

✓ 31734/14/08



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

RSS
620.176
Ria
a-1

2007

TUGAS AKHIR PS 1380

ANALISA SIFAT MEKANIS BETON GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY ASH DAN TRASS SEBAGAI PENGISI DENGAN AKTIFATOR LARUTAN SODIUM HIDROKSIDA 8 DAN 10 MOLAR

Puput Risdanareni
NRP 3103 100 028

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

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	15 - 8 - 2007
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	728446

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2007

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA SIFAT MEKANIK BETON GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY ASH DAN TRASS SEBAGAI PENGISI DENGAN AKTIFATOR LARUTAN SODIUM HIDROKSIDA 8 DAN 10 MOLAR

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 :

Puput Risdanareni
Nrp. 3103 100 028

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. **Prof. Dr.Ir. Triwulan, DEA**

2. **Januarti Jaya EP, ST.MT**

SURABAYA
JULI, 2007



Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dan Trass sebagai Pengisi dengan Aktifator Larutan Sodium Hidroksida 8 dan 10 Molar

Nama Mahasiswa : Puput Risdanareni
NRP : 3103 100 028
Jurusan : Teknik Sipil
Dosen Pembimbing : Prof.Dr.Ir Triwulan, DEA
Januarti Jaya Eka P , ST,MT

Abstrak

Penelitian ini menggambarkan beberapa usaha dalam memanfaatkan material pozolan alami yaitu trass sebagai pengganti semen. Trass Pasuruan mempunyai komposisi yang mirip dengan fly ash, tetapi senyawanya tidak bersifat amorf. Trass Pasuruan hanya dapat dijadikan sebagai bahan pengisi atau filler dalam pembuatan beton geopolimer yang berbahan dasar fly ash dan diaktifkan oleh aktifator alkalin berupa larutan sodium hidroksida.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tekan binder dan beton geopolimer sangat dipengaruhi oleh molaritas larutan sodium hidroksida juga perbandingan aktifator yang digunakan. Pada binder yang memiliki molaritas larutan sodium hidroksida 8 Molar, kuat tekan tertinggi dimiliki oleh binder yang memiliki perbandingan aktifator 2,5. Akan tetapi pada beton terdapat sedikit perbedaan. Kuat tekan beton bermolaritas sodium hidroksida 8 Molar tertinggi dimiliki oleh beton yang memiliki perbandingan aktifator 2. Sedang pada beton dan binder yang bermolaritas larutan sodium hidroksida 10 Molar kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton dan binder yang memiliki perbandingan aktifator 2,5. Waktu pengikatan, porositas serta kuat tarik memiliki pola seperti

halnya pola yang terjadi pada kuat tekan beton. Analisa perbandingan dengan beton konvensional menunjukkan bahwa trass memiliki sifat mekanis yang lebih baik pada beton semen.

Kata kunci : geopolimer, fly ash, trass, molaritas NaOH, binder, aktifator alkalin

Analysis of Mechanical Characteristic Fly Ash Based Geopolymer Concrete and Trass as Filler with Sodium Hydroxide Solution 8 and 10 M as Activator

Name : Puput Risdanareni
NRP : 3103 100 028
Departement : Civil Engineering
Counsellor Lecture : 1. Prof.Dr.Ir Triwulan, DEA
2. Januarti Jaya EP, ST,MT

Abstrack

This research described some efforts in using naturally pozzolan material such as trass to replace cement portland. Composition of trass Pasuruan is similar to fly ash, but the compound is not amorphous. So trass Pasuruan can only be used as a filler component in making fly ash based geopolymer concrete which activated by alkaline activator such as sodium hydroxide solution.

Test result indicated that compressive strength of concrete and binder geopolymer hardly influenced by molarity of sodium hydroxide in solution and activator ratio used. Binders ratio of activators 2.5 has the highest compressive strengt,. However in concrete there are a few differences. Concretes which have molarity of sodium hydroxide 8M and ratio of activators 2 has the highest compressive strength. Then in binder and concrete which sodium hydroxide solution molarity of 10 Molar highest compressive strength owned by binder and concrete having ratio of activator 2,5. Test result of setting time, porosity and split tension strength have a pattern as the compressive strength of concrete. Comparison analysis with conventional concrete indicate that trass introduced in Portland cement concrete has better mechanical characteristic than in geopolimer concrete.

Keyword : geopolymer, fly ash, trass, molarity of Sodium hidrokside, binder, alkaline activator

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Adapun maksud dan tujuan dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah untuk memenuhi prasyarat dalam menyelesaikan studi kami pada program Sarjana (S1) Reguler Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dengan selesainya penyusunan Tugas Akhir ini, tak lupa kami ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Triwulan dan Ibu Januarti selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dengan penuh kesabaran.
2. Segenap staf laboratorium beton dan bahan bangunan Teknik Sipil ITS atas segala bantuannya selama pelaksanaan penelitian ini
3. Bapak, Ibu , mbak Evi dan Mita yang telah mendukung dan membantu secara moral dan materil dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Teman-teman kost B2 Intan, Beta, Bella, Fitri, Nita, Ike, Iin, Vivin, Dini,Rani, Azizah, Mbak Ika terima kasih untuk semua kenangan yang kalian berikan dalam hidupku.
5. Rekan-rekan geopolimer dan praktikan laboratorium beton terima kasih atas semua bantuan dan kebersamaannya
6. Eta, Juita,Tami, Tika, Uci, Filia, Shanty, Myrna, Hencil, Lusy selaku teman wanita di forum gosib angkatan.
7. Mbrenk, Mbleh, Dedi , Yoes, Mambu, Wira, St, Alan, Komeng, Kucil, Dhoni dan semua penghuni kerez yang mengukir warna warni di setiap lembar hariku.
8. Omy, Anggia, Popin,Yudhi, Rifqi, terima kasih untuk saat-saat terindah yang pernah ada.
9. Separuh nafasku yang belum sempat kutemui hingga detik ini
10. Seluruh teman S 46, senior dan semua teman-teman yang belum tercantum terima kasih.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	
Halaman Pengesahan	
Abstraksi.....	i
Kata Pengantar.....	iv
Daftar Isi.....	v
Daftar gambar.....	viii
Daftar tabel.....	xvi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Lingkup Pembahasan.....	4

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Semen Portland.....	5
2.2 Trass.....	7
2.3 Fly Ash.....	9
2.4 Aktifator.....	11
2.5 Beton Geopolimer.....	13

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi Literatur.....	15
3.2 Persiapan Bahan.....	15
3.3 Membuat mix design binder geopolimer ukuran 2x4 cm.....	17
3.4 Mmbuat binder geopolimer.....	19
3.5 Melakukan tes tekan.....	22
3.6 Analisa data tes tekan.....	23
3.7 Tes setting time.....	23
3.8 Tes porositas binder geopolimer.....	25

3.9 Pemeriksaan agregat.....	30
3.10 Membuat mixed disain beton geopolimer.....	49
3.11 Membuat beton geopolimer ukuran 100 x 200 mm.....	51
3.12 Melakukan Slump test.....	56
3.13 Melakukan tes tekan dan tarik belah.....	58
3.14 Porositas beton geopolimer.....	60
3.15 Analisa Tes tekan dan tarik belah.....	65
3.16 Analisa perbandingan dengan beton Konvensional.....	65
3.17 Kesimpulan.....	66

BAB IV

DATA DAN ANALISA

4.1 Umum.....	69
4.2 Pemeriksaan material.....	69
4.3 Binder Geopolimer	
4.3.1 Mixed disain binder.....	84
4.3.2 Pengaruh perbandingan aktifator terhadap kuat tekan binder.....	90
4.3.3 Pengaruh molaritas larutan sodium hidroksida terhadap kuat tekan binder.....	113
4.3.4 Waktu Pengikatan binder.....	118
4.3.5 Porositas binder geopolimer.....	150
4.3.6 XRD binder geopolimer.....	158
4.4 Beton Geopolimer	
4.4.1 Mixed disain beton.....	163
4.4.2 Pengaruh perbandingan aktifator terhadap kuat tekan beton.....	170
4.4.3 Pengaruh molaritas larutan sodium hidroksida terhadap kuat tekan beton.....	194
4.4.4 Kuat tarik belah beton.....	200
4.4.5 Tes slump.....	205
4.4.6 Porositas beton.....	205

4.4.7 Hubungan kuat tarik belah dan kuat tekan beton geopolimer.....	213
4.4.8 Pengaruh H ₂ O, SiO ₂ , dan Na ₂ O dalam beton terhadap kuat tekan	217
4.5 Analisa perbandingan beton konvensional	
4.5.1 Mixed desain.....	230
4.5.2 Tes slump.....	233
4.5.3 Tes tekan beton TCC.....	234
4.5.4 Tes tarik belah beton konvensional.....	237
4.5.5 Porositas beton konvensional.....	237
4.5.6 Perbandingan dengan beton geopolimer.....	239
BAB V	
KESIMPULAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	245
5.2 Saran.....	249
DAFTAR PUSTAKA.....	251

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Trass Pasuruan	7
Gambar 2.2	Fly ash Paiton	9
Gambar 2.3	Serpihan NaOH	12
Gambar 2.4	Sodium silikat	12
Gambar 2.5	Binder geopolimer	13
Gambar 3.1	Bond ball mill (klinker)	16
Gambar 3.2	Cetakan binder	21
Gambar 3.3	Curing binder	22
Gambar 3.4	Alat tes tekan torsi 5 ton	23
Gambar 3.5	Alat vikat	24
Gambar 3.6	Perendaman binder	25
Gambar 3.7	Alat perebus	26
Gambar 3.8	Perebusan binder	26
Gambar 3.9	Benda uji ditimbang dalam air	27
Gambar 3.10	Pengovenan binder	28
Gambar 3.11	Benda uji dihaluskan	29
Gambar 3.12	Alat percobaan kelembapan pasir	31
Gambar 3.13	Percobaan berat jenis pasir	34
Gambar 3.14	Percobaan air resapan pasir	36
Gambar 3.15	Percobaan berat volume pasir	38
Gambar 3.16	Percobaan kebersihan pasir terhadap bahan organik	40
Gambar 3.17	Percobaan kebersihan pasir terhadap lumpur	41
Gambar 3.18	Adonan beton geopolimer	54
Gambar 3.19	Pencetakan beton geopolimer	55
Gambar 3.20	Pelumuran oli pada cetakan beton	55
Gambar 3.21	Curing suhu ruangan	56

Gambar 3.22	Slump test beton	57
Gambar 3.23	Alat tes tekan beton	58
Gambar 3.24	Tes tekan beton geopolimer	59
Gambar 3.25	Tes tarik belah beton geopolimer	59
Gambar 3.26	Kondisi putus tarik belah beton geopolimer	60
Gambar 3.27	Perebusan beton Geopolimer	62
Gambar 3.28	Beton ditimbang dalam air	63
Gambar 3.29	Beton di oven	63
Gambar 3.30	Beton setelah dihaluskan	64
Gambar 3.31	Mengukur volume serbuk beton	64
Gambar 4.1	Lengkung ayakan pasir	76
Gambar 4.2	Lengkung ayakan batu pecah	82
Gambar 4.3	Hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 8-0.5	94
Gambar 4.4	Hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 8-1	96
Gambar 4.5	Hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 8-1.5	97
Gambar 4.6	Hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 8-2	98
Gambar 4.7	Hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 8-2.5	100
Gambar 4.8	Hubungan kuat tekan dengan usia binder alkanitas larutan sodium hidroksida 8M	101
Gambar 4.9	Hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 10-0.5	102

Gambar 4.10	Hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 10-1	103
Gambar 4.11	Hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 10-1.5	105
Gambar 4.12	Hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 10-2	106
Gambar 4.13	Hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 10-2.5	107
Gambar 4.14	Hubungan kuat tekan dengan usia binder alkanitas larutan sodium hidroksida 10 M	109
Gambar 4.15	Hubungan kuat tekan dengan perbandingan aktifator binder geopolimer 8M	110
Gambar 4.16	Hubungan kuat tekan dengan perbandingan aktifator binder geopolimer 10M	111
Gambar 4.17	Hubungan kuat tekan dengan perbandingan aktifator binder geopolimer	112
Gambar 4.18	Hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 8-0.5 dan TB 10-0.5	116
Gambar 4.19	Hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 8-2.5 dan TB 10-2.5	117
Gambar 4.20	Hubungan penurunan dan waktu binder TB 8-0.5	121
Gambar 4.21	Hubungan penurunan dan waktu binder TB 8-1	122
Gambar 4.22	Hubungan penurunan dan waktu binder TB 8-1.5	123

Gambar 4.23	Hubungan penurunan dan waktu binder TB 8-2	124
Gambar 4.24	Hubungan penurunan dan waktu binder TB 8-2.5	125
Gambar 4.25	Hubungan waktu dan penurunan binder molaritas larutan sodium hidroksida 8 M	126
Gambar 4.26	Hubungan penurunan dan waktu binder TB 10-0.5	130
Gambar 4.27	Hubungan penurunan dan waktu binder TB 10-1	131
Gambar 4.28	Hubungan penurunan dan waktu binder TB 10-1.5	132
Gambar 4.29	Hubungan penurunan dan waktu binder TB 10-2	133
Gambar 4.30	Hubungan penurunan dan waktu binder TB 10-2.5	134
Gambar 4.31	Hubungan waktu dan penurunan binder molaritas larutan sodium hidroksida 10 M	135
Gambar 4.32	Hubungan antara t awal binder geopolimer dengan perbandingan aktifator	136
Gambar 4.33	Hubungan t akhir binder geopolimer dengan perbandingan aktifator	137
Gambar 4.34	Hubungan antara temperatur reaksi dengan waktu binder 8 Molar	140
Gambar 4.35	Hubungan antara temperatur reaksi dengan waktu binder 10 Molar	144

Gambar 4.36	Hubungan pori tertutup dengan perbandingan aktifator binder bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 Molar	153
Gambar 4.37	Hubungan pori tertutup dengan perbandingan aktifator binder bermolaritas larutan sodium hidroksida 10 Molar	154
Gambar 4.38	Hubungan pori tertutup dengan perbandingan aktifator binder bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 dan 10 Molar	155
Gambar 4.39	Hubungan pori terbuka dan perbandingan aktifator binder bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 Molar	156
Gambar 4.40	Hubungan pori terbuka dan perbandingan aktifator binder bermolaritas larutan sodium hidroksida 10 Molar	157
Gambar 4.41	Hubungan pori terbuka dan perbandingan aktifator binder bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 dan 10 Molar	158
Gambar 4.42	Hubungan 2 teta dan intensitas binder TB 8-2 dengan CaSiO_4	159
Gambar 4.43	Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 8-0.5	174
Gambar 4.44	Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 8-1	175
Gambar 4.45	Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 8-1.5	177

Gambar 4.46	Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 8-2	178
Gambar 4.47	Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 8-2.5	180
Gambar 4.48	Hubungan kuat tekan dengan usia beton dengan molaritas larutan sodium hidroksida 8 Molar	181
Gambar 4.49	Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 10-0.5	183
Gambar 4.50	Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 10-1	184
Gambar 4.51	Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 10-1.5	186
Gambar 4.52	Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 10-2	187
Gambar 4.53	Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 10-2.5	188
Gambar 4.54	Hubungan kuat tekan dengan usia beton dengan molaritas larutan sodium hidroksida 10 Molar	190
Gambar 4.55	Hubungan kuat tekan dan perbandingan aktifator beton geopolimer 8 Molar	191
Gambar 4.56	Hubungan kuat tekan dan perbandingan aktifator beton geopolimer 10 Molar	192
Gambar 4.57	Hubungan kuat tekan dan perbandingan aktifator beton geopolimer 8 dan 10 Molar	193
Gambar 4.58	Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 8-0.5 dan TC 10-0.5	198

Gambar 4.59	Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 8-2.5 dan TC 10-2.5	199
Gambar 4.60	Hubungan kuat tarik belah dan perbandingan aktifator beton geopolimer bermolaritas 8 Molar	202
Gambar 4.61	Hubungan kuat tarik belah dan perbandingan aktifator beton geopolimer bermolaritas 10 Molar	203
Gambar 4.62	Hubungan kuat tarik belah dan perbandingan aktifator beton geopolimer bermolaritas 8 dan 10 Molar	204
Gambar 4.63	Hubungan pori tertutup dengan perbandingan aktifator beton bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 Molar	208
Gambar 4.64	Hubungan pori tertutup dengan perbandingan aktifator beton bermolaritas larutan sodium hidroksida 10 Molar	209
Gambar 4.65	Hubungan pori tertutup dengan perbandingan aktifator beton bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 dan 10 Molar	210
Gambar 4.66	Hubungan pori terbuka dan perbandingan aktifator beton bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 Molar	211

Gambar 4.67	Hubungan pori terbuka dan perbandingan aktifator beton bermolaritas larutan sodium hidroksida 10 Molar	212
Gambar 4.68	Hubungan pori terbuka dan perbandingan aktifator beton bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 dan 10 Molar	213
Gambar 4.69	Hubungan kuat tarik dan kuat tekan beton geopolimer bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 Molar	215
Gambar 4.70	Hubungan kuat tarik dan kuat tekan beton geopolimer bermolaritas larutan sodium hidroksida 10 Molar	216
Gambar 4.71	Hubungan kuat tarik dan kuat tekan beton geopolimer bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 dan 10 Molar	217
Gambar 4.72	Hubungan kuat tekan dan perbandingan H_2O / Na_2O beton geopolimer	227
Gambar 4.73	Hubungan kuat tekan dan perbandingan Na_2O / SiO_2 beton geopolimer	228
Gambar 4.74	Hubungan kuat tekan dan perbandingan H_2O / SiO_2 beton geopolimer	229
Gambar 4.75	Tes slump beton TCC	234
Gambar 4.76	Hubungan kuat tekan dan usia beton TCC	236
Gambar 4.77	Hubungan kuat tekan dan usia beton TCC dan beton TC 10-2.5	239

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi semen portland	6
Tabel 3.1	Kerikil oven	46
Tabel 3.2	Jenis ayakan pasir	47
Tabel 3.3	Kebutuhan bahan beton geopolimer	52
Tabel 3.4	Kebutuhan benda uji beton geopolimer	52
Tabel 4.1	Data kelembapan pasir	70
Tabel 4.2	Data berat jenis pasir	71
Tabel 4.3	Data air resapan pasir	71
Tabel 4.4	Data berat volume pasir	72
Tabel 4.5	Data kadar zat organik pasir	73
Tabel 4.6	Data kebersihan pasir terhadap lumpur dengan pengendapan	74
Tabel 4.7	Data kebersihan pasir terhadap lumpur (pencucian)	75
Tabel 4.8	Analisa ayakan pasir	76
Tabel 4.9	Data kelembapan batu pecah	77
Tabel 4.10	Data berat jenis batu pecah	77
Tabel 4.11	Data air resapan batu pecah	78
Tabel 4.12	Data berat volume batu pecah	79
Tabel 4.13	Data kebersihan batu pecah terhadap lumpur dengan cara pencucian	80
Tabel 4.14	Data keausan batu pecah	80
Tabel 4.15	Analisa ayakan batu pecah	81
Tabel 4.16	Hasil XRD fly ash	82
Tabel 4.17	Kebutuhan NaOH dan Na ₂ SiO ₃	87
Tabel 4.18	Kebutuhan bahan dan sampel binder geopolimer	88

Tabel 4.19	Kuat tekan binder geopolimer	91
Tabel 4.20	Prosentase kenaikan kuat tekan binder TB 8-0.5	95
Tabel 4.21	Prosentase kenaikan kuat tekan binder TB 8-1	96
Tabel 4.22	Prosentase kenaikan kuat tekan binder TB 8-1.5	98
Tabel 4.23	Prosentase kenaikan kuat tekan binder TB 8-2	99
Tabel 4.24	Prosentase kenaikan kuat tekan binder TB 8-2.5	101
Tabel 4.25	Prosentase kenaikan kuat tekan binder TB 10-0.5	103
Tabel 4.26	Prosentase kenaikan kuat tekan binder TB 10-1	104
Tabel 4.27	Prosentase kenaikan kuat tekan binder TB 10-1.5	105
Tabel 4.28	Prosentase kenaikan kuat tekan binder TB 10-2	107
Tabel 4.29	Prosentase kenaikan kuat tekan binder TB 10-2.5	108
Tabel 4.30	Hasil tes tekan binder	114
Tabel 4.31	Waktu pengikatan binder dengan molaritas larutan sodium hidroksida 8 molar	118
Tabel 4.32	Waktu pengikatan awal dan akhir binder dengan molaritas larutan sodium hidroksida 8M	120



Tabel 4.33	Waktu pengikatan binder dengan molaritas larutan sodium hidroksida 10 molar	127
Tabel 4.34	Waktu pengikatan awal dan akhir binder dengan molaritas larutan sodium hidroksida 10M	129
Tabel 4.35	Temperatur reaksi binder 8 molar	138
Tabel 4.36	Temperatur reaksi binder 10 molar	141
Tabel 4.37	Porositas binder geopolimer	150
Tabel 4.38	Analisa senyawa CaSiO_4	160
Tabel 4.39	Analisa XRD binder	161
Tabel 4.40	Kebutuhan NaOH dan Na_2SiO_3	167
Tabel 4.41	Kebutuhan bahan beton geopolimer	168
Tabel 4.42	Kebutuhan benda uji beton geopolimer	168
Tabel 4.43	Data kuat tekan beton geopolimer	171
Tabel 4.44	Prosentase kenaikan kuat tekan beton TC 8-0.5	175
Tabel 4.45	Prosentase kenaikan kuat tekan beton TC 8-1	176
Tabel 4.46	Prosentase kenaikan kuat tekan beton TC 8-1.5	178
Tabel 4.47	Prosentase kenaikan kuat tekan beton TC 8-2	179
Tabel 4.48	Prosentase kenaikan kuat tekan beton TC 8-2.5	181
Tabel 4.49	Prosentase kenaikan kuat tekan beton TC 10-0.5	184
Tabel 4.50	Prosentase kenaikan kuat tekan beton TC 10-1	185

Tabel 4.51	Prosentase kenaikan kuat tekan beton TC 10-1.5	187
Tabel 4.52	Prosentase kenaikan kuat tekan beton TC 10-2	188
Tabel 4.53	Prosentase kenaikan kuat tekan beton TC 10-2.5	189
Tabel 4.54	Kuat tekan beton geopolimer	195
Tabel 4.55	Data kuat tarik belah beton geopolimer	201
Tabel 4.56	Nilai slump beton geopolimer	205
Tabel 4.57	Porositas beton geopolimer	206
Tabel 4.58	Hubungan kuat tarik belah dengan kuat tekan beton geopolimer	214
Tabel 4.59	Jumlah air dalam larutan NaOH beton geopolimer	218
Tabel 4.60	Total mol H ₂ O dalam beton geopolimer	220
Tabel 4.61	Mol SiO ₂ dalam beton	223
Tabel 4.62	Mol Na ₂ O dan SiO ₂ dalam Na ₂ SiO ₃	224
Tabel 4.63	Mol Na ₂ O dalam beton	225
Tabel 4.64	Perbandingan mol H ₂ O, Na ₂ O dan SiO ₂ dalam beton	226
Tabel 4.65	Mixed desain beton TCC	230
Tabel 4.66	Kebutuhan sampel beton TCC	232
Tabel 4.67	Kebutuhan bahan beton TCC	233
Tabel 4.68	Hasil tes tekan beton TCC	235
Tabel 4.69	Hasil tes tarik belah beton TCC	240
Tabel 4.70	Porositas beton TCC	238
Tabel 4.71	Kuat tarik belah TCC dan TC 10-2.5	240

Tabel 4.72	Porositas beton TC 10-2.5 dan beton TCC	241
Tabel 4.73	Kuat tekan beton CC	241
Tabel 4.74	Kuat tekan beton TCC dan beton CC	241
Tabel 4.75	Jumlah agregat beton TCC dan beton TC 10-2.5	242

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan beton di seluruh dunia semakin meningkat demikian juga dengan produksi semen sebagai bahan dasar pembuatan beton. Dalam proses produksinya semen mengeluarkan gas CO₂ yang menimbulkan efek rumah kaca. Karena alasan inilah mulai dikembangkan bahan alternatif pengganti semen. Salah satu bahan alternatif yang mulai dikembangkan ialah material geopolimer. Bahan geopolimer dipilih sebagai bahan alternatif pengganti semen karena sifatnya yang ramah lingkungan serta ekonomis karena berasal dari alam.

Bahan geopolimer ialah suatu bahan inorganik yang terdiri dari silikat (Si) dan alumunium (Al) sebagai material utama serta reaktan alkalin untuk pengikat. Sejauh ini bahan dasar yang digunakan untuk membuat beton geopolimer adalah fly ash. (Davidovits, 1999) Dalam penelitian ini mulai dicoba bahan dasar alternatif beton geopolimer selain fly ash yaitu tras.

Abu terbang atau fly ash adalah abu sisa pembakaran batu bara yang dipakai dalam banyak industri. Abu terbang sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. (Malhotra, 2000)

Tras, merupakan material yang berasal dari endapan lava gunung berapi, adalah suatu material pozolanik yang dapat digunakan sebagai bahan dasar geopolimer karena memiliki kadar silikat (Si) dan Alumunium (Al) yang cukup tinggi. Alasan digunakannya trass sebagai bahan pengisi ialah karena trass Pasuruan yang digunakan kurang *amorf*. Dengan

ditambahkannya trass ke dalam campuran binder geopolimer diharapkan dapat meningkatkan kuat mekanik dan memperbaiki sifat fisik dari beton geopolimer murni fly ash.

Untuk membuat suatu kristal geopolimer dibutuhkan reaksi polimerisasi, yaitu reaksi pelepasan molekul kecil seperti H_2O untuk membentuk ikatan rantai *monomer* yang lebih panjang (Sri wahyuni, 2003). Untuk melakukan reaksi polimerisasi dibutuhkan suatu reaktan dari golongan alkalin yang dapat melepas ion-ion yang tidak diperlukan. Dalam kasus ini digunakan *sodium hidroxide* atau NaOH yang memiliki sifat basa kuat sebagai reaktan alkalin dan sodium silikat sebagai katalisator untuk mempercepat reaksi polimerisasi.

Sebagai suatu material yang tergolong baru, perilaku serta pengaruh komposisi komponen geopolimer terhadap kekerasan dan kekuatannya saat ini sedang dipelajari.(Djwantoro Hardjito, 2004). Suatu beton geopolimer yang baru dicetak memiliki kekakuan yang relatif tetap serta memiliki kadar viskositas yang tinggi (Djwantoro Hardjito, 2003). Penelitian sebelumnya (Barbosa, 2003) tentang binder geopolimer menyatakan bahwa kadar air pada campuran memegang peran penting dalam pembentukan binder geopolimer. Penambahan air dalam campuran diyakini dapat meningkatkan kinerja beton geopolimer. Akan tetapi penambahan air yang bagaimana yang dapat meningkatkan kinerja beton geopolimer akan di bahas lebih lanjut pada penelitian ini. Untuk mempelajari efek kadar air terhadap kuat tekan beton geopolimer dilakukan beberapa percobaan. Salah satu percobaan yang dilakukan ialah dengan mengatur molaritas reaktan alkalin, dalam hal ini molaritas NaOH. Molar NaOH yang dicoba pada penelitian ini ialah 8 dan 10 molar. Dari kasus ini kita dapat mengetahui bagaimana pengaruh pemberian air pada beton geopolimer dengan membandingkan hasil tes kuat tekan kedua benda uji.

1.2 Permasalahan

Mengingat penelitian tentang pembuatan beton geopolimer dengan bahan dasar tras ini tergolong baru banyak permasalahan yang harus dipecahkan dan didiskusikan lebih lanjut antara lain :

1. Bagaimana komposisi kimia dari trass Pasuruan dan fly ash Paiton?
2. Bagaimana menemukan ratio perbandingan massa antara sodium silikat dan sodium hidroxide yang menghasilkan beton geopolimer yang memiliki kuat tekan optimum?
3. Bagaimana menemukan aktifator dengan molaritas yang bervariasi untuk mendapatkan kuat tekan optimal?
4. Bagaimana perilaku mekanik beton geopolimer yang memiliki komposisi optimum?

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukan penelitian ini ialah :

1. Mencari komposisi kimia dari trass agar didapatkan sifat-sifat yang sesuai untuk dijadikan bahan pengikat.
2. Mengetahui pengaruh aktifator dengan molaritas 8 molar dan 10 molar terhadap perilaku mekanik beton geopolimer.
3. Mengetahui pengaruh variasi perbandingan antar aktifator terhadap perilaku mekanik beton geopolimer.
4. Mengetahui perilaku mekanik beton geopolimer yang memiliki komposisi optimum.

1.4 Lingkup Pembahasan

Masalah yang akan di bahas dalam penelitian ini mencakup :

1. Molaritas NaOH yang dicoba dalam penelitian ini ialah 8 dan 10 M.

2. Ratio massa fly ash : trass yang dicoba ialah 2 : 1
3. Ratio massa antara sodium silikat dan NaOH yang dicoba ialah 0,5; 1 ;1,5 ;2 ;2,5
4. Prosentase tambahan air yang digunakan ialah 12 % dari massa total fly ash.
5. Trass yang digunakan ialah trass Pasuruan.
6. Fly ash yang digunakan ialah fly ash Paiton.
7. Pelaksanaan hanya pada skala laboratorium.

TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Semen Portland

2.1.1 Definisi

Menurut SII (Standart Industri Indonesia) 0013-1981, semen portland adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker (terak semen portland) yang terutama terdiri dari silika dan kalsium yang bersifat hidraulis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan yang berupa 1 atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat (biasanya digunakan gypsum).

2.1.2 Bahan- bahan dasar dan komposisi senyawa kimia semen PC

Menurut laporan penelitian semen gresik bahan dasar dari semen :

- a. Batu kapur : Sebagai unsur utama mengandung CaO
- b. Tanah liat : Sebagai sumber kandungan SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3
- c. Bahan tambahan : Yang mengandung senyawa kalsium sulfat seperti gypsum yang berguna untuk menghasilkan panas hidrasi beton

Bila perlu bahan –bahan diatas diberi tambahan berupa :

- a. Pasir kwarsa / batu silica apabila bahan dasarnya kekurangan SiO_2 .
- b. Pasir / biji besi apabila bahan dasarnya kekurangan Fe_2O_3 .

Menurut Larson komposisi utama dari semen portland ialah :

- Tricalcium silicate $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
- Dicalcium silicate $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
- Tricalcium aluminate $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
- Tetracalcium aluminoferrite $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$

Berikut prosentase komponen utama dari berbagai macam semen

tabel 2.1 Komposisi semen portland

Tipe Semen	Komposisi %			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₂ A	C ₂ AF
I Normal	45	27	11	8
II Modified	44	31	7	13
III High early strength	53	19	10	7
IV Low heat	20	52	6	14
V Sulfate resistance	38	43	4	8

2.1.3 Penelitian sebelumnya

Dari Konferensi Bumi yang diselenggarakan di Rio de Janeiro, Brasil tahun 1992 dan di Kyoto, Jepang tahun 1997 dinyatakan bahwa emisi gas rumah kaca ke atmosfer yang tak terkendali tidak bisa lagi diterima dari sudut pandang kepentingan sosial dan kelestarian lingkungan dalam kerangka pembangunan yang berkelanjutan. Gas rumah kaca yang menjadi sorotan utama adalah gas karbon dioksida karena jumlahnya yang jauh lebih besar dari gas lainnya seperti oksida nitrat dan metan.

Menurut International Energy Authority: World Energy Outlook, jumlah karbon dioksida yang dihasilkan tahun 1995 adalah 23,8 miliar ton. Angka itu menunjukkan produksi semen portland menyumbang tujuh persen dari keseluruhan karbon dioksida yang dihasilkan berbagai sumber. TaMPaknya proporsi ini akan terus bertahan atau bahkan meningkat sesuai dengan peningkatan produksi semen kalau tidak ada perubahan berarti dalam teknologi produksi semen atau didapatkan bahan pengganti semen. Pada tahun 2010, diperkirakan total produksi semen di dunia mencapai angka 2,2 miliar ton.

2.2 Trass

2.2.1 Definisi

Trass merupakan bahan hasil letusan gunungapi, berbutir halus yang mengandung oksida silica (SiO_2) yang telah mengalami pelapukan hingga derajat tertentu. Trass juga dikenal di Indonesia dengan nama pozolan, kata yang berasal dari puzzuoli, sebuah desa di dekat kota Napoli, Italia. Karakter trass yang khas, apabila dicampur dengan kapur padam dan air akan membentuk semacam semen yang dikenal sebagai semen pozolan kapur. Sifat ini terjadi karena oksida silica yang *amorf* dan oksida aluminium (Al_2O_3) di dalam trass bersifat asam. Kedua macam oksida yang bersifat asam ini bersenyawa dengan air dan kapur. (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2003)



Gambar 2.1
Trass Pasuruan

2.2.2 Komposisi Trass

Menurut penelitian sebelumnya (Santoso, 1993) komposisi kimia dari trass ialah :

- SiO_2 87,5 %
- Al_2O_3 0.15 %
- Fe_2O_3 1.88 %
- SO_3 0.49 %
- MgO 0.88 %

- K_2O 0.41 %
- Na_2O 0.81 %
- CaO 1.65 %

Menurut ASTM C 618-78 syarat pozzolan alam seperti trass agar bisa digunakan sebagai bahan pengganti semen atau bahan adiktif dalam beton salah satunya ialah memiliki kadar SiO_2 dan Al_2O_3 minimal 70 persen.

Dalam pembuatan beton geopolimer dibutuhkan trass yang bersifat *amorf*. Hal ini dapat dilihat dari kandungan silikat dan oksida alumina yang dimilikinya. Dalam penelitian ini trass digunakan sebagai pengisi atau filler. Hal ini disebabkan trass Pasuruan yang digunakan kurang *amorf*.

2.2.3 Keunggulan trass

Menurut penelitian sebelumnya (Santoso,1993) bahan trass sebagai bahan pozzolan sebagai pengisi pada campuran beton mempunyai sifat – sifat :

- Tahan terhadap agregat alkali
- Pemuaian dan penyusutan sangat kecil
- Permeabilitas sangat kecil
- Tahan terhadap asam- asam tanah, air laut terutama jika dicampur dengan semen portland type II
- Bersifat lentur jika ditekan sehingga beton TC 10-2.5adi lebih kuat.

Karena keunggulan trass tersebut diatas trass dipilih sebagai bahan pengisi dalam campuran geopolimer yang berbahan dasar fly ash. Diharapkan dengan tambahan trass beton geopolimer yang berbahan dasar fly ash akan memiliki sifat fisis dan mekanis yang lebih baik.

2.2.4 Penelitian Sebelumnya

1. Marsudi Wijaya, 1996

Melakukan penelitian tentang pemanfaatan trass sebagai semen pozzolan kapur. Di sini trass dicampur dengan kapur padam untuk menghasilkan bahan pengganti semen PC. Hasilnya kuat tekan yang dapat mencapai 152 kg/cm² untuk komposisi SPK (kapur padam : tras) 1 : 3 pada umur 28 hari dan waktu

pengerasan (setting time) kurang dari 2 hari pada ukuran - 200 mesh. Pada ukuran tras yang lebih kasar, SPK tidak dapat menembus batas kuat tekan minimal yang dituju yaitu 50 kg/cm^2 .

2.3 Fly Ash

2.3.1 Definisi

Abu terbang adalah abu sisa pembakaran batu bara yang dipakai dalam banyak industri. Abu terbang sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat (Malhotra,2000).

Menurut ACI 232 2R-96 fly ash ialah produk sampingan dari hasil pembakaran batu bara. Fly ash terdiri dari partikel kaca berbentuk sfera yang berdiameter 1-150 μm dan lolos ayakan 45 μm . Partikel kaca tersebut terdiri atas silika dan alumina yang berfungsi sebagai kapur yang kemudian menghasilkan kalsium silika terhidrat sama seperti yang terjadi pada semen portland.



*Gambar 2.2
Fly ash Paiton*

2.3.2 Klasifikasi

Menurut ASTM C 618-84 menurut kandungannya dibagi menjadi 2 yaitu :

- Fly ash kelas F
Fly ash jenis ini dihasilkan dari pembakaran arang atau bitumen. Kadar kapur yang dimiliki relatif rendah yaitu kurang dari 10 %.
- Fly ash kelas C
Fly ash jenis ini dihasilkan dari pembakaran lignit atau arang batu. Kadar kapur yang dimiliki cukup tinggi yaitu lebih dari 10 %.

2.3.3 Komposisi

Dari penelitian – penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, sebagai gambaran, Fly ash mengandung komposisi penyusun kimia sebagai berikut:

1. SiO_2
2. Al_2O_3
3. Fe_2O_3
4. CaO
5. Na_2O

Komposisi fly ash yang sebagian besar diisi oleh silikat dan alumina yang bersifat *amorf* menjadi salah satu alasan digunakannya fly ash sebagai bahan utama dalam pembuatan beton geopolimer.

2.3.4 Penelitian Sebelumnya

1. VM Malhotra, 2000

Memelopori riset penggunaan abu terbang (fly ash) dalam proporsi cukup besar (hingga 60-65 persen dari total semen Portland yang dibutuhkan) sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam proses pembuatan beton. Sebelumnya banyak peneliti menggunakannya hanya dalam proporsi kecil. Beton yang dihasilkan ternyata menunjukkan tenaga tekan tinggi serta memiliki sifat keawetan (*durability*) lebih baik dibanding beton biasa yang sepenuhnya menggunakan semen Portland. Upaya ini

dikembangkan lebih lanjut dengan pemanfaatan bahan-bahan sisa lainnya yang mempunyai kandungan oksida silika tinggi seperti silica fume, slag atau bahkan abu sekam dan jerami.

2. Djuwantoro Hardjito, 2004

Beton geopolimer berbahan dasar fly ash murni tanpa semen memiliki sifat :

- kuat tekan tinggi pada umur yang relative muda daripada beton TC 8-1 iasa.
- Proses curing yang lama meningkatkan kuat tekan beton geopolimer
- Pemberian air sangat berpengaruh pada kuat tekan beton geopolimer.

3. J.G.S. Van Jaarsveld , 1995

Melakukan riset beton geopolimer berbahan dasar fly ash tentang mekanisme efektivitas kekerasan beton geopolimer. Hasilnya beton geopolimer yang dihasilkan memiliki mekanisme kekerasan seperti logam berat.

2.4 Aktivator

Aktivator yang digunakan dalam pembuatan beton geopolimer ini ialah sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (SiO₂). Sodium hidroksida berfungsi sebagai aktivator dalam reaksi polimerisasi. Sedangkan sodium silikat berperan sebagai katalisator untuk mempercepat pengikatan silika dan oksida alumina yang terdapat pada fly ash dan trass.

2.4.1 Sodium Hidroksida (NaOH)

Logam alkali yang seringkali digunakan sebagai aktifator ialah Natrium (Na) dan Kalium (K). Dalam penelitian ini digunakan Natrium sebagai aktifator alkalinitasnya. Sodium hidroksida merupakan oksida alkali yang reaktif dan merupakan basa kuat. Logam alkali adalah kelompok unsur kimia pada Golongan 1 tabel periodik, kecuali hidrogen. Kelompok ini terdiri dari: litium (Li), natrium (Na),

kalium (K), rubidium (Rb), sesium (Cs), dan Fransium (Fr). Semua unsur pada kelompok ini sangat reaktif sehingga secara alami tak pernah ditemukan dalam bentuk tunggal. Untuk menghambat reaktivitas, unsur-unsur logam alkali harus disimpan dalam medium minyak. (Wikipedia, 2006)



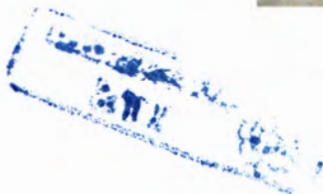
Gambar 2.3 Serpihan NaOH

2.4.2 Nodium Silikat (SiO_2)

Merupakan oksida silikat yang berbentuk seperti gel bening berwarna kehijauan. Jika dibiarkan di udara bebas gel ini akan mengeras dan berbentuk seperti kaca. Nodium silikat disini digunakan sebagai katalisator untuk mempercepat pengikatan molekul silika dan alumina yang merupakan komponen utama penyusun fly ash dan trass.



*Gambar 2.4
Nodium silikat*



2.4.3 Penelitian Sebelumnya

I. Joseph Davidovids, 1983

Menemukan pembaharuan tentang semen inorganik yang menggunakan pereaksi alkalin sebagai aktivatornya. Semen ini bernama *alumino silicate* polymer atau geopolimer.

II. Joseph Davidovits, 1986

Meneliti tentang aktivasi alkalin dari abu dan semen alkali tanah. Hasilnya semen geopolimer yang dihasilkan memiliki karakteristik yang unik yaitu memiliki kuat tekan tinggi pada umur yang relatif muda.

2.5 Beton Geopolimer

2.5.1 Definisi

Geopolimer adalah suatu bahan inorganik yang terdiri dari silikat (Si) dan aluminium (Al) sebagai material utama serta reaktan alkalin sebagai aktivator. (Davidovits, 1999) Beton geopolimer tidak menggunakan semen PC sebagai perekatnya akan tetapi digunakan bahan geopolimer.



Gambar 2.5
Binder geopolimer



2.5.2 Penelitian Sebelumnya

1. Prof. J Van Deventer, 2002
Mengemukakan hasil riset mereka bahwa beton geopolimer dapat dimanfaatkan untuk memasung bahan-bahan berbahaya yang mengandung radioaktif maupun bahan-bahan beracun lain, seperti tailing. Dalam laporan penelitian disebutkan hampir semua bahan buangan industri yang mengandung unsur-unsur silika dan alumina bisa dibuat menjadi semen geopolimer.
2. Joseph Davidovids, 1985
Mengemukakan bahwa beton yang menggunakan bahan geopolimer memiliki sifat yang unik yaitu memiliki kuat tekan tinggi pada umur yang relatif muda.
3. Joseph Davidovits, 1994
Menemukan bahwa beton geopolimer memiliki sifat-sifat yang unik antara lain :
 - ✦ Memiliki kuat tekan tinggi pada usia yang relatif muda
 - ✦ Susut rendah
 - ✦ Tahan terhadap sulfat
 - ✦ Tidak rentan terkena reaksi alkali silika walaupun memiliki kadar alkali yang tinggi
4. Barbosa, 2000
Pemberian air pada beton geopolimer sangat berpengaruh terhadap sifat fisik dan mekanik yang dimilikinya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

1. Studi Literatur

Mengumpulkan berbagai jurnal dan buku tentang beton geopolimer. Literatur yang digunakan antara lain jurnal Djuwantoro Hardjito "*Development and Properties of Low – Calcium Fly Ash – Based Geopolymer Concrete*" (2004) dan Joseph Davidovits "*Properties of Geopolymer Cements* (1994)

2. Persiapan bahan

2.1 Fly Ash

Fly ash yang akan digunakan berasal dari PLTU Paiton, Probolinggo. Untuk mengetahui komposisi kimia dari *fly ash* tersebut, akan dilakukan tes *XRD* (*X-Ray Diffraction*) di laboratorium. Dalam penelitian ini *fly ash* digunakan sebagai bahan dasar semen geopolimer.

2.2 Trass

Trass diperoleh dari pusat penelitian semen gresik ialah trass Pasuruan. Trass di oven beberapa hari hingga kering lalu di haluskan dengan mesin klinker sampai lolos ayakan nomor 200. Untuk mengetahui komposisi kimia dan sifat amorf dari trass dilakukan tes *XRD*.



Gambar 3.1 bond ball mill (klinker)

2.3 Aktivator alkalin (NaOH)

2.3.1 Membuat larutan NaOH 8 M

Larutan NaOH disiapkan minimal 1 hari sebelum digunakan. Adapun cara membuat larutan NaOH 8 molar ialah :

1. Menghitung kebutuhan *NaOH* yang akan digunakan.

$$n = V \times M$$

$$= 1 \text{ liter} \times 8 \frac{\text{mol}}{\text{liter}}$$

$$= 8 \text{ mol}$$

$$\text{Massa } NaOH = n \text{ mol} \times Mr$$

$$= 8 \text{ mol} \times 40 \frac{\text{gram}}{\text{mol}}$$

$$= 320 \text{ gram}$$

Dimana :

n = jumlah mol zat terlarut

M = kemolaran larutan

V = volume larutan

2. Menimbang *NaOH* seberat 320 gram.

3. Memasukkan *NaOH* ke dalam labu ukur dengan kapasitas 1000 cc.
 4. Menambahkan *aquades* ke dalam labu ukur sampai volumenya 1 liter.
- 2.3.2 Membuat larutan *NaOH* 10 molar
1. Menghitung kebutuhan *NaOH* yang akan digunakan.

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

Dimana :

n = jumlah mol zat terlarut

M = kemolaran larutan

V = volume larutan

$$\begin{aligned}
 \text{Massa } NaOH &= n \text{ mol} \times M_r \\
 &= 10 \text{ mol} \times 40 \frac{\text{gram}}{\text{mol}} \\
 &= 400 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

2. Menimbang *NaOH* seberat 400 gram.
3. Memasukkan *NaOH* ke dalam labu ukur dengan kapasitas 1000 cc.
4. Menambahkan *aquades* ke dalam labu ukur sampai volumenya 1 liter.

2.4 Bahan lain

Sodium silikat dan air *aquades* disiapkan. Sodium silikat digunakan sebagai katalisator sedangkan *aquades* digunakan untuk membuat larutan *NaOH*.

