber daya alam (ACAA 2003 diambil dari Hardjito, Rangan,2005).

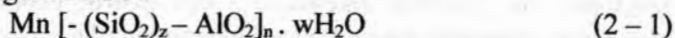
Salah satu hasil yang penting dalam penggunaan *fly ash* pada beton adalah pengembangan HVFA (*High Volume Fly Ash*) yang berhasil menggantikan penggunaan OPC sampai lebih dari 60 %.dan beton HVFA telah dibuktikan mempunyai sifat lebih *durable* dan dapat menghemat sumber daya alam jika dibandingkan dengan beton OPC (Maholtra 2002 diambil dari Hardjito, Rangan,2005).

II.4. BETON GEOPOLYMER

Pada tahun 1978, Davidovits mengemukakan bahwa binder dapat diproduksi melalui reaksi polimerisasi dari cairan *alkaline* dengan *silicon* dan *alumunium* dalam sumber material dari bumi atau material hasil sampingan seperti *fly ash* dan *rice husk ash* (abu sekam). Karena reaksi kimia yang terjadi adalah proses polimerisasi, maka Davidovits menemukan istilah "*Geopolymer*" untuk mewakili binder tersebut (Hardjito, Rangan, 2005).

Secara umum, *geopolymer* terbentuk dari reaksi antara bubuk *aluminosilicate* dengan larutan alkali pada kondisi lingkungan (www.wikipedia.com). Gel *geopolymer* yang terbentuk mengikat agregat kasar, agregat halus dan material lain yang tidak bereaksi untuk membentuk beton *geopolymer* (Hardjito, Wallah, Sumajouw, Rangan, 2004).

Proses polimerisasi yang terjadi akibat reaksi kimia antara mineral Si-Al dengan larutan alkali menghasilkan rantai *polimeric* tiga dimensi dan stuktur cincin yang meliputi ikatan Si-O-Al-O sebagai berikut :



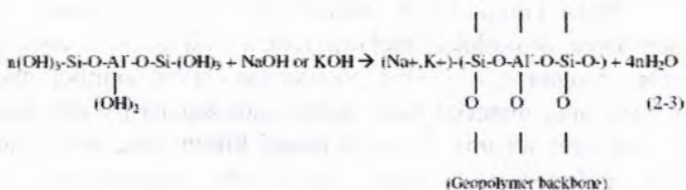
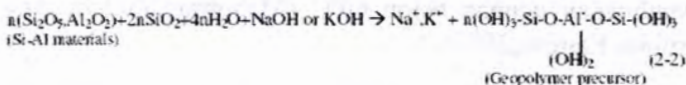
Dimana :

M = elemen alkali atau kation seperti *potassium*, *sodium* atau kalsium

n = derajat polikondensasi atau polimerisasi

$z = 1,2,3$ atau lebih hingga mencapai 32
(Davidovits, 1999 diambil dari Hardjito, Rangan, 2005).

Skema pembentukkan beton *geopolymer* dapat dilihat pada persamaan (2 - 2) dan (2 - 3) (van Jaarsveld dkk,1997 ; Davidovits,1999 diambil dari Hardjito, Rangan,2005)



Reaksi kimia yang terjadi dalam proses pembentukan geopolymer terdiri dari beberapa langkah, yaitu (Davidovits, 1999; Xu and van Deventer, 2000 diambil dari Hardjito, Rangan ,2005) :

1. Terputusnya atom Si dan Al dari sumber material oleh ion hidroksida pada larutan alkali.
2. *Condensation* dari *precursors ion* menjadi monomer.
3. Pembentukan monomer menjadi struktur polimer melalui proses *polycondensation/polymerisation*.

Persamaan (2 - 3) menyatakan bahwa air dilepaskan selama reaksi kimia terjadi dalam pembentukkan beton *geopolymer*. Air tersebut dikeluarkan dari matrik geopolymer selama masa perawatan (*curing*) dan pengeringan. Air yang ada di dalam campuran *geopolymer* tidak mempunyai peranan dalam reaksi kimia yang terjadi dan hanya berpengaruh pada workabilitas beton. Hal inilah yang membedakannya dengan

reaksi kimia air dalam campuran semen selama proses hidrasi berlangsung (Hardjito, Rangan, 2005).

Geopolymer dapat terbentuk dari salah satu diantara 3 bentuk dasarnya (Davidovits diambil dari Hardjito, Rangan, 2005), yaitu :

- Poly (sialate), yang mempunyai [-Si-O-Al-O-] sebagai unit yang berulang.
- Poly (sialate-siloxo), yang mempunyai [-Si-O-Al-O-Si-O] sebagai unit yang berulang.
- Poly (sialate-disiloxo), yang mempunyai [-Si-O-Al-O-Si-O-Si-O] sebagai unit yang berulang.

II.4.1. UNSUR-UNSUR POKOK BETON GEOPOLYMER

II.4.1.1. SUMBER MATERIAL

Sumber material yang dapat digunakan untuk pembentukan geopolymer adalah material yang banyak mengandung *Silicon (Si)* dan *aluminium (Al)*. Beberapa mineral dan hasil samping produksi yang telah diteliti sebagai sumber material pembentukan geopolymer adalah *metakaolin* atau *kaolin* yang dibakar (Davidovits 1999 :Barbosa et al 2000; Teixeira-Pinto et al 2000 diambil dari Hardjito, Rangan,2005), *Low-calcium ASTM Class F fly ash* (Palomo et al 1999; Swanepoel and Strydom 2002 diambil dari Hardjito, Rangan,2005), mineral alami Si-Al (Xu dan van Deventer 2002 diambil dari Hardjito, Rangan,2005), kombinasi *fly ash* dan *metakaolin* (Swanepoel dan Strydom 2002; van Jaarsveld et al 2002 diambil dari Hardjito, Rangan,2005), dan kombinasi butiran *blast furnace slag* (sisa pembakaran tanur baja) dan *metakaolin* (Cheng dan Chiu 2003 diambil dari Hardjito, Rangan,2005).

Metakaolin lebih disukai oleh para produsen *geopolymer* karena mempunyai tingkat kehancuran yang tinggi dalam larutan rektan, lebih mudah mengontrol rasio Si/Al dan berwarna putih (Gourley 2003 diambil dari Hardjito, Rangan,2005). Akan tetapi,

penggunaan *metakaolin* sangat mahal untuk produksi beton *geopolymer* secara massal (Hardjito, Rangan,2005).

Low-calcium (ASTM Class F) fly ash lebih disarankan daripada *high-calcium (ASTM Class C) fly ash*. Adanya kandungan kalsium dalam jumlah banyak dapat mengganggu proses polimerisasi dan mengubah *microstructure* (Gourley 2003 diambil dari Hardjito, Rangan,2005).

Davidovits (1999) membakar *kaolin clay* selama 6 jam pada suhu 750 °C. Dia menyebut *metakaolin* tersebut sebagai KANDOXI (KAolinite, Nacrite, Dickite OXide) dan menggunakannya untuk membuat *geopolymer*. Untuk tujuan pembuatan *geopolymer*, dia menyarankan rasio molaritas antara material Si dan Al sebaiknya sekitar 2 (Hardjito, Rangan,2005).

Pada sumber material alami, telah dinyatakan bahwa sumber material yang dibakar seperti *fly ash*, *slag*, *kaolin* yang dibakar menunjukkan kekuatan tekan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan material yang tidak dibakar *kaolin clay* dan mineral-mineral yang terbentuk secara alami (Barbosa et al 2000 diambil dari Hardjito, Rangan,2005). Akan tetapi, Xu dan van Deventer (2002) menemukan bahwa penggunaan material yang dibakar seperti *fly ash* dan material yang tidak dibakar seperti *kaolinite* atau *kaolin clay* secara kombinasi dapat menghasilkan peningkatan yang signifikan terhadap kuat tekan dan pengurangan waktu reaksi (Hardjito, Rangan,2005).

Diantara banyak hasil sampingan produksi, hanya *fly ash* dan *slag* yang telah dibuktikan berpotensi untuk menjadi sumber material dari beton *geopolymer*. *Fly ash* dianggap menguntungkan karena mempunyai tingkat reaktivitas yang tinggi yang disebabkan oleh ukuran partikelnya yang lebih kecil dibandingkan dengan *slag* (Hardjito, Rangan,2005).

Tipe-tipe *fly ash* yang cocok sebagai sumber material *geopolymer* telah dipelajari oleh Fernandez – Jimenez and Palomo (2003). Penelitian tersebut menyatakan bahwa untuk menghasilkan ikatan yang optimal, *low-calcium fly ash* sebaiknya mempunyai persentase material yang tidak terbakar (LOI) kurang

dari 5 %, kandungan Fe_2O_3 tidak lebih dari 10%, kandungan CaO rendah, kandungan reaktif silica antara 40-50% dan 80-90% dari pertikelnya sebaiknya lebih kecil dari $45\mu m$ (Fernandez – Jimenez and Palomo (2003).diambil dari Hardjito, Rangan,2005).

II.4.1.2. CAIRAN ALKALI

Cairan alkali yang umum digunakan untuk pembentukan geopolymer adalah kombinasi antara *sodium hydroxide* (NaOH) atau *potassium hydroxide* (KOH) dan *sodium silicate* atau *potassium silicate* (Davidovits 1999 dalam Hardjito, Rangan, 2005). Larutan NaOH menyebabkan tingkat penghancuran mineral yang lebih tinggi daripada larutan KOH (Xu dan van Deventer,2000 diambil dari Hardjito, Rangan, 2005)

Palomo et al (1999) menyimpulkan bahwa tipe cairan alkali mempunyai peranan yang penting dalam proses polimerisasi (Hardjito, Rangan, 2005). Tingkat reaksi yang tinggi terjadi ketika cairan alkali mengandung *silicate* yang mudah larut, seperti pada *sodium* atau *potassium silicate*, dibandingkan dengan hanya menggunakan alkali hidroksida (Hardjito, Rangan, 2005). Xu dan van Deventer (2000) menegaskan bahwa penambahan larutan *sodium silicate* pada larutan *sodium hidroksida* yang berperan sebagai cairan alkaline meningkatkan reaksi yang terjadi antara sumber material dengan larutan alkali SiO_2 (Hardjito, Rangan, 2005).

II.4.2. PROPORSI CAMPURAN

Proporsi campuran yang telah diteliti pada penelitian-penelitian sebelumnya, adalah :

- Palomo et al (1999) meneliti beton *geopolymer* yang menggunakan campuran bahan *fly ash* tipe F (molar Si/Al =1,81), empat larutan yang berbeda dengan perbandingan massa larutan terhadap *fly ash* sekitar 0,25-0,3, perbandingan molar larutan SiO_2/K_2O atau SiO_2/Na_2O antara 0,63-1,23. Ukuran benda uji yang digunakan adalah $10 \times 10 \times 60$ mm. Hasil kuat tekan

tertinggi adalah lebih dari 60 Mpa untuk campuran yang menggunakan kombinasi larutan sodium hydroxide dan sodium silicate dan setelah dilakukan curing selama 24 jam pada suhu 65°C (Hardjito, Rangan, 2005).

Xu dan van Deventer (2000) melaporkan bahwa proporsi perbandingan massa cairan alkali terhadap bubuk *alumino-silicate* sebaiknya mendekati 0,33 agar terjadi reaksi geopolymer. Larutan alkali membentuk gel yang tebal seketika bercampur dengan bubuk *alumino-silicate*. Ukuran benda uji yang digunakan adalah 20x20x20 mm, dan kuat tekan maksimum yang dihasilkan adalah 19Mpa setelah dilakukan curing 72 jam pada suhu 35°C dengan *stilbite* sebagai sumber materialnya (Hardjito, Rangan, 2005).

Van Jaarsveld et al (1998) melakukan penelitian dengan menggunakan perbandingan massa larutan terhadap bubuk sekitar 0,39. Dalam penelitiannya, 57% fly ash dicampur dengan 15% kaolin atau kaolin yang telah dibakar. Cairan alkali terdiri dari 3,5% sodium silicate, 20% air dan 4% sodium atau potassium hydroxide. Ukuran benda uji yang digunakan adalah 50x50x50 mm dan kuat tekan maximum yang dapat dicapai adalah 75 Mpa (Hardjito, Rangan, 2005).

Barbosa et al (2000) menyiapkan tujuh macam komposisi campuran untuk pasta geopolymer dengan perbandingan molar oksida berkisar : $0,2 < \text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2 < 0,48$; $3,3 < \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 < 4,5$ dan $10 < \text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} < 25$ dan menggunakan kaolin yang telah dibakar sebagai sumber material. Komposisi optimum terjadi ketika perbandingan $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ adalah 0,25, perbandingan $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ adalah 10 dan perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ adalah 3,3. Campuran dengan kadar air yang tinggi $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 25$ menghasilkan kuat tekan yang rendah (Hardjito, Rangan, 2005).

- Hardjito, Rangan (2005) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh konsentrasi NaOH terhadap kuat tekan beton dengan menggunakan fly ash tipe F sebagai sumber material, variasi molaritas NaOH 8 M dan 14 M, dan perbandingan massa cairan alkali $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 0,4$ dan 2,5. Hasil kuat tekan maksimum yang dapat dicapai adalah sebesar 67 Mpa dengan komposisi optimum terjadi pada molaritas NaOH 14 M dan perbandingan massa cairan alkali $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 2,5$.
- Damayanti (2007) melakukan penelitian dengan menggunakan fly ash tipe F sebagai sumber material, variasi molaritas NaOH 8 M dan 10 M, dan perbandingan massa cairan alkali $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH}$ antara 0,5 – 2,5. Hasil kuat tekan maksimum yang dapat dicapai adalah sebesar 48,58 Mpa pada umur 28 hari dengan komposisi optimum terjadi pada molartas NaOH 10 M dan perbandingan massa cairan alkali $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1,5$.

Proses Pencampuran Material :

Davidovits (1999) diambil dari Hardjito, Rangan (2005) menyarankan bahwa pencampuran cairan alkali sodium silicate dan sodium hydroxide setidaknya dilakukan sehari sebelum penambahan unsur – unsur pokok geopolymer yang lain, baik yang berupa cairan maupun zat padat.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, telah ditetapkan standar proses pencampuran, sebagai berikut (Hardjito, Rangan,2005):

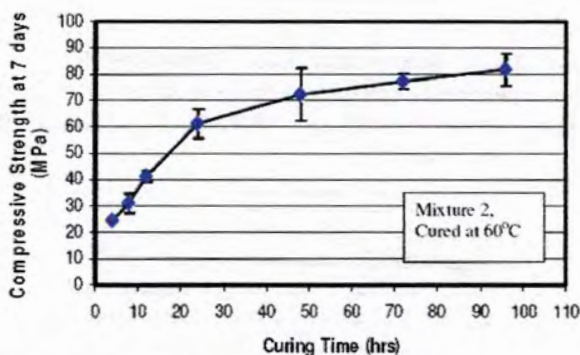
- ♣ Campur cairan sodium hydroxide dan sodium silicate sekurang-kurangnya satu hari sebelum penambahan material kering.
- ♣ Campur semua material kering ke dalam pan mixer selama ± 3 menit. Setelah itu, tambahkan komponen cairan ke dalam campuran material kering dan proses pengadukan dilanjutkan selama ± 4 menit.

Proses Curing Benda Uji :

Benda uji beton geopolimer sebaiknya dibungkus selama waktu curing pada temperatur tinggi di lingkungan yang kering (di dalam oven) untuk mencegah adanya penguapan yang berlebihan (Hardjito, Rangan, 2005).

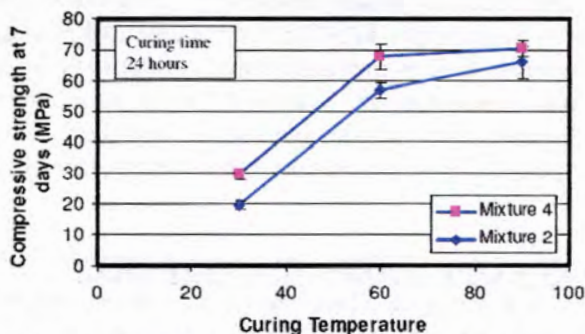
II.4.3. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI SIFAT BETON GEOPOLYMER

Beberapa faktor telah diidentifikasi sebagai parameter penting yang mempengaruhi sifat-sifat geopolimer. Palomo et al (1999) menyimpulkan bahwa temperatur curing dapat mempengaruhi kecepatan reaksi geopolimer yang berbahan dasar *fly ash* dan bersamaan dengan waktu curing dan tipe cairan alkali dapat mempengaruhi kuat tekan secara signifikan (Hardjito, Rangan, 2005). Waktu curing yang lebih lama meningkatkan proses polimerisasi yang menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi. (Hardjito, Rangan, 2005).



Gambar 2.1. Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dengan Waktu Curing

Penelitian Hardjito, Rangan (2005) juga menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur curing mengakibatkan semakin tinggi kuat tekan beton geopolymer, walaupun peningkatan temperatur curing di atas 60°C tidak menyebabkan peningkatan kuat tekan secara signifikan.

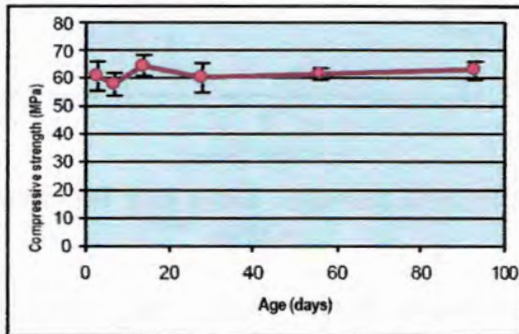


Gambar 2.2. Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dengan Temperatur Curing

Molaritas cairan alkali merupakan salah satu faktor yang signifikan dalam *geopolymerization*, kadar *aluminosilicate* yang

larut meningkat dengan bertambahnya konsentrasi ion hidroksida (Khale, Chandary, 2007).

Kuat tekan geopolymer tidak bervariasi terhadap umur beton, karena pembentukan gel geopolymer terjadi akibat reaksi polymer yang cepat (Hardjito, Wallah, Sumajouw, Rangan, 2004).



Gambar 2.3. Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dengan Umur Beton

Penambahan superplasticizer meningkatkan workability pada beton geopolymer kondisi segar. Penambahan naphthalene-based superplasticizer meningkatkan workabilitas beton segar, tetapi tidak mempengaruhi kuat tekan beton geopolymer kondisi keras, kecuali jika kandungan superplasticizer sebesar 4%, terdapat pengurangan dalam kuat tekan beton (Hardjito, Rangan, 2005).

II.5. SELF COMPACTED CONCRETE (SCC)

Self Compacted Concrete (SCC) adalah campuran beton yang dapat memadat sendiri tanpa menggunakan alat pemadat (*vibrator*) (Sugiharto, Kusuma, Himawan, Dharma, 2001). SCC dapat mengalir mengandalkan berat sendirinya, mengisi ruang dalam bekisting dan mencapai pemadatan walaupun pada kondisi yang rapat dengan tulangan (The European Guidelines for SCC, 2005).

Untuk mencapai *self-compactibility* tidak hanya dengan kemampuan berubah bentuk yang tinggi dari pasta atau mortar, melainkan juga ketahanan terhadap segregasi antara mortar dan agregat kasar ketika beton mengalir melalui ruang-ruang antar tulangan (Okamura, Ouchi, 2002). Oleh karena itu karakteristik SCC adalah sebagai berikut :

1. *Filling Ability* : kemampuan beton segar untuk mengalir dan mengisi bekisting dengan mengandalkan berat sendirinya.
2. *Passing Ability* : Kemampuan beton segar untuk melewati rintangan dengan mengandalkan berat sendirinya tanpa mengalami segregasi atau blocking (terhalang). Rintangan tersebut dapat berupa tulangan dan celah yang kecil.
3. *Segregation Resistance* : kemampuan beton untuk tetap homogen selama dan setelah proses pengecoran (Wustholz, 2003).

Kemampuan berdeformasi yang tinggi dapat diperoleh hanya dengan penggunaan *superplasticizer*, dengan tetap menjaga rasio *water-powder* agar tetap rendah (Okamura, Ouchi, 2003). Beberapa metoda yang telah diterapkan Okamura dan Ouchi (2003) untuk memperoleh sifat beton yang *self-compactibility* adalah : membatasi kandungan agregat, rasio *water-powder* yang rendah dan penggunaan bahan *additive* seperti *superplasticizer*.

SCC mempunyai beberapa keunggulan, antara lain :

Segi durabilitas:	Segi produktivitas:	Segi tenaga kerja:
-Meningkatkan homogenitas dari beton. - Dapat membungkus tulangan dengan baik. - Porositas dari matrik beton yang	- Pengecoran yang cepat. - Pemompaan yang lebih mudah. - Pekerjaan pemadatan tidak perlu dilakukan lagi.	- <i>Human error</i> akibat pemadatan yang kurang sempurna dapat dihilangkan. - Angka kecelakaan tenaga kerja dapat diperkecil.

rendah.		- Tidak ada polusi suara akibat vibrator.
---------	--	---

(Sugiharto, Kusuma, Himawan, Dharma, 2001)

II.5.1. UNSUR POKOK MATERIAL:

▣ Agregat :

Partikel agregat yang berukuran lebih kecil dari 0.125 mm dianggap menambah *powder content* dari SCC. Moisture Content, water absorption, grading dan jenis agregat halus yang terkandung dalam semua agregat harus dimonitor secara ketat dan berkesinambungan dan harus dicatat untuk memproduksi SCC yang mempunyai kualitas yang tetap/konstan. Penggunaan agregat yang telah dicuci secara normal akan memberikan hasil produksi SCC yang lebih konsisten. Penggunaan agregat yang berasal dari daerah yang berbeda-beda menyebabkan sifat dari beton tersebut berubah secara signifikan dan membutuhkan evaluasi yang lebih hati-hati dan lebih ketat lagi (The European Guidelines for SCC, 2005).

Tekstur permukaan dan ukuran partikel yang terdistribusi dalam agregat sangat penting dan berpengaruh pada *packing* dan *voids content*. Beberapa metode mix desain menggunakan *voids content* dari agregat untuk memperkirakan volume dari pasta dan berapa mortar yang disyaratkan. Satu jenis ukuran agregat (gap grading) pada grading antara agregat kasar dan agregat halus digunakan dalam beberapa mix desain (The European Guidelines for SCC, 2005).

1. Agregat Kasar

Komposisi agregat kasar pada pembuatan SCC lebih kecil dibandingkan dengan pada pembuatan beton konvensional. Pada beton konvensional, komposisi agregat kasarnya adalah $\pm 70-75\%$ dari total volume beton sedangkan pada SCC agregat kasar dibatasi jumlahnya sekitar kurang lebih 50 % dari total



volume beton supaya bisa mengalir dan memadat sendiri tanpa alat pemadat (Sugiharto, Kusuma, Himawan, Dharma, 2001).

Jarak antar tulangan menjadi faktor yang penting dalam menentukan ukuran agregat maksimum. SCC harus mengalir melewati tulangan tanpa disertai oleh adanya blocking akibat agregat kasar. Umumnya, ukuran agregat maksimum berkisar antara 12-20 mm (The European Guidelines for SCC, 2005).

Disribusi ukuran partikel dan tekstur permukaan dari agregat kasar secara langsung berpengaruh pada Flowing ability, Passing Ability dan kebutuhan pasta dari SCC. Semakin banyak ukuran partikel berbentuk bola dalam agregat maka semakin sedikit kemungkinan terjadinya *blocking* dan semakin besar pula flowing ability SCC yang disebabkan karena berkurangnya *internal friction* (The European Guidelines for SCC, 2005).

2. Agregat Halus

SCC memerlukan agregat halus yang lebih banyak dibandingkan dengan beton konvensional (Sugiharto, Kusuma, Himawan, Dharma, 2001). Kadar aggregate halus pada mortar SCC umumnya mendekati 60 % dari total volume mortar beton (Okamura, Ouchi, 2002).

Agregat halus lebih banyak berpengaruh pada sifat SCC segar daripada agregat kasar (The European Guidelines for SCC, 2005). Ukuran partikel yang lebih kecil dari 0,125 mm diperhitungkan sebagai bubuk halus yang terdapat pada pasta sehingga harus dipertimbangkan dalam menghitung rasio *water-powder* (The European Guidelines for SCC, 2005).

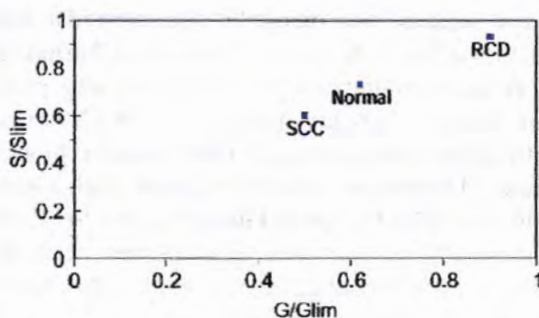


Fig. 6 Degree of aggregate's compaction-Coarse aggregate in concrete and fine aggregate in mortar.

Gambar 2.4. Perbandingan Agregat Kasar dalam Beton dan Agregat Halus dalam Mortar

Superplasticizer/High range water reducing admixture :

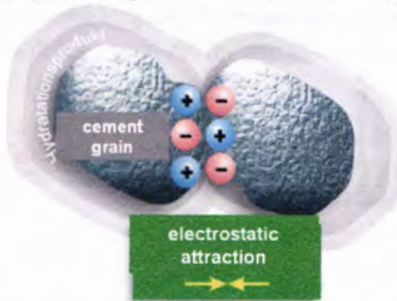
Superplasticizer merupakan bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi air pada campuran beton agar didapat faktor air semen yang kecil tetapi workabilitas atau nilai slump tetap sesuai rencana (Subakti, 1993).

Superplasticizer berperan dalam mengurangi kadar air dan membuat campuran beton mudah untuk mengalir tetapi juga harus dapat menjaga kemampuan penyebarannya selama waktu yang dibutuhkan untuk transportasi dan aplikasi (The European Guidelines for SCC, 2005).

Dalam tugas akhir ini akan digunakan 2 macam variasi superplasticizer, yaitu *naphtelene sulphonated* dan *polycarboxylic ether hyper plasticizer*.

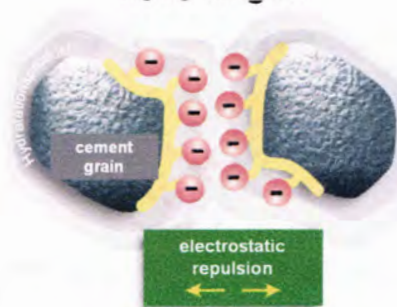
Mekanisme kerja *naphthalene* adalah :

- a. Dua buah partikel/*grains* semen tanpa superplasticizer



Gambar 2.5. Reaksi tarik-menarik antar partikel semen sebelum penambahan superplasticizer

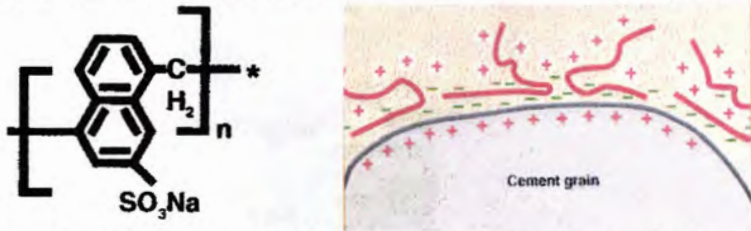
- b. Dua buah partikel/*grains* semen dengan menggunakan superplasticizer.



Gambar 2.6. Adanya *electrostatic repulsion* akibat dari penambahan *naphthalene*

Superplasticizer dalam campuran beton terserap oleh tiap-tiap partikel semen dan membentuk lapisan yang melapisi permukaan partikel semen, sehingga menyebabkan reaksi tarik-menarik antar partikel semen (*electrostatic attraction*) menjadi terhalang karena adanya ion-ion negatif dari superplasticizer yang

mengakibatkan ikatan antar partikel semen menjadi saling tolak-menolak (*electrostatic repulsion*). Ion-ion negatif dari naphthalene saling tarik-menarik dengan ikatan dengan ion-ion positif dari semen dan saling tolak-menolak dengan ion-ion negatif lain dari naphthalene. Karena peristiwa inilah beton lebih *workable* (sika).



Gambar 2.7. Struktur Molekul Dari *Naphthalene* dan mekanisme kerja *naphthalene*

Mekanisme kerja *Polycarboxylic* adalah :



Gambar 2.8. Mekanisme kerja *Polycarboxylic*

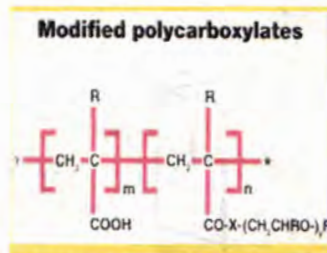
Terdapat dua macam aksi penyebaran pada polycarboxylic, yaitu :

1. *Electrostatic repulsion*

Superplasticizer dalam campuran beton terserap oleh tiap-tiap partikel semen dan membentuk lapisan yang melapisi permukaan partikel semen, sehingga menyebabkan permukaan tiap-tiap partikel semen menjadi ber-ion negatif dan membuat gaya tolak-menolak (*repulsion*) antara partikel semen satu dengan lainnya.

2. Steric stabilization

Selain menyebabkan reaksi tolak-menolak antar partikel semen akibat lapisan ion negatif pada tiap-tiap permukaan semen, *polycarboxylic* juga menyebabkan timbulnya semacam tentakel pada permukaan partikel semen yang berperilaku seperti pegas sehingga menyebabkan partikel semen saling menjauh antara yang satu dengan yang lainnya. Hal tersebutlah yang menyebabkan campuran beton komposisi segar mempunyai workabilitas yang tinggi (sika).



Gambar 2.9. Struktur molekul *polycarboxylic*

II.5.2. METODA PENGETESAN *SELF-COMPACTIBILITY*

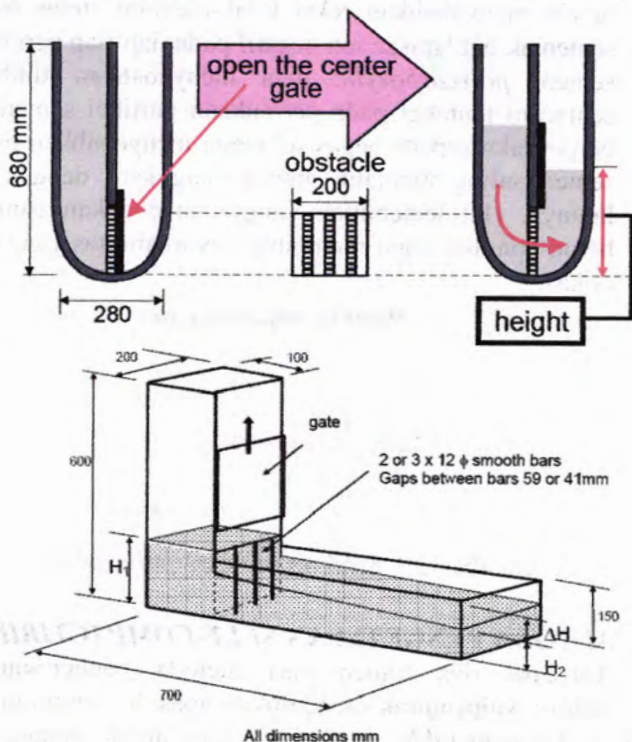
Terdapat dua tujuan dari metoda pengetesan *self-compactibility*, yaitu untuk menentukan apakah campuran beton bersifat *self-compactables* atau tidak dan untuk mengevaluasi kemampuan berdeformasi atau viskositas untuk memperkirakan proporsi campuran yang tepat jika campuran beton tidak memiliki *self-compactibility* yang cukup (Ouchi).

Tes yang dilakukan untuk mengetahui sifat *self-compactibility* dari campuran beton :

✘ U-flow test atau L-box test

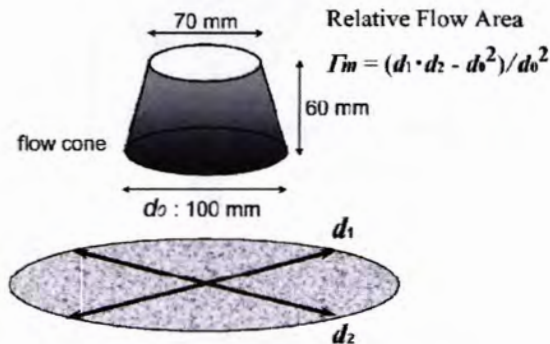
untuk mengetahui *passing ability* dari self-compacting concrete untuk mengalir melalui rintangan tanpa mengalami segregasi atau *blocking*. Campuran beton yang dapat mencapai

tinggi lebih dari 300 mm setelah melewati rintangan dapat dikategorikan bersifat *self-compacting* (Okamura, Ouchi, 2002).



Gambar 2.10. Alat U-Flow Test dan L-Box Test

✘ *Slump test*
 untuk mengetahui *deformability* dan *flowability* dari campuran beton.



Gambar 2.11. Slump Flow Test

$$\Gamma_c = (d_1 \cdot d_2 - d_0^2) / d_0^2$$

dimana :

d_1, d_2 = diameter campuran beton yang diukur

d_0 = diameter *slump cone*

Semakin besar nilai Γ_c menandakan semakin besar kemampuan *flow* dan defomasi campuran beton (Okamura, Ouchi, 2002).

✗ *Funnel test*

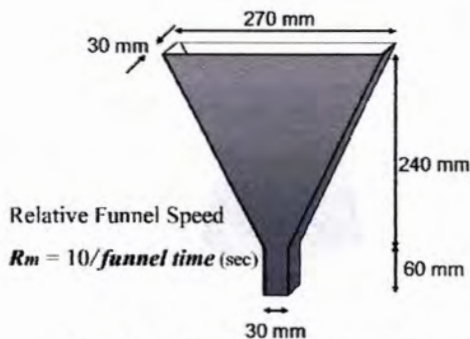
untuk mengetahui *viskositas* dari campuran beton.

$$R_c = 10 / t$$

Dimana :

t = waktu yang diukur pada saat campuran beton mengalir melalui *funnel* (detik).

Semakin besar nilai R_c menandakan semakin tinggi viskositasnya (Okamura, Ouchi, 2002).



Gambar 2.12. V-Funnel Test

Tabel 2.1. Spesifikasi Hasil Pengetesan High Strength Self Compacted Concrete Kondisi Segar

Table 5 Requirements for high strength self-compacting concrete⁶

Testing Items	Unit	Spec.
Fresh concrete		
Slump Flow	(mm)	600 or 650
Flow time until 500mm	(sec.)	3 to 15
U type filling capacity	(mm)	min.300
V type Funnel flow time	(sec.)	8 to 15
Air content	(%)	4.5
Chloride ion content	(kg/m ³)	max.0.3
Hardened concrete		
Compressive strength	MPa	50

(Ouchi, Nakamura, Osterson, Hallberg, Lwin, 2003)

II.6. GROUT

Grout adalah campuran *cementitious* material dengan air, dengan atau tanpa agregat, dengan proporsi tertentu untuk menghasilkan *pourable consistency* tanpa mengalami segregasi dari unsur-unsur penyusunnya.

Injection atau *pressure grouting* adalah proses memasukkan atau menginjeksikan material *cementitious* ke dalam tempat yang tidak dapat dicapai seperti di bawah pondasi struktur

untuk tujuan menutup lapisan, retak dan celah atau mengisi rongga (Shrooff, Shah, 1993).

II.6.1. KLASIFIKASI GROUT MIX

Grout diklasifikasikan menjadi 2 macam, yaitu :

- ⊗ *Particulate grouts/coarse grouts*, antara lain semen, lempung, bentonite, semen dengan admixture, semen-pasir dengan atau tanpa admixture, semen dengan material pengisi, semen-lempung, semen-bentonite-lempung, dengan atau tanpa admixtures.
- ⊗ *Watery low-viscous chemical grouts/fine grouts*, antara lain silicate, lignosulphonate, aminoplast, acrylamides, acrylates, epoxy resin, polyester resin, polyurethane dan resin lainnya (Shrooff, Shah, 1993).

Klasifikasi grout berdasarkan ASTM 476, adalah :

- ⊗ *Fine grout* → grout yang menggunakan agregat halus sebagai *fillernya*
- ⊗ *Coarse grout* → grout yang menggunakan kombinasi antara agregat halus dan kasar sebagai *fillernya*.

II.6.2. MACAM-MACAM CAMPURAN GROUT

Campuran grout yang biasa digunakan, adalah :

- ⊗ *Cement-Limestone dust grout*
- ⊗ *Cement fly-ash grout*

Perbandingan volume yang digunakan antara semen dan fly ash/limestone adalah 1 : 3, dicampur dengan air untuk mendapatkan fluidity yang diperlukan, dapat pula ditambahkan water-reducing atau plasticizer admixtures.

Cement fly-ash grout lebih disarankan daripada *Cement-Limestone dust grout* karena mempunyai kemampuan flow yang lebih baik (berdasarkan bentuk bulat dari partikel fly ashnya) dan fly ash dapat bereaksi dengan calcium hydroxide (hasil samping dari proses hidrasi semen) sehingga dapat menaikkan kuat tekan campuran grout.

II.6.3. PERSYARATAN GROUT

Beberapa persyaratan grout antara lain :

- ⓐ Campuran grout harus dapat mengalir melewati/melalui celah-celah sempit
- ⓐ Campuran grout harus mempunyai kuat tekan yang cukup dan mempunyai *durability* yang bagus.

Tabel 2.2. Persyaratan Material Grout

Material Requirements of Grout		
Property	Requirement	Test Method
Total Chloride Ions	Maximum 0.08% by weight of cementitious material	ASTM C 1152
Fine Aggregate (if used), Gradation	Maximum Size \leq No. 50 Sieve	Tex-401-A
Volume Change	0.0% to 0.1% expansion at 24 hr. and 0.0% to 0.2% at 28 days	ASTM C 1090 ¹
Bleeding	Maximum 0.0% at 3 hr.	Tex-441-A (see Note)
Compressive Strength (Average of 3 cubes)	>3000 psi at 7 days and >5000 psi at 28 days	Tex-442-A (see Note)
Initial Set of Grout	Minimum 3 hr., Maximum 12 hr.	ASTM C 953
Fluidity - Efflux Time from Flow Cone: (a) Immediately after mixing (b) 30 min. after mixing with remixing for 30 sec.	Minimum 9 sec., Maximum 20 sec. Maximum 30 sec.	Tex-437-A Method 2
Permeability at 28 days	Maximum 2,500 Coulombs. At 30 V for 6 hr.	ASTM C 1202 ²
¹ Modified to include verification at only 24 hr. and 28 days ² Moist cure specimens at 73°F \pm 3°F for 26 days. At 26 days, condition water, cut specimens to size, and dry and coat sides with epoxy gel. At 27 days, place prepared samples under vacuum as per method. Test at 28 days. Note: Contact CST/M&P for more information regarding this test method.		

(Departmental Material Specifications)

Tabel. 2.3. Waktu Setting untuk *multi purpose grout*

Rate of Set (ASTM C-266*)

SET	INITIAL	FINAL
PLASTIC ¹	:45	2:20
FLOWABLE ²	:58	3:20
FLUID ³	1:30	4:06

*Notes:

¹ - 100 -125% flow table (ASTM C-230, 5 drops in 3 seconds)² - 125 -145% flow table (ASTM C-230, 5 drops in 3 seconds)³ - 28 second flow cone method (ASTM C-939)www.unitex-chemical.com

II.6.4. PENGETESAN GROUTING

Beberapa metode pengetesan untuk campuran grout, antara lain :

© *Flow cone method* (ASTM C 939-02)

Untuk mengetahui kekentalan campuran grout, dengan mencatat waktu alir yang diperlukan campuran grout untuk dapat melewati *flow cone*.



Gambar 2.13. Flow Cone

© *Flow table method* (ASTM C1437)

Untuk mengetahui kekentalan campuran grout dengan metode meja alir. Metode ini dilaksanakan untuk campuran grout yang waktu alir flow conenya melebihi 35 detik (ASTM C 939-02).



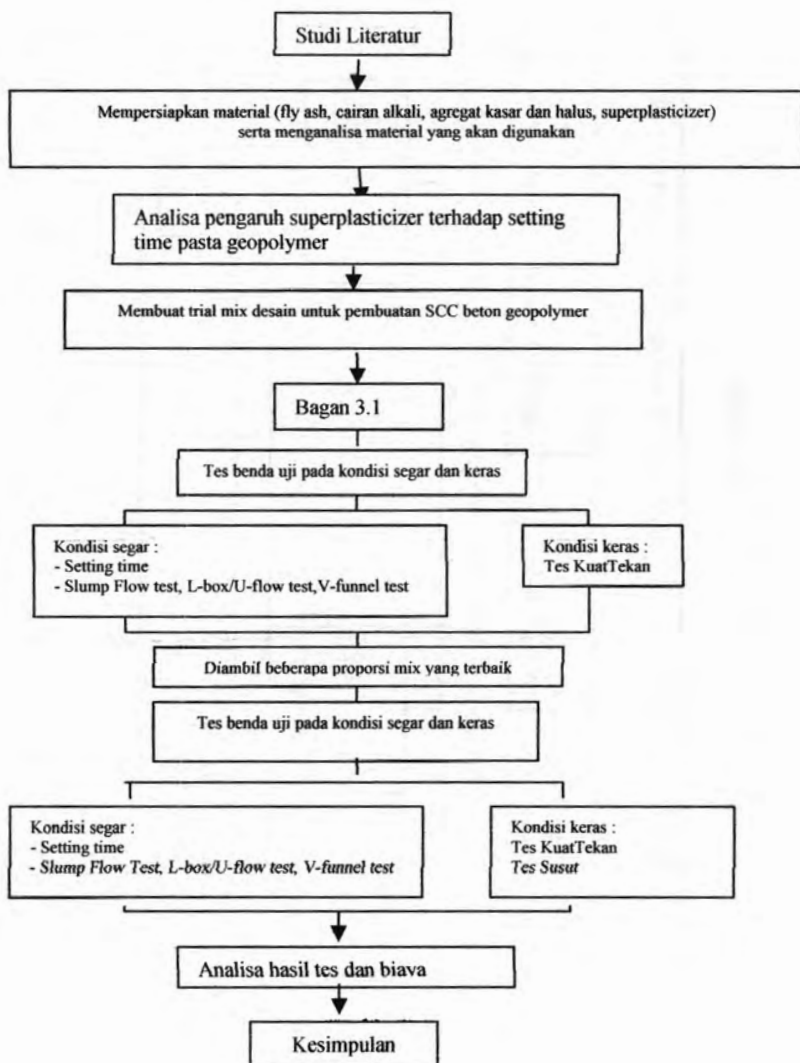
Gambar 2.14. Meja Alir dan Cincin Leleh

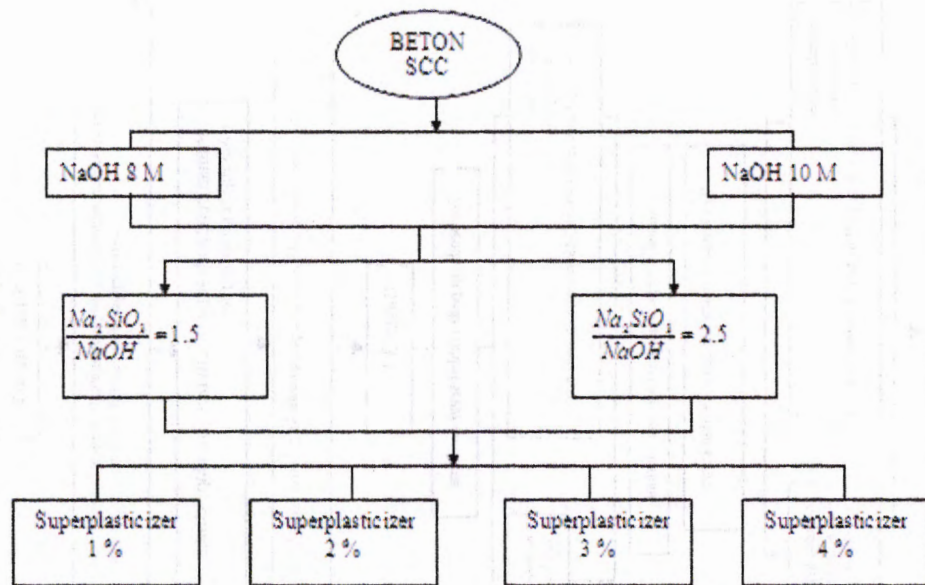
© *Grout strength* (ASTM 942-99)

Untuk mengetahui kuat tekan campuran grout.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

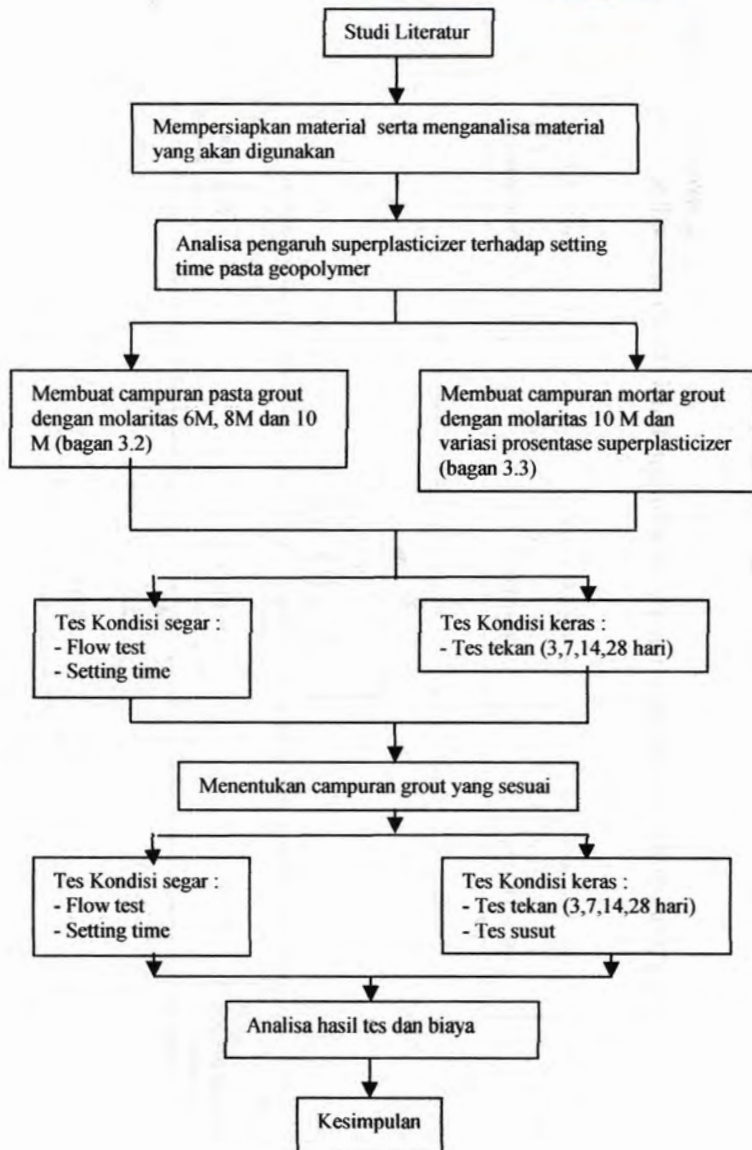
III.1. TAHAPAN PELAKSANAAN PENELITIAN

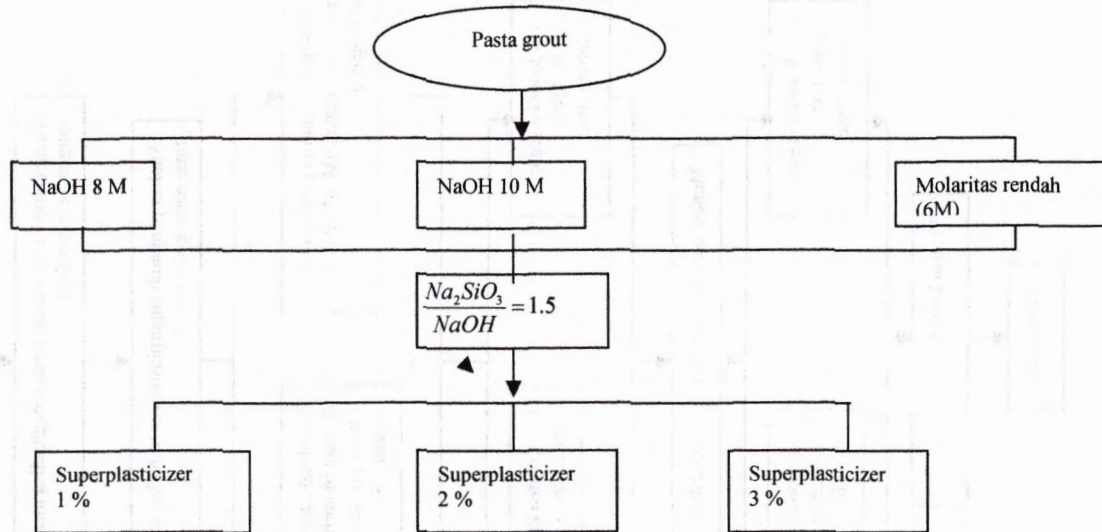




Jenis Superplasticizer yang digunakan adalah *naphthalene sulphonated* dan *polycarboxylic ether hyper plasticizer*.

