

TUGAS AKHIR

**KARAKTERISTIK BETON GEOPOLIMER MENGGUNAKAN
LIMBAH *FLY ASH* PLTU TANJUNG JATI B JEPARA
(*CHARACTERISTIC OF GEOPOLYMER CONCRETE USING
FLY ASH WASTE FROM PLTU TANJUNG JATI B JEPARA*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Sipil**



MUHAMMAD RIDWAN

12 511 428

**PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**KARAKTERISTIK BETON GEOPOLIMER MENGGUNAKAN
LIMBAH FLY ASH PLTU TANJUNG JATI B
(CHARACTERISTIC OF GEOPOLYMER CONCRETE USING
FLY ASH WASTE FROM PLTU TANJUNG JATI B JEPARA)**

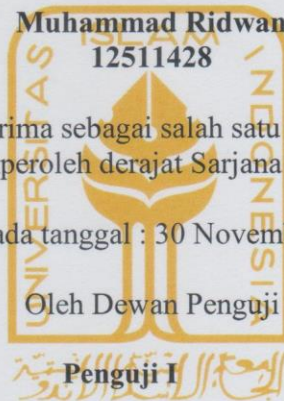
Disusun oleh :

Muhammad Ridwan
12511428

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

diuji pada tanggal : 30 November 2018

Oleh Dewan Penguji



Pembimbing

Penguji I

Penguji II

1/11/2018

Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE, Ph.D.
NIK : 855110201

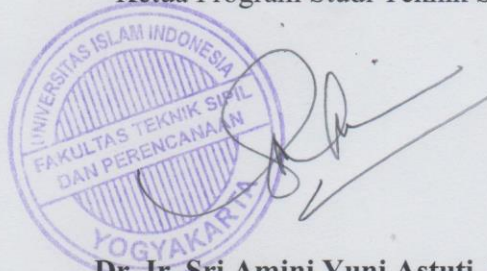
Ir. Helmy Akbar Bale, M.T.
NIK : 885110105

1/11/18

Dr. Ir. Harsovo, M.Sc.
NIK : 835110202

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.
NIK : 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia seluruhnya merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 10 Agustus 2018

Yang membuat pernyataan



Muhammad Ridwan

(12511428)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmaanirrahiim.

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh

Alhamdulillah, Alhamdulillah, Alhamdulillah. Puja dan puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Karakteristik Beton Geopolimer Menggunakan Limbah *Fly Ash* PLTU Tanjung Jati B Jepara”. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan kita Rasulullah ﷺ, keluarga, serta sahabatnya. Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai jenjang Strata Satu (S1) pada jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang begitu besar kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran penulisan Tugas Akhir ini baik berupa dukungan keilmuan, moril, maupun materil. Tanpa dukungan tersebut penulis merasa sulit sekali dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Disamping itu, izinkan saya menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada :

1. Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.
2. Sri Amini Yuni Astuti, Dr., Ir., MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil.
3. Mochammad Teguh, Prof. Ir., MSCE, Ph.D. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, terimakasih atas bimbingan, nasihat, saran dan dukungan yang diberikan kepada penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri ST., MT. dosen pembimbing keilmuan atas saran, masukan, dan nasihat yang telah diberikan kepada penulis.
5. Ir. Helmy Akbar Bale, M.T, dan Dr. Ir. Harsoyo, M.Sc. selaku dosen penguji atas saran, masukan dan nasihat yang telah diberikan kepada penulis.
6. Suwarno dan Darussalam, A.Md, selaku Laboran yang telah membantu untuk memperoleh data pengujian.
7. Bapak, Ibu, Kakak serta Adik-adik yang penulis sayangi, Muhammad Asri, SE,Ak , RR Hartini, Anggraeni Puspasari, Muhammad Rizky, A.Md, serta

Muhammad Raihan terima kasih atas segala motivasi, doa, dan dukungan yang telah diberikan.

8. Ibu Dian Nurhardiyani , selaku staff bagian Lingkungan pada PLTU Tanjung Jati B Jepara atas izin penggunaan *fly ash* yang diberikan.
9. Bramastya Adi Nugraha S.T., Herman Cemper S.T., Aji Mohamad Ilham S.T, Indra Kusumawardhana S.T., Galih Supiadi S.T., Mochammad Nur Huda, Kurniawan Hidayat, terima kasih atas segala bantuan, dukungan, dan kerjasamanya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Rekan-rekan Teknik Sipil 2012, 2014, dan 2014, terima kasih atas segala dukungan, kerjasama dan doanya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini belum sempurna, oleh karena itu penulis memohon maaf dan Harapan penulis pada Tugas Akhir ini adalah lulus uji sehingga bisa melanjutkan ke Tugas Akhir yang nantinya dapat berguna dan bermanfaat bagi saya dan mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia pada khususnya, serta pihak lain yang membaca pada umumnya.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarokatuh

Yogyakarta, 29 September 2018

Penulis,

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	ix
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	14
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pengertian Umum	6
2.2 Penelitian Terdahulu	6
2.3 Keaslian Penelitian	9
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Umum	12
3.2 Beton <i>Geopolymer</i>	13
3.3 Material Pembentuk Beton Geopolymer	14
3.3.1 <i>Fly Ash</i>	15
3.3.2 Alkali Aktivator	17

3.3.3	Agregat Halus	18
3.3.4	Agregat Kasar	18
3.4	Proses Pembentukan Geopolimer	19
3.5	Perawatan Benda Uji	22
3.6	Karakteristik Pengujian Beton Geopolimer	23
3.6.1	Slump	23
3.6.2	Kuat Tekan	24
3.6.3	Modulus Elastisitas Beton	26
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		27
4.1	Tinjauan Umum	27
4.2	Peralatan Penelitian	27
4.3	Benda Uji	30
4.4	Lokasi Penelitian	30
4.5	Komposisi Campuran Beton dan Jumlah Benda Uji	31
4.6	Pelaksanaan Penelitian	34
4.6.1	Pembuatan Benda Uji	35
4.6.2	Pengujian	38
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		41
5. 1	Pengujian Agregat Halus	41
5.2.1	Berat Jenis dan Penyerapan Air	41
5.2.2	Modulus Halus Butir	42
5.2.3	Berat Volume	43
5.2.4	Kadar Lumpur	44
5. 2	Pengujian Agregat Kasar	44
5.4.1	Berat Jenis dan Penyerapan Air	44
5.4.2	Modulus Halus Butir	45
5.4.3	Berat Volume	47
5. 3	Pengujian Abu Terbang	48
5. 4	Pengujian <i>Slump</i>	49
5. 5	Berat Volume Beton	50

5. 6 Kuat Tekan Beton	51
5.4.1 Perbandingan Alkali Aktivator 0,5	52
5.4.2 Perbandingan Alkali Aktivator 1	53
5.4.3 Perbandingan Alkali Aktivator 1,5	54
5.4.4 Perbandingan Alkali Aktivator 2	56
5.4.5 Perbandingan Alkali Aktivator 2,5	57
5.4.6 Komposisi Maksimum	59
5. 7 Modulus Elastisitas Beton	60
KESIMPULAN DAN SARAN	68
6.1 Kesimpulan	68
6.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	73
Lampiran 1 Surat Surat Perizinan	74
Lampiran 2 Tabel Data Hasil Pengujian	80
Lampiran 3 Gambar	115

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan antara penelitian terdahulu dan sekarang	10
Tabel 2.2 Perbedaan antara penelitian terdahulu dan sekarang (lanjutan)	10
Tabel 3.1 Penetapan nilai <i>slump</i> adukan beton (Tjokrodimuljo, 1992)	23
Tabel 3.2 Kriteria <i>SCC</i> menurut <i>EFNARC</i>	23
Tabel 3.3 Kriteria <i>SCC</i> menurut <i>ASTM C 1611</i>	23
Tabel 4.1 Jumlah komposisi bahan per silinder	33
Tabel 4.2 Jumlah komposisi bahan total	33
Tabel 4.3 Jumlah benda uji	34
Tabel 5.1 Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus	36
Tabel 5.2 Hasil pengujian analisa saringan agregat halus	37
Tabel 5.3 Hasil pengujian berat volume gembur agregat halus	38
Tabel 5.4 Hasil pengujian berat volume padat agregat halus	38
Tabel 5.5 Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus	39
Tabel 5.6 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar	40
Tabel 5.7 Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar	40
Tabel 5.8 Hasil pengujian berat volume gembur agregat kasar	42
Tabel 5.9 Hasil pengujian berat volume padat agregat kasar	42
Tabel 5.10 Hasil uji <i>X-Ray Fluorescence</i>	43
Tabel 5.11 Hasil pengujian nilai <i>slump</i> dan <i>slump flow</i>	44
Tabel 5.12 Hasil pengujian berat volume beton	45
Tabel 5.13 Hasil pengujian kuat tekan beton perbandingan 0,5	46
Tabel 5.14 Hasil pengujian kuat tekan beton perbandingan 1	47
Tabel 5.15 Hasil pengujian kuat tekan beton perbandingan 1,5	48
Tabel 5.16 Hasil pengujian kuat tekan beton perbandingan 1,5 (lanjutan)	49
Tabel 5.17 Hasil pengujian kuat tekan beton perbandingan 2	50
Tabel 5.18 Hasil pengujian kuat tekan beton perbandingan 2,5	51
Tabel 5.19 Data tahanan regangan beton	55
Tabel 5.20 Data tegangan regangan beton (lanjutan)	56

Tabel 5.21 Rekapitulasi hasil pengujian modulus elastisitas	59
Tabel 5.22 Rekapitulasi hasil pengujian modulus elastisitas (lanjutan)	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Konsep Dasar Produksi Beton <i>Geopolymer</i>	14
Gambar 3.2 Perbandingan Ukuran Partikel Semen, <i>Fly Ash</i> , dan <i>Silica Fume</i>	15
Gambar 3. 3 NaOH (flakes)	17
Gambar 3. 4 Alkalinasi dan pembentukan Aluminat Tetravalen	19
Gambar 3. 5 Proses menjadi Pentavalen	20
Gambar 3. 6 Pembentukan Si – OH dan Siloxo dasar	20
Gambar 3. 7 Pembentukan gugus Silanol Si – OH	20
Gambar 3. 8 Pembentukan ikatan Si – O – Na	20
Gambar 3. 9 Proses kondensasi	21
Gambar 3. 10 Struktur rantai felspar	22
Gambar 3. 11 Kerucut Abraham	23
Gambar 3. 12 Pengujian kuat tekan beton	25
Gambar 4.1 <i>Mixer</i> /Pengaduk Beton	28
Gambar 4.2 Cetakan Silinder Beton	28
Gambar 4.3 Timbangan	29
Gambar 4.4 Kaliper	29
Gambar 4.5 Mesin Uji Desak Tipe ADR 3000	30
Gambar 4.6 Perbandingan Komposisi Bahan dan Material	31
Gambar 5. 1 Gradasi agregat halus	43
Gambar 5. 2 Gradasi agregat kasar	47
Gambar 5. 3 Nilai <i>slump</i> dan <i>slump flow</i> beton segar	50
Gambar 5. 4 Perbandingan <i>Wc</i> nyata dengan <i>Wc</i> rencana	51
Gambar 5. 5 Peningkatan Kuat Tekan Beton Perbandingan 0,5	52
Gambar 5. 6 Peningkatan Kuat Tekan Beton Perbandingan 1	54
Gambar 5. 7 Peningkatan kuat tekan beton perbandingan 1,5	55
Gambar 5. 8 Peningkatan kuat tekan beton perbandingan 2	57
Gambar 5. 9 Peningkatan kuat tekan beton perbandingan 2,5	58
Gambar 5. 10 Perbandingan kuat tekan beton	59
Gambar 5. 11 Kurva tegangan regangan beton	63

Gambar 5. 12 Kurva tegangan-regangan vaiasi GP-2.0

66

ABSTRAK

Semen sebagai bahan ikat utama pada beton memiliki banyak kerugian lingkungan, dimulai dari pengerukan gunung kapur, emisi gas CO₂ pada saat proses produksi, hingga produksi CO₂ pada saat semen digunakan. Disisi lain terdapat abu terbang yang merupakan produk sampingan atau limbah dari sisa proses pembakaran batu bara diPLTU. Abu terbang memiliki kandungan senyawa silikat dan aluminat yang cukup tinggi yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti semen sebagai bahan ikat pada beton. Beton geopolimer membutuhkan larutan alkali aktivator berupa campuran larutan NaOH dan Na₂SiO₃ untuk mereaksikan senyawa silikat dan aluminat pada abu terbang. Perbedaan kandungan komposisi alkali aktivator yang digunakan akan memberikan reaksi serta kuat tekan yang berbeda pada beton.

Perencanaan campuran beton menggunakan metoda perbandingan berat pada setiap komposisi penyusun beton dengan menggunakan faktor *w/fa* sebesar 0,25. Benda uji berbentuk silinder dengan perbandingan alkali aktvator NaOH : Na₂SiO₃ sebesar 1/2 (0,5); 2/2 (1), 3/2 (1,5); 4/2 (2); dan 5/2 (2,5). Benda uji silinder diuji kuat tekan utuk melihat pada umur 7 hari; 14 hari; 21 hari; dan 28 hari untuk melihat perkembangan pertambahan kuat tekan beton. Pada umur 28 hari sampel beton diuji modulus elastisitas.

Kuat tekan beton geopolimer dengan komposisi perbandingan alkali aktivator 0,5 tidak dapat digunakan sebagai beton struktural karena hanya mencapai kuat tekan sebesar 9,23 MPa. Kuat tekan rerata beton geopolimer dengan komposisi perbandingan alkali aktivator 2/2, 3/2, 4/2, 5/2 berturut-urut sebesar 19,67 MPa; 34,796 MPa; 39,049 MPa; 34,779 Mpa. Hasil pengujian tersebut menunjukkan terjadi nya peningkatan kuat tekan dengan kuat tekan maksimum didapat pada komposisi perbandingan alkali aktivator 4/2 namun kembali menurun pada perbandingan 5/2. Pengujian modulus elastisitas beton tidak dilakukan pada komposisi perbandingan alkali aktivator 0.5 karena kuat tekan terlalu kecil. Nilai modulus elastisitas beton geopolimer dengan komposisi perbandingan alkali aktivator 2/2, 3/2, 4/2, 5/2 berturut-urut sebesar 17.628 MPa; 16.882,4 MPa; 23.964,87 MPa; dan 20.171,8 MPa.

Kata Kunci : *Limbah PLTU, w/fa, Umur, Kuat tekan, Modulus elastisitas*

ABSTRACT

Cement as the main bonding material in concrete has many environmental losses, starting from limestone dredging, CO₂ emissions during production process, to the production of CO₂ gas at the time of cement use. On the other hand there is fly ash which is a byproduct or waste from the rest of the coal burning process at the power plant. The fly ash has a high content of silicate and aluminate compounds which can be used as a substitute for cement as a binder on concrete. The geopolymer concrete requires an alkali activator solution in the form of a mixture of NaOH and Na₂SiO₃ solutions to react silicate and aluminate compounds in the fly ash. The alkali activator with different composition will give different reaction and compressive strength of concrete.

Concrete mixture planning using weight comparison method on each composition of concrete by using w/fa factor of 0.25. Concrete samples were tested to measured their compressive strength improvement at 7 days; 14 days; 21 days; and 28 days. At 28 days the sample of concrete tested modulus of elasticity.

The compressive strength of geopolymer concrete with the composition of the alkali activator of 0.5 can not be categorized as structural concrete because it only reaches a compressive strength of 9.23 MPa. The compressive strength of geopolymer concrete with composition ratio of alkali activator 2/2, 3/2, 4/2, 5/2 in sequence of 19,67 MPa; 34,796 MPa; 39,049 MPa; 34,779 Mpa. The test results show that there is an increase in compressive strength with maximum compressive strength obtained on the composition of the alkaline alkali activator 4/2 but again decreased in the 5/2 ratio. The concrete elasticity modulus test is not performed on the composition of the alkali-activator 0.5 because the compressive strength is too small. The value of the modulus of elasticity of the geopolymer concrete with the composition of the alkaline composition of 2/2, 3/2, 4/2, 5/2 in sequence of 17,628 MPa; 16,882,4 MPa; 23.964,87 MPa; and 20,171.8 MPa.

Keywords: *Power plant waste, w/fa, Curing time, Compressive strength, Modulus of elasticity.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan bahan bangunan yang sangat umum digunakan, karena memiliki kekuatan untuk menahan gaya tekan yang tinggi. Beton sendiri tersusun dari agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), dan semen. Namun penggunaan semen justru memiliki banyak kerugian lingkungan. penggunaan semen justru memiliki banyak kerugian lingkungan. Dimulai dari proses pengambilan bahan nya yang mengeruk gunung kapur yang sangat banyak. Davidovits (1994) menyatakan proses produksi semen menghasilkan gas emisi CO₂ dalam jumlah yang sebanding dengan jumlah semen yang diproduksi. Dengan kata lain, memproduksi 1 ton semen sama dengan memproduksi 1 ton CO₂ ke dalam udara. Bahkan hingga pada saat digunakan dalam campuran beton, semen memproduksi gas karbon dioksida dengan jumlah yang sangat banyak.

Pada pelaksanaan pembakaran batu bara di PLTU, menghasilkan produk sampingan (*side product*) berupa abu terbang atau *fly ash* sebagai sisa dari pembakaran batu bara yang kemudian dihisap keluar dan ditumpuk. Abu terbang sendiri mengandung bahan kimia silika dan Alumina, yang membuat Abu terbang tersebut memiliki sifat *pozolanic* seperti semen. Proses pembakaran yang tidak optimal, serta kualitas batu bara yang digunakan akan sangat mempengaruhi komposisi kimiawi yang terkandung, sehingga berengaruh pada sifat dan karakteristik abu terbang tersebut.

Beton geopolimer merupakan jenis beton yang tidak menggunakan semen sama sekali. Limbah abu terbang dimanfaatkan sebagai sumber material binder pada campuran beton. Davidovits (1999) menyatakan beton geopolimer ini terbentuk dari reaksi kimia bukan dari reaksi hidrasi seperti pada beton biasa. Dalam pembuatan beton geopolimer diperlukan alkali aktifator yang berfungsi mengikat agregat karena *fly ash* tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Hardjito dkk. (2004) menyatakan aktivator yang umum nya digunakan adalah *sodium hidoksida* dan *sodium silikat*. Sodium silikat berfungsi

untuk mempercepat reaksi polimerisasi, sedangkan natrium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *binder* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Ekaputri dan Triwulan (2013) menyatakan “semakin tinggi molaritas yang digunakan, maka semakin tinggi pula kuat tekan dan kuat belah yang dihasilkan.” Berdasarkan penelitian LI, Ding, dan Zhang didapat beberapa kelebihan beton geopolymer dibandingkan dengan beton konvensional, antara lain :

- a. hemat energi dan ramah lingkungan,
- b. tingkat penyusutan volume beton lebih rendah,
- c. dapat mencapai kekuatan hingga 70% dalam waktu 4 jam,
- d. tingkat ketahanan tinggi terhadap serangan lingkungan yang agresif, dan
- e. pasta geopolimer mampu bertahan pada suhu 1000° C hingga 1200° C tanpa mengurangi fungsi yang dimilikinya.

Seperti halnya semen, abu terbang yang sudah dicampur dengan alkali aktifator membutuhkan waktu untuk dapat bereaksi hingga pada akhirnya mengeras. Pada pengujian *setting time* pada semen dipengaruhi oleh jenis semen dan jumlah air yang digunakan, maka pada abu terbang *setting time* sangat dipengaruhi oleh kelas abu terbang yang digunakan, jumlah perbandingan abu terbang dengan alkali aktivator, dan juga dipengaruhi tingkat molaritas alkali aktivator. Hardjito (2005) menyatakan aktivator yang umumnya digunakan adalah *sodium hidroksida* 8M sampai 14M dan *sodium silikat* dengan perbandingan antara 0,5 sampai 2,5 .

Davidovits (1994) menyatakan proses produksi dan penggunaan semen membawa dampak buruk bagi lingkungan, sehingga perlu diadakan penelitian mengenai bahan alternatif pengganti semen sebagai bahan bangunan. Beton geopolimer dapat mereduksi pencemaran lingkungan karena tidak menggunakan semen. Beton geopolimer menggunakan bahan dasar dengan kandungan unsur silika dan alumina yang tinggi. Abu terbang sebagai bahan ikat memiliki sifat yang berbeda dengan semen, sehingga perlu dilakukan penelitian terkait kandungan kimia, teknik pembuatan sampel, hingga pengujian sampel pada saat diaplikasikan pada beton geopolimer.

Beton segar (*fresh concrete*) membutuhkan waktu untuk dapat mengeras secara sempurna. Kuat tekan beton mengalami peningkatan kuat tekan secara terus menerus dan dianggap mencapai kuat tekan sempurna pada umur 28 hari. Pada pekerjaan pengecoran yang bersifat massal seperti pada proyek, beton tidak ditunggu sampai mencapai umur 28 hari sebelum dilakukan pekerjaan pengecoran selanjutnya yang dianggap dapat memberi beban pada struktur beton tersebut. Perlu diadakan penelitian mengenai peningkatan kuat tekan beton berdasarkan umur sebagai pegangan untuk memprediksi apakah kuat tekan maksimum yang akan dicapai pada umur 28 hari sudah mencapai spesifikasi, dan sebagai pegangan pada umur berapa struktur beton tersebut siap untuk diberi beban. Untuk dapat mengetahui peningkatan kuat tekan beton dapat dilakukan pengujian pada sampel beton dengan umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan pada saat sudah mengeras sempurna pada umur 28 hari. Pada penelitian ini digunakan variasi perbandingan komposisi bahan dengan harapan didapat kombinasi yang menghasilkan kuat tekan optimal berikut dengan modulus elastisitasnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang diatas dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut ini.

1. Berapakah tingkat kandungan zat kimia yang menunjukkan klasifikasi pada abu terbang dari Tanjung Jati B Jepra ?
2. Berapakah nilai kuat tekan beton geopolimer dengan variasi umur beton 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari pada setiap kombinasi campuran?
3. Berapakah Modulus Elastisitas beton geopolimer pada umur 28 hari untuk setiap kombinasi campuran ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui klasifikasi pada abu terbang Tanjung Jati B Jepra.
2. Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton geopolimer dengan variasi umur beton 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari pada setiap kombinasi campuran.