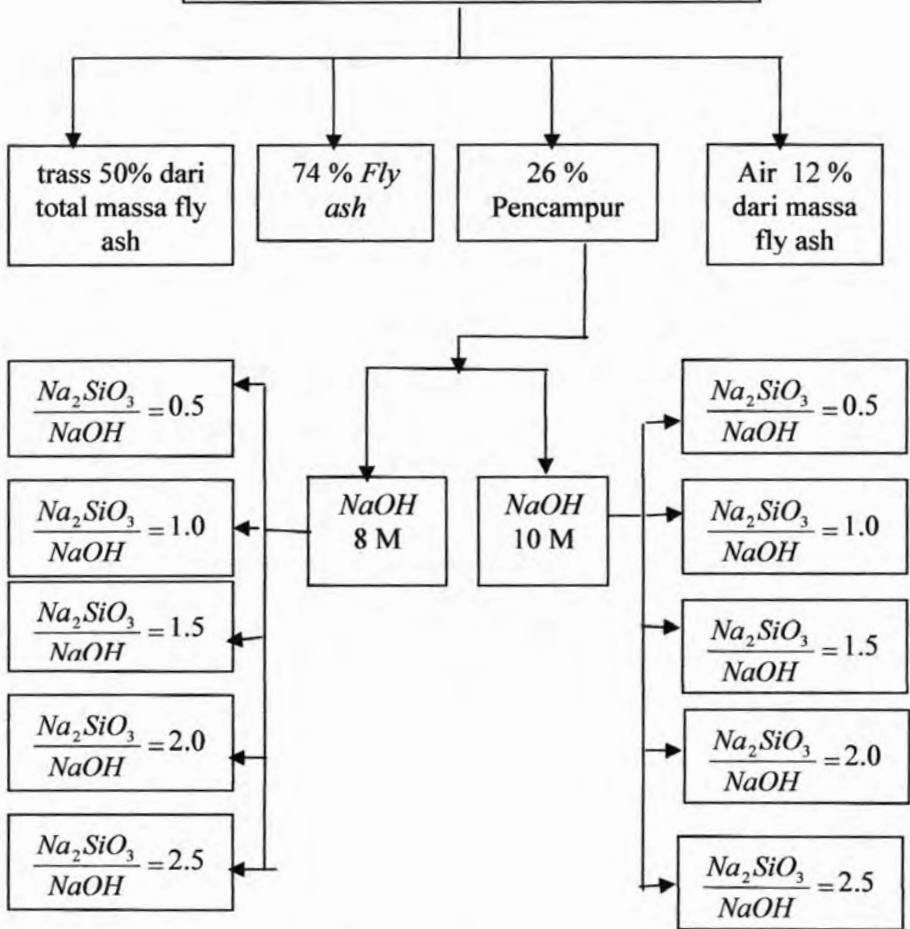
3. Membuat mix design binder geopolimer ukuran 2x4 cm

Dalam penelitian ini akan dibuat 10 variasi campuran yaitu :

- a. Molaritas NaOH 8M dengan perbandingan sodium silikat : sodium hidroxide = 0.5;1;1.5;2;2.5
- b. Molaritas NaOH 10M dengan perbandingan sodium silikat : sodium hidroxide = 0,5;1,1,5;2;2,5.

Dari setiap variasi campuran akan dibuat 12 benda uji. Diagram alir mix design binder geopolimer ukuran 2x4 cm ialah :

Binder Geopolymer ukuran 2x4 cm²



4. Membuat Binder Ukuran 20 x 40 mm²

Berdasarkan hasil mix desain yang telah dibuat, maka selanjutnya yang akan dilakukan yaitu membuat binder

geopolymer. Untuk setiap komposisi campuran, akan dibuat 12 benda uji. Berikut ini adalah akan disajikan langkah – langkah pembuatan binder geopolymer dengan kadar 8 M dan

perbandingan $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 0.5$.

- 1) Menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.

Alat

1. Seperangkat mixer
2. Cetakan berukuran 20 x 40 mm²
3. Wadah plastik
4. Timbangan digital

Bahan

1. $NaOH$ 8 M = 5.23 gram
2. Na_2SiO_3 = 2.62 gram
3. *Fly ash* = 22.35 gram
4. *Trass* = 11.17 gram
5. Air aquades = 2.68 gram
6. *Oli*

- 2) Masukkan *fly ash* dan *trass* ke dalam wadah lalu aduk bahan tersebut sampai tercampur rata.
- 3) Masukkan $NaOH$ 8 M, air dan Na_2SiO_3 ke dalam wadah aduk dan diamkan selama ± 30 menit.

- 4) Tuang cairan diatas ke dalam wadah yang telah berisi campuran kering antara fly ash dan trass. Setelah itu, campurkan dengan menggunakan mixer selama ± 3 menit hingga adonan menjadi rata.
- 5) Lumuri cetakkan dengan oli agar binder yang dihasilkan, tidak melengket dengan cetakkan.
- 6) Masukkan adonan geopolymer yang telah rata tersebut ke dalam cetakkan.
- 7) Rojok adonan menggunakan kawat kecil agar campuran mengisi seluruh cetakan
- 8) Setelah terlihat agak sedikit mengeras, ratakan permukaan binder tersebut.
- 9) Cetakkan bisa dilepas setelah binder sudah mengeras. Setelah itu, simpan binder Di dalam wadah plastik, agar tidak tercampur dengan binder – binder TB 8-2ari komposisi yang lain setiap wadah diberi label nama komposisi.
- 10) Dengan menggunakan langkah – langkah pengerjaan yang sama, dapat dibuat binder geopolymer dengan komposisi – komposisi yang lain



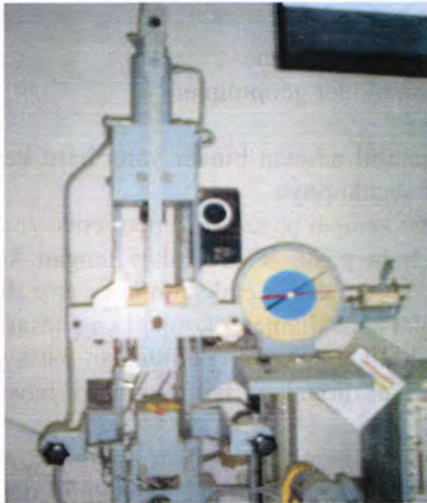
Gambar 3.2 cetakan binder



Gambar 3.3 curing binder

5. Melakukan tes tekan

Dilakukan tes tekan binder pada usia 3,7,14,21,dan 28 hari. Alat yang digunakan ialah torsi universal testing machine AU -5. Setiap tes tekan menggunakan 2 benda uji untuk diambil rata-rata dari kedua hasil yang didapatkan.Tes tekan dilakukan di laboratorium struktur (workshop) Teknik Sipil ITS.



Gambar 3.4 alat tes tekan torsi 5 ton

6. Analisa data tes tekan

Data tes tekan diolah menjadi grafik sehingga kita mengetahui trend kuat tekan yang terjadi pada setiap campuran yang ada. Dari hasil tes tekan diperoleh komposisi binder yang optimum yaitu binder yang memiliki kuat tekan paling tinggi.

7. Tes *setting time* (ASTM C 191-92)

11.1 Tujuan :

Menentukan waktu pengikatan awal dan pengikatan akhir pasta geopolimer

11.2 Peralatan yang dibutuhkan :

- Seperangkat alat vicat
- Solet perata

- Ayakan no 200
- Stop watch
- Sarung tangan

11.3 Bahan yang diperlukan

- Adonan binder geopolimer

11.4 Prosedur :

- Mengambil adonan binder yang baru keluar dari mixer secukupnya
- Tunggu sampai pasta agak mengeras
- Buat bola pasta leMPar dari tangan ke tangan jarak 30 cm dan cetak konikel yang ditaruh di atas plat kaca diameter konikel yang besar di atas
- Setelah diketok-ketok, permukaan pasta yang ada di konikel diratakan, lalu ditaruh di bawah jarum vicat
- Setelah 45 menit tempelkan ujung jarum dengan tengah permukaan pasta . Setelah 30 detik jarum di stop dan penurunan dibaca
- Dicatat setiap 15 menit, di tes dan di baca
- Lakukan berulang-ulang pada tempat yang berbeda sampai penurunan kurang dari 5 mm.



Gambar 3.5
Alat vicat

8. Tes porositas binder geopolimer (AFNOR NF B 49104)

13.1 Tujuan

Mengetahui besarnya pori tertutup pada binder geopolimer.

13.2 Peralatan :

- ❖ Timbangan
- ❖ Oven
- ❖ Picnometer

13.3 Bahan

- Benda uji silinder pasta geopolimer dengan diameter 20 mm dan tinggi 40 mm

13.4 Prosedur

- Setelah benda uji berumur 28 hari, diambil dari tempat curing kemudian direndam selama 2 hari lalu direbus selama 5 jam supaya semua pori yang berada di dalamnya terisi air.



Gambar 3.6 perendaman binder



Gambar 3.7 alat perebus



Gambar 3.8 Perebusan binder

- Dalam keadaan basah benda uji ditimbang dalam air ($= \mu$)



Gambar 3.9 benda uji ditimbang dalam air

- Benda uji ditimbang dalam keadaan SSD ($= M_h$)
- Setelah itu benda uji dimasukkan ke dalam oven $\pm 100^\circ\text{C}$ selama beberapa hari agar semua air yang ada dalam benda uji keluar semua, dalam keadaan kering tersebut benda uji ditimbang ($= M_o$)



Gambar 3.10 Pengovenan binder

- Benda uji dihaluskan sampai lolos ayakan no. 200-0.063



Gambar 3.11 benda uji dihaluskan

- Contoh yang telah dihaluskan ditimbang ($= m_o$) dan dengan alat picnometer diukur volumenya. ($= V_o$)
- Perhitungan :

- Kepadatan absolut (ρ) adalah perbandingan berat dan volume dalam keadaan halus

$$\rho = \frac{m_o}{V_o}$$

- Kepadatan visual (α) adalah perbandingan contoh dalam keadaan kering (M_o) terhadap volume yang tampak ($M_h - \mu$)

$$\alpha = \frac{M_o}{M_h - \mu}$$

- Porositas total (π_t) dalam persen adalah perbandingan volume pori terhadap volume yang tampak

$$\pi_t (\%) = 100 \times (1 - \alpha/\rho)$$

- Porositas terbuka (π_o) dalam persen adalah perbandingan volume porositas terbuka terhadap yang tampak.

$$\pi_o (\%) = 100 \times \frac{(M_h - M_o)}{(M_h - \mu)}$$

- Porositas tertutup adalah perbandingan porositas tertutup terhadap volume yang tampak

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

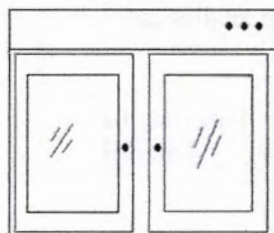
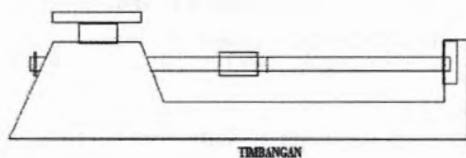
9. Pemeriksaan agregat halus dan kasar

A. Agregat Halus

I. Percobaan kelembapan pasir (ASTM C 556 – 89)

Kelembapan pasir yaitu perbandingan berat air yang dikandung pasir pada kondisi asli terhadap berat pasir pada kondisi kering oven.

- a) Tujuan
 - Untuk mengetahui / menentukan kelembapan pasir dengan cara kering.
- b) Peralatan
 - Timbangan 2600 gram
 - Oven
 - Pan
- c) Bahan
 - Pasir dalam keadaan asli
- d) Prosedur
 - Pasir dalam keadaan asli ditimbang sebanyak 500 gram
 - Pasir dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan temperature 100 derajat celcius
 - Keluarkan pasir dari oven, setelah dingin pasir ditimbang beratnya.



Pasir Asli



Gambar Alat Percobaan Kelembaban Pasir

Gambar 3.12 alat percobaan kelembapan pasir

II. Berat Jenis Pasir(ASTM 128-78)

Berat jenis pasir yaitu berat pasir (dalam hal ini pasir yang berada pada kondisi SSD) per satuan volume.

a) tujuan

Menentukan berat jenis pasir pada kondisi SSD.

b) Peralatan

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

c) bahan

- Pasir

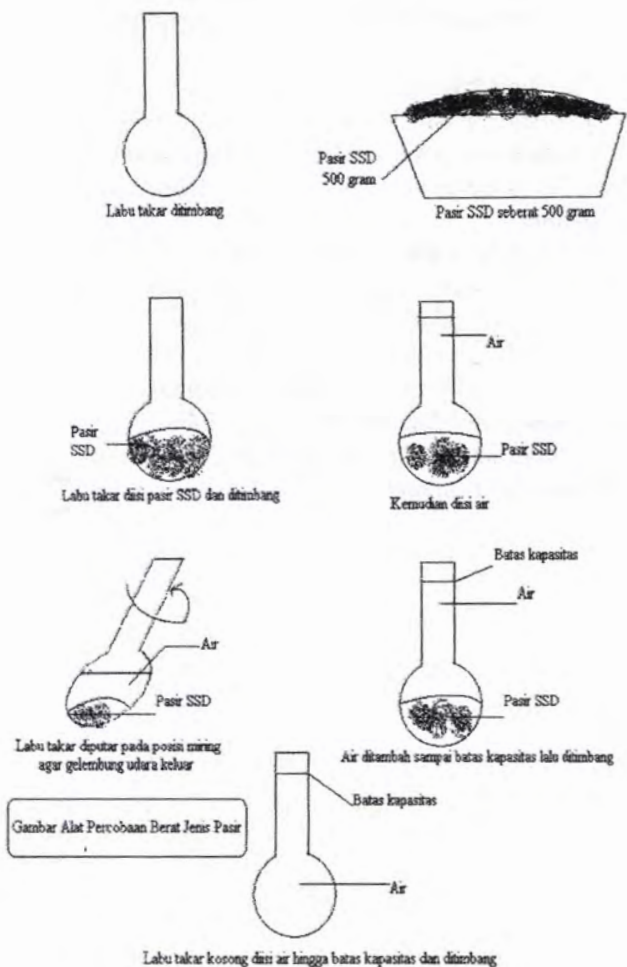
d) prosedur

❖ Penyiapan pasir untuk kondisi SSD

- Rendam pasir 24 jam, selanjutnya angkat dan tiriskan hingga airnya hilang
- Keringkan dengan hair dryer / kipas angin sambil dibolak – balik dengan sendok untuk mencari keadaan SSD
- Tempatkan kerucut SSD pada bidang datar yang tidak menghisap air
- Isi kerucut SSD sepertiga tingginya dan rojok 9 kali, isi lagi sepertiga tinggi dan rojok 8 kali, isi lagi sepertiga tinggi dan rojok 8 kali
- Ratakan permukaannya dan angkat kerucutnya, bila pasir masih berbentuk kerucut maka pasir belum SSD
- Keringkan lagi bila pasir masih belum SSD ulangi lagi pengisian dengan prosedur seperti 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
 - ❖ Timbang pasir kondisi SSD sebanyak 500 gram dan masukkan pasir ke dalam labu takar dan timbang
 - ❖ Isi labu takar yang berisi pasir dengan air bersih hingga penuh
 - ❖ Pegang labu takar yang sudah berisi air dan pasir posisi miring, putar kiri dan kanan hingga gelembung – gelembung udara dalam pasir keluar
 - ❖ Sesudah gelembung – gelembung keluar tambahkan air ke dalam labu takar hingga batas kapasitas dan timbang
- Keluarkan pasir dan air dari dalam labu takar dan labu takar dibersihkan kemudian isi labu takar dengan air sampai batas kapasitas dan timbang



Gambar 3.13 percobaan berat jenis pasir

III. Percobaan air resapan pasir (ASTM 128-93)

A. TUJUAN

Menentukan kadar air resapan pasir yaitu berat pasir yang dikandung pasir kondisi SSD per berat pasir oven.

B. PERALATAN

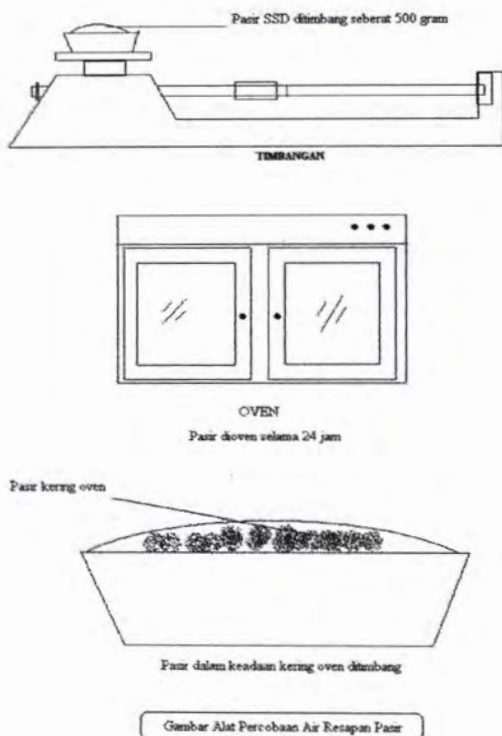
- Timbangan analisa 2600 gram
- Oven
- Pan

C. BAHAN

- Pasir kondisi SSD

D. PROSEDUR

- Timbang pasir dalam kondisi SSD sebanyak 500 gram
- Masukkan ke dalam oven selama 24 jam
- Pasir dikeluarkan dan setelah dingin ditimbang beratnya



Gambar 3.14 percobaan air resapan pasir

IV. Percobaan berat volume pasir (ASTM C 29/C29M 91)

A. TUJUAN

Menentukan berat volume pasir baik dalam keadaan lepas maupun padat.

B. PERALATAN

➤ Timbangan

- Takaran berbentuk silinder dengan volume 3 liter
- Alat perojok besi

C. BAHAN

- Pasir

D. PROSEDUR

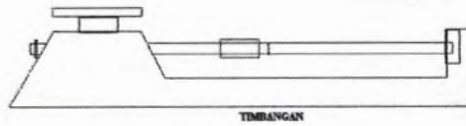
❖ Tanpa rojokan / lepas

- Silinder dalam keadaan kosong ditimbang
- Silinder diisi dengan pasir sampai penuh dan angkat setinggi 1 cm jatuhkan ke lantai sebanyak 3 kali, ratakan permukaannya
- Timbang silinder yang sudah terisi pasir penuh

❖ Dengan rojokkan

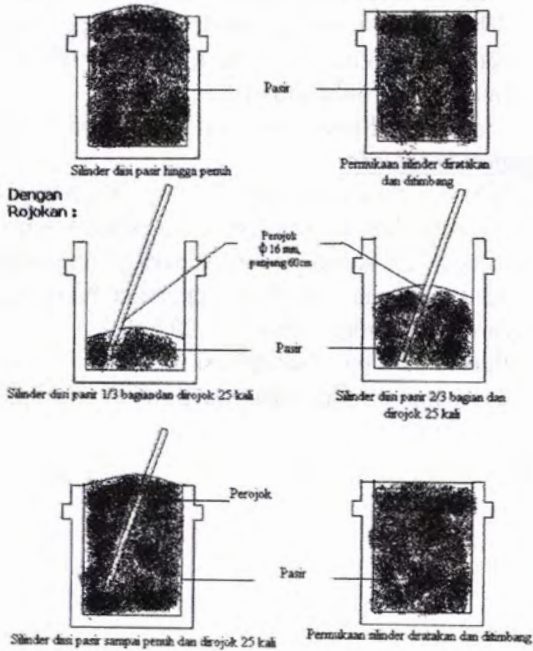
- Silinder dalam keadaan kosong ditimbang
- Silinder diisi dengan pasir sepertiga bagian kemudian dirojok 25 kali diisi lagi sepertiga bagian lalu dirojok 25 kali terus diisi lagi sepertiga bagian bagian dan dirojok kembali sebanyak 25 kali.
- Permukaan pasir diratakan
- Timbang silinder pasir yang sudah terisi pasir penuh.





Tanpa Rojokan :

Gambar Alat Percobaan Berat Volume Pasir



Gambar 3.15 percobaan berat volume pasir

STI

V. Tes Kebersihan pasir terhadap organik (ASTM C 40-92)

A. TUJUAN

Penentuan kadar zat organik di dalam agregat yang digunakan di dalam adukkan beton

B. PERALATAN

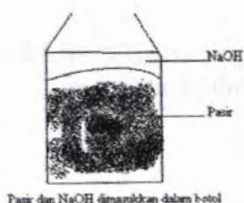
- Botol bening
- Penggaris

C. BAHAN

- Pasir asli
- Botol bening
- NaOH

D. PROSEDUR

- ❖ Isikan agregat halus yang diuji ke dalam botol sampai kurang lebih 130 ml
- ❖ Tambahkan larutan NaOH 3 % sampai 200 ml dan tutup rapat dan kocok kurang lebih 10 menit
- ❖ Diamkan selama 24 jam
- ❖ Selanjutnya amati cairan di atas permukaan agregat halus yang ada dalam botol bandingkan warna. Jika warna cairan dalam botol berisi agregat lebih tua warnanya dari pembanding, berarti dalam agregat berkadar zat organik yang terlalu tinggi. Jika warna cairan dalam botol berisi agregat lebih tua warnanya dari pembanding, berarti dalam agregat berkadar zat organik yang terlalu tinggi



Pasir dan NaOH dimasukkan dalam botol



Botol dikocok dan dibiarkan selama 24 jam



Warna yang terjadi kurang muda

GBR. Alat Test kebersihan pasir terhadap bahan organik

Gambar 3.16 percobaan kebersihan pasir terhadap bahan organik

VI. Tes Kebersihan pasir terhadap lumpur (pengendapan)

A. TUJUAN

Menentukan banyaknya kadar lumpur dalam pasir

B. PERALATAN

- Botol bening
- Penggaris

C. BAHAN

- Pasir asli
- Air

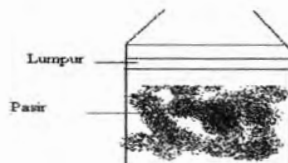
D. PROSEDUR

- ❖ Botol bening diisi pasir dengan tinggi kurang lebih 6 cm
- ❖ Isikan air ke dalam botol hingga hamper penuh dan tutup rapat kemudian dikocok
- ❖ Diamkan selama 24 jam
- ❖ Endapan Lumpur dan pasir masing – masing diukur tingginya

Gambar 3.17 percobaan kebersihan pasir terhadap lumpur



Pasir dan air dikocok dan didiamkan selama 24 jam



24 jam kemudian diukur endapan lumpurnya

GBR. Alat Test kebersihan air terhadap lumpur dengan cara basah

VII. Tes pencucian pasir terhadap lumpur pencucian (ASTM C 117-95)

A. TUJUAN

Mengetahui kadar lumpur pasir

B. PERALATAN

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

C. BAHAN

- Pasir kering oven
- Air

D. PROSEDUR

- ❖ Timbang pasir kering oven sebanyak 500 gram
- ❖ Pasir dicuci hingga bersih yaitu dengan mengaduk pasir dengan air berkali – kali hingga tampak bening
- ❖ Tuangkan air cucian ke dalam saringan no. 200 berkali – kali
- ❖ Pasir yang ikut trtuang dan tertinggal di atas saringan dikembalikan ke dalam pan
- ❖ Pasir di dalam oven dengan suhu $110 + 5$ derajat celcius

B Agregat kasar (Batu Pecah)

I. Percobaan Kelembapan Batu Pecah (ASTM C 556-89)

A. TUJUAN

Untuk mengetahui / menentukan kelembapan kerikil dengan cara kering

B. PERALATAN

- Timbangan 2600 gram
- Oven

- Pan

C. BAHAN

- Kerikil dalam keadaan asli

D. PROSEDUR

- ❖ Kerikil dalam keadaan asli ditimbang sebanyak 500 gram
- ❖ Kerikil dimasukkan ke oven selama 24 jam dengan temperature $(100+5)$ derajat celcius
- ❖ Keluarkan kerikil dari dalam oven setelah dingin kerikil ditimbang beratnya

**II. Percobaan Berat Jenis Batu Pecah
(ASTM C 127-88 Reapp .93)**

A. TUJUAN

Untuk mengetahui berat jenis kerikil dalam kondisi SSD.

B. PERALATAN

- Timbangan 25 kg
- Keranjang kawat yang tergantung pada timbangan
- Oven
- Kain lap

C. BAHAN

- Kerikil dalam kondisi SSD

D. PROSEDUR

- Kerikil yang telah direndam selama 24 jam diangkat kemudian dilap satu per satu
- Timbang sebanyak 3000 gram
- Masukkan keranjang yang berisi kerikil SSD ke dalam air Timbang berat dalam air (keranjang dan kerikil)

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

A. TUJUAN

Menentukan kadar air resapan kerikil

B. PERALATAN

- Timbangan 25 kg
- Oven

C. BAHAN

- Kerikil/batu pecah pada kondisi SSD

D. PROSEDUR

- Timbang kerikil kondisi SSD sebanyak 3000 gram
- Masukkan ke dalam oven selama 24 jam
- Kerikil / batu pecah dikeluarkan setelah dingin timbang beratnya

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

A. TUJUAN

Menentukan berat volume batu pecah baik dalam keadaan lepas maupun padat

B. PERALATAN

- Timbangan
- Takaran berbentuk silinder dengan volume 10 liter
- Alat perojok besi

C. BAHAN

- Kerikil / batu pecah dalam keadaan kering

D. PROSEDUR

❖ Tanpa Rojokkan

- Silinder dalam keadaan kosong ditimbang
- Silinder diisi dengan batu pecah sampai penuh dan angkat setinggi 1 cm jatuhkan ke lantai sebanyak 3 kali kemudian ratakan permukaannya
- Timbang silinder yang sudah terisi batu pecah penuh

❖ Dengan Rojokkan

- Silinder dalam keadaan kosong ditimbang
- Silinder diisi dengan batu pecah sepertiga bagian kemudian dirojok 25 kali isi kembali sepertiga bagian lalu dirojok sebanyak 25 kali kemudian diisi kembali hingga penuh lalu dirojok sebanyak 25 kali
- Permukaannya diratakan
- Timbang silinder yang sudah terisi batu pecah penuh

**V. Tes kebersihan batu pecah terhadap lumpur
(pencucian) (ASTM C 117-95)**

A. TUJUAN

Mengetahui kadar Impur batu pecah

B. PERALATAN

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

C. BAHAN

- Batu pecah kering oven
- Air

D. PROSEDUR

- ❖ Timbang batu pecah kering oven sebanyak 1000 gram
- ❖ Pasir dicuci hingga bersih yaitu dengan mengaduk batu pecah dengan air berkali – kali hingga tampak bening
- ❖ Tuangkan air cucian ke dalam saringan no. 200 berkali – kali
- ❖ Batu pecah yang ikut tertuang di atas saringan dikembalikan lagi ke dalam pan
- ❖ Batu pecah di oven dengan suhu $110 + 5$ derajat celcius

VI. Tes keausan agregat kasar (ASTM C 131-89)

A. TUJUAN

Mengetahui prosentasi keausan batu pecah / kerikil untuk beton dengan menggunakan mesin Los Angeles

B. PERALATAN

- Mesin aus Los Angeles
- Bola baja 12 buah
- Timbangan analisa 2600 gram
- Saringan no. 1 ½
- Saringan no. ¾
- Saringan no. ½
- Saringan no 3/8
- Saringan no. 12 (1,7 mm)

C. BAHAN

Kerikil oven dengan gradasi

Tabel 3.1 Kerikil oven

<i>Gradasi A</i>		<i>Gradasi B</i>
# 1 ½ - 1"	= 1250 gram	-
# 1" - ¾"	= 1250 gram	-
# ¾" - ½"	= 1250 gram	2500 gram
# ½ - 3/8"	= 1250 gram	2500 gram

D. PROSEDUR

- ❖ Batu pecah / kerikil diayak sesuai dengan gradasi di atas
- ❖ Kumpulkan menjadi satu (5000 gram)
- ❖ Masukkan bola baja (12 buah untuk gradasi A dan 11 bola untuk gradasi B)
- ❖ Tutup mesin dan baut sekrup dikeraskan
- ❖ Putar mesin sebanyak 500 kali (selama kurang lebih 15 menit)

- ❖ Tutup mesin dibuka, batu pecah dan bola dikeluarkan
- ❖ Kerikil disaring dengan ayakan no. 12 (1,7 mm)
- ❖ Yang tertinggal di atas saringan di cuci lalu di oven 16 – 24 jam
Setelah 24 jam dikeluarkan, setelah dingin kemudian ditimbang

VII Percobaan analisa ayakan Pasir

- Tujuan
Menentukan distribusi ukuran butir / gradasi pasir
- Peralatan
 - Timbangan analisa 2600 gram
 - Satu set ayakan ASTM-C33
 - Sikat (jika perlu)

Tabel 3.2 Jenis ayakan pasir

Nomor Ayakan	Ukuran diameter lubang
4	4.76
8	2.38
16	1.19
30	0.59
50	0.29
100	0.15
Pan	0

- Bahan
 - Pasir dalam keadaan kering oven
- Prosedur pelaksanaan
 - Timbang pasir sebanyak 500 gram
 - Bersihkan saringan dengan sikat / kuas kemudian disusun.

- Masukan pasir dalam ayakan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas dan diguncang – guncang dengan tangan selama 10 menit
- .Pasir yang tertinggal pada tiap ayakan ditimbang. Perlu untuk kontrol berat pasir keseluruhan 500 gram.
- Gambarkanlah hasil prosentase saringan pada grafik.

VIII Percobaan analisa saringan batu pecah (ASTMC136-95°)

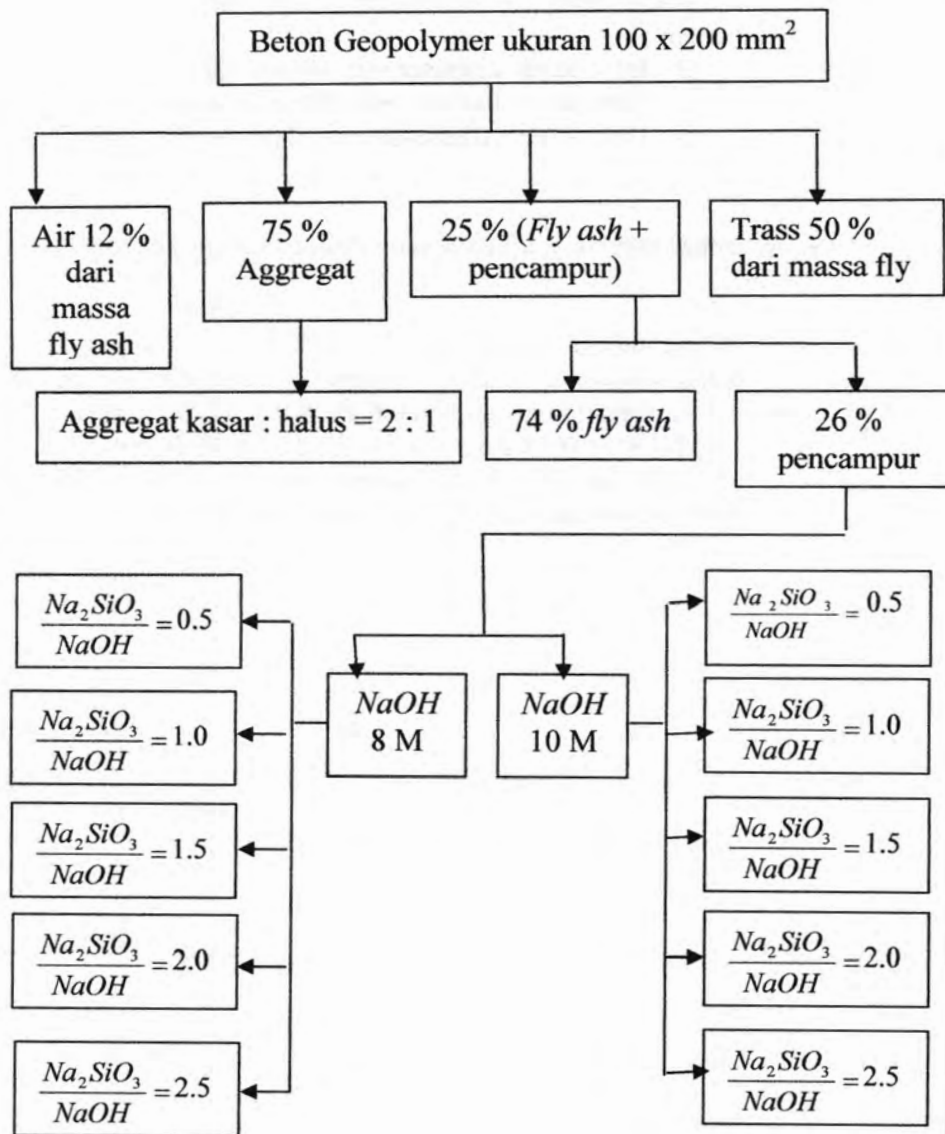
- Tujuan
 - Menentukan distribusi ukuran butir / gradasi batu pecah
- Peralatan
 - Timbangan 25 kg
 - Satu set ayakan ASTM dengan diameter # 3/2", 3/4", 3/8" bila perlu dengan # 4, 75" dan 2,38"
- Bahan
 - Batu pecah dalam keadaan kering oven.
- Prosedur pelaksanaan
 - Masukkan batu pecah ke dalam ayakan yang telah disusun dari ayakan yang paling besar (di atas) sampai pada ayakan yang paling kecil (paling bawah), kemudian diguncang – guncang selama 10 menit.
 - Timbang batu pecah yang tertinggal pada masing-masing ayakan.
 - Mengontrol berat total = 15 kg

CATATAN : bila batu pecah yang tersedia merupakan campuran, maka analisa saringan perlu ditimbang sebagai berikut :

- ❑ Batu pecah diameter max 38mm sebanyak 15 kg
- ❑ Batu pecah diameter max 20mm sebanyak 10 kg
- ❑ Batu pecah diameter max 10mm sebanyak 5 kg

10. Membuat mix design beton geopolimer ukuran 100 x 200 mm²

Dibuat mixed design untuk seluruh variasi komposisi beton geopolimer. Ada 10 komposisi yang akan dibuat dalam penelitian ini yaitu beton TC 8-0.5; TC 8-1 ; TC 8-1.5; TC 8-2; TC 8-2.5 ; TC 10-0.5; TC 10-1; TC 10-1.5; TC 10-2 dan TC 10-2.5. Adapun bagan alir komposisi beton geopolimer dapat dilihat pada bagan berikut :



11. Membuat beton geopolimer ukuran 100 x 200 mm²

Berdasarkan hasil mix desain yang telah dibuat, maka selanjutnya yang akan dilakukan yaitu membuat beton geopolimer. Prosedur pembuatan beton geopolimer ini merujuk pada ASTM C 192-90a. Untuk setiap komposisi campuran, akan dibuat 12 benda uji. Berikut ini adalah akan disajikan langkah – langkah pembuatan beton geopolimer

dengan kadar 8 M dan perbandingan $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 0.5$.

1) Menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.

Alat

1. Seperangkat mixer
2. Cetakan (bekisting) berukuran 100 x 200 mm²
3. Alat perojok dari besi
4. Timbangan

Bahan

1. *NaOH* 8 M = 163.37 gram
2. Na_2SiO_3 = 81.68 gram
3. *Fly ash* = 697.45 gram
4. Trass = 348.72 gram
5. Oli
6. Agg kasar = 1885 gram
7. Agg. halus = 942.5 gram
8. Air = 83.69 gram

Untuk lebih lengkap komposisi dari berbagai variasi beton geopolimer dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.3 kebutuhan bahan beton geopolimer

Beton	Fly Ash (gr)	Trass (gr)	Agg kasar (gr)	Agg halus (gr)	NaOH (gr)	Na ₂ SiO ₃ (gr)	Air (gr)
TC 8-0,5	697.45	348.73	1885	942.5	163.4	81.68	83.69
TC 8-1	697.45	348.73	1885	942.5	122.5	122.53	83.69
TC 8-1,5	697.45	348.73	1885	942.5	98.02	147.03	83.69
TC 8-2	697.45	348.73	1885	942.5	81.68	163.37	83.69
TC 8-2,5	697.45	348.73	1885	942.5	70.01	175.04	83.69
TC 10-0,5	697.45	348.73	1885	942.5	163.4	81.68	83.69
TC 10-1	697.45	348.73	1885	942.5	122.5	122.53	83.69
TC 10-1,5	697.45	348.73	1885	942.5	98.02	147.03	83.69
TC 10-2	697.45	348.73	1885	942.5	81.68	163.37	83.69
TC 10-2,5	697.45	348.73	1885	942.5	70.01	175.04	83.69

Sedang kebutuhan sample benda uji dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.4 kebutuhan benda uji beton geopolimer

Beton	Kebutuhan sampel								
	tekan 3 hr	tekan 7 hr	tekan 14 hr	tekan 21 hr	tekan 28 hr	tarik	XRD	porositas	total
TC 8-0,5	3	3	3	3	3	3	1	3	22
TC 8-1	3	3	3	3	3	3	1	3	22
TC 8-1,5	3	3	3	3	3	3	1	3	22
TC 8-2	3	3	3	3	3	3	1	3	22
TC 8-2,5	3	3	3	3	3	3	1	3	22
TC 10-0,5	3	3	3	3	3	3	1	3	22
TC 10-1	3	3	3	3	3	3	1	3	22
TC 10-1,5	3	3	3	3	3	3	1	3	22
TC 10-2	3	3	3	3	3	3	1	3	22
TC 10-2,5	3	3	3	3	3	3	1	3	22

Keterangan :

- Komposisi berat masing- masing bahan hanya untuk 1 sampel benda uji.
- Beton TC 8-0,5 = NaOH 8M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 0.5$
- Beton TC 8-1 = NaOH 8M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1$
- Beton TC 8-1,5 = NaOH 8M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1.5$
- Beton TC 8-2 = NaOH 8M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2$
- Beton TC 8-2,5 = NaOH 8M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2.5$
- Beton TC 10-0,5 = NaOH 10M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 0.5$
- Beton TC 10-1 = NaOH 10M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1$
- Beton TC 10-1,5 = NaOH 10M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1.5$
- Beton TC 10-2 = NaOH 10M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2$
- Beton TC 10-2,5 = NaOH 10M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2.5$

Kebutuhan total bahan- bahan untuk membuat seluruh sampel dari berbagai jenis beton :

a. Fly ash	= 153439 gr
b. Trass	= 76719.5 gr
c. Agregat kasar	= 414700 gr
d. Agregat halus	= 207350 gr
e. NaOH	= 19282 gr
f. Na_2SiO_3	= 24827.4 gr
g. Air	= 18411.8 gr

- 2) Masukkan *fly ash dan trass* ke dalam wadah lalu aduk bahan tersebut sampai tercampur rata.

- 3) Masukkan $NaOH$ 8 M , Na_2SiO_3 , dan air dalam wadah, aduk lalu di amkan selama ± 30 menit.
- 4) Tuangkan larutan, pasir dan kerikil ke dalam wadah yang telah berisi campuran kering antara fly ash dan trass. Setelah itu, campurkan dengan menggunakan mixer selama ± 3 menit hingga adonan menjadi rata.
- 5) Ambil sedikit adonan untuk *slump test*
- 6) Lumuri cetakkan dengan oli agar beton yang dihasilkan, tidak melengket dengan cetakkan.
- 7) Masukkan adonan geopolymer yang telah rata tersebut ke dalam cetakkan.
- 8) Rojok adonan menggunakan perojok agar campuran mengisi seluruh cetakan
- 9) Setelah terlihat agak sedikit mengeras, ratakan permukaan beton tersebut
- 10) beton TC 8-2apat dilepas dari cetakan setelah mengeras.
- 11) Curing dilakukan dengan cara menutup beton TC 8-2 dengan plastik untuk kemudian disimpan pada suhu ruangan.



Gambar 3.18 Pelumuran oli pada cetakan beton



Gambar 3.19 adonan beton geopolimer



Gambar 3.20 Pencetakan beton geopolimer



Gambar 3.21 curing suhu ruang beton geopolimer

12. Melakukan Slump Test (ASTM C 143-78)

12.1 Tujuan

Untuk mengukur workability dari campuran beton Dan untuk memperoleh keseragaman pemakaian air

12.2 Peralatan

- Tabung kerucut besi
- Alat perojok diameter 16 mm panjang 60 cm
- Mistar
- Plat baja

12.3 Bahan yang diperlukan

- Beton segar

12.4 Prosedur

- Kerucut dibasahi bagian dalamnya, disiapkan diatas baja
- beton dimasukkan dalam kerucut secara bertahap, 1/3 bagian I, II, dan III dirojok masing-masing 25 kali.

- Setelah penuh beton TC 8-2iratakan permukaannya
- Kerucut kita angkat pelan-pelan secara vertikal tanpa gaya horisontal dua torsi, kita biarkan selama 30 detik
- Kerucut kita letakkan di sisi beton TC 8-2 dalam keadaan terbalik dan dengan menggunakan mistar kita ukur selisih tinggi beton Dan kerucut yang merupakan nilai slump.



Gambar 3.22 Slump test beton

13. Melakukan tes tekan dan tarik belah

Dilakukan tes kuat tekan dan tarik terhadap beton geopolimer dilakukan pada usia 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Prosedur tes tekan sesuai dengan ASTM C 39-94. Tes tarik belah dilakukan pada hari ke 28. Setiap pengujian digunakan 3 benda uji untuk diambil rata-rata dari setiap nilai yang diperoleh.



Gambar 3.23 Alat tes tekan beton



Gambar 3.24 Tes tekan beton geopolimer



Gambar 3.25 Tes tarik belah belah beton geopolimer



Gambar 3.26 Kondisi putus tarik beton geopolimer

14. Porositas beton geopolimer(AFNOR NF B 49104)

Tes porositas beton geopolimer ini bertujuan untuk mengetahui besarnya pori terbuka dan pori tertutup yang ada di dalam beton geopolimer tersebut.

1. Peralatan :
 - ❖ Timbangan
 - ❖ Oven
 - ❖ Piknometer
 - ❖ Alat untuk merebus
2. Bahan
 - Benda uji silinder beton geopolimer dengan diameter 100mm dan tinggi 200mm
3. Prosedur
 - Setelah benda uji berumur 28 hari, diambil dari tempat curing kemudian dipotong setinggi 2 cm.
 - Potongan benda uji tersebut direbus selama 5 jam supaya semua pori yang berada di dalamnya terisi air.

- Dalam keadaan basah, potongan benda uji ditimbang dalam air ($= \mu$)
- Kemudian, potongan benda uji ditimbang dalam keadaan SSD ($= Mh$)
- Setelah itu, potongan benda uji dimasukkan ke dalam oven $\pm 100^\circ\text{C}$ selama beberapa hari agar semua air yang ada dalam benda uji keluar semua, dalam keadaan kering tersebut benda uji ditimbang ($= Mo$)
- Potongan benda uji dihancurkan dan kemudian dipisahkan dari agregat kasarnya. Setelah dipisahkan, kemudian dihaluskan sampai lolos ayakan no. 200-0.063
- Contoh yang telah dihaluskan ditimbang ($= mo$) dan dengan alat piknometer diukur volumenya sesuai dengan hukum archimedes yang menyatakan bahwa volume air yang keluar = volume benda yang tercelup di dalamnya. ($= Vo$)
- Perhitungan yang digunakan untuk menentukan pori beton sama dengan perhitungan yang dipakai untuk binder :

- Kepadatan absolut (ρ) adalah perbandingan berat dan volume dalam keadaan halus

$$\rho = \frac{mo}{Vo} \dots\dots\dots (3.33)$$

- Kepadatan visual (α) adalah perbandingan contoh dalam keadaan kering (Mo) terhadap volume yang tampak ($Mh - \mu$)

$$\alpha = \frac{Mo}{Mh - \mu} \dots\dots\dots (3.34)$$

- Porositas total (πt) dalam persen adalah perbandingan volume pori terhadap volume yang tampak

$$\pi t (\%) = 100 \times (1 - \alpha/\rho) \dots\dots\dots (3.35)$$

- Porositas terbuka (π_o) dalam persen adalah perbandingan volume porositas terbuka terhadap yang tampak.

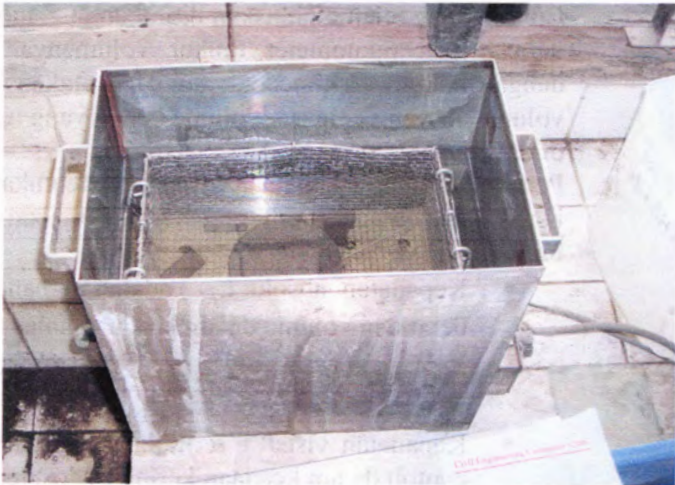
$$\pi_o (\%) = 100 \times \frac{(Mh - Mo)}{(Mh - \mu)} \dots\dots$$

(3.36)

- Porositas tertutup adalah perbandingan porositas tertutup terhadap volume yang tampak

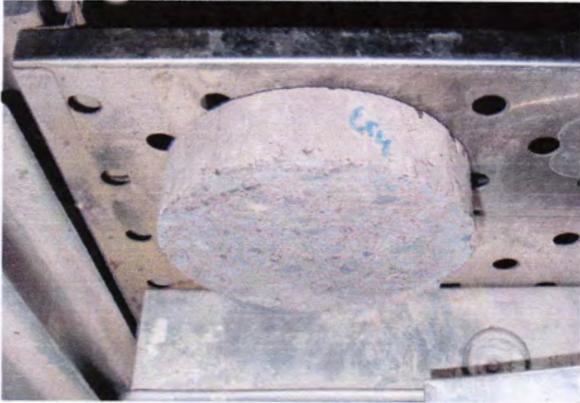
$$\pi_f (\%) = \pi_t - \pi_o \dots\dots\dots$$

(3.37)

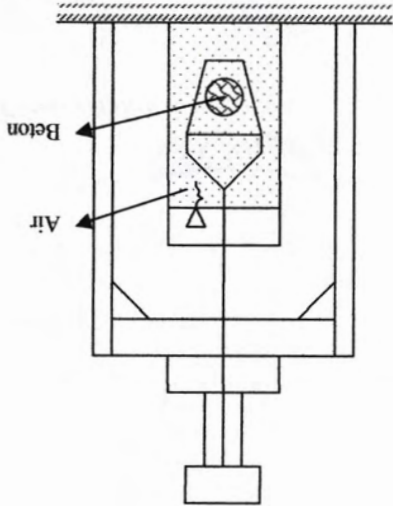


Gambar 3.27 Perebusan beton geopolimer

Gambar 3.29 beton di oven



Gambar 3.28 beton ditimbang dalam air

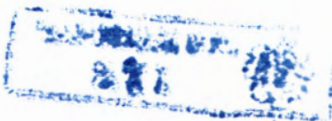




Gambar 3.30 Beton setelah dihaluskan



Gambar 3.31 mengukur vokume serbuk beton



15. Analisa tes tekan dan tarik

Dari hasil tes kuat tekan dan tarik didapat hasil tes tekan dan tarik beton geopolimer yang paling optimum. Tes tekan dilakukan di laboratorium beton Dan bahan bangunan Teknik Sipil ITS. Prosedur sesuai ASTM C 39-94.