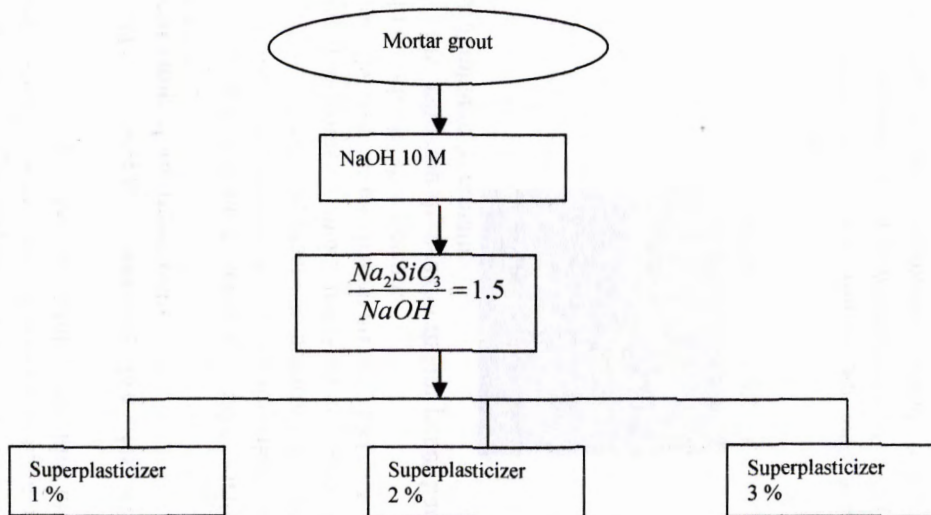
Bagan 3.1





Jenis Superplasticizer yang digunakan adalah *naphthelene sulphonated* dan *polycarboxylic ether hyper plasticizer*.

Bagan 3.2



Jenis Superplasticizer yang digunakan adalah *naphthelene sulphonated*

Bagan 3.3

III.1.1. Studi Literatur

Hal yang pertama kali dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah studi literature untuk mencari berbagai informasi mengenai beton geopolimer, *self compacted concrete*, dan grouting. Studi literatur ini dilakukan dengan membaca jurnal-jurnal yang berkaitan dengan judul tugas akhir ini.

III.1.2. Mempersiapkan material dan alat serta menganalisa material yang akan digunakan

III.1.2.1. Fly ash

Fly ash berperan sebagai sumber material utama dari binder beton geopolimer. Fly ash dibedakan menjadi dua tipe, yaitu tipe C dan F berdasarkan besarnya kandungan CaO yang terdapat didalamnya, maka untuk mengetahui komposisi kimia dan tipe fly ash harus dilakukan tes *XRD (X-Ray Diffraction)* terlebih dahulu di laboratorium.

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari Proyek Jembatan Suramadu.



Gambar 3.1. Fly ash

III.1.2.2. Cairan alkali

Cairan alkali yang digunakan adalah kombinasi antara *sodium hidroxyde (NaOH)* dan *sodium silicate (NaSi₂O₃)*. Kadar molaritas NaOH yang digunakan adalah 6 M, 8 M dan 10 M. Cairan alkali tersebut bisa didapatkan secara bebas di toko-toko kimia. Bentuk dari *sodium silicate (NaSi₂O₃)* yang dijual dipasaran berbentuk gel, sedangkan bentuk *sodium hidroxyde (NaOH)* yang dijual berbentuk kepingan.



Gambar 3.2. Kepingan Sodium Hidroksida (NaOH)



Gambar 3.3. Sodium silikat (NaSi_2O_3)

Sebelum digunakan sebagai material pencampur, *sodium hidroxyde* (NaOH) harus dilarutkan dengan aquades terlebih dahulu sesuai dengan molaritas yang dibutuhkan.

Rumus yang digunakan untuk membuat larutan NaOH adalah sebagai berikut :

$$n = V \times M \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana :

n = jumlah mol zat terlarut (mol)

M = kemolaran larutan $\left(\frac{\text{mol}}{\text{liter}} \right)$

V = volume larutan (liter)

$$\text{Massa NaOH} = n \times M \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana :

n = jumlah mol zat terlarut (mol)

$$Mr = \text{massa relatif atom} \left(\frac{\text{gram}}{\text{mol}} \right)$$

Perhitungan massa NaOH yang dibutuhkan untuk membuat larutan NaOH 6M, 8M dan 10 M adalah :

Untuk membuat larutan NaOH 6 M

$$\begin{aligned} n &= V \times M \\ &= 1 \text{ liter} \times 6 \text{ M} \\ &= 6 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NaOH} &= n \text{ mol} \times Mr \\ &= 6 \text{ mol} \times 40 \left(\frac{\text{gram}}{\text{mol}} \right) \\ &= 240 \text{ gram} \end{aligned}$$

Untuk membuat larutan NaOH 8 M

$$\begin{aligned} n &= V \times M \\ &= 1 \text{ liter} \times 8 \text{ M} \\ &= 8 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NaOH} &= n \text{ mol} \times Mr \\ &= 8 \text{ mol} \times 40 \left(\frac{\text{gram}}{\text{mol}} \right) \\ &= 320 \text{ gram} \end{aligned}$$

Untuk membuat larutan NaOH 10 M

$$\begin{aligned} n &= V \times M \\ &= 1 \text{ liter} \times 10 \text{ M} \\ &= 10 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NaOH} &= n \text{ mol} \times Mr \\ &= 10 \text{ mol} \times 40 \left(\frac{\text{gram}}{\text{mol}} \right) \\ &= 400 \text{ gram} \end{aligned}$$

Cara membuat larutan NaOH, adalah :

- Menimbang massa NaOH yang dibutuhkan.
Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, kebutuhan massa NaOH yang diperlukan untuk 1 liter aquades adalah :
untuk NaOH 6 M → massa NaOH yang diperlukan = 240 gram
untuk NaOH 8 M → massa NaOH yang diperlukan = 320 gram
untuk NaOH 10M → massa NaOH yang diperlukan = 400 gram
- Memasukkan NaOH ke dalam labu ukur dengan kapasitas 1 liter (1000 cc).
- Menambahkan aquades ke dalam labu ukur sampai volumenya 1 liter.

III.1.2.3. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari Proyek Jembatan Suramadu.

Penyelidikan terhadap agregat halus yang akan dilaksanakan, antara lain :

1. Percobaan Berat Jenis Pasir (ASTM C 128 – 93)

Tujuan : Untuk menentukan berat jenis pasir pada kondisi SSD

Peralatan yang diperlukan :

- ✗ Labu takar 1000 cc
- ✗ Timbangan 2600 gram
- ✗ Oven
- ✗ Pan
- ✗ Hair dryer/ kipas angin
- ✗ Kerucut dan rojokan SSD

Bahan yang diperlukan :

Pasir

Prosedur pelaksanaan :

- Ⓢ Penyiapan pasir untuk kondisi SSD

- a. Rendam pasir 24 jam selanjutnya angkat dan tiriskan hingga airnya hilang
 - b. Keringkan dengan hair dryer atau kipas angin sambil dibolak balik dengan sendok untuk mencari keadaan SSD
 - c. Tempatkan kerucut SSD pada bidang datar yang tidak mengisap air
 - d. Isi kerucut SSD $\frac{1}{3}$ tingginya dan rojok 9 kali, isi lagi $\frac{1}{3}$ tinggi dan rojok 8 kali, isi lagi $\frac{1}{3}$ tinggi dan rojok 8 kali
 - e. Ratakan permukaannya dan angkat kerucunya, bila pasir masih berbentuk kerucut maka pasir belum SSD
 - f. Keringkan lagi bila dan ulangi lagi pengisian dengan prosedur sebelumnya, bila kerucut diangkat dan pasir gugur tetapi berpuncak maka pasir sudah dalam kondisi SSD dan siap untuk digunakan dalam pengujian
- ⊙ Timbang labu takar 1000 cc
- a. Timbang pasir kondisi SSD sebanyak 500 gram dan masukkan pasir ke dalam labu takar dan timbang.
 - b. Isi labu takar yang berisi pasir dengan air bersih hingga penuh.
 - c. Pegang labu takar yang sudah berisi air dan pasir posisi miring, putar ke kiri dan kanan hingga gelembung-gelembung udara dalam pasir keluar.
 - d. Sesudah gelembung-gelembung keluar tambahkan air ke dalam labu takar hingga batas kapasitas dan timbang (w_1)
 - e. Keluarkan pasir dan air dari dalam labu takar dan labu takar dibersihkan kemudian isi labu takar dengan air sampai batas kapasitas dan timbang

Rumus yang digunakan :

Untuk mendapatkan berat jenis pasir, maka digunakan persamaan (3.3)

$$\text{Berat jenis pasir} = \frac{500}{(500 + W_2) - W_1} \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana :

W_1 = Berat labu + pasir + air (gram)

W_2 = Berat labu + pasir (gram)

3. Percobaan Berat Volume Pasir (ASTM C 29/C29M – 91)

Tujuan : Menentukan berat volume pasir baik dalam keadaan lepas maupun padat.

Peralatan yang diperlukan :

- ✗ Timbangan
- ✗ Takaran berbentuk silinder dengan Alatperojok dari besi

Bahan yang diperlukan :
Pasir

Prosedur Pelaksanaan :

- ⊙ Tanpa rojokan /lepas
 - a. Silinder dalam keadaan kosong ditimbang
 - b. Isi silinder dengan batu pecah sampai penuh dan angkat setinggi 1 cm
 - c. Silinder dijatuhkan ke lantai sebanyak tiga kali dan permukaannya diratakan
 - d. Timbang silinder yang sudah terisi pasir
- ⊙ Dengan rojokan
 - a. Timbang silinder dalam keadaan bersih dan kosong
 - b. Silinder diisi batu pecah 1/3 bagian dan dirojok 25 kali. Demikian hingga penuh dan tiap 1/3 bagian dirojok 25 kali
 - c. Ratakan permukaan pasir dan beratnya ditimbang

Rumus yang digunakan :

Untuk mendapatkan berat volume pasir, maka digunakan persamaan (3.4)

$$\text{Berat volume pasir} = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \dots\dots\dots(3.4)$$

Dimana :

W_1 = Berat silinder (gram)

W_2 = Berat silinder + pasir (gram)

V = Volume (cm^3)

3. Percobaan Kelembaban Pasir (ASTM C 556-89)

Tujuan : Untuk mengetahui / menentukan kelembapan pasir dengan cara kering.

Peralatan yang diperlukan :

✕ Timbangan analisa 2600 gr

✕ Oven

✕ Pan

Bahan yang diperlukan :

Pasir dalam keadaan asli

Prosedur pelaksanaan :

- ◆ Timbang pasir dalam keadaan asli sebanyak 500 gr
- ◆ Masukkan pasir ke dalam oven selama 24 jam dengan temperatur 110 – 115 derajat celcius
- ◆ Keluarkan pasir dari oven, dibiarkan sampai dingin setelah itu ditimbang beratnya

Rumus yang digunakan :

Untuk mendapatkan kelembapan pasir, maka digunakan persamaan (3.5)

$$\text{Kelembaban pasir} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots(3.5)$$

Dimana :

W_1 = Berat asli pasir (gram)

W_2 = Berat asli oven (gram)

4. Percobaan Air Resapan Pada Pasir (ASTM C 128- 93)

Tujuan : Menentukan kadar air resapan pada pasir

Peralatan yang diperlukan :

✗ Timbangan 2600gram

✗ Oven

✗ Pan

Bahan yang diperlukan :

Pasir dalam kondisi SSD

Prosedur Pelaksanaan :

◆ Timbanglah pasir kondisi SSD sebanyak 500 gram

◆ Masukkan ke dalam oven selama 24 jam

◆ Pasir dikeluarkan dan setelah ditimbang beratnya

Rumus yang digunakan :

Untuk mendapatkan air resapan pada pasir, maka digunakan persamaan (3.6)

$$\text{Air resapan pasir} = \frac{(500 - W_1)}{W_1} \times 100\% \dots\dots\dots(3.6)$$

Dimana :

W_1 = Berat pasir oven (gram)

5. Test Kebersihan Pasir Kebersihan Pasir Terhadap Bahan Organik (ASTM C40-92)

Tujuan : Penentuan kadar zat organik di dalam agregat yang digunakan di dalam adukan beton.

Peralatan yang diperlukan :

✗ Botol bening

✗ Penggaris

Bahan yang diperlukan :

- ✗ Pasir asli
- ✗ NaOH

Prosedur Pelaksanaan :

- ◆ Botol bening diisi pasir sampai \pm 130 ml.
- ◆ Tambahkan larutan NaOH 3% sampai 200 ml dan tutup rapat dan kocok botol \pm 10 menit
- ◆ Diamkan selama 24 jam.
- ◆ Selanjutnya amati warna cairan di atas permukaan agregat halus yang ada dalam botol, bandingkan warnanya.
- ◆ Jika warna cairan dalam botol berisi agregat lebih tua (coklat) warnanya dari pembeding, berarti dalam agregat berkadar zat organik yang terlalu tinggi.

6. Test Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur (Pencucian) (ASTM C117-95)

Tujuan : Mengetahui kadar lumpur pasir.

Peralatan yang diperlukan :

- ✗ Timbangan analisa 2600 gram
- ✗ Saringan No. 200 dan No. 50
- ✗ Oven dan pan

Bahan yang diperlukan :

- ✗ Pasir kering oven
- ✗ Air

Prosedur Pelaksanaan :

- ◆ Timbangan pasir oven sebanyak 500 gram.
- ◆ Pasir di cuci hingga bersih, yaitu dengan mengaduk pasir dengan air berkali-kali hingga tampak bening.
- ◆ Tuangkan air cucian kedalam saringan No. 200 berkali-kali.
- ◆ Pasir yang ikut tertuang dan tinggal diatas saringan kembalikan ke pan.
- ◆ Pasir di oven dengan suhu $110 + 5$ derajat celcius.

Rumus yang digunakan :

Untuk mendapatkan kadar lumpur pada pasir, maka digunakan persamaan (3.7)

$$\text{Kadar lumpur pada pasir} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \dots\dots\dots(3.7)$$

Dimana :

W_1 = Berat pasir kering (gram)

W_2 = Berat pasir bersih kering (gram)

III.1.2.4. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari Proyek Jembatan Suramadu.

Penyelidikan terhadap agregat kasar yang akan dilaksanakan, antara lain :

1. Percobaan Kelembaban Batu Pecah (ASTM C 556 – 89)

Tujuan : Untuk mengetahui / menentukan kelembaban batu pecah (agregat kasar) yang akan digunakan untuk campuran beton

Peralatan yang diperlukan :

- ✗ Timbangan analisa 2600 gr
- ✗ Oven
- ✗ Pan

Bahan yang diperlukan :

Batu pecah dalam kondisi asli.

Prosedur pelaksanaan :

- ◆ Timbang batu pecah dalam keadaan asli sebanyak 500 gr
- ◆ Masukkan batu pecah ke dalam oven selama 24 jam dengan temperatur 110 – 115 derajat celcius
- ◆ Keluarkan batu pecah dari oven, dibiarkan sampai dingin setelah itu ditimbang beratnya

Rumus yang digunakan :

Untuk mendapatkan kelembaban batu pecah, maka digunakan persamaan (3.8)

$$\text{Kelembaban batu pecah} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots(3.8)$$

W_1 = Berat batu pecah asli (gram)

W_2 = Berat batu pecah oven (gram)

2 Percobaan Berat Jenis Batu Pecah (ASTM C 127 – 88 Reapp. 93)

Tujuan : Untuk mengetahui berapa besar berat jenis yang dimiliki agregat kasar dalam hal ini berat jenis batu pecah.

Peralatan yang diperlukan :

- ✗ Timbangan 25 kg
- ✗ Keranjang kawat
- ✗ Kain Lap
- ✗ Oven

Bahan yang diperlukan :

Batu pecah dalam kondisi SSD

Prosedur Pelaksanaan :

- ✗ Batu pecah yang telah direndam selama 24 jam diangkat, kemudian dilap satu persatu
- ✗ Timbang batu pecah sebanyak 3000 gram
- ✗ Masukkan ke dalam keranjang
- ✗ Keranjang berisi batu pecah dimasukkan ke dalam wadah berisi air (posisinya berada di bawah timbangan), lalu timbang beratnya dalam air (keranjang dan batu pecah)

Rumus yang digunakan :

Untuk mendapatkan berat jenis pasir, maka digunakan persamaan (3.9)

$$\text{Berat jenis batu pecah} = \frac{W_1}{W_1 - W_2} \dots\dots\dots(3.9)$$

Dimana :

W_1 = Berat batu pecah di udara (gram)

W_2 = Berat batu pecah di air (gram)

3. Percobaan Air Resapan Pada Batu Pecah (ASTM C 127- 88 Reapp 93)

Tujuan : Menentukan kadar air resapan pada agregat kasar

Peralatan yang diperlukan :

✗ Timbangan 25 kg

✗ Oven

Bahan yang diperlukan :

Batu pecah dalam kondisi SSD

Prosedur Pelaksanaan :

☑ Timbanglah batu pecah kondisi SSD sebanyak 3000 gram

☑ Masukkan ke dalam oven selama 24 jam

☑ Batu pecah dikeluarkan dan setelah dingin batu pecah ditimbang

Rumus yang digunakan :

Untuk mendapatkan air resapan pada batu pecah, maka digunakan persamaan (3.10)

$$\text{Air resapan batu pecah} = \frac{(3000 - W_1)}{W_1} \times 100\% \dots\dots\dots(3.10)$$

Dimana :

W_1 = Berat batu pecah oven (gram)

4. Percobaan Berat Volume Batu Pecah (ASTM C 29/C 29 M - 91a)

Tujuan : Menentukan berat volume batu pecah baik dalam keadaan lepas maupun padat.

Peralatan yang diperlukan :

1. Timbangan

2. Takaran berbentuk silinder dengan volume 10 liter

3. Alat perojok dari besi dengan diameter 16 mm , panjang 60 cm ujungnya bulat

Bahan yang diperlukan :

Batu pecah dalam keadaan kering

Prosedur Pelaksanaan :

1. Tanpa rojokan /lepas

- ⊙ Silinder dalam keadaan kosong ditimbang
- ⊙ Isi silinder dengan batu pecah sampai penuh dan angkat setinggi 1 cm
- ⊙ Silinder dijatuhkan ke lantai sebanyak tiga kali dan permukaannya diratakan
- ⊙ Timbang silinder yang sudah terisi batu

2. Dengan rojokan

- ⊙ Timbang silinder dalam keadaan bersih dan kosong
- ⊙ Silinder diisi batu pecah 1/3 bagian dan dirojok 25 kali. Demikian hingga penuh dan tiap 1/3 bagian dirojok 25 kali
- ⊙ Ratakan permukaan batu pecah dan beratnya ditimbang

Rumus yang digunakan :

Untuk mendapatkan berat volume batu pecah, maka digunakan persamaan (3.11)

$$\text{Berat volume pasir} = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \dots\dots\dots(3.11)$$

Dimana :

- W_1 = Berat silinder (gram)
- W_2 = Berat silinder + batu pecah (gram)
- V = Volume (cm³)

5. Tes Kebersihan Batu Pecah Terhadap Lumpur (PENCUCIAN) (ASTM C 117 -95)

Tujuan : Mengetahui kadar lumpur agregat kasar (batu pecah)

Peralatan yang diperlukan :

- ☀ Timbangan analisa 2600 gr

- ☀ Oven dan Pan
- ☀ Saringan no 200 dan no 50

Bahan yang diperlukan

Batu pecah kering oven

RProsedur Pelaksanaan

- ☀ Timbang batu pecah kering oven sebanyak 1000 gram
- ☀ Batu pecah dicuci dengan cara diberi air dan diaduk-aduk hingga air cucian bersih / tampak bening
- ☀ Tunangkan air cucian ke dalam saringan no 200 berkali-kali
- ☀ Batu pecah yang ikut tertuang dan tinggal di atas saringan dikembalikan ke pan
- ☀ Batu pecah dioven selama 24 jam dalam suhu 110 – 115 derajat celcius
- ☀ Setelah dingin ditimbang.

Rumus yang digunakan :

Untuk mendapatkan kadar lumpur pada batu pecah, maka digunakan persamaan (3.12)

$$\text{Kadar lumpur pada batu pecah} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \dots (3.12)$$

Dimana :

- W_1 = Berat batu pecah kering sebelum dicuci (gram)
- W_2 = Berat batu pecah kering setelah dicuci (gram)

6. Tes Keausan Agregat kasar (ASTM C 131 – 89)

Tujuan : Mengetahui persentase keausan batu pecah untuk beton dengan menggunakan mesin Los Angeles.

Peralatan yang diperlukan :

- Ⓜ Mesin aus Los Angeles
- Ⓜ Saringan diameter
- Ⓜ Bola baja 12 buah
- Ⓜ Timbangan 2600 gram

Bahan yang diperlukan :

Batu pecah kering oven sebanyak 5000 gram dengan gradasi seperti berikut

Diameter Saringan	Gradasi A
$\Phi 1 \frac{1}{2}'' - 1''$	-
$\Phi 1'' - \frac{3}{4}''$	-
$\Phi \frac{3}{4}'' - \frac{1}{2}''$	2500 gr
$\Phi \frac{1}{2}'' - \frac{3}{8}''$	2500 gr

Prosedur pelaksanaan :

- Ⓢ Batu pecah diayak sebanyak 2500 gr untuk tiap ayakan
- Ⓢ Kumpulkan jadi satu (5000 garam)
- Ⓢ Masukkan ke dalam mesin aus Los Angeles
- Ⓢ Masukkan bola baja 12 buah untuk gradasi A
- Ⓢ Tutup mesin dan baut sekrup dikecangkan
- Ⓢ Putar mesin sebanyak 500 kali (selama kurang lebih 15 menit)
- Ⓢ Setelah ± 15 menit tutup mesin dibuka, batu pecah dan bola baja dikeluarkan
- Ⓢ Batu pecah disaring dengan ayakan no 12 (1.7 mm)
- Ⓢ Yang tertinggal di atas saringan dicuci lalu di oven 24 jam
- Ⓢ Setelah 24 jam dikeluarkan dan didinginkan, lalu ditimbang

Rumus yang digunakan :

Untuk mendapatkan keausan agregat kasar, maka digunakan persamaan (3.13)

$$\text{Keausan agregat kasar} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \dots\dots\dots(3.13)$$

Dimana :

W_1 = Berat sebelum diabrasi (gram)

W_2 = Berat setelah diabrasi (gram)

3. Pembuatan benda uji trial mix :

Penentuan Komposisi Awal Tiap Bahan :

Penentuan komposisi awal tiap bahan adalah sebagai berikut :

1. Perbandingan cairan alkali terhadap fly ash adalah 0,35 (Hardjito, Wallah, Sumajouw, Rangan, 2004).
2. Prosentase superplasticizer yang digunakan berkisar 0-4%.
3. Molaritas NaOH yang digunakan adalah 6 M, 8 M dan 10 M.
4. Perbandingan $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH}$ yang digunakan 1,5.

Proses pembuatan benda uji :

- Binder Geopolymer ukuran 20 x 40 mm²

Jumlah bahan pembuat binder geopolymer yang dibutuhkan dihitung berdasarkan hasil perhitungan mix desain yang telah dibuat. Untuk setiap variasi campuran, akan dibuat 12 benda uji. Berikut ini adalah langkah-langkah pembuatan binder

geopolymer dengan kadar 8 M, perbandingan $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1,5$

dan superplasticizer *naphtelene sulphonated* 1% dari material cementitious.

Peralatan yang dibutuhkan :

- ✗ Seperangkat mixer
- ✗ Cetakan berukuran 20x40 mm²
- ✗ Wadah plastik
- ✗ Timbangan digital

Bahan yang diperlukan :

- ✗ NaOH 8 M
- ✗ Na_2SiO_3
- ✗ Fly Ash
- ✗ superplasticizer *naphtelene sulphonated*

Prosedur pelaksanaan :

- ◆ Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan
- ◆ Masukkan fly ash, NaOH 8 M + Na_2SiO_3 dan superplasticizer *naphtelene sulphonated* ke dalam wadah plastik. Setelah itu, campurkan dengan menggunakan mixer hingga adonan menjadi rata.
- ◆ Lumuri cetakan dengan oli agar binder yang dihasilkan tidak melengket dengan cetakan.
- ◆ Masukkan adonan binder geopolymer yang telah rata tersebut ke dalam cetakan.
- ◆ Tutup cetakan binder
- ◆ Cetakan bisa dilepas setelah binder sudah mengeras.
- ◆ Simpan binder di dalam wadah agar tidak tercampur dengan binder komposisi lainnya.



Gambar 3.4 Binder geopolimer yang telah dimasukkan di cetakan



Gambar 3.5 Binder geopolimer yang telah mengeras

- Beton Geopolymer ukuran $100 \times 200 \text{ mm}^2$

Berikut ini adalah langkah-langkah pembuatan beton geopolimer :

Peralatan yang dibutuhkan :

- ✗ Wadah yang terbuat dari pelat besi
- ✗ Cetakan berukuran $100 \times 200 \text{ mm}^2$
- ✗ Alat perojok besi
- ✗ Timbangan
- ✗ Wadah plastik
- ✗ Cetok besi

Bahan yang diperlukan :

- ✗ NaOH 8 M
- ✗ Na_2SiO_3
- ✗ Fly Ash
- ✗ superplasticizer *naphthelene sulphonated*

Prosedur pelaksanaan :

- ◆ Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan
- ◆ Campurkan larutan NaOH 8 M dan Na_2SiO_3 ke dalam wadah plastik, setelah itu diamkan selama ± 24 jam.
- ◆ Lumuri cetakan dengan oli agar beton yang dihasilkan tidak melengket dengan cetakan.
- ◆ Masukkan fly ash dan agregat kasar ke dalam wadah yang terbuat dari pelat besi, lalu campurkan hingga rata dengan menggunakan cetok besi.

- ◆ Masukkan larutan NaOH 8 M + Na₂SiO₃ dan superplasticizer *naphtelene sulphonated*, aduk hingga rata.
- ◆ Campurkan pasir ke dalam adonan dan kemudian aduk hingga rata.
- ◆ Masukkan adonan beton geopolymer yang telah rata tersebut ke dalam cetakan.
- ◆ Cetakan bisa dilepas setelah beton sudah mengeras.

● Mortar Geopolymer ukuran 50x50 mm²

Jumlah bahan pembuat mortar geopolymer yang dibutuhkan dihitung berdasarkan hasil perhitungan mix desain yang telah dibuat. Untuk setiap variasi campuran, akan dibuat 12 benda uji. Berikut ini adalah langkah-langkah pembuatan mortar

geopolymer dengan kadar 10 M, perbandingan $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1,5$

dan superplasticizer *naphtelene sulphonated* 1% dari material cementitious.

Peralatan yang dibutuhkan :

- ✗ Seperangkat mixer
- ✗ Cetakan berukuran 50x50 mm²
- ✗ Wadah plastik
- ✗ Timbangan digital
- ✗ Batang perojok
- ✗ Plastik
- ✗ Alat perata

Bahan yang diperlukan :

- ✗ NaOH 10 M
- ✗ Na₂SiO₃
- ✗ Fly Ash
- ✗ Pasir
- ✗ superplasticizer *naphtelene sulphonated*

Prosedur pelaksanaan :

- ◆ Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan
- ◆ Lumuri cetakan dengan oli agar binder yang dihasilkan tidak melengket dengan cetakan.
- ◆ Masukkan fly ash, NaOH 10 M + Na₂SiO₃ dan superplasticizer *naphtelene sulphonated* ke dalam wadah plastik. Setelah itu, campurkan dengan menggunakan mixer hingga adonan menjadi rata.
- ◆ Masukkan pasir, kemudian aduk lagi adonan supaya menjadi rata.
- ◆ Masukkan adonan mortar geopolimer yang telah rata tersebut ke dalam cetakan secara bertahap, tahap pertama mortar diisi ke dalam cetakan sampai setinggi setengah cetakan, kemudian dirojok dengan menggunakan batang perojok sebanyak 32 kali dan tahap kedua mortar diisi sampai memenuhi cetakan kemudian dirojok sebanyak 32 kali
- ◆ Ratakan permukaan mortar dengan alat perata
- ◆ Tutup cetakan mortar dengan plastik
- ◆ Cetakan bisa dilepas setelah mortar sudah mengeras.
- ◆ Simpan mortar di dalam wadah agar tidak tercampur dengan mortar komposisi lainnya.



Gambar 3.6 Cetakan mortar



Gambar 3.7 Pencetakan mortar geopolimer

Proses Curing (Perawatan) :

- **Binder Geopolymer**

Setelah dilepas dari cetakan, binder geopolymer dimasukkan ke dalam plastik tertutup untuk proses curingnya (mencegah adanya penguapan yang berlebihan) dan menjaga agar tidak tercampur dengan binder geopolymer komposisi lainnya. Hal ini dilakukan hingga tiba waktu pengetesan-pengetesan selanjutnya.



Gambar 3.8 Curing binder geopolimer dengan cara dibungkus plastik

- **Beton Geopolymer**

Setelah dilepas dari cetakan, beton geopolimer dibungkus dengan plastik untuk proses curingnya (mencegah adanya penguapan yang berlebihan).

- **Mortar Geopolymer**

Setelah dilepas dari cetakan, mortar geopolymer dimasukkan ke dalam plastik tertutup untuk proses curingnya (mencegah adanya penguapan yang berlebihan) dan menjaga agar tidak tercampur dengan mortar geopolymer komposisi lainnya. Hal ini dilakukan hingga tiba waktu pengetesan-pengetesan selanjutnya.



Gambar 3.9. Curing mortar geopolimer dengan cara ditutup plastik

D. Tes benda uji pada kondisi segar dan keras :

Sebagian besar pengetesan binder dan beton geopolymer yang akan diterapkan pada tugas akhir ini sama dengan pengetesan binder (pasta semen) dan mortar konvensional dengan mengacu pada standar ASTM. Persyaratan graut yang digunakan juga mengacu pada standar ASTM.

Binder Geopolymer kondisi segar

Pada kondisi segar, benda uji binder geopolymer dianalisa dengan melakukan tes setting time untuk mengetahui waktu pengikatan awal (mulai mengikat) dan pengikatan akhir (mulai mengeras) dari binder geopolymer dan tes kekentalan.

1. Tes Setting Time (ASTM C 191 – 92)

Tujuan : untuk mengetahui waktu pengikatan awal (mulai mengikat) dan pengikatan akhir (mulai mengeras) dari binder.

Peralatan yang diperlukan:

- ✗ Seperangkat alat viciat
- ✗ Timbangan
- ✗ Stopwatch atau alat ukur waktu lainnya.
- ✗ Gelas takar 100 cc / 20 cc
- ✗ Tempat mengaduk
- ✗ Alat mengaduk
- ✗ Solet perata
- ✗ Sarung tangan

Bahan yang diperlukan :

Pasta geopolimer

Prosedur pelaksanaan:

- ◆ Tuangkan pasta geopolymer ke dalam cetakan konikel yang ditaruh di atas plat kaca.
- ◆ Ratakan pasta dengan menggunakan solet perata dan kemudian taruh di bawah jarum viciat diameter kecil (1mm), tunggu 5 menit dihitung mulai fly ash kontak dengan larutan $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$.
- ◆ Setelah 5 menit, tempelkan ujung jarum pada permukaan pastadan setelah 30 detikjarum dihentikn dan penurunan jarum dibaca.
- ◆ Angkat jarum viciat dan lap jarumnya untuk membersihkan pasta yang menempel pada jarum viciat.
- ◆ 5 menit kemudian, dites lagi permukaan pasta, akan tetapi letaknya digeser minimum nerjarak 1 mm dsari tempat tes pertama
- ◆ Jatuhkan jarum pada pasta dan setelah 30 detik, jarum dihentikan dan dibaca berapa besar penurunannya untuk kemudian dicatat. Setelah itu, jarum diangkat dan dilap agar tidak ada bekas pasta yang menempel pada jarum.
- ◆ Begitu seterusnya, setiap 5 menit dites dan dicatat sampai penurunan 0 mm, maka percobaan dihentikan.
- ◆ Dengan membuat grafik penurunan manak didapat :

- Waktu pengikatan awal adalah penurunan pada 25 mm.
- Waktu pengikatan akhir adalah penurunan pada 0 mm.



Gambar 3.10. Tes setting time pasta

2. Tes Kekentalan Grout Menggunakan Metoda Corong Alir (ASTM 939-02)

Tujuan : menentukan waktu alir (kekentalan) dari volume cairan grout yang ditentukan melalui corong alir standar dan digunakan untuk beton agregat praletak; metode pengujian ini dapat juga digunakan untuk grout lainnya.

Ruang Lingkup :

- ✗ Metode ini menggunakan graur murni dan grout bercampur agregat halus lolos saringan ukuran 2,36 mm (no. 8).
- ✗ Metode ini dimaksudkan untuk penggunaan grout yang mempunyai waktu alir tidak lebih dari 35 detik. Bila waktu alir melebihi 35 detik, maka waktu alirnya lebih baik ditentukan dengan menggunakan meja alir (ASTM C-109), dengan menggunakan 5 jatuhan dalam waktu 3 detik.

Peralatan yang diperlukan :

- ✗ Corong alir, seperti yang diperlihatkan pada gambar. Pipa pengeluaran harus terbuat dari baja tahan karat. Badan

corongnya dapat dibuat dari baja tahan karat, aluminium tuang, atau logam lainnya yang tahan karat.

- ✗ Wadah penampung, dengan kapasitas minimum 2000 ml.
- ✗ Penyangga, harus dapat menyokong corong alir dengan stabil pada posisi vertikal, tepat di atas wadah penampung.
- ✗ Alat pengukur kedataran
- ✗ Alat pengukur waktu

Contoh uji :

Contoh uji graut harus lebih dari 1725 ml dan harus dapat mewakili graut yang ada dalam alat pencampur.

Prosedur pelaksanaan :

- ◆ Basahi bagian dalam corong alir dengan cara mengisi air.
- ◆ Keluarkan air dari corong alir satu menit sebelum memasukkan contoh uji graut.
- ◆ Tutup ujung pipa pengeluaran dengan satu jari atau penutup lainnya.
- ◆ Masukkan graut ke dalam corong alir hingga permukaan graut menyentuh ujung alat pengukur ketinggian.
- ◆ Jalankan pengukur waktu bersamaan dengan melepaskan ujung jari atau penutup lainnya.
- ◆ Hentikan pengukur waktu ketika aliran graut tidak mengalir untuk pertama kalinya.
- ◆ Waktu yang ditunjukkan oleh pengukur waktu adalah merupakan waktu alir graut.
- ◆ Lihat ke dalam corong alir, jika sinar tampak menembus pipa pengeluaran maka graut sudah mengalir dengan sempurna, dan jika sinar tidak tampak menembus pipa pengeluaran, maka corong alir tidak dapat diterapkan untuk graut dengan kekentalan tersebut.



Gambar 3.11. Corong Alir

3. Tes Kekentalan Grout dengan Menggunakan Metoda Meja Alir (ASTM C 1437)

Tujuan : menentukan waktu alir (kekentalan) dari cairan graut

. Peralatan yang diperlukan :

- ✗ Meja Alir/ meja leleh
- ✗ Cincin leleh
- ✗ Mistar
- ✗ Alat perojok
- ✗ Alat Perata

Prosedur pelaksanaan :

- ◆ Bersihkan meja alir, agar meja alir menjadi bersih dan kering, letakkan cincin leleh di tengah-tengah meja alir.
- ◆ Tuang campuran graut ke dalam cincin leleh secara nertahap. Tahap pertama sebanyak setengah dari tinggi cincin leleh, kemudian drojok dahulu sebanyak 20 kali. Tahap kedua, campuran graut dituang hingga memenuhi cincin leleh dan dirojok lagi sebanyak 20 kali.
- ◆ Ratakan campuran garaut pada bagian atas cincin kekeh dengan alat perata.
- ◆ Angkat cincin leleh pada 1 menit setelah proses pencampuran campuran graut.
- ◆ Getarkan meja leleh sebanyak 5 kali dalam waktu 3 detik.

- ◆ Ukur diameter campuran graut di atas meja alir minimal pada 4 tempat yang berlainan



Gambar 3.12 Tes Meja Alir

Binder Geopolymer kondisi keras

Sedangkan pada kondisi keras, benda uji binder geopolymer dianalisa dengan melakukan tes kuat tekan untuk mengetahui kuat tekan yang dapat dicapai binder dari berbagai macam alternatif mix desain.

1. Tes Kuat Tekan Binder (ASTM C 823 – 75)

Tes kuat tekan binder semen ini, akan dilakukan pada usia 3, 7, 14 dan 28 hari. Alat yang digunakan untuk melakukan pengesanan ini adalah torsi universal testing machine AU-5 berkapasitas 5 ton.

Peralatan yang diperlukan :

- ✗ Mesin test hidrolis (Torsee Universal Testing Machine).
- ✗ Kertas amplas

Bahan yang diperlukan : :

Benda uji silinder ukuran $20 \times 40 \text{ mm}^2$.

Prosedur Pelaksanaan :

- ◆ Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan kertas amplas

- ◆ Letakkan benda uji pada alat tekan mesin tes hidrolis.
- ◆ Jalankan mesin untuk menekan benda uji sampai hancur. Jarum dial akan bergerak saat mesin mulai menekan benda uji dan akan berhenti bila benda uji mulai hancur. Dial kemudian akan menunjukkan angka kuat tekan benda uji tersebut.

Rumus yang digunakan :

Untuk menghitung besarnya kuat tekan binder geopolymer, maka digunakan rumus :

$$\sigma = \frac{P}{A} \times \frac{1}{g} \dots\dots\dots(3.14)$$

Dimana :

- σ = Besarnya kuat tekan geopolymer (Mpa)
- P = Gaya yang diberikan terhadap permukaan binder (kg)
- A = Luas permukaan binder (cm²)
- g = Percepatan gravitasi bumi = 10 m/s²

2. Pengujian susut (*Shrinkage*) Beton (ASTM C-883-80)

Tujuan : Untuk mengetahui besarnya nilai susut (*shrinkage*) beton dari benda uji yang diukur.

Peralatan :

Testing Shrinkage Machine dengan dial pembacaan dalam 0.001 mm.

Bahan :

Pembuatan benda uji susut dengan ukuran 28.5 x 2.5 x 2.5 cm

Prosedur Pelaksanaan :

- ◆ Balok-balok persegi tersebut dicuring pada suhu 23° ± 1.7°C, dikemudian dari cetakkannya tidak lebih dari 48 jam dan disimpan dalam kondisi yang terjaga kelembaban dan suhunya sebesar 23° ± 1.7°C.

- ◆ Diukur besarnya susut yang terjadi dengan meletakkan benda uji susut ke dalam alat pengukur susut.
- ◆ Pengukuran dilakukan dengan meletakkan batang standart pengukur susut untuk mengeset alat pengukur pada nilai 0.
- ◆ Benda uji susut diletakkan pada alat pengukur susut dan dilihat pembacaan.
- ◆ Hitung perubahan panjang pada umur benda uji tertentu sebagai berikut :

$$L = \frac{(L_x - L_i)}{G} \times 100\% \dots\dots\dots(3.15)$$

Dimana :

L = perubahan panjang pada umur tertentu, %

L_x = pembacaan pengukuran benda uji balok pada umur tertentu dikurangi pembacaan batang penguji, mm.

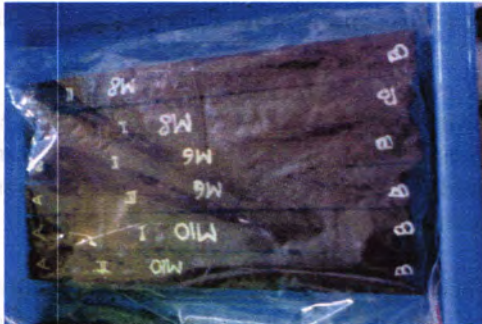
L_i = pembacaan pengukuran awal dari benda uji balok dikurangi pembacaan batang penguji, mm.

G = panjang benda uji nominal diambil 250 mm.

- ◆ Untuk benda uji selanjutnya, batang standar dimasukkan kembali untuk mengontrol nilai 0 dari alat ukur.
- ◆ Letakkan benda uji dengan ujung yang sama setiap kali pembacaan dilakukan.