3. Untuk mendapatkan nilai Modulus Elastisitas beton geopolimer pada umur 28 hari untuk setiap kombinasi campuran.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini antara lain sebagai berikut.

1. Mengetahui manfaat penggunaan abu terbang sebagai limbah pembakaran batu bara pada PLTU sebagai alternatif pengganti semen pada bahan pembuatan beton.
2. Sebagai informasi kepada PLTU Tanjung Jati B secara khusus, dan kepada masyarakat secara umum bahwa limbah abu terbang sisa pembakaran batu bara dapat dimanfaatkan sebagai pengganti semen pada campuran beton.
3. Menjadi referensi atau acuan penggunaan limbah abu terbang bagi PLTU Tanjung Jati B sebagai upaya pengurangan penumpukan dan pemanfaatan limbah abu terbang, serta sebagai acuan untuk penelitian-penelitian selanjutnya mengenai beton geopolimer.

1.5 Batasan Masalah

Batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Limbah abu terbang yang digunakan diperoleh dari PLTU Tanjung Jati B Jepara, sebagai produk sampingan/limbah pembakaran batu bara.
2. Agregat halus atau pasir diperoleh dari Progo, Kab. Kulon Progo, Provinsi DIY.
3. Agregat kasar diperoleh dari Clereng, Kab. Kulon Progo, Provinsi DIY.
4. *Natrium Hidroksida* (NaOH), dan *Natrium Silikat* (Na_2SiO_3) didapat dari toko kimia.
5. Konsentrasi atau molaritas larutan NaOH yang digunakan sebesar 10M.
6. Dalam proses pembuatan larutan NaOH 10M digunakan air yang berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
7. Dikarenakan belum ada pedoman perencanaan campuran beton, maka perencanaan menggunakan perbandingan berat volume.
8. Beton segar dirawat dengan cara direndam.

9. Pengujian kuat tekan dilaksanakan pada umur beton 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari, dan modulus elastisitas pada umur 28 hari.
10. Kandungan kimia pada *fly ash* diuji diLaboratorium Balai Konservasi Borobudur.
11. Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Umum

Menurut SNI-2847-2013, beton (*concrete*) adalah campuran semen portland (PC) atau semen hidraulis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambah (*admixture*). Sedangkan Sumajouw dkk. (2014) menyatakan bahwa, *Geopolymer* merupakan bahan atau material yang berupa zat anorganik yang disintesa melalui proses polimerisasi. Terminologi *geopolymer* pertamakali digunakan oleh Profesor Davidovits pada tahun 1987 untuk menjelaskan mineral *polymer* yang dihasilkan melalui proses *geochemistry*, sedangkan Sumajouw dkk. (2014) menyatakan bahwa *Geopolymer* merupakan bentuk anorganik alumina-silika yang disintesa dari material yang banyak mengandung Silika (Si) dan Alumina (Al) yang berasal dari alam atau material hasil sampingan industri.

Beton geopolimer merupakan beton yang 100% tidak menggunakan semen. Agar terjadi reaksi antara zat polimer yang terkandung dalam suatu material, maka dibutuhkan larutan *activator*, sehingga dapat terjadi ikatan antara silikat dan alumina pada material yang bersifat *pozzolan*. *Fly ash* merupakan limbah hasil pembakaran suatu bahan sebagai sumber panas tinggi pada pabrik maupun PLTU. Untuk menghasilkan panas yang tinggi, pabrik dan PLTU biasa memanfaatkan batu bara untuk dibakar, sehingga menghasilkan produk sampingan berupa abu terbang atau *fly ash*. Davidovits (1978) menyatakan proses polimerisasi yang terjadi di dalam beton geopolimer meliputi reaksi kimia yang terjadi antara alkalin dengan mineral Si – Al untuk menghasilkan rantai polimerik tiga – dimensi dan ikatan struktur Si – O – Al – O yang konsisten. Davidovits (1978) menyarankan penggunaan istilah ‘poly(sialate)’ sebagai nama kimia dari beton geopolimer yang berbahan dasar siliko-aluminate. Sialate adalah singkatan dari silicon-oxoaluminate.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan utama dalam pembuatan beton geopolimer telah banyak dilakukan, seperti penelitian oleh

Ekaputri dkk (2007), Manuahe dkk (2014), dan Prasetyo (2015). Hasil dan kesimpulan dari beberapa penelitian tersebut digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini.

Ekaputri (2007), melakukan penelitian beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* dengan variasi masa larutan alkali aktivator dan variasi molaritas yang bertujuan untuk mengetahui komposisi campuran yang tepat untuk menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik beton geopolimer yang tinggi dengan mengacu pada penelitian terdahulu.

Hasil dari penelitian beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* dengan variasi masa larutan alkali aktivator dapat diuraikan sebagai berikut ini.

1. Semakin tinggi perbandingan massa larutan sodium silikat dan sodium hidroksida tidak selalu menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik belah yang tinggi pula. Perbandingan massa larutan sodium silikat dan sodium hidroksida = 1,5 merupakan titik puncak optimum untuk kuat tekan dan kuat tarik belah.
2. Semakin tinggi molaritas yang digunakan, maka semakin tinggi pula kuat tekan dan kuat tarik belah yang dihasilkan. Beton geopolimer yang menggunakan molaritas 10M menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik belah yang lebih besar jika dibandingkan dengan beton geopolimer yang menggunakan molaritas 8M.
3. Dari hasil tes *setting time*, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi:
 - a. Perbandingan massa larutan sodium silikat dan sodium hidroksida maka semakin lama waktu pengikatan awal berlangsung, tetapi semakin cepat waktu pengikatan berakhir.
 - b. Molaritas yang digunakan dalam campuran, maka semakin cepat pengikatan awal berlangsung dan pengikatan berakhir.
4. Dari hasil pengujian porositas yang dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut ini :
 - a. Seperti halnya kuat tekan dan kuat tarik belah beton geopolimer, jumlah pori tertutup dalam beton 8M dan 10M ini juga terdapat titik optimum pada perbandingan massa sodium silikat dan sodium hidroksida =1.5. Hasil uji porositas ini berhubungan erat dengan hasil uji tekan dan tarik belah. Pori tertutup memiliki tekanan hidrostatis yang membantu meningkatkan kuat

tekan beton dan kuat tarik belah, sehingga jika semakin besar jumlah pori tertutup, maka semakin tinggi pula kuat tekan dan kuat tarik belah yang dihasilkan beton geopolimer.

- b. Secara umum dapat diperhatikan bahwa beton geopolimer dengan menggunakan larutan NaOH 10M memiliki pori tertutup yang lebih kecil jika dibandingkan dengan beton geopolimer yang menggunakan larutan NaOH 8M. Hasil yang diperoleh dari tes porositas ini berhubungan erat dengan hasil kuat tekan dan kuat tarik belah yang diperoleh.
- c. Semakin tinggi molaritas, jumlah total pori semakin sedikit tetapi jumlah pori tertutup semakin banyak.

Manuahe dkk. (2014) melakukan penelitian geopolimer berbahan dasar *fly ash* dari PLTU Amurang sebagai bahan pengganti semen dengan variasi *curing time* yang bertujuan untuk mengetahui kuat tekan dengan benda uji berbentuk kubus 15 x 15 x 15 cm.

Hasil penelitian beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* dari PLTU Amurang sebagai bahan pengganti semen dengan variasi *curing time* dapat diuraikan sebagai berikut ini.

1. Nilai kuat tekan beton *geopolymer* mengalami peningkatan seiring penambahan *curing time*, dimana kuat tekan yang maksimum terjadi pada *curing time* selama 24 jam dengan proses *curing oven*.
2. Berdasarkan klasifikasi berat jenis beton, hasil pemeriksaan berat volume beton termasuk beton berbobot normal.
3. Berdasarkan hasil pengujian *fly ash*, termasuk *fly Ash* rendah kalsium (*lowcalcium fly ash*) yang menurut kategori ACI berada pada kelas F.
4. Uji slump untuk beton *geopolymer* menghasilkan nilai slump yang cukup rendah. Hal ini menyebabkan beton *geopolymer* cukup sulit untuk dicetak atau tidak *workability*.

Prasetyo (2015) melakukan penelitian beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* sebagai bahan pengganti semen dengan variasi Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida yang bertujuan untuk mengetahui hasil kuat tekan beton geopolimer yang optimum.

Hasil dari penelitian beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* sebagai bahan pengganti semen dengan variasi Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida tersebut dapat diuraikan sebagai berikut ini.

1. Nilai kuat tekan tertinggi beton *geopolymer* adalah 141,037 kg/cm², pada perbandingan rasio aktifator Na₂SiO₃ : NaOH = 5:2 untuk beton *geopolymer* 70 : 30 - F 533kg.
2. Nilai *slump* tertinggi adalah 25 cm pada beton *geopolymer* 65 : 35 – F 622 kg, dengan nilai *slump* yang tinggi membuat campuran beton sangat mudah diaduk tapi kuat tekan menurun. Nilai *slump* optimum untuk kemudahan pengerjaan dan kuat tekan adalah 11,5 cm.
3. Berdasarkan klasifikasi berat volume beton, hasil pemeriksaan berat volume beton berkisar antara 2,054 gr/cm³ – 2,209 gr/cm³, maka termasuk beton normal.
4. Proses pembuatan beton *geopolymer* meliputi pencampuran agregat dengan *binder*, *binder* ini terdiri dari *fly ash* dan larutan aktivator yang dicampur sampai homogen, dan terakhir ditambahkan air sesuai *mix design*. Semua material yang sudah dimasukkan diaduk sampai rata sehingga didapat kondisi *fresh concrete*.

2.3 Keaslian Penelitian

Topik yang dibahas pada penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian terdahulu yang telah dipaparkan sebelumnya (Ekaputri, 2007; Prasetyo, 2015; Manuahe dkk, 2014). Pada penelitian ini telah ditinjau pengujian sifat dan kandungan *fly ash* PLTU Tanjung Jati B, serta pengujian karakteristik beton geopolimer (pengujian nilai *slump*, pengujian kuat tekan, serta menghitung modulus elastisitas).Adapun perbedaan penelitian terdahulu dan penelitian sekarang dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Perbedaan antara penelitian terdahulu dan sekarang

Penelitian Sebelumnya		Penelitian Sekarang
Peneliti	Substansi Penelitian	Substansi Penelitian
Ekaputri, (2007)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penelitian ini membahas mengenai komposisi campuran yang tepat untuk menghasilkan kuat tekan beton geopolimer yang tinggi dengan mengacu pada penelitian terdahulu. 2. Studi hanya dilakukan di laboratorium dengan pembuatan benda uji berbentuk silinder. 3. Komposisi campuran terbaik, dipilih berdasarkan hasil uji kuat tekan beton geopolimer. 4. Faktor yang mempengaruhi perilaku fisik dan mekanik beton geopolimer yang diamati meliputi perilaku yang terjadi akibat molaritas dan perbandingan massa <i>activator</i>. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Untuk mengetahui sifat dan karakteristik <i>fly ash</i> Tanjung Jati B Jepra. 2. Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton geopolimer dengan variasi Curing Time 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari pada setiap kombinasi. 3. Benda uji berbentuk tabung (<i>Silinder</i>) dengan diameter 15cm dn tinggi 30cm.
Prasetyo, (2015)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mendapatkan nilai kuat tekan dari beton <i>geopolymer</i> yang menggunakan bahan dasar abu terbang (<i>fly ash</i>) 2. Mendapatkan pengaruh variasi sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH) terhadap kuat tekan beton <i>geopolymer</i>. 3. Mempelajari teknik pembuatan beton <i>geopolymer</i> dengan bahan dasar abu terbang (<i>fly ash</i>). 	

**Tabel 2.2 Perbedaan antara penelitian terdahulu dan sekarang
(lanjutan)**

Penelitian Sebelumnya		Penelitian Sekarang
Peneliti	Substansi Penelitian	Substansi Penelitian
Manuahe, Sumajouw, Windah, (2014)	1. Adapun tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan nilai kuat tekan dari beton dengan bahan dasar abu terbang (<i>fly ash</i>), beserta trendnya untuk variasi curing time: 4 jam, 8 jam, 12 jam dan 24 jam.	

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Penggunaan semen sebagai bahan ikat utama pada beton memiliki banyak kekurangan. Dimulai dari proses pengambilan bahan nya yang mengeruk gunung kapur yang sangat banyak. Davidovits (1994) menyatakan proses produksi semen menghasilkan gas emisi CO₂ dalam jumlah yang sebanding dengan jumlah semen yang diproduksi, dengan kata lain memproduksi 1 ton semen sama dengan memproduksi 1 ton CO₂ ke dalam udara. Bahkan hingga pada saat digunakan dalam campuran beton, semen memproduksi gas karbon dioksida dengan jumlah yang sangat banyak.

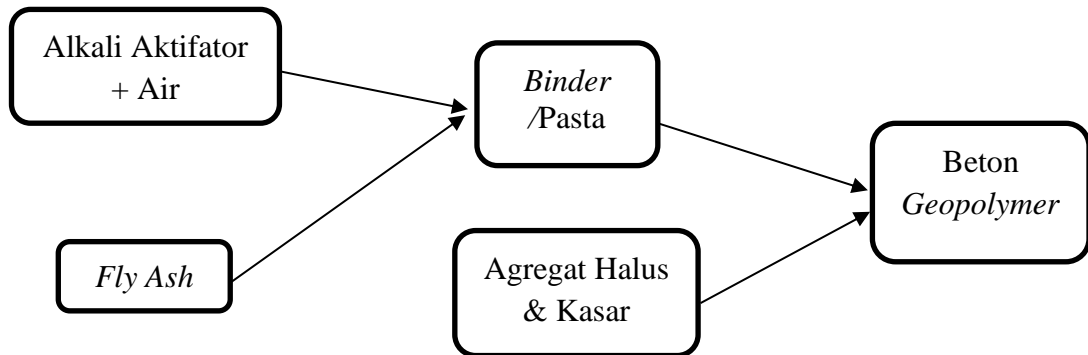
Pada pelaksanaan pembakaran batu bara di PLTU, menghasilkan produk sampingan (*side product*) berupa abu terbang atau *fly ash* sebagai sisa dari pembakaran batu bara yang kemudian dihisap keluar dan ditumpuk. Abu terbang sendiri mengandung bahan kimia silika dan alumina, yang membuat abu terbang tersebut memiliki sifat *pozzolanic* seperti semen. Proses pembakaran yang tidak optimal, serta kualitas batu bara yang digunakan akan sangat mempengaruhi komposisi kimiawi yang terkandung sehingga berengaruh pada sifat dan karakteristik abu terbang tersebut.

Kedua bahasan tersebut meyangkut permasalahan lingkungan yang ditimbulkan oleh masing-masing bahan. Sebagai solusi utama pada permasalahan ini adalah dengan mengurangi atau bahkan menghentikan penggunaan semen pada beton, dengan memanfaatkan *fly ash* sebagai limbah yang memiliki sifat *pozolanic* seperti pada semen. Beton dengan bahan ikat *fly ash* ini sering disebut dengan beton *Geopolymer*. Semakin banyak penelitian mengenai beton geopolimer menunjukkan bahwa *fly ash* semakin terbukti dapat dipakai sebagai bahan ikat pengganti semen, dengan harapan permasalahan utama diatas dapat teratasi dan beton geopolimer terbukti sebagai beton ramah lingkungan.

3.2 Beton Geopolymer

Beton geopolimer merupakan jenis beton yang tidak menggunakan semen sama sekali. Limbah abu terbang dimanfaatkan sebagai sumber material binder pada campuran beton. Davidovits (1999) menyatakan “beton geopolimer terbentuk dari reaksi kimia bukan dari reaksi hidrasi seperti pada beton biasa. Proses pembuatan beton geopolimer membutuhkan alkali aktifator sebagai pereaksi kandungan silika dan alumina yang terkandung dalam *fly ash* karena *fly ash* tidak memiliki sifat *cementious*.” Aktivator yang umumnya digunakan adalah sodium hidoksida dan sodium silikat. Sodium silikat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi, sedangkan natrium hidoksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung, sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat (Hardjito dkk, 2004). Semakin tinggi molaritas yang digunakan, maka semakin tinggi pula kuat tekan dan kuat belah yang dihasilkan. Walaupun demikian ditemukan bahwa beton geopolimer bersifat lebih getas daripada beton konvensional (Ekaputri dan Triwulan, 2013).

Seperti halnya semen, abu terbang yang sudah dicampur dengan alkali aktifator membutuhkan waktu untuk dapat bereaksi hingga pada akhirnya mengeras. Pada pengujian *setting time* pada semen dipengaruhi oleh jenis semen dan jumlah air yang digunakan, maka pada abu terbang *setting time* sangat dipengaruhi oleh kelas abu terbang yang digunakan, jumlah perbandingan abu terbang dengan alkali aktivator, dan juga dipengaruhi tingkat Molaritas alkali aktivator yang digunakan. Hardjito (2005) menyatakan aktivator yang umumnya digunakan sodium hidoksida 8M sampai 14M dan sodium silikat dengan perbandingan antara 0.5 sampai 2.5. Berikut gambar konsep dasar produksi beton geopolimer dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Konsep Dasar Produksi Beton *Geopolymer*

3.3 Material Pembentuk Beton *Geopolymer*

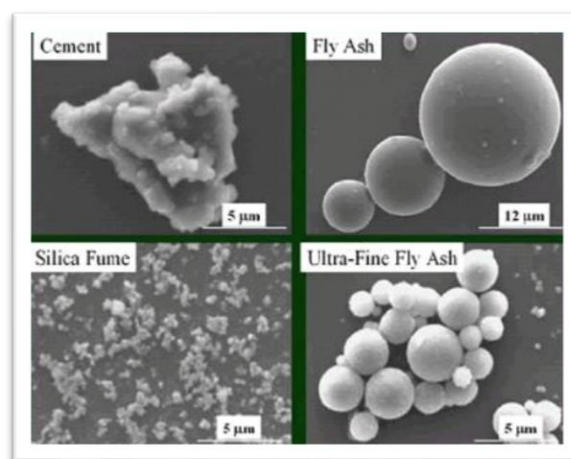
Material penyusun pada beton *Geopolymer* dengan campuran *fly ash* dan alkali aktifator ini tidak berbeda dengan material penyusun beton pada umumnya. Beton geopolimer terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan air. NaOH dilarutkan dengan aquades, kemudian dicampur dengan Na_2SiO_3 . Li, Ding dan Zhan (2004) menyatakan “secara umum beton geopolimer merupakan varian yang memiliki nilai *slump* tinggi namun cepat mengeras sehingga menurunkan *workability*. Namun disamping itu, beton ini mampu mencapai kuat tekan 70% dalam waktu 4 jam pertama.” Seperti halnya semen, abu terbang yang sudah dicampur dengan alkali aktifator membutuhkan waktu untuk dapat bereaksi hingga pada akhirnya mengeras. *Setting time* pada semen dipengaruhi oleh jenis semen dan jumlah air yang digunakan, sedangkan *setting time* pada abu terbang sangat dipengaruhi oleh kelas abu terbang yang digunakan, jumlah perbandingan abu terbang dengan alkali aktifator, dan juga dipengaruhi tingkat Molaritas alkali aktifator yang digunakan.

Pengertian dari penjelasan beton *geopolymer* tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa dalam pembuatan beton ini harus teliti dalam pemilihan material, pencampuran material dan terutama dalam teknis atau proses pembuatan sampel benda uji.

3.3.1 Fly Ash

Berdasarkan SNI 03-6414-2002, *fly ash* atau abu terbang merupakan hasil limbah pembakaran pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolanik. Sedangkan ASTM C-618 mendefinisikan sebagai butiran halus residu pembakaran batubara atau bubuk batu bara.

Ukuran partikel *fly ash* dimulai kurang dari 1 μm (micrometer) hingga lebih besar dari 100 μm , terdapat beberapa literatur menyebutkan ukuran 0.5 μm – 300 μm , dengan sebagian besar berukuran 20 μm . pada umumnya hanya sekitar 10 % hingga 30% ukuran partikel *fly ash* yang lebih besar dari 50 μm . Luas permukaan *fly ash* berkisar antara 300 m^2/kg hingga 500 m^2/kg , dengan batas bawah 200 m^2/kg dan batas atas 700 m^2/kg . Berat jenis atau *Specific Gravity* (Gs) *fly ash* cukup bervariasi, terdapat beberapa institusi yang memberikan rentang tersendiri, namun umumnya rentang terbesar berkisar 1.6 – 3.1. Secara umum *specific gravity* material *fly ash* berkisar antara 1.9 – 2.55. Massa jenis *fly ash* dalam kondisi kering berkisar 540 – 860 kg/m^3 , dan dalam kondisi penggetaran alam kemasan pada umumnya mempunyai massa jenis 1.120 – 1.500 kg/m^3 . Perbandingan ukuran antara partikel semen, *fly ash*, dan *silica fume* berdasarkan foto *Scanning Electron Microscope* dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Perbandingan Ukuran Partikel Semen, *Fly Ash*, dan *Silica Fume*

(Sumber : <https://lauwtjunnji.weebly.com/fly-ash--overview.html>)

Fly ash yang dapat digunakan untuk campuran pengganti sebagian semen dalam beton diatur dalam ASTM (*American Standard Testing Methods*) nomor C 618 (*Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete*).

Jenis batu bara dengan kualitas tertentu yang digunakan pada pembakaran, serta tingkat optimalisasi proses pembakaran akan sangat mempengaruhi kadar kandungan kimiawi pada *fly ash*. Terdapat 2 klasifikasi kelas *fly ash* berdasarkan kandungannya seperti pada berikut ini.

1. Kelas F

- a. *Fly ash* dengan kandungan CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batubara (bituminous).
- b. Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) lebih dari 70%.
- c. Kadar CaO < 10%, batasan menurut ASTM menyatakan maksimal 20%, sedangkan dalam Canadian Standard Association (CSA) dinyatakan maksimal 8%.
- d. Kadar karbon (C) berkisar antara 5% - 10%.
- e. *Fly ash* kelas F tidak memiliki sifat *cementious* karena mengandung kalsium yang rendah atau sering disebut *low-calcium fly ash*, dan hanya bersifat pozolanic.