16. Analisa perbandingan dengan beton konvensional

16.1. Dasar pembuatan beton konvensional

Beton konvensional direncanakan dengan menggunakan mixed design metode DOE. Kuat tekan rencana merujuk pada hasil tes tekan tertinggi dari penelitian Oktavina Damayanti yang berjudul Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dengan Aktifator Larutan Sodium Hidroksida 8 dan 10 molar yaitu 50 MPa. Trass digunakan sebagai bahan pengisi, jumlah trass yang ditambahkan ialah 50 % dari jumlah semen. Penambahan air dilakukan sesuai dengan penambahan air yang dilakukan pada pembuatan beton geopolimer sebelumnya yaitu 12 % dari jumlah semen.

Tujuan dibuatnya beton konvensional ini ialah untuk membandingkan sifat mekanik antara beton konvensional dan beton geopolimer yaitu kuat tekan, porositas dan tarik belah yang dimiliki. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan sifat mekanik yang dimiliki beton geopolimer jika dibanding dengan beton konvensional.

16.2. Mixed design beton konvensional.

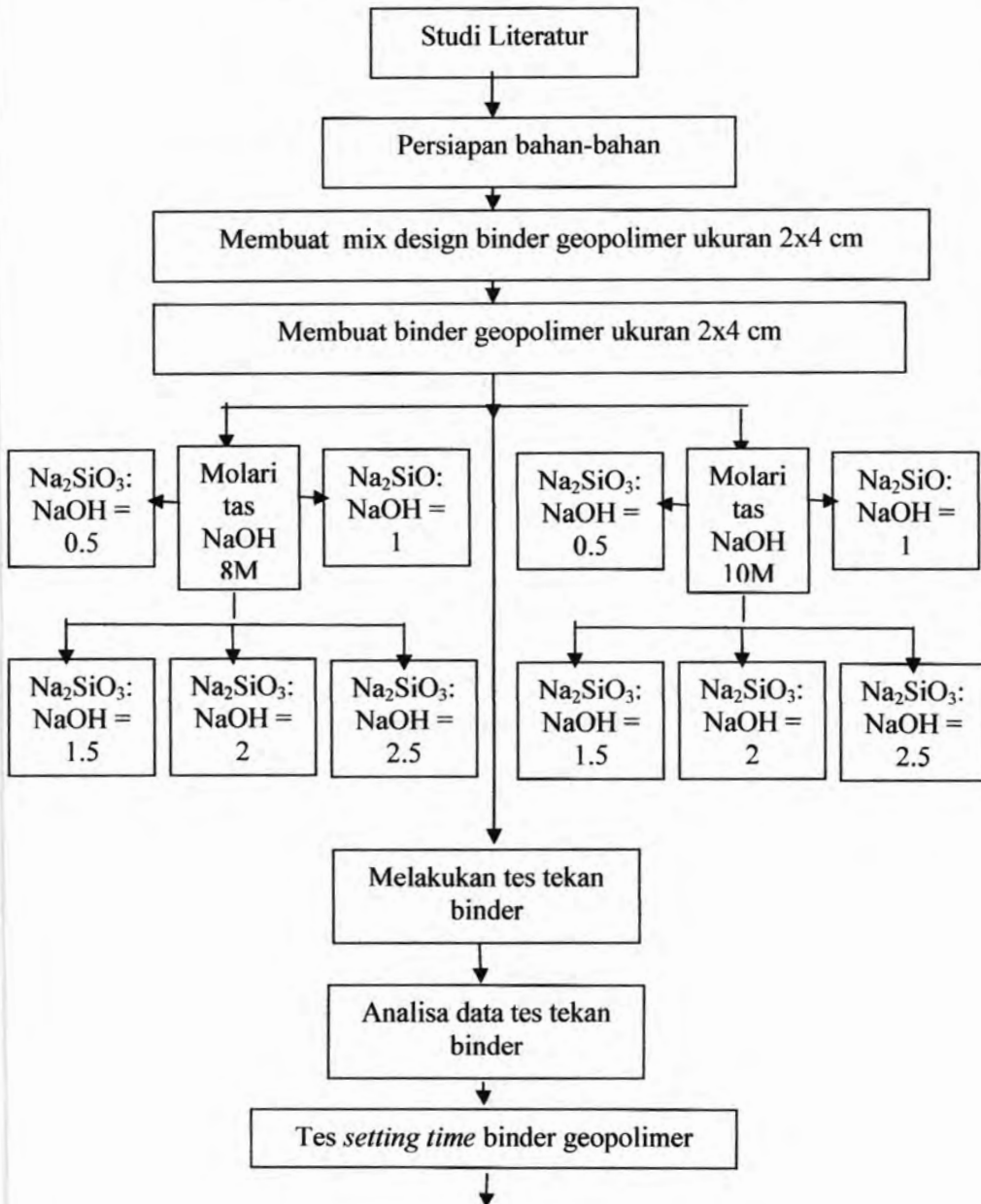
Mixed design beton konvensional menggunakan metode DOE.

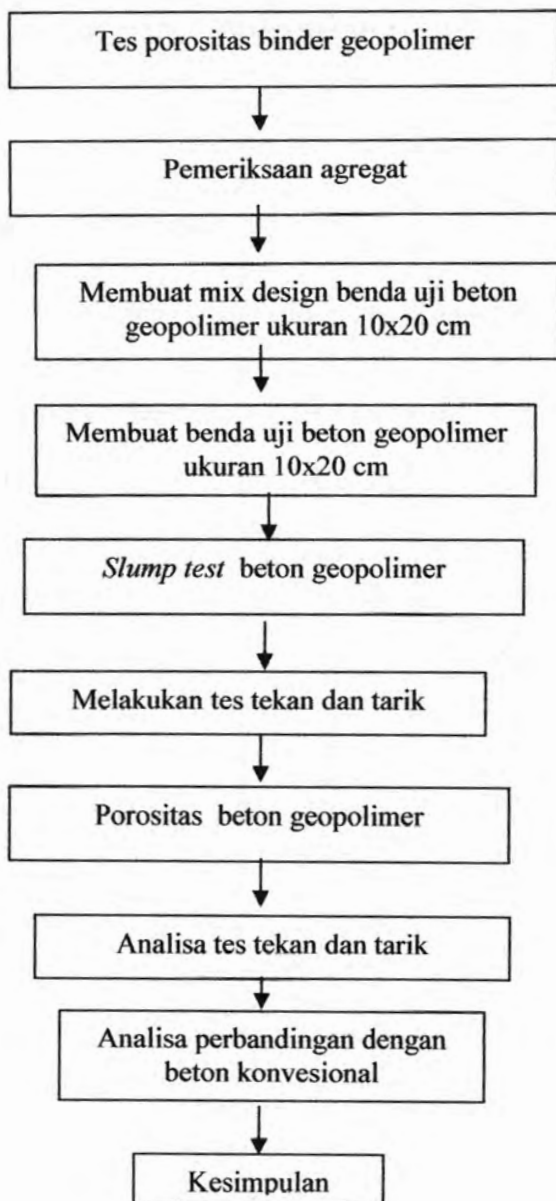


17. Kesimpulan

Merupakan kumpulan hasil – hasil yang diperoleh dari seluruh percobaan. Meliputi hasil tes tekan dari berbagai variasi campuran, waktu pengikatan semen geopolimer serta porositas beton geopolimer

BAGAN ALIR METODOLOGI PENELITIAN





BAB IV DATA DAN ANALISA

4.1 Umum

Dalam bab ini akan dipaparkan seluruh hasil percobaan yang telah dilakukan untuk kemudian di bahas dan di tarik kesimpulan. Hasil tes tekan binder, tekan beton geopolimer, dan tarik beton geopolimer akan di sajikan dalam bentuk tabel dan grafik yang menggambarkan hubungan antara umur beton dan binder dengan kuat tekan dan tariknya dalam satuan MPa.

Tes pengikatan binder dan beton geopolimer merujuk pada ASTM C 191-92 . Data setting time akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik hubungan antara waktu (menit) versus penurunan (mm).

Hasil tes positas binder dan beton di sajikan secara terpisah. Prosedur pengetesan dan olah data merujuk pada AFNOR NF B49104. Hasil akhir penetesan porositas ialah prosentase pori tertutup dan terbuka beton Dan binder geopolimer.

Secara keseluruhan spesifikasi bahan yang dipergunakan untuk seluruh percobaan beton geopolimer antara lain :

1. Fly ash type F dari Paiton
2. Trass Pasuruan
3. Agregat kasar berdiameter 0,5-1 mm
4. Agregat kasar berdiameter 1-2 mm
5. Sodium Hidroksida 8 molar dan 10 molar
6. Rasio Sodium Hidroksida : Sodium Silikat ialah 0.5, 1 , 1.5 , 2 , 2.5
7. Air suling

4.2 Pemeriksaan Material

Material yang diperiksa meliputi agregat halus, agregat kasar, fly ash, dan trass. Tujuan dilakukannya pemeriksaan material ini ialah untuk mengetahui jenis dan mutu material yang digunakan.

4.2.1 Agregat halus

A. Kelembapan pasir (ASTM C 566 – 89)

Tabel 4.1 Data kelembapan pasir

<i>PERCOBAAN NOMOR</i>	<i>1 (gram)</i>	<i>2 (gram)</i>
Berat pasir asli (w1)	500	500
Berat pasir oven (w2)	492	495
Kelembapan pasir (w2 – w1)/w2 x 100%	1,62 %	1,01 %

Dari percobaan didapatkan data sebagai berikut:

Percobaan I = $(500 - 492) / 492 \times 100\% = 1,62 \%$

Percobaan II = $(500 - 485) / 485 \times 100\% = 1,01 \%$

Kelembapan pasir rata-rata = $(1,62 + 1,01) / 2 = 1,315 \%$

Berdasarkan ASTM C 566-89 mengenai kelembapan pasir disebutkan bahwa pasir dinyatakan benar-benar kering kelembapannya jika mencapai angka kurang dari 0.1%

Dari percobaan didapatkan kelembapan pasir sebesar 1.315 % jadi pasir masih belum benar-benar kering.

B. Berat jenis Pasir (ASTM C 128 – 78)

Tabel 4.2 Data berat jenis pasir

<i>PERCOBAAN NOMOR</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
<i>Berat labu + pasir + air (w1) (gram)</i>	1499	1550
<i>Berat pasir SSD (gram)</i>	500	500
<i>Berat labu + pasir (w2) (gram)</i>	1183	1235
<i>Berat jenis pasir = 500 / (500 + w2) – w1</i>	2.72	2.7

Dari percobaan yang dilakukan diperoleh berat jenis pasir:

$$\text{Percobaan I} = 500 / ((500 + 1183) - 1499) = 2.72$$

$$\text{Percobaan II} = 500 / ((500 + 1235) - 1550) = 2.7$$

$$\text{Berat jenis pasir rata-rata} = (2.72 + 2.7) / 2 = 2.71$$

Berdasarkan ASTM C 128 – 78 berat jenis pasir yang disyaratkan adalah yang berada dalam batas 2.4 sampai dengan 2.7. Dari hasil percobaan yang telah dilakukan didapatkan hasil sebesar 2.71. Jadi pasir yang digunakan masih memenuhi persyaratan.

C. Air resapan pasir (ASTM C 128 – 93)

Tabel 4.3 Data air resapan pasir

<i>PERCOBAAN NOMOR</i>	<i>1 (gram)</i>	<i>2 (gram)</i>
<i>Berat pasir SSD</i>	500	500
<i>Berat pasir oven (w1)</i>	486	489
<i>Kadar air resapan = ((500 - w1) / w1) x 100%</i>	2.88 %	2.249 %

Berdasarkan ASTM C 128-93, diketahui bahwa kadar air resapan yang baik antara 1-4 %. Jadi pasir yang digunakan **memenuhi syarat** yaitu 2.565 %.

D. Berat Volume (ASTM C 29 – 91)

Tabel 4.4 Data berat volume pasir

<i>JENIS PERCOBAAN</i>	<i>DENGAN ROJOKKAN</i>	<i>TANPA ROJOKKAN</i>
<i>Berat silinder (w1) (kg)</i>	2.603	2.603
<i>Berat silinder + pasir (w2) (kg)</i>	7.171	7.036
<i>Berat pasir (w2- w1) (kg)</i>	4.568	4.344
<i>Volume silinder (v) (lt)</i>	3	3
<i>Berat volume (w2 – w1) / v (kg/lt)</i>	1.52	1.48

Dari hasil percobaan yang dilakukan diperoleh berat volume pasir sebagai berikut :

Dengan rojokan $BV = 1.52 \text{ kg/lt}$

Tanpa rojokan $BV = 1.48 \text{ kg/lt}$

Selisih berat volume = $1.52 - 1.48 = 0.04 \text{ kg/lt} = 40 \text{ kg/m}^3$

Berdasarkan ASTM C 29-91 ditetapkan bahwa percobaan berat volume pasir antara percobaan yang dilakukan dengan rojokkan dan percobaan tanpa rojokkan yang dilakukan oleh operator yang sama tidak boleh lebih dari 40 kg/m^3 .

Perbedaan berat volume antara yang dirojok dengan yang tidak dirojok adalah sebesar 40 kg/m^3 . Jadi pasir yang digunakan **memenuhi persyaratan**.

E Kadar Zat Organik (ASTM C 40 – 92)

Tabel 4.5 Data kadar zat organik pasir

<i>PERCOBAAN NOMOR</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
<i>Volume pasir (cc)</i>	130	300
<i>Larutan 3 % NaOH (cc)</i>	200	200
<i>Warna yang timbul</i>	Kuning Teh	Kuning cerah

Berdasarkan ASTM C 33-86, dalam penentuan kadar zat organik, warna hasil percobaan harus tidak lebih tua dari warna zat pembanding yaitu NaOH. Jika warnanya lebih tua harus ditolak sebab pasir mengandung zat organik yang merugikan beton.

Dari hasil percobaan, diketahui bahwa warna yang timbul pada cairan dalam botol lebih cerah dari pembanding. Jadi pasir yang digunakan masih **memenuhi syarat**.

F. Kebersihan pasir terhadap lumpur dengan cara pengendapan

Tabel 4.6 Data kebersihan pasir terhadap lumpur dengan cara pengendapan

<i>PERCOBAAN NOMOR</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
<i>Tinggi Lumpur (h) (mm)</i>	1	1.5
<i>Tinggi pasir (H) (cm)</i>	5.9	5.8
<i>Kadar Lumpur = h/H</i>	0.0169	0.0259

Percobaan I = $1/59 \times 100\% = 1.69\%$

Percobaan II = $1.5/58 \times 100\% = 2.59\%$

Kebersihan pasir rata-rata terhadap Lumpur dengan cara pengendapan adalah

$(1.69+2.59)/2 = 2.138\%$

Berdasarkan ASTM C 33- 86 tentang uraian syarat-syarat agregat disebutkan bahwa batas maksimum kadar lumpur adalah sebesar **3%** dari total sampel percobaan.

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan didapatkan hasil sebesar 2.138 %. Jadi pasir yang digunakan **memenuhi persyaratan.**

G. Kebersihan pasir terhadap lumpur (pencucian) (ASTM C 117 – 95)

Tabel 4.7 Data Kebersihan pasir terhadap lumpur (pencucian)

<i>PERCOBAAN NOMOR</i>	<i>1 (gram)</i>	<i>2 (gram)</i>
<i>Berat pasir kering (w1)</i>	500	500
<i>Berat pasir bersih kering (w2)</i>	483.5	480.9
<i>Kadar Lumpur = (w1 - w2)/w1x 100%</i>	3.3%	3.82%

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan oleh didapatkan data sebagai berikut:

Percobaan I = $(500 - 483.5) / 500 \times 100\% = 3.3 \%$

Percobaan II = $(500 - 480.9) / 500 \times 100\% = 3.82\%$

Kebersihan terhadap Lumpur rata-rata adalah $(3.3\% + 3.82\%) / 2 = 3.56\%$

Berdasarkan ASTM C 33 batas maksimum kebersihan pasir terhadap material yang lebih halus dari ayakan no. 200 (75 um) untuk klasifikasi beton umum adalah sebesar 5% dari total sampel percobaan.

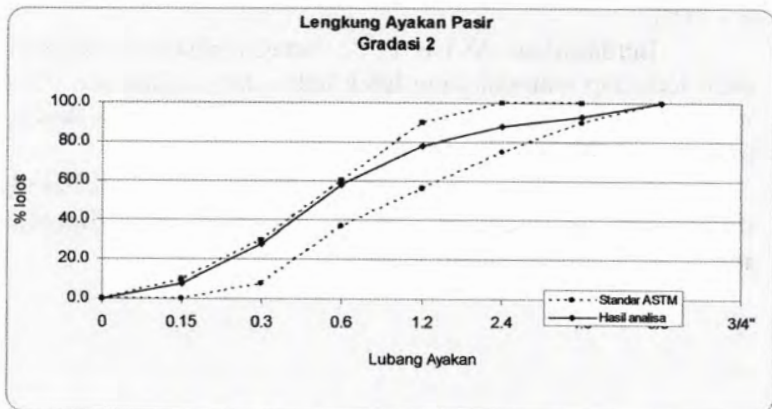
Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan didapatkan hasil sebesar 3.56 %. Jadi pasir yang digunakan **memenuhi persyaratan** yang ada.

H. Analisa ayakan pasir (ASTM C 1366-95a)

Berat jenis : 2.71 kg/l

Tabel 4.8 Analisa ayakan pasir

Ukuran Saringan	Berat tertahan (gram)	%Tertahan	Komulatif %	
			Tertahan	Lolos
4.76	73.2	7.32	7.32	92.72
2.38	85.7	8.53	15.85	84.19
1.19	114.5	11.39	27.24	72.80
0.59	270.9	26.96	54.20	45.84
0.207	329.5	32.79	86.98	13.05
0.149	114.9	11.43	98.41	1.62
0	16.3	1.62	100.04	0.00
Jumlah	1005	100.04	390.04	



Gambar 4.1 lengkung ayakan pasir

4.2.2 Agregat Kasar (Batu Pecah)

A. Kelembaban batu pecah (ASTM C 566 – 89)

Tabel 4.9 Data kelembaban batu pecah

PERCOBAAN NOMOR	1 (gram)	2 (gram)
Berat kerikil asli (w1)	500	500
Berat kerikil oven (w2)	497	492
Kelembaban kerikil = (w2 – w1)/w2 x 100%	0.604 %	1.626 %

Dari hasil percobaan diperoleh kelembaban batu pecah
 $= (0.604\% + 1.626\%) = 1.115\%$

B Berat jenis batu pecah (ASTM C 127-88-93)

Tabel 4.10 Data berat jenis batu pecah

PERCOBAAN NOMOR	1 (gram)	2 (gram)
Berat kerikil di udara (w1)	3000	3000
Berat kerikil di air (w2)	1895	1874
Berat jenis = w1/ (w1-w2)	2.715	2.665

Berdasarkan hasil percobaan didapatkan data sebagai berikut:

Percobaan I = 2.715

Percobaan II = 2.665

Berat jenis kerikil rata – rata adalah $(2.715+2.665)/2 = 2.69 \text{ gr/cm}^3$

Berdasarkan ASTM C 127-88-93 batas berat jenis pasir yang diperbolehkan adalah 2.4 sampai dengan 2.7. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan didapatkan hasil 2.697 maka atas dasar referensi seperti yang telah disebutkan diatas maka batu pecah yang digunakan **memenuhi persyaratan**.

C. Air resapan batu pecah (ASTM C 127 – 88-93)

Tabel 4.11 Data air resapan batu pecah

PERCOBAAN NOMOR	1	2
	(gram)	(gram)
Berat kerikil SSD	3000	3000
Berat kerikil oven (w)	2958	2947
Kadar air resapan= $(3000-w) / w \times 100\%$	1.42 %	1.79 %

Berdasarkan percobaan didapatkan data sebagai berikut:

Percobaan I = 1.42 %

Percobaan II = 1.79 %

Kadar air resapan rata-rata adalah 1.605 %

Berdasarkan ASTM C 127 – 88-93 batas kadar air resapan yang diperbolehkan adalah 1% sampai dengan 2%. Dari hasil percobaan didapatkan hasil kadar air resapan sebesar 1.065 % jadi batu pecah yang digunakan **memenuhi persyaratan** yang ada.

D. Berat volume batu pecah (ASTM C 29 – 91)

Tabel 4.12 Data berat volume batu pecah

JENIS PERCOBAAN	Dengan Rojokan	Tanpa Rojokan
Berat silinder (w1) (kg)	5.039	5.039
Berat silinder + batu pecah (w2) (kg)	20.769	20.041
Berat batu pecah (w2 – w1) – kg	15.730	15.002
Volume silinder (v) (lt)	10	10
Berat volume = (w2 – w1) / v	1.573	1500,2

Dari percobaan diperoleh volume batu pecah:

Dengan rojokkan = $(20.653 - 5.040) / 10 = 1.573$ kg/lt

Tanpa rojokkan = $(19./485 - 5.040) / 10 = 1.500.2$ kg/lt

Berat volume rata-rata = $(1.573 + 1.5002) / 2 = 1.5366$ t/m³

Berdasarkan ASTM C 29-91 batas berat volume yang disyaratkan adalah sebesar 1.4 sampai dengan 1.7. Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan hasil sebesar 1.5 Jadi batu pecah yang digunakan **memenuhi persyaratan.**

E. Kebersihan batu pecah terhadap lumpur dengan cara pencucian (ASTM C 117 – 95)

Tabel 4.13 data kebersihan batu pecah terhadap lumpur dengan cara pencucian

PERCOBAAN NOMOR	1 (gram)	2 (gram)
Berat kering sebelum dicuci (w1)	1000	1000
Berat kering sesudah dicuci (w2)	990	985
Kadar Lumpur = (w1 – w2)/w1 x 100%	1%	1.5%

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan didapatkan data sebagai berikut :

$$\text{Percobaan I} = (1000-990)/1000 \times 100\% = 1\%$$

$$\text{Percobaan II} = (1000-985)/1000 \times 100\% = 1.5\%$$

$$\text{Kadar lumpur pada batu pecah} = (1\%+1.5\%)/2 = 1.25\%$$

Kesimpulan .Dari hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa batu pecah tersebut tidak dapat dipakai untuk campuran beton karena melebihi 1%.

Agar batu pecah dapat dipakai untuk campuran beton, maka harus dilakukan pencucian berberapa kali kemudian diperiksa kadar lumpurnya sampai sesuai dengan ketentuan yaitu $\leq 1\%$.

F. Keausan Agregat kasar (ASTM C 131 – 89)

Tabel 4.14 Data keausan agregat kasar

PERCOBAAN NOMOR	1
Berat sebelum diabrasi (w1)	5000 gram
Berat sesudah diabrasi (w2)	4045 gram
Keausan = (w1 –w2)/w1 x 100 %	19.11%

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan didapatkan data sebagai berikut:

$$\text{Percobaan I} = (5000 - 4045) / 5000 \times 100\% = 19.11\%$$

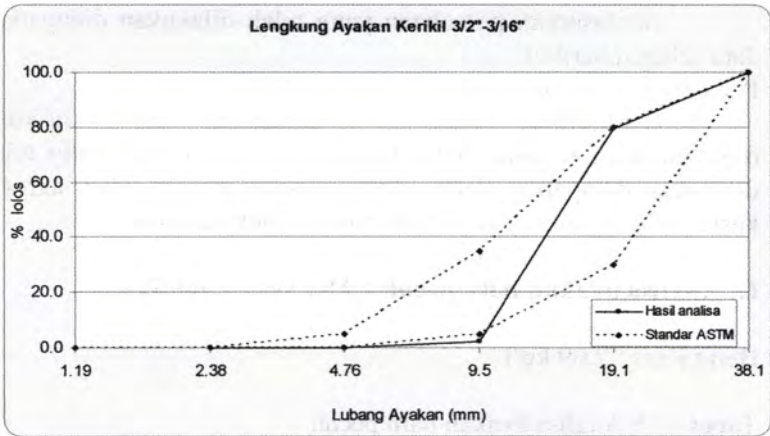
Berdasarkan ASTM C 33 batas abrasi maksimum yang diperbolehkan sebesar **50%**. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan didapatkan kadar abrasi sebesar 19.11%. Jadi agregat kasar yang digunakan masih **memenuhi persyaratan**.

G. Analisa ayakan batu pecah (ASTM C 136-95a)

Berat jenis : 2.69 kg/l

Tabel 4.15 Analisa ayakan batu pecah

Ukuran Saringan	Berat tertahan (gram)	%Tertahan	Komulatif %	
			Tertahan	Lolos
19.1	1258	31.45	31.45	68.55
9.5	2147	53.68	85.13	14.88
4.76	595	14.88	100.00	0.00
2.38	0	0.00	100.00	0.04
1.19	0	0.00	100.00	0.04
0.59	0	0.00	100.00	0.04
0.207	0	0.00	100.00	0.04
0.149	0	0.00	100.00	0.04
0	0	0.00	100.00	0.04
Jumlah	4000		816.58	



Gambar 4.2 lengkung ayakan batu pecah

4.2.4 Fly Ash

Fly ash yang digunakan disini ialah fly ash Paiton. Adapun tes yang dilakukan terhadap material fly ash ialah tes XRD. Tes ini dilakukan untuk mengetahui senyawa yang dikandung oleh fly ash.

Tabel 4.16 Hasil XRD fly ash

Jenis Senyawa	Kadar (%)
SiO ₂	69,32
Fe ₂ O ₃	5.71
Al ₂ O ₃	3.82
CaO	9,96
MgO	6,64
Na ₂ O	1,47
SO ₃	1,67

LOI	0,39
H ₂ O	0,20

Kadar Calcium dari fly ash Paiton ialah 9.96 %, menurut ASTM C 618-84 fly ash yang memiliki kadar calcium kurang dari 10 % digolongkan dalam fly ash klas F.

4.2.5 Trass

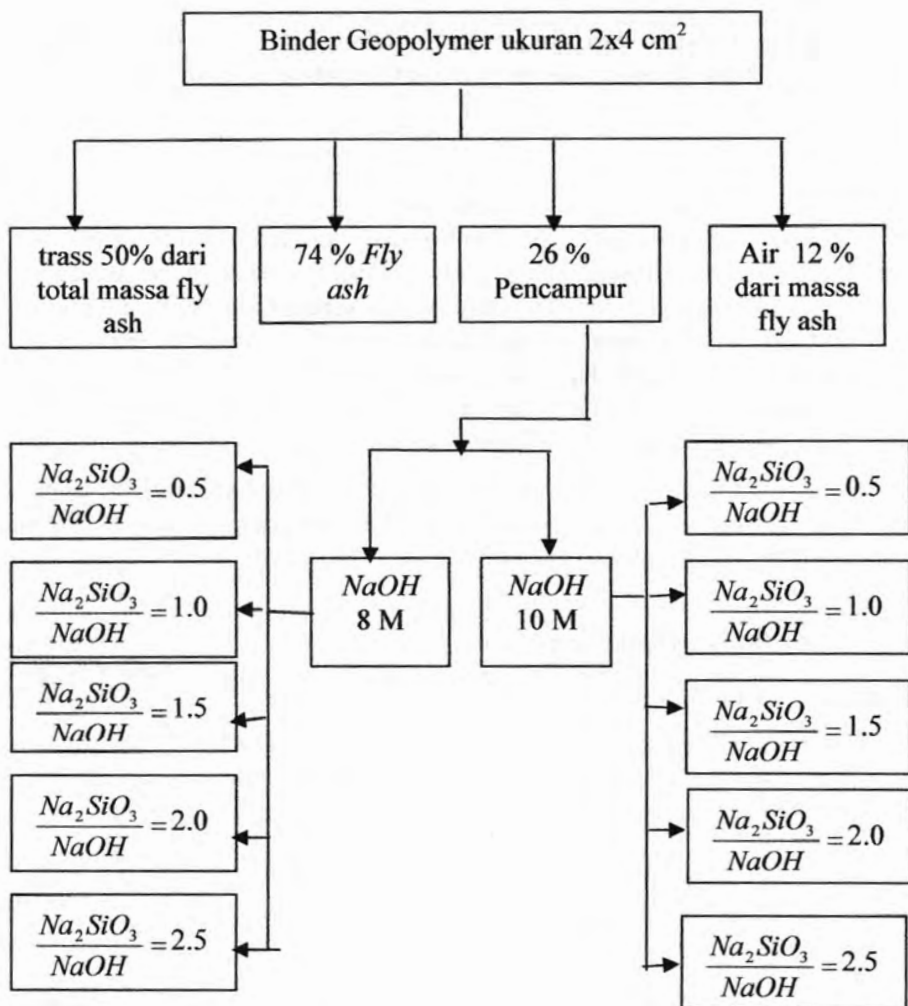
Trass yang digunakan disini ialah trass Pasuruan. Trass jenis ini ternyata tidak amorf hal ini telah dibuktikan di laboratorium dengan cara membuat binder trass murni dengan sodium silikat dan sodium hidroksida sebagai aktifator. Hasilnya binder tidak dapat mengeras. Dengan ini dapat disimpulkan bahwa trass tidak dapat berikatan dengan aktifator tersebut seperti halnya fly ash. Oleh karena itu dalam penelitian ini trass digunakan sebagai bahan pengisi atau filler.

Adapun tes yang dilakukan untuk bahan fly ash ialah XRD. Tes ini dilakukan untuk mengetahui senyawa yang terkandung di dalam trass Pasuruan.

4.3 Binder Geopolimer

Ada 10 variasi komposisi binder geopolimer yang dibuat dalam penelitian ini. Binder dibuat dengan tujuan untuk mendapatkan prediksi sifat mekanik dari beton geopolimer. Binder geopolimer berbentuk silinder dengan ukuran 20x40 mm².

4.3.1 Mixed Design binder geopolimer



- a. Massa 1 silinder binder geopolimer ukuran $20 \times 40 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} \text{Volume 1 silinder} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\ &= \frac{1}{4} \pi (0.02)^2 (0.04) \\ &= 1.257 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \\ \text{Massa 1 silinder} &= \rho \times V \\ &= 2.4 \text{ t/m}^3 \times 1.257 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \\ &= 3.02 \times 10^{-5} \text{ ton} \approx 30.2 \text{ gram} \end{aligned}$$

- b. Massa binder geopolimer = massa *fly ash* + massa pencampur
 30.2 gram = massa *fly ash* + massa pencampur

- c. Massa 74 % binder = 74 % x 30.2 = 22.35 gr

22,35 gram tersebut merupakan massa *fly ash*

- d. Massa trass = 50 % x massa *fly ash*
 = 50 % x 22.35
 = 11.17 gr

- e. Massa pencampur = 26 % massa binder geopolimer
 . Massa pencampur = 26 % x 30.2 gram
 = 7.85 gram

f. Massa pencampur = massa *sodium silikat* + massa *sodium hidroksida*. *Sodium hidroksida* yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 2 macam molaritas yaitu 8 M dan 10 M. Massa *NaOH* 8 M = Massa *NaOH* 10 M = Massa *NaOH* yang digunakan. Untuk menentukan berapa besar massa *sodium hidroksida* dan *sodium silikat* yang dipakai, dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Perbandingan } \frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 0.5$$

$$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 0.5 \rightarrow 0.5 NaOH = Na_2SiO_3$$

$$7.85 = 0.5 NaOH + NaOH$$

$$7.85 = 1.5 NaOH$$

$$NaOH = 5.23 \text{ gram}$$

$$Na_2SiO_3 = 2.62 \text{ gram}$$

Perbandingan $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1.0$

$$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1.0 \rightarrow NaOH = Na_2SiO_3$$

$$7.85 = NaOH + NaOH$$

$$7.85 = 2 NaOH$$

$$NaOH = Na_2SiO_3 = 3.93 \text{ gram}$$

Perbandingan $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1.5$

$$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1.5 \rightarrow 1.5 NaOH = Na_2SiO_3$$

$$7.85 = 1.5 NaOH + NaOH$$

$$7.85 = 2.5 NaOH$$

$$NaOH = 3.14 \text{ gram}$$

$$Na_2SiO_3 = 4.71 \text{ gram}$$

Perbandingan $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 2.0$

$$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 2.0 \rightarrow 2.0 NaOH = Na_2SiO_3$$

$$7.85 = 2.0 NaOH + NaOH$$

$$7.85 = 3 NaOH$$

$$NaOH = 2.62 \text{ gram}$$

$$Na_2SiO_3 = 5.23 \text{ gram}$$

Perbandingan $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 2.5$

$$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 2.5 \rightarrow 2.5 NaOH = Na_2SiO_3$$

$$7.85 = 2.5 NaOH + NaOH$$

$$7.85 = 3.5 NaOH$$

$$NaOH = 2.24 \text{ gram}$$

$$Na_2SiO_3 = 5.61 \text{ gram}$$

Tabel 4.17 Kebutuhan $NaOH$ dan Na_2SiO_3

	$NaOH$ (gram)	Na_2SiO_3 (gram)
$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 0.5$	5.23	2.62
$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1.0$	3.93	3.93
$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1.5$	3.14	4.71
$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 2.0$	2.62	5.23
$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 2.5$	2.24	5.61

Tabel 4.18 kebutuhan bahan dan sampel binder geopolimer

Binder	Fly Ash (gr)	Trass (gr)	NaOH (gr)	Air (gr)	Na ₂ SiO ₃ (gr)	Kebutuhan sampel						
						tekan 3 hr	tekan 7 hr	tekan 14 hr	tekan 21 hr	tekan 28 hr	porositas	total
TB 8-0,5	22.35	11.17	5.23	2.68	2.62	3	3	3	3	3	3	18
TB 8-1	22.35	11.17	3.93	2.68	3.93	3	3	3	3	3	3	18
TB 8-1,5	22.35	11.17	3.14	2.68	4.71	3	3	3	3	3	3	18
TB 8-2	22.35	11.17	2.62	2.68	5.23	3	3	3	3	3	3	18
TB 8-2,5	22.35	11.17	2.24	2.68	5.61	3	3	3	3	3	3	18
TB 10-0,5	22.35	11.17	5.23	2.68	2.62	3	3	3	3	3	3	18
TB 10-1	22.35	11.17	3.93	2.68	3.93	3	3	3	3	3	3	18
TB 10-1,5	22.35	11.17	3.14	2.68	4.71	3	3	3	3	3	3	18
TB 10-2	22.35	11.17	2.62	2.68	5.23	3	3	3	3	3	3	18
TB 10-2,5	22.35	11.17	2.24	2.68	5.61	3	3	3	3	3	3	18

Keterangan :

- Komposisi berat masing- masing bahan hanya untuk 1 sampel benda uji.
- Binder TB 8-0,5 = NaOH 8M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 0.5$
- Binder TB 8-1 = NaOH 8M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1$
- Binder TB 8-1,5 = NaOH 8M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1.5$
- Binder TB 8-2 = NaOH 8M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2$
- Binder TB 8-2,5 = NaOH 8M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2.5$
- Binder TB 10-0,5 = NaOH 10M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 0.5$
- Binder TB 10-1 = NaOH 10M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1$
- Binder TB 10-1,5 = NaOH 10M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1.5$
- Binder TB 10-2 = NaOH 10M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2$
- Binder TB 10-2,5 = NaOH 10M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2.5$

Jumlah total kebutuhan bahan- bahan untuk semua percobaan binder ialah :

- | | |
|------------------------------|-------------|
| a. Fly ash | = 4023 gr |
| b. Trass | = 2010.6 gr |
| c. NaOH | = 617.76 gr |
| d. Na_2SiO_3 | = 795.6 gr |
| e. Air | = 482.4 gr |

4.3.2 Pengaruh perbandingan aktifator terhadap kuat tekan binder geopolimer.

Pada tabel 4.19 akan disajikan hasil kuat tekan binder geopolimer campuran TB 8-0,5 sampai dengan TB 10-2.5. Rasio antara Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida yang digunakan ialah 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5. Molaritas NaOH yang dipergunakan ialah 8 dan 10 molar.

Tabel 4.19 kuat tekan binder geopolimer

Kode binder												
	3 hr				7 hr				14 hr			
	P (kg)	σ (kg/cm ²)	Rt2 (kg/cm ²)	σ (MPa)	P (kg)	σ (kg/cm ²)	Rt2 (kg/cm ²)	σ (MPa)	P (kg)	σ (kg/cm ²)	Rt2 (kg/cm ²)	σ (MPa)
TB 8-0.5	124	39.49	37.58	3.81	260	82.80	75.48	7.65	460	146.50	171.97	17.42
	112	35.67			214	68.15			620	197.45		
TB 8-1	354	112.74	97.77	9.90	552	175.80	168.15	17.03	802	255.41	229.62	23.26
	260	82.80			504	160.51			640	203.82		
TB 8-1.5	340	108.28	141.72	14.36	800	254.78	250.00	25.32	792	252.23	253.82	25.71
	550	175.16			770	245.22			802	255.41		
TB 8-2	534	170.06	188.85	19.13	806	256.69	257.32	26.07	812	258.60	258.28	26.16
	652	207.64			810	257.96			810	257.96		
TB 8-2.5	714	227.39	215.61	21.84	804	256.05	256.05	25.94	810	257.96	257.96	26.13
	640	203.82			804	256.05			810	257.96		
TB 10-0.5	50	15.92	15.92	1.61	140	44.59	38.22	3.87	140	44.59	44.59	4.52
	50	15.92			100	31.85			140	44.59		
TB 10-1	102	32.48	45.22	4.58	180	57.32	57.32	5.81	212	67.52	71.97	7.29
	182	57.96			180	57.32			240	76.43		
TB 10-1.5	580	184.71	170.38	17.26	550	175.16	171.97	17.42	802	255.41	255.41	25.87
	490	156.05			530	168.79			802	255.41		
TB 10-2	806	256.69	246.18	24.94	804	256.05	255.73	25.90	808	257.32	257.96	26.13

	740	235.67			802	255.41			812	258.60		
TB 10-2.5	710	226.11	211.46	21.42	812	258.60	257.96	26.13	810	257.96	257.96	26.13
	618	196.82			808	257.32			810	257.96		

Lanjutan tabel 4.19

Kode binder	kuat tekan							
	21 hr				28 hr			
	P (kg)	σ (kg/cm ²)	Rt2 (kg/cm ²)	σ (MPa)	P (kg)	σ (kg/cm ²)	Rt2 (kg/cm ²)	σ (MPa)
TB 8-0.5	800	254.78	255.41	25.87	875	278.66	274.68	27.82
	804	256.05			850	270.70		
TB 8-1	806	256.69	257.32	26.07	864	275.16	276.11	27.97
	810	257.96			870	277.07		
TB 8-1.5	818	260.51	260.51	26.39	1000	318.47	350.32	35.49
	818	260.51			1200	382.17		
TB 8-2	812	258.60	259.87	26.32	1175	374.20	358.28	36.29
	820	261.15			1075	342.36		
TB 8-2.5	812	258.60	259.55	26.29	1250	398.09	386.15	39.12
	818	260.51			1175	374.20		
TB 10-0.5	180	57.32	57.32	5.81	210	66.88	66.88	6.77
	180	57.32			210	66.88		

TB 10-1	380	121.02	136.94	13.87	490	156.05	149.68	15.16
	480	152.87			450	143.31		
TB 10-1.5	850	270.70	282.80	28.65	940	299.36	299.36	30.32
	926	294.90			940	299.36		
TB 10-2	850	270.70	288.22	29.20	1100	350.32	390.13	39.52
	960	305.73			1350	429.94		
TB 10-2.5	1600	509.55	429.94	43.55	1650	525.48	445.86	45.16
	1100	350.32			1150	366.24		

Keterangan :

Rt2 = kuat tekan rata-rata

Dari data kuat tekan binder di atas kita dapat melihat campuran TB 8-0,5 dan TB 8-1 memiliki kadar molaritas NaOH yang sama akan tetapi karena perbedaan rasio Sodium Silikat : Sodium Hidroksida yang berbeda. Keduanya memiliki kuat tekan yang berbeda. Untuk molaritas 8 molar binder TB 8-2,5 memiliki kuat tekan paling tinggi yaitu 39.12 MPa, sedangkan untuk molaritas 10 molar TB 10-2,5 memiliki kuat tekan tertinggi yaitu 45.16 MPa.

Merujuk pada data tes tekan binder pada tabel 4.1 dapat disimpulkan bahwa rasio perbandingan Sodium Silikat : Sodium Hidroksida yang menghasilkan kuat tekan binder optimum ialah perbandingan 2.5.



Gambar 4.3 hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 8-0,5

Dari gambar 4.3 dapat dilihat bahwa binder TB 8-0,5 mengalami kenaikan kuat tekan paling signifikan pada usia 7-14 hari yaitu 9,61 MPa. Kuat tekan usia 28 hari 27.82 MPa. Dari grafik 4.1 dapat kita lihat pola kuat tekan binder TB 8-0,5 yang terus mengalami kenaikan sampai usia 28 hari. Hal

ini menunjukkan bahwa kuat tekan binder TB 8-0,5 pada usia 28 hari belum konstan dalam arti masih dimungkinkan terjadi kenaikan kuat tekan setelah usia binder melebihi 28 hari. Kondisi ini diperkirakan disebabkan oleh rendahnya kadar katalisator yaitu Na_2SiO_3 yang berfungsi mempercepat reaksi polimerisasi. Karena reaksi polimerisasi yang terjadi lambat sehingga pada usia 28 hari beton TB 8-0.5 belum memiliki kuat tekan maksimumnya.

Tabel 4.20 prosentase kenaikan kuat tekan binder TB 8-0,5

Usia	% kuat tekan
3	13.681
7	27.478
14	62.609
21	92.986
28	100

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa binder TB 8-0,5 memiliki 50 % kuat tekan usia 28 harinya pada usia 14 hari yaitu sebesar 62.609 %. Binder TB 8-0,5 tergolong lambat dalam mencapai kuat tekan optimumnya karena untuk beton normal, pada usia 3-7 hari sudah didapatkan 50% kuat tekan usia 28 harinya.





Gambar 4.4 hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 8-1

Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa kuat tekan binder TB 8-1 pada usia 28 hari mencapai 27.97 MPa. Kenaikan yang terjadi pada setiap usia tes tekan relatif stabil. Kenaikan signifikan terjadi pada usia 0- 3 hari mencapai 9.77 MPa. Binder TB 8-1 memiliki kenaikan kuat tekan yang signifikan pada usia yang relatif muda daripada yang terjadi pada binder TB 8-0,5. Sama halnya dengan binder TB 8-0,5 binder TB 8-1 belum memiliki kuat tekan yang relatif konstan sampai usia 28 hari yang memungkinkan terjadinya kenaikan kuat tekan setelah berusia 28 hari.

Tabel 4.21 prosentase kenaikan kuat tekan binder TB 8-1

Usia	% kuat tekan
3	35.409
7	60.900
14	83.160
21	93.195
28	100.000

Dari tabel dapat dilihat bahwa binder TB 8-1 memiliki 50% kuat tekannya pada usia 7 hari yaitu sebesar 60.9 %. Kenaikan kuat tekan binder TB 8-1 lebih cepat daripada binder TB 8-0,5. Terbukti bahwa binder geopolimer memiliki kuat tekan tinggi pada usia yang relatif muda dibanding beton konvensional.(Hardjito, 2004)



Gambar 4.5 hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 8-1.5

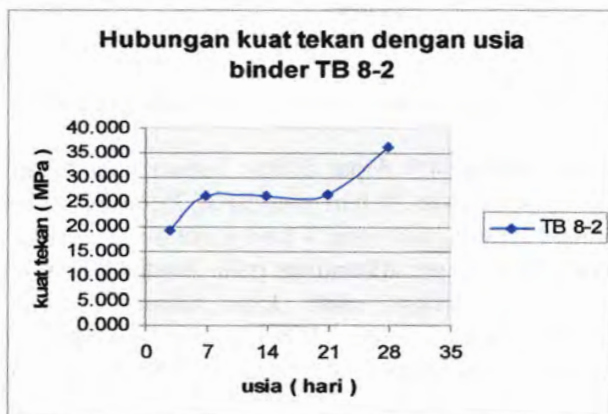
Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa kuat tekan binder TB 8-1,5 pada usia 28 hari mencapai 35.49 MPa. Kenaikan signifikan terjadi pada usia 3 hari yaitu 14.172 MPa. Angka ini jauh lebih tinggi dibanding pada binder TB 8-1 di usia yang sama. Dengan data kuat tekan tersebut dapat disimpulkan bahwa binder TB 8-1,5 memiliki kuat tekan yang tinggi pada usia yang relatif muda karena pada usia 3 hari kuat tekan binder mencapai kurang lebih 50 % dari kuat tekan hari ke 28 nya. Pada usia 7 sampai 21 hari kuat tekan binder TB 8-15 cukup stabil, akan tetapi kenaikan yang cukup

signikan terjadi setelah usia 21 hari. Dari grafik 4.3 dapat dilihat bahwa sampai usia 28 hari binder belum memiliki kuat tekan yang stabil, sama halnya dengan binder TB 8-0,5 dan B kuat tekan binder TB 8-1,5 masih dimungkinkan akan mengalami kenaikan setelah usia 28 hari.