Gambar 3.13 Cetakan susut



Gambar 3.14 Benda uji susut yang dicuring



Gambar 3.15 Tes Susut

Beton geopolymer kondisi segar

Pada kondisi segar, benda uji beton geopolymer dianalisa dengan melakukan beberapa tes untuk menilai sifat self-compacted-nya, yaitu tes slump untuk mengetahui workabilitas dan *flowability* dari campuran beton, U-flow test atau *L-box test* untuk mengetahui *passing ability* dari self-compacting concrete dan *Funnel test* untuk mengetahui *viscosity* dari campuran beton.

1. Setting Time Concrete by Penetration Resistance (ASTM C403)

Tujuan : Untuk menentukan waktu setting time beton yang mempunyai slump yang lebih besar dari nol, dengan berdasarkan pada pengukuran ketahanan penetrasi mortar dari campuran beton.

Peralatan :

- wadah benda uji mortar, dimensi lateral sekurang-kurangnya 150 mm, dan tinggi sekurang-kurangnya 150 mm.
- Jarum penetrasi
- Peralatan pembebanan, berkapasitas 600 N dengan akurasi ± 10 N
- Batang (untuk pemadatan), terbuat dari batang besi bediameter 16 mm, panjang 600 mm.
- Pipet
- Termometer,

Bahan :

Benda uji mortar

Prosedur Pelaksanaan :

- ◆ Sebelum melakukan tes penetrasi, hilangkan kelebihan air yang terdapat pada permukaan mortar dengan menggunakan pipet.
- ◆ Masukkan jarum penetrasi ke dalam peralatan penetrasi dan tempelkan ujung jarum penetrasi pada permukaan mortar.
- ◆ Berikan penambahan beban vertikal secara berurutan hingga jarum penetrasi mencapai kedalaman 25 ± 2 mm (diberi tanda). Waktu yang diperlukan untuk mencapai kedalaman penetrasi sebesar 25 ± 2 mm adalah 10 ± 2 s. Kemudian catat beban dan waktunya dan hitung ketahanan penetrasi yang diperlukan dengan luas permukaan jarum.
- ◆ Pengukuran tes penetrasi berikutnya diambil sejarak tidak kurang dari 15 mm dari tes sebelumnya. Jarak bersih antara jarum dan sisi dalam wadah mortar tidak kurang dari 25 mm.

- ◆ Untuk campuran beton konvensional di laboratorium bertemperatur 20-25°C, pengerjaan test awal dilakukan 3-4 jam setelah kontak awal antara semen dan air terjadi. Tes berikutnya dilakukan dengan interval waktu $\frac{1}{2}$ - 1 jam. Untuk campuran beton yang mengandung accelerators, atau temperatur yang lebih tinggi dari laboratorium, disarankan untuk melakukan tes awal pada saat 1-2 jam setelah kontak awal antara semen dan air terjadi dan tes berikutnya dilakukan dengan interval waktu $\frac{1}{2}$ jam. Untuk campuran beton yang mengandung retarder, pengerjaan test awal dilakukan setelah 4-6 jam dan tes berikutnya diatur sesuai dengan kebutuhan, tergantung tingkat setting dan jumlah tes penetrasi yang dibutuhkan.
- ◆ Buatlah sekurang-kurangnya 6 tes penetrasi untuk setiap tes setting time. Lanjutkan pengetesan sampai setidaknya bacaan ketahanan penetrasi mencapai angka 4000 psi (27.6 MPa) atau lebih.
- ◆ Plot hasil tes ke dalam grafik ketahanan penetrasi vs waktu.

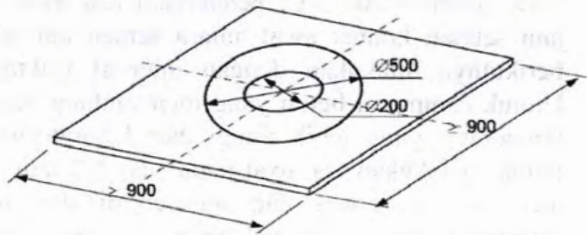
2. Slump Flow + T50

Prinsip :

Slump Flow test bertujuan untuk mengetahui *filling ability* dari SCC. Tes tersebut mengukur dua parameter, yaitu : *flow spread* dan *flow time T50*. Pada awal pengetesan memperlihatkan *deformability* secara bebas (tidak ada rintangan/halangan) dari beton SCC dan tahap akhir memperlihatkan tingkat deformasi dengan mengamati jarak *flow*-nya.

Peralatan yang diperlukan :

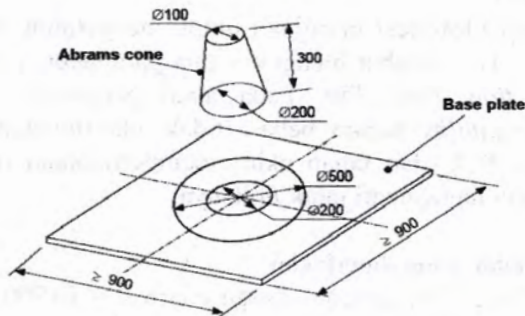
- ✗ Base Plate dengan ukuran minimal 900x900 mm, terbuat dari material yang impermeable dan kaku (plywood atau besi) dengan permukaan yang halus dan datar (deviation kedatarannya tidak melebihi 3mm) dan ditandai dengan bentuk lingkaran berdiameter $\Phi 200$ mm dan $\Phi 500$ mm di bagian tengahnya, seperti yang terlihat pada gambar 1.



Gambar 3.16. Base Plate

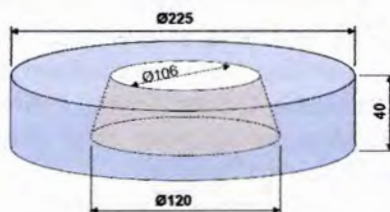
Catatan : deviasi (toleransi) kedataran permukaan *base plate* diukur dari perbedaan tinggi terbesar antara titik tertinggi dan terendah pada permukaan tersebut, dengan mengabaikan adanya rongga/lubang kecil pada permukaan *plate*.

- ✘ *Abram cone* dengan diameter atas/bawah sama dengan 100/200 mm dan tinggi sama dengan 300 mm, seperti yang terlihat pada gambar.



Gambar 3.17. Base Plate dan Abram Cone

- ✘ Cincin pemberat (>9 kg) untuk menjaga agar abram cone tetap pada posisinya selama tahap pengisian benda uji. Contoh ukuran cincin dapat dilihat pada gambar 2. Sebagai alternatifnya, cincin pemberat dapat diganti dengan cetakan besi berbentuk kerucut yang mempunyai berat lebih dari 10 kg, dan alternative keduanya adalah dengan menggunakan tenaga manusia.



Material density: 7.8~7.9 g/cm³

Gambar 3.18. Dimensi cincin pemberat

- ✘ Stopwatch dengan akurasi 0,1 detik untuk mengetahui flow time T50
- ✘ Penggaris dengan ketelitian mm untuk mengukur diameter flow spread
- ✘ Bucket/ember dengan kapasitas lebih dari 6 L untuk menempatkan benda uji beton segar
- ✘ Spon yang lembab atau handuk untuk membasahi permukaan bagian dalam cone dan permukaan base plate
- ✘ Kain lap untuk membersihkan tumpahan beton jika ada.

Prosedur Pelaksanaan :

- ◆ Tempatkan base plate yang telah dibersihkan pada tempat yang stabil dan datar.
- ◆ Isi bucket dengan SCC segar sampai $\pm 6-7$ liter dan biarkan benda uji selama 1 menit (± 10 detik).
- ◆ Selama 1 menit menunggu, basahi permukaan bagian dalam cone dan permukaan base plate dengan menggunakan spon

atau handuk yang telah dibasahi, dan tempatkan cone pada permukaan base plate di tengah-tengah lingkaran $\Phi 200$ mm dan letakkan cincin pemberat pada bagian atas cone untuk menjaga supaya tetap pada posisinya (cincin pemberat tidak diperlukan jika cone yang digunakan cukup berat).

- ◆ Isi cone dengan benda uji yang terdapat dalam bucket dengan tidak disertai usaha pemadatan secara eksternal seperti penggetaran. Kelebihan beton yang terdapat pada bagian atas cone sebaiknya dihilangkan dan beton yang tumpah atau tertinggal di base plate sebaiknya dibuang/dipindah.
- ◆ Cek dan pastikan bahwa permukaan base plate tidak terlalu kering ataupun terlalu basah. Area yang kering tidak diperbolehkan terjadi pada base plate dan kelebihan air sebaiknya dibuang/dipindah.
- ◆ Setelah short rest (tidak lebih dari 30 detik untuk membersihkan dan memastikan tingkat kelembaban pada permukaan base plate), angkat cone searah tegak lurus dari base plate dengan satu gerakan untuk memastikan agar beton diperkenankan untuk mengalir secara bebas tanpa adanya halangan dari cone dan mulai menyalakan stopwatch saat cone mulai diangkat dari base plate.
- ◆ Hentikan stopwatch saat bagian depan beton menyentuh gambar lingkaran $\Phi 500$ mm. Pembacaan stopwatch pada saat itu dinamakan nilai T50. Tes selesai ketika beton telah berhenti menyebar.

Catatan : Jangan menyentuh base plate ataupun mengganggu beton sampai pengukuran selesai

- ◆ Ukur diameter terbesar dari flow spread, d_{max} , dan ukur jarak yang tegak lurus (d_{perp}) dengan d_{max} tersebut (hasil pengukuran dibulatkan menjadi 5 mm-an)
- ◆ Bersihkan base plate dan cone setelah pengujian

Analisa hasil tes :

- ◆ Slump flow spread (S) adalah harga rata-rata dari d_{max} dan d_{perp} , seperti yang terlihat pada Equation (1). S dalam mm (hasil perhitungan S dibulatkan menjadi 5 mm-an).

$$S = \frac{(d_{max} + d_{perp})}{2}$$

- ◆ Slump flow time T50 adalah waktu pada saat cone mulai diangkat dari base plate sampai SCC menyentuh tanda lingkaran $\Phi 500$ mm. T50 dinyatakan dalam detik dengan ketelitian 1/10 detik.

Presisi :

- ◆ Sesuai dengan ISO 5725, definisi repeatability r adalah perbedaan nilai antara dua tes yang dilakukan secara berurutan dengan operator dan peralatan yang sama. Sedangkan reproducibility R didefinisikan sebagai perbedaan nilai antara dua tes yang dilakukan secara berurutan dengan operator dan peralatan yang berbeda.
- ◆ Berdasarkan the inter-laboratory test organized pada EU-project "Testing-SCC" (GRD2-2000-30024/G6RD-CT-2001-00580) dengan 2 replika dan 16 operator dari 8 laboratorium, nilai repeatability dan reproducibility dari slump flow spread dan flow time T50 terlihat pada table 3.1.

Tabel 3.1. Presisi penyebaran slump flow dan waktu flow T50

Slump flow spread S [mm]	< 600	600 ~ 750	> 750
Repeatability r [mm]	N.A.	42	22
Reproducibility R [mm]	N.A.	43	28
Slump flow time T50 [sec]	≤ 3.5	3.5 ~ 6	> 6
Repeatability r [sec]	0.66	1.18	N.A.
Reproducibility R [sec]	0.88	1.18	N.A.

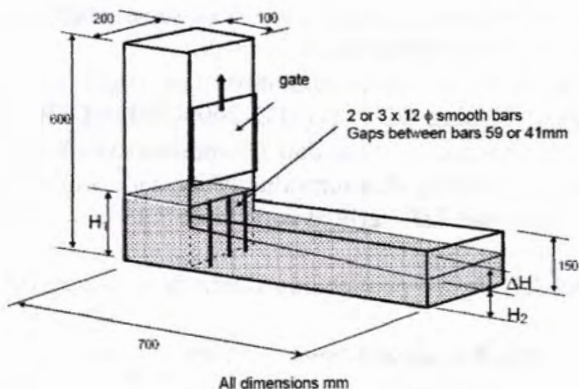
3. L-box test

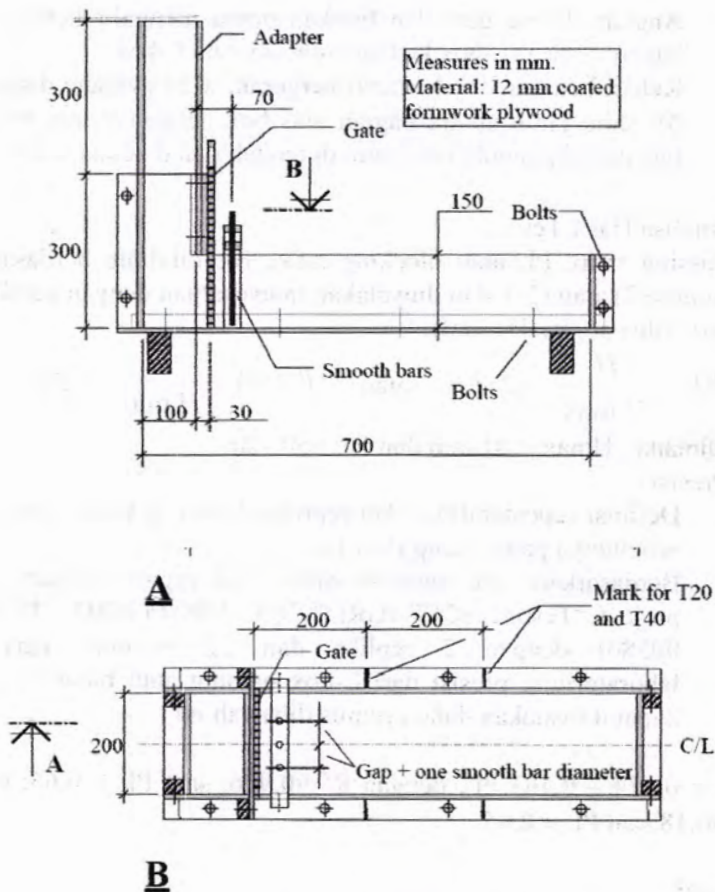
Prinsip :

Metode ini bertujuan untuk mengetahui passing ability dari SCC. Metode ini mengukur tinggi yang dapat dicapai SCC setelah melewati rintangan berupa batangan besi (gate) dan mengalir sampai jarak tertentu. Dengan besarnya tinggi yang dapat dicapai SCC, perilaku *passing* atau *blocking* SCC dapat diperkirakan.

Peralatan :

- ✘ L-box, seperti yang terlihat pada gambar. Dapat menggunakan 2 tipe gate, yaitu gate dengan 3 batangan besi dan gate dengan 2 batangan besi. Jarak antar batangan besi berturut-turut adalah 41 mm dan 59 mm.
- ✘ Penggaris
- ✘ Bucket/ember untuk menempatkan benda uji





Gambar 3.19. Detail L-box

Prosedur Pelaksanaan :

- ◆ Tempatkan L-box pada tempat yang stabil dan datar.
- ◆ Isi bagian vertical dari L-box dengan 12,7 liter SCC segar.
- ◆ Biarkan benda uji beton selama satu menit (± 10 detik). Selama waktu ini, beton akan memperlihatkan apakah beton tersebut stabil dan tidak mengalami segregasi atau sebaliknya.

- ◆ Angkat sliding gate dan biarkan beton mengalir keluar dari bagian vertical L-box ke bagian horizontal L-box.
- ◆ Ketika beton sudah berhenti bergerak, ukur average distance, Δh yaitu jarak antara bagian atas box dengan beton. Pambil tiga posisi pengukuran, yaitu di tengah dan d kedua sisi box.

Analisa Hasil Tes :

Passing ratio, PL atau blocking ratio, BL dihitung berdasarkan rumus (2) atau (2'), dan dinyatakan tanpa satuan dengan ketelitian 0,01 (dua angka decimal).

$$PL = \frac{H}{H_{\max}} \quad (2) \quad \text{atau} \quad BL = 1 - \frac{H}{H_{\max}} \quad (2')$$

Dimana : $H_{\max} = 91 \text{ mm}$ dan $H = 150 - \Delta h$

Presisi :

- ◆ Definisi repeatability, r dan reproducibility R telah dijelaskan sebelumnya pada slump flow test.
- ◆ Berdasarkan the inter-laboratory test organized pada EU-project "Testing-SCC" (GRD2-2000-30024/G6RD-CT-2001-00580) dengan 2 replika dan 22 operator dari 11 laboratorium, presisi dari L-box passing atau blocking ratio dapat dinyatakan dalam rumus dibawah ini :

$r = 0,474 - 0,463 PL$, dengan $R^2 = 0,996$, saat $PL \geq 0,65$; dan $r = 0,18$ saat $PL < 0,65$

atau

$r = 0,463BL - 0,011$, dengan $R^2 = 0,996$, saat $BL \leq 0,35$; dan $r = 0,18$ saat $BL > 0,35$

dan

$R = 0,454 - 0,425 PL$, dengan $R^2 = 0,989$, saat $PL \geq 0,65$; dan $r = 0,18$ saat $PL < 0,65$

atau

$R = 0,425BL - 0,029$, dengan $R^2 = 0,996$, saat $BL \leq 0,35$; dan $r = 0,18$ saat $BL > 0,35$

Dimana R^2 adalah koefisien korelasi kuadrat
Beberapa nilai dijabarkan pada tabel 3.2

Tabel 3.2. Presisi Passing L-box dan rasio blocking

Passing ratio P_L	1	0.9	0.8	0.7	< 0.65
Blocking ratio B_L	0	0.1	0.2	0.3	> 0.35
Repeatability r	0.01	0.06	0.10	0.15	0.18
Reproducibility R	0.03	0.07	0.11	0.16	0.18

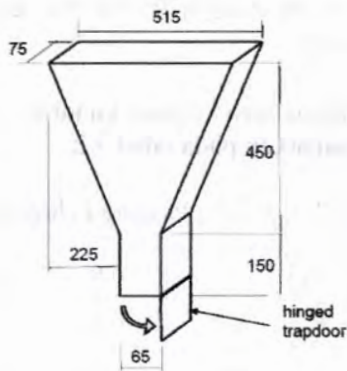
4. V-funnel test

Prinsip :

V-funnel flow time adalah waktu yang diperlukan SCC untuk dapat melewati celah yang sempit dan menentukan filling ability dari SCC yang dapat diketahui dari adanya blocking atau segregasi yang terjadi.

Peralatan yang dibutuhkan :

✗ V-funnel, seperti yang terlihat pada gambar



Gambar 3.20. V-funnel

- ✘ Stopwatch dengan ketelitian 0,1 detik untuk mengetahui flow time
- ✘ Straightedge untuk levelling/meratakan beton
- ✘ Bucket dengan kapasitas 12-14 liter menempatkan benda uji beton
- ✘ Spon dan handuk yang agak basah untuk membasahi bagian dalam dari V-funnel

Prosedur Pelaksanaan :

- ◆ Tempatkan V-funnel yang telah dibersihkan secara vertikal pada tempat yang stabil dan datar. Bagian atas V-funnel dalam posisi horizontal.
- ◆ Basahi bagian dalam V-funnel dengan spon dan handuk yang agak basah, hindari kelebihan air pada saat membasahi V-funnel.
- ◆ Tutup gate dan tempatkan bucket dibawahnya untuk menyimpan beton yang telah melewati gate tersebut.
- ◆ Isi V-funnel dengan benda uji SCC sampai penuh tanpa disertai dengan tindakan pemadatan.

- ◆ Pindahkan kelebihan beton dari bagian atas V-funnel dengan menggunakan straightedge.
- ◆ Buka gate setelah (10 ± 2) detik (waiting period). Jalankan stopwatch pada saat gate mulai dibuka.
- ◆ Lihat ke bagian dalam V-funnel dan hentikan stopwatch pada saat V-funnel mulai kosong. Bacaan stopwatch pada saat itu dinamakan sebagai V-funnel flow time, t_v .

Catatan : Jangan menyentuh atau menggerakkan V-funnel sampai funnel benar-benar kosong.

- ◆ Bersihkan V-funnel setelah pengetesan.

Analisa Hasil Tes :

V-funnel time, t_v adalah waktu yang diukur pada saat gate mulai dilepas sampai mulai terlihatnya celah bukaan gate. t_v dinyatakan dalam ketelitian 0,1 detik.

Presisi :

- ◆ Definisi repeatability, r dan reproducibility R telah dijelaskan sebelumnya pada slump flow test.
- ◆ Berdasarkan the inter-laboratory test organized pada EU-project "Testing-SCC" (GRD2-2000-30024/G6RD-CT-2001-00580) dengan 2 replika dan 20 operator dari 10 laboratorium, presisi dari V-funnel flow time dapat dinyatakan dalam rumus dibawah ini :

$r = 0,335 t_v - 0,62$, dengan $R^2 = 0,823$, saat $3 \leq t_v \leq 15$; dan $r = 4,4$ saat $t_v > 15$

dan

$R = 0,502 t_v - 0,943$, dengan $R^2 = 0,984$, saat $3 \leq t_v \leq 15$; dan $R = 6,6$ saat $t_v > 15$

Dimana R^2 adalah koefisien korelasi kuadrat

Beberapa nilai dijabarkan pada tabel 3.3.

Tabel 3.3. Presisi waktu flow V-funnel

V-funnel flow time t_V [sec]	3	5	8	12	≥ 15
Repeatability r [sec]	0.4	1.1	2.1	3.4	4.4
Reproducibility R [sec]	0.6	1.6	3.1	5.1	6.6

☐ Beton geopolimer kondisi keras

Sedangkan pada kondisi keras, benda uji beton geopolimer dianalisa dengan melakukan tes kuat tekan untuk mengetahui kuat tekan yang dapat dicapai beton dari berbagai macam alternatif mix desain sehingga dapat disimpulkan mix desain yang optimum, tes susut dan tes rangkak beton.

1. Capping Silinder Beton (ASTM C-617-83)

Tujuan : Untuk meratakan permukaan beton benda uji sebelum dites tekan hancur.

Peralatan :

- ✗ Pelat capping terbuat dari metal dengan tebal lapisan 13 mm, dimana pada pelat capping tersebut terdapat lubang diameter untuk meletakkan silinder benda uji yang berdiameter 25 mm lebih besar dari diameter benda uji dan berkedalaman 0.05 mm.
- ✗ Alat penuntun/penyarah beton yang akan dicapping tergabung dengan pelatnya berfungsi mendorong benda uji menuju ke tengah lubang dengan cakupan tidak lebih dari 2 mm.

Bahan :

Sulfur mortar dengan titik nyala 227°C dan juga mempunyai kekuatan tekan pada umur 2 jam setelah dipanaskan sebesar 34.5 Mpa.

Prosedur Pelaksanaan :

- ✗ Sulfur dipanaskan sampai meleleh sehingga siap untuk dituang dalam celah atau lubang pada alat capping.
- ✗ Masukkan benda uji silinder melalui besi penuntun sehingga menyentuh genangan sulfur pada alat capping.
- ✗ Ditunggu sebentar kemudian benda uji silinder diangkat atau dilepaskan dengan ketebalan capping sekitar 3 mm.

2. Pengujian Kuat Tekan Beton (ASTM C-39-81)

Tujuan : Untuk mengetahui kuat tekan hancur dari silinder beton yang mewakili spesimen beton dalam mix desain.

Peralatan :

Mesin test hidrolis. (Torsee Universal Testing Machine)

Bahan :

Benda uji silinder ukuran 10 x 20 cm.

Prosedur Pelaksanaan :

- ◆ Permukaan benda uji yang akan dites dibersihkan serta tempat untuk meletakkan benda uji pada alat tes.
- ◆ Benda uji harus diletakkan pada permukaan pertengahan konsentris silinder dari alat tes.
- ◆ Kecepatan pembebanan harus kontinue dan tempa hentakan dengan kecepatan pembebanan yang disyaratkan 0.14 s/d 0.34 Mpa per detik.
- ◆ Dilihat pembacaan kemampuan hancur dari benda uji.


3. Pengujian susut (*Shrinkage*) Beton (ASTM C-883-80)

Seperti yang telah dijelaskan pada hal 65.

Mortar Geopolymer kondisi segar

Pada kondisi segar, benda uji mortar geopolymer dianalisa dengan melakukan tes setting time untuk mengetahui waktu pengikatan awal (mulai mengikat) dan pengikatan akhir (mulai mengeras) dari mortar geopolymer dan tes kekentalan.

1. Tes Kekentalan Grout dengan Menggunakan Metoda Meja Alir (ASTM C 1437), seperti yang telah dijelaskan pada halaman 61.

 Mortar Geopolymer kondisi keras

Sedangkan pada kondisi keras, benda uji mortar geopolymer dianalisa dengan melakukan tes kuat tekan untuk mengetahui kuat tekan yang dapat dicapai mortar dari berbagai macam alternatif mix desain dan tes susut.

1. Tes Kuat Tekan Mortar (ASTM C109)

Tes kuat tekan binder semen ini, akan dilakukan pada usia 3, 7, 14 dan 28 hari.

Peralatan yang diperlukan :

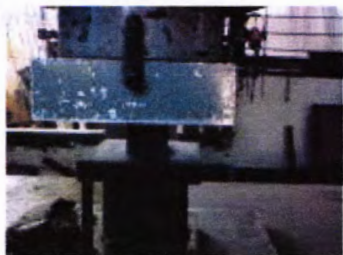
✘ Mesin test hidrolis (Torse Universal Testing Machine).

Bahan yang diperlukan : :

Benda uji mortar ukuran $50 \times 50 \text{ mm}^2$.

Prosedur Pelaksanaan :

- ◆ Letakkan benda uji pada alat tekan mesin tes hidrolis.
- ◆ Jalankan mesin untuk menekan benda uji sampai hancur. Jarum dial akan bergerak saat mesin mulai menekan benda uji dan akan berhenti bila benda uji mulai hancur. Dial kemudian akan menunjukkan angka kuat tekan benda uji tersebut.



Gambar 3.21. Tes tekan mortar

2. Pengujian susut (*Shrinkage*) Beton (ASTM C-883-80)
Seperti yang telah dijelaskan pada hal 65.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"



(01-088-) MTRA) nomor (01/01/01) tahun 2001
yang telah ditetapkan pada tanggal 01/01/01

BAB IV ANALISA DAN DATA

Di dalam bab ini akan dibahas mengenai hasil tes yang dilakukan terhadap material, binder maupun mortar geopolimer. Hasil pengetesan akan disajikan dalam bentuk grafik maupun table.

IV.1. Analisa yang dilakukan terhadap material

IV.1.1. Fly Ash

Berikut ini adalah data kimia fly ash yang diperoleh dari Proyek Jembatan Suramadu :

Tabel 4.1. Tabel komposisi kimia fly ash

Parameter	Test Result(%)
SiO ₂	53.20
Fe ₂ O ₃	12.59
Al ₂ O ₃	10.38
CaO	11.20
MgO	4.86
Na ₂ O	2.12
K ₂ O	1.31
SO ₃	1.3
LOI	0.38

Analisa:

- Referensi :

Jika jumlah dari tiga komponen utama fly ash (SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃) lebih dari 70 % maka diklasifikasikan sebagai fly ash kelas F (ACI 2002).

- Hasil penelitian:

Jumlah dari SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃ adalah = 53,20 + 12,59 + 10,38 = 76,17 %.

- Kesimpulan :

Fly ash yang digunakan memenuhi persyaratan fly ash kelas F.

IV.1.2. Agregat halus

Pengujian pasir ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan pasir terhadap aturan ASTM yang digunakan. Agregat halus yang digunakan adalah pasir Lumajang, selanjutnya dilakukan pengujian sifat-sifat fisik di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan ITS Surabaya.

Hasil yang diperoleh dari pengujian adalah sebagai berikut :

IV.1.2.1. DATA HASIL PERCOBAAN KELEMBABAN PASIR

Tabel 4.2. KELEMBABAN PASIR
(ASTM C 566 - 89)

Percobaan Nomor	1 (gram)	2 (gram)	Batas presisi ASTM C566
Berat Pasir Asli (w1)	500	500	0,28 % untuk single operator
Berat Pasir Oven (w2)	496,5	497,5	
Kelembaban Pasir	0,7 %	0,5 %	

Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan data kelembaban pasir seperti pada tabel 4.2 dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (3.3)

$$\begin{aligned}
 \text{Percobaan I} &= \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100\% \\
 &= \frac{(500 - 496,5)}{496,5} \times 100\% \\
 &= 0,7\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Percobaan II} &= \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100\% \\
 &= \frac{(500 - 497,5)}{497,5} \times 100\% \\
 &= 0,5\%
 \end{aligned}$$

$$\text{Kelembaban pasir rata-rata} = \frac{(0,7\% + 0,5\%)}{2} = 0,6\%$$

Analisa:

- Referensi :

Berdasarkan batas-batas presisi yang terdapat pada ASTM C 566, diketahui batas presisi selisih antara dua hasil percobaan kelembaban pasir untuk single operator adalah 0,28%.

- Hasil penelitian :

Selisih yang terjadi antara hasil percobaan I dan percobaan II adalah $= 0,7\% - 0,5\% = 0,2\%$.

- Kesimpulan :

Percobaan kelembaban pasir yang telah dilakukan **memenuhi persyaratan** batas presisi ASTM C 566.

IV.1.2.2. DATA HASIL PERCOBAAN BERAT JENIS PASIR

TABEL 4.3. BERAT JENIS PASIR
(ASTM C 128-78)

Percobaan Nomor	1 (gram)	2 (gram)	Batas presisi ASTM 128
Berat labu + pasir + air (w1)	1544,5	1525	0,0027 untuk single operator
Berat Pasir SSD	500	500	
Berat Labu + air (w2)	1228,5	1210	
Berat jenis pasir	2,717	2,703	

Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan data berat jenis pasir seperti pada tabel 4.3 dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (3.4)

$$\begin{aligned} \text{Percobaan I} &= \frac{500}{(500 + W_2) - W_1} \\ &= \frac{500}{(500 + 1228,5) - 1544,5} \\ &= 2,717 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percobaan II} &= \frac{500}{(500 + W_2) - W_1} \\ &= \frac{500}{(500 + 1210) - 1525} \\ &= 2,703 \end{aligned}$$

$$\text{Berat jenis pasir rata-rata} = \frac{(2,717 + 2,703)}{2} = 2,71$$

Analisa:

- Referensi :

Berdasarkan batas-batas presisi yang terdapat pada tabel 1 ASTM C 128, diketahui batas presisi selisih antara dua hasil percobaan berat jenis pasir kondisi SSD untuk single operator adalah 0,027.

- Hasil penelitian :

Selisih yang terjadi antara hasil percobaan I dan percobaan II adalah $= 2,717 - 2,703 = 0,014$.

- Kesimpulan :

Percobaan berat jenis pasir yang telah dilakukan **memenuhi persyaratan** batas presisi ASTM C 128.

IV.1.2.3. DATA PADA HASIL PERCOBAAN AIR RESAPAN PADA PASIR

TABEL 4.4. AIR RESAPAN PADA PASIR
(ASTM C 128- 93)

Percobaan Nomor	1 (gram)	2 (gram)	Batas presisi ASTM 128
Berat Pasir SSD	500	500	0,31 % untuk single operator
Berat Pasir Oven (w1)	490,5	490,5	
Kadar air resapan	1,937 %	1,937 %	

Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan data air resapan pasir seperti pada tabel 4.4 dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (3.5)

$$\begin{aligned} \text{Percobaan I} &= \frac{(500 - W_1)}{W_1} \times 100\% \\ &= \frac{(500 - 490,5)}{490,5} \times 100\% \\ &= 1,937\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percobaan II} &= \frac{(500 - W_1)}{W_1} \times 100\% \\ &= \frac{(500 - 490,5)}{490,5} \times 100\% \\ &= 1,937\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Air resapan pasir rata-rata} &= \frac{(1,937\% + 1,937\%)}{2} \\ &= 1,937\% \end{aligned}$$

Analisa:

- Referensi :

Berdasarkan batas-batas presisi yang terdapat pada tabel 1 ASTM C 128, diketahui batas presisi selisih antara dua hasil percobaan air resapan pasir untuk single operator adalah 0,31%.

- Hasil penelitian :
 Selisih yang terjadi antara hasil percobaan I dan percobaan II adalah = $1,937 - 1,937 = 0$
- Kesimpulan :
 Percobaan air resapan pasir yang telah dilakukan **memenuhi persyaratan** batas presisi ASTM C 128.

IV.1.2.4. DATA HASIL PERCOBAAN BERAT VOLUME PASIR

TABEL 4.5. BERAT VOLUME PASIR
 (ASTM C 29 – 91)

Percobaan	Dengan Rojokan (gram)	Tanpa Rojokan (gram)
Berat Silinder (w1)	1077	1077
Berat Silinder + Pasir (w2)	4022	4231
Berat Pasir (w2-w1)	2945	3154
Volume Silinder (V)	2000 cm ³	2000 cm ³
Berat Volume	1,473 gr/cm ³	1,577 gr/cm ³

Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan data berat volume pasir seperti pada tabel 4.5 dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (3.6)

$$\begin{aligned}
 \text{Percobaan I (dengan rojokan)} &= \frac{(W_2 - W_1)}{V} \\
 &= \frac{(4022 - 1077)}{2000} \\
 &= 1,473 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Percobaan II (tanpa rojokan)} &= \frac{(W_2 - W_1)}{V} \\
 &= \frac{(4231 - 1077)}{2000}
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat volume pasir rata-rata} = \frac{= 1,577 \text{ gr/cm}^3}{2} = \frac{(1,473 + 1,577)}{2} = 1,525 \text{ gr/cm}^3$$

IV.1.2.5. DATA PADA HASIL PERCOBAAN KADAR ZAT ORGANIK

TABEL 4.6. KADAR ZAT ORGANIK
(ASTM C 40 – 92)

Percobaan Nomor	1	2
Volume Pasir	130 ml	130 ml
Larutan 3 % NaOH (cc)	70 ml	70 ml
Warna yang timbul	Putih bening	Putih bening

Analisa:

- Referensi :

Berdasarkan ASTM C 40 dalam penentuan kadar zat organik, warna hasil percobaan harus tidak lebih tua dari zat warna pembanding yaitu NaOH. Jika warna hasil percobaan lebih tua daripada warna standar, maka sampel agregat halus mengandung kotoran organik.

- Hasil penelitian :

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, warna yang timbul adalah putih bening (tidak berubah warna).

- Kesimpulan :

Kandungan zat organik dalam sampel agregat halus memenuhi persyaratan dalam ASTM C 40.

IV.1.2.6 DATA PADA HASIL PERCOBAAN KADAR LUMPUR (PENCUCIAN)

TABEL 4.7. KEBERSIHAN PASIR TERHADAP LUMPUR DENGAN CARA PENCUCIAN (ASTM C 117-95)

Percobaan Nomor	1 (gram)	2 (gram)	Batas nilai ASTM33	Batas presisi ASTM117
Berat Pasir Kering (w ₁)	500	500	5 % dari total sample percobaan	0,43% untuk single operator
Berat Pasir bersih kering (w)	496,5	494,5		
Kadar Lumpur	0,7 %	1,1 %		

Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan data kadar lumpur pada pasir seperti pada tabel 4.7 dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (3.7)

$$\begin{aligned} \text{Percobaan I} &= \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \\ &= \frac{500 - 496,5}{500} \times 100\% \\ &= 0,7\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percobaan II} &= \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \\ &= \frac{(500 - 494,5)}{500} \times 100\% \\ &= 1,1\% \end{aligned}$$

$$\text{Kadar lumpur pada pasir rata-rata} = \frac{(0,7\% + 1,1\%)}{2} = 0,9\%$$

Analisa:

- Referensi :

- Ⓢ Berdasarkan ASTM C 33 batas maksimum kebersihan pasir terhadap material yang lebih halus dari ayakan no. 200 (75

μ m) untuk klasifikasi beton umum adalah sebesar 5% dari total sampel percobaan.

- ⓐ Berdasarkan batas-batas presisi yang terdapat pada tabel 1 ASTM C 117, diketahui batas presisi selisih antara dua hasil percobaan kadar lumpur(pencucian) untuk agregat halus untuk single operator adalah 0,43%.

- Hasil penelitian :

- ⓐ Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan didapatkan hasil kadar lumpur pada pasir rata-rata adalah 0,9% (kurang dari 5 % dari total sampel percobaan).
- ⓐ Selisih yang terjadi antara hasil percobaan I dan percobaan II adalah = $1,1 \% - 0,7 \% = 0,4 \%$.

- Kesimpulan :

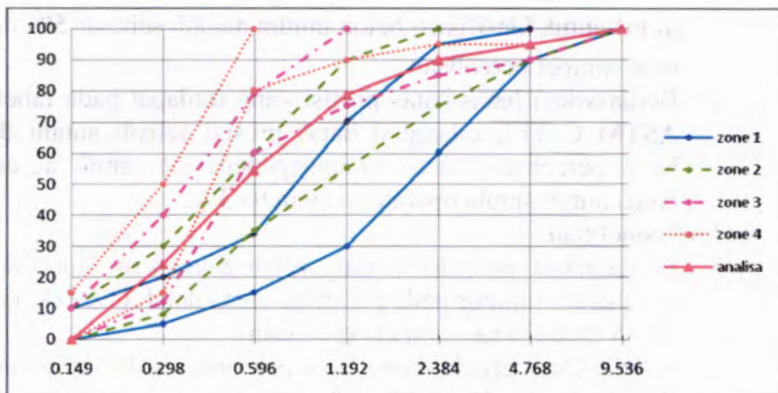
- ⓐ Percobaan kadar lumpur pada pasir (pencucian) **memenuhi persyaratan** pada ASTM C 33.
- ⓐ Percobaan kadar lumpur pada pasir (pencucian) **memenuhi persyaratan** pada ASTM C 117.

IV.1.2.7. DATA HASIL PERCOBAAN ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS

Tabel 4.8. Hasil analisa saringan agregat halus

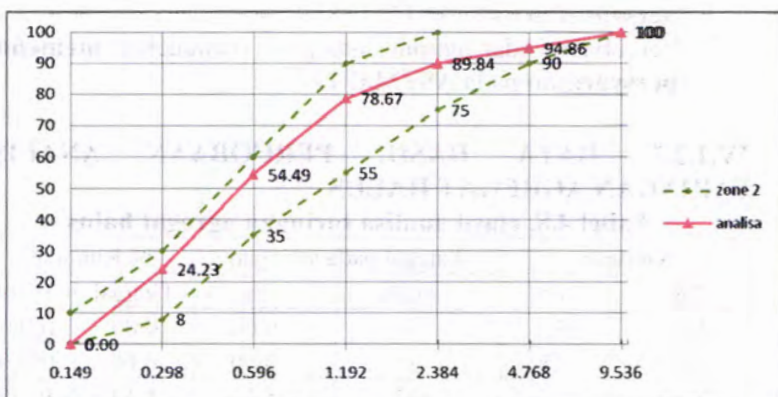
Saringan		Tinggal pada saringan		% Kumulatif	
No	mm	gram	%	Tinggal	Lolos
3/4 "	19.1	0	0.00	0.00	100.00
3/8 "	9,5	0	0.00	0.00	100.00
No.4	# 4,76	23	5.14	5.14	94.86
No.8	2,38	22.5	5.03	10.16	89.84
No.16	1,19	50	11.17	21.33	78.67
No.30	0,59	108.3	24.18	45.51	54.49
No.50	0,297	135.5	30.26	75.77	24.23
No.100	0,149	108.5	24.23	100.00	0.00
Pan	0	0	0.00	100.00	0.00
Jumlah		447.8	100	257.90	542.10
		Fm pasir		2.58	

(sumber: Hasil penelitian)



(sumber: Hasil penelitian)

Gambar 4.1 Grafik lengkung ayakan pasir



(sumber: Hasil penelitian)

Gambar 4.2 Grafik lengkung ayakan pasir zona 2

Hasil analisa ayakan yang ditampilkan dalam grafik 4.2 dan tabel 4.8 menunjukkan bahwa pasir yang digunakan berada dalam batas gradasi zona 2 dengan modulus kehalusan 2,58.

IV.1.3. Agregat Kasar

Batu pecah yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 2 macam ukuran yaitu ukuran 5-10 dan 10-20. Selanjutnya dilakukan pengujian sifat-sifat fisik di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan ITS Surabaya.

IV.1.3.1. DATA HASIL PERCOBAAN KELEMBABAN BATU PECAH

TABEL 4.9. KELEMBABABAN BATU PECAH (5-10 mm)
(ASTM 566-89)

Percobaan Nomor	1 (gram)	2 (gram)	Batas presisi ASTM C566
Berat batu pecah asli (w_1)	500	500	0,28 % untuk single operator
Berat batu pecah oven (w_2)	484,5	484	
Kelembaban Batu Pecah	3,2 %	3,31 %	

Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan data kelembaban batu pecah (5-10 mm) seperti pada tabel 4.9 dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (3.8)

$$\begin{aligned} \text{Percobaan I} &= \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100\% \\ &= \frac{(500 - 484,5)}{484,5} \times 100\% \\ &= 3,2\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percobaan II} &= \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100\% \\ &= \frac{(500 - 484)}{484} \times 100\% \\ &= 3,31\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kelembaban batu pecah (5-10 mm) rata-rata} &= \frac{(3,2\% + 3,31\%)}{2} \\ &= 3,255\% \end{aligned}$$

TABEL 4.10. KELEMBABABAN BATU PECAH (10-20 mm)
(ASTM 566-89)

Percobaan Nomor	1 (gram)	2 (gram)	Batas presisi ASTM C566
Berat batu pecah asli (w1)	500	500	0,28 % untuk single operator
Berat batu pecah oven w2)	485	486,5	
Kelembaban Batu Pecah	3,09%	2,77%	

Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan data kelembaban batu pecah (10-20 mm) seperti pada tabel 4.10 dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (3.8)

$$\begin{aligned} \text{Percobaan I} &= \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100\% \\ &= \frac{(500 - 485)}{485} \times 100\% \\ &= 3,09\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percobaan II} &= \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100\% \\ &= \frac{(500 - 486,5)}{486,5} \times 100\% \\ &= 2,77\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kelembaban batu pecah (5-10 mm) rata-rata} &= \\ \frac{(3,09\% + 2,77\%)}{2} &= 2,93\% \end{aligned}$$

Analisa:

- Referensi :

Berdasarkan batas-batas presisi yang terdapat pada ASTM C 556, diketahui batas presisi selisih antara dua hasil percobaan kelembaban batu pecah untuk single operator adalah 0,28 %.

- Hasil penelitian :

⊗ Batu pecah I (5 -10 mm)

Selisih yang terjadi antara hasil percobaan I dan percobaan II adalah = $3,31 - 3,2 = 0,11 \%$

⊗ Batu pecah II (10 - 20 mm)

Selisih yang terjadi antara hasil percobaan I dan percobaan II adalah = $3,09 - 2,77 = 0,32 \%$

- Kesimpulan :

Percobaan kelembaban batu pecah yang telah dilakukan **memenuhi persyaratan** batas presisi ASTM C556.

IV.1.3.2. DATA HASIL PERCOBAAN BERAT JENIS BATU PECAH

TABEL 4.11. BERAT JENIS BATU PECAH (5-10 mm)
(ASTM C 127-88-93)

Percobaan Nomor	1 (gram)	2 (gram)	Batas presisi ASTM C127
Berat batu pecah di udara (w1)	3000	3000	0,02 % untuk single operator
Berat batu pecah di air (w2)	1925	1925	
Berat jenis batu pecah	2,79	2,79	

Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan data berat jenis batu pecah (5-10 mm) seperti pada tabel 4.11 dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (3.9)

$$\begin{aligned} \text{Percobaan I} &= \frac{W_1}{W_1 - W_2} \\ &= \frac{3000}{3000 - 1925} \\ &= 2,79 \end{aligned}$$

$$\text{Percobaan II} = \frac{W_1}{W_1 - W_2}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{3000}{3000 - 1925} \\
 &= 2,79
 \end{aligned}$$

Berat jenis batu pecah (5-10 mm) rata-rata = $\frac{(2,79 + 2,79)}{2} = 2,79$

TABEL 4.12. BERAT JENIS BATU PECAH (10-20 mm)
(ASTM C 127-88-93)

Percobaan Nomor	1 (gram)	2 (gram)	Batas presisi ASTM C127
Berat batu pecah di udara (w1)	3000	3000	0,02 % untuk single operator
Berat batu pecah di air (w2)	1910	1912	
Berat jenis batu pecah	2,752	2,757	

Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan data berat jenis batu pecah (10-20 mm) seperti pada tabel 4.12 dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (3.9)

$$\begin{aligned}
 \text{Percobaan I} &= \frac{W_1}{W_1 - W_2} \\
 &= \frac{3000}{3000 - 1910} \\
 &= 2,752
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Percobaan IV} &= \frac{W_1}{W_1 - W_2} \\
 &= \frac{3000}{3000 - 1912} \\
 &= 2,757
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat jenis batu pecah (10-20 mm) rata-rata} = \frac{(2,752 + 2,757)}{2} \\ = 2,754$$

Analisa:

- Referensi :

Berdasarkan batas-batas presisi yang terdapat pada tabel I ASTM C 127, diketahui batas presisi selisih antara dua hasil percobaan berat jenis batu pecah kondisi SSD untuk single operator adalah 0,02.