2. Kelas C

- a. Mengandung CaO lebih dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau sub-bitumen batubara (batubara muda / *sub-bituminous*).
- b. Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) lebih dari 50%.
- c. Kadar CaO > 10%, ASTM menyatakan 20%, CSA menetapkan 8% - 20% untuk tipe C1 dan diatas 20% untuk tipe CH.
- d. Kadar karbon (C) sekitar 2%.

Fly ash kelas C disebut juga *high-calcium fly ash* karena mengandung CaO yang cukup tinggi, sehingga memiliki sifat *cementious* dan juga pozolanic. Jika terkena air atau kelembaban, akan terhidrasi dan dapat mengeras dalam waktu sekitar 45 menit.

3.3.2 Alkali Aktivator

Dalam pembuatan beton geopolimer diperlukan alkali aktivator yang berfungsi mereaksikan kandungan kimia pada *fly ash*, sehingga pasta geopolimer dapat mengikat agregat. Aktivator yang umumnya digunakan adalah *Sodium Hidroksida* (NaOH) *flakes* seperti pada Gambar 3.3 dan *Sodium Silikat* (Na₂SiO₃). Hardjito dkk. (2004) menyatakan “Sodium silikat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi, sedangkan natrium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam pasta, sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat.”



Gambar 3. 3 NaOH (*flakes*)

Pada tahun 1999, Palomo menyimpulkan jenis alkali aktivator memiliki peranan penting didalam proses polimerisasi. Sedangkan pada tahun 2000, Xu dan Deventer melakukan suatu penelitian geopolimer terhadap enam belas mineral aluminium alami – silicon, dan ditemukan bahwa pada umumnya NaOH lebih baik dibandingkan dengan KOH. Molaritas adalah jumlah mol zat atau senyawa terlarut dalam 1 liter larutan. Molaritas merupakan ukuran konsentrasi suatu larutan.

3.3.3 Agregat Halus

Persyaratan penggunaan agregat yang baik digunakan sebagai campuran beton sudah diatur dalam Peraturan Beton Indonesia tahun 1989, pada pasal 3.3.1 dimana agregat harus memenuhi ketentuan dan persyaratan SII 0052-80 mengenai “Mutu dan cara uji agregat beton”. Namun apabila tidak terdapat pada pembahasan SII 0052-80, maka digunakan “*specification for concrete aggregates*”, dan ketentuan dan persyaratan ASTM C33. Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm (SNI 03-2834-2000). Persyaratan mutu agregat halus disusun sebagai berikut ini :

1. kadar lumpur (bagian butir sebesar 75 μm atau lolos ayakan no. 200), maksimum sebesar 3% untuk beton yang mengalami abrasi, dan 5% untuk jenis beton lainnya,
2. kadar gumpalan tanah liat dan partikel yang mudah direpihkan, maksimum 3 %,
3. apabila tapak permukaan beton dianggap penting, kandungan arang dan ligni maksimum sebesar 0,5%, sedangkan untuk jenis lainnya 1,0%,
4. agregat halus bersih dari kotoran zat organik yang dapat merugikan beton.

3.3.4 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm (SNI 03-2834-2000). Menurut PBI (1971), persyaratan umum agregat kasar yang digunakan sebagai campuran beton adalah sebagai berikut ini.

1. Agregat kasar berupa kerikil yang berasal dari batu-batuan alami, atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecah batu.
2. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering).

4. Tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.

Sedangkan syarat mutu menurut ASTM C33 :

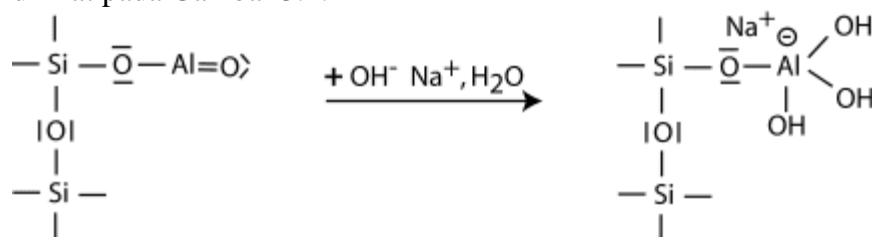
1. kadar lumpur yang terkandung dalam agregat kasar maksimum sebesar 1%,
2. susunan besar butir agregat kasar, untuk batuan yang memiliki bentuk pipih tidak boleh melebihi 20% dari beratnya.

Untuk mengetahui karakteristik dari agregat dapat dilakukan dengan melakukan pengujian seperti yang telah distandarkan berikut ini : analisa saringan, berat jenis, air resapan, berat volume, kelembaban, dan kebersihan agregat terhadap lumpur. Agregat kasar yang dipakai dalam penelitian ini adalah agregat kasar yang berasal dari batu pecah.

3.4 Proses Pembentukan Geopolimer

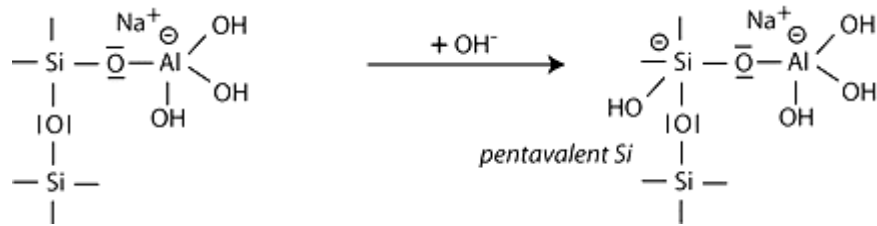
Pembentukan beton geopolimer membutuhkan cairan alkalin untuk mereaksikan unsur silikat dan aluminat dalam material *fly ash*. Davidovits (1999) menyatakan proses polimerisasi pada beton geopolimer meliputi reaksi kimia antara larutan alkalin dengan mineral *Si – Al*, sehingga menghasilkan rantai polimerik 3 dimensi dan ikatan struktur *Si – O – Al – O* yang konsisten.

1. Alkalinasi dan pembentukan aluminat tetravalent pada salah satu sisi senyawa silikat $-Si-O-Al-(OH)_3-Na^+$. Pemodelan molekul reaksi kimia tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.4.



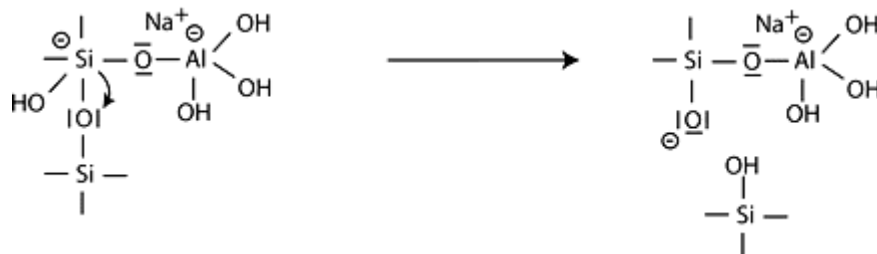
Gambar 3. 4 Alkalinasi dan pembentukan Aluminat Tetravalen

2. Peleburan alkali dimulai dengan mereaksikan bahan dasar OH^- pada atom silikon, yang dengan demikian dapat memperpanjang rantai valensi dari tetravalent menjadi penta-kovalen. Pemodelan molekul reaksi kimia tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.5.



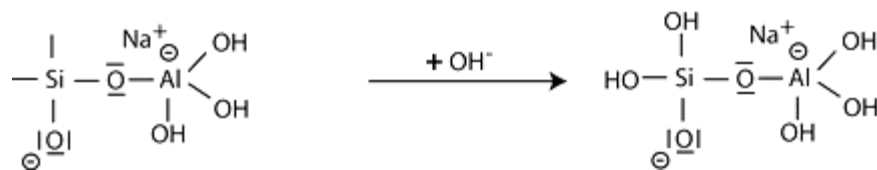
Gambar 3. 5 Proses menjadi Pentavalen

- Proses reaksi berikutnya dapat dijelaskan dengan pembelahan oksigen siloksan dalam Si-O-Si melalui transfer elektron dari Si ke O, pembentukan silanol Si-OH menengah pada satu sisi, dan siloxo dasar Si-O- di sisi lain. Pemodelan molekul reaksi kimia tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.6.



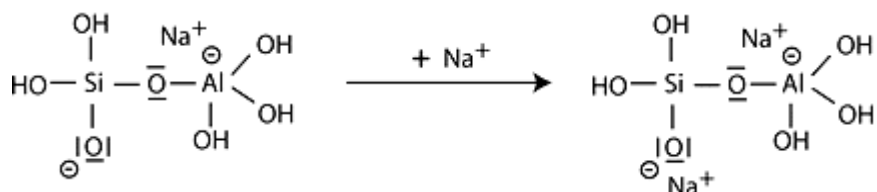
Gambar 3. 6 Pembentukan Si - OH dan Siloxo dasar

- Membentuk gugus silanol Si-OH lebih lanjut, serta mengisolasi molekul ortosialat sebagai bahan utama geopolimer. Pemodelan molekul reaksi kimia tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Pembentukan gugus Silanol Si - OH

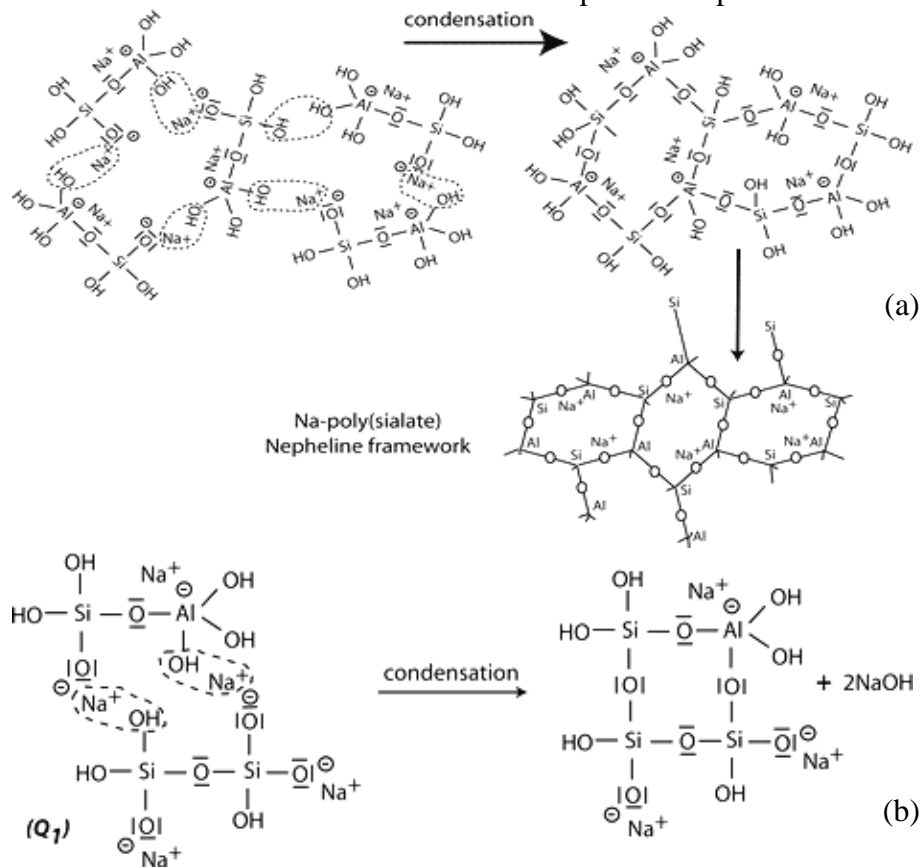
- Siloxo Si-O- bereaksi dengan ion Na⁺ membentuk ikatan Si-O-Na. Pemodelan molekul reaksi kimia tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Pembentukan ikatan Si - O - Na

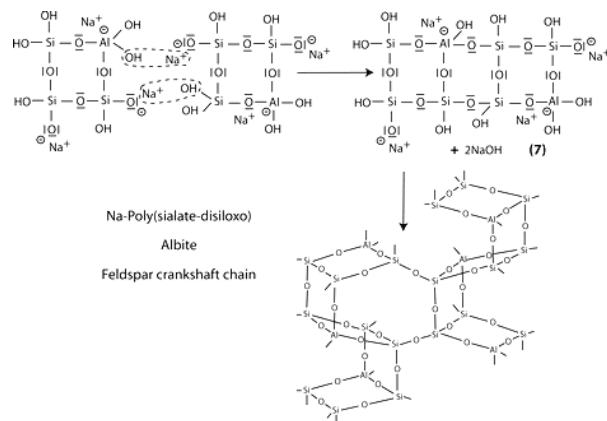
6. Kondensasi antar molekul orto-sialate, kelompok Si-ONa reaktif, dan aluminium hidroksil OH-Al dengan produksi NaOH, pembentukan struktur cyclo-tri-sialate, pada kondisi tersebut senyawa NaOH dibebaskan dan bereaksi lagi dan polikondensasi selanjutnya menjadi Na-poly (sialate) kerangka nepheline. Pemodelan molekul reaksi kimia tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.9 (a).

Dengan adanya waterglass (Na-polysiloxonate) terjadi kondensasi antara molekul di-siloxonate Q1 dan ortho-sialate, gugus Si-ONa reaktif, Si-OH dan aluminium hydroxyl OH-Al, penciptaan ortho-sialate-disilokso struktur siklik, pada kondisi tersebut alkali NaOH dibebaskan dan bereaksi lagi. Pemodelan molekul reaksi kimia tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.9 (b).



Gambar 3.9 Proses kondensasi

7. Polikondensasi lebih lanjut ke dalam kerangka albit Na-poli (sialate-disiloxo) dengan struktur rantai feldspar tipikal. Pemodelan molekul reaksi kimia tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3. 10 Struktur rantai felspar

3.5 Perawatan Benda Uji

Menurut SNI 2493-2011, perawatan benda uji harus memenuhi ketentuan sebagai berikut ini.

1. Penutupan setelah penyelesaian, yaitu benda uji ditutup dengan bahan yang tidak mudah menyerap air, tidak reaktif dan dapat menjaga kelembaban sampai saat benda uji dilepas dari cetakan.
2. Perawatan untuk pemeriksaan proporsi campuran untuk kekuatan atau sebagai dasar untuk penerimaan atau pengendalian mutu sebagai berikut ini :
 - a. Perawatan awal sesudah pencetakan dijelaskan sebagai berikut ini :
 - 1) Benda uji harus disimpan dalam suhu antara 16 °C sampai 27°C dan dalam lingkungan yang lembab selama 48 jam, harus terlindungi dari sinar matahari langsung atau alat yang memancarkan panas,
 - 2) Benda uji dilepas dari cetakan dan diberi perawatan standar,
 - 3) Jika benda uji tidak akan diangkut selama 48 jam, cetakan harus dilepas dalam waktu 24 jam \pm 8 jam dan diberi perawatan standar sampai tiba waktu pengangkutan.
 - b. Perawatan standar sebagai berikut ini :
 - 1) Benda uji silinder diuraikan sebagai berikut ini :
 - a) Dalam waktu 30 menit sesudah dilepas dari cetakan, harus disimpan dalam keadaan lembab pada suhu 23°C \pm 1,7°C,
 - b) Tidak lebih dari 3 jam sebelum pengujian pada suhu antara 20°C sampai 30°C,

c) Benda uji tidak boleh terkena tetesan atau aliran air.

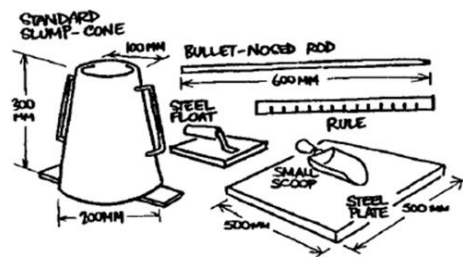
Penyimpanan benda uji dalam keadaan basah, yaitu dengan perendaman dalam air kapur jenuh atau dengan ditutupi kain basah.

3.6 Karakteristik Pengujian Beton Geopolimer

Karakteristik pengujian beton geopolimer terbagi beberapa pengujian yang dapat dilihat pada subbab berikut.

3.6.1 Slump

Nilai *slump* digunakan untuk pengukuran terhadap tingkat kelecakan suatu adukan beton, yang berpengaruh pada tingkat pengerjaan beton (*workability*). berikut ini gambar kerucut Abraham yang digunakan dapat dilihat Gambar 3.5.



Gambar 3. 11 Kerucut Abraham

Semakin besar nilai *slump*, maka beton semakin encer dan semakin mudah untuk dikerjakan, sebaliknya semakin kecil nilai *slump*, maka beton akan semakin kental dan semakin sulit untuk dikerjakan. Penetapan nilai *slump* dan *slumpflow* untuk berbagai pengerjaan beton dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Penetapan nilai slump adukan beton (Tjokrodimuljo, 1992)

Pemakaian Beton (berdasarkan Jenis Struktur yang Dibuat)	Nilai <i>Slump</i> (cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, plat fondasi dan fondasi telapak bertulang	12,5	5
Fondasi telapak tidak bertulang, dan struktur dibawah tanah	9	2,5
Plat, balok, kolom, dinding	15	7,5
Perkerasan jalan	7,5	5
Pembetonan massal (beton massa)	7,5	2,5

Tabel 3.2 Kriteria SCC menurut EFNARC

Metode pengujian	Satuan	Tipe jangkauan nilai	
		Minimal	Maksimal
<i>Slumpflow</i> dengan kerucut Abrams	mm	650	800
$T_{50\text{cm}}$ <i>slumpflow</i>	detik	2	5
<i>J-ring</i>	mm	0	10
<i>V-funnel</i>	detik	6	12
<i>L-box</i>	(h2/h1)	0,8	1,0

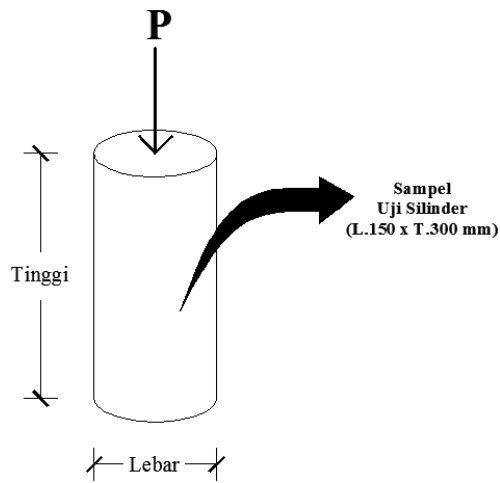
Sumber: *EFNARC Specification and Guidelines for SCC* (2002)

Tabel 3.3 Kriteria SCC menurut ASTM C 1611

Metode pengujian	Satuan	Tipe jangkauan nilai
<i>Slumpflow</i> dengan kerucut Abrams	Inch / cm	≥ 20 inch / 50,8 cm
$T_{50\text{cm}}$ <i>slumpflow</i>	detik	2 - 7
<i>Visual stability index</i>		1

3.6.2 Kuat Tekan

Menurut Mulyono (2006), kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan beton dengan variasi umur 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari. Analogi pengujian kuat tekan beton serta luasan tampang yang menerima gaya dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 12 Pengujian kuat tekan beton

Rumus yang digunakan untuk menghitung besarnya kuat tekan beton berdasarkan percobaan di laboratorium dapat dilihat pada persamaan (3.1) berikut ini.

$$f_c' = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

Keterangan:

f_c' = kuat tekan (MPa),

P = beban tekan (N), dan

A = luas penampang benda uji (mm^2).

Menurut Dipohusodo (1996), beton akan mempunyai kuat tekan yang tinggi jika tersusun dari bahan lokal yang berkualitas baik. Bahan penyusun beton yang perlu mendapat perhatian adalah agregat, karena agregat mencapai 70-75% volume beton. karena kekuatan agregat sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton, maka hal-hal yang perlu diperhatikan pada agregat adalah sebagai berikut :

1. permukaan dan bentuk agregat,
2. gradasi agregat,
3. ukuran maksimum agregat.

3.6.3 Modulus Elastisitas Beton

Pengujian mengenai hubungan antara tegangan dan regangan pada beton sangat diperlukan untuk dijadikan acuan pada saat menganalisis atau merencanakan suatu bagian struktur. Ketika suatu struktur menerima beban yang didukungnya dan kemudian terjadi perubahan bentuk, namun kedua hal tersebut sangat tergantung pada sifat tegangan dan regangan bahan yang digunakan.

Murdock dan Brook (1999) menyatakan bahwa tolak ukur yang umum dari sifat elastisitas suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per-satuan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan itu. Wang dan Salmon (1994) menyatakan berbeda dengan baja, maka modulus elastisitas beton dapat berubah menurut kekuatan. Modulus elastisitas juga tergantung pada umur beton, sifat-sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji.

Pada penelitian ini nilai modulus elastisitas beton dihitung dengan metoda analisis gradien pada grafik tegangan regangan beton. Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai modulus elastisitas hasil pengujian adalah berikut ini.

$$\text{Modulus Elastisitas (Ec)} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \quad (3.2)$$

Keterangan:

E_c = modulus elastisitas beton (MPa).

σ_2 = regangan pada saat tegangan tekan 0,4 tegangan tekan maksimum (MPa).

σ_1 = tegangan tekan pada saat regangan sebesar 0,00005 (MPa).

ϵ_2 = regangan beton pada saat mencapai σ_2 .

ϵ_1 = nilai regangan sebesar 0,00005.

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian adalah langkah-langkah umum atau metode yang dilakukan dalam penelitian suatu masalah, kasus, fenomena, atau yang lain secara ilmiah untuk memperoleh hasil yang rasional. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental di laboratorium. Studi eksperimental merupakan suatu metoda penelitian untuk mencari pengaruh variabel tertentu terhadap variabel yang lain dalam suatu kondisi yang terkontrol. Tahapan pelaksanaan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Tahap persiapan, meliputi pengumpulan bahan dan material, pengecekan kualitas bahan, dan pemeriksaan alat uji sehingga sesuai dengan standar yang berlaku.
2. Tahap pembuatan benda uji, meliputi pembuatan alkali aktivator 1 hari sebelum pengadukan adonan, pengecekan nilai *slump*, dan *slump-flow*, dan pembuatan benda uji berbentuk silinder.
3. Tahap pengujian karakteristik benda uji, meliputi pengujian kuat tekan beton pada umur 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28, serta menghitung modulus elastisitas beton pada umur 28 hari.
4. Tahap pengumpulan data hasil pengujian pada beton dilaboratorium.
5. Tahap pengolahan data, meliputi analisis data hasil pengujian dan, penarikan kesimpulan.