Tabel 4.22 prosentase kenaikan kuat tekan binder TB 8-1,5

Usia	% kuat tekan
3	40.455
7	71.364
14	72.455
21	74.364
28	100.000

Dari tabel dapat dilihat bahwa binder TB 8-1,5 memiliki 50% kuat tekannya pada usia 7 hari yaitu sebesar 71.364 %. Pada usia 3 hari binder sudah memiliki kuat tekan 40% dari kuat tekan usia 28 harinya. Dari perilaku binder di atas terbukti bahwa binder geopolimer memiliki kuat tekan tinggi pada usia yang relatif muda. (Hardjito, 2004)



Gambar 4.6 hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 8-2

Dari gambar 4.6 dapat dilihat bahwa binder TB 8-2 memiliki kuat tekan 36.29 MPa pada usia 28 hari. Kenaikan signifikan terjadi pada hari ke 0-3 yaitu mencapai 14 MPa. Dengan data kuat tekan tersebut dapat disimpulkan bahwa binder TB 8-2 memiliki kuat tekan yang tinggi pada usia yang relatif muda karena pada usia 3 hari kuat tekan binder mencapai kurang lebih 50 % dari kuat tekan hari ke 28 nya. Pada range usia 7 – 21 hari kuat tekan binder relatif stabil, tetapi setelah hari ke 21 terjadi kenaikan kuat tekan yang cukup drastis yaitu mencapai 9.841 MPa. Dari perilaku ini dapat dimungkinkan binder masih akan mengalami kenaikan kuat tekan setelah usia 28 hari.

Tabel 4.23 prosentase kenaikan kuat tekan binder TB 8-2

Usia	% kuat tekan
3	52.711
7	71.822
14	72.089
21	72.533
28	100.000

Dari tabel dapat dilihat bahwa binder TB 8-2 memiliki 50% kuat tekannya pada usia 3 hari yaitu sebesar 52.71%. Dari perilaku binder di atas terbukti bahwa binder geopolimer memiliki kuat tekan tinggi pada usia yang relatif muda. (Hardjito 2004)



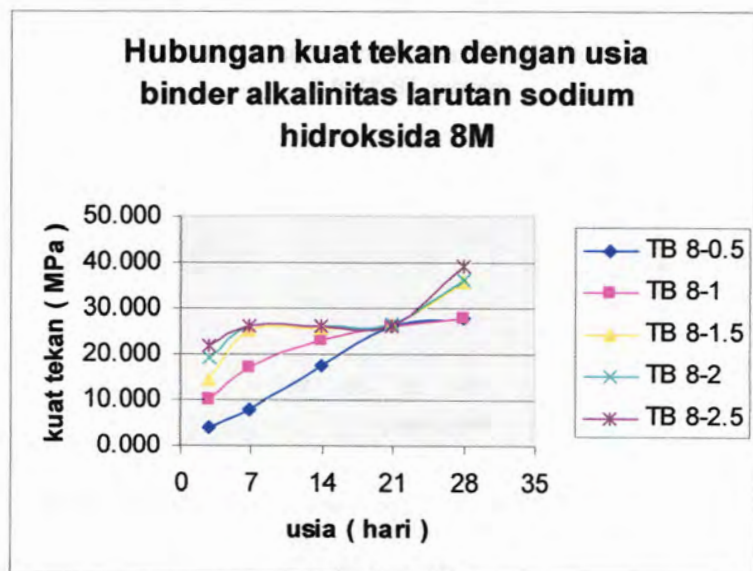
Gambar 4.7 hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 8-2,5

Dari gambar 4.7 dapat dilihat bahwa binder TB 8-2,5 memiliki kuat tekan 39.12 MPa pada usia 28 hari. Kenaikan signifikan terjadi pada hari ke 0-3 yaitu mencapai 18.88 MPa. Dengan data kuat tekan tersebut dapat disimpulkan bahwa binder TB 8-2.5 memiliki kuat tekan yang tinggi pada usia yang relatif muda karena pada usia 3 hari kuat tekan binder mencapai kurang lebih 50 % dari kuat tekan hari ke 28 nya. Pada range usia 7 – 21 hari kuat tekan binder relatif stabil, tetapi setelah hari ke 21 terjadi kenaikan kuat tekan yang cukup drastis yaitu mencapai 12.66 MPa. Dari perilaku ini dapat dimungkinkan binder masih akan mengalami kenaikan kuat tekan setelah usia 28 hari.

Tabel 4.24 prosentase kenaikan kuat tekan binder TB 8-2.5

Usia	% kuat tekan
3	55.835
7	66.309
14	66.804
21	67.216
28	100

Dari tabel dapat dilihat bahwa binder TB 8-2,5 memiliki 50% kuat tekannya pada usia 3 hari yaitu sebesar 55.83%. Dari perilaku binder di atas terbukti bahwa binder geopolimer memiliki kuat tekan tinggi pada usia yang relatif muda. (Hrdjito, 2004)



Gambar 4.8

Hubungan kuat tekan dengan usia binder alkalinitas larutan sodium hidroksida 8 molar

Dari gambar 4.8 dapat dilihat trend perilaku binder dengan molaritas yang sama tetapi memiliki rasio perbandingan perbandingan Sodium Silikat : Sodium Hidroksida yang berbeda memiliki trend yang berbeda pula. Hal ini menunjukkan bahwa ratio perbandingan sodium silikat : Sodium Hidroksida memegang peran penting dalam penentuan kuat tekan binder. Dari gambar 4.6 dapat dilihat bahwa seluruh binder Dengan molaritas 8M memiliki perilaku yang hampir sama yaitu mengalami kenaikan kuat tekan signifikan pada usia 0 – 3 hari, antara usia 7-21 kuat tekan relatif stabil , akantetapi setelah usia 21 hari kuat tekan binder naik drastis. Melihat perilaku binder yang belum memiliki kuat tekan yang relatif stabil hingga hari ke 28, masih dimungkinkan terjadinya kenaikan kuat tekan binder setelah usia 28 hari.



Gambar 4.9 hubungan kuat tekan dengan usia TB 10-0,5

Dari gambar 4.9 dapat dilihat bahwa TB 10-0,5 memiliki kuat tekan 6.77 MPa pada usia 28 hari. Kuat tekan TB 10-0,5 lebih rendah dibanding binder TB 8-0,5 yang memiliki rasio

perbandingan Sodium silikat : Sodium hidroksida yang sama dengan molaritas NaOH yang berbeda yaitu 8M. Kenaikan signifikan terjadi pada hari ke 0-3 yaitu 1.59 MPa. Sampai hari ke 28 kuat tekan TB 10-0,5 masih belum konstan dan masih menunjukkan kenaikan. Dari perilaku ini dapat dimungkinkan binder masih akan mengalami kenaikan kuat tekan setelah usia 28 hari.

Tabel 4.25 prosentase kenaikan kuat tekan binder TB 10-0.5

Usia	% kuat tekan
3	23.810
7	57.143
14	66.667
21	85.714
28	100.000

Dari tabel dapat dilihat bahwa binder TB 10-0,5 memiliki 50% kuat tekannya pada usia 7 hari yaitu sebesar 57.14%. Dari perilaku binder di atas terbukti bahwa binder geopolimer memiliki kuat tekan tinggi pada usia yang relatif muda.



Gambar 4.10 hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 10-1

Dari gambar 4.8 dapat dilihat bahwa binder TB 10-1 memiliki kuat tekan 15.16 MPa pada usia 28 hari. Kenaikan signifikan terjadi pada hari ke 7-21 yaitu mencapai 6 MPa. Sampai hari ke 28 kuat tekan TB 10-0,5 sudah hampir konstan. Walaupun masih dimungkinkan untuk terjadi kenaikan, kenaikan yang terjadi tidak akan signifikan

Tabel 4.26 prosentase kenaikan kuat tekan binder TB 10-1

Usia	% kuat tekan
3	30.213
7	38.298
14	48.085
21	91.489
28	100.000

Dari tabel dapat dilihat bahwa binder TB 10-1 memiliki 50% kuat tekannya pada usia 14 hari yaitu sebesar 48.085%. Kuat tekan binder TB 10-1 naik dengan lambat. Pada binder lain didapat kuat tekan 50 % dari kuat tekan usia 28 hari pada usia 7 hari. Dapat disimpulkan bahwa binder TB 10-1 tidak memiliki sifat memiliki kuat tekan tinggi pada usia yang relatif muda.



Gambar 4.11 hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 10-1.5

Dari gambar 4.11 dapat dilihat bahwa binder TB 10-1.5 memiliki kuat tekan 30.32 MPa pada usia 28 hari. Kenaikan signifikan terjadi pada hari ke 0-3 yaitu mencapai 17.19 MPa. Dengan data kuat tekan tersebut dapat disimpulkan bahwa binder TB 10-1.5 memiliki kuat tekan yang tinggi pada usia yang relatif muda karena pada usia 3 hari kuat tekan binder mencapai kurang lebih 50 % dari kuat tekan hari ke 28 nya. Sampai hari ke 28 kuat tekan binder TB 10-1.5 sudah hampir konstan. Walaupun masih dimungkinkan untuk terjadi kenaikan, kenaikan yang terjadi tidak akan signifikan

Tabel 4.27 prosentase kenaikan kuat tekan binder TB 10-1.5

Usia	% kuat tekan
3	56.915
7	57.447
14	85.319
21	94.468
28	100.000

Dari tabel dapat dilihat bahwa binder TB 10-1,5 memiliki 50% kuat tekannya pada usia 3 hari yaitu sebesar 56.915 %. Dari perilaku binder di atas terbukti bahwa binder geopolimer memiliki kuat tekan tinggi pada usia yang relatif muda.



Gambar 4.12 hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 10-2

Dari gambar 4.12 dapat dilihat bahwa binder TB 10-2 memiliki kuat tekan 39.52 MPa pada usia 28 hari. Kenaikan signifikan terjadi pada hari ke 0-3 yaitu mencapai 24.62 MPa. Dengan data kuat tekan tersebut dapat disimpulkan bahwa binder TB 10-2 memiliki kuat tekan yang tinggi pada usia yang relatif muda karena pada usia 3 hari kuat tekan binder mencapai kurang lebih 50 % dari kuat tekan hari ke 28 nya. Pada range usia 7 – 21 hari kuat tekan binder relatif stabil, tetapi setelah hari ke 21 terjadi kenaikan kuat tekan yang cukup drastis yaitu mencapai 10.19 MPa. Sampai hari ke 28 kuat tekan binder TB 10-2 masih belum konstan dan masih menunjukkan kenaikan. Dari perilaku ini dapat dimungkinkan binder masih akan mengalami kenaikan kuat tekan setelah usia 28 hari.

Tabel 4.28 prosentase kenaikan kuat tekan binder TB 10-2

Usia	% kuat tekan
3	63.102
7	65.551
14	66.122
21	73.878
28	100

Dari tabel dapat dilihat bahwa binder TB 10-2 memiliki 50% kuat tekannya pada usia 3 hari yaitu sebesar 63.102 %. Dari perilaku binder di atas terbukti bahwa binder geopolimer memiliki kuat tekan tinggi pada usia yang relatif muda.



Gambar 4.13 hubungan kuat tekan dengan usia TB 10-2,5

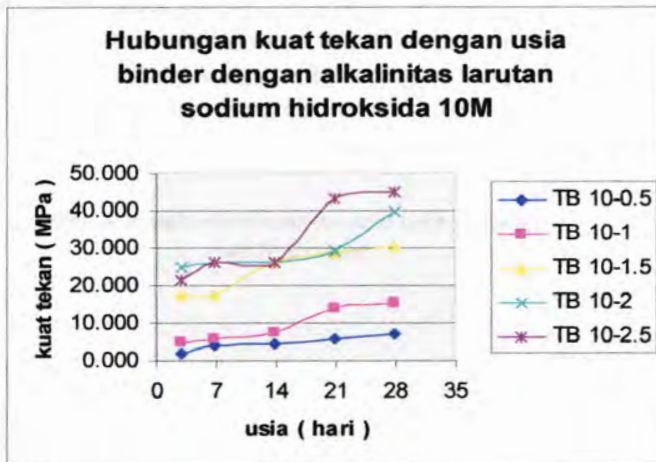
Dari gambar 4.13 dapat dilihat bahwa TB 10-2,5 memiliki kuat tekan 45.16 MPa pada usia 28 hari. Kenaikan signifikan terjadi pada hari ke 0-3 yaitu mencapai 21.15 MPa. Dengan data kuat tekan tersebut dapat disimpulkan bahwa TB 10-2,5 memiliki kuat tekan yang tinggi pada usia yang relatif muda karena pada usia 3 hari kuat tekan binder mencapai kurang lebih 50 % dari kuat tekan hari ke 28 nya. Pada range usia 3 – 14 hari kuat tekan binder relatif stabil,

tetapi setelah hari ke 14 terjadi kenaikan kuat tekan yang cukup drastis yaitu mencapai 17.19 MPa. Sampai hari ke 28 kuat tekan TB 10-2,5 sudah hampir konstan. Walaupun masih dimungkinkan untuk terjadi kenaikan, kenaikan yang terjadi tidak akan signifikan.

Tabel 4.29 prosentase kenaikan kuat tekan binder TB 10-2.5

Usia	% kuat tekan
3	47.429
7	57.857
14	66.122
21	96.429
28	100.000

Dari tabel dapat dilihat bahwa binder TB 10-2.5 memiliki 50% kuat tekannya pada usia 3 hari yaitu sebesar 47.429 %. Dari perilaku binder di atas terbukti bahwa binder geopolimer memiliki kuat tekan tinggi pada usia yang relatif muda.

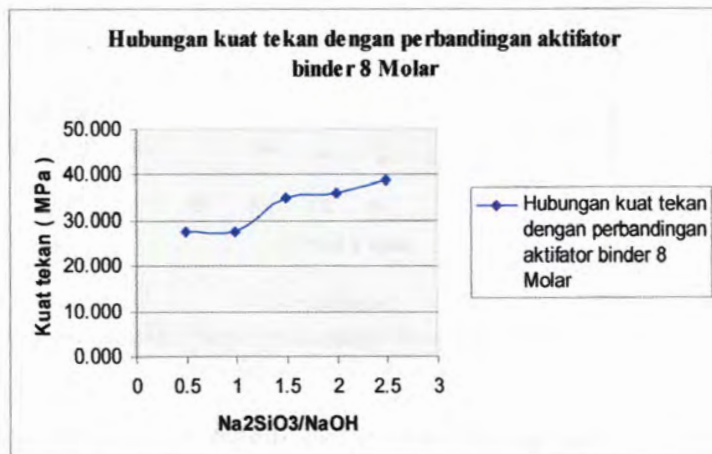


Gambar 4.14

Hubungan kuat tekan dengan usia binder alkalinitas larutan sodium hidroksida 10M

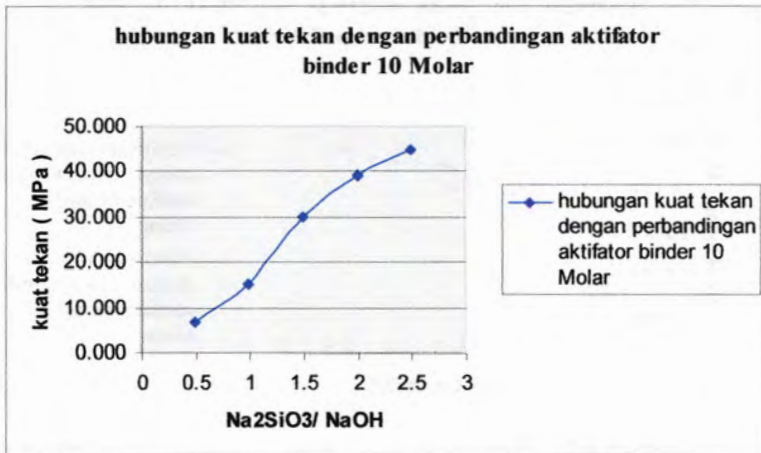
Dari gambar 4.14 dapat dilihat trend perilaku binder dengan molaritas yang sama yaitu 10M tetapi memiliki rasio perbandingan perbandingan Sodium Silikat : Sodium Hidroksida yang berbeda memiliki trend yang berbeda pula. Hal ini menunjukkan bahwa ratio perbandingan sodium silikat : Sodium Hidroksida memegang peran penting dalam penentuan kuat tekan binder. Dari gambar 4.12 dapat dilihat bahwa hampir seluruh binder dengan molaritas 10M memiliki perilaku yang hampir sama yaitu mengalami kenaikan kuat tekan signifikan pada usia 0 – 3 hari, antara usia 7-21 kuat tekan relatif stabil, akan tetapi setelah usia 21 hari kuat tekan binder naik drastis. Kecuali untuk TB 10-2,5 kenaikan drastis kembali setelah usia 14 hari bukan 21 hari seperti binder yang lain. Secara umum sebagian besar binder masih mengalami kenaikan kuat tekan setelah hari ke 28. Binder TB 10-2 dan TB 10-0.5 sampai hari ke 28 masih belum memiliki kuat tekan yang konstan artinya binder ini masih menunjukkan

kenaikan yang cukup signifikan setelah hari ke 28. Binder TB 10-1, TB 10-1.5, TB 10-2.5 sudah memiliki kuat tekan yang konstan sampai hari ke 28. Walau masih dimungkinkan terjadi kenaikan kuat tekan, akan tetapi kenaikan yang terjadi tidak akan terlalu signifikan.



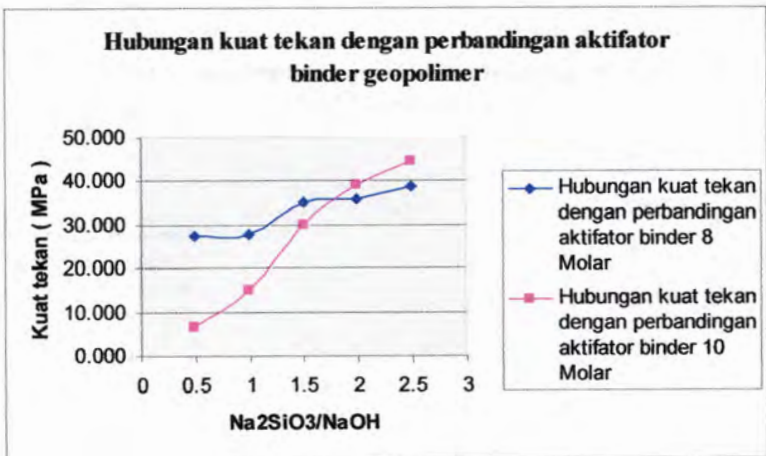
Gambar 4.15 Hubungan kuat tekan dengan perbandingan aktifator binder geopolimer 8 Molar

Dari gambar 4.15 dapat dilihat pengaruh perbandingan aktifator terhadap kuat tekan binder geopolimer bermolaritas NaOH 8 Molar. Semakin tinggi perbandingan aktifatornya semakin tinggi pula kuat tekan usia 28 harinya. Hal ini menunjukkan bahwa perbandingan aktifator memegang peran penting dalam perolehan kuat tekan binder geopolimer.



Gambar 4.16 Hubungan kuat tekan dengan perbandingan aktifator binder geopolimer 10 Molar

Dari gambar 4.16 dapat dilihat pengaruh perbandingan aktifator terhadap kuat tekan binder geopolimer bermolaritas NaOH 10 Molar. Semakin tinggi perbandingan aktifatornya semakin tinggi pula kuat tekan usia 28 harinya. Hal ini menunjukkan bahwa perbandingan aktifator memegang peran penting dalam perolehan kuat tekan binder geopolimer. Kuat tekan optimum dimiliki oleh binder dengan perbandingan aktifator 2,5.



Gambar 4.17 Hubungan kuat tekan dengan perbandingan aktifator binder geopolimer

Dari gambar 4.17 dapat dilihat pengaruh perbandingan aktifator terhadap kuat tekan binder geopolimer bermolaritas NaOH 8 dan 10 Molar. Disini dapat dilihat bahwa molaritas larutan sodium hidroksida juga mempengaruhi kuat tekan binder geopolimer. Semakin tinggi molaritas semakin tinggi kuat tekannya. Semakin tinggi perbandingan aktifatornya semakin tinggi pula kuat tekan usia 28 harinya. Mekanisme ini disebabkan oleh pengaruh kadar Na dan OH pada campuran. Na berperan untuk pembentukan kristal sedangkan OH sebagai pemutus ikatan pada proses polimerisasi. (Matthew Rowles, 2003) Sehingga dengan tingginya kadar kedua zat tersebut ikatan polimer yang terbentuk semakin kuat. Hal ini menunjukkan bahwa perbandingan aktifator dan molaritas larutan sodium hidroksida memegang peran penting dalam perolehan kuat tekan binder geopolimer. Kuat tekan optimum dimiliki oleh binder dengan perbandingan aktifator 2,5 dan molaritas NaOH 10 molar

4.3.3 Pengaruh molaritas larutan Natrium Hidroksida terhadap kuat tekan binder

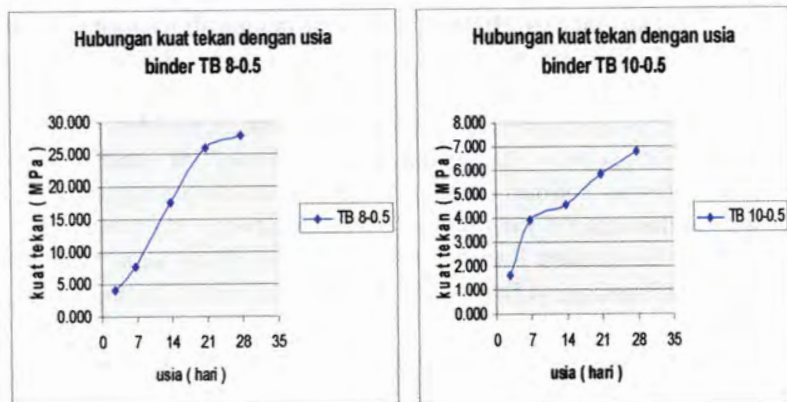
Pada tabel 4.30 akan disajikan beberapa data kuat tekan binder Dengan rasio perbandingan natrium silikat : natrium hidroksida yang sama akan tetapi memiliki molaritas larutan natrium hidroksida yang berbeda.

Tabel 4.30 Hasil tes tekan binder

Kode Binder	test kuat tekan									
	3 hr		7 hr		14 hr		21 hr		28 hr	
	σ (Kg/cm ²)	σ (Mpa)	σ (Kg/cm ²)	σ (Mpa)	σ (Kg/cm ²)	σ (Mpa)	σ (Kg/cm ²)	σ (Mpa)	σ (Kg/cm ²)	σ (Mpa)
TB 8-0.5	118	3.807	237	7.646	540	17.420	802	25.873	862.5	27.824
TB 10-0.5	50	1.613	120	3.871	140	4.516	180	5.807	210	6.775
TB 8-2.5	677	21.840	804	25.937	810	26.131	815	26.292	1212.5	39.115
TB 10-2.5	664	21.421	810	26.131	810	26.131	1350	43.551	1400	45.164

Dari tabel 4.30 dapat kita lihat pengaruh molaritas larutan sodium hidroksida terhadap kuat tekan binder. Binder TB 8-0,5 dan TB 10-0,5 misalnya, memiliki kuat tekan usia 28 hari yang jauh berbeda binder TB 8-0,5 yaitu sebesar 27.82 Mpa sedangkan TB 10-0,5 sebesar 6.77 Mpa. Kedua binder ini memiliki rasio perbandingan sodium silikat : sodium hidroksida yang sama yaitu 0.5. Dalam kasus ini binder TB 8-0,5 dengan molaritas larutan sodium hidroksida 8 molar memiliki kuat tekan yang jauh lebih tinggi dibanding TB 10-0,5 dengan molaritas larutan sodium hidroksida 10 molar.

Untuk contoh yang kedua ialah binder TB 8-2.5 dan TB 10-2,5. Sama halnya dengan contoh pertama kedua binder memiliki rasio perbandingan sodium silikat : sodium hidroksida yang sama yaitu 2.5 akan tetapi memiliki molaritas larutan sodium hidroksida yang berbeda, binder TB 8-2.5 menggunakan molaritas 8 molar sedangkan TB 10-2,5 10 molar. Hasil kuat tekan usia 28 hari yang dimiliki kedua binder TB berbeda binder TB 8-2.5 sebesar 39.12 Mpa sedangkan TB 10-2,5 sebesar 45.16 Mpa. Dari hasil tes tekan ini dapat kita lihat bahwa TB 10-2,5 yang memiliki molaritas larutan sodium hidroksida 10 molar memiliki kuat tekan yang jauh lebih tinggi dibanding binder TB 8-2.5 yang memiliki molaritas larutan sodium hidroksida 8 molar.

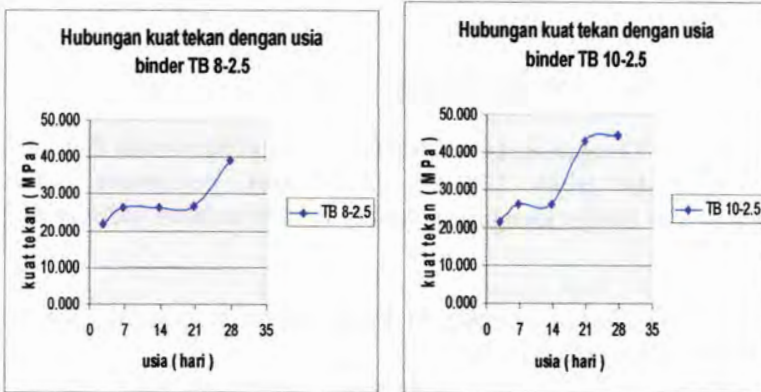


Gambar 4.18

Hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 8-0,5 dan TB 10-0.5

Pada gambar 4.18 disajikan grafik hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 8-0,5 dan TB 10-0.5. Dari grafik tersebut dapat kita lihat perilaku kedua juga berbeda. Pada binder TB 8-0,5 hari ke 28 kuat tekan binder sudah hampir stabil dalam arti kenaikan yang dimungkinkan terjadi setelah hari ke 28 tidak terlalu signifikan. Sedangkan pada TB 10-0,5 kuat tekan binder sampai hari ke 28 belum stabil dapat dilihat dari pergerakan kuat tekan yang masih merangkak naik, hal ini memungkinkan binder masih akan mengalami kenaikan kuat tekan yang signifikan setelah hari ke 28.

Binder TB 8-0,5 mengalami kenaikan kuat tekan yang tinggi pada usia 7-14 hari yaitu 9.61 MPa, sedangkan TB 10-0,5 mengalami kenaikan kuat tekan yang tinggi pada usia 0-3 hari yaitu 1.59 MPa. Dari data ini dapat dilihat bahwa binder TB 8-0,5 yang memiliki molaritas larutan sodium hidroksida lebih rendah yaitu 8 molar mengalami kenaikan kuat tekan signifikan lebih lama daripada TB 10-0,5 yang memiliki molaritas larutan sodium hidroksida 10 molar.



Gambar 4.19

Hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 8-2.5 dan TB 10-2.5

Pada gambar 4.19 disajikan grafik hubungan kuat tekan dengan usia binder TB 8-2.5 dan TB 10-2.5. Dari grafik tersebut dapat kita lihat perilaku kedua juga berbeda. Pada TB 10-2,5 hari ke 28 kuat tekan binder TB 10-1.5 hampir stabil dalam arti kenaikan yang dimungkinkan terjadi setelah hari ke 28 tidak terlalu signifikan. Sedangkan pada binder TB 8-2.5 kuat tekan binder sampai hari ke 28 belum stabil dapat dilihat dari pergerakan kuat tekan yang masih merangkak naik, hal ini memungkinkan binder masih akan mengalami kenaikan kuat tekan yang signifikan setelah hari ke 28.

Binder TB 8-2.5 mengalami kenaikan kuat tekan yang tinggi pada usia 0-3 hari yaitu 18.88 MPa, TB 10-2,5 juga mengalami kenaikan kuat tekan yang tinggi pada usia 0-3 hari yaitu 21.15 MPa. Binder TB 8-2.5 mengalami kenaikan signifikan yang kedua pada usia 21-28 hari yaitu sebesar 12.66 MPa, sedangkan TB 10-2,5 mengalami kenaikan serupa pada usia yang relatif lebih cepat dibandingkan binder TB 8-2.5 yaitu 14-21 hari sebesar 17.19 MPa. Kedua binder sama-sama memiliki kuat tekan yang tinggi pada usia relatif muda karena kedua binder

memiliki kurang lebih 50 persen kuat tekan umur 28 harinya pada usia 3 hari.

4.3.4 Waktu pengikatan binder

1. Binder Dengan molaritas larutan sodium Hidroksida 8 molar

Pada tabel 4.26 disajikan data percobaan waktu pengikatan binder Dengan molaritas larutan sodium hidroksida 8 molar.

Tabel 4.31 Waktu pengikatan binder dengan molaritas larutan sodium hidroksida 8 molar

Waktu (menit)	Kode binder / penurunan (mm)				
	A	B	C	D	E
5		40	40	40	40
10		35	32	25	40
15		13	14	9	40
20		6	3	2	15
25		3	3	0	5
30		3	2		1
35		2	1		0
40		2	1		
45		1	1		
50		1	0		
55		1			
60	40	1			
65	40	1			
70	40	1			
75	40	0			
150	35				
180	35				
210	33				
240	29				
270	26				

300	25				
330	24				
360	22				
390	21				
420	19				
450	19				
480	17				
510	16				
540	15				
570	15				
600	15				
630	13				
660	12				
690	10				
720	9				
750	9				
780	7				
810	7				
840	7				
870	5				
900	5				
930	4				
960	3				
990	3				
1020	2				
1050	2				
1080	2				
1110	1				
1140	1				
1170	1				
1200	0				

Dari data tabel 4.31 dapat dilihat bahwa binder TB 8-0,5 yang memiliki rasio perbandingan sodium silikat : sodium hidroksida paling kecil yaitu 0.5 mempunyai waktu pengikatan paling lama dibanding binder lain yang bermolaritas larutan sodium hidroksida sama. Binder TB 8-0,5 memiliki waktu pengikatan selama 1200 menit. Waktu pengikatan paling cepat dimiliki oleh binder TB 8-2 yaitu 25 menit. Dari perilaku ini dapat kita lihat peran sodium silikat sebagai katalisator dalam pembuatan binder sangat tampak. Binder yang memiliki perbandingan sodium silikat : sodium hidroksida paling kecil memiliki waktu pengikatan paling lambat. Akan tetapi hal ini tidak berarti semakin tinggi rasio perbandingan sodium silikat : sodium hidroksida makin cepat waktu pengikatannya. Hal ini dapat dilihat pada kasus ini binder TB 8-2 yang memiliki rasio perbandingan sodium silikat : sodium hidroksida 2 memiliki waktu pengikatan lebih cepat yaitu 25 menit, 10 menit lebih cepat dibanding binder TB 8-2.5 yang memiliki waktu pengikatan 35 menit dengan rasio perbandingan sodium silikat : sodium hidroksida 2.5.

Tabel 4.32 Waktu pengikatan awal dan akhir binder Dengan molaritas larutan sodium hidroksida 8 molar

Molar NaOH	Perbandingan aktifator	Kode binder	Waktu Ikat Awal (mnt)	Waktu Ikat Akhir (mnt)
8	0.5	TB 8-0.5	299.06	1200
8	1	TB 8-1	12.7	65
8	1.5	TB 8-1.5	13.05	40
8	2	TB 8-2	10.09	25
8	2.5	TB 8-2.5	17.46	40

Tabel 4.31 menyajikan data waktu pengikatan awal dan akhir binder Dengan alkanitas larutan sodium hidroksida 8 molar. Waktu pengikatan awal ialah waktu yang dibutuhkan oleh binder untuk mencapai penurunan 25 mm sedangkan waktu pengikatan

akhir ialah waktu yang dibutuhkan binder untuk mencapai penurunan 0 mm (ASTM C 191-92).

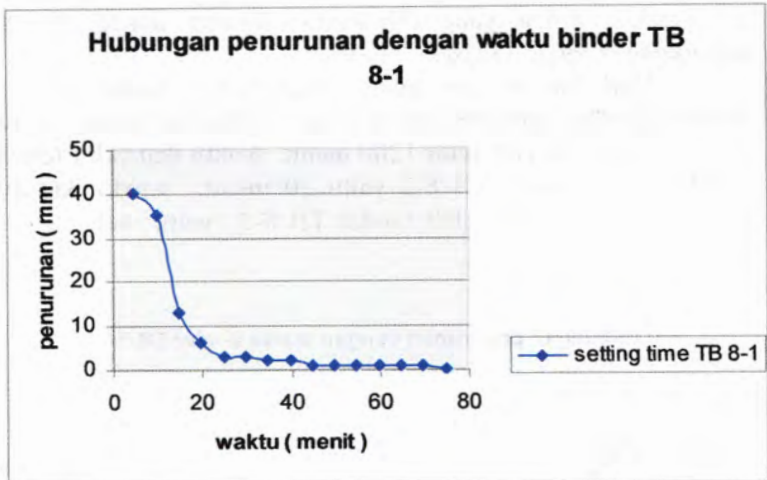
Dari data di atas dapat dilihat bahwa binder TB 8-0,5 memiliki waktu ikat awal dan akhir paling lambat, yaitu ikat awal 299.06 menit dan ikat akhir 1200 menit. Waktu ikat akhir tercepat dimiliki oleh binder TB 8-2 yaitu 20 menit, waktu ikat awal tercepat juga dimiliki oleh binder TB 8-2 yaitu selama 10.09 menit.



Gambar 4.20 Hubungan penurunan dengan waktu binder TB 8-0,5

Persamaan garis : $y = 51.0622 \exp(-0.002384 x)$
 $R^2 = 0.98162$

Dari gambar 4.20 di atas dapat dilihat waktu pengikatan yang terjadi pada binder TB 8-0,5. Binder TB 8-0,5 mencapai waktu pengikatan awal sangat lama yaitu 299.06 menit dan pengikatan akhir 1200 menit. Dari titik-titik pada grafik dapat dilihat bahwa binder TB 8-0,5 mengikat sangat perlahan dan lambat.



Gambar 4.21 Hubungan penurunan dengan waktu binder TB 8-1

Dari gambar 4.21 dapat dilihat bahwa binder TB 8-1 memiliki waktu ikat awal dan akhir yang jauh lebih cepat daripada binder TB 8-0,5 yaitu ikat awal 12.72 menit dan ikat akhir 65 menit. Pola pengikatan yang terjadi pada binder TB 8-1 ialah pada menit awal cepat mengeras dapat dilihat dari cepatnya binder mencapai waktu ikat awal yaitu selama 12.72 menit. Akan tetapi waktu yang dibutuhkan untuk benar-benar keras atau mencapai bacaan 0 pada alat vicat cukup lama dari waktu ikat awalnya yaitu 75 menit



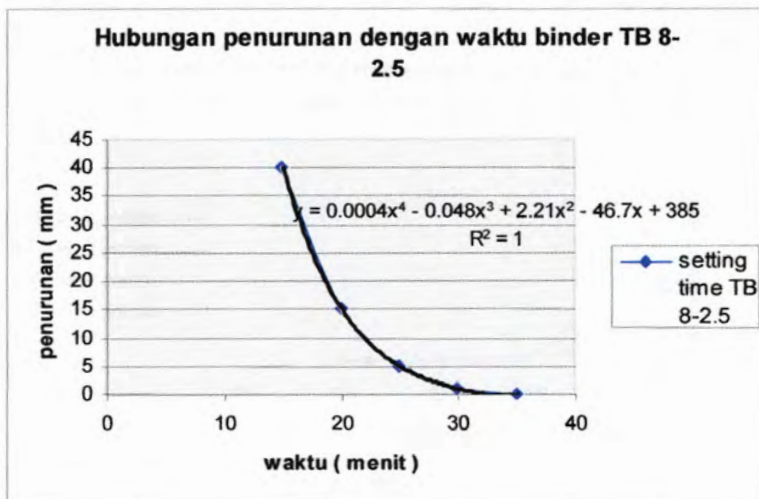
Gambar 4.22 Hubungan penurunan dengan waktu binder TB 8-1.5

Dari gambar 4.22 dapat dilihat bahwa binder TB 8-15 memiliki waktu ikat awal yang hampir sama dengan binder TB 8-1 yaitu 13.05 menit, akan tetapi binder TB 8-15 memiliki waktu ikat akhir yang lebih cepat dibanding binder TB 8-1 yaitu 60 menit. Pola pengikatan yang terjadi pada binder TB 8-15 ialah pada menit awal cepat mengeras binder mencapai pengikatan awal pada menit ke 13.05. Setelah mengalami pengikatan awal binder memerlukan waktu yang cukup lama untuk mencapai kondisi benar-benar mengeras atau pengikatan akhir.



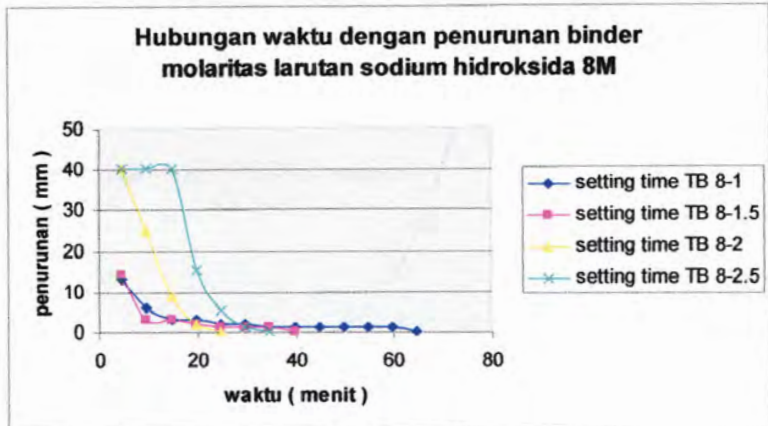
Gambar 4.23 Hubungan penurunan dengan waktu binder TB 8-2

Dari gambar 4.23 dapat dilihat bahwa binder TB 8-2 memiliki waktu ikat awal yang lebih lambat daripada binder yaitu 10.093 menit, akantetapi binder TB 8-2 memiliki waktu ikat akhir yang cukup pendek yaitu 40 menit. Pola pengikatan yang terjadi pada binder TB 8-2 ialah penurunan signifikan terus terjadi setelah mengalami pengikatan awal di menit ke 10, lain halnya dengan yang terjadi pada binder TB 8-1 dan TB 8-1.5 yang lama untuk menuju pengikatan akhir setelah mencapai pengikatan awal, binder TB 8-2 sangat cepat baik mencapai pengikatan awal maupun akhir. Waktu yang dibutuhkan untuk pengikatan akhir ialah 25 menit, hanya berselang 15 menit dari waktu ikat awalnya.



Gambar 4.24 Hubungan penurunan dengan waktu binder TB 8-2.5

Pada gambar 4.24 dapat dilihat pola pergerakan waktu pengikatan yang terjadi pada binder TB 8-2.5. Waktu yang diperlukan untuk mencapai ikat awal cukup lama dibanding binder TB 8-2 yaitu 17.464 menit. Sedangkan waktu ikat akhirnya ialah 40 menit relatif lebih lambat dibanding binder TB 8-2. Penurunan drastis terjadi pada menit 15-30, dapat diartikan bahwa binder TB 8-laru mengalami penurunan pada saat mendekati waktu ikat awal dan mulai konstan saat mendekati waktu ikat akhir.



Gambar 4.25

Hubungan waktu dengan penurunan binder molaritas larutan sodium hidroksida 8M

Pada gambar 4.25 ditampilkan grafik waktu pengikatan binder TB 8-1, TB 8-1.5, TB 8-2 dan TB 8-2.5. Binder TB 8-0,5 tidak dicantumkan dalam grafik karena waktu pengikatan yang dimiliki terpaut terlalu jauh dibanding ke 4 binder tersebut diatas. Dari grafik hubungan antara waktu dengan penurunan binder TB 8-1 sampai TB 8-2.5 di atas dapat dilihat bahwa, secara garis besar binder mengalami penurunan drastis sampai mencapai waktu ikat awalnya kemudian bergerak secara perlahan hingga mencapai waktu ikat akhir. Khusus untuk binder TB 8-2 penurunan terjadi secara cepat dan terus menerus dari awal sampai mencapai waktu ikat akhir.

2. Binder Dengan molaritas larutan sodium Hidroksida 10 molar
 Pada tabel 4.33 akan disajikan data waktu pengikatan binder Dengan molaritas larutan sodium hidroksida 10 molar.



Tabel 4.33 Waktu pengikatan binder Dengan molaritas larutan sodium hidroksida 10 molar.

Waktu (menit)	Kode binder / penurunan (mm)				
	TB 10-0.5	TB 10-1	TB 10-1.5	TB 10-2	TB 10-2.5
5	40	40	40	40	40
10	40	32	40	40	3
15	40	12	5	8	1
20	40	4	2	1	0
25	37	2	0	0	
30	33	2			
35	31	0			
40	30				
45	28				
50	26				
55	25				
60	22				
65	19				
70	16				
75	14				
80	12				
85	10				
90	9				
95	7				
100	6				
105	5				
110	5				
115	4				
120	3				
125	3				
130	3				
135	3				
140	3				
145	2				



150	2				
155	2				
160	2				
165	2				
170	2				
175	1				
180	1				
185	1				
190	1				
195	1				
200	1				
205	1				
210	1				
215	1				
220	1				
225	1				
230	1				
235	1				
240	1				
245	1				
250	1				
255	1				
260	0				

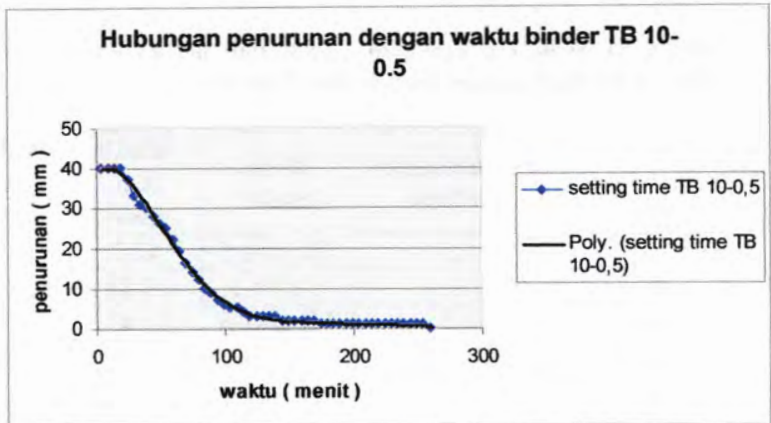
Dari data tabel 4.33 dapat dilihat bahwa TB 10-0,5 yang memiliki rasio perbandingan sodium silikat : sodium hidroksida paling kecil yaitu 0.5 mempunyai waktu pengikatan paling lama dibanding binder lain yang bermolaritas larutan sodium hidroksida sama. TB 10-0,5 memiliki waktu pengikatan selama 260 menit. Waktu pengikatan paling cepat dimiliki oleh TB 10-2,5 yaitu 20 menit. Dari perilaku ini dapat kita lihat peran sodium silikat sebagai katalisator dalam pembuatan binder sangat tampak. Binder yang memiliki perbandingan sodium silikat : sodium hidroksida paling kecil memiliki waktu pengikatan paling lambat.

Tabel 4.34 Waktu pengikatan awal dan akhir binder dengan molaritas larutan sodium hidroksida 10 molar

Molar NaOH	Perbandingan aktifator	Kode binder	Waktu Ikat Awal	Waktu Ikat Akhir
10	0.5	TB 10-0.5	42.2	260
10	1	TB 10-1	11.32	65
10	1.5	TB 10-1.5	11.42	40
10	2	TB 10-2	8.68	35
10	2.5	TB-10-2.5	6.3	35

Tabel 4.34 menyajikan data waktu pengikatan awal dan akhir binder dengan alkanitas larutan sodium hidroksida 10 molar. Waktu pengikatan awal ialah waktu yang dibutuhkan oleh binder untuk mencapai penurunan 25 mm sedangkan waktu pengikatan akhir ialah waktu yang dibutuhkan binder untuk mencapai penurunan 0 mm (ASTM C 191-92).