- Hasil penelitian :

⊙ Batu pecah I (5 -10 mm)

Selisih yang terjadi antara hasil percobaan I dan percobaan II adalah $= 2,79 - 2,79 = 0$

⊙ Batu pecah II (10 - 20 mm)

Selisih yang terjadi antara hasil percobaan I dan percobaan II adalah $= 2,752 - 2,757 = 0,005$

- Kesimpulan :

Percobaan berat jenis batu pecah yang telah dilakukan **memenuhi persyaratan** batas presisi ASTM C 127.

IV.1.3.3. DATA HASIL PERCOBAAN AIR RESAPAN PADA BATU PECAH

TABEL 4.13. AIR RESAPAN PADA BATU PECAH (5-10 mm)
(ASTM C 127-88 Reapp 93)

Percobaan Nomor	1 (gram)	2 (gram)	Batas presisi ASTM C127
Berat batu pecah SSD	3000	3000	0,31 % untuk single operator
Berat batu pecah oven (w1)	2965	2965	
Kadar air resapan = (3000-w1)/w1 x 100%	1,17 %	1,17 %	

Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan data air resapan batu pecah seperti pada tabel 4.13 dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (3.10)

$$\text{Percobaan I} = \frac{(3000 - W_1)}{W_1} \times 100\%$$

$$= \frac{(3000 - 2965)}{3000} \times 100\%$$

$$= 1,17\%$$

$$\text{Percobaan II} = \frac{(3000 - W_1)}{W_1} \times 100\%$$

$$= \frac{(3000 - 2965)}{3000} \times 100\%$$

$$= 1,17\%$$

$$\text{Air resapan batu pecah (5-10 mm) rata-rata} = \frac{(1,17\% + 1,17\%)}{2} = 1,17\%$$

TABEL 4.14. AIR RESAPAN PADA BATU PECAH (10-20 mm)
(ASTM C 127-88 Reapp 93)

Percobaan Nomor	1 (gram)	2 (gram)	Batas presisi ASTM C127
Berat batu pecah SSD	3000	3000	0,31 % untuk single operator
Berat batu pecah oven (w1)	2980	2981	
Kadar air resapan = (3000 - w1)/w1 x 100%	0,67 %	0,63 %	

Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan data air resapan batu pecah seperti pada tabel 4.14 dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (3.10)

$$\begin{aligned} \text{Percobaan I} &= \frac{(3000 - W_1)}{W_1} \times 100\% \\ &= \frac{(3000 - 2980)}{3000} \times 100\% \\ &= 0,67\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percobaan II} &= \frac{(3000 - W_1)}{W_1} \times 100\% \\ &= \frac{(3000 - 2981)}{3000} \times 100\% \\ &= 0,63\% \end{aligned}$$

$$\text{Air resapan batu pecah (10-20 mm) rata-rata} = \frac{(0,67\% + 0,63\%)}{2} = 0,65\%$$

Analisa:

- Referensi :

Berdasarkan batas-batas presisi yang terdapat pada tabel 1 ASTM C 127, diketahui batas presisi selisih antara dua hasil percobaan air resapan pasir untuk single operator adalah 0,31%.

- Hasil penelitian :

⊗ Batu pecah I (5 -10 mm)

Selisih yang terjadi antara hasil percobaan I dan percobaan II adalah = 1,17 % - 1,17 % = 0

⊗ Batu pecah II (10 - 20 mm)

Selisih yang terjadi antara hasil percobaan I dan percobaan II adalah = 0,67 % - 0,63 % = 0,04 %

- Kesimpulan:

Percobaan air resapan batu pecah yang telah dilakukan **memenuhi persyaratan** batas presisi ASTM C 127

IV.1.3.4. DATA HASIL PERCOBAAN BERAT VOLUME BATU PECAH

TABEL 4.15. BERAT VOLUME BATU PECAH (5-10 mm)
(ASTM C 29 – 91)

Jenis Percobaan	Dengan Rojokan (gram)	Tanpa Rojokan (gram)
Berat Silinder (w1)	1077	1077
Berat Silinder + batu pecah (w2)	4142	3877
Berat batu pecah (w2-w1)	3065	2800
Volume Silinder (V) (cm ³)	2000 cm ³	2000 cm ³
Berat Volume	1,533 gr/cm ³	1,4 gr/cm ³

Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan data berat volume batu pecah seperti pada tabel 4.15 dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (3.11)

$$\begin{aligned} \text{Percobaan I (dengan rojokan)} &= \frac{(W_2 - W_1)}{V} \\ &= \frac{(4142 - 1077)}{2000} \\ &= 1,533 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percobaan II (tanpa rojokan)} &= \frac{(W_2 - W_1)}{V} \\ &= \frac{(3800 - 1077)}{2000} \\ &= 1,4 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat volume batu pecah (5-10 mm) rata-rata} &= \frac{(1,533 + 1,4)}{2} = \\ &1,467 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

TABEL 4.16. BERAT VOLUME BATU PECAH (10-20 mm)
(ASTM C 29 - 91)

Jenis Percobaan	Dengan Rojokan (gram)	Tanpa Rojokan (gram)
Berat Silinder (w1)	1077	1077
Berat Silinder + batu pecah (w2)	3800	4148
Berat batu pecah (w2-w1)	2723	3071
Volume Silinder (V) (cm ³)	2000 cm ³	2000 cm ³
Berat Volume	1,362 gr/cm ³	1,536 gr/cm ³

Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan data berat volume batu pecah seperti pada tabel 4.16 dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (3.11)

$$\begin{aligned} \text{Percobaan I (dengan rojokan)} &= \frac{(W_2 - W_1)}{V} \\ &= \frac{(3800 - 1077)}{2000} \\ &= 1,362 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percobaan II (tanpa rojokan)} &= \frac{(W_2 - W_1)}{V} \\ &= \frac{(4148 - 1077)}{2000} \\ &= 1,536 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat volume batu pecah (5-10 mm) rata-rata} &= \frac{(1,362 + 1,536)}{2} \\ &= 1,449 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

IV.1.3.5. DATA HASIL PERCOBAAN KADAR LUMPUR (PENCUCIAN)

TABEL 4.17. KEBERSIHAN BATU PECAH TERHADAP LUMPUR (5-10 mm) DENGAN CARA PENCUCIAN (ASTM C117 – 95)

Percobaan Nomor	1 (gram)	2 (gram)	Batas nilai ASTM 33	Batas presisi ASTM 117
Berat Kering sebelum dicuci (w1)	1000	1000	1 % dari total sample percobaan	0,28% untuk single operator
Berat kering sesudah dicuci (w2)	992	992		
Kadar Lumpur = $(w1-w2)/w1 \times 100\%$	0,8 %	0,8%		

Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan data kadar lumpur pada batu pecah seperti pada tabel 4.17 dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (3.12)

$$\begin{aligned} \text{Percobaan I} &= \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \\ &= \frac{(1000 - 992)}{1000} \times 100\% \\ &= 0,8\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percobaan II} &= \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \\ &= \frac{(1000 - 992)}{1000} \times 100\% \\ &= 0,8\% \end{aligned}$$

$$\text{Kadar lumpur pada batu pecah (5-10 mm) rata-rata} = \frac{(0,8\% + 0,8\%)}{2} = 0,8\%$$

TABEL 4.18. KEBERSIHAN BATU PECAH TERHADAP LUMPUR (10-20 mm) DENGAN CARA PENCUCIAN (ASTM C117 – 95)

Percobaan Nomor	1 (gram)	2 (gram)	Batas nilai ASTM33	Batas presisi ASTM117
Berat Kering sebelum dicuci (w1)	1000	1000	1 % dari total sample percobaan	0,28% untuk single operator
Berat kering sesudah dicuci (w2)	992	992		
Kadar Lumpur = $(w1 - w2)/w1 \times 100\%$	0,8 %	0,8%		

Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan data kadar lumpur pada batu pecah seperti pada tabel 4.18 dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (3.12)

$$\begin{aligned} \text{Percobaan I} &= \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \\ &= \frac{(1000 - 992)}{1000} \times 100\% \\ &= 0,8\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percobaan II} &= \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \\ &= \frac{(1000 - 992)}{1000} \times 100\% \\ &= 0,8\% \end{aligned}$$

$$\text{Kadar lumpur pada batu pecah (10-20 mm) rata-rata} = \frac{(0,8\% + 0,8\%)}{2} = 0,8\%$$

Analisa:

- Referensi :

- ⊗ Berdasarkan ASTM C 117 batas maksimum kebersihan batu pecah terhadap material yang lebih halus dari ayakan no. 200 ($75 \mu\text{m}$) untuk klasifikasi beton umum adalah sebesar **1%** dari total sampel percobaan.
- ⊗ Berdasarkan batas-batas presisi yang terdapat pada tabel 1 ASTM C 117, diketahui batas presisi selisih antara dua hasil percobaan kadar lumpur(pencucian) untuk agregat kasar untuk single operator adalah 0,28%.

- Hasil penelitian :

⊗ Batu pecah I (5 – 10 mm)

1. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan didapatkan hasil kadar lumpur pada batu pecah rata-rata adalah 0,8% (kurang dari 1 % dari total sampel percobaan).
2. Selisih yang terjadi antara hasil percobaan I dan percobaan II adalah = $0,8 - 0,8\% = 0$.

⊗ Batu pecah II (10 – 20 mm)

1. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan didapatkan hasil kadar lumpur pada batu pecah rata-rata adalah 0,8% (kurang dari 1 % dari total sampel percobaan).
2. Selisih yang terjadi antara hasil percobaan I dan percobaan II adalah = $0,8 - 0,8\% = 0$.

- Kesimpulan :

- ⊗ Percobaan kadar lumpur pada batu pecah (pencucian) **memenuhi persyaratan** pada ASTM C 33.
- ⊗ Percobaan kadar lumpur pada batu pecah (pencucian) **memenuhi persyaratan** pada ASTM C 117.

IV.1.3.6.. DATA HASIL PERCOBAAN KEAUSAN AGREGAT

TABEL 4.19. PERCOBAAN KEAUSAN AGREGAT
(ASTM C 131 –89)

Percobaan	Berat Total	Batas nilai ASTM33
Berat sebelum diabrasi (W1) gr	5000	50 % dari total sample percobaan
Berat sesudah diabrasi (W2) gr	4055	
Keausan = $(W1 - W2) / W1 \times 100\%$	18,9 %	

Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan data percobaan keausan agregat seperti pada tabel 4.19 dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (3.13)

$$\begin{aligned}
 \text{Percobaan I} &= \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \\
 &= \frac{(5000 - 4055)}{5000} \times 100\% \\
 &= 18,9 \%
 \end{aligned}$$

Analisa:

- Referensi :

Berdasarkan persyaratan sifat fisik agregat kasar yang terdapat pada tabel 3 pada ASTM C 33, batas abrasi maksimum agregat kasar adalah 50 %.

- Hasil penelitian :

Berdasarkan hasil penelitian, hasil abrasi sampel agregat kasar yang terjadi adalah 18,9 %.

- Kesimpulan :

Sampel agregat kasar yang digunakan **memenuhi persyaratan** abrasi pada ASTM C 33.

IV.1.3.7. DATA HASIL PERCOBAAN ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR

Tabel 4.20. Hasil analisa saringan agregat kasar
(batu pecah 5-10)

Saringan		Tinggal pada saringan		% Kumulatif	
No	mm	gram	%	Tinggal	Lolos
3/4 "	19.1	0	0	0	100
3/8 "	9,5	85	8.44	8.44	91.56
No.4	# 4,76	855	84.91	93.35	6.65
No.8	2,38	67	6.65	100.00	0.00
No.16	1,19	0	0.00	100.00	0.00
No.30	0,59	0	0.00	100.00	0.00
No.50	0,297	0	0.00	100.00	0.00
No.100	0,149	0	0.00	100.00	0.00
Pan	0	0	0	100.00	
Jumlah		1007	100	601.787488	198.21
		Fm batu pecah		6.01787488	

(sumber: Hasil penelitian)

Tabel 4.21. Hasil analisa saringan agregat kasar
(batu pecah 10-20)

Saringan		Tinggal pada saringan		% Kumulatif	
No	mm	gram	%	Tinggal	Lolos
3/4 "	19.1	120	12.06	12.06	87.94
3/8 "	9,5	858	86.23	98.29	1.71
No.4	# 4,76	17	1.71	100.00	0.00
No.8	2,38	0	0.00	100.00	0.00
No.16	1,19	0	0.00	100.00	0.00
No.30	0,59	0	0.00	100.00	0.00
No.50	0,297	0	0.00	100.00	0.00
No.100	0,149	0	0.00	100.00	0.00
Pan	0	0	0.00	100.00	0.00
Jumlah		995	100.00	710.35	89.65
		Fm batu pecah		7.10351759	

(sumber: Hasil penelitian)

Karena dalam penelitian ini menggunakan 2 jenis ukuran berbeda, maka perlu dilakukan pencampuran dari kedua jenis agregat tersebut untuk menghasilkan campuran agregat kasar yang mempunyai grading yang baik.

Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk mencari gabungan kedua jenis agregat tersebut, dan dalam penelitian ini digunakan cara coba-coba dengan menggunakan program microsoft excel 2003 dengan mengatur persentase dari masing-masing agregat hingga didapat gradasi yang mendekati ideal. Berikut hasil dari pencampuran gabungan 2 jenis ukuran agregat kasar tersebut :

Tabel 4.22. Hasil analisa saringan agregat kasar gabungan

lubang ayakan (mm)	% lolos agregat gabungan		total gab % lolos
	batu pecah 1	batu pecah 2	
	59.00%	41.00%	
4.8	3.926	0	3.926
9.6	54.020	0.701	54.721
19	59	36.055	95.055
38	59	41	100
76	59	41	100



Gambar 4.3 Grafik lengkung ayakan batu pecah gabungan



Gambar 4.4 Grafik lengkung ayakan batu pecah gabungan Zona 3/4 sampai 3/16 in

Hasil analisa ayakan yang ditampilkan dalam tabel 4.22 dan grafik 4.4. menunjukkan batu pecah memiliki ukuran antara 3/4 sampai 3/16 inch dengan modulus kehalusan 6,56.

IV.2. Analisa pengaruh superplasticizer terhadap setting time pasta/binder geopolimer.

IV.2.1. Perhitungan untuk mendapatkan massa fly ash, Na_2SiO_3 dan NaOH dalam kebutuhan setting time binder geopolimer.

Massa Satu Konikel untuk tes vicat adalah:

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{4} \pi d k^2 t \\
 &= \frac{1}{4} \pi \cdot (0,07)^2 (0,04) \\
 &= 1,54 \times 10^{-4} \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa 1 silinder} &= \rho \times V \\
 &= 2,4 \text{ t/m}^3 \times 1,54 \times 10^{-4} \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$= 3,7 \times 10^{-4} \text{ ton}$$

$$= 370 \text{ gram}$$

Perhitungan massa fly ash :

Perbandingan cairan alkali terhadap fly ash adalah 0,35.

Massa cairan alkali = 0,35 x massa fly ash

massa binder = massa fly ash + massa cairan alkali

370 = massa fly ash + 0,35x massa fly ash

370 = 1,35 massa fly ash

$$\text{massa fly ash} = \frac{370}{1,35} = 274,1 \text{ gram}$$

Perhitungan massa NaOH dan Na₂SiO₃ :

massa cairan alkali = 0,35 x 274,1

$$= 95,9 \text{ gram}$$

1. Perbandingan massa $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1,5$

$$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1,5 \rightarrow 1,5 NaOH = Na_2SiO_3$$

$$95,9 = \text{massa NaOH} + \text{massa Na}_2\text{SiO}_3$$

$$95,9 = NaOH + 1,5 NaOH$$

$$95,9 = 2,5 NaOH$$

$$NaOH = \frac{95,9}{2,5} = 38,4 \text{ gram}$$

$$Na_2SiO_3 = 57,6 \text{ gram}$$

Perhitungan Kebutuhan Superplasticizer :

$$\text{massa fly ash} = \frac{30,2}{1,35} = 22,37 \text{ gram}$$

1. Superplasticizer = 1% dari massa fly ash

$$\text{Superplasticizer} = 0,01 \times 274,1$$

$$= 2,741 \text{ gram}$$

2. Superplasticizer = 3% dari massa fly ash
 Superplasticizer = $0,03 \times 274,1$
 = 8,223 gram
3. Superplasticizer = 5% dari massa fly ash
 Superplasticizer = $0,05 \times 274,1$
 = 13,705 gram
4. Superplasticizer = 15% dari massa fly ash
 Superplasticizer = $0,15 \times 274,1$
 = 41,115 gram

Tabel 4.23. Kebutuhan Benda Uji tes setting time dalam gram :

No	Mixture	Fly Ash	Na ₂ SiO ₃	NaOH	Super plasticizer
1	M10CA1.5SP0	274.1	57.6	38.4	-
2	M10CA1.5SP1(N)	274.1	57.6	38.4	2.741
3	M10CA1.5SP3(N)	274.1	57.6	38.4	8.233
4	M10CA1.5SP5(N)	274.1	57.6	38.4	13.705
5	M10CA1.5SP15(N)	274.1	57.6	38.4	41.115
6	M10CA1.5SP1(P)	274.1	57.6	38.4	2.741
7	M10CA1.5SP3(P)	274.1	57.6	38.4	8.233
8	M10CA1.5SP5(P)	274.1	57.6	38.4	13.705
9	M10CA1.5SP15(P)	274.1	57.6	38.4	41.115

IV.2.2. Hasil Tes Setting Time Binder Geopolimer

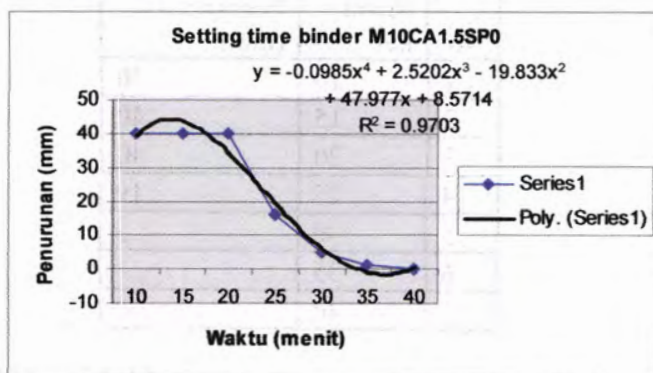
Tes setting time ini dilakukan untuk mengetahui pengikatan awal dan akhir dari binder geopolymer setelah diberi tambahan superplasticizer, sehingga dari hasil tes ini akan diketahui apakah superplasticizer dapat berpengaruh menghambat setting time binder seperti pada pasta semen. Berikut ini adalah hasil tes yang diperoleh :

⊙ Hasil tes setting time binder M10CA1.5SP0

Tabel 4.24. Hasil Setting time binder M10CA1.5SP0

No	Menit ke-	Penurunan (mm)
1	10	40
2	15	40
3	20	40
4	25	16
5	30	5
6	35	1
7	40	0

Data hasil tes setting time komposisi M10CA1.5SP0 dari table 4.24, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.5. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M10CA1.5SP0 untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.5. Grafik Tes Setting time Binder M10CA1.5SP0

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = -0,0985 x^4 + 2,5202 x^3 - 19,833 x^2 + 47,977 x + 8,5714$$

sehingga :

$$y = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 22 \text{ menit}$$

$$y = 0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 40 \text{ menit}$$

dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M10CA1.5SP0 mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 22 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 40 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

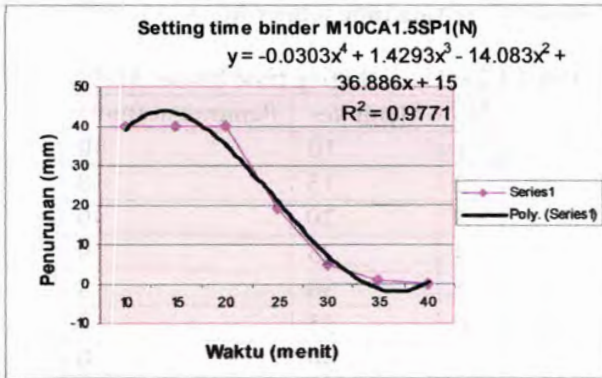
Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M10CA1.5SP0 berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 20 sampai ke- 35 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 40.

© Hasil tes setting time binder M10CA1.5SP1(N)

Tabel 4.25. Hasil Setting time binder M10CA1.5SP1(N)

No	Menit ke-	Penurunan (mm)
1	10	40
2	15	40
3	20	40
4	25	19
5	30	5
6	35	1
7	40	0

Data hasil tes setting time komposisi M10CA1.5SP1(N) dari table 4.25, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.6. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M10CA1.5SP1N untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.6. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP1N

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = -0,0303 x^4 + 1,4293 x^3 - 14,083 x^2 + 36,886 x + 15$$

sehingga :

$$y = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 22,2 \text{ menit}$$

$$y = 0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 40 \text{ menit}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M10CA1.5SP1N mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 22,2 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 40 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

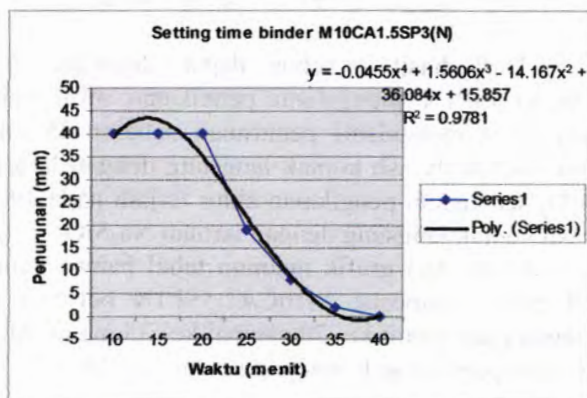
Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M10CA1.5SP1N berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 20 sampai ke- 35 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 40.

☉ Hasil tes setting time binder M10CA1.5SP3(N)

Tabel 4.26. Hasil Setting time binder M10CA1.5SP3N

No	Menit ke-	Penurunan (mm)
1	10	40
2	15	40
3	20	40
4	25	19
5	30	8
6	35	2
7	40	0

Data hasil tes setting time komposisi M10CA1.5SP3N dari tabel 4.26, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.7 . Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M10CA1.5SP3N untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.7. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP3N

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = -0,0455 x^4 + 1,5606 x^3 - 14,167 x^2 + 36,084 x + 15,857$$

sehingga :

$$y = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 22,3 \text{ menit}$$

$$y = 0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 40 \text{ menit}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M10CA1.5SP3N mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 22,3 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 40 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

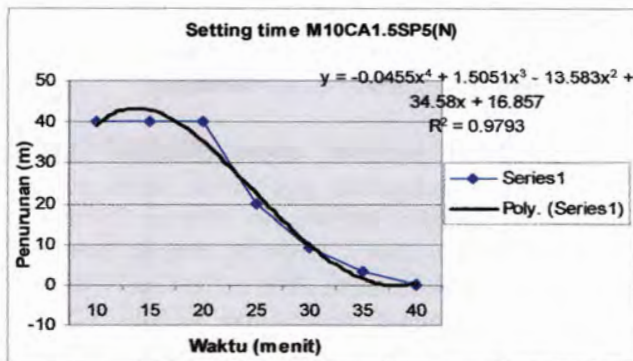
Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M10CA1.5SP3N berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 20 sampai ke- 35 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 40.

⊙ Hasil tes setting time binder M10CA1.5SP5(N)

Tabel 4.27. Hasil Setting time binder M10CA1.5SP5N

No	Menit ke-	Penurunan (mm)
1	10	40
2	15	40
3	20	40
4	25	20
5	30	9
6	35	3
7	40	0

Data hasil tes setting time komposisi M10CA1.5SP5N dari tabel 4.27, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.8. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M10CA1.5SP5N untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.8. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP5N

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = -0,0455 x^4 + 1,5606 x^3 - 13,583 x^2 + 34,58 x + 16,857$$

sehingga :

$$y = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 22,5 \text{ menit}$$

$$y = 0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 40 \text{ menit}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M10CA1.5SP5N mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 22.5 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 40 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M10CA1.5SP5N berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 20 sampai ke- 35 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 40.

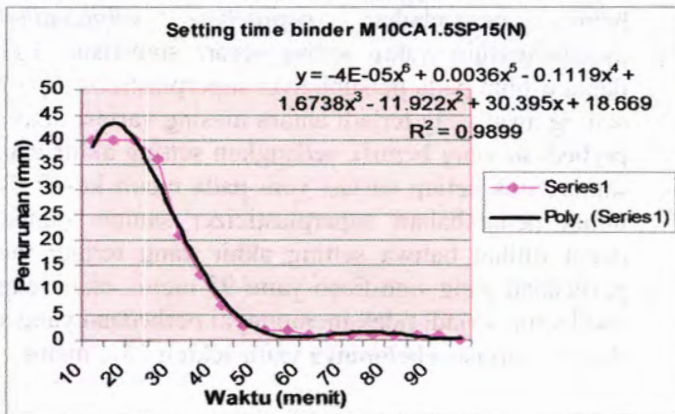
© Hasil tes setting time binder M10CA1.5SP15(N)

Tabel 4.28. Hasil Setting time binder M10CA1.5SP15(N)

Menit ke-	Penurunan (mm)
10	40
15	40
20	40

25	36
30	21
35	13
40	7
45	3
50	2
55	2
60	1
65	1
70	1
75	1
80	1
85	1
90	1
95	0

Data hasil tes setting time komposisi M10CA1.5SP15N dari table 4.28, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.9. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M10CA1.5SP15N untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.9. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP15N

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = -4.10^{-5} x^6 + 0,0036 x^5 - 0,1119 x^4 + 1,6738 x^3 - 11,922 x^2 + 30,395 x + 18,669$$

sehingga :

$$\begin{array}{ll} y = 25 \text{ mm} & \rightarrow x = 28,1 \text{ menit} \\ y = 0 \text{ mm} & \rightarrow x = 95 \text{ menit} \end{array}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M10CA1.5SP15N mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vikat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 28,1 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 95 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vikat pada komposisi M10CA1.5SP15N berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 20 sampai ke- 55 menit, setelah itu penurunan jarum vikat relatif stabil dan hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 95.

Kesimpulan :

- Dari beberapa percobaan setting time dengan variasi jumlah superplasticizer yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penambahan *naphthelene sulphonated* tidak mempengaruhi waktu setting secara signifikan. Hal tersebut dapat dilihat pada penambahan superplasticizer 1-3 %, waktu setting awal yang terjadi antara masing variasi tidak memiliki perbedaan yang berarti, sedangkan setting akhir yang terjadi, sama untuk setiap variasi yaitu pada menit ke-40. Selain itu, untuk penambahan superplasticizer sampai dengan 15 % dapat dilihat bahwa setting akhir yang terjadi mempunyai perbedaan yang signifikan yaitu 95 menit, akan tetapi setting awal yang terjadi tidak mempunyai perbedaan yang signifikan dengan variasi sebelumnya yaitu sekitar 28,1 menit.

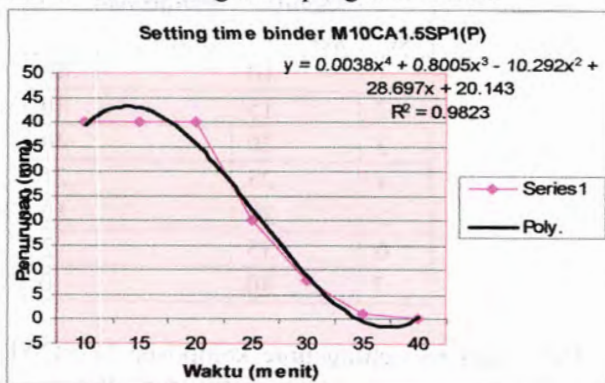
- Penambahan *naphtelene sulphonated* pada campuran binder geopolymer membuat campuran semakin encer sehingga dapat meningkatkan workabilitasnya.

ⓐ Hasil tes setting time binder M10CA1.5SP1(P)

Tabel 4.29. Hasil Setting time binder M10CA1.5SP1P

No	Menit ke-	Penurunan (mm)
1	10	40
2	15	40
3	20	40
4	25	20
5	30	8
6	35	1
7	40	0

Data hasil tes setting time komposisi M10CA1.5SP1P dari tabel 4.29, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.10. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M10CA1.5SP1P untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.10. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP1P

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = 0,0038 x^4 + 0,8005 x^3 - 10,292 x^2 + 28,697 x + 20,143$$

sehingga :

$$y = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 22,5 \text{ menit}$$

$$y = 0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 40 \text{ menit}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M10CA1.5SP1P mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 22,5 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 40 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M10CA1.5SP1(P) berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 20 sampai ke- 35 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 40.

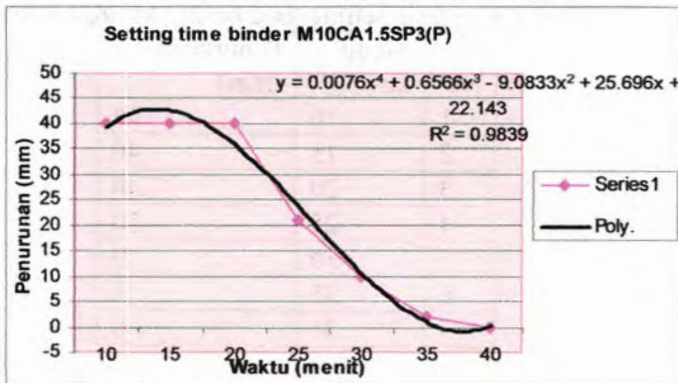
⊙ Hasil tes setting time binder M10CA1.5SP3(P)

Tabel 4.30. Hasil Setting time binder M10CA1.5SP3P

No	Menit ke-	Penurunan (mm)
1	10	40
2	15	40
3	20	40
4	25	21
5	30	10
6	35	2
7	40	0

Data hasil tes setting time komposisi M10CA1.5SP3P dari tabel 30 kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.11. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi,

dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M10CA1.5SP3(P) untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.11. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP3P

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = 0,0076 x^4 + 0,6566 x^3 - 9,0833 x^2 + 25,696 x + 22,143$$

sehingga :

$$y = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 23 \text{ menit}$$

$$y = 0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 40 \text{ menit}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M10CA1.5SP3P mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vikat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 23 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 40 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

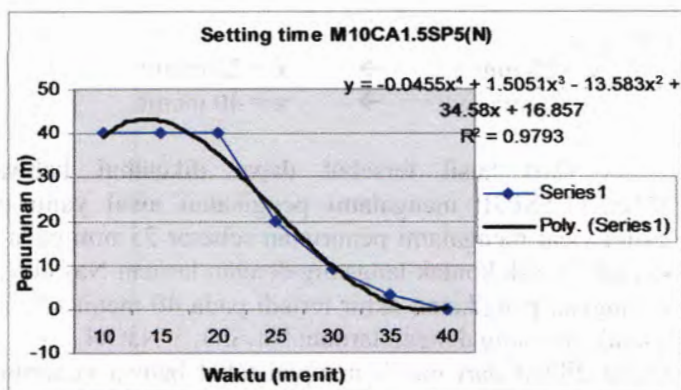
Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vikat pada komposisi M10CA1.5SP3P berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 20 sampai ke- 35 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 40.

ⓐ Hasil tes setting time binder M10CA1.5SP5(P)

Tabel 4.31. Hasil Setting time binder M10CA1.5SP5P

No	Menit ke-	Penurunan (mm)
1	10	40
2	15	40
3	20	40
4	25	20
5	30	9
6	35	3
7	40	0

Data hasil tes setting time komposisi M10CA1.5SP5N dari table 4.31, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.12. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M10CA1.5SP5P untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.12. Grafik Tes Setting Time M10CA1.5SP5P

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = -0,0455 x^4 + 1,5606 x^3 - 13,583 x^2 + 34,58 x + 16,857$$

sehingga :

$$\begin{array}{ll} y = 25 \text{ mm} & \rightarrow x = 23 \text{ menit} \\ y = 0 \text{ mm} & \rightarrow x = 40 \text{ menit} \end{array}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M10CA1.5SP5P mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 23 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 40 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M10CA1.5SP5P berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 20 sampai ke- 35 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 40.

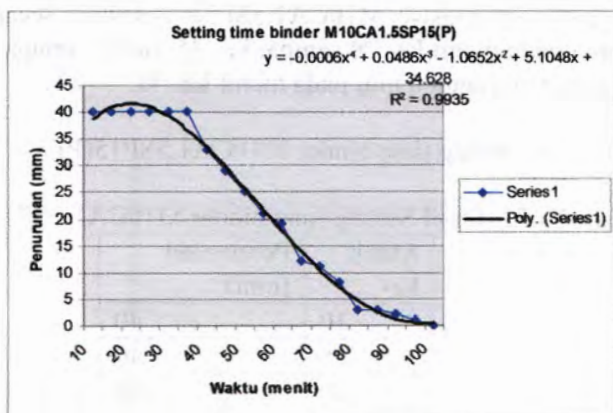
⊙ Hasil tes setting time binder M10CA1.5SP15(P)

Tabel 4.32. Hasil Setting time binder M10CA1.5SP15P

Menit ke-	Penurunan (mm)
10	40
15	40
20	40
25	40
30	40
35	40
40	33
45	29
50	25
55	21
60	19
65	12
70	11
75	8
80	3

85	3
90	2
95	1
100	0

Data hasil tes setting time komposisi M10CA1.5SP15(N) dari tabel 4.32, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.13. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M10CA1.5SP15N untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.13. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP15P

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = -0,0006x^4 + 0,0486x^3 - 1,0652x^2 + 5,1048x + 34,628$$

sehingga :

$$y = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 50 \text{ menit}$$

$$y = 0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 100 \text{ menit}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M10CA1.5SP15P mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 50

menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 95 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vikat pada komposisi M10CA1.5SP15P berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 20 sampai ke- 95 menit, setelah itu penurunan jarum vikat relatif stabil dan hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke-100.

Kesimpulan :

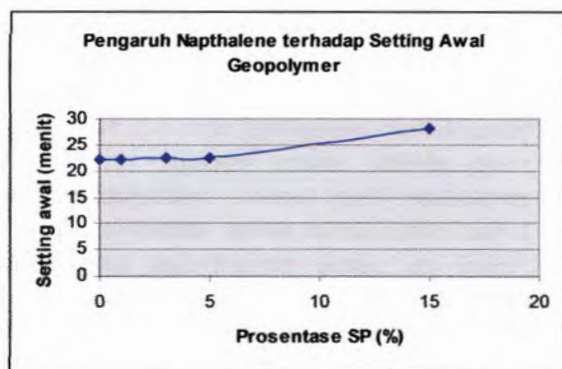
- Dari beberapa percobaan setting time dengan variasi jumlah superplasticizer yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penambahan *polycarboxylic ether hyper plasticizer* tidak mempengaruhi waktu setting secara signifikan. Hal tersebut dapat dilihat pada penambahan superplasticizer 1-3 %, waktu setting awal yang terjadi antara masing variasi tidak memiliki perbedaan yang berarti, sedangkan setting akhir yang terjadi sama untuk setiap variasi yaitu pada menit ke-40. Selain itu, untuk penambahan superplasticizer sampai dengan 15 % dapat dilihat bahwa setting awal yang terjadi mempunyai perbedaan waktu yang sangat signifikan yaitu 50 menit, dan setting akhir pada 100 menit. Akan tetapi, penambahan *polycarboxylic ether hyper plasticizer* sampai 15 % membuat campuran binder menjadi kental dan tidak encer sehingga mengurangi workabilitas campuran binder geopolimer.

Dari hasil tes setting time yang telah dilakukan, didapatkan data-data sebagai berikut :

1. Waktu pengikatan awal

Tabel 4.33. Hasil Setting time Awal Binder M10CA1.5 dengan Variasi Penambahan Napthalene

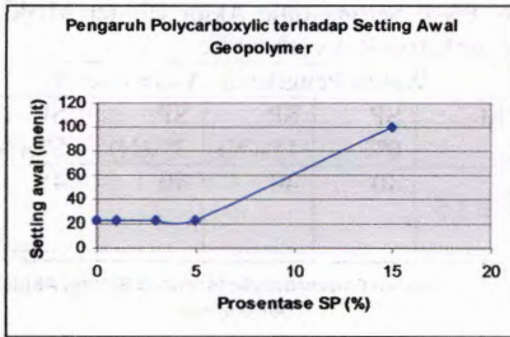
Waktu Pengikatan Awal (menit)					
NaOH 10 M	SP 0%	SP 1%(N)	SP 3%(N)	SP 5%(N)	SP 15%(N)
$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1,5$	22	22,2	22,3	22,5	28,150



Gambar 4.14. Pengaruh Napthalene terhadap Setting Awal Binder Geopolimer

Tabel 4.34. Hasil Setting time Awal Binder M10CA1.5 dengan Variasi Penambahan Polycarboxylic

Waktu Pengikatan Awal (menit)					
NaOH 10 M	SP 0%	SP 1%(P)	SP 3%(P)	SP 5%(P)	SP 15%(P)
$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1,5$	22	22,5	22,7	22,3	50

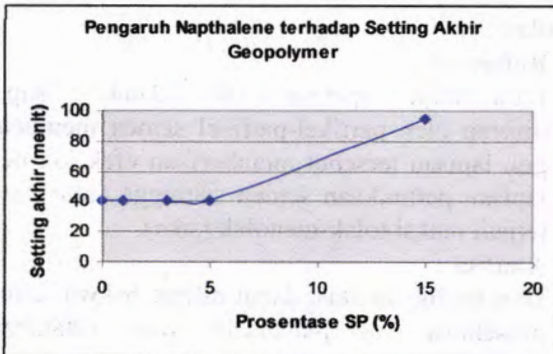


Gambar 4.15. Pengaruh Polycarboxylic terhadap Setting Awal Binder Geopolymer

2. Waktu pengikatan akhir

Tabel 4.35. Hasil Setting time Akhit Binder M10CA1.5 dengan Variasi Penambahan Napthalene

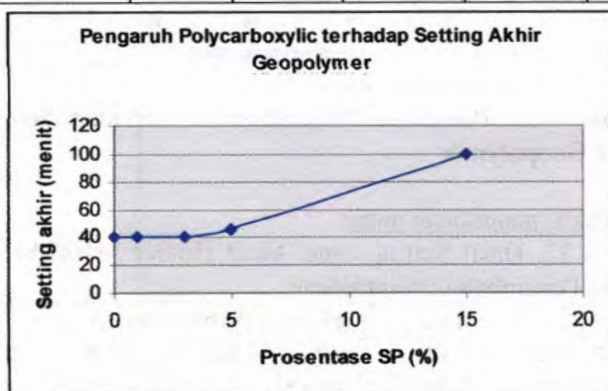
Waktu Pengikatan Akhir (menit)					
NaOH 10 M	SP 0%	SP 1%(N)	SP 3%(N)	SP 5%(N)	SP 15%(N)
$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1,5$	40	40	40	40	95



Gambar 4.16. Pengaruh Napthalene terhadap Setting Akhir Binder Geopolymer

Tabel 4.36. Hasil Setting time Akhir Binder M10CA1.5 dengan Variasi Penambahan Polycarboxylic

Waktu Pengikatan Akhir (menit)					
NaOH 10 M	SP 0%	SP 1%(N)	SP 3%(N)	SP 5%(N)	SP 15%(N)
$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1,5$	40	40	40	45	100



Gambar 4.17. Pengaruh Polycarboxylic terhadap Setting Akhir Binder Geopolymer

Kesimpulan :

- **Referensi :**

Cara kerja superplasticizer adalah : superplasticizer diserap oleh partikel-partikel semen membentuk lapisan gel, lapisan tersebut memberikan efek ion negative pada lapisan permukaan semen sehingga antar partikel semen terjadi reaksi tolak-menolak (sika).

- **Analisa :**

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa semakin banyak prosentase superplasticizer yang ditambahkan pada campuran geopolymer, semakin lama pula waktu setting yang diperlukan, hal itu terjadi karena adanya reaksi

tolak-menolak antara partikel cementitious sehingga dapat memperlambat waktu pengikatan.

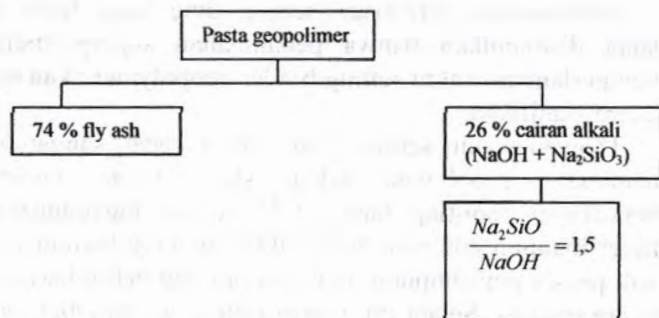
Berdasarkan percobaan setting time yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penambahan superplasticizer dapat memperlambat waktu setting binder geopolimer akan tetapi tidak secara signifikan.

Dengan waktu setting yang sangat cepat, sangat sulit untuk membuat geopolimer dalam skala besar, karena untuk mencampur tiap-tiap bahan tidak dapat menggunakan mesin mixer maupun concrete pump untuk *placing* betonnya, sehingga baik proses pencampuran maupun *placing* beton harus dilakukan secara manual. Selain itu, waktu setting geopolimer yang sangat cepat juga mempengaruhi workabilitas campuran pada saat *placing*, karena jika waktu *placing* beton yang dibutuhkan melebihi waktu setting awal maupun setting akhir binder, dikhawatirkan geopolimer mulai mengeras sebelum proses *placing* berakhir.

Sehingga disimpulkan bahwa geopolimer lebih cocok digunakan untuk grout, karena skala pekerjaan yang dibutuhkan untuk grout jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan skala untuk pekerjaan beton. Selain itu, sifat pasta geopolimer flow sehingga lebih cocok untuk pekerjaan grouting.

Untuk itu, penelitian untuk membuat beton geopolimer yang bersifat *self compacted* berhenti di sini dan dilanjutkan dengan penelitian pasta geopolimer sebagai material grout.

IV.3. Perhitungan kebutuhan bahan yang diperlukan untuk tiap-tiap tes



IV.3.1. Perhitungan massa fly ash, NaOH dan Na₂SiO₃ yang dibutuhkan dalam test *flow cone*

$$\begin{aligned} \text{Volume yang dibutuhkan untuk tes flow cone} &= 2 \text{ L} \\ &= 2 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massayang dibutuhkan} &= \rho \times V \\ &= 2,4 \text{ t/m}^3 \times 2 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \\ &= 4,8 \times 10^{-3} \text{ ton} \\ &= 4800 \text{ gram} \end{aligned}$$

Perhitungan massa fly ash :

Perbandingan cairan alkali terhadap fly ash adalah 0,35.