4.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam pembuatan benda uji dapat dilihat sebagai berikut ini.

1. *Mixer*/pengaduk beton, berfungsi untuk membuat adonan/campuran beton dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Mixer/Pengaduk Beton

2. Cetakan silinder beton, diameter 15 cm dan tinggi 30 cm berfungsi untuk membuat benda uji kuat desak beton dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Cetakan Silinder Beton

3. Cangkul, sekop, cetok, ayakan, palu, tang, catut, dan peralatan lainnya.
4. Timbangan merk "OHAUS" dengan kapasitas 20 kg dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Timbangan

5. Kaliper, alat ini digunakan untuk mengukur dimensi dari benda uji silinder beton sebelum dilakukan pengujian kuat tekan dan kuat tarik (belah) silinder beton dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Kaliper

Peralatan yang digunakan dalam pengujian benda uji dapat dilihat sebagai berikut ini.

1. Alat uji *Vicat Cement*, digunakan untuk mengetahui waktu ikat awal, dan waktu ikat akhir pada pasta geopolimer, dapat dilihat pada gambar 4.5
2. *Compression Testing Machine (CTM)*, tipe ADR 3000 dengan kapasitas 3000kN merupakan alat uji yang digunakan untuk mengukur tekan dan tarik (belah) silinder beton dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Mesin Uji Desak Tipe ADR 3000

4.3 Benda Uji

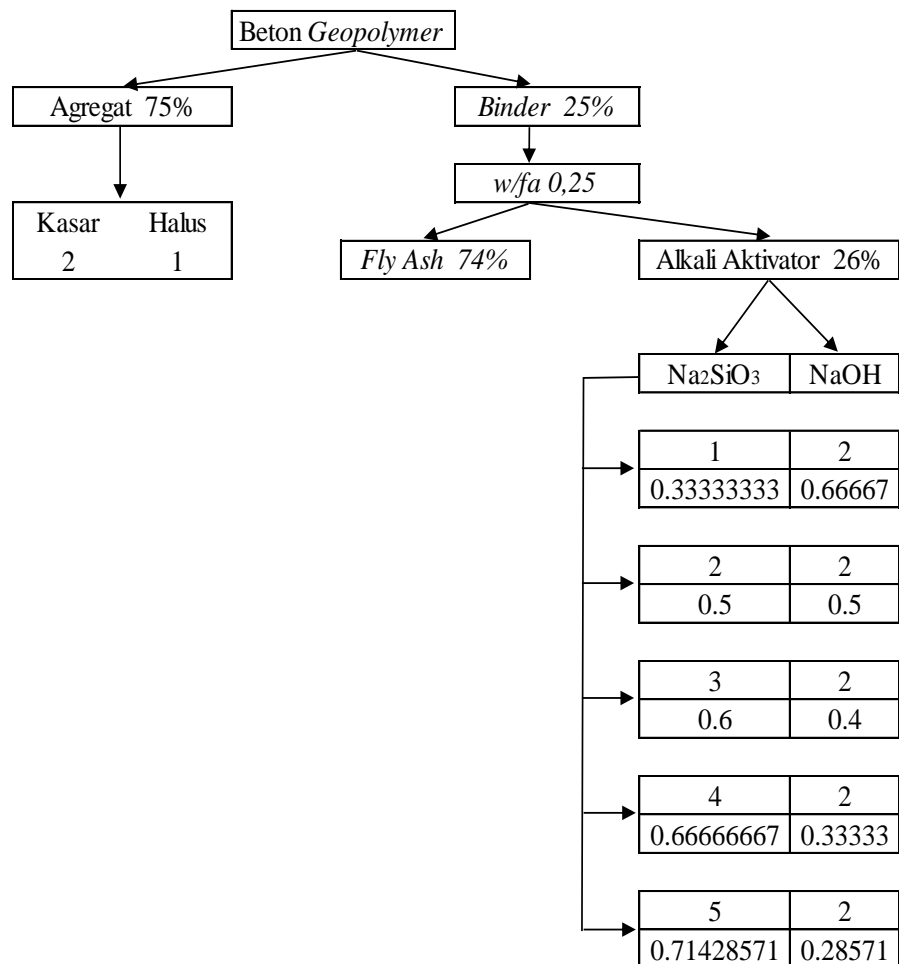
Sampel yang menjadi obyek penelitian merupakan beton dengan menggunakan abu terbang sebagai pengganti semen secara keseluruhan yang di reaksikan dengan alkali aktivator berupa campuran larutan NaOH 10 Molar dan *waterglass*. Sampel beton menggunakan perbandingan antara agregat dan pasta sebesar 75 : 25 dengan agregat kasar 75% dan agregat halus 25%. Pasta (*binder*) menggunakan factor $w/fa = 0.25$, sedangkan perbandingan antara *fly ash* dengan alkali aktivator sebesar 74 : 26. Variasi pada obyek penelitian merupakan perbandingan $Na_2SiO_3 : NaOH$ yaitu sebesar 1/2, 2/2, 3/2, 4/2, dan 5/2. Sampel benda uji berbentuk silinder dengan tinggi 30 cm, dan diameter 15 cm yang akan diuji kuat tekan pada umur 7, 14, 21, 28 hari dan diuji modulus elastitas pada umur 28 hari.

4.4 Lokasi Penelitian

Pengujian benda uji silinder beton geopolimer dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia untuk mengetahui pengujian karakteristik sampel uji beton geopolimer.

4.5 Komposisi Campuran Beton dan Jumlah Benda Uji

Untuk dapat melaksanakan pembuatan sample beton geopolimer diperlukan perhitungan mengenai jumlah bahan yang digunakan pada setiap satu silinder nya berdasarkan perbandingan massa yang digunakan. Mengadopsi dari penelitian sebelumnya dengan perbandingan antara agregat dengan mortar sebesar 75:25 membutuhkan *fly ash* sebanyak 444 kg per 1m³. Komposisi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.6, dan Tabel 4.2 berikut.



Gambar 4.6 Perbandingan Komposisi Bahan

Berdasarkan jumlah kebutuhan *fly ash* sebanyak 444kg/m^3 , dapat dilakukan perhitungan jumlah kebutuhan bahan untuk 1 silinder.

$$\begin{aligned}\text{Volume silinder} &= \pi r^2 \times H \\ &= \pi \times 0,0075 \text{ m} \times 0,0075 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \\ &= 0,0053036 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Fly ash 1 silinder} &= 444 \text{ kg/m}^3 \times V \text{ silinder} \\ &= 444 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053036 \text{ m}^3 \\ &= 2,356 \text{ kg}\end{aligned}$$

Pada perhitungan diatas didapat jumlah kebutuhan *fly ash* untuk 1 silinder sebanyak 2,356 kg. Berdasarkan perhitungan tersebut dapat dilakukan perhitungan jumlah kebutuhan air, agregat, Na_2SiO_3 , dan NaOH. Contoh perhitungan jumlah kebutuhan bahan dengan konsentrasi larutan NaOH sebesar 10 M pada kombinasi perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = \frac{1}{2}$ berdasarkan perbandingan komposisi diatas adalah sebagai berikut ini.

a. Jumlah air 1 silinder :

$$\begin{aligned}0,25 &= \frac{W}{FA} \\ W &= FA \times 0,25 \\ &= 0,589 \text{ kg} \\ &= 0,589 \text{ L}\end{aligned}$$

b. Jumlah NaOH 10M :

$$\begin{aligned}\text{Molar} &= \frac{W_{(gr)}}{Mr} \times \frac{1000}{V_{(ml)}} \\ W_{(gr)} &= \frac{\text{Molar} \times Mr \times V_{(ml)}}{1000} \\ &= \frac{10 \times 40 \times 589}{1000} \\ W_{(gr)} &= 235 \text{ gr}\end{aligned}$$

c. Kebutuhan *water glass* :

$$\begin{aligned}W_{wg} &= 0,5 \times W_{\text{NaOH}} \\ &= 0,5 \times 0,235 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$= 0,118 \text{ kg}$$

d. Jumlah agregat kasar :

$$\begin{aligned} \text{Agregat kasar} &= (66,67\% \times 75\%) \times W_{\text{Tot}} \\ &= (66,67\% \times 75\%) \times 12,729 \text{ kg} \\ &= 6,3643 \text{ kg} \end{aligned}$$

e. Jumlah agregat halus :

$$\begin{aligned} \text{Agregat halus} &= (33,33\% \times 75\%) \times W_{\text{Tot}} \\ &= (33,33\% \times 75\%) \times 12,729 \text{ kg} \\ &= 3,1821 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berdasarkan contoh perhitungan diatas dilakukan perhitungan dengan metoda yang sama pada semua kombinasi. Rekapitulasi perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.1 Jumlah komposisi bahan per silinder

Beton	Perbandingan Aktivator	Na ₂ sio ₃	NaOH	Ag Halus	Ag Kasar	FA	air
		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	ml
75 : 25	1/2	0,118	0,235	3,182	6,364	2,355	0,5887
	2/2	0,235	0,235	3,182	6,364	2,355	0,5887
	3/2	0,353	0,235	3,182	6,364	2,355	0,5887
	4/2	0,471	0,235	3,182	6,364	2,355	0,5887
	5/2	0,589	0,235	3,182	6,364	2,355	0,5887
Total		1,766	1,177	15,9107	31,8214	11,7739	2943,48

Tabel 4.2 Jumlah komposisi bahan total

Beton	Perbandingan Aktivator	Na ₂ sio ₃	NaOH	Ag Kalus	Ag Kasar	FA	air
		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	ml
75 : 25	1/2	1,41287	2,82574	38,1857	76,3714	28,2574	7,06436
	2/2	2,82574	2,82574	38,1857	76,3714	28,2574	7,06436
	3/2	4,23861	2,82574	38,1857	76,3714	28,2574	7,06436
	4/2	5,65149	2,82574	38,1857	76,3714	28,2574	7,06436
	5/2	7,06436	2,82574	38,1857	76,3714	28,2574	7,06436
Total		21,1931	14,1287	190,929	381,857	141,287	35,3218

Setelah diketahui komposisi beton geopolimer yang digunakan, maka dapat ditentukan jumlah benda uji yang digunakan dalam pengujian. Menurut SNI-1991, ketentuan jumlah benda uji sebagai berikut ini.

1. Banyaknya benda uji minimum 3 buah untuk setiap jenis (umur dan kondisi pengujian).
2. Bila sampel benda uji mencakup variabel yang ditentukan dibuat 3 kali, maka adukan terpisah dari berbagai umur dan pengujian.
3. Umur kuat tekan beton dilakukan pada umur beton 7, 14, 21 dan 28 hari.

Pada pengujian ini sampel di uji pada umur beton 7, 14, 21, dan 28 hari dengan 5 variasi perbandingan kadar alkali aktivator, dan setiap 1 variasi dibuat dalam 3 sampel dengan jumlah total 60 sampel. Beton dengan perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH} = 1 : 2$ disebut dengan GP-0,5, beton dengan perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH} = 2 : 2$ disebut dengan GP-1 dan seterusnya dengan mengacu pada Gambar 4.6. Kodefikasi pembuatan benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.3 Jumlah benda uji

Kode Benda Uji	Umur Beton				Total
	7	14	21	28	
GP-0,5	3	3	3	3	12
GP-1	3	3	3	3	12
GP-1,5	3	3	3	3	12
GP-2	3	3	3	3	12
GP-2,5	3	3	3	3	12

4.6 Pelaksanaan Penelitian

Tahap pelaksanaan pada penelitian ini dimulai dari pengumpulan bahan dan material, pemeriksaan kualitas bahan dan material, pembuatan benda uji dan penyiapan alat pengujian, hingga tahap pengujian sampel beton. Pengujian kandungan kimia pada *fly ash* dilaksanakan diLaboratorium Balai Konservasi Borobudur.

4.6.1 Pembuatan Benda Uji

Sebelum melaksanakan pembuatan benda uji, dilakukan pengujian analisis saringan, berat jenis, air resapan, berat volume, kelembapan, dan kadar lumpur pada material pasir dan kerikil.

Dikarenakan belum terdapat panduan *mix design* untuk beton geopolimer pada SNI, maka perencanaan campuran beton mengadopsi dari penelitian sebelumnya murni menggunakan perbandingan massa pada material, dengan tujuan mendapatkan komposisi yang menghasilkan kualitas kuat tekan beton maksimum. Komposisi *mix design* lebih disederhanakan dengan menentukan variabel yang tetap dan variabel yang berubah, dapat dilihat berikut ini.

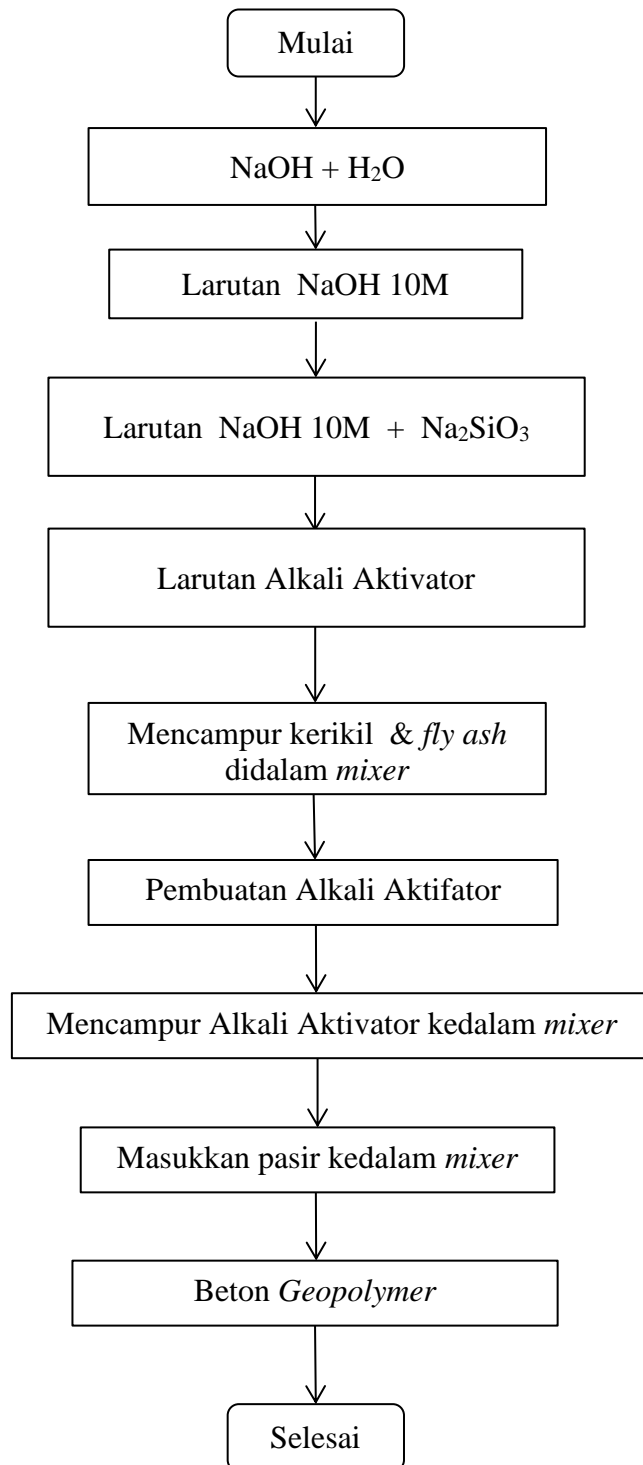
1. Variabel bebas, sebagai berikut :
 - a. Na_2SiO_3 .
2. Variabel terikat, sebagai berikut :
 - a. Pasir,
 - b. Kerikil,
 - c. Air.
 - d. *Fly ash*.
 - e. NaOH.

Pada penelitian ini digunakan benda uji dengan bentuk silinder berdiameter 150 mm dengan tinggi 300 mm. Tahap pembuatan benda uji adalah sebagai berikut.

1. Membuat larutan NaOH 10M, dengan mencampurkan NaOH dalam bentuk *flake*, dengan aquades atau air. Dikarenakan proses ini menghasilkan panas yang cukup tinggi, maka proses pembuatan larutan NaOH dilaksanakan 1 hari sebelum proses pengecoran agar larutan dingin terlebih dahulu.
2. Setelah larutan NaOH siap digunakan, kemudian dilanjutkan dengan membuat larutan alkali aktivator dengan mencampurkan larutan NaOH dengan Na_2SiO_3 .
3. Menyiapkan agregat halus, agregat kasar, serta *fly ash*.
4. Menyiapkan alat – alat yang diperlukan dalam pengecoran.
5. Memasukan agregat kasar kedalam *mixer*.

6. Memasukkan *fly ash* kedalam *mixer*, tunggu hingga adukan merata.
7. Memasukkan larutan alkali aktivator, aduk hingga merata.
8. Masukkan agregat halus.
9. Setelah pengadukan selesai, dilakukan pengujian *slump test*, dan *slump flow*.
10. Mencetak benda uji dilakukan setelah semua tes beton segar memenuhi persyaratan.
11. Mendinginkan beton geopolimer dalam cetakan hingga 24 jam, kemudian membongkar cetakan.
12. Perawatan beton SCC sama seperti beton normal, yaitu dengan cara merendam benda uji sampai sesuai umur yang ditentukan dilaksanakan uji kuat tekan dan modulus elastisitas. Perendaman ini dilakukan untuk menghindari pengaruh cuaca terhadap proses pengerasan beton, yang tentunya dapat mempengaruhi kekuatan beton.

Kerangka mekanisme pembuatan beton geopolimer dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut ini.



Gambar 4. 7 Flow chart pembuatan beton *geopolymer*

4.6.2 Pengujian

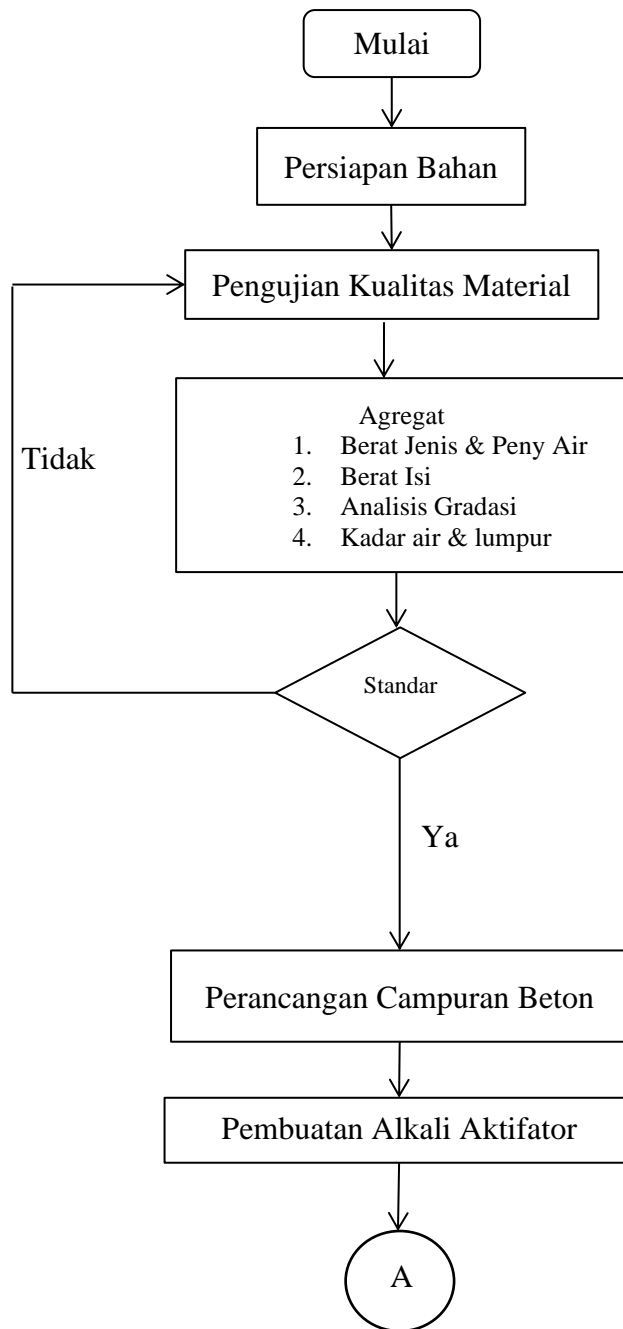
5.1 Uji kuat tekan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan dan pengaruh perbandingan alkali aktivator yang digunakan terhadap benda uji yang dibuat. Pengujian dilakukan pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari setelah pengecoran. Langkah – langkah pengujian adalah sebagai berikut.