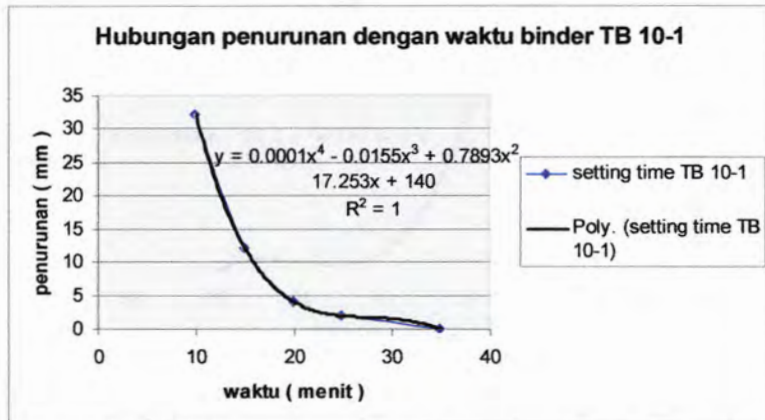
Dari data di atas dapat dilihat bahwa TB 10-0,5 memiliki waktu ikat awal dan akhir paling lambat, yaitu ikat awal 42.2 menit dan ikat akhir 260 menit. Waktu ikat akhir tercepat dimiliki oleh binder TB 10-2 dan TB 10-2.5 yaitu 35 menit, sedangkan waktu ikat awal tercepat dimiliki oleh TB 10-2,5 yaitu 6.3 menit.



Gambar 4.26 Hubungan penurunan dengan waktu TB 10-0,5

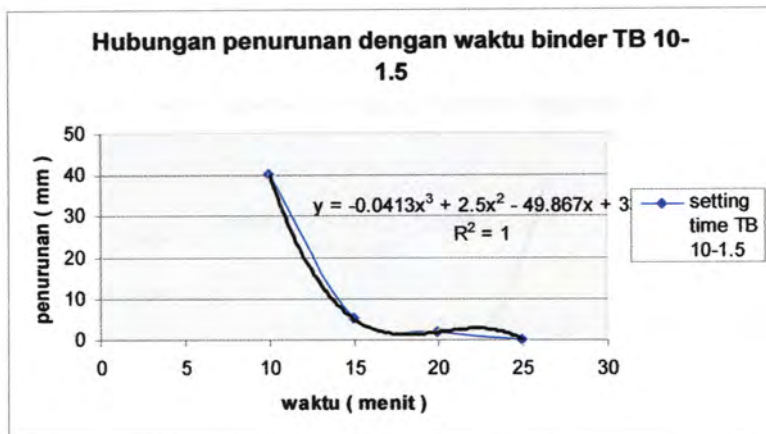
Persamaan garis : $y = 52.652 \exp (-0.01765 X)$
 $R^2 = 0.965$

Dari gambar 4.26 dapat dilihat waktu pengikatan yang terjadi pada TB 10-0,5. TB 10-0,5 mencapai waktu pengikatan awal sangat lama yaitu 42.199 menit dan pengikatan akhir 260 menit. Dari titik-titik pada grafik dapat dilihat bahwa TB 10-0,5 mengikat sangat perlahan dan lambat. Dari menit pertama sampai menit ke 120 binder mengalami penurunan yang cukup signifikan walaupun berlangsung cukup lambat. Setelah mencapai pengikatan awal pada menit ke 55 binder masih terus menunjukkan penurunan yang berarti. Akan tetapi setelah menit ke 120 penurunan yang terjadi mulai melambat dan hampir konstan hingga mencapai waktu ikat akhir di menit ke 260.



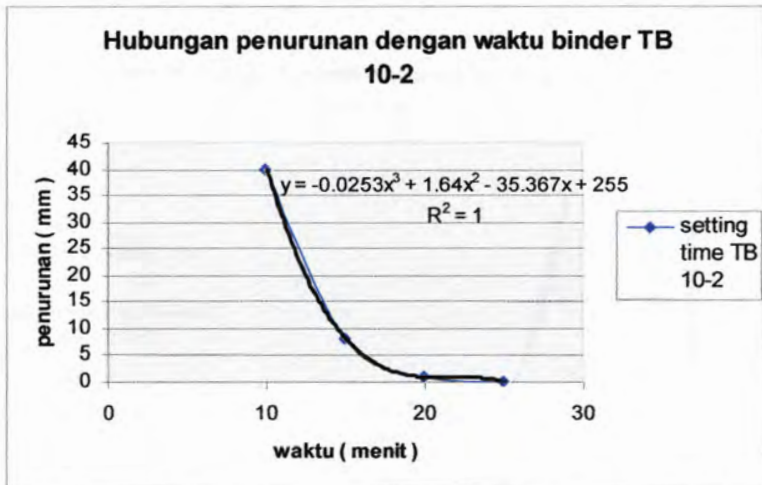
Gambar 4.27 Hubungan penurunan dengan waktu binder TB 10-1

Dari gambar 4.27 dapat dilihat bahwa binder TB 10-1 memiliki waktu ikat awal dan akhir yang jauh lebih cepat daripada TB 10-0,5 yaitu ikat awal 11.319 menit dan ikat akhir 35 menit. Pola pengikatan yang terjadi pada binder TB 10-1 ialah pada menit awal cepat mengeras, hal ini dapat dilihat dari cepatnya binder mencapai waktu ikat awal yaitu selama 11.319 menit. Setelah mencapai waktu ikat awal penurunan signifikan masih terjadi sampai menit ke 20. Setelah menit ke 20 penurunan berjalan lambat hingga mencapai pengikatan akhir pada menit ke 35.



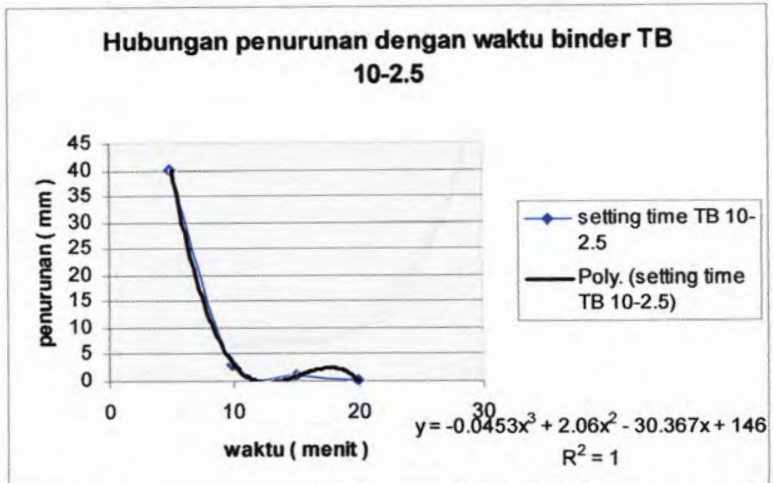
Gambar 4.28 Hubungan penurunan dengan waktu binder TB 10-1.5

Dari gambar 4.28 dapat dilihat pola pengikatan yang terjadi pada binder TB 10-1.5. Pada 0-10 menit pertama tidak terjadi penurunan. Penurunan baru terjadi setelah 10 menit pertama. Penurunan signifikan terjadi antara menit 10-15. Pengikatan awal terjadi pada menit ke 11.25. Setelah mencapai pengikatan awal binder terus mengalami penurunan yang tinggi sampai menit ke 15. Setelah menit ke 15 binder mengalami penurunan yang konstan sampai mencapai waktu pengikatan akhir pada menit ke 25.



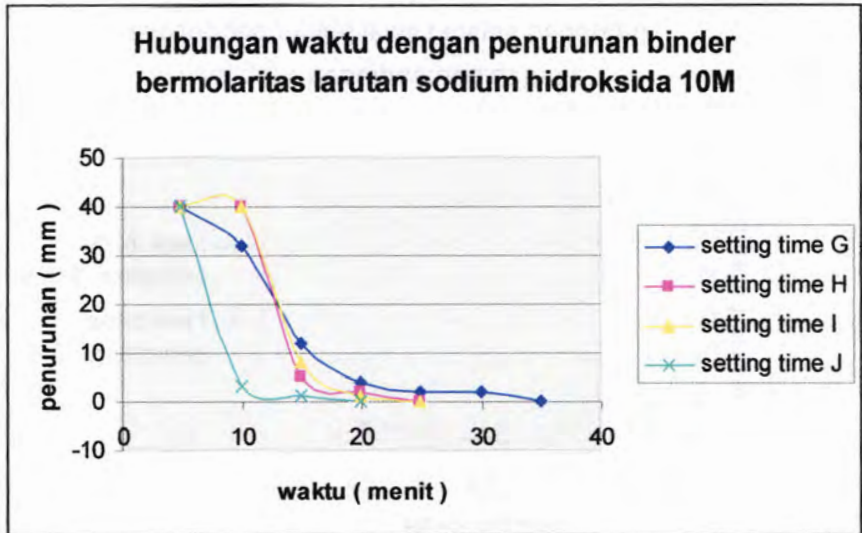
Gambar 4.29 Hubungan penurunan dengan waktu binder TB 10-2

Dari gambar 4.29 dapat dilihat pola pengikatan yang terjadi pada binder TB 10-2. Sama halnya dengan binder TB 10-1.5 pada 0-10 menit pertama binder TB 10-2 tidak mengalami penurunan. Penurunan baru terjadi setelah 10 menit pertama. Penurunan signifikan terjadi antara menit 10-15. Pengikatan awal terjadi pada menit ke 8.682. Setelah mencapai pengikatan awal binder terus mengalami penurunan yang tinggi sampai menit ke 20. Setelah menit ke 20 binder mengalami penurunan yang konstan sampai mencapai waktu pengikatan akhir yaitu pada menit ke 25. Secara garis besar pola pengikatan yang terjadi pada binder TB 10-1.5 hampir sama dengan binder TB 10-2.



Gambar 4.30 Hubungan penurunan dengan waktu TB 10-2,5

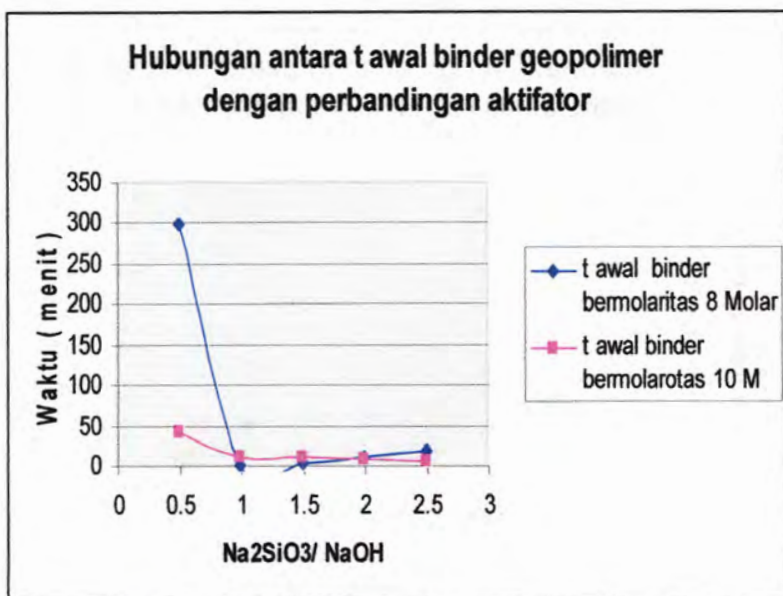
Dari gambar 4.30 dapat dilihat pola pengikatan yang terjadi pada TB 10-2,5. Penurunan drastis terjadi pada menit ke 5-10. Pengikatan awal terjadi pada menit ke 8, relatif lebih cepat dibanding TB 10-0.5, TB 10-1, TB 10-1.5 dan TB 10-2. Setelah mencapai pengikatan awal penurunan terus terjadi hingga menit ke 10. Setelah melewati menit ke 10 penurunan yang terjadi hampir konstan hingga mencapai waktu pengikatan akhir pada menit ke 20.



Gambar 4.31

Hubungan waktu dengan penurunan binder molaritas larutan sodium hidroksida 10M

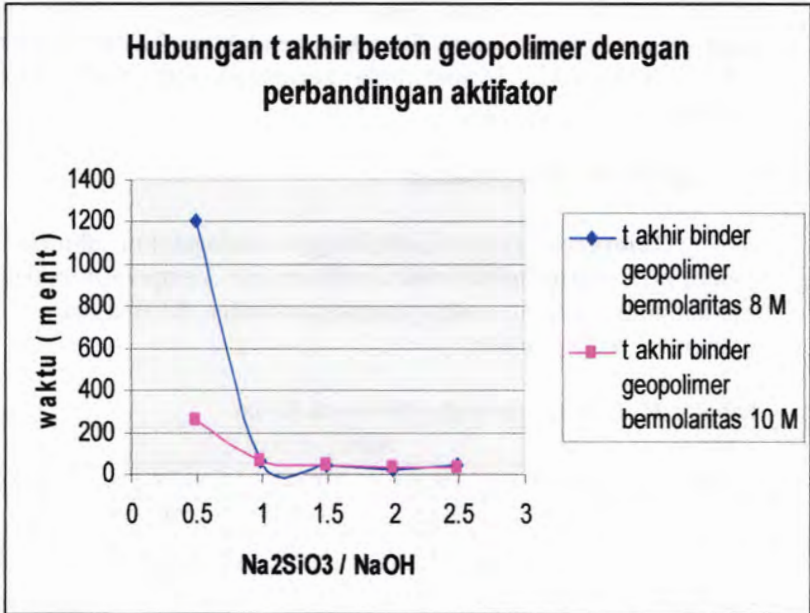
Pada gambar 4.31 ditampilkan grafik waktu pengikatan binder TB 10-0,5, TB 10-1, TB 10-1,5, TB 10-2 dan TB 10-2,5. TB 10-0,5 tidak dicantumkan dalam grafik karena waktu pengikatan yang dimiliki terpaut terlalu jauh dibanding ke 4 binder tersebut diatas. Dari grafik hubungan antara waktu dengan penurunan binder TB 10-1 sampai TB 10-2,5 di atas, dapat dilihat bahwa secara garis besar pada menit awal binder mengalami penurunan yang lambat bahkan tidak sama sekali. Binder mengalami penurunan drastis sampai mencapai waktu ikat awalnya kemudian bergerak secara perlahan hingga mencapai waktu ikat akhir. Khusus untuk TB 10-2,5 penurunan terjadi secara cepat di menit awal sampai beberapa menit sesudah tercapainya pengikatan awal, setelah itu penurunan yang terjadi relatif konstan hingga mencapai waktu pengikatan akhirnya.



Gambar 4.32 Hubungan antara t awal binder geopolimer dengan perbandingan aktifator

Pada gambar 4.32 dapat dilihat pengaruh perbandingan aktifator terhadap waktu ikat awal binder geopolimer. Pada binder bermolaritas NaOH 8 molar terdapat titik optimum yaitu pada perbandingan aktifator 1. Pada binder dengan molaritas 10 molar waktu ikat awal semakin cepat seiring dengan kenaikan perbandingan aktifatornya. Pada binder bermolaritas 10 molar waktu ikat awal tercepat dimiliki oleh binder TB 10-2.5 yaitu selama 6,312 menit. Dari seluruh variasi binder waktu ikat tercepat dimiliki oleh binder TB 8-1 yaitu selama 1.037 menit. Dari perilaku ini dapat diperkirakan bahwa peran katalisator yaitu sodium silikat sangat mempengaruhi kecepatan pengikatan awal binder geopolimer. Semakin rendah kadar Sodium silikat semakin lama binder mengalami pengikatan awal. Molaritas larutan sodium hidroksida juga mempengaruhi kecepatan ikat awal

binder geopolimer. Semakin rendah molaritas sodium hidroksida semakin lambat pula kecepatan ikat awal binder geopolimer.



Gambar 4.33 Hubungan antara t akhir binder geopolimer dengan perbandingan aktifator

Pada gambar 4.33 dapat dilihat pengaruh perbandingan aktifator terhadap waktu ikat akhir binder geopolimer. Pada binder bermolaritas NaOH 8 molar terdapat titik optimum yaitu pada perbandingan aktifator 2. Pada binder dengan molaritas 10 molar waktu ikat akhir semakin cepat seiring dengan kenaikan perbandingan aktifatornya. Pada binder bermolaritas 10 molar waktu ikat akhir tercepat dimiliki oleh binder TB 10-2.5 yaitu selama 35 menit. Dari seluruh variasi binder waktu ikat tercepat dimiliki oleh binder TB 8-2 yaitu selama 20 menit. Dari perilaku ini dapat diperkirakan bahwa peran katalisator yaitu sodium

silikat sangat mempengaruhi kecepatan pengikatan akhir binder geopolimer (Hardjito,2004). Semakin rendah kadar Sodium silikat semakin lama binder mengalami pengikatan akhir. Molaritas larutan sodium hidroksida juga mempengaruhi kecepatan ikat akhir binder geopolimer. Semakin rendah molaritas sodium hidroksida semakin lambat pula kecepatan ikat akhir binder geopolimer.

3. Temperatur Reaksi binder

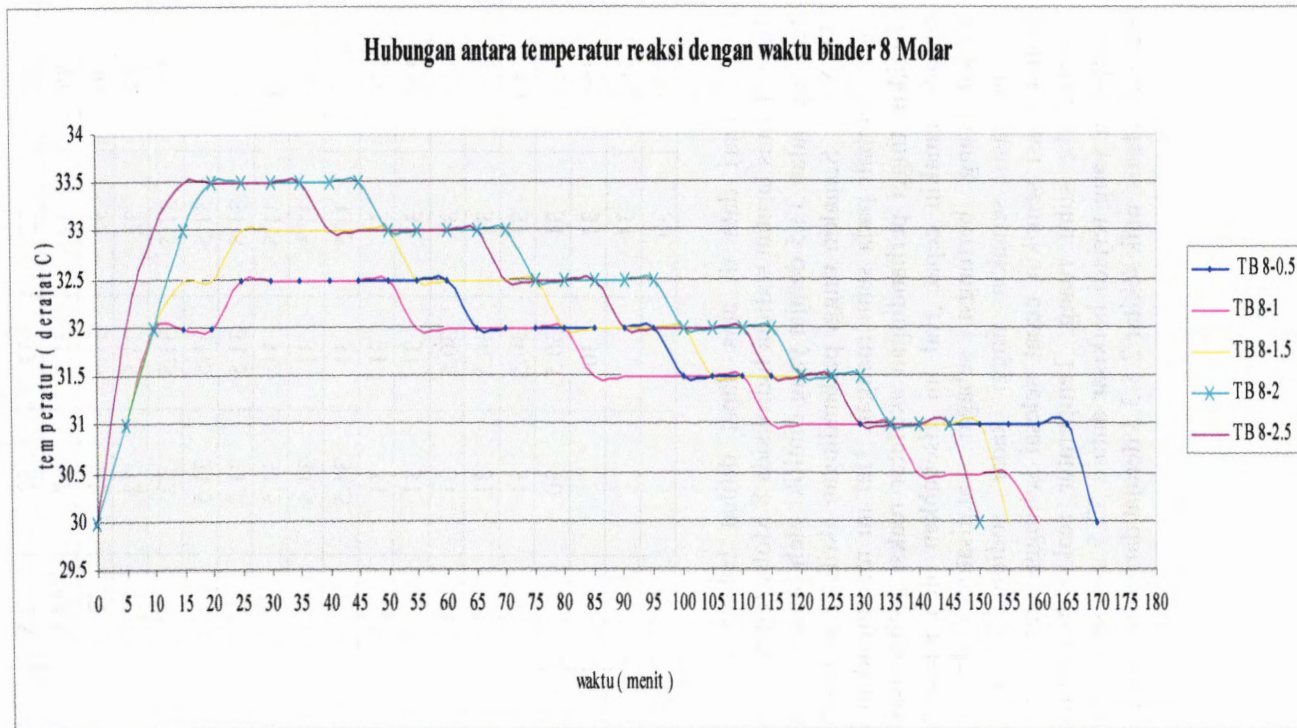
Temperatur reaksi ini diukur guna mengetahui suhu pasta geopolimer selama terjadi reaksi polimerisasi. Temperatur reaksi erat kaitannya dengan waktu pengikatan binder. Berikut data temperatur reaksi binder.

Tabel 4.35 Temperatur reaksi binder 8 Molar

Waktu (menit)	Suhu (derajat C)				
	TB 8-0.5	TB 8-1	TB 8-1.5	TB 8-2	TB 8-2.5
0	30	30	30	30	30
5	31	31	31	31	32
10	32	32	32	32	33
15	32	32	32.5	33	33
20	32	32	32.5	33.5	33.5
25	32.5	32.5	33	33.5	33.5
30	32.5	32.5	33	33.5	33.5
35	32.5	32.5	33	33.5	33.5
40	32.5	32.5	33	33.5	33
45	32.5	32.5	33	33.5	33
50	32.5	32.5	33	33	33
55	32.5	32	32.5	33	33
60	32.5	32	32.5	33	33
65	32	32	32.5	33	33
70	32	32	32.5	33	32.5
75	32	32	32.5	32.5	32.5

80	32	32	32	32.5	32.5
85	32	31.5	32	32.5	32.5
90	32	31.5	32	32.5	32
95	32	31.5	32	32.5	32
100	31.5	31.5	32	32	32
105	31.5	31.5	31.5	32	32
110	31.5	31.5	31.5	32	32
115	31.5	31	31.5	32	31.5
120	31.5	31	31.5	31.5	31.5
125	31.5	31	31.5	31.5	31.5
130	31	31	31	31.5	31
135	31	31	31	31	31
140	31	30.5	31	31	31
145	31	30.5	31	31	31
150	31	30.5	31	30	30
155	31	30.5	30		
160	31	30			
165	31				
170	30				

Dari data di atas dapat dilihat bahwa pada binder bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 Molar temperatur reaksi tertinggi ialah 33.5 derajat yang dimiliki oleh binder TB 8-2 dan TB 8-2.5. Semakin tinggi perbandingan aktifator semakin cepat suhu kembali pada suhu ruangan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi perbandingan aktifator reaksi polimerisasi yang terjadi semakin cepat. Hal ini disebabkan oleh kadar sodium silikat yang berfungsi sebagai katalisator dalam proses polimerisasi, semakin tinggi kadar sodium silikat proses polimerisasi semakin cepat selesai sehingga temperatur cepat kembali ke suhu ruang. Temperatur reaksi maksimum dari campuran yang terjadi berkisar antara 32.5 sampai dengan 33.5 derajat celcius, naik sekitar 2.5-3.5 derajat dari suhu ruang.



Gambar 4.34 Hubungan antara temperatur reaksi dengan waktu binder 8 Molar

Dari gambar di atas dapat dilihat pola kenaikan suhu reaksi hingga turun kembali ke suhu ruangan yang menandakan selesainya reaksi polimerisasi. Seluruh binder memiliki pola mengalami kenaikan suhu drastis pada menit-menit awal. Hal ini disebabkan reaksi pengikatan yang terjadi sangat cepat sehingga suhu naik dengan cepat pula. Setelah mencapai suhu maksimum membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai suhu ruang kembali. Ini menandakan reaksi yang terjadi benar-benar selesai berlangsung cukup lama kurang lebih sekitar 3 jam.

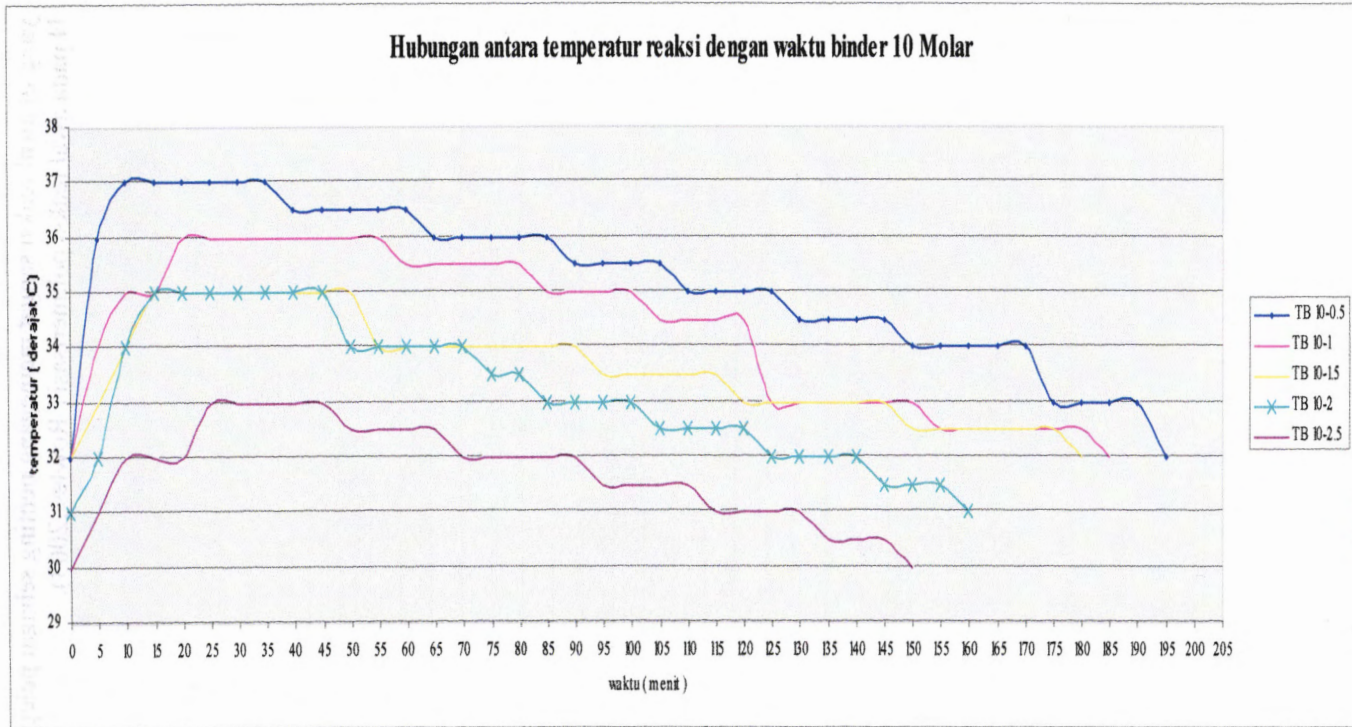
Tabel 4.36 Temperatur reaksi binder 10 Molar

Waktu (menit)	Suhu (derajat C)				
	TB 10-0.5	TB 10-1	TB 10-1.5	TB 10-2	TB 10-2.5
0	32	32	32	31	30
5	36	34	33	32	31
10	37	35	34	34	32
15	37	35	35	35	32
20	37	36	35	35	32
25	37	36	35	35	33
30	37	36	35	35	33
35	37	36	35	35	33
40	36.5	36	35	35	33
45	36.5	36	35	35	33
50	36.5	36	35	34	32.5
55	36.5	36	34	34	32.5
60	36.5	35.5	34	34	32.5
65	36	35.5	34	34	32.5
70	36	35.5	34	34	32
75	36	35.5	34	33.5	32
80	36	35.5	34	33.5	32
85	36	35	34	33	32
90	35.5	35	34	33	32
95	35.5	35	33.5	33	31.5
100	35.5	35	33.5	33	31.5

105	35.5	34.5	33.5	32.5	31.5
110	35	34.5	33.5	32.5	31.5
115	35	34.5	33.5	32.5	31
120	35	34.5	33	32.5	31
125	35	33	33	32	31
130	34.5	33	33	32	31
135	34.5	33	33	32	30.5
140	34.5	33	33	32	30.5
145	34.5	33	33	31.5	30.5
150	34	33	32.5	31.5	30
155	34	32.5	32.5	31.5	
160	34	32.5	32.5	31	
165	34	32.5	32.5		
170	34	32.5	32.5		
175	33	32.5	32		
180	33	32			
185	33				
190	33				
195	32				

Dari data di atas dapat dilihat bahwa pada binder bermolaritas larutan sodium hidroksida 10 Molar memiliki temperatur reaksi tertinggi 37 derajat yang dimiliki oleh binder TB 10-0.5. Semakin tinggi perbandingan aktifator semakin lama suhu kembali pada suhu ruangan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi perbandingan aktifator reaksi polimerisasi yang terjadi semakin cepat. Hal ini disebabkan oleh kadar sodium silikat yang berfungsi sebagai katalisator dalam proses polimerisasi, semakin tinggi kadar sodium silikat proses polimerisasi semakin cepat selesai sehingga temperatur cepat kembali ke suhu ruang. Temperatur reaksi maksimum dari campuran yang terjadi berkisar antara 37 sampai dengan 33 derajat celcius, naik sekitar 5-3 derajat dari suhu ruang. Semakin tinggi kadar NaOH semakin tinggi suhu yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan NaOH sangat reaktif juga perannya sebagai aktifator

yang di awal reaksi sangat memegang penting sebagai pelepas ion H pada awal reaksi polimerisasi (Rowles ,2003).



Gambar 4.35 Hubungan antara temperatur reaksi dan waktu binder 10 Molar

Dari gambar di atas dapat dilihat pola kenaikan suhu reaksi hingga turun kembali ke suhu ruangan yang menandakan selesainya reaksi polimerisasi. Seluruh binder memiliki pola mengalami kenaikan suhu drastis pada menit-menit awal. Hal ini disebabkan reaksi pengikatan yang terjadi sangat cepat sehingga suhu naik dengan cepat pula. Setelah mencapai suhu maksimum membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai suhu ruang kembali. Ini menandakan reaksi yang terjadi benar-benar selesai berlangsung cukup lama kurang lebih sekitar 3 jam.

4. Hubungan temperatur reaksi dengan setting time binder

Dilakukan analisa hubungan antara temperatur reaksi dengan setting time binder dilakukan untuk mengetahui berapa temperatur pasta saat mengalami pengikatan awal dan akhir serta untuk mengetahui jenis reaksi yang terjadi selama proses pengikatan.

a) Binder TB 8-0.5

setting time t awal	: 299.06 menit
setting time t akhir	: 1200 menit
suhu meningkat	: 5 menit
suhu maksimum	: 25 menit
suhu mulai turun	: 65 menit
suhu kembali normal	: 170 menit

Dari data di atas dapat dilihat hubungan antara temperatur reaksi dengan setting time binder. Secara umum dapat dilihat bahwa pada binder TB 8-0.5 waktu ikat awal dan akhir sangat lama hingga tidak masuk dalam menit terukurnya temperatur reaksi. Sampai suhu kembali normal yang menandakan reaksi telah selesai binder bahkan belum mencapai waktu ikat awal. Hal ini sangat mungkin disebabkan karena kenaikan temperatur yang terjadi sangat sedikit sehingga ketelitian pengukuran suhu tidak begitu teliti.

b) Binder TB 8-1

setting time t awal	: 12.7 menit
setting time t akhir	: 65 menit
suhu meningkat	: 5 menit
suhu maksimum	: 25 menit
suhu mulai turun	: 65 menit
Suhu kembali normal	: 160 menit

Dari data di atas dapat dilihat hubungan antara setting time binder dengan temperatur reaksi. Waktu ikat awal binder TB 8-1 terjadi sejak suhu mulai meningkat yaitu mulai 5 menit pertama hingga suhu mencapai puncak. Pengikatan akhir terjadi saat suhu mulai turun hingga seluruh reaksi selesai. Reaksi yang terjadi pada binder TB 8-1 termasuk reaksi eksoterm karena mengeluarkan panas berupa kenaikan suhu pasta.

c) Binder TB 8-1.5

setting time t awal	: 13.05 menit
setting time t akhir	: 40 menit
suhu meningkat	: 5 menit
suhu maksimum	: 25 menit
suhu mulai turun	: 65 menit
Suhu kembali normal	: 155 menit

Dari data di atas dapat dilihat hubungan antara setting time binder dengan temperatur reaksi. Waktu ikat awal binder TB 8-1.5 terjadi sejak suhu mulai meningkat yaitu mulai 5 menit pertama hingga mencapai puncak temperatur. Pengikatan akhir terjadi saat suhu mulai turun hingga seluruh reaksi selesai. Reaksi yang terjadi pada binder TB 8-1.5 termasuk reaksi eksoterm karena mengeluarkan panas berupa kenaikan suhu pasta.

d) Binder TB 8-2

setting time t awal	: 10.09 menit
setting time t akhir	: 25 menit
suhu meningkat	: 5 menit
suhu maksimum	: 20 menit
suhu mulai turun	: 50 menit
Suhu kembali normal	: 150 menit

Dari data di atas dapat dilihat hubungan antara setting time binder dengan temperatur reaksi. Waktu ikat awal binder TB 8-2 terjadi sejak suhu mulai meningkat yaitu mulai 5 menit pertama hingga mencapai puncak. Pengikatan akhir terjadi saat suhu di puncak mulai turun hingga seluruh reaksi selesai. Reaksi yang terjadi pada binder TB 8-2 termasuk reaksi eksoterm karena mengeluarkan panas berupa kenaikan suhu pasta.

e) Binder TB 8-2.5

setting time t awal	: 17.46 menit
setting time t akhir	: 40 menit
suhu meningkat	: 5 menit
suhu maksimum	: 20 menit
suhu mulai turun	: 40 menit
suhu kembali normal	: 150 menit

Dari data di atas dapat dilihat hubungan antara setting time binder dengan temperatur reaksi. Waktu ikat awal binder TB 8-2.5 terjadi sejak suhu mulai meningkat yaitu mulai 5 menit pertama. Pengikatan akhir terjadi saat suhu di puncak mulai turun hingga seluruh reaksi selesai. Reaksi yang terjadi pada binder TB 8-2.5 termasuk reaksi eksoterm karena mengeluarkan panas berupa kenaikan suhu pasta.

f) Binder TB 10-0.5

setting time t awal	: 42.2 menit
setting time t akhir	: 260 menit
suhu meningkat	: 5 menit
suhu maksimum	: 15 menit

suhu mulai turun : 65 menit
 suhu kembali normal : 195 menit

Dari data di atas dapat dilihat bahwa binder TB 10-0.5 mengalami pengikatan awal pada saat temperatur berada dalam kondisi konstan di puncak temperatur. Sampai temperatur kembali ke suhu ruang yang menandakan reaksi telah selesai binder belum mencapai pengikatan akhir. Hal ini sangat dimungkinkan terjadi karena reaksi pengikatan seharusnya sudah selesai saat jarum vicat mulai konstan di angka 1.

g) Binder TB 10-1

setting time t awal : 11.32 menit
 setting time t akhir : 65 menit
 suhu meningkat : 5 menit
 suhu maksimum : 20 menit
 suhu mulai turun : 60 menit
 suhu kembali normal : 180 menit

Dari data di atas dapat dilihat hubungan antara setting time binder dengan temperatur reaksi. Waktu ikat awal binder TB 10-1 terjadi sejak suhu mulai meningkat yaitu mulai 5 menit pertama hingga mencapai puncak temperatur. Pengikatan akhir terjadi saat suhu di puncak mulai turun hingga seluruh reaksi selesai. Reaksi yang terjadi pada binder TB 10-1 termasuk reaksi eksoterm karena mengeluarkan panas berupa kenaikan suhu pasta.

h) Binder TB 10-1.5

setting time t awal : 11.42 menit
 setting time t akhir : 40 menit
 suhu meningkat : 5 menit
 suhu maksimum : 15 menit
 suhu mulai turun : 55 menit
 suhu kembali normal : 175 menit

Dari data di atas dapat dilihat hubungan antara setting time binder dengan temperatur reaksi. Waktu ikat awal binder TB 10-1.5 terjadi sejak suhu mulai meningkat yaitu mulai

5 menit pertama hingga mencapai puncak temperatur. Pengikatan akhir terjadi saat suhu di puncak mulai turun hingga seluruh reaksi selesai. Reaksi yang terjadi pada binder TB 10-1.5 termasuk reaksi eksoterm karena mengeluarkan panas berupa kenaikan suhu pasta.

i) Binder TB 10-2

setting time t awal	: 8.68 menit
setting time t akhir	: 35 menit
suhu meningkat	: 5 menit
suhu maksimum	: 15 menit
suhu mulai turun	: 50 menit
suhu kembali normal	: 160 menit

Dari data di atas dapat dilihat hubungan antara setting time binder dengan temperatur reaksi. Waktu ikat awal binder TB 10-2 terjadi sejak suhu mulai meningkat yaitu mulai 5 menit pertama hingga mencapai puncak temperatur. Pengikatan akhir terjadi saat suhu di puncak mulai turun hingga seluruh reaksi selesai. Reaksi yang terjadi pada binder TB 10-2 termasuk reaksi eksoterm karena mengeluarkan panas berupa kenaikan suhu pasta.

j) Binder TB 10-2.5

setting time t awal	: 6.3 menit
setting time t akhir	: 35 menit
suhu meningkat	: 5 menit
suhu maksimum	: 25 menit
suhu mulai turun	: 50 menit
suhu kembali normal	: 150 menit

Dari data di atas dapat dilihat hubungan antara setting time binder dengan temperatur reaksi. Waktu ikat awal binder TB 10-2.5 terjadi sejak suhu mulai meningkat yaitu mulai 5 menit pertama hingga mencapai puncak temperatur. Pengikatan akhir terjadi saat suhu di puncak mulai turun hingga seluruh reaksi selesai. Reaksi yang terjadi pada binder TB 10-2.5 termasuk reaksi eksoterm karena mengeluarkan panas berupa kenaikan suhu pasta.

4.3.5 Porositas binder

Data porositas binder disajikan dalam tabel 4.37. Prosedur pengesanan porositas binder geopolimer merujuk pada AFNOR NF B 49104.

Tabel 3.37 porositas binder geopolimer

JENIS	μ (gr)	Mh (gr)	Mo (gr)	mo (gr)	Vo (ml3)	r (gr/ml3)
TB 8-0.5	14.3	26	23	22.3	8.4	2.655
	13.6	26	23	22.5	8.4	2.679
TB 8-1	14.5	26.5	23.5	23	8.4	2.738
	13.5	26	23	22.7	8.3	2.735
TB 8-1.5	14.5	27	23.5	23.2	8.3	2.795
	14	26	23.5	23.3	8.4	2.774
TB 8-2	14	26.5	23.5	23.2	8.2	2.829
	14	26.5	23.5	23.2	8.4	2.762
TB 8-2.5	14.5	26.5	23.5	22.8	8.4	2.714
	14	26.5	23.5	22.9	8.6	2.663
TB 10-0.5	12.8	25	22	21	8.1	2.593
	12.2	24.5	21	20.8	8	2.600
TB 10-1	12.3	24	21	20.6	7.9	2.608
	12.5	24.5	21.5	21	8	2.625
TB 10-1.5	13.7	26	22.5	23	8.4	2.738
	14	26	23.5	23.3	8.4	2.774
TB 10-2	13.7	26	23	22.8	8.2	2.780
	14	26.5	23.5	23.3	8.4	2.774
TB 10-2.5	13.7	25.5	23.5	21.5	7.9	2.722
	14.3	26.5	23.5	23.5	8.2	2.866

Lanjutan tabel 3.37

JENIS	pt (%)	rt2 pt (%)	po (%)	rt2 po (%)	pf (%)	rt2 pf (%)
TB 8-0.5	25.951	28.352	25.641	24.917	0.310	3.435
	30.753		24.194		6.559	
TB 8-1	28.478	30.600	25.000	24.500	3.478	6.100
	32.722		24.000		8.722	
TB 8-1.5	32.741	31.070	28.000	24.417	4.741	6.654
	29.399		20.833		8.566	
TB 8-2	33.552	32.741	24.000	24.000	9.552	8.741
	31.931		24.000		7.931	
TB 8-2.5	27.851	28.624	25.000	24.500	2.851	4.124
	29.397		24.000		5.397	
TB 10-0.5	30.445	32.389	24.590	26.523	5.855	5.867
	34.334		28.455		5.879	
TB 10-1	31.168	31.457	25.641	25.321	5.527	6.136
	31.746		25.000		6.746	
TB 10-1.5	33.192	31.296	28.455	24.644	4.737	6.651
	29.399		20.833		8.566	
TB 10-2	32.749	32.486	24.390	24.195	8.358	8.291
	32.223		24.000		8.223	
TB 10-2.5	26.823	29.805	16.949	20.770	9.874	9.035
	32.787		24.590		8.197	

Keterangan :

Rt2 = nilai rata- rata

μ = berat beton dalam air

Mh = berat beton dalam keadaan SSD

Mo = berat beton dalam keadaan kering oven

mo = berat beton setelah dihaluskan (pasta)

Vo = volume beton yang telah dihaluskan

r = kepadatan absolut

$$r = mo/Vo$$

α = kepadatan visual

$$\alpha = \frac{M_o}{M_h - \mu}$$

Pt = Porositas total

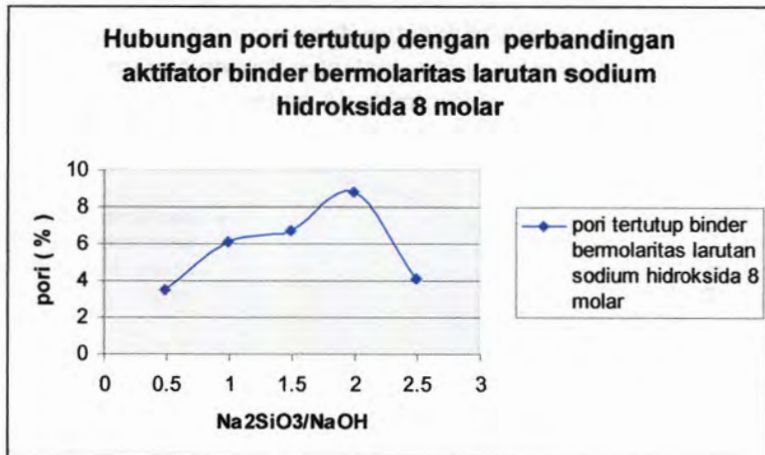
$$Pt (\%) = 100 \times (1 - \alpha/r)$$

Po = porositas tertutup

$$Po(\%) = \frac{(M_h - M_o)}{(M_h - \mu)}$$

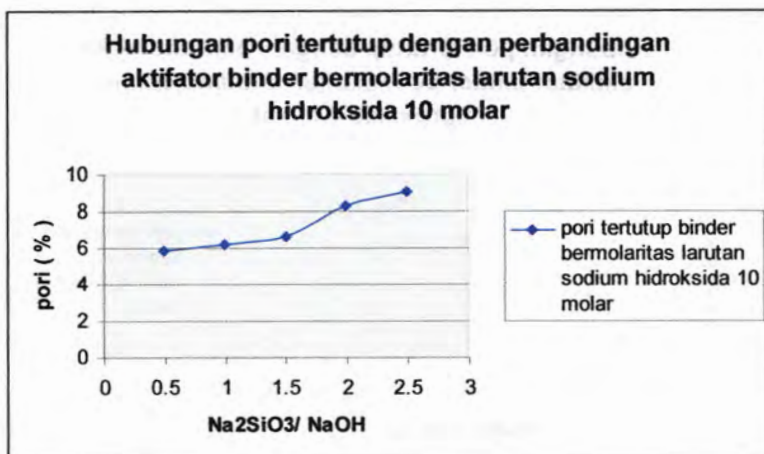
Dari tabel 4.37 dapat dilihat bahwa perbandingan aktifator dan molaritas juga mempengaruhi porositas binder geopolimer. Semakin tinggi perbandingan aktifator semakin besar pula porositas tertutup yang dimilikinya. Jika suatu beton memiliki porositas tertutup tinggi maka sangat dimungkinkan keadaan ini menunjang bagusnya kuat tekan sebuah beton. Semakin tinggi porositas tertutup dari suatu beton juga membuat beton lebih tahan retak dan susut.

Pada beton dengan molaritas larutan sodium hidroksida terdapat titik optimum yaitu pada perbandingan 2. Sedangkan pada molaritas 10 Molar kenaikan perbandingan diiringi dengan semakin tingginya porositas tertutup beton geopolimer.



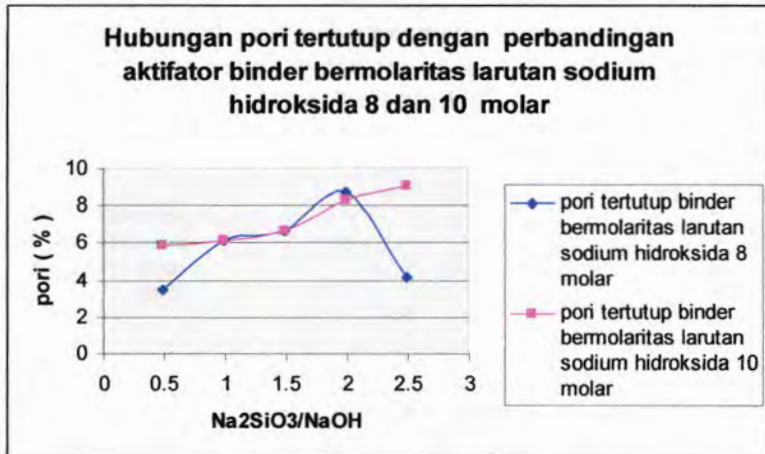
Gambar 4.36 Hubungan pori tertutup dengan perbandingan aktifator binder bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 molar

Dari gambar di atas dapat dilihat terdapat titik optimum pori tertutup yaitu pada perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 / \text{NaOH} = 2$. Jumlah pori tertutup berkaitan dengan kuat tekan binder geopolimer. Semakin tinggi pori tertutup binder semakin tinggi pula jumlah pori tertutupnya. Hal ini disebabkan karena tekanan hidrostatik pori tertutup yang dapat meningkatkan kuat tekan binder geopolimer.