Massa cairan alkali = 0,35 x massa fly ash

massa binder = massa fly ash + massa cairan alkali

4800 = massa fly ash + 0,35x massa fly ash

4800 = 1,35 massa fly ash

$$\text{massa fly ash} = \frac{4800}{1,35} = 3555,5 \text{ gram}$$

Perhitungan massa NaOH dan Na₂SiO₃ :

$$\begin{aligned} \text{massa cairan alkali} &= 0,35 \times 3555,5 \\ &= 1244,4 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Perbandingan massa } \frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5$$

$$\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5 \rightarrow 1,5 \text{ NaOH} = \text{Na}_2\text{SiO}_3$$

$$1244,4 = \text{massa NaOH} + \text{massa Na}_2\text{SiO}_3$$

$$1244,4 = \text{NaOH} + 1,5 \text{ NaOH}$$

$$1244,4 = 2,5 \text{ NaOH}$$

$$\text{NaOH} = \frac{1244,4}{2,5} = 497,8 \text{ gram}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 746,6 \text{ gram}$$

Perhitungan Kebutuhan Superplasticizer :

$$1. \text{ Superplasticizer} = 1\% \text{ dari massa fly ash}$$

$$\text{Superplasticizer} = 0,01 \times 3555,5$$

$$= 35,6 \text{ gram}$$

$$2. \text{ Superplasticizer} = 2\% \text{ dari massa fly ash}$$

$$\text{Superplasticizer} = 0,02 \times 3555,5$$

$$= 71,11 \text{ gram}$$

$$3. \text{ Superplasticizer} = 3\% \text{ dari massa fly ash}$$

$$\text{Superplasticizer} = 0,03 \times 3555,5$$

$$= 106,7 \text{ gram}$$

Tabel 4.37. Kebutuhan Bahan untuk tes flow cone dalam gram :

No	Mixture	Fly Ash	Na ₂ SiO ₃	NaOH	Super plasticizer
1	M6CA1.5SP0	3555,5	746,6	497,8	-
2	M6CA1.5SP1(N)	3555,5	746,6	497,8	35,6
3	M6CA1.5SP2(N)	3555,5	746,6	497,8	71,11
4	M6CA1.5SP3(N)	3555,5	746,6	497,8	106,7
5	M6CA1.5SP1(P)	3555,5	746,6	497,8	35,6
6	M6CA1.5SP2(P)	3555,5	746,6	497,8	71,11
7	M6CA1.5SP3(P)	3555,5	746,6	497,8	106,7

8	M8CA1.5SP0	3555,5	746,6	497,8	-
9	M8CA1.5SP1(N)	3555,5	746,6	497,8	35,6
10	M8CA1.5SP2(N)	3555,5	746,6	497,8	71,11
11	M8CA1.5SP3(N)	3555,5	746,6	497,8	106,7
12	M8CA1.5SP1(P)	3555,5	746,6	497,8	35,6
13	M8CA1.5SP2(P)	3555,5	746,6	497,8	71,11
14	M8CA1.5SP3(P)	3555,5	746,6	497,8	106,7
15	M10CA1.5SP0	3555,5	746,6	497,8	-
16	M10CA1.5SP1(N)	3555,5	746,6	497,8	35,6
17	M10CA1.5SP2(N)	3555,5	746,6	497,8	71,11
18	M10CA1.5SP3(N)	3555,5	746,6	497,8	106,7
19	M10CA1.5SP1(P)	3555,5	746,6	497,8	35,6
20	M10CA1.5SP2(P)	3555,5	746,6	497,8	71,11
21	M10CA1.5SP3(P)	3555,5	746,6	497,8	106,7

IV.3.2. Perhitungan massa fly ash, NaOH dan Na₂SiO₃ yang dibutuhkan dalam test *flow table*

Massa Satu cetakan tes flow adalah:

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\
 &= \frac{1}{4} \pi \cdot (0,1)^2 (0,05) \\
 &= 3,93 \times 10^{-4} \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa 1 silinder} &= \rho x V \\
 &= 2,4 \text{ t/m}^3 \times 3,93 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \\
 &= 9,43 \times 10^{-4} \text{ ton} \\
 &= 943 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Perhitungan massa fly ash:

Perbandingan cairan alkali terhadap fly ash adalah 0,35.

Massa cairan alkali = 0,35 x massa fly ash

massa binder = massa fly ash + massa cairan alkali

$$\begin{aligned}
 943 &= \text{massa fly ash} + 0,35x \text{ massa fly ash} \\
 943 &= 1,35 \text{ massa fly ash} \\
 \text{massa fly ash} &= \frac{943}{1,35} = 698,5 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Perhitungan massa NaOH dan Na₂SiO₃ :

$$\begin{aligned}
 \text{massa cairan alkali} &= 0,35 \times 698,5 \\
 &= 244,5 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\text{Perbandingan massa } \frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5$$

$$\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5 \rightarrow 1,5 \text{ NaOH} = \text{Na}_2\text{SiO}_3$$

$$244,5 = \text{massa NaOH} + \text{massa Na}_2\text{SiO}_3$$

$$244,5 = \text{NaOH} + 1,5 \text{ NaOH}$$

$$244,5 = 2,5 \text{ NaOH}$$

$$\text{NaOH} = \frac{244,5}{2,5} = 97,8 \text{ gram}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 146,7 \text{ gram}$$

Perhitungan Kebutuhan Superplasticizer :

- 1 Superplasticizer = 1% dari massa fly ash
 Superplasticizer = 0,01 x 698,5
 = 7 gram
2. Superplasticizer = 2% dari massa fly ash
 Superplasticizer = 0,02 x 698,5
 = 14 gram
3. Superplasticizer = 3% dari massa fly ash
 Superplasticizer = 0,03 x 698,5
 = 21 gram

Tabel 4.38. Kebutuhan Bahan untuk tes flow table dalam gram :

No	Mixture	Fly Ash	Na ₂ SiO ₃	NaOH	Super plasticizer
1	M6CA1.5SP0	698,5	146,7	97,8	-
2	M6CA1.5SP1(N)	698,5	146,7	97,8	7
3	M6CA1.5SP2(N)	698,5	146,7	97,8	14
4	M6CA1.5SP3(N)	698,5	146,7	97,8	21
5	M6CA1.5SP1(P)	698,5	146,7	97,8	7
6	M6CA1.5SP2(P)	698,5	146,7	97,8	14
7	M6CA1.5SP3(P)	698,5	146,7	97,8	21
8	M8CA1.5SP0	698,5	146,7	97,8	-
9	M8CA1.5SP1(N)	698,5	146,7	97,8	7
10	M8CA1.5SP2(N)	698,5	146,7	97,8	14
11	M8CA1.5SP3(N)	698,5	146,7	97,8	21
12	M8CA1.5SP1(P)	698,5	146,7	97,8	7
13	M8CA1.5SP2(P)	698,5	146,7	97,8	14
14	M8CA1.5SP3(P)	698,5	146,7	97,8	21
15	M10CA1.5SP0	698,5	146,7	97,8	-
16	M10CA1.5SP1(N)	698,5	146,7	97,8	7
17	M10CA1.5SP2(N)	698,5	146,7	97,8	14
18	M10CA1.5SP3(N)	698,5	146,7	97,8	21
19	M10CA1.5SP1(P)	698,5	146,7	97,8	7
20	M10CA1.5SP2(P)	698,5	146,7	97,8	14
21	M10CA1.5SP3(P)	698,5	146,7	97,8	21

IV.3.3. Perhitungan massa fly ash, NaOH dan Na₂SiO₃ yang dibutuhkan dalam test setting time

Massa Satu Konikel untuk tes vicat adalah:

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{4} \pi d k^2 t \\
 &= \frac{1}{4} \pi \cdot (0,07)^2 \cdot (0,04) \\
 &= 1,54 \times 10^{-4} \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa 1 silinder} &= \rho \times V \\
 &= 2,4 \text{ t/m}^3 \times 1,54 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \\
 &= 3,7 \times 10^{-4} \text{ ton} \\
 &= 370 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Perhitungan massa fly ash :

Perbandingan cairan alkali terhadap fly ash adalah 0,35.

Massa cairan alkali = 0,35 x massa fly ash

massa binder = massa fly ash + massa cairan alkali

370 = massa fly ash + 0,35x massa fly ash

370 = 1,35 massa fly ash

$$\text{Massa fly ash} = \frac{370}{1,35} = 274,1 \text{ gram}$$

Perhitungan massa NaOH dan Na₂SiO₃ :

massa cairan alkali = 0,35 x 274,1

$$= 95,9 \text{ gram}$$

Perbandingan massa $\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5$

$$\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5 \rightarrow 1,5 \text{ NaOH} = \text{Na}_2\text{SiO}_3$$

$$95,9 = \text{massa NaOH} + \text{massa Na}_2\text{SiO}_3$$

$$95,9 = \text{NaOH} + 1,5 \text{ NaOH}$$

$$95,9 = 2,5 \text{ NaOH}$$

$$\text{NaOH} = \frac{95,9}{2,5} = 38,4 \text{ gram}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 57,6 \text{ gram}$$

Perhitungan Kebutuhan Superplasticizer :

$$\text{massa fly ash} = \frac{30,2}{1,35} = 22,37 \text{ gram}$$

1. Superplasticizer = 1% dari massa fly ash

$$\text{Superplasticizer} = 0,01 \times 274,1$$

$$= 2,741 \text{ gram}$$

2. Superplasticizer = 2% dari massa fly ash
 Superplasticizer = $0,02 \times 274,1$
 = 5,5 gram
3. Superplasticizer = 3% dari massa fly ash
 Superplasticizer = $0,03 \times 274,1$
 = 8,2 gram

Tabel 4.39. Kebutuhan Bahan untuk tes setting time dalam gram :

No	Mixture	Fly Ash	Na ₂ SiO ₃	NaOH	Super plasticizer
1	M6CA1.5SP0	274.1	57.6	38.4	-
2	M6CA1.5SP1(N)	274.1	57.6	38.4	2,7
3	M6CA1.5SP2(N)	274.1	57.6	38.4	5,5
4	M6CA1.5SP3(N)	274.1	57.6	38.4	8,2
5	M6CA1.5SP1(P)	274.1	57.6	38.4	2,7
6	M6CA1.5SP2(P)	274.1	57.6	38.4	5,5
7	M6CA1.5SP3(P)	274.1	57.6	38.4	8,2
8	M8CA1.5SP0	274.1	57.6	38.4	-
9	M8CA1.5SP1(N)	274.1	57.6	38.4	2,7
10	M8CA1.5SP2(N)	274.1	57.6	38.4	5,5
11	M8CA1.5SP3(N)	274.1	57.6	38.4	8,2
12	M8CA1.5SP1(P)	274.1	57.6	38.4	2,7
13	M8CA1.5SP2(P)	274.1	57.6	38.4	5,5
14	M8CA1.5SP3(P)	274.1	57.6	38.4	8,2
15	M10CA1.5SP0	274.1	57.6	38.4	-
16	M10CA1.5SP1(N)	274.1	57.6	38.4	2,7
17	M10CA1.5SP2(N)	274.1	57.6	38.4	5,5
18	M10CA1.5SP3(N)	274.1	57.6	38.4	8,2
19	M10CA1.5SP1(P)	274.1	57.6	38.4	2,7
20	M10CA1.5SP2(P)	274.1	57.6	38.4	5,5
21	M10CA1.5SP3(P)	274.1	57.6	38.4	8,2

IV.3.4. Perhitungan massa fly ash, NaOH dan Na₂SiO₃ yang dibutuhkan dalam pembuatan benda uji tes tekan

Massa 1 silinder binder geopolimer ukuran 20x40 mm²

$$\begin{aligned} \text{Volume 1 silinder} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\ &= \frac{1}{4} \pi \cdot (0,02)^2 (0,04) \\ &= 1,257 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \\ \text{Massa 1 silinder} &= \rho \times V \\ &= 2,4 \text{ t/m}^3 \times 1,257 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \\ &= 3,02 \times 10^{-5} \text{ ton} \\ &= 30,2 \text{ gram} \end{aligned}$$

Perhitungan massa fly ash :

Perbandingan cairan alkali terhadap fly ash adalah 0,35.

Massa cairan alkali = 0,35 x massa fly ash

massa binder = massa fly ash + massa cairan alkali

30,2 = massa fly ash + 0,35x massa fly ash

30,2 = 1,35 massa fly ash

massa fly ash = $\frac{30,2}{1,35} = 22,37 \text{ gram}$

Perhitungan massa NaOH dan Na₂SiO₃ :

massa cairan alkali = 0,35 x 22,37

= 7,83 gram

Perbandingan massa $\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5$

$\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5 \rightarrow 1,5 \text{ NaOH} = \text{Na}_2\text{SiO}_3$

7,83 = massa NaOH + massa Na₂SiO₃

7,83 = NaOH + 1,5 NaOH

7,83 = 2,5 NaOH

$$\text{NaOH} = \frac{7,83}{2,5} = 3,13 \text{ gram}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 4,7 \text{ gram}$$

Perhitungan Kebutuhan Superplasticizer :

1. Superplasticizer = 1% dari massa fly ash
 Superplasticizer = $0,01 \times 22,37$
 = 0,2237 gram
2. Superplasticizer = 2% dari massa fly ash
 Superplasticizer = $0,02 \times 22,37$
 = 0,4474 gram
3. Superplasticizer = 3% dari massa fly ash
 Superplasticizer = $0,03 \times 22,37$
 = 0,6711 gram

Tabel 4.40. Kebutuhan Bahan untuk Pembuatan Benda Uji Tes Tekan Binder dalam gram :

No	Mixture	Fly Ash	Na ₂ SiO ₃	NaOH	Super plasticizer
1	M6CA1.5SP0	22,37	4,7	3,13	-
2	M6CA1.5SP1(N)	22,37	4,7	3,13	0,2237
3	M6CA1.5SP2(N)	22,37	4,7	3,13	0,4474
4	M6CA1.5SP3(N)	22,37	4,7	3,13	0,6711
5	M6CA1.5SP1(P)	22,37	4,7	3,13	0,2237
6	M6CA1.5SP2(P)	22,37	4,7	3,13	0,4474
7	M6CA1.5SP3(P)	22,37	4,7	3,13	0,6711
8	M8CA1.5SP0	22,37	4,7	3,13	-
9	M8CA1.5SP1(N)	22,37	4,7	3,13	0,2237
10	M8CA1.5SP2(N)	22,37	4,7	3,13	0,4474
11	M8CA1.5SP3(N)	22,37	4,7	3,13	0,6711
12	M8CA1.5SP1(P)	22,37	4,7	3,13	0,2237
13	M8CA1.5SP2(P)	22,37	4,7	3,13	0,4474
14	M8CA1.5SP3(P)	22,37	4,7	3,13	0,6711
15	M10CA1.5SP0	22,37	4,7	3,13	-

16	M10CA1.5SP1(N)	22,37	4,7	3,13	0,2237
17	M10CA1.5SP2(N)	22,37	4,7	3,13	0,4474
18	M10CA1.5SP3(N)	22,37	4,7	3,13	0,6711
19	M10CA1.5SP1(P)	22,37	4,7	3,13	0,2237
20	M10CA1.5SP2(P)	22,37	4,7	3,13	0,4474
21	M10CA1.5SP3(P)	22,37	4,7	3,13	0,6711

Tabel4.41. Jumlah Kebutuhan Benda Uji Tes Tekan Binder :

Mixture	Jumlah benda uji binder				Total
	3 hari	7 hari	14 hari	28 hari	
M6CA1.5SP0	3	3	3	3	12
M6CA1.5SP1(N)	3	3	3	3	12
M6CA1.5SP2(N)	3	3	3	3	12
M6CA1.5SP3(N)	3	3	3	3	12
M6CA1.5SP1(P)	3	3	3	3	12
M6CA1.5SP2(P)	3	3	3	3	12
M6CA1.5SP3(P)	3	3	3	3	12
M8CA1.5SP0	3	3	3	3	12
M8CA1.5SP1(N)	3	3	3	3	12
M8CA1.5SP2(N)	3	3	3	3	12
M8CA1.5SP3(N)	3	3	3	3	12
M8CA1.5SP1(P)	3	3	3	3	12
M8CA1.5SP2(P)	3	3	3	3	12
M8CA1.5SP3(P)	3	3	3	3	12
M10CA1.5SP0	3	3	3	3	12
M10CA1.5SP1(N)	3	3	3	3	12
M10CA1.5SP2(N)	3	3	3	3	12
M10CA1.5SP3(N)	3	3	3	3	12
M10CA1.5SP1(P)	3	3	3	3	12
M10CA1.5SP2(P)	3	3	3	3	12
M10CA1.5SP3(P)	3	3	3	3	12
Jumlah total					252

IV.3.5. Perhitungan massa fly ash, NaOH dan Na_2SiO_3 yang dibutuhkan dalam pembuatan benda uji tes susut

$$\begin{aligned} \text{Ukuran cetakan susut : } p &= 28,5 \text{ cm} &= 0,285 \text{ m} \\ l &= 2,5 \text{ cm} &= 0,025 \text{ m} \\ t &= 2,5 \text{ cm} &= 0,025 \text{ m} \end{aligned}$$

Massa Satu cetakan tes susut adalah:

$$\begin{aligned} V &= p \times l \times t \\ &= 0,285 \times 0,025 \times 0,025 \\ &= 1,8 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa 1 silinder} &= \rho \times V \\ &= 2,4 \text{ t/m}^3 \times 1,8 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \\ &= 4,32 \times 10^{-4} \text{ ton} \\ &= 432 \text{ gram} \end{aligned}$$

Perhitungan massa fly ash :

Perbandingan cairan alkali terhadap fly ash adalah 0,35.

Massa cairan alkali = 0,35 x massa fly ash

massa binder = massa fly ash + massa cairan alkali

$$432 = \text{massa fly ash} + 0,35 \times \text{massa fly ash}$$

$$432 = 1,35 \text{ massa fly ash}$$

$$\text{Massa fly ash} = \frac{432}{1,35} = 320 \text{ gram}$$

Perhitungan massa NaOH dan Na_2SiO_3 :

$$\begin{aligned} \text{massa cairan alkali} &= 0,35 \times 320 \\ &= 112 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$1. \text{ Perbandingan massa } \frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5$$

$$\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5 \rightarrow 1,5 \text{ NaOH} = \text{Na}_2\text{SiO}_3$$

$$112 = \text{massa NaOH} + \text{massa Na}_2\text{SiO}_3$$

$$112 = \text{NaOH} + 1,5 \text{ NaOH}$$

$$112 = 2,5 \text{ NaOH}$$

$$\text{NaOH} = \frac{112}{2,5} = 44,8 \text{ gram}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 67,2 \text{ gram}$$

Perhitungan Kebutuhan Superplasticizer :

1. Superplasticizer = 1% dari massa fly ash
 Superplasticizer = $0,01 \times 320$
 = 3,2 gram
2. Superplasticizer = 2% dari massa fly ash
 Superplasticizer = $0,02 \times 320$
 = 6,4 gram
3. Superplasticizer = 3% dari massa fly ash
 Superplasticizer = $0,03 \times 320$
 = 9,6 gram

IV.3.6. Menentukan proporsi bahan mortar geopolymer

Penentuan proporsi awal mortar geopolymer berdasarkan komposisi mortar semen hidrolis yang terdapat pada ASTM C 109/109 M.

Trial I : Perbandingan pasir terhadap fly ash = 2,75
 Perbandingan cairan alkali terhadap fly ash = 0,485

Perhitungan kebutuhan bahan :

Berdasarkan ASTM 109 untuk membuat 6 benda uji dibutuhkan :

Semen 500 gram

Pasir 1375 gram

Air 242 ml

Perhitungan massa Fly ash, pasir, NaOH dan Na₂SiO₃ yang diperlukan :

Massa air dalam mortar semen hidrolis setara dengan Massa cairan alkali.

$$\begin{aligned} \text{Massa cairan alkali} &= \rho \times V \\ &= 1 \text{ gr/cc} \times 242 \text{ ml} \end{aligned}$$

$$= 242 \text{ gram}$$

$$\text{Perbandingan massa } \frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5$$

$$\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5 \rightarrow 1,5 \text{ NaOH} = \text{Na}_2\text{SiO}_3$$

$$242 = \text{massa NaOH} + \text{massa Na}_2\text{SiO}_3$$

$$242 = \text{NaOH} + 1,5 \text{ NaOH}$$

$$242 = 2,5 \text{ NaOH}$$

$$\text{NaOH} = \frac{242}{2,5} = 96,8 \text{ gram}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 145,2 \text{ gram}$$

$$\text{Fly ash} = 500 \text{ gram}$$

$$\text{Pasir} = 1375 \text{ gram}$$

- Hasil :
- Terlalu banyak pasir, sangat sulit untuk dicampur
 - Hasil campuran mortar kaku dan tidak flow
 - Sulit untuk dicetak



Gambar 4.18. Hasil campuran mortar trial mix 1



Gambar 4.19. Hasil campuran mortar trial mix 1 yang telah dicetak

Trial 2 : Berdasarkan ASTM 109/109M, tetapi jumlah pasir dikurangi menjadi setengah dari awal.

Perbandingan pasir terhadap fly ash = 1,375

Perbandingan cairan alkali terhadap fly ash = 0,485

Perbandingan pasir terhadap pasta = 0,927

Sehingga proporsi campuran menjadi :

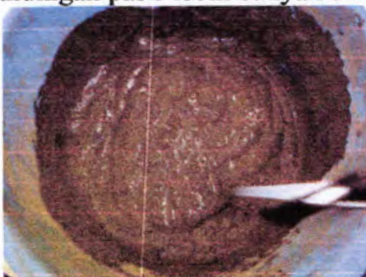
Fly ash = 500 gram

Pasir = 687,5 gram

NaOH = 96,8 gram

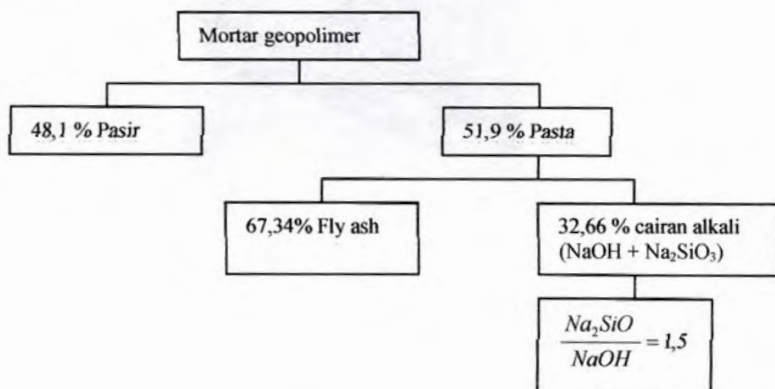
Na₂SiO₃ = 145,2 gram

Hasil : - Campuran flow sehingga mudah untuk dicetak karena perbandingan pasir lebih banyak dari pada pasta.



Gambar 4.20. Hasil campuran mortar trial mix 2

Sehingga perbandingan proporsi yang didapat pada hasil trial 2 digunakan untuk mix desain mortar geopolimer.



IV.3.7. Perhitungan massa fly ash, pasir, NaOH dan Na₂SiO₃ yang dibutuhkan dalam test *flow table*

Perbandingan pasir terhadap fly ash = 1,375

Perbandingan cairan alkali terhadap fly ash = 0,485

Perbandingan pasir terhadap pasta = 0,927

Ukuran cetakan flow: d = 10 cm = 0,1 m

t = 5 cm = 0.05 m

Massa Satu cetakan tes flow adalah:

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{4} \pi d k^2 t \\
 &= \frac{1}{4} \pi \cdot (0,1)^2 \cdot (0,05) \\
 &= 3,93 \times 10^{-4} \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa 1 silinder} &= \rho x V \\
 &= 2,4 \text{ t/m}^3 \times 3,93 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \\
 &= 9,43 \times 10^{-4} \text{ ton} \\
 &= 943 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Perhitungan massa pasir :

$$\begin{aligned}
 \text{massa total} &= \text{massa pasir} + \text{massa pasta} \\
 943 &= 0,927 \text{ massa pasta} + \text{massa pasta} \\
 943 &= 1,927 \text{ massa pasta} \\
 \text{Massa pasta} &= \frac{943}{1,927} = 489,5 \text{ gram} \\
 \text{Massa pasir} &= 0,927 \times \text{massa pasta} \\
 &= 0,927 \times 489,5 \\
 &= 453,5 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Perhitungan massa fly ash :

$$\begin{aligned}
 \text{Massa pasta} &= \text{massa fly ash} + \text{massa cairan alkali} \\
 489,5 &= \text{massa fly ash} + 0,485 \times \text{massa fly ash} \\
 489,5 &= 1,485 \times \text{massa fly ash} \\
 \text{Massa fly ash} &= \frac{489,5}{1,485} = 329,63 \text{ gram} \\
 \text{Massa cairan alkali} &= 0,485 \times 329,63 \\
 &= 159,87 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Perhitungan massa NaOH dan Na_2SiO_3 :

$$1. \text{ Perbandingan massa } \frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5$$

$$\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5 \rightarrow 1,5 \text{ NaOH} = \text{Na}_2\text{SiO}_3$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa cairan alkali} &= \text{massa NaOH} + \text{massa Na}_2\text{SiO}_3 \\
 159,87 &= \text{NaOH} + 1,5 \text{ NaOH} \\
 159,87 &= 2,5 \text{ NaOH} \\
 \text{NaOH} &= \frac{159,87}{2,5} = 63,95 \text{ gram} \\
 \text{Na}_2\text{SiO}_3 &= 95,92 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Kebutuhan Superplasticizer :

1. Superplasticizer = 1% dari massa fly ash
 Superplasticizer = $0,01 \times 329,63$
 = 3,29 gram
2. Superplasticizer = 2% dari massa fly ash
 Superplasticizer = $0,02 \times 329,63$
 = 6,58 gram
3. Superplasticizer = 3% dari massa fly ash
 Superplasticizer = $0,03 \times 329,63$
 = 9,87 gram

Tabel 4.42. Kebutuhan Bahan untuk pengetesan *flow table* mortar dalam gram :

No	Mixture	Pasir	Fly Ash	Na ₂ SiO ₃	NaOH	Super plasticizer
1	M10CA1.5SP0	453,5	329,63	95,92	63,95	-
2	M10CA1.5SP1(N)	453,5	329,63	95,92	63,95	3,29
3	M10CA1.5SP2(N)	453,5	329,63	95,92	63,95	6,58
4	M10CA1.5SP3(N)	453,5	329,63	95,92	63,95	9,87

IV.3.8. Perhitungan massa fly ash, pasir, NaOH dan Na₂SiO₃ yang dibutuhkan dalam test tekan mortar

- Perbandingan pasir terhadap fly ash = 1,375
 Perbandingan cairan alkali terhadap fly ash = 0,485
 Perbandingan pasir terhadap pasta = 0,927

Ukuran cetakan mortar : $s = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$

Massa Satu cetakan tes susut adalah:

$$\begin{aligned}
 V &= s \times s \times s \\
 &= 0,05 \times 0,05 \times 0,05 \\
 &= 1,25 \times 10^{-4} \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa l cetakan} &= \rho \times V \\
 &= 2,4 \text{ t/m}^3 \times 1,25 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \\
 &= 3 \times 10^{-4} \text{ ton} \\
 &= 300 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Perhitungan massa pasir :

$$\begin{aligned}
 \text{Massa total} &= \text{massa pasir} + \text{massa pasta} \\
 300 &= 0,927 \text{ massa pasta} + \text{massa pasta} \\
 300 &= 1,927 \text{ massa pasta} \\
 \text{Massa pasta} &= \frac{300}{1,927} = 155,7 \text{ gram} \\
 \text{Massa pasir} &= 0,927 \times \text{massa pasta} \\
 &= 0,927 \times 155,7 \\
 &= 144,3 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Perhitungan massa fly ash :

$$\begin{aligned}
 \text{Massa pasta} &= \text{massa fly ash} + \text{massa cairan alkali} \\
 155,7 &= \text{massa fly ash} + 0,485 \times \text{massa fly ash} \\
 155,7 &= 1,485 \times \text{massa fly ash} \\
 \text{Massa fly ash} &= \frac{155,7}{1,485} = 104,8 \text{ gram} \\
 \text{Massa cairan alkali} &= 0,485 \times 104,8 \\
 &= 50,85 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Perhitungan massa NaOH dan Na₂SiO₃ :

$$\text{1. Perbandingan massa } \frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5$$

$$\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5 \rightarrow 1,5 \text{ NaOH} = \text{Na}_2\text{SiO}_3$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa cairan alkali} &= \text{massa NaOH} + \text{massa Na}_2\text{SiO}_3 \\
 50,85 &= \text{NaOH} + 1,5 \text{ NaOH} \\
 50,85 &= 2,5 \text{ NaOH}
 \end{aligned}$$

$$\text{NaOH} = \frac{50,85}{2,5} = 20,34 \text{ gram}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 30,51 \text{ gram}$$

Perhitungan Kebutuhan Superplasticizer :

1. Superplasticizer = 1% dari massa fly ash
 Superplasticizer = $0,01 \times 104,8$
 = 1,04 gram
2. Superplasticizer = 2% dari massa fly ash
 Superplasticizer = $0,02 \times 104,8$
 = 2,096 gram
3. Superplasticizer = 3% dari massa fly ash
 Superplasticizer = $0,03 \times 104,8$
 = 3,144 gram

Tabel 4.43. Kebutuhan Bahan untuk pembuatan benda uji mortar dalam gram :

No	Mixture	Pasir	Fly Ash	Na ₂ SiO ₃	NaOH	Super plasticizer
1	M10CA1.5SP0	144,3	104,8	30,51	20,34	-
2	M10CA1.5SP1(N)	144,3	104,8	30,51	20,34	1,04
3	M10CA1.5SP2(N)	144,3	104,8	30,51	20,34	2,096
4	M10CA1.5SP3(N)	144,3	104,8	30,51	20,34	3,144

Tabel 4.44. Jumlah Kebutuhan benda uji mortar:

Mixture	Jumlah benda uji binder				Total
	3 hari	7 hari	14 hari	28 hari	
M10CA1.5SP0	3	3	3	3	12
M10CA1.5SP1(N)	3	3	3	3	12
M10CA1.5SP2(N)	3	3	3	3	12
M10CA1.5SP3(N)	3	3	3	3	12
Jumlah total					48

IV.3.9. Perhitungan massa fly ash, pasir, NaOH dan Na₂SiO₃ yang dibutuhkan dalam test tekan susut

$$\begin{aligned} \text{Perbandingan pasir terhadap fly ash} &= 1,375 \\ \text{Perbandingan cairan alkali terhadap fly ash} &= 0,485 \\ \text{Perbandingan pasir terhadap pasta} &= 0,927 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ukuran cetakan susut : } p &= 28,5 \text{ cm} &= 0,285 \text{ m} \\ & l = 2,5 \text{ cm} &= 0,025 \text{ m} \\ & t = 2,5 \text{ cm} &= 0,025 \text{ m} \end{aligned}$$

Massa Satu cetakan tes susut adalah:

$$\begin{aligned} V &= p \times l \times t \\ &= 0,285 \times 0,025 \times 0,025 \\ &= 1,8 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa 1 cetakan} &= \rho \times V \\ &= 2,4 \text{ t/m}^3 \times 1,8 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \\ &= 4,32 \times 10^{-4} \text{ ton} \\ &= 432 \text{ gram} \end{aligned}$$

Perhitungan massa pasir :

$$\begin{aligned} \text{Massa total} &= \text{massa pasir} + \text{massa pasta} \\ 432 &= 0,927 \text{ massa pasta} + \text{massa pasta} \\ 432 &= 1,927 \text{ massa pasta} \end{aligned}$$

$$\text{Massa pasta} = \frac{432}{1,927} = 224,2 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa pasir} &= 0,927 \times \text{massa pasta} \\ &= 0,927 \times 224,2 \\ &= 207,8 \text{ gram} \end{aligned}$$

Perhitungan massa fly ash :

$$\begin{aligned} \text{Massa pasta} &= \text{massa fly ash} + \text{massa cairan alkali} \\ 224,2 &= \text{massa fly ash} + 0,485 \times \text{massa fly ash} \\ 224,2 &= 1,485 \times \text{massa fly ash} \end{aligned}$$

$$\text{Massa fly ash} = \frac{224,2}{1,485} = 151 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa cairan alkali} &= 0,485 \times 151 \\ &= 73,23 \text{ gram} \end{aligned}$$

Perhitungan massa NaOH dan Na₂SiO₃ :

$$1. \text{ Perbandingan massa } \frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5$$

$$\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5 \rightarrow 1,5 \text{ NaOH} = \text{Na}_2\text{SiO}_3$$

$$\begin{aligned} \text{Massa cairan alkali} &= \text{massa NaOH} + \text{massa Na}_2\text{SiO}_3 \\ 73,23 &= \text{NaOH} + 1,5 \text{ NaOH} \\ 73,23 &= 2,5 \text{ NaOH} \\ \text{NaOH} &= \end{aligned}$$

$$\frac{73,23}{2,5} = 29,3 \text{ gram}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 43,93 \text{ gram}$$

Perhitungan Kebutuhan Superplasticizer :

1. Superplasticizer = 1% dari massa fly ash
 Superplasticizer = 0,01 x 151
 = 1,51 gram
2. Superplasticizer = 2% dari massa fly ash
 Superplasticizer = 0,02 x 151
 = 3,02 gram
3. Superplasticizer = 3% dari massa fly ash
 Superplasticizer = 0,03 x 151
 = 4,53 gram

Tabel 4.45. Kebutuhan Bahan untuk pembuatan benda uji susut mortar dalam gram :

No	Mixture	Pasir	Fly Ash	Na ₂ SiO ₃	NaOH	Super plastic izer
1	M10CA1.5SP0	207,8	151	29,3	43,93	-
2	M10CA1.5SP1(N)	207,8	151	29,3	43,93	1,51
3	M10CA1.5SP2(N)	207,8	151	29,3	43,93	3,02
4	M10CA1.5SP3(N)	207,8	151	29,3	43,93	4,53

IV.4. Analisa terhadap campuran pasta dan mortar geopolimer dalam kondisi segar maupun keras

IV.4.1. Analisa tes setting time

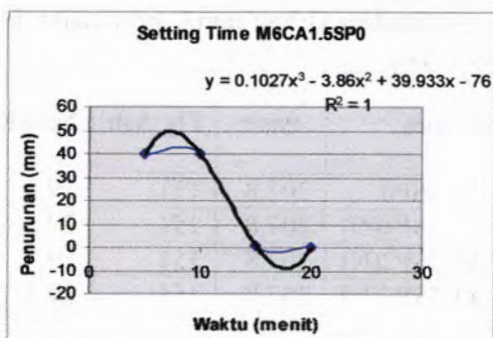
Tes setting time ini dilakukan untuk mengetahui pengikatan awal dan akhir dari binder geopolymer setelah diberi tambahan superplasticizer, berikut ini adalah hasil tes yang diperoleh :

• Hasil tes setting time binder M6CA1.5SP0

Tabel 4.46. Hasil Setting Time Binder M6CA1.5SP0

Menit ke-	Penurunan (mm)
5	40
10	40
15	1
20	0

Data hasil tes setting time komposisi M6CA1.5SP0 dari table 4.46, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.21. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M6CA1.5SP0 untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.21. Grafik Tes Setting Time Binder M6CA1.5SP0

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = 0.1027x^3 - 3.86x^2 + 39.933x - 76$$

sehingga :

$$y = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 11,9 \text{ menit}$$

$$y = 0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 20 \text{ menit}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M6CA1.5SP0 mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 11,9 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 20 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

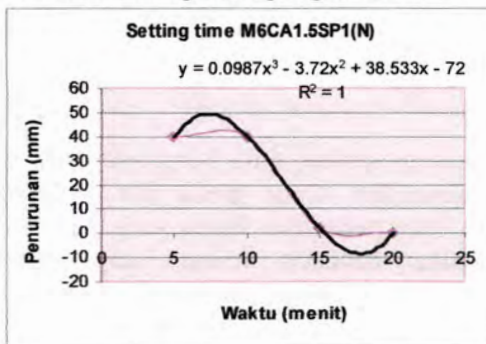
Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M6CA1.5SP0 berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 10 sampai ke- 15 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 20.

☉ Hasil tes setting time binder M6CA1.5SP1N

Tabel 4.47. Hasil Setting Time M6CA1.5SP1N

Menit ke-	Penurunan (mm)
5	40
10	40
15	2
20	0

Data hasil tes setting time komposisi M6CA1.5SP1N dari tabel 4.47, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.22. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M6CA1.5SP1N untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.22. Grafik Tes Setting Time Binder M6CA1.5SP1N

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = 0.0987x^3 - 3.72x^2 + 38.533x - 72$$

sehingga :

$$y = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 12 \text{ menit}$$

$$y = 0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 20 \text{ menit}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M6CA1.5SP1N mengalami pengikatan awal yaitu pada saat

jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 12 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 20 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

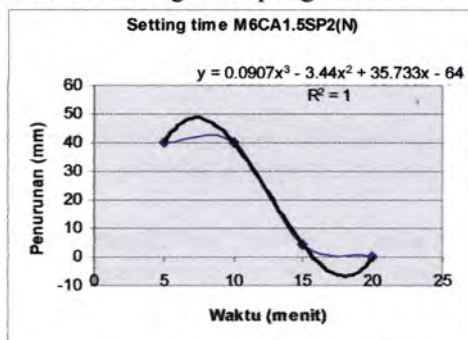
Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M6CA1.5SP1N berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 10 sampai ke- 15 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 20.

☉ Hasil tes setting time binder M6CA1.5SP2N

Tabel 4.48. Hasil Settnng Time Binder M6CA1.5SP2N

Menit ke-	Penurunan (mm)
5	40
10	40
15	4
20	0

Data hasil tes setting time komposisi M6CA1.5SP2N dari table 4.48, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.23. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M6CA1.5SP2N untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.23. Grafik Tes Setting Time Binder M6CA1.5SP2N

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = 0.0907x^3 - 3.44x^2 + 35.733x - 64$$

sehingga :

$$y = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 12,1 \text{ menit}$$

$$y = 0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 20 \text{ menit}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M6CA1.5SP2N mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 12,1 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 20 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

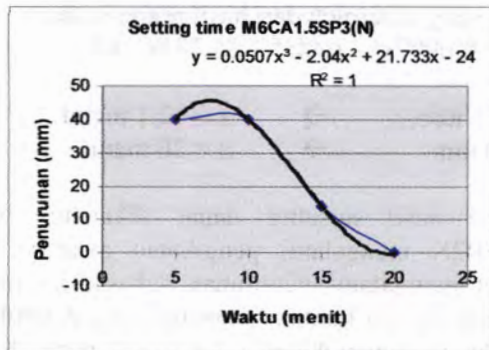
Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M6CA1.5SP2N berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 10 sampai ke- 15 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 20.

⊙ Hasil tes setting time binder M6CA1.5SP3N

Tabel 4.49. Hasil Setting Time Binder M6CA1.5SP3N

Menit ke-	Penurunan (mm)
5	40
10	40
15	14
20	0

Data hasil tes setting time komposisi M6CA1.5SP3N dari table 4.49, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.24. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M6CA1.5SP3N untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.24. Grafik Tes Setting Time Binder M6CA1.5SP3N

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = 0.0507x^3 - 2.04x^2 + 21.733x - 24$$

sehingga :

$$\begin{array}{ll} y = 25 \text{ mm} & \rightarrow \quad x = 13,6 \text{ menit} \\ y = 0 \text{ mm} & \rightarrow \quad x = 20 \text{ menit} \end{array}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M6CA1.5SP3N mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 13,6 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 20 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

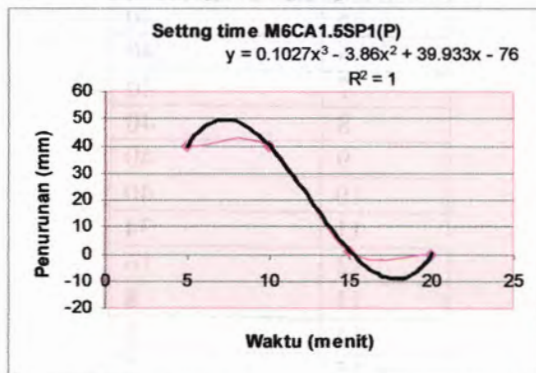
Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M6CA1.5SP3N berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 10 sampai ke- 15 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 20.

☉ Hasil tes setting time binder M6CA1.5SP1P

Tabel 4.50. Hasil Setting Time Binder M6CA1.5SP1P

Menit ke-	Penurunan (mm)
5	40
10	40
15	1
20	0

Data hasil tes setting time komposisi M6CA1.5SP1P dari tabel 4.50, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.25. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M6CA1.5SP1P untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.25. Grafik Tes Setting Time Binder M6CA1.5SP1P

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = 0.1027x^3 - 3.86x^2 + 39.933x - 76$$

sehingga :

$$y = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 11,9 \text{ menit}$$

$$y = 0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 20 \text{ menit}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M6CA1.5SP1P mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 11,9 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 20 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M6CA1.5SP1P berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 10 sampai ke- 15 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 20.

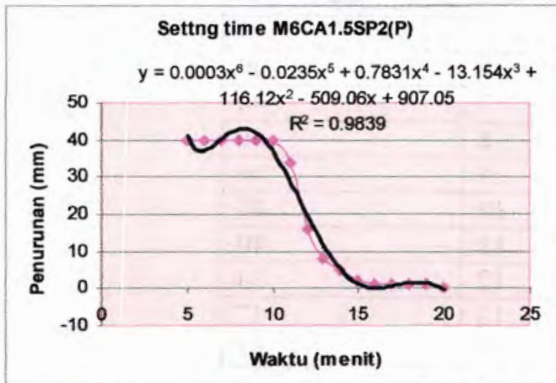
ⓐ Hasil tes setting time binder M6CA1.5SP2P

Tabel 4.51. Hasil Setting Time Binder M6CA1.5SP2P

Menit ke-	Penurunan (mm)
5	40
6	40
7	40
8	40
9	40
10	40
11	34
12	16
13	8
14	5
15	2
16	1
17	1
18	1
19	1
20	0

Data hasil tes setting time komposisi M6CA1.5SP2P dari table 4.51, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada

gambar 4.26. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M6CA1.5SP2P untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.26. Grafik Tes Setting Time Binder M6CA1.5SP2P

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = 0.0003x^6 - 0.0235x^5 + 0.7831x^4 - 13.154x^3 + 116.12x^2 - 509.06x + 907.05$$

sehingga :

$$\begin{array}{ll} y = 25 \text{ mm} & \rightarrow \quad x = 12 \text{ menit} \\ y = 0 \text{ mm} & \rightarrow \quad x = 20 \text{ menit} \end{array}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M6CA1.5SP2P mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 12 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 20 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

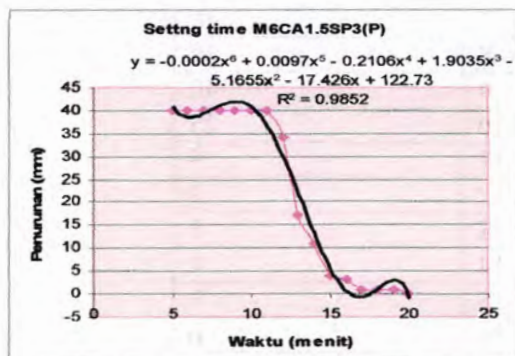
Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M6CA1.5SP2P berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 10 sampai ke- 15 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 20.

❶ Hasil tes setting time binder M6CA1.5SP3P

Tabel 4.52. Hasil Setting Time Binder M6CA1.5SP3P

Menit ke-	Penurunan (mm)
5	40
6	40
7	40
8	40
9	40
10	40
11	40
12	34
13	17
14	11
15	4
16	3
17	1
18	1
19	1
20	0

Data hasil tes setting time komposisi M6CA1.5SP3P dari tabel 4.52, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.27. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M6CA1.5SP3P untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.27. Grafik Tes Setting Time Binder M6CA1.5SP3P
Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = -0.0002x^6 + 0.0097x^5 - 0.2106x^4 + 1.9035x^3 - 5.1655x^2 - 17.426x + 122.73$$

sehingga :

$$\begin{aligned} y = 25 \text{ mm} & \quad \rightarrow \quad x = 12,5 \text{ menit} \\ y = 0 \text{ mm} & \quad \rightarrow \quad x = 20 \text{ menit} \end{aligned}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M6CA1.5SP3P mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 12,5 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 20 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M6CA1.5SP3P berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 10 sampai ke- 15 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 20.

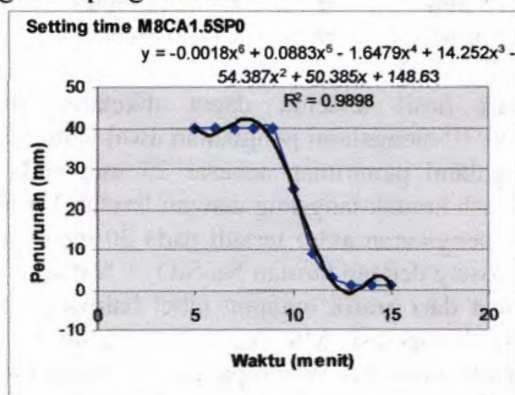
☉ Hasil tes setting time binder M8CA1.5SP0

Tabel 4.53. Hasil Setting Time Binder M8CA1.5SP0

Menit ke-	Penurunan (mm)
5	40
6	40

7	40
8	40
9	40
10	25
11	9
12	3
13	1
14	1
15	1
16	0

Data hasil tes setting time komposisi M8CA1.5SP0 dari tabel 4.53, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.28. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M8CA1.5SP0 untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.28. Grafik Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP0

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = -0.0018x^6 + 0.0883x^5 - 1.6479x^4 + 14.252x^3 - 54.387x^2 + 50.385x + 148.63$$

sehingga :

$$y = 25 \text{ mm}$$

→

$$x = 10 \text{ menit}$$

$$y = 0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 16 \text{ menit}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M8CA1.5SP0 mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 10 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 16 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

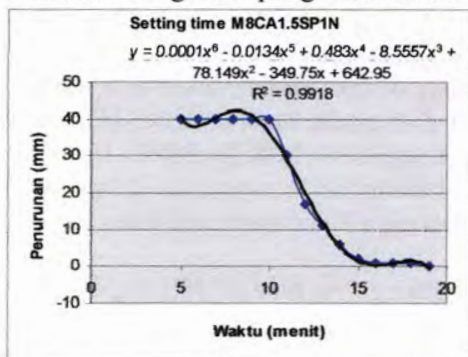
Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M8CA1.5SP0 berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 9 sampai ke- 13 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 16.