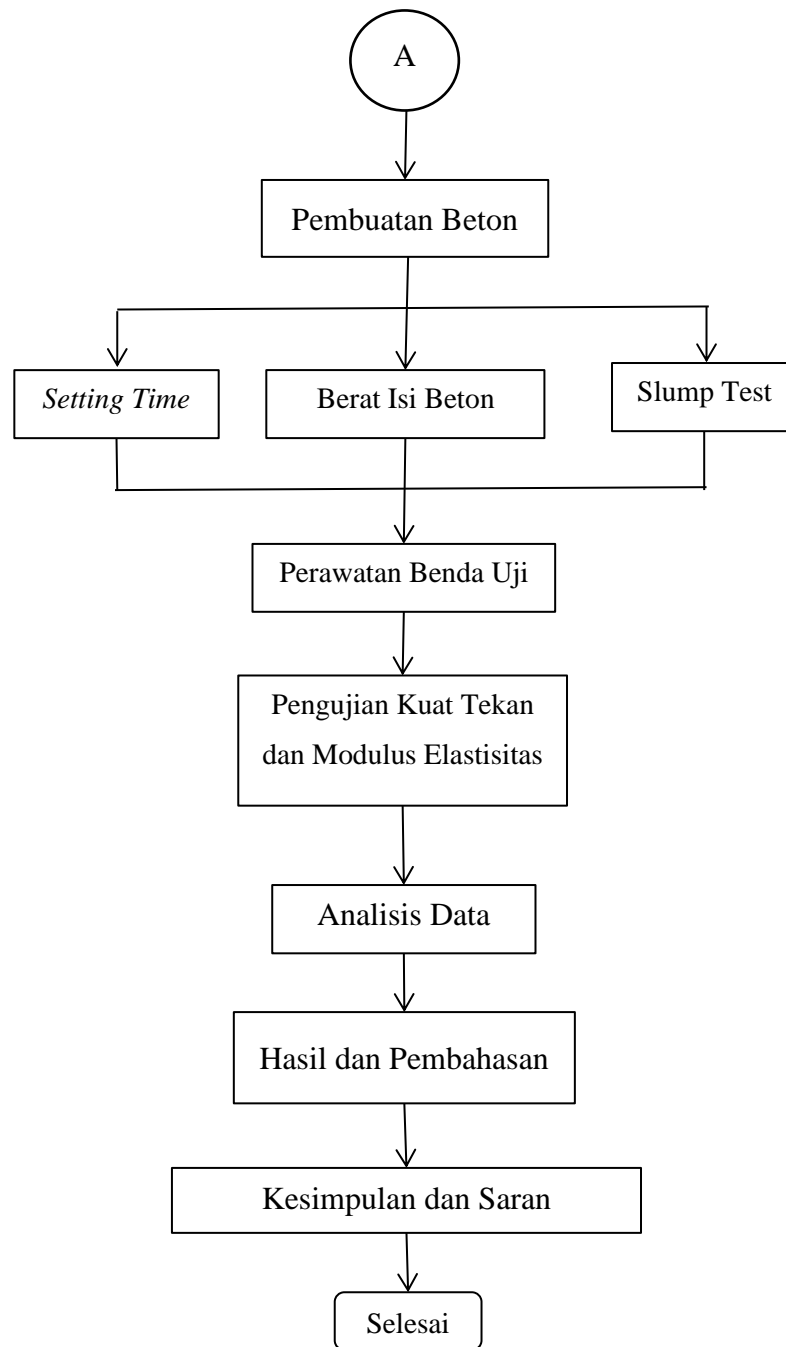
- a. Sehari sebelum pengujian, benda uji dikeluarkan dari bak perendam.
- b. Sebelum diuji, benda uji dijemur atau diangin-anginkan guna mengeringkan benda uji.
- c. Benda uji ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui berat benda uji.
- d. Benda uji diletakkan pada mesin uji tekan *compression testing machine* (CTM). Kemudian Benda uji diuji sampai pecah dan dilakukan peninjauan kekuatan tekan.
- e. Kemudian dilakukan perhitungan seperti pada rumus (3.1).

5.2 Menghitung modulus elastisitas beton

Murdock dan Brook (1999) menyatakan tolak ukur yang umum dari sifat elastisitas suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per-satuan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan itu.. Untuk rumus perhitungannya ada pada rumus (3.2).



Gambar 4. 8 Flow chart penelitian beton geopolimer



Gambar 4. 9 Flow chart penelitian beton geopolimer (lanjutan)

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian yang dilakukan sebelum pengecoran meliputi pengujian material penyusun beton antara lain pengujian agregat halus, agregat kasar, dan pengujian kandungan kimia pada abu terbang. Hasil penelitian setelah proses pengecoran adalah konversi kuat tekan dengan variasi umur, modulus elastisitas beton.

5.1 Pengujian Agregat Halus

5.2.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian berat jenis dan penyerapan air ini bertujuan untuk mendapatkan berat jenis curah, berat jenis kering muka (*SSD*), berat jenis semu, dan angka penyerapan air pada agregat halus. Hasil analisis dari sampel pengujian berat jenis dan penyerapan air dapat dilihat pada Tabel 5.1 (Hasil pengujian lengkap dapat dilihat pada Lampiran 2).

Tabel 5.1 Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus

No.	Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rerata
1.	Berat Jenis Curah	2,60	2,64	2,62
2.	Berat Jenis Kering Permukaan	2,62	2,68	2,65
3.	Berat Jenis Semu	2,82	2,76	2,79
4.	Penyerapan Air (%)	9,73	9,64	9,68

Hasil pengujian dan penyerapan air pada agregat halus ini, di peroleh berat jenis curah rerata sebesar 2,62; berat jenis kering permukaan (*SSD*) sebesar 2,65; berat jenis semu sebesar 2,79. Berdasarkan pengujian penyerapan air pada agregat halus didapatkan presentase penyerapan air sebesar 9,68%. Dari hasil pengujian berat jenis tersebut, berat jenis yang dihasilkan adalah berat jenis kering permukaan sebesar 2,65, angka tersebut memenuhi persyaratan karena berada diantara berat jenis normal agregat halus 2,5 – 2,7.

5.2.2 Modulus Halus Butir

Pengujian analisa saringan bertujuan untuk mengklasifikasikan agregat halus berdasarkan kekasaran butirannya. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan saringan berukuran 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm; dan pan.

Tabel 5.2 Hasil pengujian analisa saringan agregat halus

No.	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
1,	10	0	0	0	100
2,	4,80	24	1,202	1,202	98,798
3,	2,40	147	7,361	8,563	91,437
4,	1,20	232,5	11,643	20,206	79,794
5,	0,60	426,78	21,371	41,577	58,423
6,	0,30	726,5	36,380	77,957	22,043
7,	0,15	360,2	18,037	95,994	4,006
8,	Sisa	80	4,006	100,000	0,000
9,	Jumlah	1996,98		345,498	

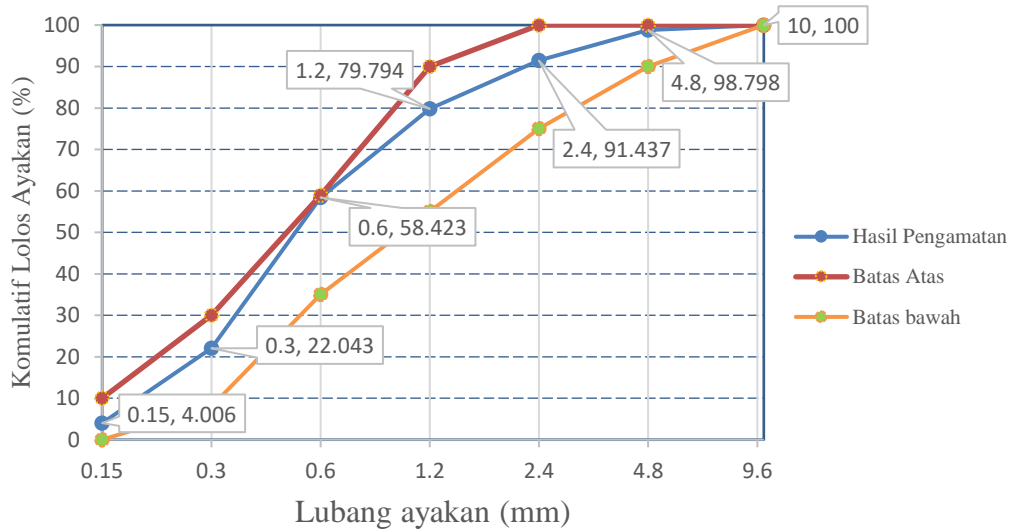
Berdasarkan dari Tabel 5.2, maka dapat dihitung nilai modulus halus butir sebagai berikut:

$$\text{Modulus Halus Butir (MHB)} = \frac{345,498}{100} = 3,4598\%$$

Nilai MHB didapat sebesar 3,4598%, sesuai dengan syarat (SNI 03-1750-1990) modulus halus butir yaitu 1,5 – 3,8%, Agregat ini termasuk jenis agregat yang memiliki butir cukup kasar, sehingga baik digunakan untuk pencampuran beton, Oleh karena itu, agregat ini cukup baik dan memenuhi persyaratan yang ditetapkan sebelumnya,

Hasil pengujian tersebut dijadikan pedoman dalam menentukan daerah gradasi agregat halus, Hasil pengujian analisa saringan agregat halus masuk ke

dalam Gradasi daerah II yang dapat dilihat dari sebuah grafik pada Gambar 5.1 berikut ini,



Gambar 5.1 Gradasi agregat halus

5.2.3 Berat Volume

Pengujian berat volume agregat halus dilakukan dalam 2 kondisi, kondisi gembur dan kondisi padat, Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabe 5.3 dan Tabel 5.4,

Tabel 5.3 Hasil pengujian berat volume gembur agregt halus

No,	Uraian	Hasil Pengamatan
1,	Berat tabung (W1), gram	10601
2,	Berat tabung + agregat kering tungku (W2), gram	17540
3,	Berat Agregat, (W3), gram	6939
4,	Volume Tabung (V), cm ³	5301,437
5,	Berat Volume Gembur = $W3 / V$, gram/cm ³	1,308

Tabel 5.4 Hasil pengujian berat volume padat agregt halus

No,	Uraian	Hasil Pengamatan
1,	Berat tabung (W1), gram	10865
2,	Berat tabung + agregat kering tungku (W2), gram	19840
3,	Berat Agregat, (W3) gram	8975
4,	Volume Tabung (V), cm ³	5301,437
5,	Berat Volume Padat = $W3 / V$, gram/ cm ³	1,692

Dari Tabel 5.3 dan Tabel 5.4 didapat berat volume agregat halus dalam kondisi gembur dan padat, masing-masing adalah 1,308 gr/cm³ dan 1,692 gr/cm³. Hasil tersebut menunjukkan bahwa selisih antara berat volume gembur dan berat volume padat adalah sebesar 0,281 gr/cm³. Berat volume dapat digunakan untuk mempermudah perhitungan campuran beton jika dilakukan penimbangan agregat dengan ukuran volume dan dapat digunakan sebagai perhitungan pada saat pembelian material. Semakin kecil selisih berat volume padat dan volume gembur yang didapat, berarti semakin baik gradasi agregat tersebut,

5.2.4 Kadar Lumpur

Data pengujian hasil pengujian kandungan lumpur yang terdapat pada agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut ini,

Tabel 5.5 Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus

No.	Uraian	Hasil Pengamatan	
		sampel 1	Sampel 2
1.	Cawan (W1), gram	162,5	77,2
2.	Berat Pasir kering mutlak (W2), gram	500	500
3.	Berat Pasir setelah dicuci dan dioven lagi, (W3) gram	639,1	554,9
4.	Berat Lumpur (W4)	23,4	22,3
5.	Kadar Lumpur %	4,68	4,46
6.	Kadar Lumpur rata - rata %	4,57	

Dari Tabel 5.5 di atas, kandungan lumpur pada pasir didapatkan sebesar 4,57%. Menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia 1982 (PUBI-1982) pasir yang bisa digunakan untuk bahan bangunan jika kandungan lumpurnya tidak lebih dari 5% (lima persen). Pasir dapat langsung digunakan namun pada penelitian ini pasir tetap dicuci sebelum dipakai.

5. 2 Pengujian Agregat Kasar

5.2.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian berat jenis dan penyerapan air ini bertujuan untuk mendapatkan berat jenis curah, berat jenis kering muka (SSD), berat jenis semu, dan angka penyerapan air pada agregat kasar, Hasil analisis dari sampel pengujian berat jenis dan penyerapan air dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut ini,

Tabel 5.6 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

No,	Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rerata
1,	Berat Jenis Curah	2,624	2,597	2,611
2,	Berat Jenis Kering Permukaan	2,668	2,653	2,660
3,	Berat Jenis Semu	2,744	2,750	2,747
4,	Penyerapan Air (%)	1,667	2,145	1,906

Tabel 5.6 menunjukkan hasil analisis pengujian berat jenis dan penyerapan pada agregat kasar, yaitu diperoleh berat jenis curah rerata sebesar 2,611; berat jenis kering permukaan sebesar 2,66; berat jenis semu sebesar 2,747. Berdasarkan pengujian penyerapan air pada agregat kasar didapatkan persentase penyerapan air sebesar 1,9%. Dari hasil pengujian berat jenis di atas, berat jenis yang didapat adalah berat jenis kering permukaan sebesar 2,66, angka tersebut memenuhi persyaratan karena berada diantara berat jenis normal agregat halus 2,5 – 2,7.

5.2.2 Modulus Halus Butir

Pengujian analisa saringan bertujuan untuk mengklasifikasikan agregat kasar berdasarkan kekasaran butirnya. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan saringan berukuran 38 mm; 19 mm; 9,6 mm; 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm; dan pan,

Tabel 5. 2 Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar

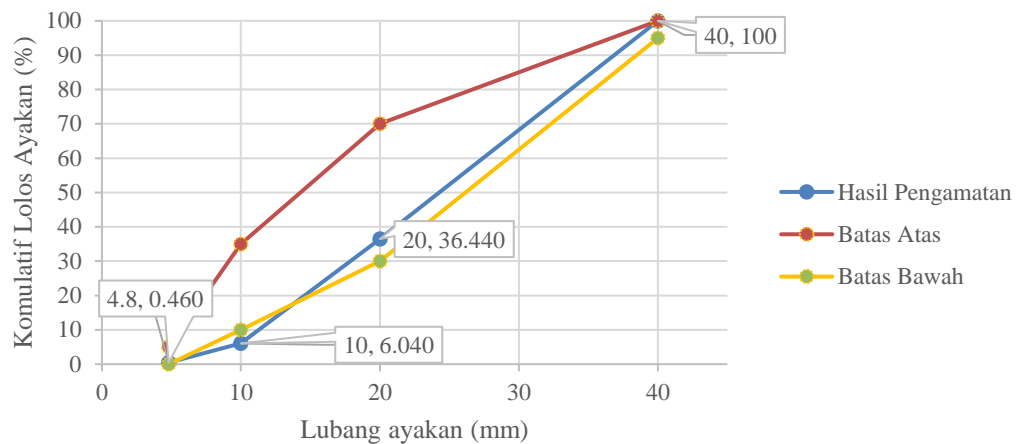
No.	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
1,	40	0	0	0	100
2,	20	3178	63,560	63,560	36,440
3,	10	1520	30,400	93,960	6,040
4,	4,8	279	5,580	99,540	0,460
5,	2,4	2	0,040	99,580	0,420
6,	1,2	0	0,000	99,580	0,420
7,	0,6	0	0,000	99,580	0,420
8,	0,3	0	0,000	99,580	0,420
9,	0,15	0	0,000	99,580	0,420
10,	sisa	21	0,420	100,000	0,000
11,	Jumlah	5000		754,96	-

Berdasarkan Tabel 5.7, maka dapat dihitung nilai modulus halus butir sebagai berikut:

$$\text{Modulus Halus Butir (MHB)} = \frac{754,96}{100} = 7,549\%$$

Modulus halus butir agregat kasar yang didapat adalah sebesar 7,549%. Hasil tersebut menunjukkan agregat kasar yang digunakan memiliki butir cukup besar, dengan nilai MHB agregat kasar pada umumnya adalah 3,8 – 8%.

Hasil pengujian tersebut dijadikan pedoman untuk menentukan daerah gradasi agregat kasar. Gradasi yang dihasilkan dari pengujian modulus halus butir agregat kasar berada pada daerah II yaitu gradasi dengan ukuran maksimum 40 mm, dan grafik hubungan antara persentase lolos komulatif dengan lubang ayakan dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut,



Gambar 5. 2 Gradasi agregat kasar

Hasil pengujian menunjukkan terjadinya keseragaman agregat dimana agregat memiliki besar butiran yang hampir sama dengan ukuran >20 mm sebanyak 63% dan persentase lolos ayakan 36,4%, dan ukuran >10 mm sebanyak 30,4% dengan persentase lolos ayakan hanya 6,04 %. Hal tersebut menyebabkan grafik hasil pengamatan pada lubang ayakan 10 mm keluar dari batas bawahnya yaitu sebesar 10%.

5.2.3 Berat Volume

Pengujian berat volume agregat kasar dilakukan dalam 2 kondisi, kondisi gembur dan kondisi padat, Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan Tabel 5.9,

Tabel 5.8 Hasil pengujian berat volume gembur agregat kasar

No.	Uraian	Hasil Pengamatan
1.	Berat tabung (W1), gram	10801
2.	Berat tabung + agregat kering tungku (W2), gram	17580
3.	Berat Agregat, (W3) gram	6779
4.	Volume Tabung (V)	5301,437
5.	Berat Volume Gembur = $W3 / V$, gram/cm ³	1,279

Tabel 5.9 Hasil pengujian berat volume padat agregat kasar

No.	Uraian	Hasil Pengamatan
1.	Berat tabung (W1), gram	10801
2.	Berat tbaung + agregat kering tungku (W2), gram	18380
3.	Berat Agregat, (W3) gram	7579
4.	Volume Tabung (V), cm ³	5301,437
5.	Berat Volume Padat = $W3 / V$, gram/cm ³	1,430

Dari Tabel 5.8 dan Tabel 5.9 didapat berat volume agregat kasar dalam kondisi gembur dan padat, masing-masing adalah adalah 1,279 gr/cm³ dan 1,430 gr/cm³. Hasil tersebut menunjukkan bahwa selisih antara berat volume gembur dan berat volume padat adalah sebesar 0,151 gr/cm³. Berat volume agregat kasar dapat digunakan sebagai acuan pada perencanaan campuran beton, dan acuan pada perhitungan berat bolume beton.

5.3 Pengujian Abu Terbang

Abu terbang diuji dengan metoda *X-Ray Flourescence* untuk mengetahui presentase komposisi zat kimia yang terkandung, Pengujian ini bertujuan untuk menentukan tipe kelas abu terbang, Pengujian dilakukan pada Laboraturium Balai Konservasi Borobudur. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali dan diambil rerata nya. Abu terang yang digunakan dapat dilihat pada lampiran Gambar L-3.1 Abu terbang (*fly ash*). Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut ini,

Tabel 5.10 Hasil uji X-Ray Fluorescence

Kimia	Hasil Analisis (%)			Rerata (%)
	1	2	3	
SiO ₂	40,87	41,84	40,59	41,10
Al ₂ O ₃	18,51	18,70	18,38	18,53
Fe ₂ O ₃	13,65	13,73	13,73	13,70
CaO	7,46	7,66	7,53	7,55
MgO	2,52	3,63	ND	3,08
K ₂ O	2,50	2,55	2,55	2,53
P ₂ O ₅	0,12	0,14	0,12	0,13
TiO ₂	0,86	0,85	0,91	0,87

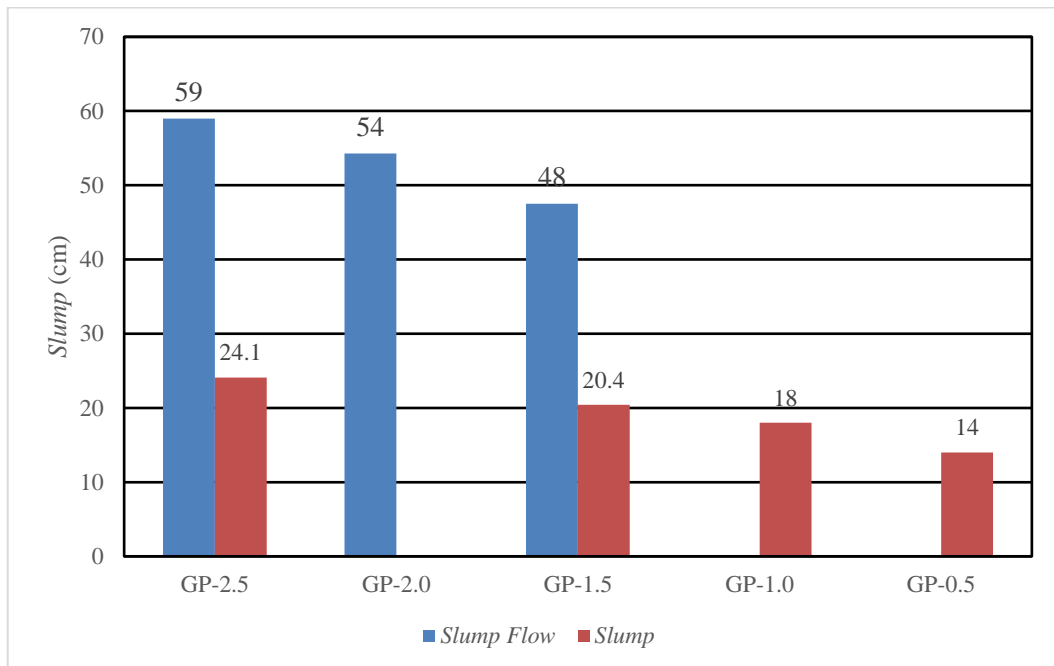
Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5.10 abu terbang mengandung SiO₂ sebanyak 41,1%, Al₂O₃ sebanyak 18,53%, Fe₂O₃ sebanyak 13,7%, serta CaO sebanyak 7,55%. Berdasarkan pengujian tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa abu terbang termasuk dalam kelas F karena jumlah SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ sebanyak 73,33% > 70%, dan CaO 7,55% < 10% menurut ASTM C 618.

5.4 Pengujian Slump

Pengujian *slump* dilakukan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) dari campuran beton segar. Pada penelitian ini tidak terdapat nilai slump rencana. Beton segar memiliki tingkat kekentalan berbeda yang dipengaruhi oleh jumlah Na₂SiO₃ yang digunakan, Perbedaan nilai *slump* yang didapat sangat signifikan. Beton dengan komposisi 5:2, 4:2, dan 3:2 cenderung bersifat lebih cair dengan nilai *Slumpflow* diukur pada saat campuran berhenti mengalir namun tetap memiliki sifat lengket, serta cepat mengeras. Hasil pengujian nilai *slump* dapat dilihat pada Tabel 5.11, dan Gambar 5.3 berikut ini.