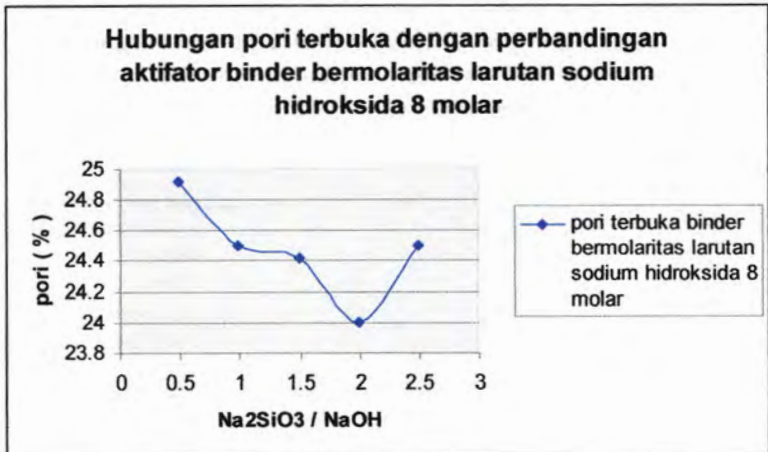
Gambar 4.37 Hubungan pori tertutup dengan perbandingan aktifator binder bermolaritas larutan sodium hidroksida 10 molar

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa perbandingan aktifator memegang peran penting dalam jumlah pori tertutup binder. Semakin tinggi perbandingan aktifatornya semakin tinggi pula jumlah pori tertutupnya. Jumlah pori tertutup paling tinggi dimiliki oleh binder dengan perbandingan aktifator 2,5. Jumlah pori tertutup binder berkorelasi dengan kuat tekan yang dimiliki oleh binder. Semakin tinggi kuat tekan binder semakin tinggi pula jumlah pori tertutupnya. Hal ini disebabkan karena tekanan hidrostatik pori tertutup yang dapat meningkatkan kuat tekan binder geopolimer.



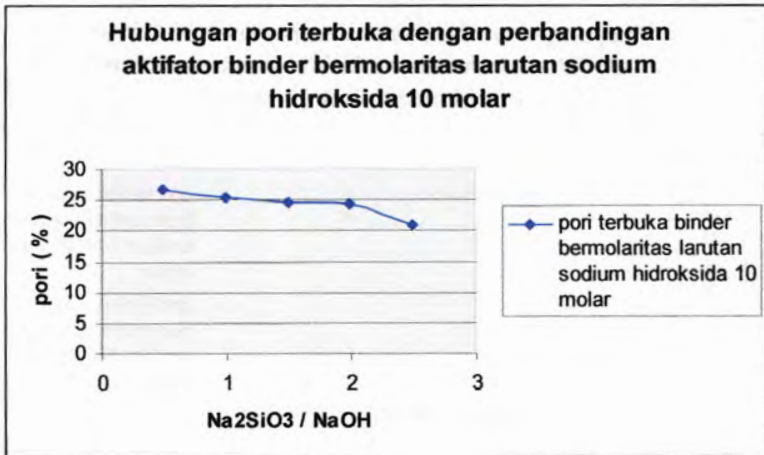
Gambar 4.38 Hubungan pori tertutup dengan perbandingan aktifator binder bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 dan 10 molar

Dari gambar dapat dilihat pola hubungan antara pori tertutup dengan perbandingan aktifator binder geopolimer. Pada binder yang memiliki molaritas larutan sodium hidroksida 8 molar terdapat titik optimum pada perbandingan 2. Sedangkan pada binder yang memiliki larutan sodium hidroksida 10 molar kenaikan perbandingan aktifator diiringi oleh kenaikan jumlah pori tertutup. Besarnya pori tertutup berkaitan dengan kuat tekan yang dimiliki binder geopolimer. Semakin tinggi pori tertutup makin tinggi pula kuat tekannya. Hal ini disebabkan karena tekanan hidrostatik yang ditimbulkan oleh pori tertutup mampu meningkatkan kuat tekan binder geopolimer.



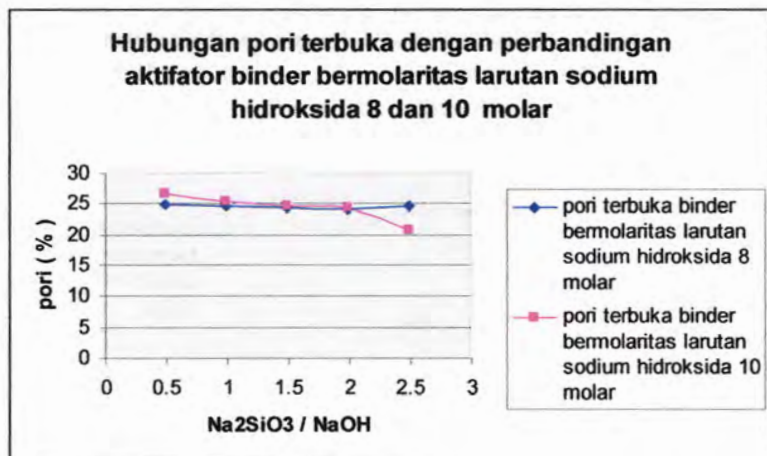
Gambar 4.39 Hubungan pori terbuka dengan perbandingan aktifator binder bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 molar

Dari gambar dapat dilihat bahwa binder dengan perbandingan aktifator 2 memiliki jumlah pori terbuka paling kecil yaitu sebesar 24 %. Semakin kecil porositas terbuka binder semakin besar pori tertutupnya. Semakin besar jumlah pori akan menurunkan kuat tekan binder. Hal ini disebabkan karena pori terbuka akan menyebabkan keropos yang akan menurunkan kuat tekan binder.



Gambar 4.40 Hubungan pori terbuka dengan perbandingan aktifator binder bermolaritas larutan sodium hidroksida 10 molar

Dari gambar dapat dilihat bahwa binder dengan perbandingan aktifator 2.5 memiliki pori terbuka paling kecil yaitu 20.77 %. Semakin tinggi perbandingan aktifator binder semakin rendah pori terbukanya. Jumlah pori terbuka berkaitan dengan kuat tekan binder geopolimer. Semakin rendah pori semakin tinggi kuat tekan bindernya. Hal ini diperkirakan disebabkan karena pori terbuka membuat binder keropos yang menyebabkan kuat tekan binder turun.



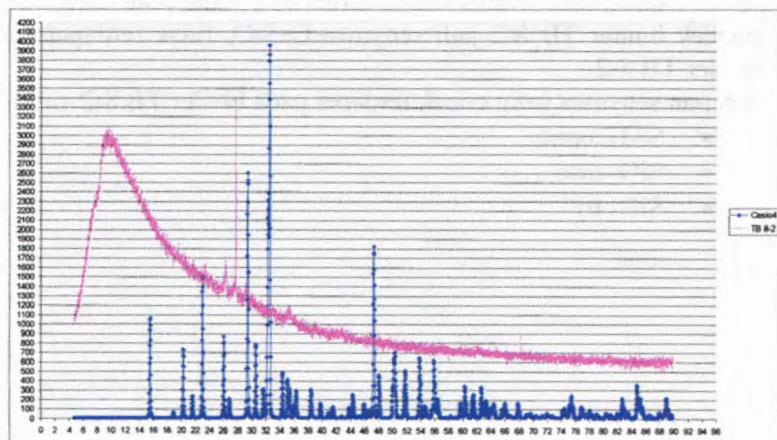
Gambar 4.41 Hubungan pori terbuka dengan perbandingan aktifator binder bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 dan 10 molar

Dari gambar dapat dilihat bahwa binder yang memiliki molaritas larutan hidroksida 8 molar memiliki titik minimum pada perbandingan aktifator 2. Sedangkan pada binder bermolaritas larutan sodium hidroksida 10 molar kenaikan perbandingan aktifator selalu diiringi dengan menurunnya pori terbuka binder geopolimer. Semakin rendah pori semakin tinggi kuat tekan bindernya. Hal ini diperkirakan disebabkan karena pori terbuka membuat binder keropos yang menyebabkan kuat tekan binder turun.

4.3.6 Analisa XRD binder

Analisa tes XRD binder geopolimer dilakukan dengan bantuan program reitica. Program ini digunakan untuk menganalisa senyawa apa yang terbentuk pada binder geopolimer. Berikut contoh analisa binder TB 8-2. Adapun prediksi senyawa yang dianalisa dengan program ini ialah :

- a. CaSiO_4
- b. Cristoba
- c. Gypsum
- d. Mullit
- e. NaSiO_3
- f. NaAlSiO
- g. NaFeSiO
- h. SiO_2
- i. SiO_2 mono
- j. SiO_2 orto
- k. SiO_2 tri
- l. Zeolit 1
- m. Zeolit 2
- n. Zeolit 3
- o. Zeolit 4
- p. Zeolit 5
- q. Zeolit 6



Gambar 4.42 Hubungan 2 teta dengan intensitas binder TB 8-2 dan CaSiO_4

Dari grafik diatas dapat diketahui apakah senyawa tersebut ada di dalam binder TB 8-2. Caranya dengan mencocokkan puncak tertinggi dari grafik CaSiO_4 dengan grafik binder. Jika minimal 2 puncak grafik tersebut menyentuh puncak grafik binder maka senyawa CaSiO_4 terdapat pada binder TB 8-2. Karena grafik terlalu kecil dan kurang teliti maka dicoba analisa dengan menggunakan data excel. Contoh perhitungannya yaitu :

Tabel 4.38 Analisa senyawa CaSiO_4

Nama	2 teta	intensitas	2teta II	intensitas II	2 teta III	intensitas III
CaSiO_4	32.7	3785.423	29.62	2477.038	47.52	1751.202
	32.72	3953.59	29.64	2599.189	47.54	1816.673
	32.74	3853.686	29.66	2520.374	47.56	1735.129
Binder TB 8-2	32.7	1126	29.62	1222	47.52	814
	32.72	1106	29.64	1194	47.54	840
	32.74	1105	29.66	1282	47.56	790
Keterangan	lereng		lembah		puncak	
Kesimpulan	tidak ada senyawa CaSiO_4					

Dari data di atas hanya terdapat 1 data yang menyentuh puncak binder TB 8-2 jadi senyawa CaSiO_4 tidak terdapat pada binder TB 8-2.

Adapun senyawa yang cocok terdapat pada binder TB 8-2 yaitu :

- SiO_2 mono
- SiO_2 orto
- SiO_2 tri

Tabel 4.39 Analisa XRD binder

Kode Binder	Senyawa yang terkandung
TB 8-0.5	Cristoba, SiO ₂ orto, SiO ₂ tri, zeolit 4
TB 8-1	CaSiO ₄ , cristoba, mullit, zeolit 4, zeolit 5
TB 8-1.5	Cristoba, SiO ₂ tri, Zeolit 2
TB 8-2	SiO ₂ mono, SiO ₂ orto, SiO ₂ tri
TB 8-2.5	Cristoba, Gypsum, Na ₂ SiO ₃ , NaFeSiO
TB 10-0.5	Gypsum, mullit, SiO ₂ , SiO ₂ tri, Zeolit 1, Zeolit 3
TB 10-1	Gypsum, Mullit, Na ₂ SiO ₃ , NaFeSiO, SiO ₂ , Zeolit 6
TB 10-1.5	Mullit, SiO ₂ , SiO ₂ mono, Zeolit 1, Zeolit 2, Zeolit 3, Zeolit 5
TB 10-2	Cristoba, mullit, SiO ₂ mono, Zeolit 4, Zeolit 5
TB 10-2.5	Cristoba, SiO ₂ tri, Zeolit 4

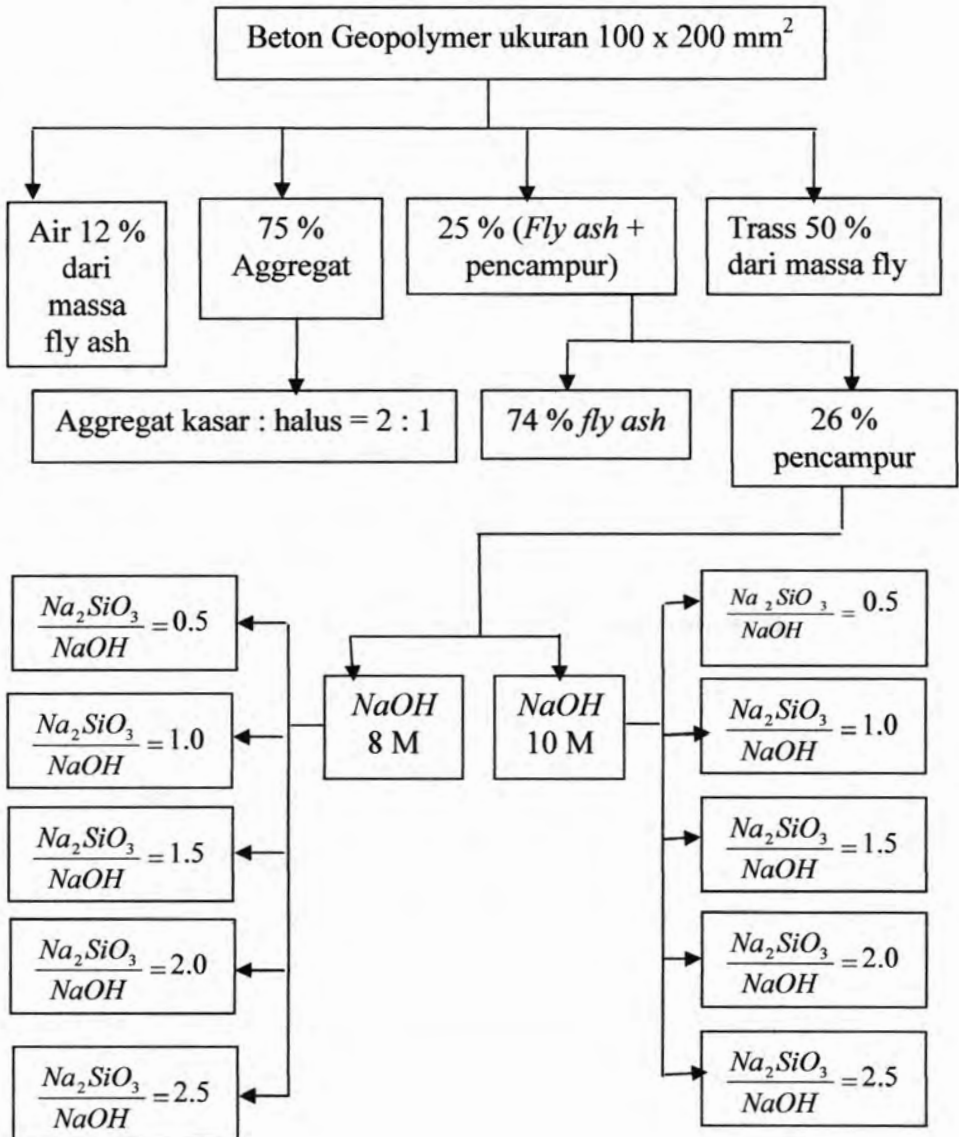
keterangan :

- Cristoba : SiO₂
- Mullite : Al₂.35 Si.64 O₄.82
- Gypsum : Ca (SO₄) (H₂O) 2
- Zeolit 1 : Na Al SiO₄ (H₂O)1.1
- Zeolit 2 : Ca_{1.95} Al_{3.9} Si_{8.1} O₂₄
- Zeolit 3 : Ca Al₂Si₂ O₈ Cl₂
- Zeolit 4 : Ca((Al₂Si₄)O₁₂) (Cl₃)
- Zeolit 5 : Na_{15.2} Al_{15.2} Si_{32.8} O₉₆
- Zeolit 6 : (K₂(Al₂Si₃O₁₀) (KCl)

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa senyawa yang terbentuk dari setiap komposisi binder tidak sama. Hal ini diperkirakan dikarenakan perbedaan hasil reaksi yang dihasilkan dari reaksi polimerisasi binder.

4.4 Beton Geopolimer

4.4.1 Mixed design beton geopolimer



- a) Massa 1 silinder beton geopolimer ukuran 100 x 200 mm²

$$\begin{aligned} \text{Volume 1 silinder} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\ &= \frac{1}{4} \pi (0.1)^2 (0.2) \\ &= 1.57 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa 1 silinder} &= \rho \times V \\ &= 2.4 \text{ t/m}^3 \times 1.57 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \\ &= 3.77 \times 10^{-3} \text{ ton} \approx 3.77 \text{ kilogram} \approx \end{aligned}$$

3770 gram

- b) Massa beton geopolimer
 = massa agregat + massa (*fly ash* + pencampur)
 = 3770 gr = massa agregat + massa (*fly ash* + pencampur)

- c) Massa agregat = 75 % massa beton geopolimer
 = 75 % x 3770 gram
 = 2827.5 gram

- d) Perbandingan massa agregat kasar : agregat halus = 2 : 1

$$\begin{aligned} \oplus \text{ Agregat kasar total} &= \frac{2}{3} \times \text{massa agregat} \\ &= \frac{2}{3} \times 2827.5 \text{ gram} \\ &= 1885 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \oplus \text{ Agregat kasar spec A} &= 4/5 * \text{massa} \\ &\text{agregat kasar total} \\ &= 4/5 * 1885 \\ &= 1508 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \oplus \text{ Agregat kasar spec B} &= 1/5 * \text{massa} \\ &\text{agregat kasar total} \\ &= 1/5 * 1885 \end{aligned}$$

$$= 377 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \oplus \text{ Agregat halus} &= \frac{1}{3} \times \text{massa agregat} \\ &= \frac{1}{3} \times 2827.5 \text{ gram} \\ &= 942.5 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e) Massa (fly ash + pencampur)} &= 25 \% \text{ massa beton} \\ &\text{geopolymer} \\ &= 25 \% \times 3770 \text{ gram} \\ &= 942.5 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f) Massa fly ash} &= 74 \% \times \text{massa (fly ash + pencampur)} \\ &= 74 \% \times 942.5 \text{ gram} \\ &= 697.45 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g) Massa trass} &= 50 \% \times \text{massa fly ash} \\ &= 50 \times 697.45 \\ &= 348.725 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{h) Massa pencampur} &= 26 \% \text{ massa (fly ash + pencampur).} \\ &= 26 \% \times 942.5 \text{ gram} \\ &= 245.05 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{i) Massa air} &= 12 \% \times \text{massa fly ash} \\ &= 12 \% \times 697.45 \\ &= 83.69 \text{ gram} \end{aligned}$$

j) Massa pencampur = massa *sodium hidroksida* + massa *sodium silikat*. Massa NaOH 8 M = Massa NaOH 10 M = Massa NaOH yang digunakan. Untuk menentukan berapa besar massa *sodium hidroksida* dan *sodium silikat* yang dipakai, dapat dihitung dengan menggunakan perbandingan – perbandingan sebagai berikut :

$$\oplus \text{ Perbandingan } \frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 0.5$$

$$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 0.5 \rightarrow 0.5 NaOH = Na_2SiO_3$$

$$245.05 = 0.5 NaOH + NaOH$$

$$245.05 = 1.5 NaOH$$

$$NaOH = 163.37 \text{ gram}$$

$$Na_2SiO_3 = 81.68 \text{ gram}$$

$$\oplus \text{ Perbandingan } \frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1.0$$

$$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1.0 \rightarrow NaOH = Na_2SiO_3$$

$$245.05 = NaOH + NaOH$$

$$245.05 = 2 NaOH$$

$$NaOH = Na_2SiO_3 = 122.53 \text{ gram}$$

$$\oplus \text{ Perbandingan } \frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1.5$$

$$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1.5 \rightarrow 1.5 NaOH = Na_2SiO_3$$

$$245.05 = 1.5 NaOH + NaOH$$

$$245.05 = 2.5 NaOH$$

$$NaOH = 98.02 \text{ gram}$$

$$Na_2SiO_3 = 147.03 \text{ gram}$$

$$\oplus \text{ Perbandingan } \frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 2.0$$

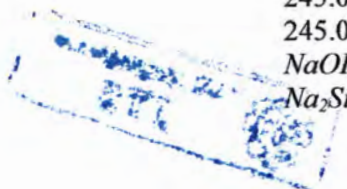
$$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 2.0 \rightarrow 2.0 NaOH = Na_2SiO_3$$

$$245.05 = 2.0 NaOH + NaOH$$

$$245.05 = 3 NaOH$$

$$NaOH = 81.68 \text{ gram}$$

$$Na_2SiO_3 = 163.37 \text{ gram}$$



$$\oplus \text{ Perbandingan } \frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 2.5$$

$$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 2.5 \rightarrow 2.5 NaOH = Na_2SiO_3$$

$$245.05 = 2.5 NaOH + NaOH$$

$$245.05 = 3.5 NaOH$$

$$NaOH = 70.01 \text{ gram}$$

$$Na_2SiO_3 = 175.04 \text{ gram}$$

Tabel 4.40 Kebutuhan $NaOH$ dan Na_2SiO_3

	$NaOH$ (gram)	Na_2SiO_3 (gram)
$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 0.5$	163.37	81.68
$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1.0$	122.53	122.53
$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 1.5$	98.02	147.03
$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 2.0$	81.68	163.37
$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 2.5$	70.01	175.04



Tabel 4.41 kebutuhan bahan beton geopolimer

Beton	Fly Ash (gr)	Trass (gr)	Agg kasar (gr)	Agg halus (gr)	NaOH (gr)	Na ₂ SiO ₃ (gr)	Air (gr)
TC 8-0,5	697.45	348.73	1885	942.5	163.4	81.68	83.69
TC 8-1	697.45	348.73	1885	942.5	122.5	122.53	83.69
TC 8-1,5	697.45	348.73	1885	942.5	98.02	147.03	83.69
TC 8-2	697.45	348.73	1885	942.5	81.68	163.37	83.69
TC 8-2,5	697.45	348.73	1885	942.5	70.01	175.04	83.69
TC 10-0,5	697.45	348.73	1885	942.5	163.4	81.68	83.69
TC 10-1	697.45	348.73	1885	942.5	122.5	122.53	83.69
TC 10-1,5	697.45	348.73	1885	942.5	98.02	147.03	83.69
TC 10-2	697.45	348.73	1885	942.5	81.68	163.37	83.69
TC 10-2,5	697.45	348.73	1885	942.5	70.01	175.04	83.69

Sedang kebutuhan sample benda uji dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.42 kebutuhan benda uji beton geopolimer

Beton	Kebutuhan sampel								
	tekan 3 hr	tekan 7 hr	tekan 14 hr	tekan 21 hr	tekan 28 hr	tarik	XRD	porositas	total
TC 8-0,5	3	3	3	3	3	3	1	3	22
TC 8-1	3	3	3	3	3	3	1	3	22
TC 8-1,5	3	3	3	3	3	3	1	3	22
TC 8-2	3	3	3	3	3	3	1	3	22
TC 8-2,5	3	3	3	3	3	3	1	3	22
TC 10-0,5	3	3	3	3	3	3	1	3	22
TC 10-1	3	3	3	3	3	3	1	3	22
TC 10-1,5	3	3	3	3	3	3	1	3	22
TC 10-2	3	3	3	3	3	3	1	3	22
TC 10-2,5	3	3	3	3	3	3	1	3	22

Keterangan :

- Komposisi berat masing- masing bahan hanya untuk 1 sampel benda uji.
- Beton TC 8-0,5 = NaOH 8M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 0.5$
- Beton TC 8-1 = NaOH 8M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1$
- Beton TC 8-1,5 = NaOH 8M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1.5$
- Beton TC 8-2 = NaOH 8M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2$
- Beton TC 8-2,5 = NaOH 8M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2.5$
- Beton TC 10-0,5 = NaOH 10M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 0.5$
- Beton TC 10-1 = NaOH 10M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1$
- Beton TC 10-1,5 = NaOH 10M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1.5$
- Beton TC 10-2 = NaOH 10M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2$
- Beton TC 10-2,5 = NaOH 10M dengan perbandingan massa NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2.5$

Kebutuhan total bahan- bahan untuk membuat seluruh sampel dari berbagai jenis beton :

- | | |
|------------------------------|--------------|
| a. Fly ash | = 153439 gr |
| b. Trass | = 76719.5 gr |
| c. Agregat kasar | = 414700 gr |
| d. Agregat halus | = 207350 gr |
| e. NaOH | = 19282 gr |
| f. Na_2SiO_3 | = 24827.4 gr |
| g. Air | = 18411.8 gr |

4.4.2 Pengaruh perbandingan aktifator terhadap kuat tekan beton geopolimer

Pada tabel 4.43 akan disajikan hasil kuat tekan beton geopolimer campuran TC 8-0,5 sampai dengan TC 10-2,5. Rasio antara Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida yang digunakan ialah 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5. Molaritas NaOH yang dipergunakan ialah 8 dan 10 molar. Rumus kuat tekan yang digunakan ialah :

$$\sigma = P/A$$

Dimana :

σ = Kuat tekan beton (kg/cm²)

P = Beban/ tekanan (kg)

A = Luas permukaan (cm²)

$$1\text{MPa} = 9.872 \text{ kg/cm}^2$$

Kode beton	TES KUAT TEKAN BETON											
	3 HR				7 HR				14 HR			
	P (kg)	σ (kg/cm ²)	r _{t2} (kg/cm ²)	σ (MPa)	P (kg)	σ (kg/cm ²)	r _{t2} (kg/cm ²)	σ (MPa)	P (kg)	σ (kg/cm ²)	r _{t2} (kg/cm ²)	σ (MPa)
TC 8-0.5	0	0.00	0.00	0.00	280	3.57	3.69	0.37	400	5.096	4.46	0.45
	0	0.00			300	3.82			300	3.822		
TC 8-1	0	0.00	0.00	0.00	860	10.96	9.30	0.94	920	11.720	11.72	1.19
	0	0.00			600	7.64			920	11.720		
TC 8-1.5	0	0.00	0.00	0.00	640	8.15	14.52	1.47	1760	22.420	25.10	2.54
	0	0.00			1640	20.89			2180	27.771		
TC 8-2	3020	38.47	34.52	3.50	2480	31.59	38.09	3.86	5260	67.006	78.98	8.00
	2400	30.57			3500	44.59			7140	90.955		
TC 8-2.5	1460	18.60	20.76	2.10	1820	23.18	21.78	2.21	4500	57.325	47.77	4.84
	1800	22.93			1600	20.38			3000	38.217		
TC 10-0.5	0	0.00	0.00	0.00	260	3.31	3.18	0.32	300	3.822	4.33	0.44
	0	0.00			240	3.06			380	4.841		
TC 10-1	640	8.15	21.27	2.15	1340	17.07	24.33	2.46	3250	41.401	27.07	2.74
	2700	34.39			2480	31.59			1000	12.739		
TC 10-1.5	1900	24.20	25.61	2.59	2500	31.85	31.85	3.23	4800	61.146	72.87	7.38
	2120	27.01			2500	31.85			6640	84.586		

TC 10-2	2900	36.94	56.05	5.68	4450	56.69	72.93	7.39	9020	114.904	109.68	11.11
	5900	75.16			7000	89.17			8200	104.459		
TC 10-2.5	3240	41.27	87.39	8.85	8450	107.64	92.04	9.32	12150	154.777	154.71	15.67
	10480	133.50			6000	76.43			12140	154.650		

Lanjutan tabel 4.43 Data kuat tekan beton geopolimer

Kode beton	TES KUAT TEKAN BETON											
	21 HR				28 HR				60 HR			
	P (kg)	σ (kg/cm ²)	rt2 (kg/cm ²)	σ (MPa)	P (kg)	σ (kg/cm ²)	rt2 (kg/cm ²)	σ (MPa)	P (kg)	σ (kg/cm ²)	rt2 (kg/cm ²)	σ (MPa)
TC 8-0.5	500	6.37	6.88	0.70	1200	15.29	13.38	1.35	3000	38.22	36.94	3.74
	580	7.39			900	11.46			2800	35.67		
TC 8-1	1000	12.74	12.36	1.25	1300	16.56	15.92	1.61	3700	47.13	47.77	4.84
	940	11.97			1200	15.29			3800	48.41		
TC 8-1.5	1940	24.71	27.01	2.74	2300	29.30	28.28	2.86	3950	50.32	51.27	5.19
	2300	29.30			2140	27.26			4100	52.23		
TC 8-2	10480	133.50	138.41	14.02	24000	305.73	285.03	28.87	29000	369.43	366.24	37.10
	11250	143.31			20750	264.33			28500	363.06		
TC 8-2.5	5900	75.16	100.64	10.19	14760	188.03	172.99	17.52	13500	171.97	185.99	18.84
	9900	126.11			12400	157.96			15700	200.00		
TC 10-0.5	450	5.73	6.05	0.61	600	7.64	7.96	0.81	900	11.46	11.78	1.19

	500	6.37			650	8.28			950	12.10		
TC 10-1	6400	81.53	96.82	9.81	10000	127.39	124.84	12.65	12450	158.60	152.55	15.45
	8800	112.10			9600	122.29			11500	146.50		
TC 10-1.5	10600	135.03	122.29	12.39	12550	159.87	156.37	15.84	12550	159.87	156.37	15.84
	8600	109.55			12000	152.87			12000	152.87		
TC 10-2	13300	169.43	170.38	17.26	17300	220.38	221.66	22.45	19250	245.22	251.59	25.49
	13450	171.34			17500	222.93			20250	257.96		
TC 10-2.5	16700	212.74	211.46	21.42	23800	303.18	305.73	30.97	30500	388.54	392.99	39.81
	16500	210.19			24200	308.28			31200	397.45		

Keterangan :

Rt2 : rata-rata kuat tekan beton



Gambar 4.43 Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 8-0.5

Dari gambar 4.43 dapat dilihat bahwa beton TC 8-0.5 mengalami kenaikan kuat tekan paling signifikan pada usia 21-28 hari yaitu 0.65 MPa. Sampai umur 3 hari kuat tekan beton TC 8-0.5 masih nol, hal ini menunjukkan bahwa pengikatan material oleh aktifator yang terjadi pada beton TC 8-0.5 berjalan lambat. Kuat tekan usia 28 hari 1.35 MPa. Dari gambar 4.13 dapat kita lihat pola kuat tekan beton TC 8-0.5 yang terus mengalami kenaikan sampai usia 28 hari. Hal ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton TC 8-0.5 pada usia 28 hari belum konstan dalam arti masih dimungkinkan terjadi kenaikan kuat tekan setelah usia binder melebihi 28 hari. Pada hari ke 60 dilakukan pengetesan kuat tekan untuk mengetahui kenaikan yang terjadi setelah usia 28 hari. Kuat tekan usia 60 hari beton TC 8-0.5 ialah 3.74 MPa. Sampai hari ke 60 beton belum juga menunjukkan akan memiliki kuat tekan yang stabil. Dengan kejadian ini masih sangat dimungkinkan terjadi kenaikan kuat tekan setelah usia 60 hari.

Tabel 4.44 prosentase kenaikan kuat tekan beton TC 8-0.5

usia	% kuat tekan
3	0
7	27.619
14	33.333
21	51.429
28	100

Dari tabel dapat dilihat bahwa beton TC 8-0.5 memiliki 50 % kuat tekannya pada usia 21 hari yaitu sebesar 51.4 % dari kuat tekan usia 28 harinya. Kenaikan kuat tekan yang terjadi tergolong cukup lambat dibanding binder TB 8-0.5 yang pada usia yang sama memiliki 92.98 % kuat tekan usia 28 harinya.



Gambar 4.44 Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 8-1

Dari gambar 4.44 dapat dilihat bahwa beton TC 8-1 mengalami kenaikan kuat tekan paling signifikan pada usia 3-7 hari yaitu 0.93 MPa. Kuat tekan usia 28 hari 1.61 MPa. Dari gambar 4.14 dapat dilihat pola kuat tekan beton TC 8-1 yang terus mengalami kenaikan sampai usia 28 hari. Hal ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton TC 8-1 pada usia 28

hari belum konstan dalam arti masih dimungkinkan terjadi kenaikan kuat tekan setelah usia binder melebihi 28 hari. Kuat tekan beton TC 8-1 yang menunjukkan angka nol pada usia 3 hari menunjukkan lambatnya reaksi polimerisasi. Pada hari ke 60 dilakukan pengetesan kuat tekan untuk mengetahui kenaikan yang terjadi setelah usia 28 hari. Kuat tekan usia 60 hari beton TC 8-1 ialah 4.84 MPa. Terjadi kenaikan sebesar 3.23 MPa. Sampai hari ke 60 beton belum juga menunjukkan akan memiliki kuat tekan yang stabil. Dengan kejadian ini masih sangat dimungkinkan terjadi kenaikan kuat tekan setelah usia 60 hari.

Tabel 4.45 prosentase kenaikan kuat tekan beton TC 8-1

usia	% kuat tekan
3	0
7	58.400
14	73.600
21	77.600
28	100

Dari tabel dapat dilihat bahwa beton TC 8-1 memiliki 50 % kuat tekannya pada usia 7 hari yaitu sebesar 58.4 % dari kuat tekan usia 28 harinya. Kenaikan kuat tekan yang terjadi tergolong cukup lambat dibanding binder TB 8-1 yang pada usia yang sama memiliki 60.9 % kuat tekan usia 28 harinya.



Gambar 4.45 Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 8-1.5

Dari gambar 4.45 dapat dilihat bahwa beton TC 8-1.5 mengalami kenaikan kuat tekan paling signifikan pada usia 3-7 hari yaitu 1.452 MPa. Sampai umur 3 hari kuat tekan beton TC 8-1.5 masih nol, hal ini menunjukkan bahwa pengikatan material oleh aktifator yang terjadi pada beton TC 8-1.5 berjalan lambat. Kuat tekan usia 28 hari 2.86 MPa. Dari gambar 4.15 dapat kita lihat pola kuat tekan beton TC 8-1.5 sudah mulai memiliki kuat tekan yang konstan sampai usia 28 hari. Kenaikan kuat tekan masih dimungkinkan terjadi tetapi tidak terlalu tinggi dan signifikan. Setelah dilakukan tes tekan usia 60 hari ternyata beton masih mengalami kenaikan kuat tekan. Kuat tekan usia 60 harinya ialah 5.19. Terjadi kenaikan sebesar 2.33 MPa. Sampai hari ke 60 beton belum memiliki tanda memiliki kekonstanan kuat tekan.

Tabel 4.46 prosentase kenaikan kuat tekan beton TC 8-1.5

usia	% kuat tekan
3	0
7	51.351
14	88.739
21	95.495
28	100

Dari tabel dapat dilihat bahwa beton TC 8-1.5 memiliki 50 % kuat tekannya pada usia 7 hari yaitu sebesar 51.35 % dari kuat tekan usia 28 harinya. Kenaikan kuat tekan yang terjadi tergolong cukup lambat dibanding binder TB 8-1.5 yang pada usia yang sama memiliki 71.36 % kuat tekan usia 28 harinya.



Gambar 4.46 Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 8-2

Dari gambar 4.46 dapat dilihat bahwa beton TC 8-2 mengalami kenaikan kuat tekan paling signifikan pada usia 21-28 hari yaitu 14.66 MPa. Kuat tekan usia 28 hari 28.503 MPa. Dari gambar 4.16 dapat dilihat pola kuat tekan beton

TC 8-2 yang terus mengalami kenaikan sampai usia 28 hari. Hal ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton TC 8-2 pada usia 28 hari belum konstan dalam arti masih dimungkinkan terjadi kenaikan kuat tekan setelah usia binder melebihi 28 hari. Setelah dilakukan tes tekan usia 60 hari ternyata beton masih mengalami kenaikan kuat tekan. Kuat tekan usia 60 harinya ialah 37.1MPa . Terjadi kenaikan sebesar 8.23 MPa. Dari gambar dapat dilihat bahwa beton sudah hampir memiliki kestabilan kuat tekan setelah hari ke 60.

Tabel 4.47 prosentase kenaikan kuat tekan beton TC 8-2

usia	% kuat tekan
3	12.112
7	13.363
14	27.709
21	48.559
28	100

Dari tabel dapat dilihat bahwa beton TC 8-2 memiliki 50 % kuat tekannya pada usia 21 hari yaitu sebesar 48.559 % dari kuat tekan usia 28 harinya. Kenaikan kuat tekan yang terjadi tergolong cukup lambat dibanding binder TB 8-1.5 yang pada usia yang sama memiliki 72.533 % kuat tekan usia 28 harinya.



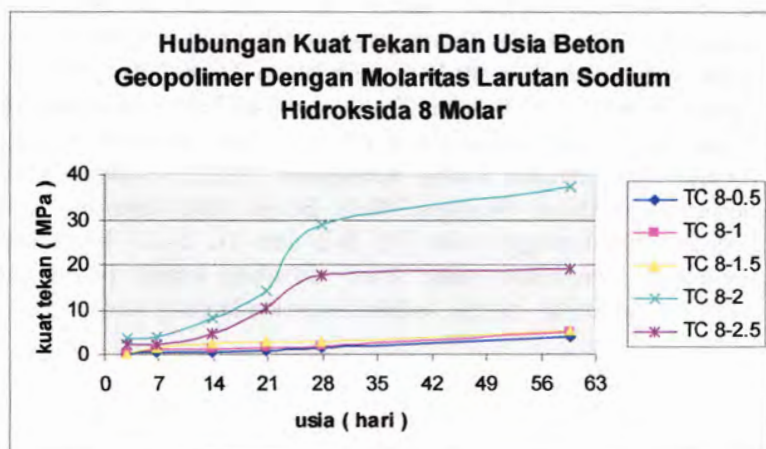
Gambar 4.47 Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 8-2.5

Dari gambar 4.48 dapat dilihat bahwa beton TC 8-2.5 mengalami kenaikan kuat tekan paling signifikan pada usia 21-28 hari yaitu 7.23 MPa. Kuat tekan usia 28 hari 17.52 MPa. Dari gambar 4.17 dapat dilihat pola kuat tekan beton TC 8-2.5 yang terus mengalami kenaikan sampai usia 28 hari. Hal ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton TC 8-2.5 pada usia 28 hari belum konstan dalam arti masih dimungkinkan terjadi kenaikan kuat tekan setelah usia binder melebihi 28 hari. Setelah dilakukan tes tekan usia 60 hari ternyata beton masih mengalami kenaikan kuat tekan. Kuat tekan usia 60 harinya ialah 18.84 MPa . Terjadi kenaikan sebesar 1.32 MPa. Dari gambar dapat dilihat bahwa beton sudah hampir memiliki kestabilan kuat tekan setelah hari ke 60.

Tabel 4.48 prosentase kenaikan kuat tekan beton TC 8-2.5

usia	% kuat tekan
3	12.003
7	12.592
14	27.614
21	58.174
28	100

Dari tabel dapat dilihat bahwa beton TC 8-2.5 memiliki 50 % kuat tekannya pada usia 21 hari yaitu sebesar 48.559 % dari kuat tekan usia 28 harinya. Kenaikan kuat tekan yang terjadi tergolong cukup lambat dibanding binder TB 8-2.5 yang pada usia yang sama memiliki 67.2 % kuat tekan usia 28 harinya.



Gambar 4.48

Hubungan kuat tekan dengan usia beton dengan molaritas larutan sodium hidroksida 8M

Dari gambar 4.48 dapat dilihat berbagai macam pola kenaikan beton geopolimer TC 8-0.5, TC 8-1, TC 8-1.5, TC 8-2 dan TC 8-2.5. Beton TC 8-0.5, TC 8-1, dan TC 8-1.5 memiliki kuat tekan yang sangat rendah, di bawah 5 MPa. Hal ini

diperkirakan disebabkan oleh tingginya kadar Na dalam campuran yang tidak diiringi dengan tingginya kadar Na_2SiO_3 yang berperan sebagai katalisator (Rowles, 2003). Karena kondisi ini beton lambat dalam melakukan reaksi pengikatan polimerisasi sehingga kuat tekan yang dimiliki beton rendah. Beton TC 8-2 memiliki kuat tekan paling tinggi diantara ke 5 beton dengan molaritas larutan sodium hidroksida 8 molar yaitu 28.503 MPa. Dari gambar 4.48 dapat dilihat bahwa secara garis besar beton TC 8-0.5 sampai dengan beton TC 8-2.5 memiliki pola kenaikan kuat tekan yang hampir sama. Kelima beton Belum memiliki kuat tekan yang stabil sampai hari ke 28 hal ini menyebabkan masih dimungkinkan beton mengalami kenaikan kuat tekan setelah hari ke 28. Setelah dilakukan pengetestan hari ke 60 beberapa beton sudah menunjukkan kecenderungan kestabilan kuat tekan. Beton yang sudah hampir memiliki kuat tekan stabil pada usia 60 hari ialah beton TC 8-2 dan TC 8-2.5. Beton TC 8-0.5: TC 8-1 dan TC 8-1.5 masih belum memiliki kuat tekan yang stabil sampai usia 60 hari. Dari perilaku ini dapat diperkirakan bahwa kadar katalisator sodium silikat sangat berpengaruh disini (Rowles,2003). Beton yang memiliki kadar sodium silikat tinggi yaitu TC 8-2 dan TC 8-2.5 lebih cepat mencapai kuat tekan yang stabil dibanding ketiga beton yang memiliki molaritas larutan sodium hidroksida yang sama.



Gambar 4.49 Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 10-0.5

Dari gambar 4.53 dapat dilihat bahwa beton TC 10-0.5 memiliki kuat tekan usia 28 hari sebesar 0.81 MPa. Sampai hari ke 3 kuat tekan beton masih nol. Kenaikan kuat tekan paling tinggi terjadi pada usia 3-7 hari mencapai 0.32 MPa. Dari gambar dapat dilihat pola kenaikan kuat tekan beton TC 10-0.5 yang masih terus merangkak naik. Sampai hari ke 28 beton Belum memiliki kuat tekan yang konstan, artinya dimungkinkan terjadi kenaikan kuat tekan beton setelah hari ke 28. Setelah dilakukan tes tekan usia 60 hari ternyata beton masih mengalami kenaikan kuat tekan. Kuat tekan usia 60 harinya ialah 1.19 MPa. Terjadi kenaikan sebesar 0.38 MPa. Sampai hari ke 60 beton belum memiliki tanda memiliki kekonstanan kuat tekan.

Tabel 4.49 prosentase kenaikan kuat tekan beton TC 10-0.5

usia	% kuat tekan
3	0
7	40.000
14	54.400
21	76.000
28	100

Dari tabel dapat dilihat bahwa beton TC 10-0.5 memiliki 50 % kuat tekannya pada usia 14 hari yaitu sebesar 54.4 % dari kuat tekan usia 28 harinya. Kenaikan kuat tekan yang terjadi tergolong cukup lambat dibanding binder TB 10 -0.5 yang pada usia yang sama memiliki 66.67 % kuat tekan usia 28 harinya.



Gambar 4.50 Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 10-1

Dari gambar 4.50 dapat dilihat bahwa beton TC 10-1 memiliki kuat tekan usia 28 hari sebesar 12.65 MPa. Kenaikan kuat tekan paling tinggi terjadi pada rentang usia 21-28 hari yaitu mencapai 2.81 MPa. Antara hari ke 3 sampai hari ke 14 kuat tekan beton TC 10-1 relatif stabil, kenaikan kuat tekan terjadi setelah hari ke 14. Sampai hari ke 28 beton

Belum memiliki kuat tekan yang stabil, dengan keadaan ini masih dimungkinkan untuk terjadi kenaikan kuat tekan setelah hari ke 28. Setelah dilakukan tes tekan usia 60 hari ternyata beton masih mengalami kenaikan kuat tekan. Kuat tekan usia 60 harinya ialah 15.45 MPa. Terjadi kenaikan sebesar 2.8 MPa. Sampai hari ke 60 beton sudah mulai menunjukkan kestabilan kuat tekan. Masih dimungkinkan terjadi kenaikan kuat tekan tetapi tidak akan terlalu signifikan.

Tabel 4.50 prosentase kenaikan kuat tekan beton TC 10-1

usia	% kuat tekan
3	17.041
7	19.490
14	21.684
21	77.551
28	100

Dari tabel dapat dilihat bahwa beton TC 10-1 memiliki 50 % kuat tekan usia 28 harinya pada usia 21 hari yaitu sebesar 77.551 %. Hal ini tergolong lambat untuk ukuran beton normal yang memiliki 50 % kuat tekannya pada usia 14 hari. Kenaikan kuat tekan yang terjadi tergolong cukup lambat dibanding binder TB 10-1 yang pada usia yang sama memiliki 91.48 % kuat tekan usia 28 harinya. Fenomena ini diperkirakan disebabkan karena rendahnya kadar sodium silikat yang berfungsi sebagai katalisator. Dengan rendahnya kadar katalisator dalam beton menyebabkan reaksi pengikatan berjalan sangat lambat sehingga kenaikan kuat tekan berjalan sangat lambat.



Gambar 4.51 Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 10-1.5

Dari gambar 4.51 dapat dilihat bahwa beton TC 10-1.5 memiliki kuat tekan usia 28 hari sebesar 15.84 MPa. Antara hari ke 3- 7 kuat tekan beton relatif stabil. Kuat tekan mulai naik drastis setelah usia 14 dan mengalami kenaikan kuat tekan paling tinggi pada usia 21-28 hari mencapai 3.41 MPa. Sampai hari ke 28 beton belum memiliki kuat tekan yang stabil, dengan keadaan ini masih dimungkinkan untuk terjadi kenaikan kuat tekan setelah hari ke 28. Setelah dilakukan tes tekan usia 60 hari ternyata beton sudah tidak mengalami kuat tekan . Kuat tekan usia 60 harinya sama dengan kuat tekan usia 28 harinya yaitu 15.84 MPa . Dari gambar dan dari hasil tes kuat tekan dapat dilihat bahwa beton sudah memiliki kestabilan kuat tekan setelah hari ke 60.

Tabel 4.51 prosentase kenaikan kuat tekan beton TC 10-1.5

usia	% kuat tekan
3	16.375
7	20.367
14	46.599
21	78.208
28	100

Dari tabel dapat dilihat bahwa beton TC 10-1.5 memiliki 50 % kuat tekan usia 28 harinya pada usia 14 hari yaitu sebesar 46.59 %. Kenaikan kuat tekan yang terjadi tergolong cukup lambat dibanding binder TB 10-1.5 yang pada usia yang sama memiliki 85 % kuat tekan usia 28 harinya.