⊗ Hasil tes setting time binder M8CA1.5SP1N

Tabel 4.54. Hasil Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP1N

Menit ke-	Penurunan (mm)
5	40
6	40
7	40
8	40
9	40
10	40
11	30
12	17
13	11
14	6
15	2
16	1
17	1
18	1
19	0

Data hasil tes setting time komposisi M8CA1.5SP1N dari tabel 4.54, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.29. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M8CA1.5SP1N untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.29. Grafik Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP1N

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = 0.0001x^6 - 0.0134x^5 + 0.483x^4 - 8.5557x^3 + 78.149x^2 - 349.75x + 642.95$$

sehingga :

$$y = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 11,2 \text{ menit}$$

$$y = 0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 19 \text{ menit}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M8CA1.5SP1N mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vikat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 11,2 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 19 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

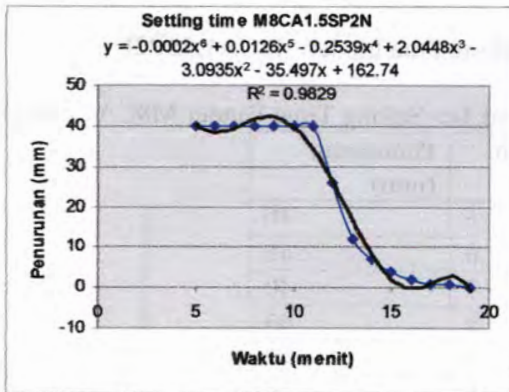
Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vikat pada komposisi M8CA1.5SP1N berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 10 sampai ke- 16 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 19.

ⓐ Hasil tes setting time binder M8CA1.5SP2N

Tabel 4.55. Hasil Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP2N

Menit ke-	Penurunan (mm)
5	40
6	40
7	40
8	40
9	40
10	40
11	40
12	26
13	12
14	7
15	4
16	2
17	1
18	1
19	0

Data hasil tes setting time komposisi M8CA1.5SP2N dari tabel 4.55, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.30. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M8CA1.5SP2N untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.30. Grafik Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP2N

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = -0.0002x^6 + 0.0126x^5 - 0.2539x^4 + 2.0448x^3 - 3.0935x^2 - 35.497x + 162.74$$

sehingga :

$$y = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 12,1 \text{ menit}$$

$$y = 0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 19 \text{ menit}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M8CA1.5SP2N mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 12,1 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 19 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

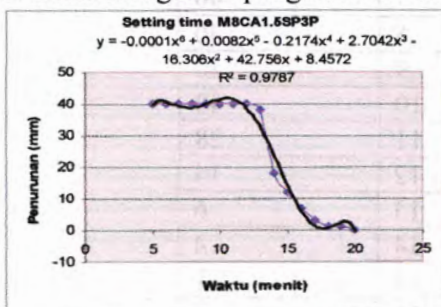
Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M6CA1.5SP2N berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 12 sampai ke- 17 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 19.

ⓐ Hasil tes setting time binder M8CA1.5SP3N

Tabel 4.56. Hasil Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP3N

Menit ke-	Penurunan (mm)
5	40
6	40
7	40
8	40
9	40
10	40
11	40
12	40
13	38
14	18
15	12
16	7
17	3
18	1
19	1
20	0

Data hasil tes setting time komposisi M8CA1.5SP3N dari table 4.56, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.31. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M8CA1.5SP3N untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.31. Grafik Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP3N

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = -0.0001x^6 + 0.0082x^5 - 0.2174x^4 + 2.7042x^3 - 16.306x^2 + 42.756x + 8.4572$$

sehingga :

$$y = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 13,5 \text{ menit}$$

$$y = 0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 20 \text{ menit}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M6CA1.5SP3N mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 12,1 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 20 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

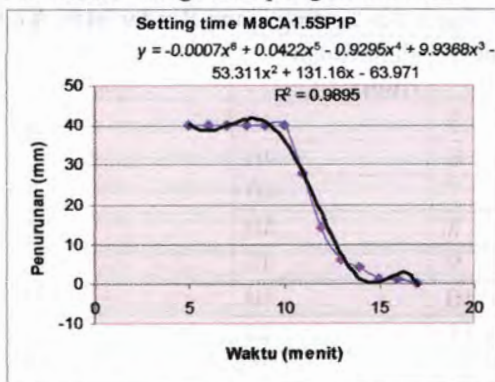
Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M6CA1.5SP3N berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 10 sampai ke- 15 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 20.

⊙ Hasil tes setting time binder M8CA1.5SP1P

Tabel 4.57. Hasil Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP1P

Menit ke-	Penurunan (mm)
5	40
6	40
7	40
8	40
9	40
10	40
11	28
12	14
13	6
14	4
15	1
16	1
17	0

Data hasil tes setting time komposisi M8CA1.5SP1P dari table 4.57, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.32. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M8CA1.5SP1P untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.32. Grafik Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP1P

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = -0.0007x^6 + 0.0422x^5 - 0.9295x^4 + 9.9368x^3 - 53.311x^2 + 131.16x - 63.971$$

sehingga :

$$y = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 11,1 \text{ menit}$$

$$y = 0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 17 \text{ menit}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M8CA1.5SP1P mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 11,1 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 17 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M8CA1.5SP1P berubah secara cepat,

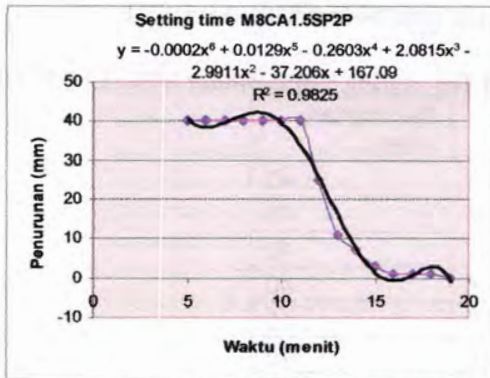
terutama pada menit ke- 11 sampai ke- 15 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 17.

☉ Hasil tes setting time binder M8CA1.5SP2P

Tabel 4.58. Hasil Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP2P

Menit ke-	Penurunan (mm)
5	40
6	40
7	40
8	40
9	40
10	40
11	40
12	25
13	11
14	7
15	3
16	1
17	1
18	1
19	0

Data hasil tes setting time komposisi M8CA1.5SP2P dari tabel 4.58, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.33. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M8CA1.5SP2P untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.33. Grafik Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP2P

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = -0.0002x^6 + 0.0129x^5 - 0.2603x^4 + 2.0815x^3 - 2.9911x^2 - 37.206x + 167.09$$

sehingga :

$$y = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 12 \text{ menit}$$

$$y = 0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 19 \text{ menit}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M8CA1.5SP2P mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 12 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 19 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

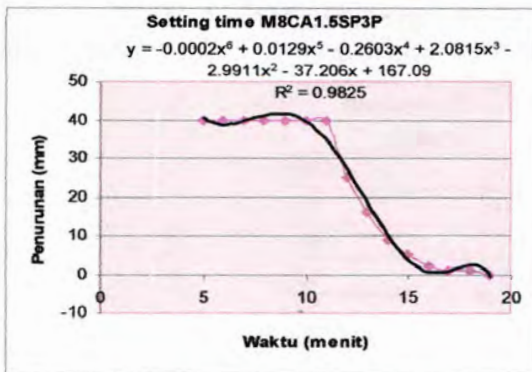
Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M8CA1.5SP2P berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 12 sampai ke- 16 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 19.

e Hasil tes setting time binder M8CA1.5SP3P

Tabel 4.59. Hasil Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP3P

Menit ke-	Penurunan (mm)
5	40
6	40
7	40
8	40
9	40
10	40
11	40
12	25
13	16
14	9
15	5
16	2
17	1
18	1
19	0

Data hasil tes setting time komposisi M8CA1.5SP3P dari table 4.59, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.34. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M8CA1.5SP3P untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.34. Grafik Tes Setting Time Binder M8CA1.5SP3P

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = -0.0002x^6 + 0.0129x^5 - 0.2603x^4 + 2.0815x^3 - 2.9911x^2 - 37.206x + 167.09$$

sehingga :

$$\begin{array}{ll} y = 25 \text{ mm} & \rightarrow x = 12 \text{ menit} \\ y = 0 \text{ mm} & \rightarrow x = 19 \text{ menit} \end{array}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M8CA1.5SP3P mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vikat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 12 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 19 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

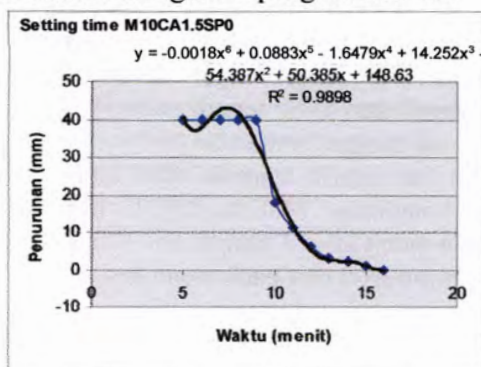
Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vikat pada komposisi M8CA1.5SP3P berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 12 sampai ke- 17 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 19.

Hasil tes setting time binder M10CA1.5SP0

Tabel 4.60. Hasil Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP0

Menit ke-	Penurunan (mm)
5	40
6	40
7	40
8	40
9	40
10	18
11	11
12	6
13	3
14	2
15	1
16	0

Data hasil tes setting time komposisi M10CA1.5SP0 dari tabel 4.60, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.35. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M10CA1.5SP0 untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.35. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP0

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = -0.0018x^6 + 0.0883x^5 - 1.6479x^4 + 14.252x^3 - 54.387x^2 + 50.385x + 148.63$$

sehingga :

$$y = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 9,7 \text{ menit}$$

$$y = 0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 16 \text{ menit}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M10CA1.5SP0 mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 9,7 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 16 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

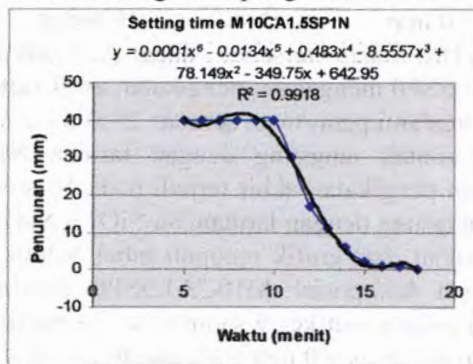
Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M10CA1.5SP0 berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 9 sampai ke- 13 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 16.

⊙ Hasil tes setting time binder M10CA1.5SP1N

Tabel 4.61. Hasil Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP1N

Menit ke-	Penurunan (mm)
5	40
6	40
7	40
8	40
9	40
10	40
11	30
12	17
13	11
14	6
15	2
16	1
17	1
18	0

Data hasil tes setting time komposisi M10CA1.5SP1N dari tabel 4.61, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.36. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M10CA1.5SP1N untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.36. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP1N

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = 0.0001x^6 - 0.0134x^5 + 0.483x^4 - 8.5557x^3 + 78.149x^2 - 349.75x + 642.95$$

sehingga :

$$\begin{array}{ll} y = 25 \text{ mm} & \rightarrow \quad x = 10,5 \text{ menit} \\ y = 0 \text{ mm} & \rightarrow \quad x = 19 \text{ menit} \end{array}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M10CA1.5SP1N mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vikat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 10,5 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 19 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$. Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vikat pada komposisi M10CA1.5SP1N berubah secara cepat,

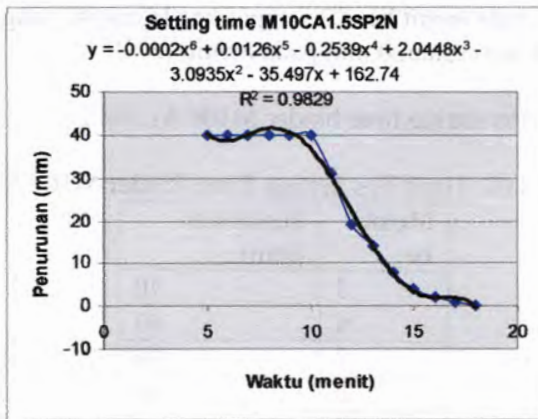
terutama pada menit ke- 12 sampai ke- 16 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 19.

ⓐ Hasil tes setting time binder M10CA1.5SP2N

Tabel 4.62. Hasil Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP2N

Menit ke-	Penurunan (mm)
5	40
6	40
7	40
8	40
9	40
10	40
11	31
12	19
13	14
14	8
15	4
16	2
17	1
18	0

Data hasil tes setting time komposisi M10CA1.5SP2N dari tabel 4.62, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.37. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M10CA1.5SP2N untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.37. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP2N

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = -0.0002x^6 + 0.0126x^5 - 0.2539x^4 + 2.0448x^3 - 3.0935x^2 - 35.497x + 162.74$$

sehingga :

$$\begin{array}{ll} y = 25 \text{ mm} & \rightarrow x = 11,4 \text{ menit} \\ y = 0 \text{ mm} & \rightarrow x = 19 \text{ menit} \end{array}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M10CA1.5SP2N mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 11,4 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 19 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

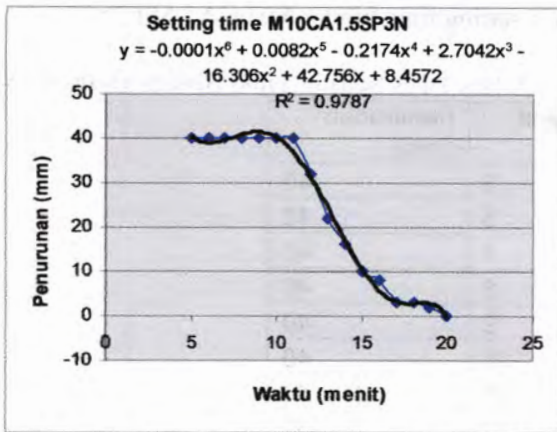
Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M10CA1.5SP2N berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 11 sampai ke- 17 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 19.

ⓐ Hasil tes setting time binder M10CA1.5SP3N

Tabel 4.63. Hasil Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP3N

Menit ke-	Penurunan (mm)
5	40
6	40
7	40
8	40
9	40
10	40
11	40
12	32
13	22
14	16
15	10
16	8
17	3
18	3
19	2
20	0

Data hasil tes setting time komposisi M10CA1.5SP3N dari table 4.63, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.38. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M10CA1.5SP3N untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.38. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP3N

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = -0.0001x^6 + 0.0082x^5 - 0.2174x^4 + 2.7042x^3 - 16.306x^2 + 42.756x + 8.4572$$

sehingga :

$$\begin{array}{ll} y = 25 \text{ mm} & \rightarrow x = 12,8 \text{ menit} \\ y = 0 \text{ mm} & \rightarrow x = 20 \text{ menit} \end{array}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M10CA1.5SP3N mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 12,8 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 20 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

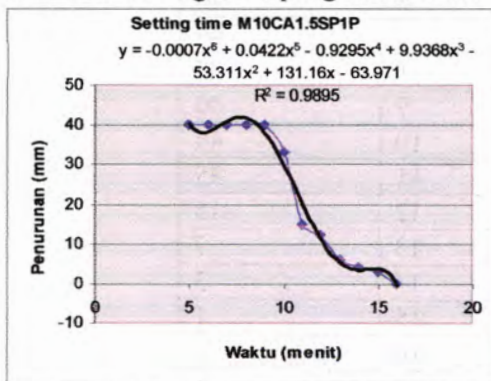
Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M10CA1.5SP3N berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 12 sampai ke- 19 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 20.

⊙ Hasil tes setting time binder M10CA1.5SP1P

Tabel 4.64. Hasil Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP1P

Menit ke-	Penurunan (mm)
5	40
6	40
7	40
8	40
9	40
10	33
11	15
12	12
13	6
14	4
15	3
16	0

Data hasil tes setting time komposisi M10CA1.5SP1P dari tabel 4.64, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.39. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M10CA1.5SP1P untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.39. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP1P

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = -0.0007x^6 + 0.0422x^5 - 0.9295x^4 + 9.9368x^3 - 53.311x^2 + 131.16x - 63.971$$

sehingga :

$$y = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 10,3 \text{ menit}$$

$$y = 0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 16 \text{ menit}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M10CA1.5SP1P mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 10,3 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 16 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

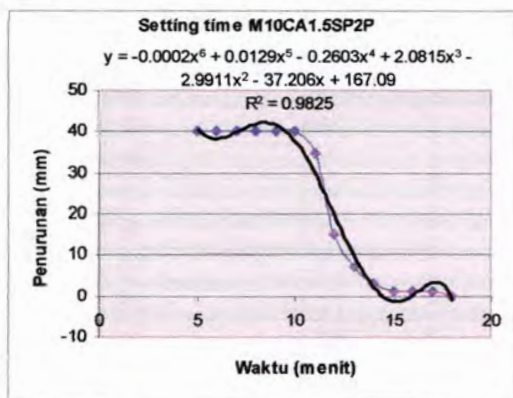
Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M10CA1.5SP1P berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 10 sampai ke- 15 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 16.

⊙ Hasil tes setting time binder M10CA1.5SP2P

Tabel 4.65. Hasil Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP2P

Menit ke-	Penurunan (mm)
5	40
6	40
7	40
8	40
9	40
10	40
11	35
12	15
13	7
14	3
15	1
16	1
17	1
18	0

Data hasil tes setting time komposisi M10CA1.5SP2P dari tabel 4.65, kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.40. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M10CA1.5SP2P untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.40. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP2P

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = -0.0002x^6 + 0.0129x^5 - 0.2603x^4 + 2.0815x^3 - 2.9911x^2 - 37.206x + 167.09$$

sehingga :

$$y = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 11,5 \text{ menit}$$

$$y = 0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 18 \text{ menit}$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M10CA1.5SP2P mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 11,5 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 18 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$. Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M8CA1.5SP2P berubah secara cepat,

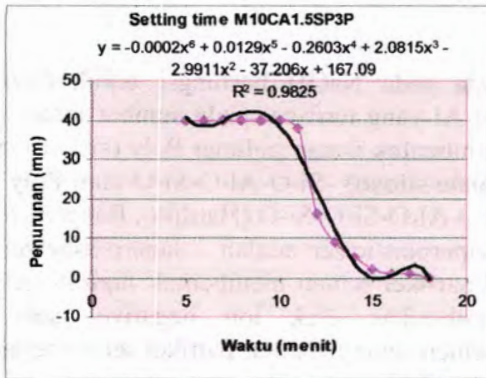
terutama pada menit ke- 11 sampai ke- 17 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 18.

☉ Hasil tes setting time binder M10CA1.5SP3P

Tabel 4.66. Hasil Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP3P

Menit ke-	Penurunan (mm)
5	40
6	40
7	40
8	40
9	40
10	40
11	38
12	16
13	9
14	5
15	2
16	1
17	1
18	0

Data hasil tes setting time komposisi M10CA1.5SP3P dari tabel 4.66 kemudian dibuat grafik dan diregresi seperti pada gambar 4.41. Dari persamaan kurva yang diperoleh dari regresi, dapat diketahui lamanya waktu yang diperlukan binder M10CA1.5SP3P untuk mengalami pengikatan awal.



Gambar 4.41. Grafik Tes Setting Time Binder M10CA1.5SP3P

Persamaan yang diperoleh dari hasil regresi adalah :

$$y = -0.0002x^6 + 0.0129x^5 - 0.2603x^4 + 2.0815x^3 - 2.9911x^2 - 37.206x + 167.09$$

sehingga :

$$y = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 12 \text{ menit}$$

$$y = 0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad x = 18 \text{ menit}$$

dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa binder M10CA1.5SP3P mengalami pengikatan awal yaitu pada saat jarum vicat mengalami penurunan sebesar 25 mm pada 12 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$, sedangkan pengikatan akhir terjadi pada 18 menit setelah fly ash kontak langsung dengan larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$.

Dapat dilihat dari grafik maupun tabel bahwa penurunan jarum vicat pada komposisi M10CA1.5SP3P berubah secara cepat, terutama pada menit ke- 11 sampai ke- 17 menit, hingga akhirnya mencapai penurunan 0 mm pada menit ke- 18.

Analisa:**-Referensi :**

- ⊗ Ion hidroksida pada NaOH berfungsi untuk memutuskan ikatan Si dan Al yang terdapat pada sumber material, untuk kemudian membentuk ikatan polimer Poly (sialate) -Si-O-Al-O-, Poly (sialate-siloxo) -Si-O-Al-O-Si-O atau Poly (sialate-disiloxo) -Si-O-Al-O-Si-O-Si-O (Hardjito, Rangan, 2005).
- ⊗ Cara kerja superplasticizer adalah : superplasticizer diserap oleh partikel-partikel semen membentuk lapisan gel, lapisan tersebut memberikan efek ion negative pada lapisan permukaan semen sehingga antar partikel semen terjadi reaksi tolak-menolak (sika).
- ⊗ Persyaratan waktu setting awal grout adalah 3 jam (minimum) dan 12 jam (maximum) (Departamental Material Specifications).
- ⊗ Untuk *multi purpose grout*, waktu setting awal flowable grout adalah 45 menit dan waktu setting akhir flowable grout adalah 3 jam 20 menit (www.unitex-chemical.com).
- ⊗ Material grout harus memenuhi persyaratan sebagai berikut : waktu setting awal minimum 10 menit dan waktu setting akhir minimum 12 menit (High Early Strength Keyway Grout for Prestressed/Post-Tensioned Concrete Members).

-Hasil penelitian :

Dari tes setting time yang telah dilakukan, diperoleh data-data sebagai berikut :

Tabel 4.67. Setting Awal dan Setting Akhir Binder M10CA1.5 dengan variasi superplasticizer

M6CA1.5	Setting awal (menit)	Setting akhir (menit)
SP0	11.9	20
SP1N	12	20
SP2N	12.1	20
SP3N	13.6	20

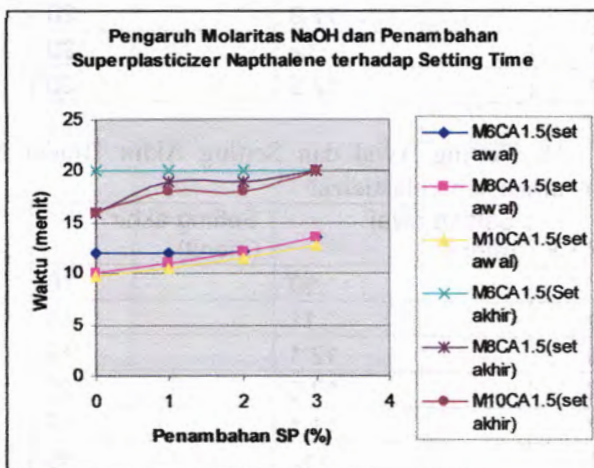
SP1P	11.9	20
SP2P	12	20
SP3P	12.5	20

Tabel 4.68. Setting Awal dan Setting Akhir Binder M8CA1.5 dengan variasi superplasticizer

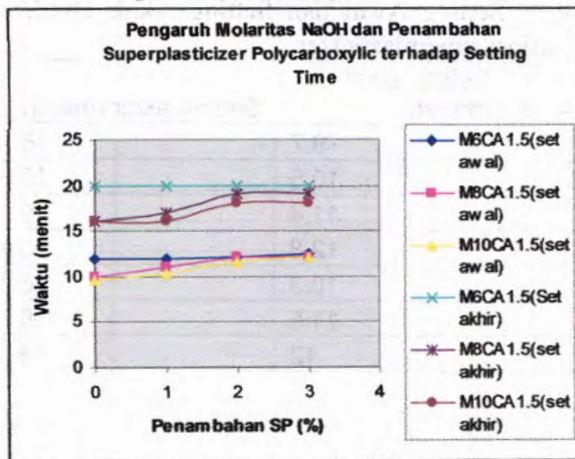
M8CA1.5	Setting awal (menit)	Setting akhir (menit)
SP0	10	16
SP1N	11	19
SP2N	12.1	19
SP3N	13.5	20
SP1P	11.1	17
SP2P	12	19
SP3P	12	19

Tabel 4.69. Setting Awal dan Setting Akhir Binder M6CA1.5 dengan variasi superplasticizer

M10CA1.5	Setting awal (menit)	Setting akhir (menit)
SP0	9.7	16
SP1N	10.5	19
SP2N	11.4	19
SP3N	12.8	20
SP1P	10.3	16
SP2P	11.5	18
SP3P	12	18



Gambar 4.42. Grafik Pengaruh Molaritas dan Penambahan Superplasticizer Napthalene terhadap waktu setting



Gambar 4.43. Grafik Pengaruh Molaritas dan Penambahan Superplasticizer Polycarboxylic terhadap waktu setting

Kesimpulan:

- ⓐ Dari grafik 4.42 dan 4.43 di atas dapat dilihat bahwa semakin tinggi molaritas yang digunakan dalam campuran, maka semakin cepat pula waktu setting (baik setting awal maupun setting akhir). Hal tersebut disebabkan semakin tinggi molaritas maka semakin banyak ion hidroksida yang dapat membantu proses pemutusan ikatan Si dan Al yang terdapat pada fly ash maupun Na_2SiO_3 , sehingga reaksi yang terjadi akan berlangsung semakin cepat.
- ⓑ Dari grafik 4.42 dan 4.43 di atas, dapat dilihat bahwa semakin banyak prosentase superplasticizer yang ditambahkan pada campuran geopolymer, semakin lama pula waktu setting yang diperlukan, hal itu terjadi karena adanya gel yang melapisi lapisan cementitious dan reaksi tolak-menolak antara partikel cementitious sehingga dapat memperlambat waktu pengikatan.
- ⓒ Dari grafik 4.42 dan 4.43 di atas dapat dilihat bahwa perlambatan waktu setting yang terjadi akibat penambahan superplasticizer naphthalene maupun polycarboxylic tidak signifikan.
- ⓓ Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa waktu setting awal dan waktu setting akhir dari pasta geopolimer terlalu cepat jika dibandingkan dengan persyaratan waktu setting grout.
- ⓔ Waktu setting awal dan akhir pasta geopolimer memenuhi persyaratan untuk Prestressed/Post-Tensioned Concrete grout.

IV.4.2. Analisa tes flow cone

Tes flow cone ini dilakukan untuk mengetahui kekentalan campuran pasta berdasarkan waktu alir dengan menggunakan metoda corong alir (ASTM 939-02). Berikut ini adalah hasil tes yang diperoleh :

Tabel 4.70. Waktu alir pasta geopolymer NaOH 10 M dengan variasi penambahan superplasticizer

Campuran	Waktu (detik)
M10CA1.5SP0	330
M10 CA1.5SP1N	320
M10 CA1.5SP2N	311
M10 CA1.5SP3N	300
M10 CA1.5SP1P	360
M10 CA1.5SP2P	371
M10S CA1.5P3P	400

Dari hasil tes di atas, diketahui bahwa penambahan superplasticizer, baik yang berbasis *naphteleene sulphonated* maupun *polycarboxylic ether hyper plasticizer* hingga mencapai 3 % dari cementitious material tidak mempengaruhi waktu alir pasta secara signifikan.

Sehingga disimpulkan penambahan superplasticizer baik yang berbasis *naphteleene sulphonated* maupun *polycarboxylic ether hyper plasticizer* tidak efektif untuk tujuan membuat campuran pasta menjadi lebih *flow*.

Tabel 4.71. Waktu alir pasta geopolymer NaOH 6M, 8M dan 10 M tanpa variasi superplasticizer

Campuran	Waktu (detik)
M6SP0	120
M8SP0	265
M10SP0	330

Analisa :

- Referensi :

Persyaratan waktu alir material grout dengan menggunakan metode flow cone adalah maximum 30 detik (Departmental Matrial Sapecifications).

Syarat waktu alir untuk bahan grout yang sering digunakan seperti *cement-flyash grout* adalah 9-15 detik

dengan menggunakan metode *flow cone*, sedangkan syarat waktu alir untuk *cement-limestone dust grout* adalah 15-22 detik dengan menggunakan metode *flow cone* (*Cement Grout Undersealing and Slab Jacking*).

Metode ini dimaksudkan untuk penggunaan graut yang mempunyai waktu alir tidak lebih dari 35 detik, bila waktu alir lebih dari 35 detik, maka waktu alirannya lebih baik ditentukan dengan menggunakan meja alir, dengan menggunakan 5 jatuhan dalam waktu 3 detik (ASTM 939-02).

Geopolimer seringkali mempunyai waktu setting yang sangat cepat, khususnya dengan adanya kalsium (www.library.unsw.edu.au/pdf).

- Hasil Penelitian :

Dari percobaan yang telah dilakukan diketahui bahwa waktu alir yang dibutuhkan untuk pasta geopolimer lebih dari 30 detik. Adanya penambahan superplasticizer baik yang berbasis *naphtelene sulphonated* maupun *polycarboxylic ether hyper plasticizer* tidak mempengaruhi waktu alir secara signifikan.

- Kesimpulan :

Dari hasil percobaan *flow cone*, dapat diketahui bahwa pasta geopolimer mempunyai kekentalan yang tinggi jika dibandingkan dengan material grout yang sering dipakai seperti *cement-flyash grout* dan *cement-limestone dust grout*.

Waktu alir pasta geopolimer tidak memenuhi persyaratan yang ditentukan, diperkirakan hal ini disebabkan oleh waktu setting pasta geopolimer yang cepat. Selain itu, penambahan superplasticizer baik yang berbasis *naphtelene sulphonated* maupun *polycarboxylic ether hyper plasticizer* tidak efektif untuk tujuan membuat campuran pasta menjadi lebih *flow* dan memperlambat setting time pasta, sehingga pasta tetap cepat mengeras dan menjadi tidak *flow*.

Waktu aliran pasta dan mortar geopolimer ditentukan dengan menggunakan meja alir.

IV.4.3. Analisa Hasil Flow Table

Tes flow cone ini dilakukan untuk mengetahui kekentalan campuran pasta berdasarkan waktu alir dengan menggunakan metoda meja alir (ASTM 1437). Berikut ini adalah hasil tes yang diperoleh :

Untuk campuran pasta geopolimer :

Tabel 4.72. Hasil Percobaan Flow Table untuk pasta geopolimer
Hasil Pengujian Flow Table

Campuran	d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)	d4 (mm)	drata2(mm)	d base (mm)	Flow (%)
M6CA1.5SP0	254	254	254	254	254	100	254
M6CA1.5SP1N	254	254	254	254	254	100	254
M6CA1.5SP2N	254	254	254	254	254	100	254
M6CA1.5SP3N	254	254	254	254	254	100	254
M6CA1.5SP1P	254	254	254	254	254	100	254
M6CA1.5SP2P	254	254	254	254	254	100	254
M6CA1.5SP3P	254	254	254	254	254	100	254
M8CA1.5SP0	254	254	254	254	254	100	254
M8CA1.5SP1N	254	254	254	254	254	100	254
M8CA1.5SP2N	254	254	254	254	254	100	254
M8CA1.5SP3N	254	254	254	254	254	100	254
M8CA1.5SP1P	254	254	254	254	254	100	254
M8CA1.5SP2P	254	254	254	254	254	100	254
M8CA1.5SP3P	254	254	254	254	254	100	254
M10CA1.5SP0	254	254	254	254	254	100	254
M10CA1.5SP1N	254	254	254	254	254	100	254
M10CA1.5SP2N	254	254	254	254	254	100	254
M10CA1.5SP3N	254	254	254	254	254	100	254
M10CA1.5SP1P	254	254	254	254	254	100	254
M10CA1.5SP2P	254	254	254	254	254	100	254
M10CA1.5SP3P	254	254	254	254	254	100	254

Untuk campuran mortar geopolimer :

Tabel 4.73. Hasil Percobaan Flow Table untuk mortar geopolimer

Campuran	d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)	d4 (mm)	drata2(mm)	d base (mm)	Flow (%)
M10CA1.5SP0	254	254	254	254	254	100	254
M10CA1.5SP1N	254	254	254	254	254	100	254
M10CA1.5SP2N	254	254	254	254	254	100	254
M10CA1.5SP3N	254	254	254	254	254	100	254

Analisa:

- Referensi :

Fly ash mempunyai struktur yang berbentuk bola, sehingga dapat membantu meningkatkan workabilitas beton (Hardjito, Rangan, 2005).

Hasil *flow table* yang dibutuhkan untuk membuat *construction grout* adalah 126-145 % dengan menggunakan metode meja alir seperti pada ASTM 230 (www.cascadeblock.com).

Hasil *flow table* yang dibutuhkan untuk membuat *fluid grout* adalah 150 % dengan menggunakan metode meja alir seperti pada ASTM 230 (www.unisorb.com.pdf).

- Hasil penelitian :

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa hasil analisa *flow table* yang diperoleh adalah 254% untuk setiap campuran, baik itu campuran pasta maupun mortar geopolimer.

- Kesimpulan :

Campuran pasta dan mortar yang telah di tes kekentalannya mempunyai workabilitas yang tinggi dan sangat flow. Hal itu disebabkan karena struktur partikel fly ash yang berbentuk bola, sehingga membuat campuran pasta dan mortar dalam kondisi segar sangat flow.

Sehingga, campuran pasta dan mortar geopolimer memenuhi syarat flow yang diperlukan untuk campuran graut.

IV.4.4. Analisa tes tekan

IV.4.3.1. Analisa Tes Tekan Binder Geopolimer

Tes kuat tekan binder geopolymer dilakukan saat umur binder 3, 7, 14 dan 28 hari. Untuk setiap pengujian tes tekan, digunakan 3 buah benda uji dari masing-masing komposisi untuk kemudian diambil rata-ratanya.

Tes kuat tekan binder dilaksanakan di Workshop Struktur Teknik Sipil ITS dengan menggunakan mesin torsi universal testing machine AU-5 berkapasitas 5 ton.

Tabel 4.74. Hasil Tes Kuat Tekan Binder Geopolymer dengan NaOH 10 M dan variasi superplasticizer (Hasil rata-rata tes tekan diambil dari rata-rata hasil tes yang mendekati)

NaOH 10 M												
Variasi Binder	3 hari			7 hari			14 hari			28 hari		
	beban(kg)	Teg (Mpa)	Mpa	beban(kg)	Teg (Mpa)	Mpa	beban(kg)	Teg (Mpa)	Mpa	beban(kg)	Teg (Mpa)	Mpa
M10CA1-5SP0	1985	63.22	64.38	2500	79.62	69.11	2436	77.55	77.47	3540	112.74	104.46
	1995	63.54		2135	67.99		3015	96.02		3350	106.69	
	2085	66.40		2205	70.22		2430	77.39		3210	102.23	
M10CA1-5SP1 (N)	1600	50.96	52.55	2000	63.69	62.66	2020	64.33	64.49	1810	57.64	80.18
	1700	54.14		1750	55.73		1810	57.64		2580	82.17	
	1550	49.36		1935	61.62		2030	64.65		2455	78.18	
M10CA1-5SP2(N)	1490	47.45	48.41	1770	56.37	58.81	2200	70.06	70.94	2150	68.47	79.62
	1550	49.36		1820	57.96		2255	71.82		2590	82.48	
	1040	33.12		1950	62.10		1400	44.69		2410	76.75	
M10CA1-5SP3 (N)	1000	31.85	42.75	1720	54.78	63.50	2420	77.07	71.66	2490	79.30	78.50
	1350	42.99		1660	52.87		2300	73.25		2440	77.71	
	1335	42.52		1660	52.87		2200	70.06		2610	83.12	
M10CA1-5SP1 (P)	1670	50.00	52.34	2240	71.34	68.04	2245	71.50	70.22	2475	78.82	82.09
	1645	52.39		1810	57.64		1510	48.09		2680	85.36	
	1715	54.62		1835	58.44		2165	68.95		2520	80.25	
M10CA1-5SP2 (P)	1380	43.95	52.71	1860	59.24	57.80	2180	69.43	69.75	2490	79.30	80.73
	1660	52.87		1770	56.37		1915	60.99		2580	82.17	
	1650	52.55		2000	63.69		2200	70.06		2420	77.07	
M10CA1-5SP3 (P)	1620	51.59	52.39	1475	46.97	64.94	1610	51.27	66.88	2515	80.10	80.33
	1745	55.57		1680	53.50		2070	65.92		2530	80.57	
	1645	49.20		1770	56.37		2130	67.83		2290	72.93	

Contoh perhitungan kuat tekan binder M10CA1.5SP0 adalah :

Hasil tes tekan binder : P1 = 1985 kg

P2 = 1995 kg

P3 = 2085 kg

Penyelesaian :

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 2^2}{4} = \pi \text{ cm}^2 = 3,14 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{P}{A} \times \frac{1}{g}$$

$$\sigma_1 = \frac{1985 \times 1}{3,14 \times 10} = 63,22 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{1995 \times 1}{3,14 \times 10} = 63,54 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3 = \frac{2085 \times 1}{3,14 \times 10} = 66,40 \text{ MPa}$$

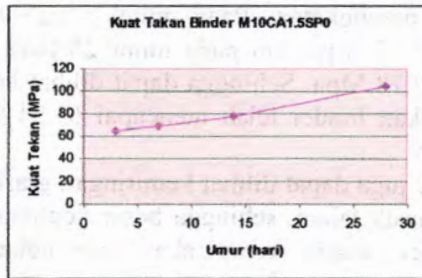
Hasil rata-rata tegangan tekannya adalah :

$$\sigma_{1,2,3} = \frac{63,22 + 63,54 + 66,40}{3} = 64,97 \text{ MPa}$$

Untuk menghitung kuat tekan binder komposisi lain, dapat digunakan cara yang sama.

Berikut ini adalah pembahasan hasil kuat tekan binder :

☐ Kuat tekan binder M10CA1.5SP0

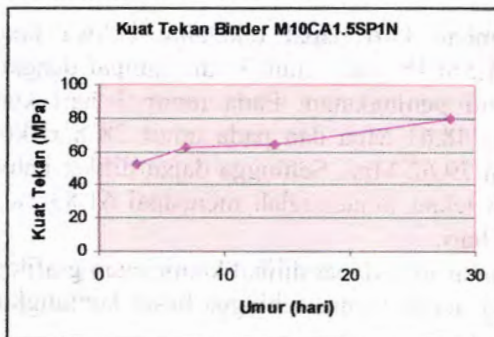


Gambar 4.44. Grafik Kuat Tekan Binder M10CA1.5SP0

Dari gambar 4.44 dapat diketahui bahwa kuat tekan binder M10CA1.5SP0 dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan binder mencapai 64,38 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan binder mencapai 104,46 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan binder telah mencapai 61,63 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari yang masih tajam, sehingga besar kemungkinan bahwa kuat tekan binder masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

☐ Kuat tekan binder M10CA1.5SP1N

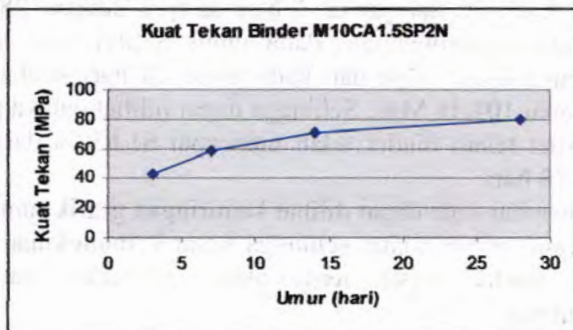


Gambar 4.45. Grafik Kuat Tekan Binder M10CA1.5SP1N

Dari gambar 4.45 dapat diketahui bahwa kuat tekan binder M10CA1.5SP1N dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan binder mencapai 52,55 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan binder mencapai 80,18 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan binder telah mencapai 65,54 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari yang masih tajam, sehingga besar kemungkinan bahwa kuat tekan binder masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

Kuat tekan binder M10CA1.5SP2N




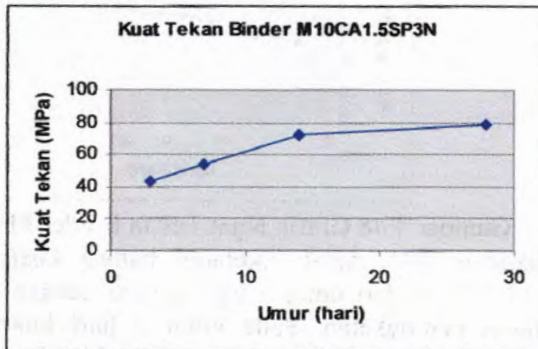
Gambar 4.46 Grafik Kuat Tekan Binder M10CA1.5SP2N

Dari gambar 4.46 dapat diketahui bahwa kuat tekan binder M10CA1.5SP1N dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan binder mencapai 48,61 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan binder mencapai 79,62 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan binder telah mencapai 61,83 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari yang masih tajam, sehingga besar kemungkinan bahwa kuat

tekan binder masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

 **Kuat tekan binder M10CA1.5SP3N**

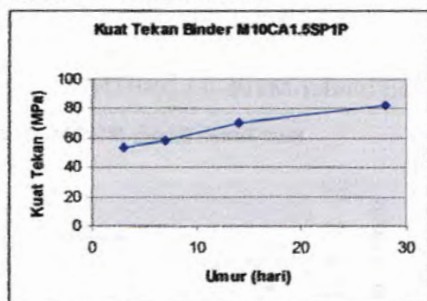


Gambar 4.47 Grafik Kuat Tekan Binder M10CA1.5SP3N

Dari gambar 4.47 dapat diketahui bahwa kuat tekan binder M10CA1.5SP3N dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan binder mencapai 42,75 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan binder mencapai 78,5 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan binder telah mencapai 54,5 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari yang masih tajam, sehingga besar kemungkinan bahwa kuat tekan binder masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

Kuat tekan binder M10CA1.5SP1P

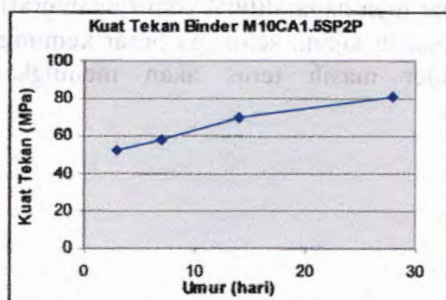


Gambar 4.48 Grafik Kuat Tekan Binder M10CA1.5SP1P

Dari gambar 4.48 dapat diketahui bahwa kuat tekan binder M10CA1.5SP1P dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan binder mencapai 52,34 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan binder mencapai 82,09 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan binder telah mencapai 63,76 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari yang masih tajam, sehingga besar kemungkinan bahwa kuat tekan binder masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

Kuat tekan binder M10CA1.5SP2P

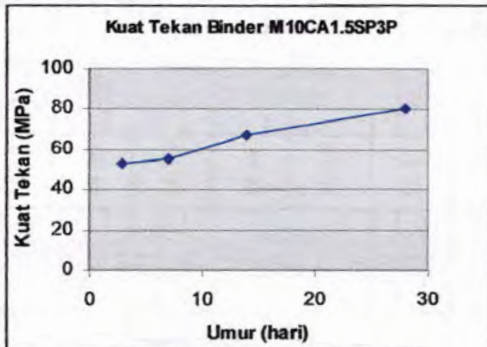


Gambar 4.49 Grafik Kuat Tekan Binder M10CA1.5SP2P

Dari gambar 49 dapat diketahui bahwa kuat tekan binder M10CA1.5SPIN dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan binder mencapai 52,71 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan binder mencapai 80,73 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan binder telah mencapai 65,29 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari yang masih tajam, sehingga besar kemungkinan bahwa kuat tekan binder masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

Kuat tekan binder M10CA1.5SP3P



Gambar 4.50 Grafik Kuat Tekan Binder M10CA1.5SP3P

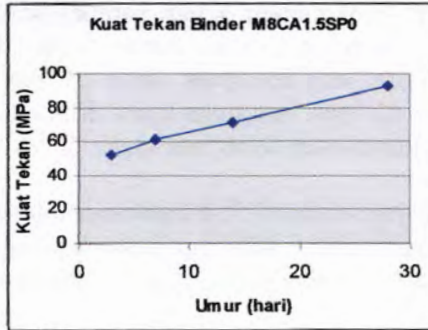
Dari gambar 50 dapat diketahui bahwa kuat tekan binder M10CA1.5SPIN dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan binder mencapai 52,39 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan binder mencapai 80,33 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan binder telah mencapai 65,22 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari yang masih tajam, sehingga besar kemungkinan bahwa kuat tekan binder masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

Tabel .4.75. Hasil Tes Kuat Tekan Binder Geopolymer dengan NaOH 8 M dan variasi superplasticizer (Hasil rata-rata tes tekan diambil dari rata-rata hasil tes yang mendekati)

NaOH 8 M												
Variasi Binder	3 hari			7 hari			14 hari			28 hari		
	beban(kg)	Teg (Mpa)	Mpa	beban(kg)	Teg (Mpa)	Mpa	beban(kg)	Teg (Mpa)	Mpa	beban(kg)	Teg (Mpa)	Mpa
M8CA1.5 SP0	1680	53.50	51.91	1850	58.92	61.31	2155	68.63	71.26	3050	97.13	95.86
	2080	66.24		1575	50.16		2320	73.89		2970	94.59	
	1570	50.32		2000	63.69		3350	106.69		3380	107.64	
M8CA1.5 SP1 (N)	1550	49.36	50.16	1910	60.83	58.28	2100	66.88	67.44	1960	62.42	78.42
	1600	50.96		1550	49.36		2135	67.99		2460	78.34	
	1420	45.22		1750	55.73		2495	79.46		2465	78.50	
M8CA1.5 SP2 (N)	1540	49.04	48.80	1820	57.96	57.32	2155	68.63	67.14	2190	69.75	71.58
	1790	57.01		1780	56.69		2030	64.65		2305	73.41	
	1525	48.57		1430	45.54		2140	68.15		2920	92.99	
M8CA1.5 SP3 (N)	1440	45.86	46.50	1585	50.48	52.55	2000	63.69	64.65	2225	70.86	68.23
	1200	38.22		1650	52.55		2060	65.61		2060	65.61	
	1480	47.13		1715	54.62		2285	72.77		2440	77.71	
M8CA1.5 SP1 (P)	1620	51.59	49.47	2295	73.09	56.21	2245	71.50	70.22	2115	67.36	70.22
	1690	53.82		1780	56.69		1510	48.09		2295	73.09	
	1350	42.99		1750	55.73		2165	68.95		2030	64.65	
M8CA1.5 SP2 (P)	1400	44.59	49.12	2195	69.90	52.23	2150	68.47	69.27	2190	69.75	69.90
	1485	47.29		1620	51.59		1915	60.99		1900	60.51	
	1600	50.96		1660	52.87		2200	70.06		2200	70.06	
M8CA1.5 SP3 (P)	1365	43.47	42.44	1665	53.03	51.67	1705	54.30	54.09	1890	60.19	60.35
	1300	41.40		2040	64.97		1720	54.78		1900	60.51	
	1590	50.64		1580	50.32		1670	53.18		2590	82.48	

Kuat tekan binder M8CA1.5SP0

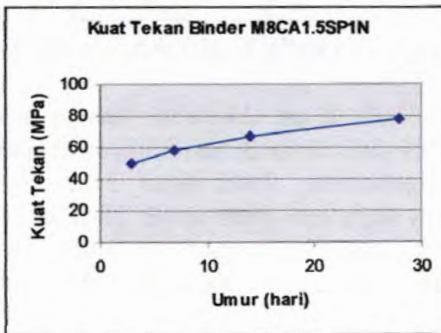


Gambar 4.51 Grafik Kuat Tekan Binder M8CA1.5SP0

Dari gambar 4.51 dapat diketahui bahwa kuat tekan binder M8CA1.5SP0 dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan binder mencapai 51,91 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan binder mencapai 95,86 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan binder telah mencapai 54,2 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari yang masih tajam, sehingga besar kemungkinan bahwa kuat tekan binder masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

Kuat tekan binder M8CA1.5SP1N

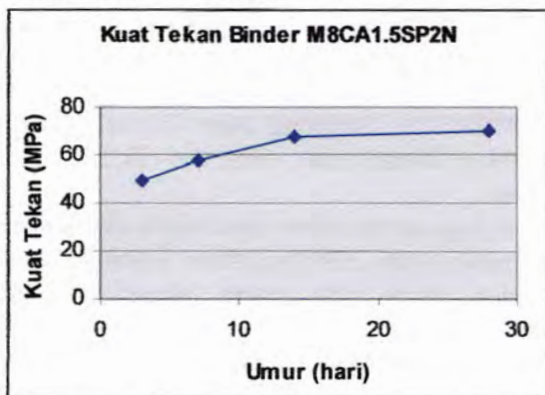


Gambar 4.52 Grafik Kuat Tekan Binder M8CA1.5SP1N

Dari gambar 4.52 dapat diketahui bahwa kuat tekan binder M8CA1.5SP1N dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan binder mencapai 50,16 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan binder mencapai 78,42 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan binder telah mencapai 63,96 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari yang masih tajam, sehingga besar kemungkinan bahwa kuat tekan binder masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.