Tabel 5.11 Hasil pengujian nilai slump dan slump flow

No.	Benda uji	Slump Flow (cm)	Slump (cm)
1.	GP-2,5	59	24,1
2.	GP-2,0	54,3	-
3.	GP-1,5	47,5	20,4
4.	GP-1,0	-	18
5.	GP-0,5	-	14



Gambar 5. 3 Nilai slump dan slump flow beton segar

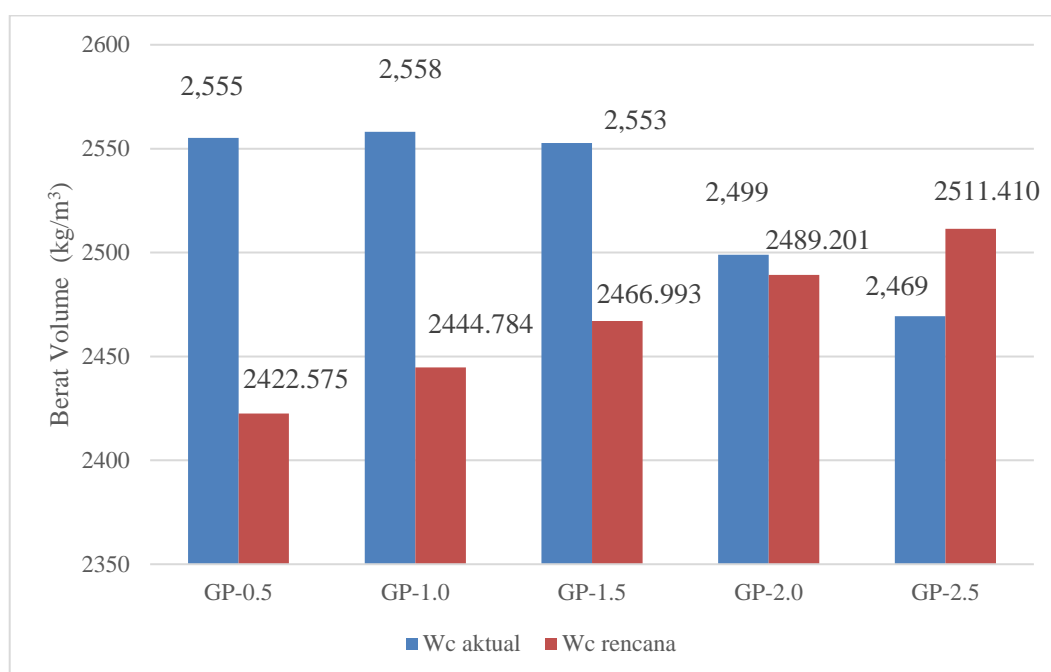
Hasil pengujian nilai *slump*, dan *slump flow* menunjukkan beton geopolimer cenderung memiliki *workability* yang cukup tinggi berdasarkan angka hasil pengujian dan teori, Namun berdasarkan kondisi pada saat pengerjaan, beton dengan nilai *slump flow* paling tinggi tetap memiliki sifat kental dan lengket, Semakin sedikit kadar Na_2SiO_3 yang digunakan, semakin meningkat kekentalan dan sifat lengket pada beton segar. Hasil pengujian tersebut tidak memenuhi kriteria beton SCC menurut *EFNARC*, namun masuk dalam kriteria beton SCC menurut *ASTM C 1611*.

5.5 Berat Volume Beton

Benda uji beton dikeluarkan dari perendaman 1 hari sebelum diuji, didiamkan selama 24 jam dan ditimbang sesaat sebelum diuji. Hasil pengujian berat volume beton dibandingkan dengan berat volume pada perencanaan dan dilihat selisih nya, Hasil pengujian berat volume beton dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Gambar 5.4 berikut ini,

Tabel 5.12 Hasil pengujian berat volume beton

No.	Benda uji	Berat volume beton (kg/m ³)		Selisih (kg/m ³)
		Aktual	Rencana	
1	GP-0,5	2555,11	2422,575	132,54
2	GP-1,0	2558,06	2444,784	113,28
3	GP-1,5	2552,74	2466,993	85,75
4	GP-2,0	2498,98	2489,201	9,78
5	GP-2,5	2469,34	2511,410	-42,07



Gambar 5. 4 Perbandingan berat volume beton nyata dan rencana

Hasil pengujian menunjukkan bahwa berat volume beton cenderung menurun dari GP-0,5 hingga GP-2,5, namun sempat meningkat pada GP-1,0. Beton dengan berat volume paling besar didapat pada variasi GP-1,0 yaitu sebesar 2558,06 kg/m³, dan berat volume paling kecil didapat pada variasi GP-2,5 yaitu sebesar 2469,34 kg/m³.

5. 6 Kuat Tekan Beton

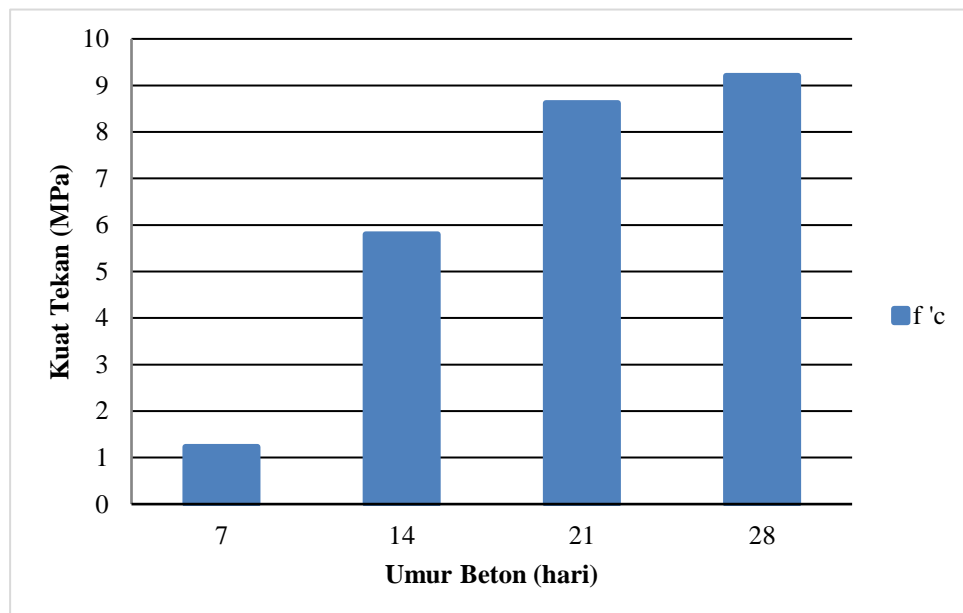
Sampel beton diuji kuat tekan pada umur 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari pada setiap kombinasi. Berdasarkan hasil pengujian tersebut didapat angka konversi kuat tekan berdasarkan umur beton, serta komposisi terbaik yang dapat memberikan kuat tekan maksimum.

5.6.1 Perbandingan Alkali Aktivator 0,5

Perbandingan komposisi alkali aktivator sebesar 1 : 2 dengan NaOH sebanyak 0,235 kg, dan Na_2SiO_3 sebanyak 0,118 kg, dengan nilai *Slump* 14 cm. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut ini,

Tabel 5.13 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Perbandingan 0,5

No.	Benda Uji	Umur	f'c	Rerata
			(MPa)	
1	GP-0,5/7/1	7	1,243	1,230
2	GP-0,5/7/2		1,065	
3	GP-0,5/7/3		1,381	
4	GP-0,5/14/1	14	5,043	5,798
5	GP-0,5/14/2		6,079	
6	GP-0,5/14/3		6,271	
7	GP-0,5/21/1	21	8,941	8,621
8	GP-0,5/21/2		8,658	
9	GP-0,5/21/3		8,263	
10	GP-0,5/28/1	28	9,873	9,203
11	GP-0,5/28/2		9,202	
12	GP-0,5/28/3		8,533	



Gambar 5. 5 Peningkatan Kuat Tekan Beton Perbandingan 0,5

Hasil pengujian menunjukkan komposisi tersebut hanya dapat memberikan kuat tekan yang sangat kecil. Pada umur 7 hari didapat kuat tekan rerata sebesar

1,229 MPa; pada umur 14 hari sebesar 5,797 MPa; pada umur 21 hari sebesar 8,621 MPa; dan pada umur 28 hari sebesar 9,203 MPa.

Hasil pengujian tersebut memperlihatkan peningkatan kuat tekan beton pada tiap minggunya, pada umur 7 hari kuat tekan beton berkisar 13,365% ; pada umur 14 hari mencapai 63%; pada umur 21 hari sekitar 93,678% dari umur 100% pada umur 28 hari.

5.6.2 Perbandingan Alkali Aktivator 1

Perbandingan komposisi alkali aktivator sebesar 2 : 2 dengan Na_2SiO_3 sebanyak 0,235 kg, dan NaOH sebanyak 0,235 kg pada setiap silinder, dengan nilai *Slump* 18 cm. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan Gambar 5.6 berikut ini.

Tabel 5.14 Hasil pengujian kuat tekan beton perbandingan 1

No,	Benda Uji	Umur	f 'c	Rerata
			(MPa)	
1	GP-1/7/1	7	5,832	4,514
2	GP-1/7/2		4,884	
3	GP-1/7/3		2,826	
4	GP-1/14/1	14	8,271	12,915
5	GP-1/14/2		1,627	
6	GP-1/14/3		1,846	
7	GP-1/21/1	21	1,695	13,355
8	GP-1/21/2		14,404	
9	GP-1/21/3		14,965	
10	GP-1/28/1	28	16,655	19,670
11	GP-1/28/2		14,407	
12	GP-1/28/3		27,949	



Gambar 5. 6 Peningkatan Kuat Tekan Beton Perbandingan 1

Hasil pengujian menunjukkan kuat tekan pada komposisi tersebut mengalami peningkatan dari komposisi sebelumnya. Pada umur 7 hari didapat kuat tekan rerata sebesar 4,514 MPa; pada umur 14 hari sebesar 12,915 MPa; pada umur 21 hari sebesar 13,355 MPa; dan pada umur 28 hari sebesar 19,67 MPa.

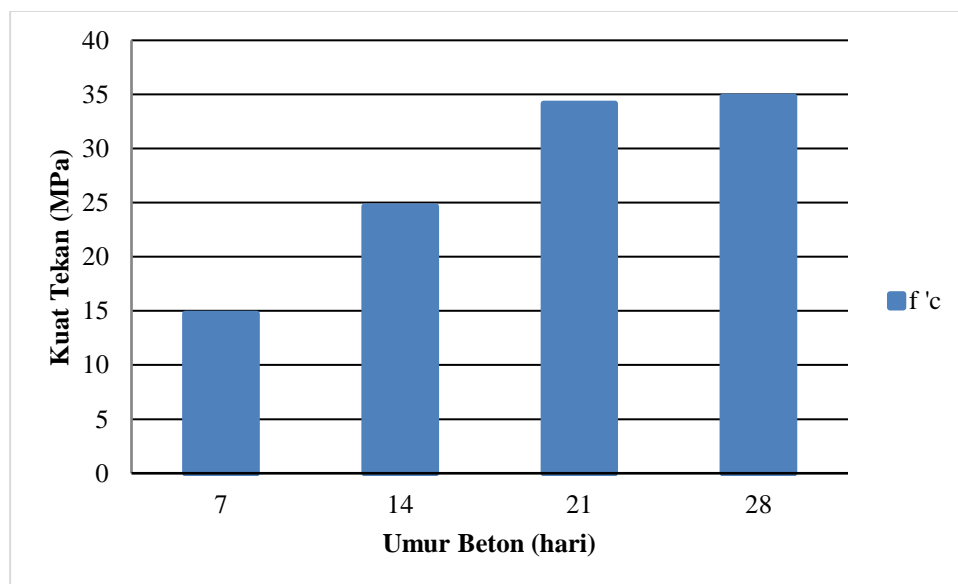
Hasil pengujian tersebut memperlihatkan peningkatan kuat tekan beton pada tiap minggunya, pada umur 7 hari kuat tekan beton berkisar 22,949% ; pada umur 14 hari mencapai 65,656%; pada umur 21 hari sekitar 67,893% dari umur 100% pada umur 28 hari.

5.6.3 Perbandingan Alkali Aktivator 1,5

Perbandingan komposisi alkali aktivator sebesar 3 : 2 dengan Na_2SiO_3 sebanyak 0,353 kg, dan NaOH sebanyak 0,235 kg dengan nilai *slump* 20,4 cm, dan *slump flow* 47,5 cm, foto dokumentasi dapat dilihat pada lampiran Gambar L-3.9 hingga Gambar L-3.11 *Slumpflow* GP-1,5. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 5.15 dan Gambar 5.7 berikut ini.

Tabel 5.15 Hasil pengujian kuat tekan beton perbandingan 1,5

No.	Benda Uji	Umur	f 'c	Rerata
			(MPa)	
1	GP-1,5/7/1	7	13,741	14,754
2	GP-1,5/7/2		15,002	
3	GP-1,5/7/3		15,519	
4	GP-1,5/14/1	14	27,336	24,646
5	GP-1,5/14/2		25,858	
6	GP-1,5/14/3		20,744	
7	GP-1,5/21/1	21	33,705	34,158
8	GP-1,5/21/2		36,923	
9	GP-1,5/21/3		31,845	
10	GP-1,5/28/1	28	34,898	34,796
11	GP-1,5/28/2		38,890	
12	GP-1,5/28/3		30,599	



Gambar 5. 7 Peningkatan kuat tekan beton perbandingan 1,5

Hasil pengujian menunjukkan peningkatan yang signifikan dibandingkan dengan komposisi sebelumnya. Pada umur 7 hari didapat kuat tekan rerata sebesar 14,754 MPa; pada umur 14 hari sebesar 24,646 MPa; pada umur 21 hari sebesar 34,158 MPa; dan pada umur 28 hari sebesar 34,796 MPa.

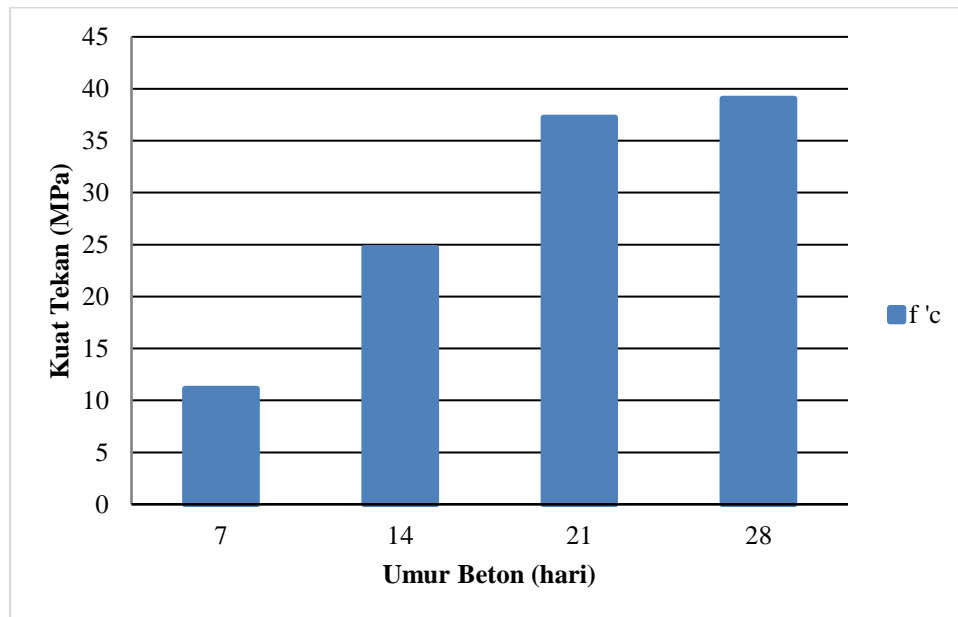
Hasil pengujian tersebut memperlihatkan peningkatan kuat tekan beton pada tiap minggunya, pada umur 7 hari kuat tekan beton berkisar 42,402% ; pada umur 14 hari mencapai 70,83%; pada umur 21 hari sekitar 98,166% dari umur 100% pada umur 28 hari.

5.6.4 Perbandingan Alkali Aktivator 2

Perbandingan komposisi alkali aktivator sebesar 4 : 2 dengan Na_2SiO_3 sebanyak 0,471 kg, dan NaOH sebanyak 0,235 kg, dengan nilai *Slumpflow* 54 cm. Foto dokumentasi dapat dilihat pada lampiran Gambar L-3.6 hingga Gambar L-3.8 *Slumpflow* GP-2,0. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan Gambar 5.8 berikut ini.

Tabel 5.16 Hasil pengujian kuat tekan beton perbandingan 2

No,	Benda Uji	Umur	f 'c	Rerata
			(MPa)	
1	GP-2/7/1	7	10,277	11,115
2	GP-2/7/2		12,494	
3	GP-2/7/3		10,575	
4	GP-2/14/1	14	24,453	24,692
5	GP-2/14/2		24,922	
6	GP-2/14/3		24,701	
7	GP-2/21/1	21	33,728	37,219
8	GP-2/21/2		43,457	
9	GP-2/21/3		34,473	
10	GP-2/28/1	28	31,760	39,049
11	GP-2/28/2		42,383	
12	GP-2/28/3		43,003	



Gambar 5. 8 Peningkatan kuat tekan beton perbandingan 2

Hasil pengujian menunjukkan komposisi tersebut hanya dapat memberikan kuat tekan yang cukup besar. Pada umur 7 hari didapat kuat tekan rerata sebesar 11,115 MPa; pada umur 14 hari sebesar 24,692 MPa; pada umur 21 hari sebesar 37,218 MPa; dan pada umur 28 hari sebesar 39,049 MPa.

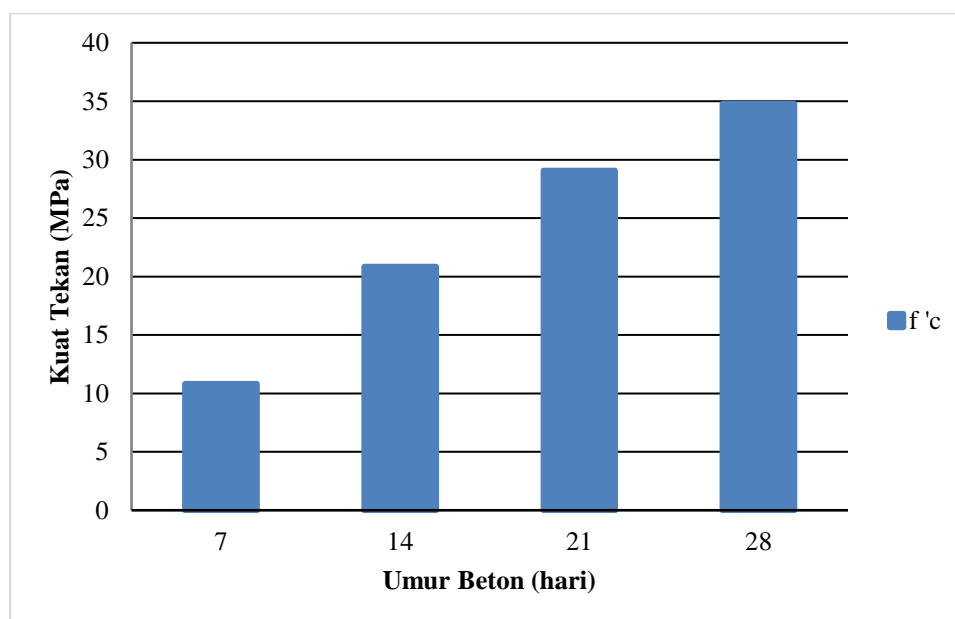
Hasil pengujian tersebut memperlihatkan peningkatan kuat tekan beton pada tiap minggunya, pada umur 7 hari kuat tekan beton berkisar 28,465% ; pada umur 14 hari mencapai 63,234%; pada umur 21 hari sekitar 95,315% dari umur 100% pada umur 28 hari.

5.6.5 Perbandingan Alkali Aktivator 2,5

Perbandingan komposisi alkali aktivator sebesar 5 : 2 dengan Na_2SiO_3 sebanyak 0,589 kg, dan NaOH sebanyak 0,235 kg, dengan nilai *Slump Flow* 58 cm. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 5,17 dan Gambar 5.9 berikut ini.

Tabel 5.17 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Perbandingan 2,5

No.	Benda Uji	Umur	f 'c	Rerata
			(MPa)	
1	GP-2,5/7/1	7	10,610	10,811
2	GP-2,5/7/2		12,768	
3	GP-2,5/7/3		9,054	
4	GP-2,5/14/1	14	22,865	20,834
5	GP-2,5/14/2		19,944	
6	GP-2,5/14/3		19,693	
7	GP-2,5/21/1	21	27,410	29,065
8	GP-2,5/21/2		29,590	
9	GP-2,5/21/3		30,194	
10	GP-2,5/28/1	28	34,161	34,779
11	GP-2,5/28/2		35,412	
12	GP-2,5/28/3		34,763	



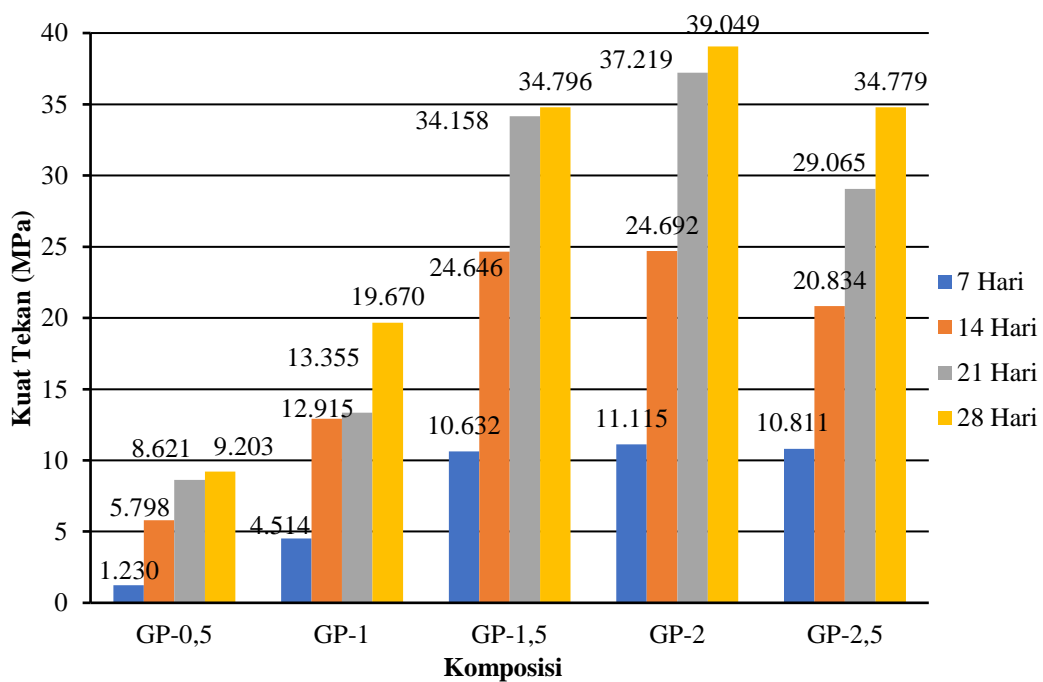
Gambar 5. 9 Peningkatan kuat tekan beton perbandingan 2,5

Hasil pengujian menunjukkan komposisi tersebut hanya dapat memberikan kuat tekan yang sangat kecil. Pada umur 7 hari diperoleh kuat tekan rerata sebesar 1,229 MPa; pada umur 14 hari sebesar 5,797 MPa; pada umur 21 hari sebesar 8,621 MPa; dan pada umur 28 hari sebesar 9,203 MPa.