Gambar 4.52 Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 10-2

Dari gambar 4.52 dapat dilihat bahwa beton TC 10-2 memiliki kuat tekan usia 28 hari sebesar 22.45 MPa. Kuat tekan beton terus menanjak dari hari ke 3 dan mengalami kenaikan paling tinggi antara hari ke 14-21 sebesar 6.07 MPa. Sampai hari ke 28 beton belum memiliki kuat tekan yang stabil, dengan keadaan ini masih dimungkinkan untuk terjadi kenaikan kuat tekan setelah hari

ke 28. Setelah dilakukan tes tekan usia 60 hari ternyata beton masih mengalami kenaikan kuat tekan. Kuat tekan usia 60 harinya ialah 25.49 MPa. Terjadi kenaikan sebesar 3.04 MPa. Sampai hari ke 60 beton sudah mulai menunjukkan kestabilan kuat tekan. Kenaikan kuat tekan setelah usia 60 hari masih dimungkinkan terjadi tetapi tidak akan terlalu signifikan.

Tabel 4.52 prosentase kenaikan kuat tekan beton TC 10-2

usia	% kuat tekan
3	25.287
7	32.902
14	49.483
21	76.868
28	100

Dari tabel dapat dilihat bahwa beton TC 10-2 memiliki 50 % kuat tekan usia 28 harinya pada usia 14 hari yaitu sebesar 49.48 %. Kenaikan kuat tekan yang terjadi tergolong cukup lambat dibanding binder TB 10-2 yang pada usia yang sama memiliki 66.12 % kuat tekan usia 28 harinya.



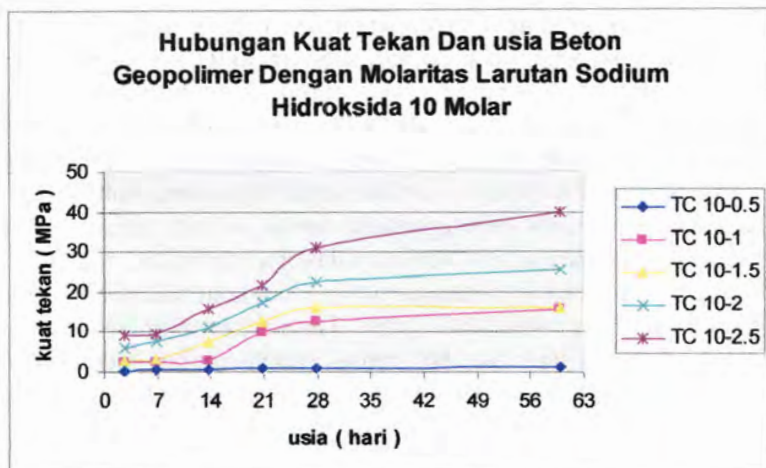
Gambar 4.53 Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 10-2.5

Dari gambar 4.53 dapat dilihat bahwa beton TC 10-2.5 memiliki kuat tekan usia 28 hari sebesar 30.97 MPa. Antara hari ke 3- 7 kuat tekan beton relatif stabil. Kuat tekan mulai naik drastis setelah usia 7 hari dan mengalami kenaikan kuat tekan paling tinggi pada usia 21-28 hari mencapai 9.427 MPa. Sampai hari ke 28 beton Belum memiliki kuat tekan yang stabil, dengan keadaan ini masih dimungkinkan untuk terjadi kenaikan kuat tekan setelah hari ke 28. Setelah dilakukan tes tekan usia 60 hari ternyata beton masih mengalami kenaikan kuat tekan. Kuat tekan usia 60 harinya ialah 39.81 MPa. Terjadi kenaikan sebesar 8.84 MPa. Sampai hari ke 60 beton sudah mulai menunjukkan kestabilan kuat tekan. Kenaikan kuat tekan setelah usia 60 hari masih dimungkinkan terjadi tetapi tidak akan terlalu signifikan

Tabel 4.53 prosentase kenaikan kuat tekan beton TC 10-2.5

usia	% kuat tekan
3	28.583
7	30.104
14	50.604
21	69.167
28	100

Dari tabel dapat dilihat bahwa beton TC 10-2.5 memiliki 50 % kuat tekan usia 28 harinya pada usia 14 hari yaitu sebesar 50.604 %. Kenaikan kuat tekan yang terjadi tergolong cukup lambat dibanding binder TB 10-2.5 yang pada usia yang sama memiliki 66.12 % kuat tekan usia 28 harinya

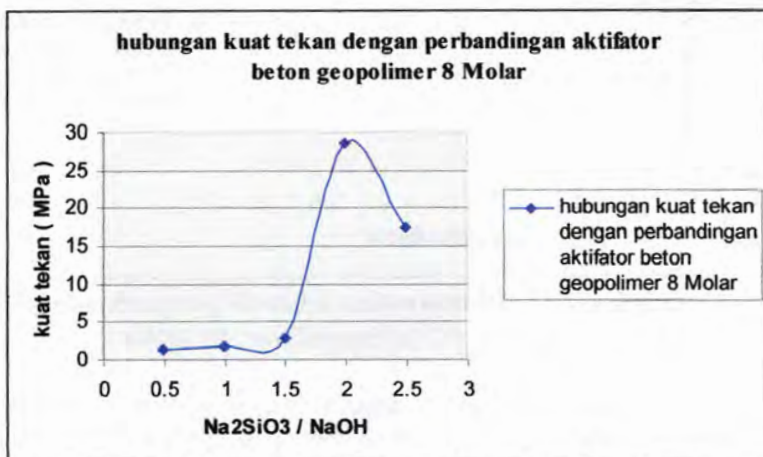


Gambar 4.54

Hubungan kuat tekan dengan usia beton dengan molaritas larutan sodium hidroksida 10M

Dari gambar 4.54 dapat dilihat pola kenaikan kuat tekan beton geopolimer TC 10-0.5, TC 10-1, TC 10-1.5, TC 10-2 dan TC 10-2.5. Secara garis besar kelima beton tersebut memiliki pola yang hampir sama yaitu sampai hari ke 28 belum menunjukkan tanda akan memiliki kuat tekan yang konstan, sehingga masih dimungkinkan beton mengalami kenaikan kuat tekan setelah hari ke 28. Beton TC 10-2.5 memiliki kuat tekan tertinggi diantara kelima beton tersebut yaitu sebesar 30.57 MPa. Dalam kasus ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi perbandingan sodium silikat : sodium hidroksida kuat tekan beton yang dihasilkan semakin tinggi. Hal ini terbukti dari data kuat tekan yang menunjukkan peningkatan dari beton TC 10-0.5 yang memiliki rasio perbandingan 0,5 sampai TC 10-2.5 yang berrasio 2,5. Setelah dilakukan tes kuat tekan usia 60 hari, sebagian beton masih mengalami kuat tekan akan tetapi tidak terlalu signifikan. Beton yang masih mengalami kenaikan kuat tekan yang signifikan pada hari ke 60 ialah beton TC 10-0.5. Beton yang lain

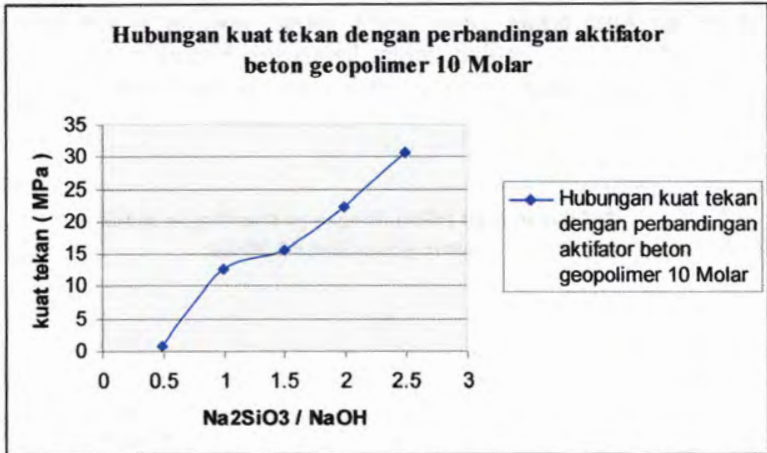
sudah menunjukkan kestabilan kuat tekan pada usia 28 hari. Dari peristiwa ini dapat diambil kesimpulan bahwa semakin tinggi perbandingan aktifator beton semakin cepat beton tersebut memiliki kuat tekan yang stabil. Peran sodium silikat sebagai katalisator sangat terlihat dalam kasus ini. Semakin tinggi kadar sodium silikat dalam beto semakin cepat beton tersebut memiliki kuat tekan yang stabil.



Gambar 4.55 Hubungan kuat tekan dengan perbandingan aktifator beton geopolimer 8 Molar

Dari gambar 4.56 dapat dilihat pengaruh perbandingan aktifator terhadap kuat tekan beton geopolimer bermolaritas NaOH 8 Molar. Perbedaan perbandingan aktifator menyebabkan perbedaan kuat tekan beton geopolimer. Hal ini menunjukkan bahwa perbandingan aktifator memegang peran penting dalam perolehan kuat tekan beton geopolimer (Hardjito, 2004). Kuat tekan optimum didapat pada perbandingan aktifator 2. Perilaku ini berbeda dengan yang terjadi pada beton geopolimer dimana kuat tekan optimum pada molaritas 8 Molar dimiliki oleh perbandingan aktifator 2,5. Perbedaan sifat antara binder dan

beton geopolimer diperkirakan disebabkan oleh jenis agregat yang digunakan, curing juga reaksi pengikatan yang terjadi pada beton.



Gambar 4.56 Hubungan kuat tekan dengan perbandingan aktifator beton geopolimer 10 Molar

Dari gambar 4.56 dapat dilihat pengaruh perbandingan aktifator terhadap kuat tekan beton geopolimer bermolaritas NaOH 10 Molar. Semakin tinggi perbandingan aktifatornya semakin tinggi pula kuat tekan usia 28 harinya. Hal ini menunjukkan bahwa perbandingan aktifator memegang peran penting dalam perolehan kuat tekan beton geopolimer (Hrdjito,2004). Kuat tekan optimum dimiliki oleh beton dengan perbandingan aktifator 2,5. Perilaku binder dan beton pada variasi molaritas 10 Molar sama yaitu kuat tekan tertinggi dimiliki oleh perbandingan aktifator 2,5.



*Gambar 4.57 Hubungan kuat tekan dengan perbandingan
aktifator beton geopolimer*

Dari gambar 4.57 dapat dilihat pengaruh perbandingan aktifator terhadap kuat tekan beton geopolimer bermolaritas NaOH 8 dan 10 Molar. Disini dapat dilihat bahwa molaritas larutan sodium hidroksida juga mempengaruhi kuat tekan binder geopolimer. Semakin tinggi molaritas semakin tinggi kuat tekannya. Semakin tinggi perbandingan aktifatornya semakin tinggi pula kuat tekan usia 28 harinya. Hal ini menunjukkan bahwa perbandingan aktifator dan molaritas larutan sodium hidroksida memegang peran penting dalam perolehan kuat tekan binder geopolimer (Hardjito, 2004). Pada beton bermolaritas 8 molar terdapat titik optimum pada perbandingan aktifator 2. Pada beton bermolaritas NaOH 10 M kuat tekan terus naik seiring dengan kenaikan perbandingan aktifatornya. Kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton dengan perbandingan aktifator 2,5 dan molaritas NaOH 10 molar.

4.4.3 Pengaruh molaritas larutan sodium hidroksida terhadap kuat tekan beton geopolimer

Pada tabel 4.54 akan disajikan beberapa data kuat tekan beton geopolimer dengan rasio perbandingan sodium silikat : sodium hidroksida yang sama akan tetapi memiliki molaritas larutan sodium hidroksida yang berbeda.

Tabel 4.54 kuat tekan beton geopolimer

Kode beton	TES KUAT TEKAN BETON											
	3 HR				7 HR				14 HR			
	P (kg)	σ (kg/cm ²)	rt2 (kg/cm ²)	σ (MPa)	P (kg)	σ (kg/cm ²)	rt2 (kg/cm ²)	σ (MPa)	P (kg)	σ (kg/cm ²)	rt2 (kg/cm ²)	σ (MPa)
TC 8-0.5	0	0.00	0.00	0.00	280	3.57	3.69	0.37	400	5.096	4.46	0.45
	0	0.00			300	3.82			300	3.822		
TC 10-0.5	0	0.00	0.00	0.00	260	3.31	3.18	0.32	300	3.822	4.33	0.44
	0	0.00			240	3.06			380	4.841		
TC 8-2.5	1460	18.60	20.76	2.10	1820	23.18	21.78	2.21	4500	57.325	47.77	4.84
	1800	22.93			1600	20.38			3000	38.217		
TC 10-2.5	3240	41.27	87.39	8.85	8450	107.64	92.04	9.32	12150	154.777	154.71	15.67
	10480	133.50			6000	76.43			12140	154.650		

Lanjutan tabel 4.54

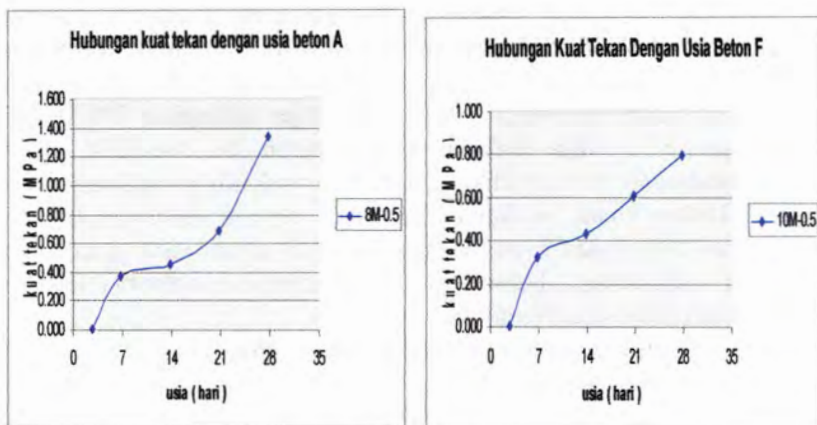
Kode beton	TES KUAT TEKAN BETON							
	21 HR				28 HR			
	P (kg)	σ (kg/cm ²)	rt2(kg/cm ²)	σ (MPa)	P (kg)	σ (kg/cm ²)	rt2(kg/cm ²)	σ (MPa)
TC 8-0.5	500	6.37	6.88	0.70	1200	15.29	13.38	1.35
	580	7.39			900	11.46		
TC 10-0.5	450	5.73	6.05	0.61	600	7.64	7.96	0.81
	500	6.37			650	8.28		
TC 8-2.5	5900	75.16	100.64	10.19	14760	188.03	172.99	17.52
	9900	126.11			12400	157.96		
TC 10-2.5	16700	212.74	211.46	21.42	23800	303.18	305.73	30.97
	16500	210.19			24200	308.28		

Keterangan :

Rt2 : rata-rata kuat tekan beton

Dari tabel 4.54 dapat dilihat pengaruh molaritas larutan sodium hidroksida terhadap kuat tekan beton. Beton TC 8-0.5 dan TC 10-0.5 misalnya, memiliki kuat tekan usia 28 hari yang jauh berbeda beton TC 8-0.5 sebesar 1.34 Mpa sedangkan TB 10-0,5 sebesar 0.79 Mpa padahal kedua beton ini memiliki rasio perbandingan sodium silikat : sodium hidroksida yang sama yaitu 0.5. Dalam kasus ini binder TB 8-0,5 dengan molaritas larutan sodium hidroksida 8 molar memiliki kuat tekan yang jauh lebih tinggi dibanding beton TC 10-0.5 dengan molaritas larutan sodium hidroksida 10 molar.

Untuk contoh yang kedua ialah beton TC 8-2.5 dan TB 10-2,5, sama halnya dengan contoh pertama kedua beton memiliki rasio perbandingan sodium silikat : sodium hidroksida yang sama yaitu 2.5 akan tetapi memiliki molaritas larutan sodium hidroksida yang berbeda, beton TC 8-2.5 menggunakan molaritas 8 molar sedangkan TB 10-2,5 memiliki molaritas 10 molar. Hasil kuat tekan usia 28 hari yang dimiliki kedua beton berbeda beton TC 8-2.5 sebesar 17.29 Mpa sedangkan beton TC 10-2.5 sebesar 30.57 Mpa. Dari hasil tes tekan ini dapat kita lihat bahwa beton TC 10-2.5 yang memiliki molaritas larutan sodium hidroksida 10 molar memiliki kuat tekan yang jauh lebih tinggi dibanding beton TC 8-2.5 yang memiliki molaritas larutan sodium hidroksida 8 molar.

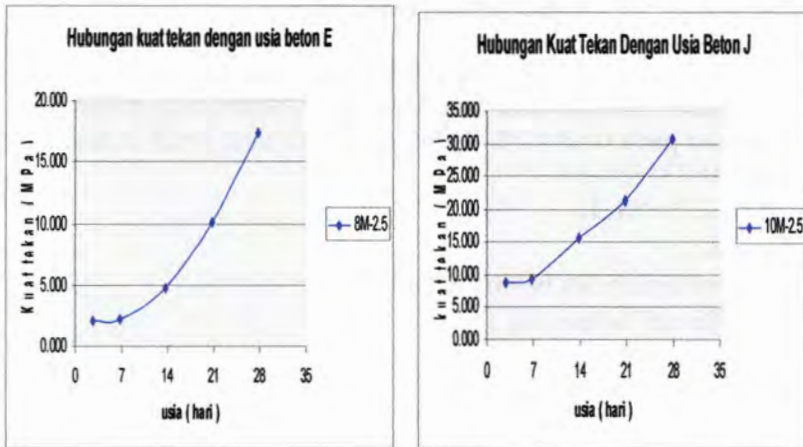


Gambar 4.58

Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 8-0.5 dan TC 10-0.5

Dari gambar 4.58 dapat dilihat bahwa beton TC 8-0.5 dan TC 10-0.5 memiliki perilaku yang hampir sama. Kuat tekan kedua beton nol sampai hari ke 3. Beton TC 8-0.5 dan TC 10-0.5 sampai usia 28 hari masih menunjukkan kenaikan kuat tekan dan belum menunjukkan tanda-tanda kuat tekan yang stabil. Dengan mekanisme ini masih dimungkinkan terjadinya kenaikan kuat tekan setelah usia 28 hari.

Beton TC 8-0.5 mengalami kenaikan kuat tekan yang tinggi pada usia 21-28 hari yaitu 0.65 MPa, sedangkan beton TC 10-0.5 mengalami kenaikan kuat tekan yang tinggi pada usia 3-7 hari yaitu 0.318 MPa. Dari data ini dapat dilihat bahwa beton TC 8-0.5 yang memiliki molaritas larutan sodium hidroksida lebih rendah yaitu 8 molar mengalami kenaikan kuat tekan signifikan lebih lama daripada TB 10-0,5 yang memiliki molaritas larutan sodium hidroksida 10 molar.



Gambar 4.59

Hubungan kuat tekan dengan usia beton TC 8-2.5 dan TC 10-2.5

Dari tabel 4.59 dapat kita lihat pengaruh molaritas larutan sodium hidroksida terhadap kuat tekan beton. Beton TC 8-2.5 dan TC 10-2.5 misalnya, memiliki kuat tekan usia 28 hari yang jauh berbeda beton TC 8-2.5 sebesar 17.29 MPa sedangkan beton TC 10-2.5 sebesar 30.57 MPa padahal kedua beton ini memiliki rasio perbandingan sodium silikat : sodium hidroksida yang sama yaitu 0.5. Dalam kasus ini beton TC 8-2.5 dengan molaritas larutan sodium hidroksida 8 molar memiliki kuat tekan yang jauh lebih tinggi dibanding beton TC 10-2.5 dengan molaritas larutan sodium hidroksida 10 molar.

Dari gambar 4.59 dapat dilihat bahwa beton TC 8-2.5 dan TC 10-2.5 memiliki perilaku yang hampir sama. Beton TC 8-2.5 dan TC 10-2.5 sampai usia 28 hari masih menunjukkan kenaikan kuat tekan dan belum menunjukkan tanda-tanda kuat tekan yang stabil. Dengan mekanisme ini masih dimungkinkan terjadinya kenaikan kuat tekan setelah usia 28 hari.

4.4.4 Kuat tarik belah beton geopolimer

Tes tarik belah yang dilakukan dalam penelitian ini ialah tarik belah. Adapun data kuat tarik belah beton geopolimer akan disajikan pada tabel 4.55. Perhitungan kuat tarik belah didasarkan pada ASTM 496-94.

$$\sigma = 2 P / \pi L D$$

dimana :

σ = kuat tarik belah beton (MPa)

P = tekanan/ beban (kg)

L = tinggi beton (cm)

D = diameter beton (cm)

$$1\text{MPa} = 9.872 \text{ kg/cm}^2$$

Tabel 4.54 Data kuat tarik belah beton geopolimer

Perb Aktifator	Kode Beton	P (kg)	P Rata- rata (Kg)	σ Rata- rata (MPa)
0.5	TC 8-0.5	250	300	0.10
		350		
1	TC 8-1	600	900	0.29
		1200		
1.5	TC 8-1.5	1800	1775	0.57
		1750		
2	TC 8-2	8250	8200	2.65
		8150		
2.5	TC 8-2.5	4460	4110	1.33
		3760		
0.5	TC 10-0.5	400	350	0.11
		300		
1	TC 10-1	600	700	0.23
		800		
1.5	TC 10-1.5	4580	4100	1.32
		3620		
2	TC 10-2	5600	5300	1.71
		5000		
2.5	TC 10-2.5	9200	8850	2.86
		8500		

Dari tabel 4.55 dapat dilihat bahwa beton TC 10-2.5 memiliki kuat tarik belah paling tinggi yaitu 2.82 MPa. Jika diurutkan berdasar molaritas larutan NaOH beton TC 8-2 memiliki kuat tarik tertinggi untuk beton berkomposisi NaOH 8 Molar terkuat tarik sebesar 2.61 MPa , sedangkan beton TC 10-2.5 untuk komposisi NaOH 10 Molar berkuat tarik 2.82 MPa.

Merujuk pada data kuat tekan beton geopolimer pada tabel 4.42 dapat dilihat bahwa kuat tekan dan tarik belah beton geopolimer selaras, dalam arti beton yang memiliki kuat tekan tinggi ternyata juga memiliki kuat tarik belah yang tinggi pula. Contoh beton TC 10-2.5 kuat tekannya paling tinggi yaitu 30.57 MPa juga memiliki kuat tarik belah paling tinggi yaitu 2.82 MPa.



Gambar 4.60 Hubungan kuat tarik belah dengan perbandingan aktifator beton geopolimer bermolaritas 8 M

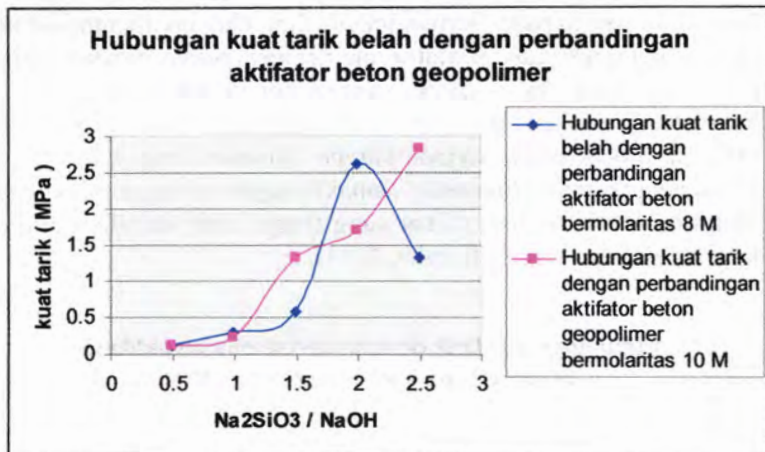
Dari gambar 4.60 dapat dilihat pengaruh perbandingan aktifator terhadap kuat tarik belah beton geopolimer bermolaritas NaOH 8 Molar. Terdapat titik optimum yaitu pada perbandingan aktifator 2, Kuat tarik beton geopolimer terus naik seiring

pertambahan perbandingan aktifator sampai perbandingan 2 kemudian turun pada perbandingan 2.5. Hal ini menunjukkan bahwa perbandingan aktifator memegang peran penting dalam perolehan kuat tekan beton geopolimer. Semakin tinggi kadar katalisator semakin tinggi pula kuat tarik belah beton geopolimer. Hal ini diperkirakan terjadi karena semakin tinggi katalisator maka pengikatan polimerisasi semakin cepat sehingga beton yang memiliki kadar sodium silikat yang tinggi lebih dahulu memiliki kuat tekan yang tinggi (Rowles,2003).



Gambar 4.61 Hubungan kuat tarik belah dengan perbandingan aktifator beton geopolimer bermolaritas 10 M

Dari gambar 4.61 dapat dilihat pengaruh perbandingan aktifator terhadap kuat tarik belah beton geopolimer bermolaritas NaOH 10 Molar. Semakin tinggi perbandingan aktifatornya semakin tinggi pula kuat tarik belahnya. Hal ini menunjukkan bahwa perbandingan aktifator memegang peran penting dalam perolehan kuat tarik belah beton geopolimer. Kuat tarik belah optimum dimiliki oleh beton geopolimer dengan perbandingan aktifator 2,5



Gambar 4.62 Hubungan kuat tarik belah dengan perbandingan aktifator beton geopolimer

Dari gambar 4.62 dapat dilihat pengaruh perbandingan aktifator terhadap kuat tarik belah beton geopolimer bermolaritas NaOH 8 dan 10 Molar. Disini dapat dilihat bahwa molaritas larutan sodium hidroksida juga mempengaruhi kuat tarik belah beton geopolimer. Semakin tinggi molaritas semakin tinggi kuat tekannya. Semakin tinggi perbandingannya semakin tinggi pula kuat tarik belahnya. Hal ini menunjukkan bahwa perbandingan aktifator dan molaritas larutan sodium hidroksida memegang peran penting dalam perolehan kuat tarik belah beton geopolimer (Hardjito, 2004). Pada beton bermolaritas 8 molar terdapat titik optimum pada perbandingan aktifator 2. Pada beton bermolaritas NaOH 10 M kuat tekan terus naik seiring dengan kenaikan perbandingan aktifatornya. Kuat tarik belah tertinggi dimiliki oleh beton dengan perbandingan aktifator 2,5 dan molaritas NaOH 10 molar.

4.4.5 Tes Slump beton geopolimer

Tes ini dilakukan untuk mengukur workability (kemampuan dikerjakan) dari campuran beton serta memperoleh keseragaman pemakaian air. Adapun hasil tes slump beton geopolimer disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4.56 Nilai slump beton geopolimer

Molaritas NaOH	Perbandingan aktifator	Kode beton	Nilai Slump
8	0.5	TC 8-0.5	10
8	1	TC 8-1	0
8	1.5	TC 8-1.5	0
8	2	TC 8-2	0
8	2.5	TC 8-2.5	0
10	0.5	TC 10-0.5	5
10	1	TC 10-1	0
10	1.5	TC 10-1.5	0
10	2	TC 10-2	0
10	2.5	TC 10-2.5	0

Dari tabel 4.56 dapat dilihat bahwa hampir seluruh beton geopolimer memiliki nilai slump 0. Hanya beton TC 8-0.5 dan TC 10-0.5 yang memiliki nilai slump. Hal ini menyebabkan beton geopolimer sangat sulit untuk dicetak atau tidak workability. Nilai slump 0 pada beton geopolimer sangat mungkin disebabkan oleh kecepatan ikat awal dari pasta geopolimer yang terlalu cepat.

4.4.6 Porositas beton geopolimer

Percobaan porositas beton geopolimer merujuk pada AFNOR NF B 49104. Percobaan ini dilakukan guna mendapat porositas tertutup dari beton geopolimer. Adapun data porositas beton geopolimer akan disajikan pada tabel 4.57

Tabel 4.57 Porositas beton geopolimer

JENIS	μ (gr)	Mh (gr)	Mo (gr)	mo (gr)	Vo (ml3)	r (gr/ml3)	a
TC 8-0.5	279	462	427	100.5	33.5	3	2.333333
	258	433	396	98	32	3.0625	2.262857
TC 8-1	250	410.5	374.5	95	28	3.392857	2.333333
	260	440	398	98	31	3.16129	2.211111
TC 8-1.5	278	477.3	427.5	159.5	50	3.19	2.145008
	260	468.2	421.2	150	49	3.061224	2.023055
TC 8-2	268	441.2	415.5	116.5	36	3.236111	2.398961
	218	370.5	341.6	120	37.5	3.2	2.24
TC 8-2.5	223	383.5	344.5	123.5	38	3.25	2.146417
	230	393	355.5	129	40	3.225	2.180982
TC 10-0.5	195	324.1	290.3	74	22.5	3.288889	2.248644
	210	345.2	311.2	78	23.5	3.319149	2.301775
TC 10-1	260	441	396.5	108	34	3.176471	2.190608
	250	416.8	374.8	96	29	3.310345	2.247002
TC 10-1.5	230	392	358	125	39	3.205128	2.209877
	245	415	378	98.5	31	3.177419	2.223529
TC 10-2	275	447.5	418	110.5	35	3.157143	2.423188
	240	400.5	372.5	93.5	27	3.462963	2.320872
TC 10-2.5	253	497	386.5	153	45.5	3.362637	1.584016
	235	397.2	373	95.5	28.5	3.350877	2.29963

Lanjutan tabel 4.57

JENIS	pt (%)	rt2 pt (%)	po (%)	rt2 po (%)	pf (%)	rt2 pf (%)
TC 8-0.5	22.22222	24.1665	19.12568	20.13427	3.096539	4.032235
	26.11079		21.14286		4.96793	
TC 8-1	31.22807	30.64238	22.42991	22.88162	8.798164	7.76076
	30.05669		23.33333		6.723356	
TC 8-1.5	32.75838	33.33596	24.98746	23.78095	7.770929	9.555013
	33.91354		22.57445		11.3391	
TC 8-2	25.86902	27.93451	14.83834	16.89458	11.03069	11.03993
	30		18.95082		11.04918	
TC 8-2.5	33.95639	33.16453	24.29907	23.6526	9.657321	9.511925
	32.37266		23.00613		9.366529	
TC 10-0.5	31.62905	31.14035	26.18125	25.66459	5.447799	5.475758
	30.65165		25.14793		5.503717	
TC 10-1	31.03642	31.57911	24.58564	24.88275	6.450788	6.696367
	32.1218		25.17986		6.941946	
TC 10-1.5	31.05185	30.53638	20.98765	21.37618	10.0642	9.160197
	30.0209		21.76471		8.256196	
TC 10-2	23.24743	28.11379	17.10145	17.27347	6.145977	10.84033
	32.98016		17.44548		15.53468	
TC 10-2.5	52.89363	42.13296	45.28689	30.10337	7.606745	12.02959
	31.3723		14.91985		16.45244	

Keterangan :

Rt2 = nilai rata- rata

μ = berat beton dalam air

Mh = berat beton dalam keadaan SSD

Mo = berat beton dalam keadaan kering oven

mo = berat beton setelah dihaluskan (pasta)

Vo = volume beton yang telah dihaluskan

r = kepadatan absolut

$$r = mo/Vo$$

α = kepadatan visual

$$\alpha = \frac{Mo}{Mh - \mu}$$

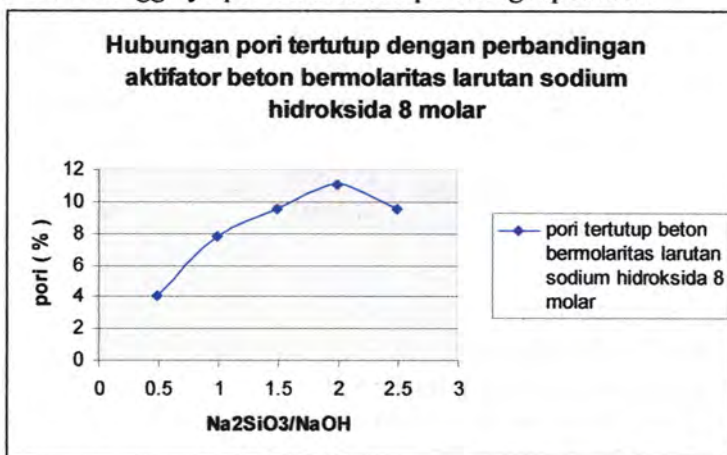
Pt = Porositas total

$$Pt (\%) = 100 \times (1 - \alpha/r)$$

Po = porositas tertutup

Dari tabel 4.57 dapat dilihat bahwa perbandingan aktifator dan molaritas juga mempengaruhi porositas beton geopolimer. Semakin tinggi perbandingan aktifator semakin besar pula porositas tertutup yang dimilikinya. Jika suatu beton memiliki porositas tertutup tinggi maka sangat dimungkinkan keadaan ini menunjang bagusnya kuat tekan sebuah beton.

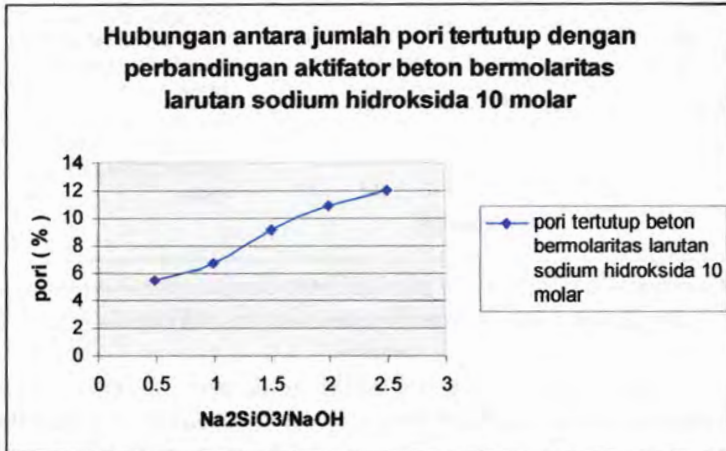
Pada beton dengan molaritas larutan sodium hidroksida terdapat titik optimum yaitu pada perbandingan 2. Sedangkan pada molaritas 10 Molar kenaikan perbandingan diiringi dengan semakin tingginya porositas tertutup beton geopolimer.



Gambar 4.63 Hubungan pori tertutup dengan perbandingan aktifator beton bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 molar

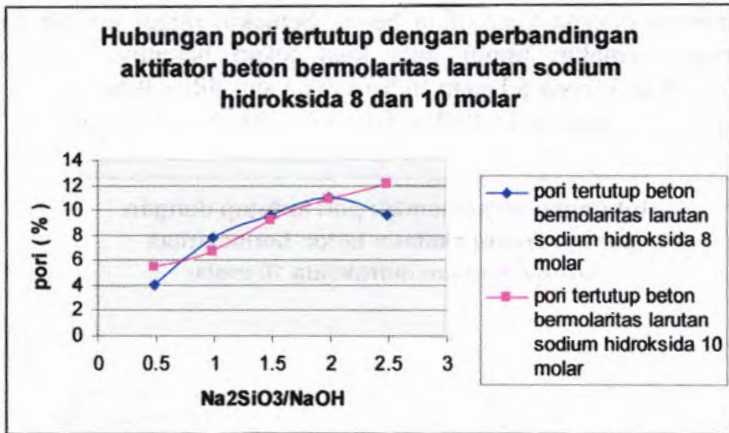
Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa terdapat titik optimum pada perbandingan aktifator 2. Jumlah pori tertutup erat

kaitannya dengan kuat tekan beton. Semakin tinggi jumlah pori tertutup semakin tinggi pula kuat tekan betonnya. Hal ini disebabkan karena tekanan hidrostatik yang dihasilkan oleh pori tertutup mampu meningkatkan kuat tekan beton geopolimer.



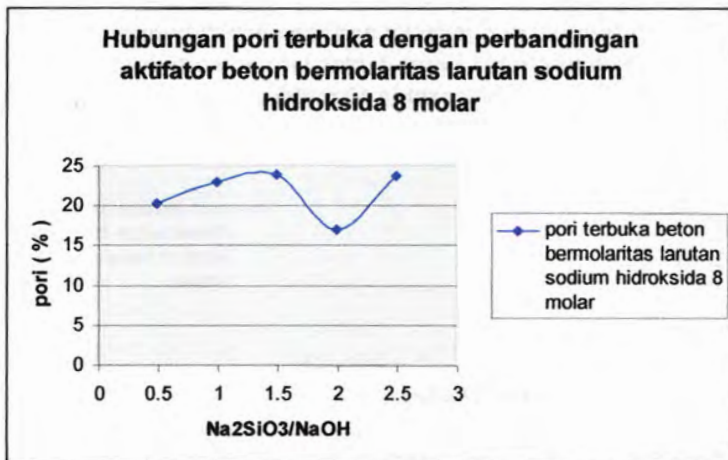
Gambar 4.64 Hubungan pori tertutup dengan perbandingan aktifator beton bermolaritas larutan sodium hidroksida 10 molar

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa kenaikan perbandingan aktifator selalu diikuti oleh kenaikan angka pori tertutup beton. Semakin tinggi perbandingan aktifator yang dimiliki semakin tinggi pula prosentase jumlah pori tertutup yang dimiliki. Jumlah pori tertutup erat kaitannya dengan kuat tekan beton. Semakin tinggi jumlah pori tertutup semakin tinggi pula kuat tekan betonnya. Hal ini disebabkan karena tekanan hidrostatik yang dihasilkan oleh pori tertutup mampu meningkatkan kuat tekan beton geopolimer.



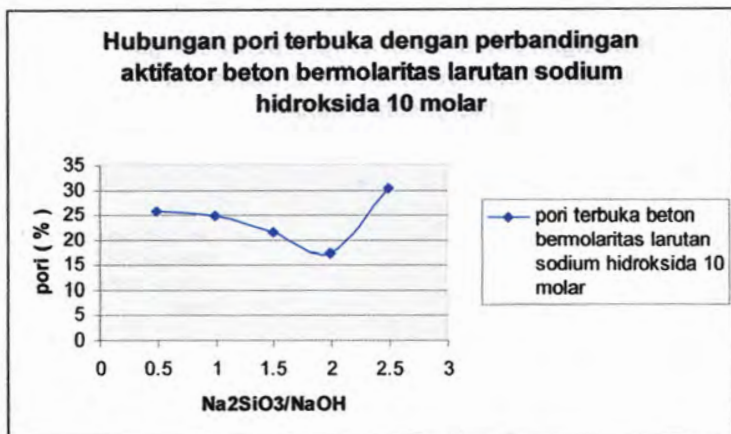
Gambar 4.65 Hubungan pori tertutup dengan perbandingan aktifator beton bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 dan 10 molar

Pada beton yang memiliki molaritas larutan sodium hidroksida 8 molar terdapat titik optimum prosentase pori tertutup yaitu pada perbandingan aktifator 2. Sedangkan pada beton yang memiliki molaritas larutan sodium hidroksida 10 molar titik maksimum dimiliki oleh perbandingan aktifator 2,5. Jumlah pori tertutup erat kaitannya dengan kuat tekan beton. Semakin tinggi jumlah pori tertutup semakin tinggi pula kuat tekan betonnya. Hal ini disebabkan karena tekanan hidrostatik yang dihasilkan oleh pori tertutup mampu meningkatkan kuat tekan beton geopolimer.



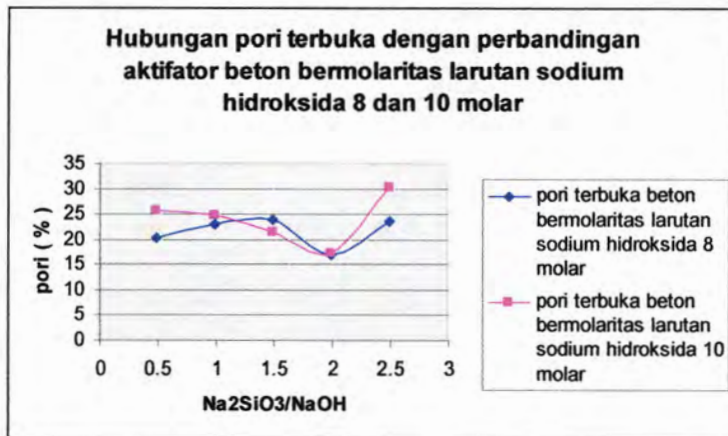
Gambar 4.66 Hubungan pori terbuka dengan perbandingan aktifator beton bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 molar

Pada beton yang memiliki molaritas larutan sodium hidroksida 8 molar pori terbuka mencapai titik minimum pada perbandingan 2. Semakin rendah pori terbuka semakin tinggi kuat tekan betonnya. Hal ini disebabkan karena pori terbuka menyebabkan keropos yang dapat menurunkan kuat tekan beton.



Gambar 4.67 Hubungan pori terbuka dengan perbandingan aktifator beton bermolaritas larutan sodium hidroksida 10 molar

Pada beton yang memiliki molaritas larutan sodium hidroksida 10 molar pori terbuka mencapai titik minimum pada perbandingan 2. Pori terbuka erat hubungannya dengan kuat tekan beton. Semakin rendah pori terbuka semakin tinggi kuat tekan betonnya. Hal ini disebabkan karena pori terbuka menyebabkan keropos yang dapat menurunkan kuat tekan beton.



Gambar 4.68 Hubungan pori terbuka dengan perbandingan aktifator beton bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 dan 10 molar

Pada beton bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 dan 10 molar terdapat titik minimum pada perbandingan 2. Pori terbuka erat hubungannya dengan kuat tekan beton. Semakin rendah pori terbuka semakin tinggi kuat tekan betonnya. Hal ini disebabkan karena pori terbuka menyebabkan keropos yang dapat menurunkan kuat tekan beton.

4.4.7 Hubungan antara kuat tarik belah dan kuat tekan beton geopolimer

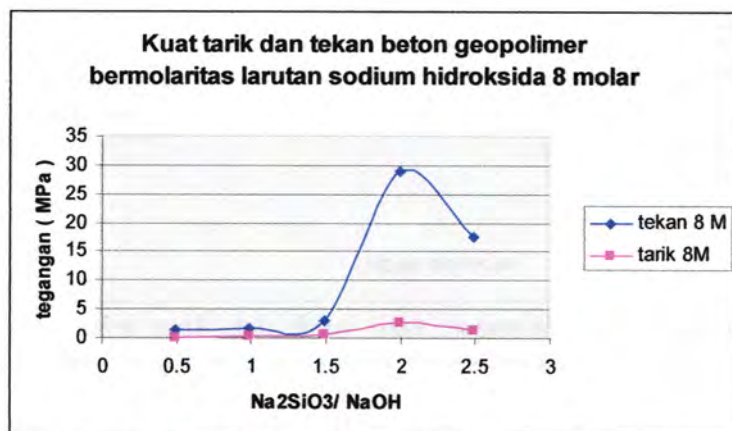
Dibuat analisa hubungan kuat tarik belah dengan kuat tekan beton untuk mendapatkan angka korelasi antara keduanya.

Tabel 4.58 hubungan kuat tarik belah dengan kuat tekan beton

Kode beton	Tes tekan				Tes tarik			σ tarik / σ tekan
	28 HR				28 hari			
	P (kg)	σ (kg/cm ²)	rt2 (kg/cm ²)	σ (MPa)	P (kg)	P Rata-rata (Kg)	σ Rata-rata(MPa)	
TC 8-0.5	1200	15.29	13.38	1.35	250	300	0.10	0.071428
	900	11.46			350			
TC 8-1	1300	16.56	15.92	1.61	600	900	0.29	0.18
	1200	15.29			1200			
TC 8-1.5	2300	29.30	28.28	2.86	1800	1775	0.57	0.199887
	2140	27.26			1750			
TC 8-2	24000	305.73	285.03	28.87	8250	8200	2.65	0.091620
	20750	264.33			8150			
TC 8-2.5	14760	188.03	172.99	17.52	4460	4110	1.33	0.075662
	12400	157.96			3760			
TC 10-0.5	600	7.64	7.96	0.81	400	350	0.11	0.14
	650	8.28			300			
TC 10-1	10000	127.39	124.84	12.65	600	700	0.23	0.017857
	9600	122.29			800			
TC 10-1.5	12550	159.87	156.37	15.84	4580	4100	1.32	0.083503
	12000	152.87			3620			
TC 10-2	17300	220.38	221.66	22.45	5600	5300	1.71	0.076149
	17500	222.93			5000			
TC 10-2.5	23800	303.18	305.73	30.97	9200	8850	2.86	0.092187
	24200	308.28			8500			

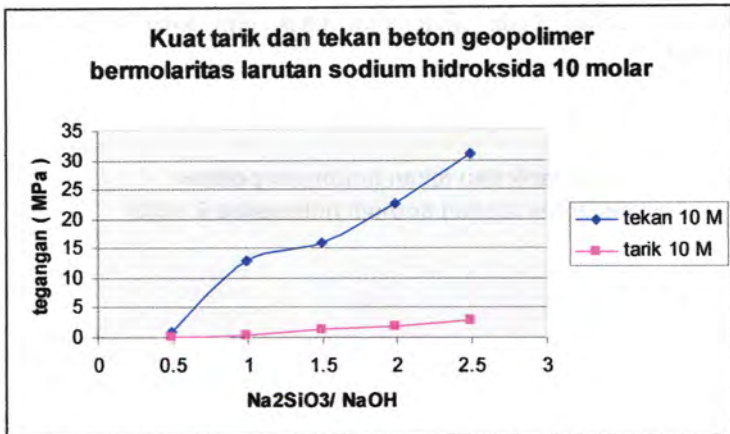
Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa angka korelasi kuat tarik dan kuat tekan beton berkisar antara 0.01- 0.19. Pada beton konvensional angka korelasi ini dirumuskan $0.1 f_c < f_t < 0.2 f_c$ (Nawy). Angka korelasi terkecil dimiliki oleh beton TC 10-1 yaitu 0.0178. Angka korelasi terbesar dimiliki oleh beton TC 8-1 yaitu 0,18. Angka korelasi ini menunjukkan hubungan kuat tarik dengan kuat tekan beton. Semakin tinggi angka korelasinya

semakin sedikit beda nilai kuat tarik dan kuat tekan beton tersebut.