Kuat tekan binder M8CA1.5SP2N

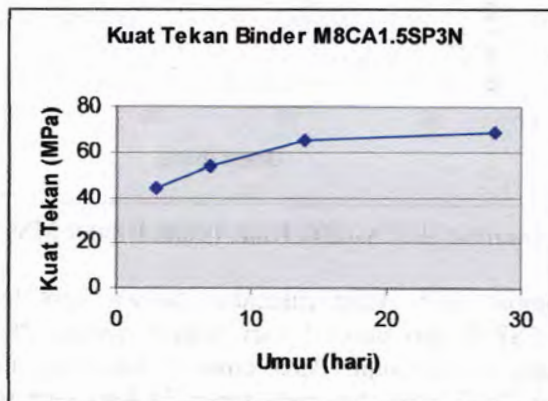


Gambar 4.53. Grafik Kuat Tekan Binder M8CA1.5SP2N

Dari gambar 4.53 dapat diketahui bahwa kuat tekan binder M8CA1.5SP2N dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan binder mencapai 48,8 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan binder mencapai 71,58 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan binder telah mencapai 68,17 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari tidak terlalu tajam, akan tetapi masih terdapat kemungkinan bahwa kuat tekan binder masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

 Kuat tekan binder M8CA1.5SP3N

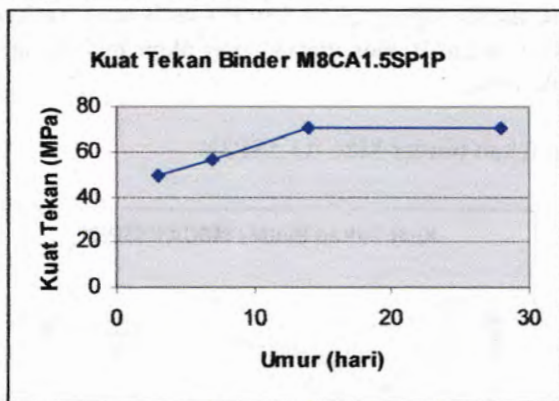


Gambar 4.54 Grafik Kuat Tekan Binder M8CA1.5SP3N

Dari gambar 4.54 dapat diketahui bahwa kuat tekan binder M8CA1.5SP3N dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan binder mencapai 46,5 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan binder mencapai 68,23 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan binder telah mencapai 68,15 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari tidak terlalu tajam, akan tetapi masih terdapat kemungkinan bahwa kuat tekan binder masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

 Kuat tekan binder M8CA1.5SP1P

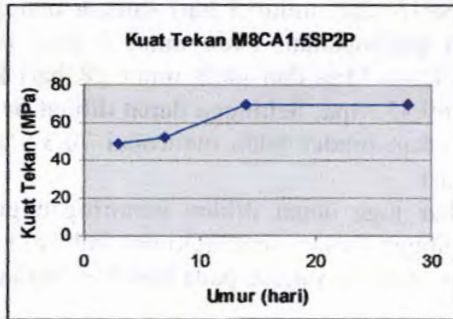


Gambar 4.55 Grafik Kuat Tekan Binder M8CA1.5SP1P

Dari gambar 4.55 dapat diketahui bahwa kuat tekan binder M8CA1.5SP1P dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan binder mencapai 49,47 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan binder mencapai 70,22 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan binder telah mencapai 70,45 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari menunjukkan bahwa kuat tekan sudah cenderung stabil, yaitu sebesar 70,22 Mpa.

Kuat tekan binder M8CA1.5SP2P

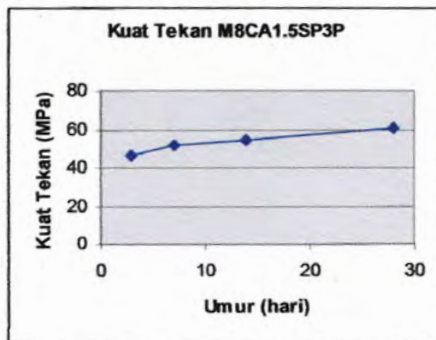


Gambar 4.56. Grafik Kuat Tekan Binder M8CA1.5SP2P

Dari gambar 4.56 dapat diketahui bahwa kuat tekan binder M8CA1.5SP1N dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan binder mencapai 49,12 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan binder mencapai 69,9 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan binder telah mencapai 70,27 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik yang masih tajam, sehingga besar kemungkinan bahwa kuat tekan binder masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

Kuat tekan binder M8CA1.5SP3P



Gambar 4.57 Grafik Kuat Tekan Binder M8CA1.5SP3P

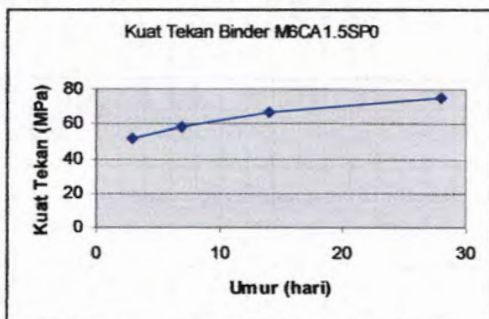
Dari gambar 4.57 dapat diketahui bahwa kuat tekan binder M8CA1.5SP1N dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan binder mencapai 42,44 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan binder mencapai 60,35 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan binder telah mencapai 70,32 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik yang masih tajam, sehingga besar kemungkinan bahwa kuat tekan binder masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

Tabel .4.76. Hasil Tes Kuat Tekan Binder Geopolymer dengan NaOH 6 M dan variasi superplasticizer (Hasil rata-rata tes tekan diambil dari rata-rata hasil tes yang mendekati)

4 NaOH 6 M												
5 Hasil Tes Kuat Tekan Binder												
6 Variasi	3 hari			7 hari			14 hari			28 hari		
	7 Binder	beban(kg)	Teg (Mpa)	Mpa	beban(kg)	Teg (Mpa)	Mpa	beban(kg)	Teg (Mpa)	Mpa	beban(kg)	Teg (Mpa)
8 M6CA1.5	1640	52.23	51.75	1700	54.14	58.28	2090	66.56	66.72	2355	75.00	74.92
9 SP0	1820	57.96		1810	57.64		2100	66.88		2350	74.84	
0	1610	51.27		1850	58.92		2730	86.94		3610	114.97	
1 M6CA1.5	1550	49.36	47.21	1665	53.03	53.34	2130	67.83	60.83	2000	63.69	64.33
2 SP1 (N)	1415	45.06		1685	53.66		1850	58.92		2040	64.97	
3	960	30.57		1065	33.92		1970	62.74		2900	92.36	
4 M6CA1.5	1190	37.90	36.62	1410	44.90	44.67	1675	53.34	52.95	1860	59.24	59.32
5 SP2 (N)	1110	35.35		1395	44.43		1650	52.55		2510	79.94	
6	890	28.34		1940	61.78		1790	57.01		1865	59.39	
7 M6CA1.5	1100	35.03	35.19	1010	32.17	41.24	1210	38.54	43.71	1620	51.59	51.27
8 SP3 (N)	1110	35.35		1290	41.08		1445	46.02		1600	50.96	
9	800	25.48		1300	41.40		1300	41.40		1500	47.77	
0 M6CA1.5	1370	43.63	42.68	1670	53.18	52.79	2100	66.88	67.99	2140	68.15	68.95
1 SP1 (P)	1310	41.72		1645	52.39		2170	69.11		2190	69.75	
2	1570	50.00		1555	49.52		1470	46.82		1590	50.64	
3 M6CA1.5	1330	42.36	35.43	1655	52.71	52.15	2000	63.69	66.40	2150	68.47	68.47
4 SP2 (P)	1115	35.51		1760	56.05		2250	71.66		2150	68.47	
5	1110	35.35		1620	51.59		2170	69.11		1900	60.51	
6 M6CA1.5	940	29.94	30.57	1800	57.32	51.04	1735	55.25	66.24	2130	67.83	66.40
7 SP3 (P)	610	19.43		1570	50.00		2070	65.92		2470	78.66	
8	980	31.21		1635	52.07		2090	66.56		2040	64.97	

Kuat tekan binder M6CA1.5SP0

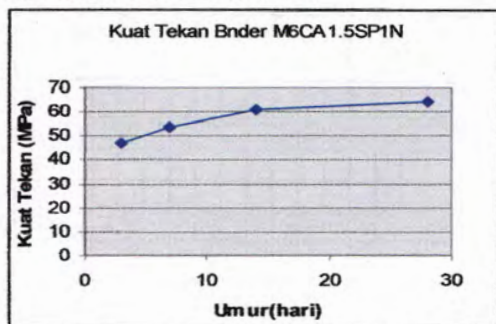


Gambar 4.58 Grafik Kuat Tekan Binder M6CA1.5SP0

Dari gambar 4.58 dapat diketahui bahwa kuat tekan binder M6CA1.5SP0 dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan binder mencapai 51,75 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan binder mencapai 74,92 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan binder telah mencapai 69 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari yang masih tajam, sehingga besar kemungkinan bahwa kuat tekan binder masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

Kuat tekan binder M6CA1.5SP1N

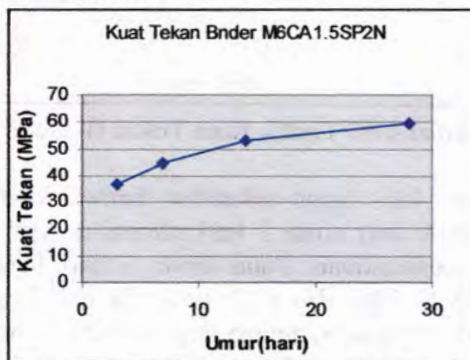


Gambar 4.59 Grafik Kuat Tekan Binder M6CA1.5SP1N

Dari gambar 4.59 dapat diketahui bahwa kuat tekan binder M68CA1.5SP1N dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan binder mencapai 47,21 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan binder mencapai 64,33 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan binder telah mencapai 73,3 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari tidak terlalu tajam, akan tetapi masih terdapat kemungkinan bahwa kuat tekan binder masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

Kuat tekan binder M6CA1.5SP2N

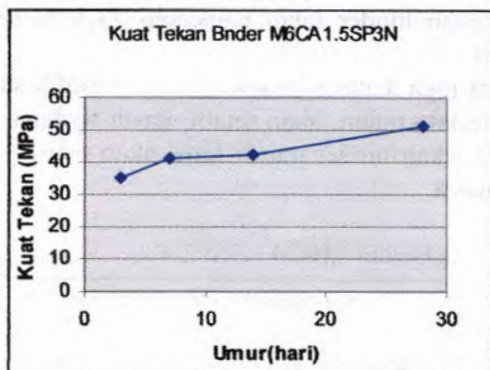


Gambar 4.60 . Grafik Kuat Tekan Binder M6CA1.5SP2N

Dari gambar 4.60 dapat diketahui bahwa kuat tekan binder M6CA1.5SP2N dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan binder mencapai 36,62 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan binder mencapai 59,32 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan binder telah mencapai 61,7 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari tidak terlalu tajam, akan tetapi masih terdapat kemungkinan bahwa kuat tekan binder masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

Kuat tekan binder M6CA1.5SP3N

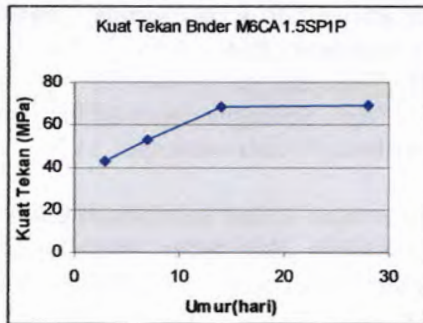


Gambar 4.61 Grafik Kuat Tekan Binder M6CA1.5SP3N

Dari gambar 4.61 dapat diketahui bahwa kuat tekan binder M6CA1.5SP3N dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan binder mencapai 35,19 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan binder mencapai 51,27 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan binder telah mencapai 68,6 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari yang masih tajam, sehingga besar kemungkinan bahwa kuat tekan binder masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

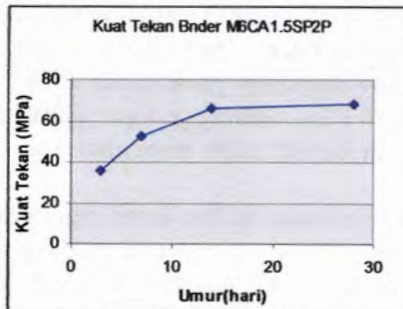
Kuat tekan binder M6CA1.5SP1P



Gambar 4.62. Grafik Kuat Tekan Binder M6CA1.5SP1P
 Dari gambar 4.62 dapat diketahui bahwa kuat tekan binder M6CA1.5SP1P dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan binder mencapai 42,68 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan binder mencapai 68,95 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan binder telah mencapai 61,89 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari tidak terlalu tajam, akan tetapi masih terdapat kemungkinan bahwa kuat tekan binder masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

Kuat tekan binder M6CA1.5SP2P

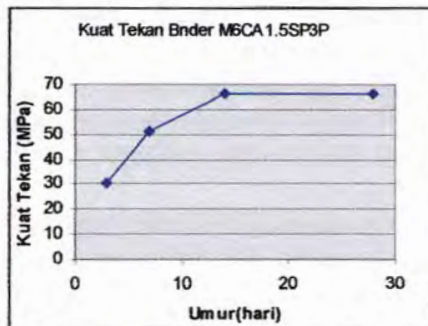


Gambar 4.63. Grafik Kuat Tekan Binder M6CA1.5SP2P

Dari gambar 4.63 dapat diketahui bahwa kuat tekan binder M6CA1.5SP2P dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan binder mencapai 35,43 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan binder mencapai 68,47 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan binder telah mencapai 51,74 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari tidak terlalu tajam, akan tetapi masih terdapat kemungkinan bahwa kuat tekan binder masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

Kuat tekan binder M6CA1.5SP3P



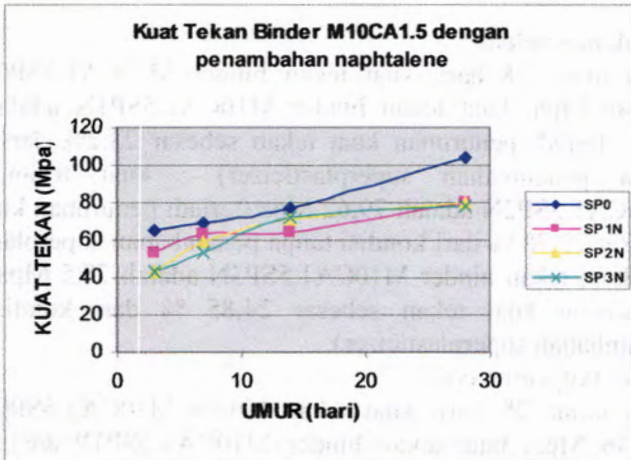
Gambar 4.64 Grafik Kuat Tekan Binder M6CA1.5SP3P

Dari gambar 4.64 dapat diketahui bahwa kuat tekan binder M6CA1.5SP3P dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan binder mencapai 30,57 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan binder mencapai 66,40 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan binder telah mencapai 46,04 % dari kuat tekan umur 28 hari.

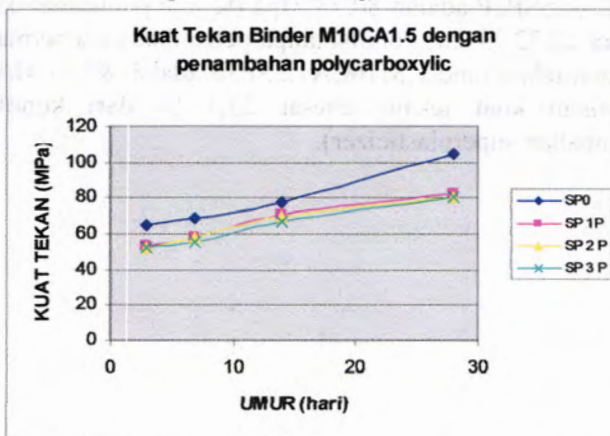
Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari tidak terlalu tajam, akan tetapi masih terdapat kemungkinan bahwa kuat tekan binder masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

Dari hasil tes tekan yang telah dilakukan didapat hasil-hasil sebagai berikut :

➤ Pengaruh kuat tekan terhadap penambahan superplasticizer :



Gambar 4.65 Grafik Kuat Tekan Binder M10CA1.5 terhadap penambahan Naphtalene



Gambar 4.66 Grafik Kuat Tekan Binder M10CA1.5 terhadap penambahan polycarboxylic

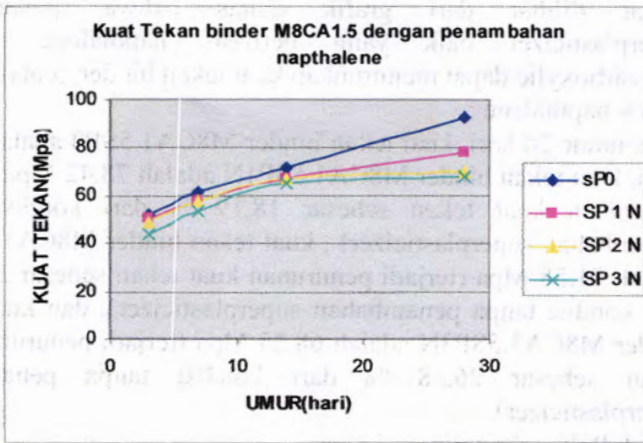
Dapat dilihat dari gambar 4.65 dan 4.66 bahwa, penambahan superplasticizer baik yang berbasis naphthalene maupun polycarboxylic dapat menurunkan kuat tekan binder geopolimer.

Untuk naphthalene :

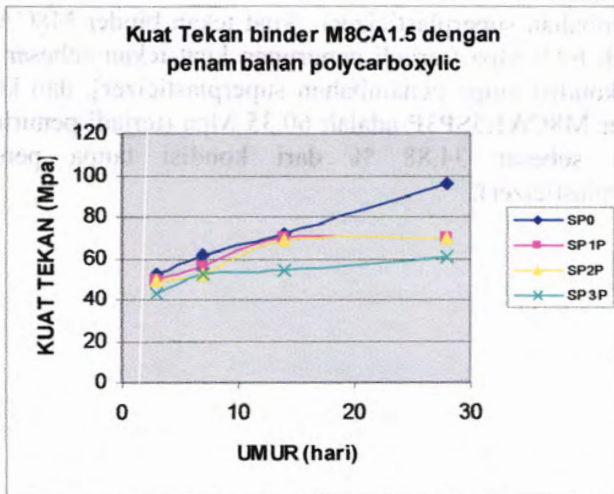
Pada umur 28 hari, kuat tekan binder M10CA1.5SP0 adalah 104,46 Mpa, kuat tekan binder M10CA1.5SP1N adalah 80,18 Mpa (terjadi penurunan kuat tekan sebesar 23,2% dari kondisi tanpa penambahan superplasticizer) , kuat tekan binder M10CA1.5SP2N adalah 79,62 Mpa (terjadi penurunan kuat tekan sebesar 23,78 % dari kondisi tanpa penambahan superplasticizer), dan kuat tekan binder M10CA1.5SP3N adalah 78,5 Mpa (terjadi penurunan kuat tekan sebesar 24,85 % dari kondisi tanpa penambahan superplasticizer).

Untuk Polycarboxylic:

Pada umur 28 hari, kuat tekan binder M10CA1.5SP0 adalah 104,46 Mpa, kuat tekan binder M10CA1.5SP1P adalah 82,09 Mpa (terjadi penurunan kuat tekan sebesar 21,41 % dari kondisi tanpa penambahan superplasticizer) , kuat tekan binder M10CA1.5SP2P adalah 80,73 Mpa (terjadi penurunan kuat tekan sebesar 22,72 % dari kondisi tanpa penambahan superplasticizer), dan kuat tekan binder M10CA1.5SP3P adalah 80,33 Mpa (terjadi penurunan kuat tekan sebesar 23,1 % dari kondisi tanpa penambahan superplasticizer).



Gambar 4.67 Grafik Kuat Tekan Binder M8CA1.5 terhadap penambahan Napthalene



Gambar 4.68 Grafik Kuat Tekan Binder M8CA1.5 terhadap penambahan Polycarboxylic

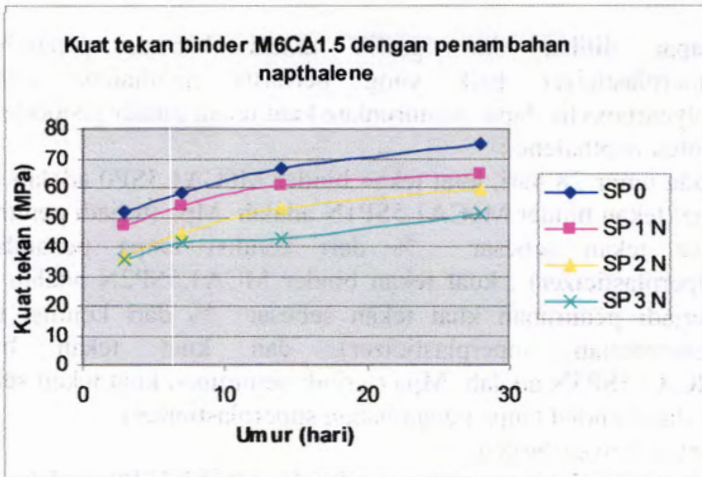
Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa, penambahan superplasticizer baik yang berbasis naphthalene maupun polycarboxylic dapat menurunkan kuat tekan binder geopolymer.

Untuk naphthalene :

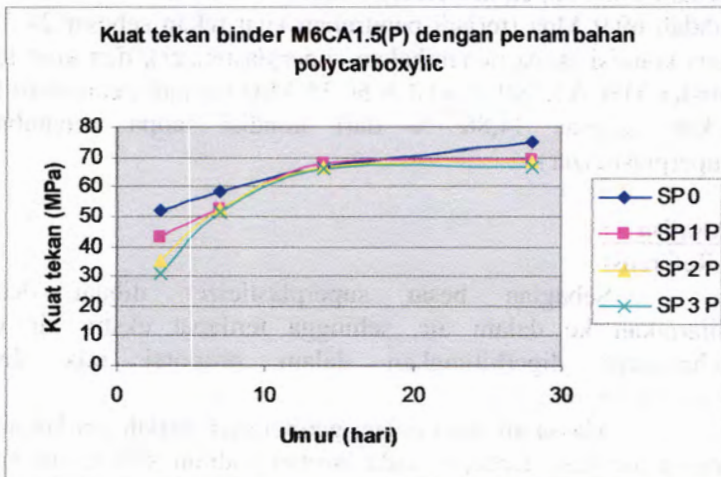
Pada umur 28 hari, kuat tekan binder M8CA1.5SP0 adalah 95,86 Mpa, kuat tekan binder M8CA1.5SP1N adalah 78,42 Mpa (terjadi penurunan kuat tekan sebesar 18,19 % dari kondisi tanpa penambahan superplasticizer) , kuat tekan binder M8CA1.5SP2N adalah 71,58 Mpa (terjadi penurunan kuat tekan sebesar 25,33 % dari kondisi tanpa penambahan superplasticizer), dan kuat tekan binder M8CA1.5SP3N adalah 68,23 Mpa (terjadi penurunan kuat tekan sebesar 26,38 % dari kondisi tanpa penambahan superplasticizer).

Untuk Polycarboxylic:

Pada umur 28 hari, kuat tekan binder M8CA1.5SP0 adalah 92,68 Mpa, kuat tekan binder M8CA1.5SP1P adalah 70,22 Mpa (terjadi penurunan kuat tekan sebesar 24,23 % dari kondisi tanpa penambahan superplasticizer) , kuat tekan binder M8CA1.5SP2P adalah 69,9 Mpa (terjadi penurunan kuat tekan sebesar 24,58 % dari kondisi tanpa penambahan superplasticizer), dan kuat tekan binder M8CA1.5SP3P adalah 60,35 Mpa (terjadi penurunan kuat tekan sebesar 34,88 % dari kondisi tanpa penambahan superplasticizer).



Gambar 4.69 Grafik Kuat Tekan Binder M6CA1.5 terhadap penambahan Napthalene



Gambar 4.70 Grafik Kuat Tekan Binder M6CA1.5 terhadap penambahan Polycarboxylic

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa, penambahan superplasticizer baik yang berbasis naphthalene maupun polycarboxylic dapat menurunkan kuat tekan binder geopolymer.

Untuk naphthalene :

Pada umur 28 hari, kuat tekan binder M6CA1.5SP0 adalah Mpa, kuat tekan binder M6CA1.5SP1N adalah Mpa (terjadi penurunan kuat tekan sebesar % dari kondisi tanpa penambahan superplasticizer) , kuat tekan binder MCA1.5SP2N adalah Mpa (terjadi penurunan kuat tekan sebesar % dari kondisi tanpa penambahan superplasticizer), dan kuat tekan binder MCA1.5SP3N adalah Mpa (terjadi penurunan kuat tekan sebesar % dari kondisi tanpa penambahan superplasticizer).

Untuk Polycarboxylic:

Pada umur 28 hari, kuat tekan binder MCA1.5SP0 adalah Mpa, kuat tekan binder M8CA1.5SP1P adalah 70,22 Mpa (terjadi penurunan kuat tekan sebesar 24,23 % dari kondisi tanpa penambahan superplasticizer) , kuat tekan binder M8CA1.5SP2P adalah 69,9 Mpa (terjadi penurunan kuat tekan sebesar 24,58 % dari kondisi tanpa penambahan superplasticizer), dan kuat tekan binder M8CA1.5SP3P adalah 60,35 Mpa (terjadi penurunan kuat tekan sebesar 34,88 % dari kondisi tanpa penambahan superplasticizer).

Analisa :

- Referensi :

Sebagian besar superplasticizer dibuat dengan dilarutkan ke dalam air, sehingga terdapat ekstra air yang seharusnya diperhitungkan dalam proporsi mix desain (www.wikipedia.com).

Massa air total dalam geopolimer adalah jumlah antara massa air yang terdapat pada larutan sodium silikat, massa air yang terdapat pada sodium hidroksida dan massa ekstra air, jika ada, yang ditambahkan ke dalam campuran, sedangkan massa total partikel padat geopolimer adalah jumlah antara massa fly

ash, massa padatan dalam larutan sodium hidroksida dan massa padatan dalam larutan sodium silikat (Hardjito, Rangan, 2005).

Kuat tekan beton geopolimer turun sehubungan dengan naiknya rasio air-padatan geopolimer. Tren tersebut analog dengan efek rasio air-semen terhadap kuat tekan pada beton Portland semen (Hardjito, Rangan, 2005).

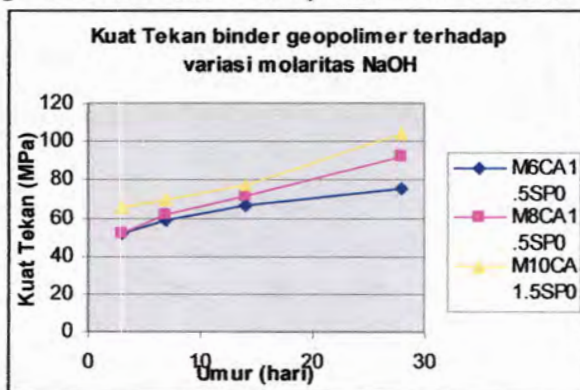
- Hasil penelitian :

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa kuat tekan binder geopolimer menurun seiring dengan penambahan kadar superplasticizer, baik yang berbasis naphthalene maupun polycarboxylic.

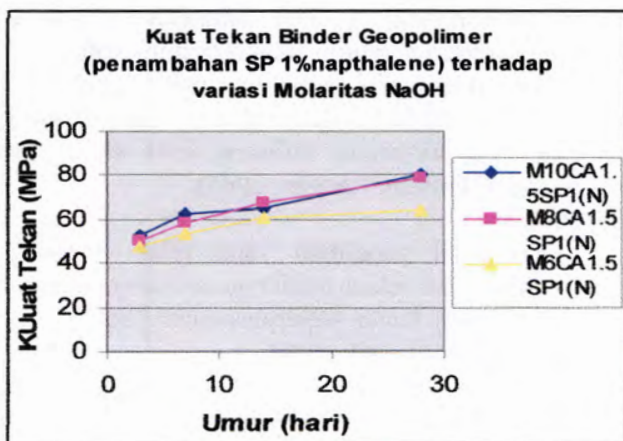
- Kesimpulan :

Penambahan superplasticizer menyebabkan penambahan kadar air pada campuran geopolimer. Dengan demikian, semakin banyak jumlah superplasticizer yang ditambahkan pada campuran geopolimer, maka semakin besar pula rasio air-padatan geopolimer. Naiknya rasio air-padatan geopolimer dapat menurunkan kuat tekan beton geopolimer.

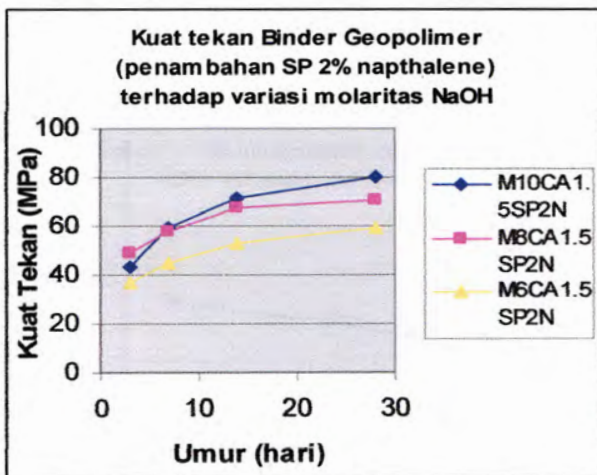
Pengaruh Kuat Tekan terhadap variasi molaritas NaOH



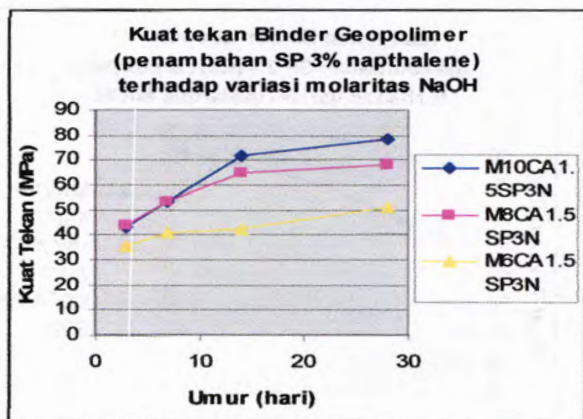
Gambar 4.71 Grafik Kuat Tekan Binder terhadap variasi Molaritas NaOH



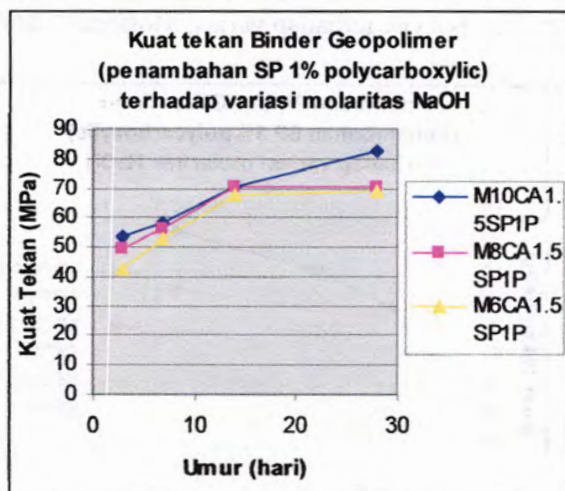
Gambar 4.72 Grafik Kuat Tekan Binder (penambahan SP 1 % naphthalene terhadap variasi Molaritas NaOH)



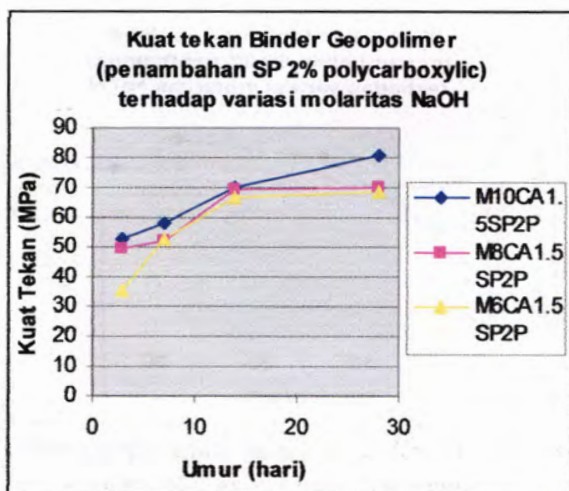
Gambar 4.73 Grafik Kuat Tekan Binder (penambahan SP 2 % naphthalene terhadap variasi Molaritas NaOH)



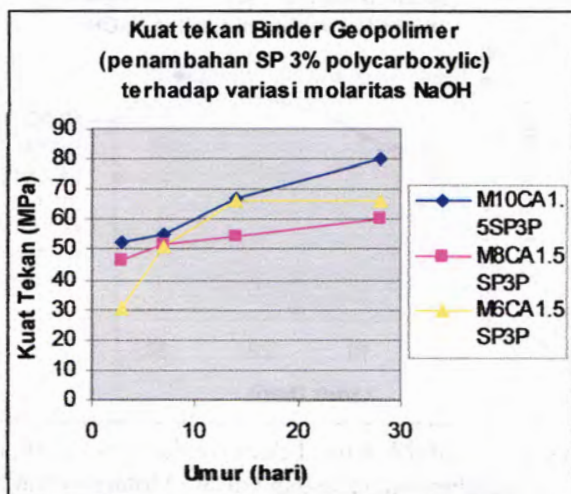
Gambar 4.74 Grafik Kuat Tekan Binder (penambahan SP 3 % naphthalene terhadap variasi Molaritas NaOH)



Gambar 4.75 Grafik Kuat Tekan Binder (penambahan SP 1 % polycarboxylic terhadap variasi Molaritas NaOH)



Gambar 4.76 Grafik Kuat Tekan Binder (penambahan SP 2 % polycarboxylic terhadap variasi Molaritas NaOH)



Gambar 4.77 Grafik Kuat Tekan Binder (penambahan SP 3 % polycarboxylic terhadap variasi Molaritas NaOH)

Analisa :**- Referensi :**

Reaktifitas fly ash kelas F membutuhkan pemutusan ikatan dan pelarutan dalam struktur jaringan 3 dimensi pada senyawa seperti kaca dalam lingkungan PH tinggi (www.library.unsw.edu.au.pdf).

Konsentrasi larutan sodium hidroksida (NaOH) yang rendah tidak mereaksikan fly ash secara efektif (www.library.unsw.edu.au.pdf).

Ion OH^- merupakan basa kuat yang mampu untuk memutuskan Si^{+4} dan Al^{+3} yang berada dalam fly ash (www.library.unsw.edu.au.pdf).

- Hasil penelitian :

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa semakin tinggi molaritas (konsentrasi) NaOH yang digunakan, kuat tekan yang dicapai juga semakin tinggi. Binder dengan larutan NaOH 10 M mempunyai kuat tekan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan binder yang menggunakan larutan NaOH 6 M dan 8 M, sedangkan binder dengan larutan NaOH 8 M mempunyai kuat tekan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan binder yang menggunakan larutan NaOH 6 M.

- Kesimpulan :

Larutan NaOH 10 M lebih pekat jika dibandingkan dengan larutan NaOH 6 M dan 8 M. Kepekatan berhubungan dengan perbandingan antara banyaknya jumlah air dan NaOH yang digunakan. Semakin pekat larutan NaOH, maka air yang digunakan semakin sedikit dan massa NaOH yang digunakan semakin banyak.

Bila kadar NaOH terlalu kecil, akan terjadi kekurangan OH^- dalam reaksi yang mengakibatkan proses pemutusan on Si^{+4} dan Al^{+3} dan kirstalisasi tidak berlangsung sempurna dan tidak mereaksikan fly ash secara efektif (terdapat fly ash yang belum bereaksi). Oleh sebab itu, campuran geopolimer yang

menggunakan larutan NaOH dengan molaritas yang lebih tinggi akan menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi.

Hasil kuat tekan pasta geopolimer terhadap persyaratan grout

Tabel 4.77 Kuat tekan M10CA1.5 variasi superlasticizer pada umur 7 hari dan 28 hari

Campuran	Kuat Tekan 7 hari (Mpa)	Kuat Tekan 28 hari (Mpa)
M10CA1.5SP0	69.11	104.46
M10CA1.5SP1N	62.66	80.18
M10CA1.5SP2N	58.81	79.62
M10CA1.5SP3N	53.5	78.5
M10CA1.5SP1P	58.04	82.09
M10CA1.5SP2P	57.8	80.73
M10CA1.5SP3P	54.94	80.33

Tabel 4.78 Kuat tekan M8CA1.5 variasi superlasticizer pada umur 7 hari dan 28 hari

Campuran	Kuat Tekan7 hari (Mpa)	Kuat Tekan 28 hari (Mpa)
M8CA1.5SP0	61.31	95.86
M8CA1.5SP1N	58.28	78.42
M8CA1.5SP2N	57.32	71.58
M8CA1.5SP3N	52.55	68.23
M8CA1.5SP1P	56.21	70.22
M8CA1.5SP2P	52.23	69.9
M8CA1.5SP3P	51.67	60.35

Tabel 4.79 Kuat tekan M6CA1.5 variasi superlasticizer pada umur 7 hari dan 28 hari

Campuran	Kuat Tekan 7 hari (Mpa)	Kuat Tekan 28 hari (Mpa)
M6CA1.5SP0	58.28	74.92
M6CA1.5SP1N	53.34	64.33
M6CA1.5SP2N	44.67	59.32
M6CA1.5SP3N	41.24	51.27
M6CA1.5SP1P	52.79	68.95
M6CA1.5SP2P	52.15	68.47
M6CA1.5SP3P	51.04	66.4

Analisa:

- Referensi :

Kuat tekan yang disyaratkan untuk grout adalah mencapai > 3000 psi (20,67 Mpa) pada umur 7 hari dan > 5000 psi (34,45 Mpa) pada umur 28 hari (Departmental Material Specifications).

- Hasil penelitian :

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa kuat tekan terkecil pasta geopolimer pada umur 7 hari adalah 41,24 MPa (untuk pasta campuran M6CA1.5SP3N) dan pada umur 28 hari adalah 51,27 MPa (untuk pasta campuran M6CA1.5SP3N).

- Kesimpulan :

Semua campuran pasta geopolimer yang telah di tes kuat tekannya memenuhi persyaratan kuat tekan minimum grout.

IV.4.3.2. Analisa Tes Tekan Mortar Geopolimer

Tes kuat tekan mortar geopolymer dilakukan saat umur binder 3, 7, 14 dan 28 hari. Untuk setiap pengujian tes tekan, digunakan 3 buah benda uji dari masing-masing komposisi untuk kemudian diambil rata-ratanya.

Tes kuat tekan binder dilaksanakan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Teknik Sipil ITS dengan menggunakan mesin torsi universal testing machine AU-5 berkapasitas 50 ton.

Contoh perhitungan kuat tekan mortar M10CA1.5SP0 pada umur 3 hari adalah :

Hasil tes tekan mortar: P1 = 6880 kg

P2 = 6600 kg

P3 = 7020 kg

Penyelesaian :

$$A = s \times s = 5 \times 5 = 25 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{P}{A} \times \frac{1}{g}$$

$$\sigma_1 = \frac{6880 \times 1}{25 \times 10} = 27,52 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{6600 \times 1}{25 \times 10} = 26,40 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3 = \frac{7020 \times 1}{25 \times 10} = 28,08 \text{ MPa}$$

Hasil rata-rata tegangan tekannya adalah :

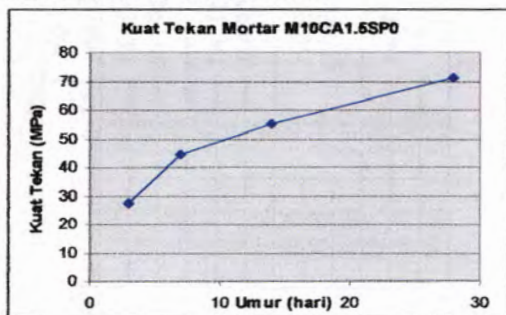
$$\sigma_{1,2,3} = \frac{27,52 + 26,40 + 28,08}{3} = 27,33 \text{ MPa}$$

Untuk menghitung kuat tekan mortar komposisi lain, dapat digunakan cara yang sama.