Hasil pengujian tersebut memperlihatkan peningkatan kuat tekan beton pada tiap minggunya, pada umur 7 hari kuat tekan beton berkisar 31,085% ; pada umur 14 hari mencapai 59,904%; pada umur 21 hari sekitar 83,571% dari umur 100% pada umur 28 hari.

5.6.6 Komposisi Maksimum

Hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer menunjukkan terdapat komposisi perbandingan larutan alkali dengan kuat tekan sangat kecil, namun juga terdapat komposisi yang mampu memberikan kuat tekan melebihi kuat tekan minimum untuk termasuk pada golongan beton mutu tinggi. Peningkatan kuat tekan beton pada semua kombinasi dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.



Gambar 5. 10 Perbandingan kuat tekan beton

Hasil pengujian kuat tekan beton dimasukkan dalam satu grafik untuk melihat dinamika perubahan kuat tekan yang terjadi. Kuat tekan beton pada tiap kombinasi dihubungkan berdasarkan umur yang sama dari perbandingan komposisi paling kecil hingga paling besar.

Grafik tersebut menunjukkan peningkatan kuat tekan beton terjadi beriringan dengan meningkatnya kadar Na_2SiO_3 yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa

dengan komposisi larutan NaOH yang konstan pada setiap kombinasi, dengan anggapan bahwa Na_2SiO_3 hanya berfungsi sebagai katalis pada proses polimerisasi, menunjukkan bahwa Na_2SiO_3 juga memiliki pengaruh dalam menyempurnakan ikatan polisialat pada beton, sehingga dapat memberi kuat tekan yang lebih tinggi.

Grafik tersebut menunjukkan peningkatan kuat tekan beton berbanding lurus dengan pertambahan umur beton. Kuat tekan beton bertambah diiringi dengan bertambahnya Na_2SiO_3 yang digunakan, namun kuat tekan maksimal didapat pada komposisi perbandingan alkali aktivator 4/2 dan kembali menurun pada perbandingan 5/2. Grafik tersebut menunjukkan bahwa kuat tekan yang sangat kecil pada perbandingan 0,5 diakibatkan kurangnya kadar Na_2SiO_3 yang berperan sebagai penyempurna proses polimerisasi. Beton dengan komposisi pasta 25% dari berat total bahan yang digunakan, serta faktor $w/fa = 0,25$ kekurangan NaOH yang berperan sebagai aktivator utama antara senyawa silikat dan aluminat.

Beton geopolimer dengan perbandingan komposisi alkali aktivator 0,5 memberikan kuat tekan dibawah 17 MPa meskipun sudah mencapai umur 28 hari sehingga tidak memenuhi syarat kuat tekan beton minimum pada golongan beton structural. Komposisi NaOH yang digunakan dianggap terlalu rendah atau kekurangan aktivator antara silikat dan aluminat sehingga membutuhkan Na_2SiO_3 lebih banyak untuk membantu menyempurnakan proses polimerisasi.

Semakin besar kadar Na_2SiO_3 yang digunakan memberikan pertambahan kuat tekan secara signifikan, menunjukkan Na_2SiO_3 turut berperan penting pada proses polimerisasi. Kuat tekan maksimum ditunjukkan pada perbandingan 4/2 yang dapat mencapai kualitas beton mutu tinggi, namun pada komposisi 5/2 kuat tekan beton kembali menurun. Kuat tekan pada beton dengan komposisi 5/2 menurun disebabkan karena kadar Na_2SiO_3 terlalu banyak dibandingkan dengan NaOH itu sendiri yang berperan sebagai aktivator yang utama.

5.7 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton merupakan tingkat kemampuan beton untuk meregang pada saat timbul tegangan ketika diberi beban, Pengujian modulus elastisitas beton geopolimer dilakukan pada benda uji setelah mencapai umur 28 hari. Pengujian tidak dilakukan pada beton dengan komposisi perbandingan alkali

aktivator 0,5 karena kuat tekan terlalu kecil, sehingga titik pengamatan pada perubahan panjang terlampaui sedikit untuk dijadikan grafik, Data yang didapat dari pengujian modulus elastisitas merupakan nilai tegangan dan regangan aksial yang kemudian diolah dengan program *Microsoft Excel* untuk dijadikan grafik untuk dianalisis. Data pengujian modulus elastisitas beton geopolimer dapat dilihat pada Tabel 5.18 Berikut ini.

Tabel 5.18 Data tegangan tekan dan regangan beton

No	Beban	Nilai	ΔL	A_0	L_0	σ	ϵ
	(kN)	x 0,001 (mm)	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0,000	18002,9	200	0	0
2	10	10	0,005	18002,9	200	0,555	0,0000250
3	20	15	0,008	18002,9	200	1,111	0,0000375
4	30	28	0,014	18002,9	200	1,666	0,0000700
5	40	43	0,022	18002,9	200	2,222	0,0001075
6	50	48	0,024	18002,9	200	2,777	0,0001200
7	60	59	0,030	18002,9	200	3,333	0,0001475
8	70	70	0,035	18002,9	200	3,888	0,0001750
9	80	81	0,041	18002,9	200	4,444	0,0002025
10	90	93	0,047	18002,9	200	4,999	0,0002325
11	100	100	0,050	18002,9	200	5,555	0,0002500
12	110	112	0,056	18002,9	200	6,110	0,0002800
13	120	122	0,061	18002,9	200	6,666	0,0003050
14	130	131	0,066	18002,9	200	7,221	0,0003275
15	140	140	0,070	18002,9	200	7,777	0,0003500
16	150	148	0,074	18002,9	200	8,332	0,0003700
17	160	159	0,080	18002,9	200	8,887	0,0003975
18	170	170	0,085	18002,9	200	9,443	0,0004250
19	180	180	0,090	18002,9	200	9,998	0,0004500
20	190	192	0,096	18002,9	200	10,554	0,0004800
21	200	203	0,102	18002,9	200	11,109	0,0005075
22	210	216	0,108	18002,9	200	11,665	0,0005400
23	220	224	0,112	18002,9	200	12,220	0,0005600
24	230	232	0,116	18002,9	200	12,776	0,0005800
25	240	246	0,123	18002,9	200	13,331	0,0006150

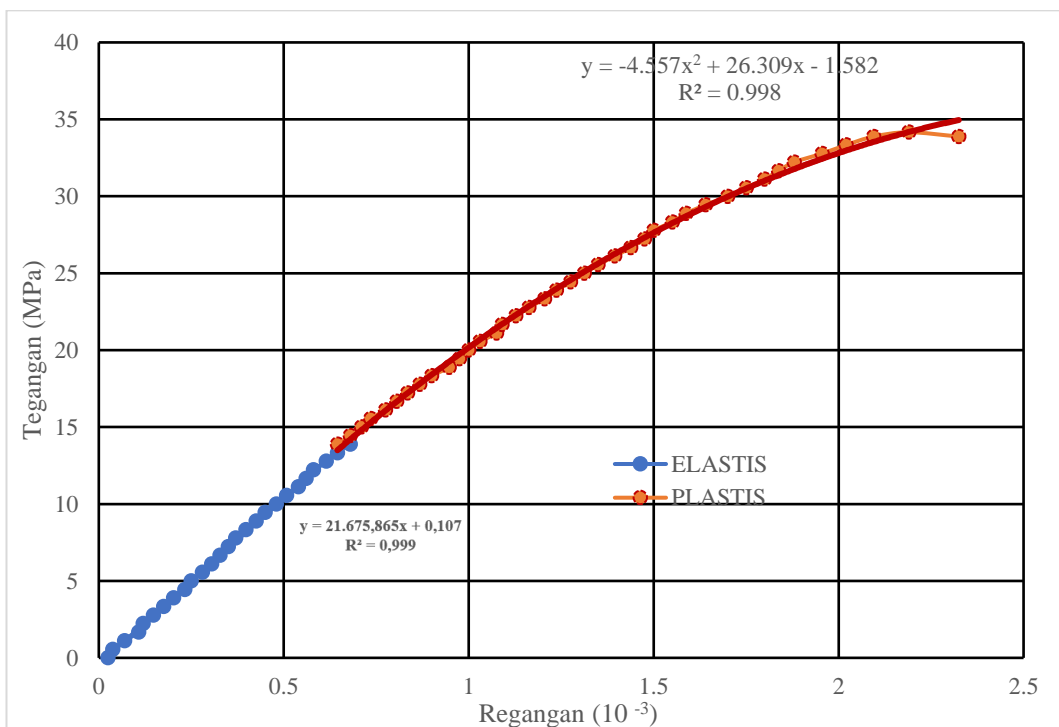
Tabel 5.19 Data tegangan regangan beton (lanjutan)

No	Beban (kN)	Nilai	ΔL	A0	L0	σ	ϵ
		x 0,001 (mm)	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
26	250	258	0,129	18002,9	200	13,887	0,0006450
27	260	272	0,136	18002,9	200	14,442	0,0006800
28	270	284	0,142	18002,9	200	14,998	0,0007100
29	280	294	0,147	18002,9	200	15,553	0,0007350
30	290	310	0,155	18002,9	200	16,109	0,0007750
31	300	322	0,161	18002,9	200	16,664	0,0008050
32	310	334	0,167	18002,9	200	17,219	0,0008350
33	320	347	0,174	18002,9	200	17,775	0,0008675
34	330	360	0,180	18002,9	200	18,330	0,0009000
35	340	379	0,190	18002,9	200	18,886	0,0009475
36	350	390	0,195	18002,9	200	19,441	0,0009750
37	360	400	0,200	18002,9	200	19,997	0,0010000
38	370	412	0,206	18002,9	200	20,552	0,0010300
39	380	430	0,215	18002,9	200	21,108	0,0010750
40	390	436	0,218	18002,9	200	21,663	0,0010900
41	400	451	0,226	18002,9	200	22,219	0,0011275
42	410	465	0,233	18002,9	200	22,774	0,0011625
43	420	482	0,241	18002,9	200	23,330	0,0012050
44	430	495	0,248	18002,9	200	23,885	0,0012375
45	440	510	0,255	18002,9	200	24,441	0,0012750
46	450	525	0,263	18002,9	200	24,996	0,0013125
47	460	540	0,270	18002,9	200	25,551	0,0013500
48	470	558	0,279	18002,9	200	26,107	0,0013950
49	480	575	0,288	18002,9	200	26,662	0,0014375
50	490	590	0,295	18002,9	200	27,218	0,0014750
51	500	600	0,300	18002,9	200	27,773	0,0015000
52	510	620	0,310	18002,9	200	28,329	0,0015500
53	520	635	0,318	18002,9	200	28,884	0,0015875
54	530	656	0,328	18002,9	200	29,440	0,0016400
55	540	680	0,340	18002,9	200	29,995	0,0017000
56	550	700	0,350	18002,9	200	30,551	0,0017500
57	560	720	0,360	18002,9	200	31,106	0,0018000
58	570	735	0,368	18002,9	200	31,662	0,0018375
59	580	752	0,376	18002,9	200	32,217	0,0018800
60	590	782	0,391	18002,9	200	32,773	0,0019550

Tabel 5.20 Data tegangan regangan beton (lanjutan)

No	Beban (kN)	Nilai x 0,001 (mm)	ΔL x 0,001 (mm)	A0 (mm ²)	L0 (mm)	σ (N/mm ²)	ϵ
61	600	808	0,404	18002,9	200	33,328	0,0020200
62	610	838	0,419	18002,9	200	33,883	0,0020950
63	615	876	0,438	18002,9	200	34,161	0,0021900

Nilai modulus elastisitas beton didapat dari mengolah data tegangan-regangan pada tabel 5.18. Data hasil pengujian tegangan-regangan diolah menjadi grafik, sehingga didapat persamaan garis regresi linear pada kondisi elastis yaitu pada saat beton masih dapat kembali seperti bentuk awal sebelum diberi tekanan, dan regresi polynomial pangkat 2 pada daerah plastis dimana beton sudah melewati batas plastis dan tidak dapat kembali seperti bentuk semula.



Gambar 5. 11 Kurva tegangan regangan beton

Analisis Modulus Elastisitas :

a. Saat beban maksimum,

$$\begin{aligned} 1) \quad \Delta L &= \frac{Dial}{2} \times 0,001 \\ &= \frac{876}{2} \times 0,001 \\ &= 0,4380 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \quad A_o &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 151,4^2 \\ &= 18002,8653 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \quad \text{Tegangan } (\sigma) &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{615 \times 1000}{18002,8653} \\ &= 34,1612 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4) \quad \text{Regangan } (\epsilon) &= \frac{\Delta l}{l_0} \\ &= \frac{0,4380}{200} \\ &= 0,00219 \end{aligned}$$

b. Kuat tekan terkoreksi.

Dengan persamaan polynomial pangkat 2 $y = -4,178,667,350x^2 + 25,410,249x - 1,091$ nilai x dimasukkan dengan nilai regangan maksimum sehingga didapat nilai y sebagai tegangan maksimum terkoreksi (MPa),

$$y = -4,178,667,350x^2 + 25,410,249x - 1,091$$

$$y = -4,178,667,350(0,00219)^2 + 25,410,249(0,00219) - 1,091$$

$$y = 34,5161 \text{ MPa}$$

berdasarkan perhitungan tersebut didapat nilai kuat tekan terkoreksi sebesar 34,5161 MPa, maka batas elastis 0,4F_y atau tegangan 2 (σ_2) sebesar 13,806 MPa,

c. Nilai regangan 2 (ϵ_2).

Nilai regangan 2 didapat dengan menggunakan persamaan linear $y = 21,675,865x + 0,107$, nilai x dihitung dengan mensubstitusi nilai y dengan $0,4f'_c$ terkoreksi (σ_2),

$$y = 21,675,865x + 0,107$$

$$13,806 = 21,675,865x + 0,107$$

$$13,6995 = 21,675,865x$$

$$x = 13,6995/21,675,865$$

$$x = 0,00063$$

$$\epsilon_2 = 0,00063$$

d. Nilai tegangan 1.

Berdasarkan nilai regangan 1 $\epsilon_1 = 0,00005$, nilai tegangan 1 (σ_1) merupakan nilai y yang didapat dari substitusi ϵ_1 sebagai x pada persamaan linear $y = 21,675,865x + 0,107$,

$$y = 21,675,865x + 0,107$$

$$y = 21,675,865(0,00005) + 0,107$$

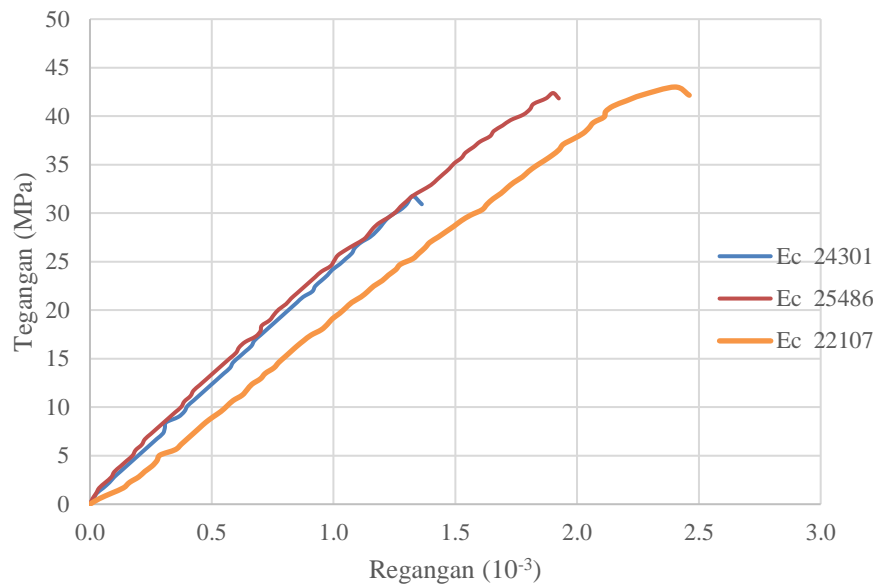
$$y = 1,19079 \text{ MPa}$$

e. Modulus elastisitas beton E_c .

Setelah didapat nilai σ_2 , σ_1 , ϵ_1 , dan ϵ_2 dapat dicari nilai modulus elastisitas beton (E_c),

$$\begin{aligned} \text{Modulus Elastisitas } (E_c) &= \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \\ &= \frac{13,806 - 1,19079}{0,00063 - 0,00005} \\ &= 21675,865 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, beton memiliki modulus elastisitas sebesar 21675,865 MPa. Pengujian modulus elastisitas dilakukan pada semua kombinasi dengan umur 28 hari, Hasil pengujian modulus elastisitas pada setiap kombinasi dapat dilihat pada Tabel 5,21 berikut ini.



Gambar 5, 12 Kurva tegangan-regangan vaiasi GP-2,0

Tabel 5.21 Hasil pengujian modulus elastisitas

Kode	Ec ASTM C469	SNI 2013		Ec rerata (Mpa)		
		$4700(f'c)^{0.5}$	$wc^{1.5} \times 0,043 \times (f'c)^{0.5}$	ASTM	$4700(f'c)^{0.5}$	$wc^{1.5} \times 0,043 (f'c)^{0.5}$
GP-1,0	12661,59	19049,18	19969,36	17628,02	20514,26	21439,79
	16366,47	17628,73	19004,99			
	23856,00	24864,87	25345,02			
GP-1,5	17344,54	27759,89	30230,35	16882,40	27407,21	30027,19
	16920,65	29199,36	31612,76			
	16382,00	25262,38	28238,45			
GP-2,0	24301,09	26273,75	29321,31	23964,87	29291,85	32519,65
	25486,18	30568,68	34568,43			
	22107,34	31033,11	33669,23			
GP-2,5	21675,87	27612,71	30452,79	20171,80	27666,87	30225,44
	19568,54	27858,55	30267,95			
	19271,00	27529,36	29955,56			

Hasil pengujian menunjukkan nilai modulus elastisitas maksimal didapat dari komposisi perbandingan alkali aktivator 4/2 (2) dengan nilai rerata sebesar 23964,87 MPa. Nilai modulus elastisitas meningkat dan mencapai maksimal pada perbandingan 4/2 namun kembali menurun pada perbandingan 5/2. Kuat tekan pada

komposisi 5/2 cenderung sama atau mendekati kuat tekan ada komposisi 3/2 namun dapat memberikan nilai modulus elastisitas yang lebih tinggi. Nilai modulus elastisitas yang lebih tinggi menunjukkan bahwa dengan kadar kandungan NaOH yang konstan, peningkatan kandungan Na_2SiO_3 dapat menambah kemampuan beton untuk meregang,

Pada kombinasi campuran alkali aktivator 4/2 dicapai kuat tekan maksimum disebabkan perbandingan antara komposisi NaOH dan Na_2SiO_3 yang seimbang, sehingga dapat menghasilkan ikatan polimerisasi yang sempurna, dan memberikan pengaruh pada meningkatnya nilai modulus elastisitas. Sedangkan pada kombinasi campuran alkali aktivator 2/2 dan 3/2 sampel beton kekurangan Na_2SiO_3 sehingga reaksi polimerisasi yang terjadi tidak maksimal, dan berpengaruh pada nilai modulus elastisitas yang lebih kecil. Pada kombinasi campuran alkali aktivator 5/2 kuat tekan yang didapat lebih kecil dari perbandingan 4/2 karena ikatan polimerisasi yang terjadi tidak sempurna, hal ini disebabkan karena kadar Na_2SiO_3 yang digunakan terlalu banyak, namun dapat memberikan nilai modulus elastisitas yang lebih besar dari perbandingan 3/2 meskipun nilai kuat tekan yang dihasilkan tidak berbeda jauh. Nilai modulus elastisitas pada perbandingan alkali aktivator 5/2 lebih besar dibandingkan dengan perbandingan komposisi 3/2 karena penggunaan Na_2SiO_3 yang lebih banyak, hal ini dipengaruhi sifat Na_2SiO_3 yang dapat mengeras karena terjadi penguapan pada air yang dikandung apabila disimpan pada wadah terbuka.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada bab 5, terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil. Kesimpulan dari hasil penelitian adalah sebagai berikut.

1. Perbandingan alkali aktivator pada setiap kombinasi menunjukkan peningkatan kuat tekan dari umur beton 7 hari hingga 28 hari dengan peningkatan sebesar 321% hingga 748%,
2. Kuat tekan beton dengan perbandingan komposisi alkali aktivator 1/2 hanya memberikan kuat tekan yang sangat kecil pada beton. Komposisi optimal diberikan pada perbandingan alkali aktivator 4/2 (2) dengan kuat tekan mencapai 43 MPa,
3. Kuat tekan rerata beton geopolimer dengan komposisi perbandingan alkali aktivator 1/2, 2/2, 3/2, 4/2, 5/2 berturut-urut pada umur 28 hari sebesar 9,203 MPa, 19,67 MPa; 34,796 MPa; 39,049 MPa; 34,779 MPa. Beton geopolimer dengan perbandingan komposisi alkali aktivator 2/2 hingga 5/2 dapat dijadikan alternatif pengganti beton konvensional karena telah mencapai syarat kuat tekan beton minimum untuk kategori beton struktural yaitu > 17 MPa,
4. Nilai modulus elastisitas maksimal didapat dari komposisi perbandingan alkali aktivator 4/2 (0,5) dengan nilai rerata sebesar 23.964,87 MPa, Nilai modulus elastisitas beton geopolimer dengan komposisi perbandingan alkali aktivator 2/2, 3/2, 4/2, 5/2 berturut-urut sebesar 17.628,02 MPa; 16.882,4 MPa; 23.964,87 MPa; dan 20.171,8 MPa.