Gambar 4.69 Hubungan kuat tarik dan kuat tekan beton geopolimer bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 molar

Pada gambar disajikan grafik hubungan antara kuat tekan dan tarik belah beton geopolimer bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 molar. Terdapat persamaan pola pada kedua nilai tekan dan tarik belah yaitu keduanya memiliki titik optimum pada perbandingan aktifator 2. Dari peristiwa ini dapat disimpulkan bahwa kuat tekan dan tarik belah beton geopolimer memiliki kesamaan pola.



Gambar 4.70 Hubungan kuat tarik dan kuat tekan beton geopolimer bermolaritas larutan sodium hidroksida 10 molar

Pada gambar disajikan grafik hubungan antara kuat tekan dan tarik belah beton geopolimer bermolaritas larutan sodium hidroksida 10 molar. Terdapat persamaan pola pada kedua nilai tekan dan tarik belah yaitu keduanya memiliki titik maksimum pada perbandingan aktifator 2,5. Kenaikan perbandingan aktifator selalu diiringi dengan kenaikan nilai tekan dan tarik belah beton geopolimer. Dari peristiwa ini dapat disimpulkan bahwa kuat tekan dan tarik belah beton geopolimer memiliki kesamaan pola.



Gambar 4.71 Hubungan kuat tarik dan kuat tekan beton geopolimer bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 dan 10 molar

Pada gambar dapat dilihat korelasi kuat tekan dan tarik beton geopolimer. Pada beton yang memiliki molaritas larutan sodium hidroksida 8 dan 10 molar korelasi tertinggi dimiliki oleh perbandingan aktifator 1. Sedangkan angka korelasi terendah dimiliki oleh perbandingan aktifator 2 untuk 8 molar dan 2,5 untuk 10 molar.

4.4.8 Pengaruh jumlah mol H₂O, SiO₂, dan Na₂O terhadap kuat tekan beton

4.4.8.1 Jumlah H₂O

1. Dalam larutan NaOH

Pada tabel di bawah di jabarkan kebutuhan air dan NaOH untuk menghasilkan 1 liter larutan Sodium Hidroksida 8 dan 10 molar.

Tabel 4.59 Jumlah air dalam larutan NaOH 8 dan 10 molar

Keterangan	NaOH 8 M	NaOH 10M
massa NaOH (gr)	320	400
Massa air+ NaOH (gr)	1296	1346
Massa air (gr)	976	946

- ρ_{H_2O} 8 Molar

= massa larutan / volume larutan

= 1296 gr / 1 L

= 1296 gr/l

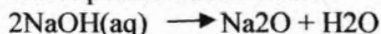
- ρ_{H_2O} 10 Molar

= massa larutan / volume larutan

= 1346 gr / 1L

= 1346 gr/l

reaksi pembentukan NaOH



- Contoh perhitungan beton TC 8-0.5

Massa larutan NaOH (aq) = 163.4

- o $V = m / \rho$

$$= 163.4 / 1296$$

$$= 0.126 \text{ lt}$$

- o mol NaOH = V x Molar larutan

$$= 0.126 \times 8$$

$$= 1.008 \text{ mol}$$

- o mol Na₂O = 1.008/2

$$= 0.504 \text{ mol}$$

- o mol H₂O = 0.504 mol

- o Massa NaOH flake = 1.008 mol x 40 gr/mol

$$= 40.32 \text{ gram}$$

- o Massa aquades (H₂O) = 163.4 gr- 40.32 gr

$$= 123.08 \text{ gr}$$

- o Mol H₂O dalam 123.08 gr aquades = 123.08 / 18

$$= 6.837 \text{ mol}$$

- Total mol H₂O dalam beton dari NaOH
 = 6.837 mol + 0.504 mol
 = 7.341 mol
2. Dalam tambahan aquades
- Mr H₂O = 18
- Massa tambahan air dalam beton = 83.69 gram
- $n = m / Mr$
 = 83.69 / 18
 = 4.649 mol
3. Dalam Na₂SiO₃
- Dari hasil percobaan yang dilakukan diperoleh prosentase berat H₂O, SiO₂ dan Na₂O :
- Na₂O = (5.73 % + 6.12 % + 5.93%) / 3
 = 5.92 %
- SiO₂ = (34.38 % + 35.75 % + 38.5 %) / 3
 = 36.21 %
- H₂O = 100 % - 5.92 % - 36.21 %
 = 57.87 %
- Contoh perhitungan beton TC 8-0.5
- Massa Na₂SiO₃ dalam 1 benda uji = 81.68 gram
 - Massa H₂O dalam Na₂SiO₃
 = 81.68 x 57.87 %
 = 47.268 gram
 - Mol H₂O = m / Mr
 = 47.268 / 18
 = 2.62 mol

Tabel 4.60 Total mol H₂O dalam beton geopolimer

Kode beton	larutan NaOH (gr)	V (lt)	mol NaOH	Massa air (gr)	mol Na ₂ O	Mol H ₂ O	mol H ₂ O larutan	H ₂ O dlm NaOH
TC 8-0.5	163.4	0.126080247	1.008641975	123.054321	0.504320988	0.504320988	6.836351166	7.340672154
TC 8-1	122.5	0.094521605	0.75617284	92.25308642	0.37808642	0.37808642	5.125171468	5.503257888
TC 8-1.5	98.02	0.075632716	0.605061728	73.81753086	0.302530864	0.302530864	4.100973937	4.403504801
TC 8-2	81.68	0.063024691	0.504197531	61.51209877	0.252098765	0.252098765	3.41733882	3.669437586
TC 8-2.5	70.01	0.054020062	0.432160494	52.72358025	0.216080247	0.216080247	2.929087791	3.145168038
TC 10-0.5	163.4	0.121396731	0.971173848	124.5530461	0.485586924	0.485586924	6.91961367	7.405200594
TC 10-1	122.5	0.091010401	0.72808321	93.37667162	0.364041605	0.364041605	5.187592868	5.551634473
TC 10-1.5	98.02	0.07282318	0.582585438	74.71658247	0.291292719	0.291292719	4.150921248	4.442213967
TC 10-2	81.68	0.060683507	0.485468053	62.26127786	0.242734027	0.242734027	3.458959881	3.701693908
TC 10-2.5	70.01	0.052013373	0.416106984	53.36572065	0.208053492	0.208053492	2.964762259	3.17281575

lanjutan tabel 4.60 total mol H₂O dalam beton geopolimer

Kode beton	NaOH (mol)	Aquades (Mol)	Na ₂ SiO ₃ (mol)	Total mol H ₂ O
TC 8-0.5	7.340672154	4.649	0.258277778	12.24794993
TC 8-1	5.503257888	4.649	0.258277778	10.41053567
TC 8-1.5	4.403504801	4.649	0.258277778	9.310782579
TC 8-2	3.669437586	4.649	0.258277778	8.576715364
TC 8-2.5	3.145168038	4.649	0.258277778	8.052445816
TC 10-0.5	7.405200594	4.649	0.258277778	12.31247837
TC 10-1	5.551634473	4.649	0.258277778	10.45891225
TC 10-1.5	4.442213967	4.649	0.258277778	9.349491745
TC 10-2	3.701693908	4.649	0.258277778	8.608971686
TC 10-2.5	3.17281575	4.649	0.258277778	8.080093528

4.4.8.2 Jumlah SiO₂ dan Na₂O

1. Dalam fly ash

Dari hasil XRD fly ash piton (TAKI ITS, 2007) didapat :

SiO₂ = 69.32 %

Na₂O = 1.47 %

○ Massa fly ash dalam beton = 697.45 gram

○ Massa SiO₂ = 69.32 % x 697.45
= 483.47 gram

○ Mol SiO₂ = m / M_r
= 483.47 / 60
= 8.057 mol

○ Massa Na₂O = 1.47 % x 697.45
= 10.25 gram

○ Mol NaO = m / M_r
= 10.25 / 62
= 0.165 mol

2. Dalam Trass

Dari hasil XRD trass (Santoso, 1993) di dapat :

$$\text{SiO}_2 = 87.5 \%$$

$$\text{Na}_2\text{O} = 0.81 \%$$

- o Massa trass dalam beton = 348.73 gram

- o Massa SiO_2 = $87.5 \% \times 348.73$
= 305.138 gram

- o Mol SiO_2 = m / M_r
= $305.138 / 60$
= 5.085 mol

- o Massa Na_2O = $0.81 \% \times 348.73$
= 2.824 gram

- o Mol Na_2O = m / M_r
= $2.824 / 62$
= 0.045 mol

3. Dalam Na_2SiO_3

Dari hasil percobaan yang dilakukan diperoleh prosentase berat H_2O , SiO_2 dan Na_2O :

$$\begin{aligned} \text{Na}_2\text{O} &= (5.73 \% + 6.12 \% + 5.93\%) / 3 \\ &= 5.92 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SiO}_2 &= (34.38 \% + 35.75 \% + 38.5 \%) / 3 \\ &= 36.21 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O} &= 100 \% - 5.92 \% - 36.21 \% \\ &= 57.87 \% \end{aligned}$$

Contoh perhitungan beton TC 8-0.5

- o Massa Na_2SiO_3 dalam 1 benda uji = 81.68 gram

- o Massa Na_2O dalam Na_2SiO_3
= $81.68 \times 5.92 \%$
= 4.835 gram

- o Mol Na_2O = m / M_r
= $4.835 / 62$
= 0.078 mol

- o Massa SiO_2 dalam Na_2SiO_3
= $81.68 \times 36.21 \%$
= 29.57 gram

$$\begin{aligned}
 \circ \text{ Mol SiO}_2 &= m / M_r \\
 &= 29.57 / 60 \\
 &= 0.49 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.61 Mol SiO₂ dalam beton

Kode beton	Fly Ash (mol)	Trass (mol)	Na ₂ SiO ₃	Total
TC 8-0.5	8.057	5.085	0.4929388	13.6349388
TC 8-1	8.057	5.085	0.73946855	13.88146855
TC 8-1.5	8.057	5.085	0.88732605	14.02932605
TC 8-2	8.057	5.085	0.98593795	14.12793795
TC 8-2.5	8.057	5.085	1.0563664	14.1983664
TC 10-0.5	8.057	5.085	0.4929388	13.6349388
TC 10-1	8.057	5.085	0.73946855	13.88146855
TC 10-1.5	8.057	5.085	0.88732605	14.02932605
TC 10-2	8.057	5.085	0.98593795	14.12793795
TC 10-2.5	8.057	5.085	1.0563664	14.1983664

Keterangan :

1. Fly ash (mol) : mol SiO₂ yang terkandung dalam fly ash
2. Trass (mol) : mol SiO₂ yang terkandung dalam trass
3. Na₂SiO₃ (mol) : mol SiO₂ yang terkandung dalam Na₂SiO₃

Tabel 4.62 mol Na₂O dan SiO₂ dalam Na₂SiO₃

Kode beton	Massa Na ₂ SiO ₃	massa H ₂ O	mol H ₂ O	massa Na ₂ O	mol Na ₂ O	Massa SiO ₂	Mol SiO ₂
TC 8-0.5	81.68	47.268216	2.626012	4.835456	0.07799123	29.576328	0.4929388
TC 8-1	122.53	70.908111	3.93934	7.253776	0.11699639	44.368113	0.7394686
TC 8-1.5	147.03	85.086261	4.727015	8.704176	0.14038994	53.239563	0.8873261
TC 8-2	163.37	94.542219	5.252346	9.671504	0.155992	59.156277	0.985938
TC 8-2.5	175.04	101.295648	5.627536	10.362368	0.16713497	63.381984	1.0563664
TC 10-0.5	81.68	47.268216	2.626012	4.835456	0.07799123	29.576328	0.4929388
TC 10-1	122.53	70.908111	3.93934	7.253776	0.11699639	44.368113	0.7394686
TC 10-1.5	147.03	85.086261	4.727015	8.704176	0.14038994	53.239563	0.8873261
TC 10-2	163.37	94.542219	5.252346	9.671504	0.155992	59.156277	0.985938
TC 10-2.5	175.04	101.295648	5.627536	10.362368	0.16713497	63.381984	1.0563664

Tabel 4. 63 Mol Na₂O dalam beton

Kode beton	Fly Ash (mol)	Trass (mol)	Na ₂ SiO ₃ (mol)	NaOH (mol)	Total
TC 8-0.5	0.165	0.045	0.077991226	0.504320988	0.792312213
TC 8-1	0.165	0.045	0.116996387	0.37808642	0.705082807
TC 8-1.5	0.165	0.045	0.140389935	0.302530864	0.6529208
TC 8-2	0.165	0.045	0.155992	0.252098765	0.618090765
TC 8-2.5	0.165	0.045	0.167134968	0.216080247	0.593215215
TC 10-0.5	0.165	0.045	0.077991226	0.504320988	0.792312213
TC 10-1	0.165	0.045	0.116996387	0.37808642	0.705082807
TC 10-1.5	0.165	0.045	0.140389935	0.302530864	0.6529208
TC 10-2	0.165	0.045	0.155992	0.252098765	0.618090765
TC 10-2.5	0.165	0.045	0.167134968	0.216080247	0.593215215

Keterangan :

1. Fly ash (mol) : mol Na₂O yang terkandung dalam fly ash
2. Trass (mol) : mol Na₂O yang terkandung dalam trass
3. Na₂SiO₃ (mol) : mol Na₂O yang terkandung dalam Na₂SiO₃
4. NaOH (mol) : mol Na₂O yang terkandung dalam NaOH

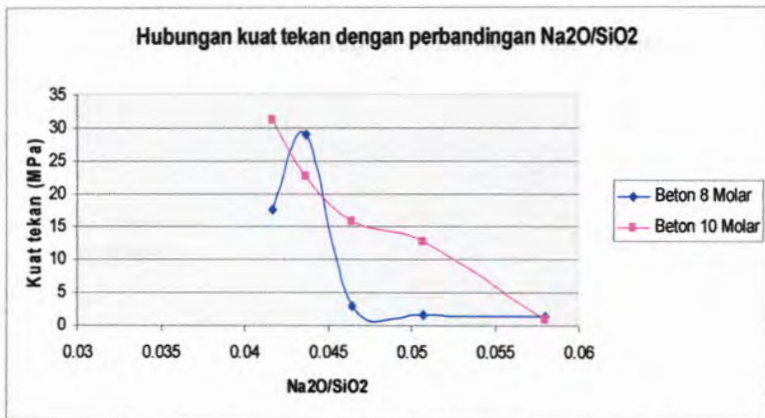
Tabel 4.64 Perbandingan mol H₂O, Na₂O dan SiO₂ dalam beton

Kode beton	Na ₂ O	SiO ₂	H ₂ O	H ₂ O / Na ₂ O	H ₂ O / SiO ₂	Na ₂ O / SiO ₂
TC 8-0.5	0.792312213	13.6349388	12.24794993	15.45848937	0.898276854	0.058108967
TC 8-1	0.705082807	13.88146855	10.41053567	14.76498301	0.749959244	0.050793099
TC 8-1.5	0.6529208	14.02932605	9.310782579	14.26020213	0.663665706	0.046539712
TC 8-2	0.618090765	14.12793795	8.576715364	13.87614222	0.607074818	0.043749539
TC 8-2.5	0.593215215	14.1983664	8.052445816	13.5742402	0.567138894	0.041780526
TC 10-0.5	0.792312213	13.6349388	12.31247837	15.53993257	0.903009434	0.058108967
TC 10-1	0.705082807	13.88146855	10.45891225	14.83359422	0.75344422	0.050793099
TC 10-1.5	0.6529208	14.02932605	9.349491745	14.31948829	0.666424867	0.046539712
TC 10-2	0.618090765	14.12793795	8.608971686	13.92832925	0.609357977	0.043749539
TC 10-2.5	0.593215215	14.1983664	8.080093528	13.62084675	0.56908614	0.041780526



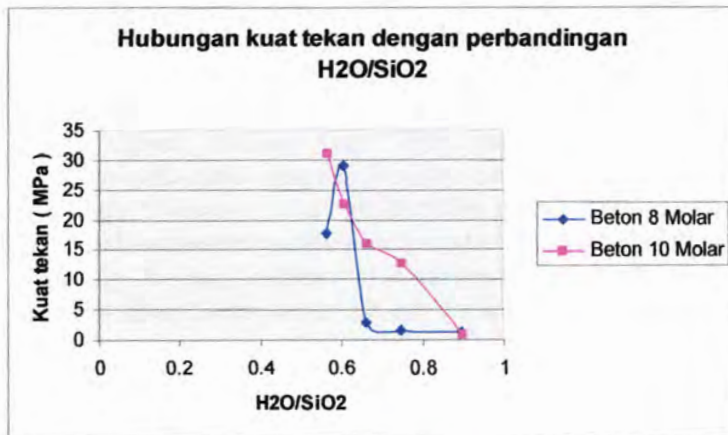
Gambar 4.72 Hubungan kuat tekan dan perbandingan H₂O/
Na₂O beton geopolimer

Gambar di atas menggambarkan molaritas NaOH yang dalam kasus ini diwakili oleh kadar Na₂O dan H₂O terhadap kuat tekan 28 hari beton geopolimer. Untuk beton 10 Molar semakin tinggi rasio H₂O/Na₂O semakin rendah kuat tekan beton. Sedangkan untuk beton 8 Molar terdapat titik optimum di perbandingan 2.72. Karena adanya tambahan air sebesar 12 persen dari massa fly ash dimungkinkan molaritas NaOH ikut berubah. Dengan adanya perbandingan H₂O/Na₂O dapat dilihat perubahan kadar Na₂O dalam beton. Mengingat fungsi Na₂O yang berperan sebagai aktifator dalam pembentukan kristal geopolimer (Rowles, 2003) tingginya kadar Na₂O dalam beton akan mempengaruhi kuat tekan beton.



Gambar 4.73 Hubungan kuat tekan dan perbandingan Na₂O/SiO₂

Gambar di atas menunjukkan perbandingan aktifator yang dalam hal ini dipecah menjadi Na₂O dan SiO₂. Na₂O dalam NaOH berperan sebagai pembentuk kristal pada proses polimerisasi (Rowles, 2003). Sedangkan SiO₂ merupakan komponen utama yang terdapat pada fly ash dan trass. Dalam beton geopolimer digunakan katalisator Na₂SiO₃ guna mempercepat pengikatan karena sodium silikat memiliki unsur Na₂O sebagai pengikat juga SiO₃ yang merupakan komponen fly ash dan trass. jadi dengan adanya Na₂SiO₃ ini diharapkan monomer-monomer yang ada cepat terikat. Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa semakin tinggi rasio Na₂O/SiO₂ semakin tinggi kuat tekan beton, sedangkan pada beton bermolaritas sodium hidroksida 8 m terdapat titik optimum di perbandingan 0.124. Pola yang sama juga terjadi pada hubungan kuat tekan dengan rasio Na₂SiO₃/NaOH.



Gambar 4.74 Hubungan kuat tekan dengan perbandingan H₂O/SiO₂

Dari gambar di atas dapat dilihat pengaruh H₂O dan SiO₂ terhadap kuat tekan beton geopolimer. Perbandingan ini analog dengan faktor air semen jika pada beton konvensional. SiO₂ yang merupakan komponen utama fly ash mewakili semen pada beton konvensional. Dari grafik diperoleh bahwa semakin tinggi perbandingan H₂O/SiO₂ semakin rendah kuat tekan usia 28 hari beton. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak air yang ada dalam campuran beton semakin rendah kuat tekannya.

4.5 Analisa Perbandingan beton konvensional dengan beton geopolimer

Analisa perbandingan ini dibuat untuk mengetahui besarnya pengaruh trass sebagai bahan pengisi terhadap sifat mekanis beton. Dibuat beton semen portland dengan kuat tekan rencana sebesar kuat tekan tertinggi yang dimiliki beton geopolimer berbahan dasar fly ash dengan molaritas larutan sodium hidroksida 8 dan 10 molar. Dari hasil eksperimen yang sudah pernah dilakukan di laboratorium beton Dan bahan bangunan Beton TC 10-1.5 dengan komposisi perbandingan aktifator 1.5



dan molaritas larutan sodium hidroksida 10M memiliki kuat tekan tertinggi yaitu 50 MPa. Fly ash sebagai bahan mortar utama diganti dengan semen. Mix design dilakukan sesuai dengan metode DUE. Trass yang ditambahkan ke dalam campuran beton ialah 50% dari jumlah semen yang dibutuhkan. Air tambahan yang digunakan ialah sebesar 12 % dari berat semen yang dibutuhkan, hal ini sesuai dengan air yang ditambahkan pada beton geopolimer berbahan dasar fly ash dan trass sebagai pengisi. Sifat mekanis yang di uji sama dengan beton geopolimer yaitu tes tekan, tarik belah, slump, dan porositas.

4.5.1 mixed design

Mixed design direncanakan dengan metode DOE. Adapun data mixed design untuk 1 m³ beton disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4.65 mixed design beton TCC

No	URAIAN	Tabel/grafik	NILAI
1	Kuat tekan yang disyaratkan	ditetapkan	50 Mpa pada 28 hari bagian cacat 10 %
2	Deviasi standar	Tak ditetapkan	5 N/mm²
3	Nilai tambah (margin) 4.288	Tabel I	(k=1.34) 1.34 x 5 = 8.2 N/mm²
4	Kekuatan tekan rata-rata target	Ayat 3.3.2	50 + 8.2 = 58.2 Mpa
5	Jenis semen	Ditetapkan	Semen Portland type I
6	Jenis agregat halus		Pasir alami

	Jenis agregat kasar		batu pecah
7	Faktor air semen bebas	Tabel 2 grafik1 atau 2	0.4
8	Factor air semen max	Tak Ditetapkan	-
9	Slump	Ditetapkan	80 mm
10	Ukuran agregat max	Grafik lengkung agregat campuran	20mm
11	Kadar air bebas	Tabel 6 ayat 3.3.5	$\frac{2}{3} \times 190 + \frac{1}{3} \times 225 + 7 - 6$ $= 202.6 \text{ kg/m}^3$
12	Jumlah semen	11:8 atau 7	$202.6 / 0.4 = 507 \text{ kg/m}^3$
13	Jumlah semen max	Tak Ditetapkan	-
14	Jumlah semen min	Tak Ditetapkan	-
15	Faktor air semen yang disesuaikan		-

Dibuat beton TCC sebanyak 16 sampel. Sengaja dibuat lebih untuk berjaga-jaga jika ingin melakukan pengetesan lain.

Kebutuhan bahan untuk membuat 16 sampel beton TCC disajikan pada tabel 3.10. Perhitungan didasarkan pada hasil perhitungan mixed design metode DOE.

$$\begin{aligned} V \text{ 1 silinder} &= \pi r^2 t \\ &= 3.14 \times 5^2 \times 20 \\ &= 1570 \text{ cm}^3 = 0.0157 \text{ m}^3 \\ V \text{ 16 benda uji} &= 0.0157 \times 16 \\ &= 0.025 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tabel 4.67 kebutuhan bahan beton TCC

Bahan	Berat (kg)
Semen	12.67
pasir	15.9
batu pecah	25.95
air	5.075
air tambahan	1.52
trass	6.33

4.5.2 Tes slump

Nilai slump rencana yang ditetapkan sebesar 80 mm. Setelah dilakukan tes slump, beton TCC memiliki nilai slump sebesar 60 mm. Hal ini berarti bahwa beton TCC memenuhi syarat nilai slump karena slump yang dimiliki tidak lebih besar dari nilai slump rencana.



Gambar 4.75 tes slump beton TCC

4.5.3 Tes tekan beton TCC

Tes tekan dilakukan pada umur 3,7,14,21,28 hari. Adapun hasil tes tekan disajikan pada tabel di bawah

Tabel 4.68 Hasil tes tekan beton TCC

Kode beton	TES KUAT TEKAN BETON														
	3 HR			7 HR			14 HR			21 HR			28 HR		
	P (Kg)	Rata2	σ (MPa)	P (Kg)	Rata2	σ (MPa)	P(Kg)	Rata2	σ (MPa)	P(Kg)	Rata2	σ MPa	P (Kg)	Rata2	σ MPa
TCC	10400	10825	13.790	13940	13495	17.191	16950	17735	22.592	25500	22825	29.076	28300	28550	36.369
	11250			13050			18520			20150			28800		

Keterangan :

Rata2 : P rata-rata (Kg)

Dari tabel 4.68 dapat dilihat bahwa beton TCC memiliki kuat tekan sebesar 36.67 MPa. Beton TCC mengalami penurunan kuat tekan rencana, kuat tekan rencana beton TCC ialah 50 MPa. Perilaku yang serupa juga terjadi pada beton geopolimer yang memakai trass sebagai bahan pengisi. Pada beton geopolimer yang menggunakan trass sebagai bahan pengisi dengan molaritas larutan sodium hidroksida 8 dan 10 molar kuat tekan tertinggi terdapat pada beton TC 10-2.5 dengan komposisi perbandingan aktifator 2,5 dan molaritas larutan sodium hidroksida 10 molar. Dari tabel 4.2 beton TC 10-2.5 memiliki kuat tekan 30.573 Mpa.

Dari hasil tes tekan beton TCC dan tes tekan beton geopolimer pada tabel 4.52 dapat dilihat bahwa trass yang digunakan sebagai bahan pengisi pada beton menyebabkan turunnya kuat tekan beton. Hal ini dapat juga dikarenakan senyawa dalam trass yang digunakan tidak bersifat amorf sehingga menurunkan kuat tekan beton.



Gambar 4.76 Hubungan kuat tekan dengan usia beton TCC

Dari gambar 4.76 dapat dilihat pola kenaikan beton konvensional. Kuat tekan usia 28 hari mencapai 36,37 MPa.

Sampai hari ke 28 beton Belum memiliki kuat tekan yang konstan. Hal ini dapat dilihat dari grafik kuat tekan beton yang masih merangkak naik sampai usia 28 hari. Dengan keadaan ini masih sangat dimungkinkan beton konvensional mengalami kenaikan kuat tekan setelah usia 28 hari. Sifat yang hampir sama juga terjadi pada beton geopolimer dengan bahan dasar fly ash dan trass sebagai pengisi.

4.5.4 Tes tarik belah beton konvensional

Tabel 4.69 Hasil tes tarik belah beton TCC

Kode Beton	Kuat tarik (Kg)	Rata- rata (Kg)	Rata- rata (MPa)
TCC	14100	14075	4.48
	14050		

Tes tarik belah yang dilakukan disini ialah tarik belah. Hasil tes tarik belah beton konvensional pada hari ke 28 mencapai 4.48 MPa.

4.5.5 Porositas beton konvensional

Perhitungan porositas beton TCC sama halnya dengan perhitungan porositas yang dilakukan pada beton geopolimer. Adapun hasil porositas disajikan pada tabel 4.70

Tabel 4.70 porositas beton konvensional TCC

Kode beton	μ (gr)	Mh (gr)	Mo (gr)	mo (gr)	Vo (ml3)	r (gr/ml3)	α	pt (%)	po (%)	pf (%)
TCC	230	389	359	65	23	2.826	2.258	20.106	18.868	1.239

μ = berat beton dalam air

Mh = berat beton dalam keadaan SSD

Mo = berat beton dalam keadaan kering oven

mo = berat beton setelah dihaluskan (pasta)

Vo = volume beton yang telah dihaluskan

r = kepadatan absolut

$$r = mo/Vo$$

α = kepadatan visual

$$\alpha = \frac{Mo}{Mh - \mu}$$

Pt = Porositas total

$$Pt (\%) = 100 \times (1 - \alpha/r)$$

Po = porositas tertutup

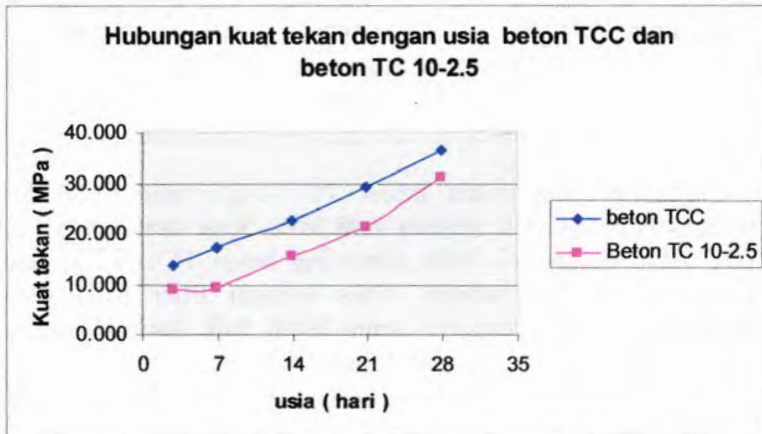
$$Po(\%) = \frac{(Mh - Mo)}{(Mh - \mu)}$$

4.5.6 Perbandingan dengan beton geopolimer

Yang dijadikan sebagai pembanding di sini ialah beton TC 10-2.5. Di pakai beton ini karena beton ini yang memiliki kuat tekan paling tinggi. Adapun sifat mekanis yang dibandingkan yaitu :

- Kuat tekan
- Kuat tarik
- Porositas
- Jumlah agregat

A. Kuat tekan



Gambar 4.77 Hubungan Kuat tekan dengan usia beton TCC dan beton TC 10-2.5

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa beton TCC memiliki kuat tekan usia 28 hari yang lebih tinggi dibanding beton TC 10-2.5. Kuat tekan beton TCC sebesar 36.369 dan beton TC 10-2.5 sebesar 30.97 MPa. Terjadi penurunan kuat tekan sebesar 5.399 MPa. Dari mekanisme ini dapat diambil kesimpulan bahwa

- Trass mengganggu kuat tekan beton baik beton semen maupun beton geopolimer

- o Gangguan yang ditimbulkan oleh trass lebih tinggi pada beton geopolimer.

Diperkirakan mekanisme ini dipengaruhi oleh reaksi pengikatan yang terjadi pada kedua beton. Trass sebagai filler mengganggu reaksi pengikatan yang terjadi, baik pada beton konvensional maupun pada beton geopolimer.

B. Kuat tarik belah

Tabel 4.71 kuat tarik belah beton TCC dan TC 10-2.5

Kode Beton	P (kg)	P Rata- rata (Kg)	σ Rata- rata (Mpa)
TC 10-2.5	9200	8850	2.86
	8500		
TCC	14100	14075	4.48
	14050		

Kuat tarik belah beton TC 10-2.5 ialah 2.86 MPa sedangkan beton TCC sebesar 4.48 MPa. Kuat tarik belah beton TCC lebih besar 1.62 MPa dibanding beton TC 10-2.5. Dapat ditarik kesimpulan bahwa trass sebagai filler pada semen menghasilkan sifat mekanis yang lebih baik daripada dipakai sebagai filler pada beton geopolimer.

C. Porositas

Porositas total yang dimiliki oleh beton TCC sebesar 20.106 % sedangkan beton TC 10-2.5 sebesar 42.13 %. Jumlah pori yang dimiliki beton berhubungan dengan kuat tekan beton. Semakin besar prosentase jumlah pori yang dimiliki beton makin rendah kuat tekan beton tersebut.

Tabel 4.72 Porositas beton TC 10-2.5 dan beton TCC

JENIS	pt (%)	rt ² pt (%)	po (%)	rt ² po (%)	pf (%)	rt ² pf (%)
TC 10-2.5	52.894	42.133	45.287	30.10337	7.607	12.030
	31.372		14.920		16.452	
TCC	20.106		18.868		1.238	

Keterangan :

- pt : porositas total
 po : porositas terbuka
 Pf : porositas tertutup

D. Perbandingan kuat tekan beton TCC dengan CC

Tabel 4.73 Kuat tekan beton CC

Kuat tekan 3 hari				Kuat tekan 28 hari			
P (Kg)	σ (kg/cm ²)	σ (MPa)	Rt ² σ (MPa)	P (Kg)	σ (kg/cm ²)	σ (MPa)	Rt ² σ (MPa)
17250	219.7452	22.25944	23.227245	34500	439.4904	44.51889	46.45449
18750	238.8535	24.19505		37500	477.707	48.39009	

Beton CC ialah beton semen dengan kuat rencana 50 MPa pada hari ke 28 sesuai dengan kuat tekan maksimum beton geopolimer murni fly ash dengan molaritas NaOH 8 dan 10 Molar. Beton ini dibuat untuk mengetahui besarnya pengaruh gangguan kuat tekan yang ditimbulkan trass pada beton semen.

Tabel 4.74 Kuat tekan beton TCC dan beton CC

Kode beton	Kuat tekan 28 hari			Rt ² (MPa)
	P (Kg)	σ (kg/cm ²)	σ (MPa)	
CC	34500	439.4904	44.51889	46.454
	37500	477.707	48.39009	
TCC	28300	360.50955	36.518391	36.84099
	28800	366.87898	37.163592	

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa beton CC memiliki kuat tekan usia 28 sebesar 46.45 MPa. Beton CC dibandingkan dengan beton TCC. Hal ini dilakukan untuk mendapat prosentase penurunan kuat tekan dalam beton semen yang disebabkan oleh trass. Kuat tekan beton TCC ialah 36.369 MPa. Terjadi penurunan kuat tekan sebesar 10.081 MPa atau sekitar 21.7 %.

Pada beton geopolimer, penurunan kuat tekan yang terjadi karena gangguan trass dapat diketahui dengan membandingkan beton murni fly ash X10-1.5 yang dilakukan oleh Oktavina Damayanti. Kuat tekan beton X 10-1.5 ialah 48.69 MPa sebagai pembanding ialah beton TC 10-2.5 yang memiliki kuat tekan 30.97 MPa. Penurunan yang terjadi ialah sebesar 17.72 MPa atau sekitar 36.5 %.

Dari perbandingan yang telah dilakukan dapat disimpulkan penurunan kuat tekan yang ditimbulkan akibat penambahan trass pada beton geopolimer lebih tinggi daripada pada beton semen.

o Agregat

Pada tabel 4.75 akan disajikan jumlah agregat yang digunakan dalam pembuatan 1 benda uji beton TCC dan beton TC 10-2.5.

Tabel 4.75 Jumlah agregat beton TCC dan TC 10-2.5

Kode beton	Bahan	Berat (kg)
TCC	pasir	0.99
	batu pecah	1.622
TC 10-2.5	batu pecah	1.885
	pasir	0.942

Dari tabel dapat dilihat bahwa beton TCC membutuhkan agregat yang lebih sedikit daripada beton TC 10-2.5. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kebutuhan akan agregat beton geopolimer jauh lebih

banyak di banding beton konvensional untuk kuat rencana yang sama.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Molaritas larutan sodium hidroksida sangat berpengaruh pada kuat tekan binder geopolimer. Semakin tinggi molaritas larutan sodium hidroksida semakin tinggi pula kuat tekannya. Hal ini dapat dilihat pada hasil kuat tekan binder pada tabel 4.18. TB 10-2,5 yang memiliki kandungan molaritas sodium hidroksida 10 molar dan rasio perbandingan sodium silikat : sodium hidroksida 2,5 memiliki kuat tekan yang lebih tinggi yaitu 44.586 MPa dibanding binder TB 8-2.5 38.615 MPa yang memiliki rasio perbandingan sodium silikat : sodium hidroksida yang sama tetapi memiliki molaritas yang berbeda.
2. Rasio perbandingan sodium silikat : sodium hidroksida memegang peran penting dalam pembentukan sifat mekanik binder geopolimer. Pada binder yang memiliki molaritas larutan sodium hidroksida 8 molar kuat tekan tertinggi dimiliki oleh binder TB 8-2.5 yaitu sebesar 39.12 MPa. Sedangkan untuk binder Dengan molaritas larutan 10 molar kuat tekan tertinggi dimiliki oleh binder TB 10-2.5 sebesar 45.16 MPa. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk binder geopolimer semakin tinggi perbandingan sodium silikat : sodium hidroksida semakin tinggi kuat tekannya.
3. Pola kenaikan kuat tekan binder cukup bervariasi, Binder yang memiliki molaritas larutan sodium hidroksida 8 molar memiliki pola yang hampir sama yaitu mengalami kenaikan kuat tekan yang signifikan pada rentan usia 0-3 hari. Dari fenomena ini dapat disimpulkan bahwa binder geopolimer memiliki kuat tekan tinggi pada usia yang relatif muda. Hampir seluruh binder Dengan molaritas larutan sodium hidroksida 8 molar memiliki kecenderungan mengalami kenaikan yang signifikan lagi setelah usia 21 hari. Karena

perilaku ini pada usia 28 hari binder belum memiliki kuat tekan yang konstan sampai usia 28 hari. Hal ini mengindikasikan bahwa binder masih mungkin mengalami kenaikan kuat tekan setelah usia 28 hari. Dapat disimpulkan bahwa binder Belum mencapai 100 % kuat tekannya pada usia 28 hari. Untuk binder yang memiliki molaritas larutan natrium hidroksida 10 molar pola kenaikan kuat tekan hampir sama seperti binder 8 molar, tetapi pada binder 10 molar ada beberapa binder yang sudah memiliki kuat tekan yang hampir konstan pada usia 28 hari yaitu binder TB 10-0.5 dan TB 10-1.

4. Waktu pengikatan binder geopolimer sangat dipengaruhi oleh komposisi aktifatornya. Untuk binder yang memiliki molaritas larutan natrium hidroksida 8 molar binder TB 8-2 memiliki waktu pengikatan awal dan akhir paling cepat yaitu 10,093 menit untuk pengikatan awal dan 25 menit mencapai pengikatan akhir. Sedangkan untuk binder yang memiliki molaritas larutan natrium hidroksida 10 molar binder TB 10-2,5 memiliki waktu pengikatan paling cepat yaitu 6.312 menit mencapai pengikatan awal dan 35 menit mencapai pengikatan akhir. Dari data ini dapat disimpulkan bahwa tidak selalu kenaikan perbandingan aktifator diiringi dengan bertambah cepatnya sebuah binder mengalami pengikatan. Hal ini dapat dilihat dari binder TB 8-2 yang memiliki waktu pengikatan yang lebih cepat dari pada binder TB 8-2,5. Molaritas larutan NaOH juga mempengaruhi kecepatan pengikatan binder geopolimer. Secara umum semakin tinggi molaritas binder semakin cepat pula binder tersebut mengalami pengikatan baik awal maupun akhir.
5. Secara keseluruhan semakin tinggi perbandingan aktifator menghasilkan pori tertutup yang makin tinggi pula. Molaritas larutan natrium hidroksida juga berpengaruh dalam pembentukan porositas binder.
6. Molaritas larutan natrium hidroksida dan perbandingan aktifator sangat mempengaruhi sifat mekanik beton

geopolimer. Semakin tinggi molaritas larutan sodium hidroksida semakin tinggi pula kuat tekan betonnya. Adapun pengaruh perbandingan sodium silikat : sodium hidroksida dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi perbandingan aktifator tidak selalu diiringi oleh semakin tingginya kuat tekan beton yang dihasilkan. Kasus ini terjadi pada beton geopolimer yang memiliki molaritas larutan sodium hidroksida 8 molar dimana kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton TC 8-2 yang memiliki perbandingan sodium silikat : sodium hidroksida 2.

7. Tidak semua beton geopolimer memiliki kuat tekan tinggi pada usia yang relatif muda. Salah satu penyebab lambatnya kenaikan kuat tekan pada beton geopolimer TC ialah kandungan trass yang diperkirakan mengganggu kinerja pengikatan yang terjadi pada beton geopolimer. Hampir semua beton geopolimer belum memiliki kuat tekan yang konstan sampai usia 28 hari dimana masih sangat dimungkinkan terjadinya kenaikan kuat tekan setelah usia 28 hari. Dengan adanya kasus ini dapat disimpulkan bahwa beton geopolimer belum memiliki kuat tekan 100 % sampai usia 28 hari.
8. Parameter yang mempengaruhi besarnya kuat tarik beton geopolimer sama dengan parameter yang mempengaruhi besarnya kuat tekan beton geopolimer.
9. Nilai slump hampir seluruh beton geopolimer nol yang berarti beton tidak memiliki workability. Hal ini sangat mungkin disebabkan oleh cepatnya waktu pengikatan yang dimiliki oleh beton geopolimer yang mengakibatkan beton sudah terlanjur keras waktu alat slump diangkat.
10. Secara keseluruhan semakin tinggi perbandingan aktifator menghasilkan pori tertutup yang makin tinggi pula. Molaritas larutan sodium hidroksida juga berpengaruh dalam pembentukan porositas beton geopolimer.
11. Sifat mekanik binder geopolimer seharusnya dapat dijadikan acuan untuk mengetahui sifat mekanik beton geopolimer.

Dalam hal ini ada beberapa data yang tidak cocok tentang asumsi tersebut di atas. Perbedaan dan persamaan sifat keduanya antara lain :

- Kuat tekan, pada binder kuat tekan tertinggi untuk binder bermolaritas larutan sodium hidroksida 8 molar dimiliki oleh binder TB 8-2,5 sebesar 39.12 MPa, sedang pada beton kuat tekan tertinggi untuk beton yang memiliki kadar molaritas larutan sodium hidroksida yang sama, dimiliki oleh beton TC 8-2. sebesar 28.87 MPa. Untuk binder dan beton yang memiliki molaritas larutan sodium hidroksida 10 molar kuat tekan binder dapat dijadikan untuk memprediksi kuat tekan beton geopolimernya karena kuat tekan tertinggi keduanya jatuh pada komposisi yang sama yaitu TC 10-2,5.
 - Pola kenaikan kuat tekan, pada binder kuat tekan signifikan terjadi pada usia yang jauh lebih singkat yaitu antara 0-3 hari pada beton kenaikan kuat tekan signifikan baru terjadi pada rentan usia 3-7 hari.
 - Kuat tekan beton jauh lebih rendah daripada bindernya. Penurunan kuat tekan yang terjadi ialah sekitar 27 persen dari kuat tekan bindernya.
 - Secara umum beton dan binder geopolimer sama-sama belum memiliki kuat tekan yang konstan sampai usia 28 hari.
12. Hasil tes XRD Dari hasil XRD dapat disimpulkan bahwa hampir seluruh komposisi binder membentuk senyawa zeolit kecuali binder TB 8-2
13. Analisa sifat mekanik beton geopolimer dan beton konvensional dilakukan untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan dalam hal sifat mekanik antara beton konvensional dengan geopolimer. Dari data yang ada dapat disimpulkan :
- Kuat tekan beton konvensional dengan komposisi yang hampir sama memiliki kuat tekan yang lebih tinggi

dibanding beton geopolimer yaitu 36,37 MPa untuk beton konvensional dan 30,57 MPa untuk beton geopolimer. Dari fenomena ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan trass sebagai bahan pengisi jauh lebih baik digunakan pada bahan semen daripada fly ash.

- Kuat tarik beton konvensional lebih tinggi dari beton geopolimer yaitu 17,93 MPa untuk beton konvensional dan 11,27 untuk beton geopolimer.
- Nilai slump beton konvensional memenuhi syarat rencana yaitu 60 mm sedangkan beton geopolimer nol. Hal ini menyebabkan beton geopolimer lebih sulit dicetak dibanding beton konvensional.

5.2 Saran

1. Dalam membuat beton geopolimer sebaiknya menggunakan sarung tangan karena larutan sodium hidroksida cukup berbahaya bagi kulit.
2. Selama pengecoran sebaiknya dilakukan perojokan yang benar yaitu per sepertiga bagian dirojok 25 kali, karena jika tidak kuat tekan beton akan turun karena agregat kasar mengendap di dasar cetakan.
3. Curing ruangan dengan cara ditutup plastik sebaiknya dilakukan selama kurang lebih 3 hari saja, karena jika terlalu lama di curing beton akan lama mengeras.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 232 2R – 96
 AFNOR NF B 49104
 ASTM C 566-89
 ASTM C 128-78
 ASTM C 29-91
 ASTM C 40-92
 ASTM C 40-92
 ASTM C 117-95
 ASTM C 1366-95A
 ASTM C 131-89
 ASTM C 618 – 84
 ASTM C 618 – 78
 ASTM C 39-94
 ASTM C 192-90a
 ASTM C 191-92
 Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Penyebaran
 Sumberdaya Mineral Trass di Kabupaten
 Purbalingga, 2003
 Davidovits, J , Geopolymer : Inorganic Polymeric New
 Material , 1991
 Davidovits, J , Properties of Geopolymer Cements , 1994
 Hardjito, D., Wallah S.E., and Rangan B.V., Factor
 Influencing the Compressive Stength of Fly Ash
 Based Geopolymer Concrete, 2004
[http : // id. Wikipedia.org/ wiki/ logam alkali](http://id.Wikipedia.org/wiki/logam_alkali) , 2006
 Isabella, C., Grant, C., Van Deventer, S.J., The Effect of
 Agregate Particle Size on Formation of Geopolimeric
 Gel, 2005
 Larson, Portland Cement and Aspalt Concrete
 Rowles, Chemical optimization of the compressive strength
 of aluminosilicate geopolymer synthesized by sodium
 silicate activation of metakaolin, 2003

Santoso, H., Pengaruh Bahan Tambahan pozzolan Alam (Trass Situbondo) dan Pozzolan Buatan terhadap Sifat Fisik Beton pada Lingkungan Agresif, 1993

SII 0013 – 1981

Wahyuni, S., Master Kimia SMA., 2004

Wijaya, M , Studi Pendahuluan Pemanfaatan Trass Nagreg sebagai Bahan Semen Pozolan Kapur, 1996

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Malang, 1 Februari 1986, merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Percobaan Malang, SLTPN 1 Malang, SMUN 1 Malang. Lulus dari SMU pada tahun 2003, penulis mengikuti SPMB dan diterima di jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan NRP 3103 100 028. Di

jurusan Teknik Sipil ini penulis mengambil Bidang Studi Struktur.