Tabel 4.80. Hasil tes kuat tekan mortar geopolimer M10CA1.5 dengan variasi prosentase superplasticizer naphthalene (Hasil rata-rata tes tekan diambil dari rata-rata hasil tes yang mendekati)

Hasil Tes Kuat Tekan Mortar												
Variasi Binder	3 hari			7 hari			14 hari			28 hari		
	beban(kg)	Teg (Mpa)	Mpa	beban(kg)	Teg (Mpa)	Mpa	beban(kg)	Teg (Mpa)	Mpa	beban(kg)	Teg (Mpa)	Mpa
M10CA1.5SP1 (N)	6520	26.08	27.20	7700	30.80	31.00	13100	52.4	51.4	13700	54.8	54.60
	7980	31.92		7800	31.20		12600	50.4		13600	54.4	
	7080	28.32		6300	25.20		10600	42.4		9800	39.2	
M10CA1.5SP2(N)	4250	17.00	21.07	7000	28.00	28.40	12750	51.00	50.60	10720	42.88	54.08
	5400	21.60		7200	28.80		12550	50.20		13500	54	
	6150	24.60		6800	27.20		10650	42.60		13540	54.16	
M10CA1.5SP3 (N)	5200	20.80	20.20	6540	26.16	26.24	12800	51.20	49.40	12700	50.8	52.60
	4800	19.20		6580	26.32		11900	47.60		13600	54.4	
	5150	20.60		6600	26.40		10850	43.40		11700	46.8	
M10CA1.5SP0	6880	27.52	27.33	10960	43.84	44.24	13300	53.2	54.93	16000	64	71.00
	6600	26.40		11160	44.64		14100	56.4		18300	73.2	
	7020	28.08		11420	45.68		13800	55.2		17200	68.8	

Kuat Tekan Mortar M10CA1.5SP0

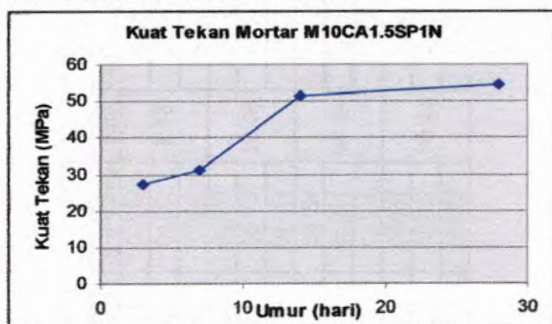


Gambar 4.78 Grafik Kuat Tekan Mortar M10CA1.5SP0

Dari gambar 4.78 dapat diketahui bahwa kuat tekan mortar M10CA1.5SP0 dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan mortar mencapai 27,33 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan mortar mencapai 71 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan mortar telah mencapai 38,5 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari yang masih tajam, sehingga besar kemungkinan bahwa kuat tekan mortar masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

Kuat Tekan Mortar M10CA1.5SP1N

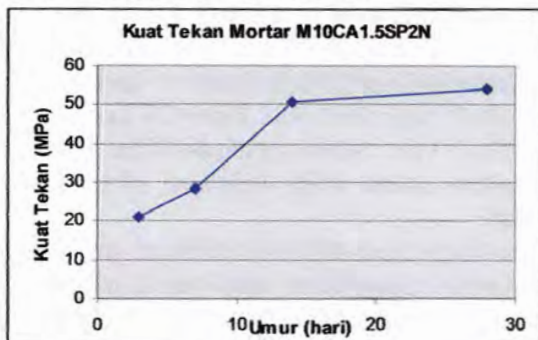


Gambar 4.79 Grafik Kuat Tekan Mortar M10CA1.5SP1N

Dari gambar 4.79 dapat diketahui bahwa kuat tekan mortar M10CA1.5SP1N dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan mortar mencapai 27,20 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan mortar mencapai 54,60 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 mortar hari kuat tekan telah mencapai 49,82 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari tidak terlalu tajam, akan tetapi masih terdapat kemungkinan bahwa kuat tekan mortar masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.


Kuat Tekan Mortar M10CA1.5SP2N

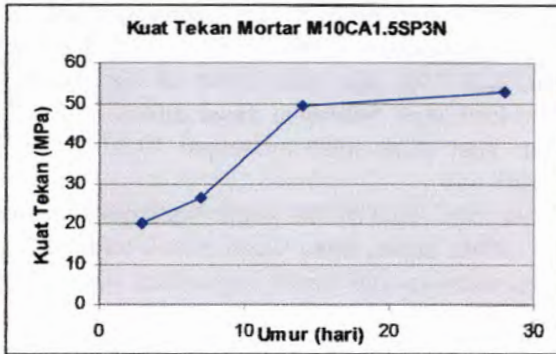


Gambar 4.80 Grafik Kuat Tekan Mortar M10CA1.5SP2N

Dari gambar 4.80 dapat diketahui bahwa kuat tekan mortar M10CA1.5SP1N dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan mortar mencapai 21,07 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan mortar mencapai 54,08 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan mortar telah mencapai 38,96 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari tidak terlalu tajam, akan tetapi masih terdapat kemungkinan bahwa kuat tekan mortar masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

 Kuat Tekan Mortar M10CA1.5SP3N



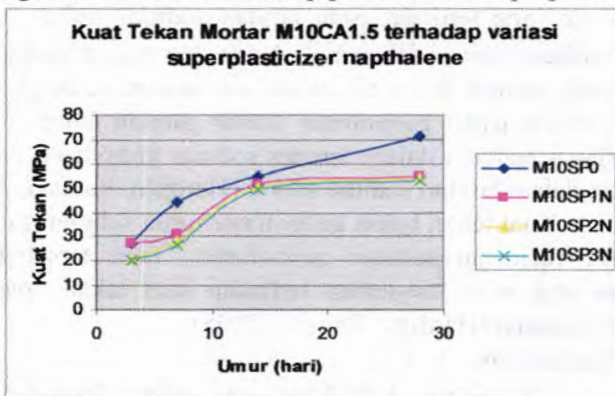
Gambar 4.81 Grafik Kuat Tekan Mortar M10CA1.5SP3N

Dari gambar 4.81 dapat diketahui bahwa kuat tekan mortar M10CA1.5SP3N dari umur 3 hari sampai dengan 28 hari masih mengalami peningkatan. Pada umur 3 hari kuat tekan mortar mencapai 20,20 Mpa dan pada umur 28 hari kuat tekan mortar mencapai 52,60 Mpa. Sehingga dapat dilihat bahwa pada umur 3 hari kuat tekan mortar telah mencapai 38,4 % dari kuat tekan umur 28 hari.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai umur 28 hari tidak terlalu tajam, akan tetapi masih terdapat kemungkinan bahwa kuat tekan mortar masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

Dari hasil tes tekan yang telah dilakukan didapat hasil-hasil sebagai berikut :

Pengaruh kuat tekan terhadap penambahan superplasticizer :



Gambar 4.82 Grafik Kuat Mortar M10CA1.5 terhadap variasi penambahan superplasticizer naphthalene

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa, penambahan superplasticizer naphthalene dapat menurunkan kuat tekan mortar geopolymer.

Pada umur 28 hari, kuat tekan mortar M10CA1.5SP0 adalah 71 Mpa, kuat tekan mortar M10CA1.5SP1N adalah 54,60 Mpa (terjadi penurunan kuat tekan sebesar 23,09 % dari kondisi tanpa penambahan superplasticizer) , kuat tekan mortar M10CA1.5SP2N adalah 54,08 Mpa (terjadi penurunan kuat tekan sebesar 23,86 % dari kondisi tanpa penambahan superplasticizer), dan kuat tekan mortar M10CA1.5SP3N adalah 52,60 Mpa (terjadi penurunan kuat tekan sebesar 25,92 % dari kondisi tanpa penambahan superplasticizer).

Analisa :

- Referensi :

Sebagian besar superplasticizer dibuat dengan dilarutkan ke dalam air, sehingga terdapat ekstra air yang

seharusnya diperhitungkan dalam proporsi mix desain (www.wikipedia.com).

Massa air total dalam geopolimer adalah jumlah antara massa air yang terdapat pada larutan sodium silikat, massa air yang terdapat pada sodium hidroksida dan massa ekstra air, jika ada, yang ditambahkan ke dalam campuran, sedangkan massa total partikel padat geopolimer adalah jumlah antara massa fly ash, massa padatan dalam larutan sodium hidroksida dan massa padatan dalam larutan sodium silikat (Hardjito, Rangan, 2005).

Kuat tekan beton geopolimer turun sehubungan dengan naiknya rasio air-padatan geopolimer. Tren tersebut analog dengan efek rasio air-semen terhadap kuat tekan pada beton Portland semen (Hardjito, Rangan, 2005).

- Hasil penelitian :

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa kuat tekan binder geopolimer menurun seiring dengan penambahan kadar superplasticizer, baik yang berbasis naphthalene maupun polycarboxylic.

- Kesimpulan :

Penambahan superplasticizer menyebabkan penambahan kadar air pada campuran geopolimer. Dengan demikian, semakin banyak jumlah superplasticizer yang ditambahkan pada campuran geopolimer, maka semakin besar pula rasio air-padatan geopolimer. Naiknya rasio air-padatan geopolimer dapat menurunkan kuat tekan beton geopolimer.

✓ Hasil kuat tekan mortar geopolimer terhadap persyaratan grout

Tabel 4.81 Kuat tekan mortar M10CA1.5 variasi superplasticizer pada umur 7 hari dan 28 hari

Campuran	Kuat Tekan 7 hari (Mpa)	Kuat Tekan 28 hari (Mpa)
M10CA1.5SP0	44.24	71
M10CA1.5SP1N	31	54.6

M10CA1.5SP2N	28.4	54.08
M10CA1.5SP3N	26.24	52.06

Analisa:

- Referensi :

Kuat tekan yang disyaratkan untuk grout adalah mencapai > 3000 psi (20,67 Mpa) pada umur 7 hari dan > 5000 psi (34,45 Mpa) pada umur 28 hari (Departmental Material Specifications).

- Hasil penelitian :

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa kuat tekan terkecil mortar geopolimer pada umur 7 hari adalah 26,24 MPa (untuk pasta campuran M10CA1.5SP3N) dan pada umur 28 hari adalah 52,06 MPa (untuk pasta campuran M10CA1.5SP3N).

- Kesimpulan :

Semua campuran mortar geopolimer yang telah di tes kuat tekannya memenuhi persyaratan kuat tekan minimum grout.

IV.4.5. Analisa tes susut

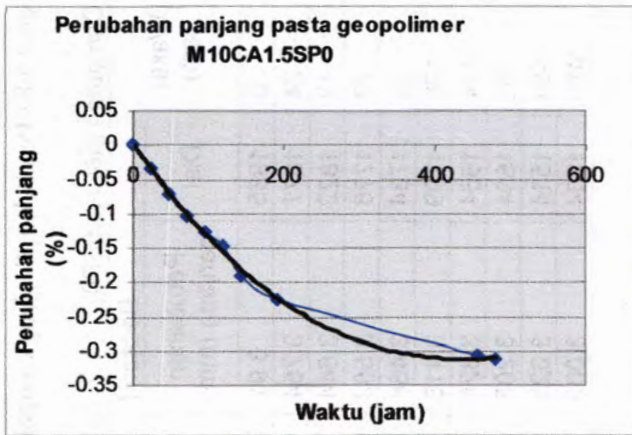
Tes susut ini dilakukan untuk mengetahui perubahan panjang yang terjadi pada pasta maupun mortar geopolimer. Perubahan panjang adalah suatu penambahan atau pengurangan dalam dimensi linear yang diukur searah dengan sumbu memanjang dari benda uji yang terjadi karena sebab-sebab selain dari akibat pembebanan (SNI 03-482-1998).

Tes susut ini dilakukan pada benda uji pasta dan mortar geopolimer yang mempunyai kuat tekan optimum (yang paling tinggi), yaitu untuk campuran pasta dan mortar geopolimer tanpa penambahan superplasticizer, yaitu campuran pasta geopolimer M10CA1.5SP0, M8CA1.5SP0, M6CA1.5SP0 dan campuran mortar geopolimer M10CA1.5SP0.

Tabel 4.82 Perubahan Panjang campuran pasta geopolimer M10CA1.5SP0

Campuran M10CA1.5SP0

Waktu (jam)	Bacaan I			Bacaan II			Rata2
	Dial	Perubahan panjang (mm)	Perubahan Panjang (%)	Dial	Perubahan panjang (mm)	Perubahan Panjang (%)	Perubahan Panjang (%)
0	2364	4.728	0	2355	4.71	0	0
24	2352	4.704	-0.0096	2281	4.562	-0.0592	-0.0344
48	2307	4.614	-0.0456	2235	4.47	-0.096	-0.0708
72	2264	4.528	-0.08	2195	4.39	-0.128	-0.104
96	2232	4.464	-0.1056	2170	4.34	-0.148	-0.1268
120	2221	4.442	-0.1144	2128	4.256	-0.1816	-0.148
144	2158	4.316	-0.1648	2082	4.164	-0.2184	-0.1916
192	2115	4.23	-0.1992	2043	4.086	-0.2496	-0.2244
456	2023	4.046	-0.2728	1927	3.854	-0.3424	-0.3076
480	2017	4.034	-0.2776	1918	3.836	-0.3496	-0.3136



Gambar 4.83 Perubahan Panjang pasta geopolimer
M10CA1.5SP0

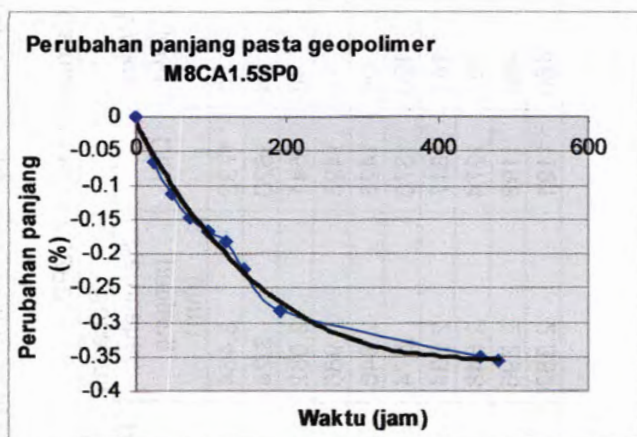
Dari gambar 4.83 dapat diketahui bahwa besarnya perubahan panjang pada campuran pasta geopolimer M10CA1.5SP0 pada jam ke 24 setelah cetakan dibuka adalah 0.0344% dan pada jam ke 48 adalah 0.0708 %.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai jam ke 480 sudah agak landai, akan tetapi masih terdapat kemungkinan bahwa susut pasta masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

Tabel 4.83 Perubahan Panjang campuran pasta geopolimer M8CA1.5SP0

Campuran M8CA1.5SP0

Waktu (jam)	Bacaan I			Bacaan II			Rata2
	Dial	Perubahan panjang (mm)	Perubahan Panjang (%)	Dial	Perubahan panjang (mm)	Perubahan Panjang (%)	Perubahan Panjang (%)
0	1955	3.91	0	2035	4.07	0	0
24	1877	3.754	-0.0624	1947	3.894	-0.0704	-0.0664
48	1822	3.644	-0.1064	1888	3.776	-0.1176	-0.112
72	1776	3.552	-0.1432	1841	3.682	-0.1552	-0.1492
96	1734	3.468	-0.1768	1833	3.666	-0.1616	-0.1692
120	1709	3.418	-0.1968	1828	3.656	-0.1656	-0.1812
144	1664	3.328	-0.2328	1765	3.53	-0.216	-0.2244
192	1604	3.208	-0.2808	1674	3.348	-0.2888	-0.2848
456	1514	3.028	-0.3528	1597	3.194	-0.3504	-0.3516
480	1504	3.008	-0.3608	1596	3.192	-0.3512	-0.356



Gambar 4.84 Perubahan Panjang pasta geopolimer M8CA1.5SP0

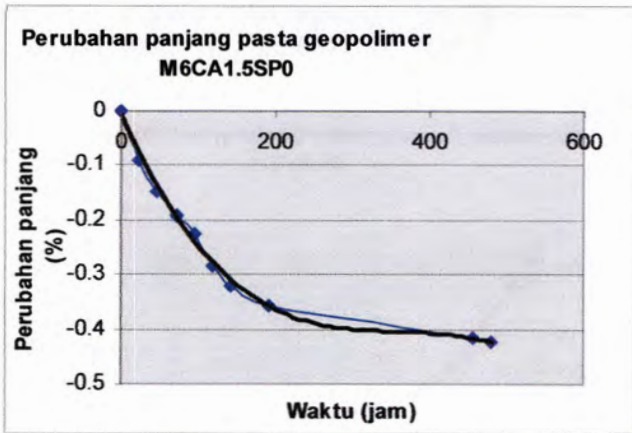
Dari gambar 4.84 dapat diketahui bahwa besarnya perubahan panjang pada campuran pasta geopolimer M8CA1.5SP0 pada jam ke 24 setelah cetakan dibuka adalah 0.0664% dan pada jam ke 48 adalah 0.112 %.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai jam ke 480 sudah agak landai, akan tetapi masih terdapat kemungkinan bahwa susut pasta masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

Tabel 4.84 Perubahan Panjang campuran pasta geopolimer M6CA1.5SP0

Campuran M6CA1.5SP0

Waktu (jam)	Bacaan I			Bacaan II			Rata2
	Dial	Perubahan panjang (mm)	Perubahan Panjang (%)	Dial	Perubahan panjang (mm)	Perubahan Panjang (%)	Perubahan Panjang (%)
0	1732	3.464	0	1792	3.584	0	0
24	1620	3.24	-0.0896	1673	3.346	-0.0952	-0.0924
48	1541	3.082	-0.1528	1608	3.216	-0.1472	-0.15
72	1493	2.986	-0.1912	1548	3.096	-0.1952	-0.1932
96	1423	2.846	-0.2472	1534	3.068	-0.2064	-0.2268
120	1370	2.74	-0.2896	1442	2.884	-0.28	-0.2848
144	1317	2.634	-0.332	1408	2.816	-0.3072	-0.3196
192	1274	2.548	-0.3664	1360	2.72	-0.3456	-0.356
456	1198	2.396	-0.4272	1283	2.566	-0.4072	-0.4172
480	1191	2.382	-0.4328	1275	2.55	-0.4136	-0.4232

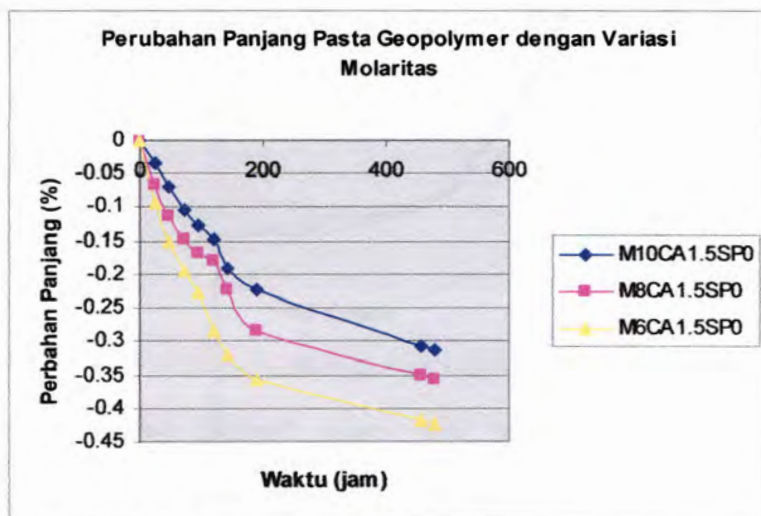


Gambar 4.85 Perubahan Panjang pasta geopolimer M6CA1.5SP0

Dari gambar 4.85 dapat diketahui bahwa besarnya perubahan panjang pada campuran pasta geopolimer M6CA1.5SP0 pada jam ke 24 setelah cetakan dibuka adalah 0.0924% dan pada jam ke 48 adalah 0.15 %.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai jam ke 480 sudah agak landai, akan tetapi masih terdapat kemungkinan bahwa susut pasta masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

Perubahan panjang campuran pasta M10CA1.5SP0, M8CA1.5SP0 dan M6CA1.5SP0



Gambar 4.86 Perubahan Panjang Pasta Geopolimer dengan variasi Molaritas

Analisa:

- Referensi :

Susut adalah perubahan panjang yang disebabkan oleh menguapnya air yang terdapat pada benda uji.

Besarnya molaritas NaOH berhubungan perbandingan antara banyaknya air dan massa NaOH yang digunakan untuk membuat suatu larutan NaOH. Semakin tinggi molaritasnya, maka air yang digunakan untuk pembuatan larutan NaOH semakin sedikit dan massa NaOH yang digunakan semakin banyak.

Hasil tes perubahan panjang yang disyaratkan untuk grout adalah 0,0 % dan kurang dari 0,1 % dalam waktu 24 jam dan perubahan panjang 0,0% sampai 0,2% pada waktu 28 hari (Departmental Material Specifications).

Besarnya susut maksimum yang diperbolehkan untuk grout adalah 0,025 berdasarkan tes pada ASTM C 157 (High Early Strength Keyway Grout for Prestressed/Post-Tensioned Concrete Members).

- Hasil penelitian :

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa campuran pasta geopolimer M10CA1.5SP0 mempunyai perubahan panjang yang lebih kecil jika dibandingkan dengan campuran pasta geopolimer M8CA1.5SP0 dan M6CA1.5SP0. Sedangkan, campuran pasta geopolimer M8CA1.5SP0 mempunyai perubahan panjang yang lebih kecil jika dibandingkan dengan campuran pasta geopolimer M6CA1.5SP0.

Besarnya perubahan panjang pada campuran pasta geopolimer M10CA1.5SP0 pada jam ke 24 setelah cetakan dibuka adalah 0.0344% (0.000344), akan tetapi pada jam ke 480 (umur 20 hari) perubahan panjang mencapai 0,3136 % (0,003136).

Besarnya perubahan panjang pada campuran mortar geopolimer M8CA1.5SP0 pada jam ke 24 setelah cetakan dibuka adalah 0.0664% (0.000664), akan tetapi pada jam ke 480 (umur 20 hari) perubahan panjang mencapai 0,356 % (0,00356).

Besarnya perubahan panjang pada campuran mortar geopolimer M6CA1.5SP0 pada jam ke 24 setelah cetakan dibuka adalah 0.0924% (0.000924), akan tetapi pada jam ke 480 (umur 20 hari) perubahan panjang mencapai 0,4232% (0,004232).

- Kesimpulan :

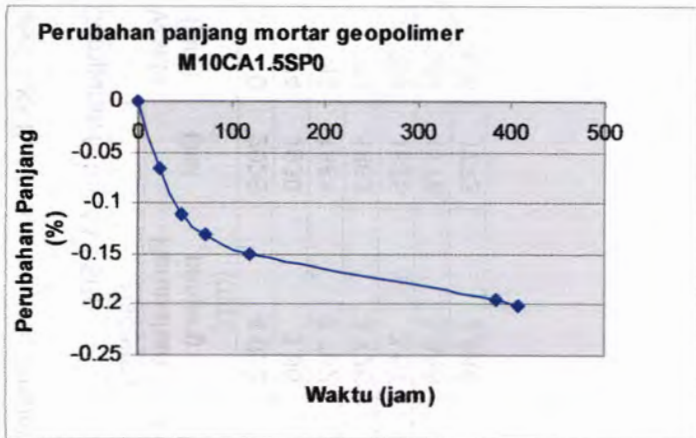
Semakin tinggi molaritas NaOH yang digunakan dalam campuran pasta geopolimer maka semakin kecil perubahan panjang yang terjadi. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi molaritas NaOH maka semakin pekat larutannya dan semakin sedikit kandungan air yang terdapat dalam campuran pasta. Karena kandungan air semakin sedikit, maka perubahan panjang yang terjadi juga semakin kecil.

Perubahan panjang campuran pasta geopolimer tidak memenuhi persyaratan susut material grout pada Departmental Material Specifications, akan tetapi masih memenuhi persyaratan susut grout pada High Early Strength Keyway Grout for Prestressed/Post-Tensioned Concrete Members.

Tabel 4.85 Perubahan panjang campuran mortar geopolimer M10CA1.5SP0

Campuran M10CA1.5SP0

Waktu (jam)	Bacaan I			Bacaan II			Rata2
	Dial	Perubahan panjang (mm)	Perubahan Panjang (%)	Dial	Perubahan panjang (mm)	Perubahan Panjang (%)	Perubahan Panjang (%)
0	2026	4.052	0	2190	4.38	0	0
24	1930	3.86	-0.0768	2118	4.236	-0.0576	-0.0672
48	1881	3.762	-0.116	2057	4.114	-0.1064	-0.1112
72	1863	3.726	-0.1304	2027	4.054	-0.1304	-0.1304
120	1835	3.67	-0.1528	2003	4.006	-0.1496	-0.1512
384	1778	3.556	-0.1984	1951	3.902	-0.1912	-0.1948
408	1773	3.546	-0.2024	1941	3.882	-0.1992	-0.2008



Gambar 4.84 Perubahan Panjang Mortar Geopolimer campuran M10CA1.5SP0

Dariss gambar 4.84 dapat diketahui bahwa besarnya perubahan panjang pada campuran mortar geopolimer M10CA1.5SP0 pada jam ke 24 setelah cetakan dibuka adalah 0,0672% dan pada jam ke 48 adalah 0,1112%.

Dari gambar juga dapat dilihat kemiringan grafik sampai jam ke 480 sudah agak landai, akan tetapi masih terdapat kemungkinan bahwa susut pasta masih terus akan meningkat pada hari-hari berikutnya.

Analisa :

- Referensi :

Hasil tes perubahan panjang yang disyaratkan untuk grout adalah 0,0 % dan kurang dari 0,1 % dalam waktu 24 jam dan perubahan panjang 0,0% sampai 0,2% pada waktu 28 hari. (Departmental Material Specifications).

Besarnya susut maksimum yang diperbolehkan untuk grout adalah 0,025 berdasarkan tes pada ASTM C 157 (High Early Strength Keyway Grout for Prestressed/Post-Tensioned Concrete Members).

- Hasil penelitian :

Besarnya perubahan panjang pada campuran mortar geopolimer M10CA1.5SP0 pada jam ke 24 setelah cetakan dibuka adalah 0.0672% (0.000672), akan tetapi pada jam ke 408 (umur 17 hari) perubahan panjang mencapai 0,2008 % (0,002008).

- Kesimpulan :

Perubahan panjang campuran mortar geopolimer M10CA1.5SP0 tidak memenuhi persyaratan susut material grout pada Departmental Material Specifications, akan tetapi masih memenuhi persyaratan susut grout pada High Early Strength Keyway Grout for Prestressed/Post-Tensioned Concrete Members.

IV.5. Analisa biaya

Analisa biaya dihitung berdasarkan campuran, baik campuran pasta maupun mortar geopolimer yang mempunyai kuat tekan paling tinggi, yaitu campuran pasta M10CA1.5SP0 dan campuran mortar M10CA1.5SP0.

Informasi mengenai harga satuan setiap material diperoleh dari PT. Bima Wira Utama.

Perkiraan biaya yang dibutuhkan untuk membuat campuran pasta grout M10CA1.5SP0 sebanyak 1 m³ volume adalah :

- Banyaknya material yang dibutuhkan untuk volume 1 m³ :

Volume yang dibutuhkan = 1 m³

Massa yang dibutuhkan = $\rho \times V$

$$= 2,4 \text{ t/m}^3 \times 1 \text{ m}^3$$

$$= 2,4 \text{ ton}$$

$$= 2400 \text{ kg}$$

Perhitungan massa fly ash :

Perbandingan cairan alkali terhadap fly ash adalah 0,35.

Massa cairan alkali = 0.35 x massa fly ash

massa binder = massa fly ash + massa cairan alkali

$$\begin{aligned}
 2400 &= \text{massa fly ash} + 0,35 \times \text{massa fly ash} \\
 2400 &= 1,35 \text{ massa fly ash} \\
 \text{massa fly ash} &= \frac{2400}{1,35} = 1777,78 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Perhitungan massa NaOH dan Na₂SiO₃ :

$$\begin{aligned}
 \text{massa cairan alkali} &= 0,35 \times 1777,78 \\
 &= 622,223 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{Perbandingan massa } \frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5$$

$$\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5 \rightarrow 1,5 \text{ NaOH} = \text{Na}_2\text{SiO}_3$$

$$622,223 = \text{massa NaOH} + \text{massa Na}_2\text{SiO}_3$$

$$622,223 = \text{NaOH} + 1,5 \text{ NaOH}$$

$$622,223 = 2,5 \text{ NaOH}$$

$$\text{NaOH} = \frac{622,223}{2,5} = 248,89 \text{ gram}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 373,33 \text{ gram}$$

Perhitungan kepingan massa NaOH yang diperlukan :

- Biaya yang dibutuhkan :

Tabel 4.86. Perhitungan biaya untuk campuran pasta M10CA1.5SP0

Material	Satuan	Harga (Rp)	Kebutuhan per m ³	Harga (Rp)
Fly Ash	kg	130	1777.78	231111.4
NaOH	kg	9000	248.89	2240010
Na ₂ SiO ₃	kg	6000	373.33	2239980
Pasir	m ³	150,000	-	-
			Jumlah	4711101

Perkiraan biaya yang dibutuhkan untuk membuat campuran mortar grout M10CA1.5SP0 sebanyak 1 m³ volume adalah :

- Banyaknya material yang dibutuhkan untuk volume 1 m³ :

$$\text{Perbandingan pasir terhadap fly ash} = 1,375$$

$$\text{Perbandingan cairan alkali terhadap fly ash} = 0,485$$

$$\text{Perbandingan pasir terhadap pasta} = 0,927$$

$$\text{Volume yang dibutuhkan} = 1 \text{ m}^3$$

$$\text{Massa yang dibutuhkan} = \rho \times V$$

$$= 2,4 \text{ t/m}^3 \times 1 \text{ m}^3$$

$$= 2,4 \text{ ton}$$

$$= 2400 \text{ kg}$$

Perhitungan massa pasir :

$$\text{Massa total} = \text{massa pasir} + \text{massa pasta}$$

$$2400 = 0,927 \text{ massa pasta} + \text{massa pasta}$$

$$2400 = 1,927 \text{ massa pasta}$$

$$\text{Massa pasta} = \frac{2400}{1,927} = 1245,46 \text{ kg}$$

$$\text{Massa pasir} = 0,927 \times \text{massa pasta}$$

$$= 0,927 \times 1245,46$$

$$= 1154,54 \text{ kg}$$

Perhitungan volume pasir :

$$\text{Berat volume pasir} = 1,525 \text{ gr/cm}^3 = 1525 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Berat volume} = \frac{\text{Berat}}{\text{Volume}}$$

$$\text{Volume} = \frac{\text{Berat}}{\text{Berat volume}} = \frac{1154,54}{1525} = 0,757 \text{ m}^3$$

Perhitungan massa fly ash :

$$\text{Massa pasta} = \text{massa fly ash} + \text{massa cairan alkali}$$

$$1245,46 = \text{massa fly ash} + 0,485 \times \text{massa fly ash}$$

$$1245,46 = 1,485 \times \text{massa fly ash}$$

$$\text{Massa fly ash} = \frac{1245,46}{1,485} = 838,69 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa cairan alkali} &= 0,485 \times 838,69 \\ &= 406,766 \text{ kg}\end{aligned}$$

Perhitungan massa NaOH dan Na₂SiO₃ :

$$1. \text{ Perbandingan massa } \frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5$$

$$\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5 \rightarrow 1,5 \text{ NaOH} = \text{Na}_2\text{SiO}_3$$

$$\text{Massa cairan alkali} = \text{massa NaOH} + \text{massa Na}_2\text{SiO}_3$$

$$406,766 = \text{NaOH} + 1,5 \text{ NaOH}$$

$$406,766 = 2,5 \text{ NaOH}$$

$$\text{NaOH} = \frac{406,766}{2,5} = 162,71 \text{ kg}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 244,06 \text{ kg}$$

Tabel 4.87. Perhitungan biaya untuk campuran mortar M10CA1.5SP0

Material	Satuan	Harga (Rp)	Kebutuhan per m ³	Harga (Rp)
Fly Ash	kg	130	838,69	109029,7
NaOH	kg	9000	162,71	1464390
Na ₂ SiO ₃	kg	6000	244,06	1464360
Pasir	m ³	150,000	0,757	113550
			Jumlah	3151329,7

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. KESIMPULAN

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

1. Berdasarkan data komposisi kimia yang diperoleh dari Proyek Jembatan Suramadu, dapat diketahui bahwa fly ash yang digunakan termasuk fly ash tipe F.
2. Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa penambahan superplasticize, baik yang berbasis *naphthelene sulphonated* dan *polycarboxylic ether hyper plasticizer* tidak mempengaruhi waktu setting secara signifikan. Dengan waktu setting yang sangat cepat, sangat sulit untuk membuat geopolymer dalam skala besar dan mengaplikasikan geopolimer untuk pembuatan beton, sehingga disimpulkan bahwa geopolymer lebih cocok digunakan untuk grout, karena skala pekerjaan yang dibutuhkan untuk grout jauh lebih kecil.

Untuk itu, penelitian geopolymer untuk self compacted concrete berhenti sampai tes setting dan penelitian dikonsentrasikan pada geopolimer untuk aplikasi grouting.

3. Dari hasil tes setting time, dapat disimpulkan, bahwa :
 - ☛ Semakin tinggi molaritas yang digunakan dalam campuran, maka semakin cepat pula waktu setting (baik setting awal maupun setting akhir).
 - ☛ Semakin banyak prosentase superplasticizer yang ditambahkan pada campuran geopolymer, semakin lama pula waktu setting yang diperlukan walaupun tidak signifikan, hal itu terjadi karena adanya gel yang melapisi lapisan cementitious dan reaksi tolak-menolak antara partikel cementitious sehingga dapat memperlambat waktu pengikatan.

- ☞ Perlambatan waktu setting yang terjadi akibat penambahan superplasticizer naphthalene maupun polycarboxylic tidak signifikan.
 - ☞ Waktu setting awal dan waktu setting akhir dari pasta geopolimer terlalu cepat jika dibandingkan dengan persyaratan waktu setting grout.
4. Dari hasil analisa flow cone, dapat disimpulkan bahwa :
- ☞ Waktu alir pasta geopolimer tidak memenuhi persyaratan yang ditentukan, diperkirakan hal ini disebabkan oleh waktu setting pasta geopolimer yang cepat.
 - ☞ Waktu aliran pasta dan mortar geopolimer ditentukan dengan menggunakan meja alir karena Metode ini dimaksudkan untuk penggunaan graut yang mempunyai waktu alir tidak lebih dari 35 detik, bila waktu alir lebih dari 35 detik, maka waktu alirannya lebih baik ditentukan dengan menggunakan meja alir, dengan menggunakan 5 jatuh dalam waktu 3 detik (ASTM 939-02).
5. Dari hasil analisa flow table, dapat disimpulkan bahwa :
- ☞ Campuran pasta dan mortar yang telah di tes kekentalannya mempunyai workabilitas yang tinggi dan sangat flow. Hal itu disebabkan karena struktur partikel fly ash yang berbentuk bola, sehingga membuat campuran pasta dan mortar dalam kondisi segar sangat flow.
6. Dari hasil analisa tes tekan, dapat disimpulkan bahwa :
- ☞ Kuat tekan binder geopolimer menurun seiring dengan penambahan kadar superplasticizer, baik yang berbasis naphthalene maupun polycarboxylic karena penambahan superplasticizer tanpa disertai reduksi air menyebabkan penambahan kadar air pada campuran geopolimer, sehingga rasio air-padatan geopolimer naik dan dapat menurunkan kuat tekan beton geopolimer

☞ Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa semakin tinggi molaritas (konsentrasi) NaOH yang digunakan, kuat tekan yang dicapai juga semakin tinggi.

☞ Kuat tekan paling optimum adalah pada campuran pasta M10CA1.5SP0.

7. Dari analisa tes susut, dapat disimpulkan bahwa :
Semakin tinggi molaritas NaOH yang digunakan dalam campuran pasta geopolimer maka semakin kecil perubahan panjang yang terjadi.

V.2. SARAN

1. Selama pelaksanaan praktikum, sebaiknya menggunakan perlengkapan pelindung seperti masker dan sarung tangan, karena zat kimia yang digunakan berbahaya bagi tubuh manusia.
2. Perlu dilakukan pengecekan awal terhadap kondisi alat-alat tes agar nantinya tidak menghambat proses penelitian.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C 29
 ASTM C 117
 ASTM C 127
 ASTM C 128
 ASTM C 131
 ASTM C 191
 ASTM C 403
 ASTM C 556
 ASTM C 823
 ASTM C 883
 ASTM C 939
 ASTM C 1437
 Cement Grout Undersealing and Slab Jacking.
 Departmental Material Specifications.
 De Schutter, G. 2005. **Guidelines for Testing Fresh Self-Compacting Concrete.** European : European Research Project.
 Domone, Jefferis.1994. **Structural Grouts.** University Press,Cambrige
 Hardjito, D., B.V.Rangan.2005. **Development and Properties of Low-Calcium Fly-Ash Based Geopolymer Concrete.** Faculty of Engineering, Curtig University of Technology.
 Hardjito, D., S.E. Wallah, D.M.J. Sumajouw, B.V.Rangan. 2004. **Factors Influencing TheCompressive Strength of Fly-Ash Based Geopolymer Concrete.** Dimensi Teknik Sipil Vol 6.88-93.
 High Early Strength Keyway Grout for Prestressed/Post-Tensioned Concrete Members.
 Khale.D., R. Chandhary.2007. **Mechanism of Geopolymerization and factors influencing its development : a review.** Journal of Materials Science.

- Nanna', O.D, Triwulan, J.J.Ekaputri .2007. **Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Dengan Aktifator Sodium Hidroksida Molaritas 8 M dan 10 M**. Tugas Akhir Sarjana ITS.
- Okamura, H., Ouchi, M. 2003. **Journal of Advance Technology Vol.1,No.1 : Self Compacting Concrete**. Tokyo : Japan Concrete Institute.
- Ouchi, M. , S. Nakamura, T. Osterberg, S. Hallberg, M, Lwin. 2003. **Applications of Self-Compacting Concrete in Japan, Europe, and The United States**. ISHPC.
- Petunjuk Praktikum Teknologi Beton. Surabaya : Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan ITS
- Shroff, Shah.1993. **Grouting Technology in Tunnelling and Dam Construction**.Rotterdam.
- SNI 03-482-1998.
- Subakti, A. 1994. **Teknologi Beton Dalam Praktek**. Laboratorium Beton, Jurusan Teknik Sipil, FTSP-ITS.
- Sugiharto, H., Kusuma, G.H., Himawan, A., & Darma, D.S. 2001. **Penggunaan Fly Ash dan Viscocrete pada Self Compacting Concrete**. Surabaya : Universitas Kristen Petra.
- The Self Compacting Concrete European Project Group. 2005. **The European Guidelines For Self-Compacting Concrete**.
- www.cascadeblock.com
- www.library.unsw.edu.au/pdf.
- www.unisorb.com.pdf.
- www.unitex-chemical.com
- www.wikipedia.com

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 26 Maret 1987 dan merupakan anak ke tiga dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal dimulai dari TK Dharma Wanita ITS Surabaya, SDN Klampis Ngasem I / 246 Surabaya, SLTPN 6 Surabaya, SMUN 2 Surabaya dan kemudian diterima menjadi mahasiswa ITS di Jurusan Teknik Sipil melalui jalur SPMB dan memiliki NRP 3104 100 084. Selama mengenyam pendidikan di Teknik Sipil, penulis mendapatkan

berbagai ilmu dan wawasan yang sangat luas dan bermanfaat untuk bekal dalam dunia kerja. Bidang ilmu yang diminati penulis selama di bangku kuliah adalah struktur dan bahan bangunan, hal inilah yang mendorong penulis untuk memilih penelitian material sebagai tugas akhir.

LAMPIRAN

LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

NAMA PEMBIMBING : Prof. Dr. Ir. Triwulan
 NAMA MAHASISWA : Retno Trimurtiningrum NRP : 3104.100.084
 JUDUL TUGAS AKHIR : Self Compacted Concrete dari Beton Geopolymer
 TANGGAL PROPOSAL :

NO.	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	28 Feb' 2008	- Diskusi mengenai mix desain SCC geopolymer		JL
2	13 Maret 2008	- Diskusi mengenai variasi mix desain binder yang akan dibuat - Diskusi mengenai mix desain SCC geopolymer	- Membuat sampel binder - Tes tekan sampel binder	JL
3	3 April 2008	- Hasil tes tekan binder geopolymer - Hasil analisa agregat - Mix desain SCC geopolymer	- Tes vicat binder geopolymer kondisi segar - Pada tabel analisa agregat diberi batasan nilai menurut ASTM	JL
4	25 April 2008	Mix desain mortar Geopolymer → berdasar dari ^{Perb} mix desain mortar hydraulic semen pada ASTM		JL
5	23 Mei 2008	- Hasil tes tekan binder geopolymer Bab III → metodologi perambatan flowchart grouting. Tujuan penelitian difokuskan pada aplikasi grouting		JL

LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

NAMA PEMBIMBING : Prof. Dr. Ir. Triwulan
 NAMA MAHASISWA : Retno Trimurtiningrum NRP : 3104100084
 JUDUL TUGAS AKHIR : Self Compacted Concrete dr Beton Geopolymer
 TANGGAL PROPOSAL :

NO.	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
		penambahan variasi molaritas menjadi variasi 6M, 8M dan 10M, variasi SP 1,2,3%		
6	2 Juni 2008	Hasil Setting time Binder variasi SP 0,1%, 2%, 3% molar NaOH 6M Hasil kuat tekan binder NaOH 10M, 8M variasi SP 0,1,2,3%	mengulang pembuatan binder NaOH 8M → karena Hasil kuat tekan yang kurang sesuai	dk
7	9 Juni 2008	Hasil kuat tekan mortar NaOH 10M variasi SP 0,1,2,3% (Naphthalene)		dk
8	30 Mei 2008	Hasil Setting time binder 6M, 8M, 10M (NaOH) var- SP (Naphth dan poly) Hasil Flow cone Hasil kuat tekan binder Bab I, II, III draft TA	Bab I → nama sumber Bab III → flowchart lama tetap dicantumkan. ditambah flowchart dan metodologi baru ttg grouting. Semua analisa dan tes yg telah dilakukan dicantumkan	dk






LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

NAMA PEMBIMBING : Ir. Aman Subartji, MS
 NAMA MAHASISWA : Retno Trimurtiningrum NRP: 3104.100.084
 JUDUL TUGAS AKHIR : Self compacted Concrete dr Beton Geopolymer
 TANGGAL PROPOSAL :

NO.	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	18 Feb 2008	Perhitungan Kebutuhan total material	<ul style="list-style-type: none"> - Pengambilan material (untuk analisa agregat) - Survey harga alat SCC 	
2	16 April 2008	Hasil Setting Time variasi : - MIOCALSSPO - MIOCALSSPICM - MIOCALSSP3 (M) - MIOCALSSP1 (P) - MIOCALSSP3 (CP) Mix desain mortar geopolymer → berdasarkan perb. mix desain mortar hydraulic semen pada ASTM.	<ul style="list-style-type: none"> - Dicoba setting time dari variasi lain (NaOH 8M dan memperbanyak prosentase superplasticizer) - Membuat mortar geopolymer 	
3	30 April 2008	Hasil mix mortar geopolymer berdasarkan mix mortar hydraulic semen pada ASTM tidak berhasil → jumlah pasir lebih banyak daripada pasta (sulit dicetak)	Dicoba jumlah pasir diturangi setengahnya (trial mix 2)	
4	7 Mei 2008	Hasil trial mix 2 → mudah dicetak Jumlah pasir lebih sedikit daripada pasta		


LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

NAMA PEMBIMBING : Ir. Aman Subatni, MS.
 NAMA MAHASISWA : Retno Trimuriningrum NRP : 3104.100.084
 JUDUL TUGAS AKHIR : Self Compacted Concrete dr Beton Geopolymer
 TANGGAL PROPOSAL :

NO.	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
5		Hasil setting time binder sampai dengan penambahan SP 15% → tidak mempengaruhi secara signifikan Penambahan bab metodologi → penelitian diarahkan ke grouting		 
6	21 Mei 2008	Mix desain pasta grout dan mortar grout Persiapan alat tes grout → flow cone Untuk pasta grout ditambah NaOH 6M.		
7	18 Juni 2008	Hasil setting Time Binder 6M, 8M, 10M Variasi SP Hasil kuat tekan Binder		
8	25 Juni 2008	Hasil kuat tekan Binder Hasil kuat tekan Mortar.		

LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

NAMA PEMBIMBING : Ir. Aman Subakti, MS
NAMA MAHASISWA : Retno Trimurtiningrum NRP : 3101100084
JUDUL TUGAS AKHIR : Self Compacted Concrete dr Beton Geopolymer
TANGGAL PROPOSAL :

NO.	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
9	27 Juni 2008	Hasil Flow Tes → tdk memenuhi per syarat, seth. ter- lalu cepat SP tdk berpengaruh signifikan.	→ Coba Flow Tes malar Rendah (2M dan 4M)	
10	30 Juni 2008	Hasil Flow tes ma- lar rendah → tdk memenuhi, seth. ter- lalu cepat. Penelitian selanjutnya ditensionkan menjadi SPO (untuk susut dan flow table)	Dicoba menggunakan Flow table untuk mengetahui ketenta- lan campuran.	