6.2 Saran

Berdasarkan proses pelaksanaan dan hasil penelitian terdapat beberapa hal yang dapat menjadi saran sebagai pertimbangan untuk penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik beton geopolimer dengan memanfaatkan limbah *fly ash* dari PLTU, antara lain sebagai berikut ini.

1. Membuat larutan NaOH 10 M menghasikan panas yang cukup tinggi serta membahayakan karena bersifat korosif, Larutan NaOH dengan panas tinggi mencapai 97° celsius serta jumlah banyak menyebabkan kesulitan dalam proses pengandukan, sehingga terkadang terjadi endapan sebagai tanda NaOH tidak terlarut sempurna. Perlu diadakan penelitian mengenai metoda atau teknik membuat larutan NaOH dalam jumlah banyak,
2. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan merubah presentase perbandingan komposisi antara agregat dengan pasta menjadi 70:30, 65:25 dan seterusnya, Komposisi *w/fa* juga dapat ditingkatkan hingga 0,5 atau lebih,
3. Beton segar memiliki tingkat *workability* yang rendah meskipun nilai *slump* mencapai 18 cm. Beton segar cenderung bersifat lengket dan cepat mengeras, sehingga perlu diadakan penelitian mengenai penggunaan bahan tambah *SuperPlastisizer* sebagai pengencer guna mningkatkan *workability* beton segar,
4. Dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai tingkt kekerasan beton menggunakan alat *PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-Destructive digital Indicatenig Test)* untuk mengetahui perbedaan tingkat kekerasan pada setiap kombinasi serta hubungannya dengan kuat tekan yang dihasilkan,
5. Perlu diadakan penelitian lanjutan mengenai hubungan waktu ikat dengan porositas, karakteristik kuat tarik beton, kuat lentur balok, hingga pembuatan benda uji yang lebih aplikatif seperti balok bertulang dan kolom,
6. Dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai teknik perawatan (*curing*) beton bedasarkan pengaruh suhu hingga pengaruh pembakaran suhu tinggi,
7. *Fly ash* sebagai bahan limbah memungkinkan untuk didapat secara bebas biaya, namun tidak demikian dengan NaOH, dan Na₂SiO₃, Bahan NaOH,

dan Na_2SiO_3 merupakan bahan yang dijual bebas pada toko kimia dengan harga yang tidak murah, sehingga perlu diadakan penelitian dengan meninjau biaya yang dikeluarkan selama proses produksi.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C 618 – 03 *Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzoland for Use as a Mineral Admixture in Concrete, American Standard Testing and Material.*
- ASTM C 33-81 *Standard specifications for concrete aggregates.* United States.
- ASTM C 33-97 *Standar Specification for Concrete Aggregates.* United States.
- Badan Standar Nasional Indonesia. 1990. *Agregat Beton, Mutu dan Cara Uji.* SNI 03-1750. Indonesia.
- Badan Standar Nasional Indonesia. 2011. *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium.* SNI 2493-2011. Indonesia.
- Badan Standar Nasional Indonesia. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.* SNI-2847-2013. Indonesia.
- Davidovits, J. 1999. *Chemistry of Geopolymer System, Terminology, Paper Presented at the Geopolymer '99 Intenational Conference.* Saint-Quentin. France.
- Davidovits, J. 1991. *Geopolymer : Inorganic Polymeric New Materials,* Geopolymer Institut. France.
- Dipohusodo, I. 1996. *Manajemen Proyek & Konstruksi.* Kanisius. Yogyakarta.
- Ekaputri, J, J, Triwulan dan Damayati O,. 2007. *Sifat Mekanik Beton Geopolimr Berbahan Dasar Fly Ash Jawa Power Paiton Sebagai Material Alternatif.* Jurnal PONDASI. vol 13 no 2 hal, 124-134. Institut Sepuluh Nopember. Surabaya,
- Geopolymer Institute. 2006. About Geopolymerization. (<https://www.geopolymer.org/science/about-geopolymerization/>)
- Hardjito, D and Rangan, B,V. 2005. *Development and Properties Of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete.* Perth.
- Hardjito, D,, Wallah S,E,, and Rangan, B,V. 2004. *Factor Influencing The Compressive Strength of Fly Ash Based Geopolymer Concrete.* Universitas Kristen Petra.Surabaya.
- Li, Z, , Ding,Z, , dan Zhang, Y ,. 2004. *Devlopment Of Sustainable cementitious materials.* HongKong.
- Murdock, L, J,, dan Brook, K,M. 1999,.*Bahan dan Praktek Beton,* terjemahan Hindarko, S. Erlangga. Jakarta.

- Mulyono, T. 2006. *Teknologi Beton*, Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Manuahe, R., Sumajouw, M,D,J,, Windah R,S. 2014. *Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash)*. *Jurnal Sipil Statik* vol,2 no,16. Universitas Sam ratulangi. Manado.
- Prasetyo, G,B,, Trinugroho, B,, dan Solikin, M., 201., *Tinjauan Kuat Tekan Beton Geopolymer Dengan Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen*. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.
- Wang, C,K,, dan Salmon.1994. *Disain Beton Bertulang*. Terjemahan Binsar Hariandja. Penerbit Erlangga. Jakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Surat Perizinan

Surat L-1.1 Surat Pengantar Jurusan Izin Pengambilan Limbah



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

JURUSAN : TEKNIK SIPIL, ARSITEKTUR, TEKNIK LINGKUNGAN
KAMPUS : Jl. Kaliurang Km.14,5 Telp. (0274) 898471, 898472, 896440, 898583, 898585; Fax : 895330
E-mail : dekanat.ftsp@uii.ac.id, Yogyakarta Kode Pos 55584

Yogyakarta, 28 Desember 2017

Nomor : 2929 /Ka. Prodi/20/TS/XII/2017
Hal : Permohonan Izin Penelitian

Kepada Yth:

Ibu Dian Nurhardiyani
Pengurus Bagian K2 PLTU
Tanjung Jati B, Jepara, Jawa Tengah

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Dalam rangka mempersiapkan mahasiswa untuk menempuh ujian Tugas akhir/Skripsi maka setiap mahasiswa diwajibkan untuk menyusun Tugas Akhir/skripsi. Sehubungan dengan hal tersebut diatas maka diperlukan data-data, baik dari instansi Pemerintah BUMN, ataupun dari perusahaan swasta/Proyek. Berdasarkan alasan-alasan tersebut diatas, maka dengan ini kami mohon bantuannya untuk dapat memberikan izin pengambilan data berupa pengambilan Fly Ash sebagai pemanfaatan limbah sisa pembakaran pada PLTU sebanyak 300 kg untuk keperluan penyusunan Tugas Akhir bagi mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah :

No	Nama Mahasiswa	NIM	Program Studi
1.	Muhammad Ridwan	12 511 428	Teknik Sipil

Untuk jadwal pengambilan sepenuhnya mengikuti jadwal dari PLTU dan untuk akomodasi akan ditanggung sendiri oleh mahasiswa. Demikian Permohonan ini kami sampaikan, atas bantuannya dan kerjasamanya kami Ucapkan banyak terima kasih.


Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Ketua Prodi Teknik Sipil

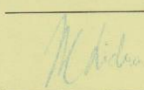
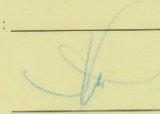
Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

Surat L-1.2 Surat Legalitas Izin Membawa Limbah Keluar

Form 06-PLN

	PT. PLN (PERSERO) PEMBANGKITAN TANJUNG JATI B	No. Dok.	: 1087/MBK/PLN/1/1/2018
		Berlaku sejak	: 1 Maret 2013
		Revisi	: 00
		Tanggal Pengajuan	:

MATERIAL GATE PASS

Pemohon : _____	Disetujui oleh : _____
 Nama : <u>M. LIDWAN</u> Jabatan : _____	 Nama : <u>Dimas</u> Jabatan : <u>De. Jaga</u>

KENDARAAN YANG DIGUNAKAN

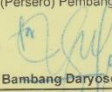

Jenis Kendaraan : Truck UP
 Nama Pengemudi : M. LIDWAN No. Polisi : AB 266111


TANGGAL & WAKTU UNTUK PENGLUARAN MATERIAL DARI KAWASAN PLTU TJB

Tanggal : 13 Januari 18
 Waktu : 13.47

Catatan : - Waktu yang diijinkan untuk muat dan pengeluaran material dari hari Senin - Jumat 08.00 - 17.00 WIB
 - Sabtu 08.00 - 12.00 WIB
 - Kendaraan pengangkut Limbah Gypsum, flyash dan lainnya dari hari Senin - Minggu 08.00 - 12.00 WIB

No.	Diskripsi Material / Peralatan	Jumlah	Satuan Unit	Keterangan
1.	Limbah Tly A.h Unit 112	6	sak (250 kg)	untuk Teger Akhir U11

<p style="text-align: center;">Mengetahui, PT. PLN (Persero) Pembangkitan TJB</p> <p style="text-align: center;">  Bambang Daryoso Nama : DM-Humas & Umum Jabatan : _____ </p>	<p style="text-align: center;">Disetujui Oleh, PT. PLN (Persero) Pembangkitan TJB</p> <p style="text-align: center;">  M. Arifin Nama : Supervisor Kamtib Jabatan : _____ </p>
--	--



PENGECEKAN SEKURITI DI MAJIN GATE	DISTRIBUSI DOKUMEN
TANGGAL : <u>18.01.2018</u> WAKTU : <u>13.47</u> TANDATANGAN : _____ NAMA : <u>AC</u>	1. ORIGINAL : PT. PLN (Persero) Pembangkitan TJB 2. COPY-1 : Sekuriti PT. PLN (Persero) Pembangkitan TJB 3. COPY-2 : Kontraktor

Surat L-1.3 Surat Permohonan Pengujian XRF



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

JURUSAN: TEKNIK SIPIL, ARSITEKTUR, TEKNIK LINGKUNGAN

KAMPUS: Jl. Kaliurang Km. 14,5 Telp. (0274) 898471, 898472, 896440, 898583, 898585; Fax: 895330
Email: dekanat.fsp@uii.ac.id, Yogyakarta Kode Pos 55584

Nomor : 173/Prodi.TS 20/TA/III/2018
Lampiran :
Hal : Permohonan Izin Penelitian TA & Pengambilan Data untuk TA.

Yogyakarta, 08 March 2018

Kepada Yth:
Bpk/Ibu Tri Hartono
Kepala Balai Konservasi Borobudur

di Tempat

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Dalam rangka mempersiapkan mahasiswa untuk menempuh ujian Tugas akhir/Skripsi maka setiap mahasiswa diwajibkan untuk menyusun Tugas Akhir/skripsi. Sehubungan dengan hal tersebut diatas maka diperlukan data-data, baik dari instansi Pemerintah BUMN, ataupun dari perusahaan swasta/Proyek.

Berdasarkan alasan-alasan tersebut diatas, maka dengan ini kami mohon bantuannya untuk dapat memberikan izin Penelitian Pengujian Kandungan Kimia pada sampel berupa Fly Ash dengan alat XRF & Pengambilan Data untuk keperluan penyusunan Tugas Akhir bagi mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah :

Nama : MUHAMMAD RIDWAN
No. Mhs : 12511428
Prodi : Teknik Sipil

Demikian Permohonan ini kami sampaikan, atas bantuannya dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 08 March 2018

Ketua Prodi Teknik Sipil

Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

Surat L-1.4 Surat Tanggapan Balai Konservasi Borobudur



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
BALAI KONSERVASI BOROBUDUR

Jalan Badrawati, Borobudur, Magelang 56553
Telepon (0293) 788225, 788175 Faximile (0293) 788367
E-mail konservasiborobudur@yahoo.com bkbobobudur@kemdikbud.go.id
Laman www.konservasiborobudur.org

Nomor : 00430 /E12.2/HM/2018
Hal : Permohonan Izin Penelitian TA
dan Pengujian XRF sampel TA

13 Maret 2018

Yth. Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Dengan hormat,

Menanggapi surat Ibu tanggal 8 Maret 2018 nomor: 173/Prodi.TS.20/TA/III/2018 perihal tersebut di atas, bersama ini kami sampaikan bahwa pada dasarnya kami tidak keberatan mahasiswa :

Nama : Muhammad Ridwan
NIM : 12511428
Jurusan : Teknik Sipil

untuk melaksanakan Penelitian dan Pengujian XRF Sampel Fly Ash guna penyusunan Tugas Akhir di Balai Konservasi Borobudur.

Adapun persyaratannya adalah:

1. Mematuhi tata tertib yang berlaku di Balai Konservasi Borobudur;
2. Menyampaikan laporan Tugas Akhir kepada Balai Konservasi Borobudur.

Atas perhatiannya diucapkan terima kasih.



Surat L-1.5 Surat Hasil Uji XRF



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN BALAI KONSERVASI BOROBUDUR

Jalan Badrawati, Borobudur, Magelang 56553
Telepon (0293) 788225, 788175 Faximile (0293) 788367
E-mail konservasiborobudur@yahoo.com bkbobobudur@kemdikbud.go.id
Laman www.konservasiborobudur.org

22 Maret 2018

Nomor : 00483/E12/KB/2018
Lampiran : 1 (satu) lembar
Perihal : Hasil Analisis

Yth. Ketua Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, UII
Jl. Kaliurang Km. 14,5, Yogyakarta

Dengan hormat,

Menindaklanjuti surat Nomor 173/Prodi.TS.20/TA/III/2018 perihal Permohonan Pengujian Sampel Fly Ash dengan alat X-Ray Fluorescence (XRF) untuk keperluan penyusunan tugas akhir/skripsi dari mahasiswa :

Nama : Muhammad Ridwan
No. Mhs. : 12511428
Prodi : Teknik Sipil

bersama ini kami sampaikan hasil analisis yang telah kami lakukan sebagaimana terlampir.

Demikian kami sampaikan, atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.



Dr. Ir. Hartono, M.Hum.
NIP. 19630507 198603 1 002

Surat L-1.6 Surat hasil uji XRF (lanjutan)



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN BALAI KONSERVASI BOROBUDUR

Jalan Badrawati, Borobudur, Magelang 56553
Telepon (0293) 788225, 788175 Faximile (0293) 788367
E-mail konservasiborobudur@yahoo.com bkbobobudur@kemdikbud.go.id
Laman www.konservasiborobudur.org

Asal sampel : Muhammad Ridwan, Mahasiswa Teknik Sipil UII
Keperluan : Penyusunan Tugas Akhir
Jenis Sampel : Fly Ash

Hasil Analisis :

Komposisi Kimia	Hasil Analisis (%)			Rata-Rata (%)	Metode
	1	2	3		
CaO	7,46	7,66	7,53	7,55	X-Ray Fluorescence
MgO	2,52	3,63	ND	3,08	X-Ray Fluorescence
Al ₂ O ₃	18,51	18,70	18,38	18,53	X-Ray Fluorescence
Fe ₂ O ₃	13,65	13,73	13,73	13,70	X-Ray Fluorescence
K ₂ O	2,50	2,55	2,55	2,53	X-Ray Fluorescence
P ₂ O ₅	0,12	0,14	0,12	0,13	X-Ray Fluorescence
TiO ₂	0,86	0,85	0,91	0,87	X-Ray Fluorescence
SiO ₂	40,87	41,84	40,59	41,10	X-Ray Fluorescence

Kepala Seksi Konservasi


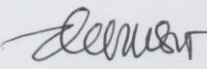
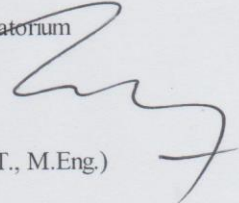

Iskandar M. Siregar, S.Si.
NIP. 19691118 199903 1 001

Magelang, 22 Maret 2018
Koord. Pokja Laboratorium & Kemitraan


Lelik Agung Haldoko, S.T.
NIP. 19850925 201101 1 008

Lampiran 2 Tabel Data Hasil Pengujian

Tabel L-2.1 Data pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus

 <p>UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN Program Studi TEKNIK SIPIL</p>			
<p>ANALISIS PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS (SNI 03 -1970-1990)</p>			
Pengirim	Kali Progo		
Tanggal Terima	26 Agustus 2017		
Asal Pasir	Kali Progo		
Keperluan	Penelitian Tugas Akhir		
Uraian	Hasil 1	Hasil 2	Rata Rata
Berat Pasir Kering mutlak , gram (Bk), gram	485.5	489.5	487.5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt), gram	1159.7	1167.5	1163.6
Berat piknometer berisi air (B), gram	846	846	846
Berat Jenis Curah, $Bk/(B+500-Bt)$	2.606	2.742	2.673
Berat jenis Jenuh kering muka, $500/(B+500-Bt)$	2.684	2.801	2.741
Berat jenis semu, $Bk/(B+Bk-Bt)$	2.826	2.914	2.869
Penyerapan air , $((500-Bk)/Bk) \times 100\%$	2.987	2.145	2.564
Diperiksa, Laboran	Disetujui, Kepala Laboratorium		
 (Darussalam, A.Md)	 Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.)		
			

Tabel L-2.2 Data pengujian analisis saringan agregat halus

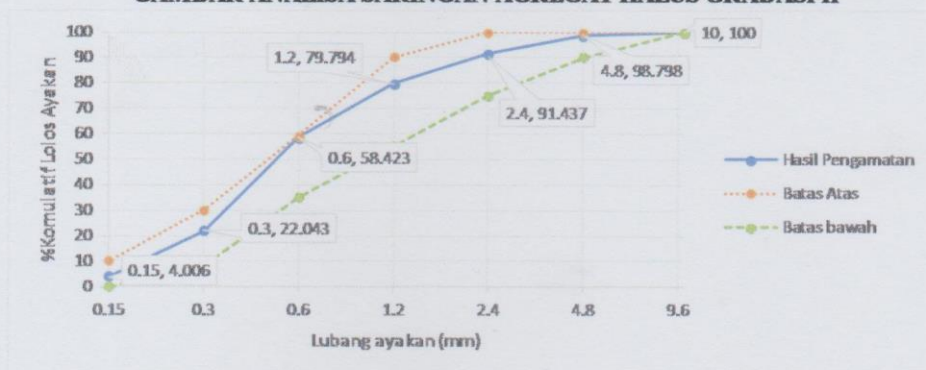

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Program Studi TEKNIK SIPIL
MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS
(SNI 03 -1968-1990)

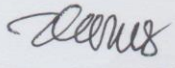
Lubang ayakan	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00				
20,00				
10,00	0	0	0	100
4,80	24	1.202	1.202	98.798
2,40	147	7.361	8.563	91.437
1,20	232.5	11.643	20.206	79.794
0,60	426.78	21.371	41.577	58.423
0,30	726.5	36.380	77.957	22.043
0,15	360.2	18.037	95.994	4.006
Sisa	80	4.006	100.000	0.000
Jumlah	1996.98		345.498	

MODULUS HALUS BUTIR = $\frac{345.498}{100} = 3.455$

Lubang ayakan	Persen Lobs	Gradasi II	
		B atas	B bawah
10	100	100	100
4.8	98.798	100	90
2.4	91.437	100	75
1.2	79.794	90	55
0.6	58.423	59	35
0.3	22.043	30	8
0.15	4.006	10	0
Sisa	78.2		

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS GRADASI II




Diperiksa,
 Laboran

 (Darussalam, A.Md)

Disetujui,
 Kepala Laboratorium





(Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.)


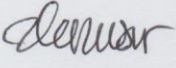
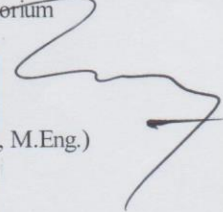

Tabel L-2.3 Data berat isi padat agregat halus

 <p>UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN Program Studi TEKNIK SIPIL PEMERIKSAAN BERAT ISI PADAT AGREGAT HALUS (SNI 03 -4804-1998)</p>													
Pengirim	Kali Progo												
Tanggal Terima	26 Agustus 2017												
Asal Pasir	Kali Progo												
Keperluan	Penelitian Tugas Akhir												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Uraian</th> <th>Hasil Pengamatan</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Berat Tabung (W1), gram</td> <td>10865</td> </tr> <tr> <td>Berat Tabung + Agregat SSD (W2), gram</td> <td>19840</td> </tr> <tr> <td>Berat Agregat (W3), gram</td> <td>8975</td> </tr> <tr> <td>Volume Tabung (V), cm³</td> <td>5301.437</td> </tr> <tr> <td>Berat Volume Padat (V), gram/cm³</td> <td>1.693</td> </tr> </tbody> </table>		Uraian	Hasil Pengamatan	Berat Tabung (W1), gram	10865	Berat Tabung + Agregat SSD (W2), gram	19840	Berat Agregat (W3), gram	8975	Volume Tabung (V), cm ³	5301.437	Berat Volume Padat (V), gram/cm ³	1.693
Uraian	Hasil Pengamatan												
Berat Tabung (W1), gram	10865												
Berat Tabung + Agregat SSD (W2), gram	19840												
Berat Agregat (W3), gram	8975												
Volume Tabung (V), cm ³	5301.437												
Berat Volume Padat (V), gram/cm ³	1.693												
<p>Diperiksa, Laboran</p> <p><i>Darus</i> (Darussalam, A.Md)</p>													
<p>Disetujui, Kepala Laboratorium</p> <p><i>Novi Rahmayanti</i> (Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.)</p>													
<div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; text-align: center;"> <p>LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA YOGYAKARTA</p> </div>													


Tabel L-2.4 Data pengujian kadar lumpur agregat halus

 <p>UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN Program Studi TEKNIK SIPIL PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LOLOS AYAKAN NO.200 /UJI KANDUNGAN LUMPUR DALAM PASIR (SNI 03-4142-1996)</p>									
Pengirim	Kali Progo								
Tanggal Terima	26 Agustus 2017								
Asal Pasir	Kali Progo								
Keperluan	Penelitian Tugas Akhir								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Uraian</th> <th>Hasil Pengamatan</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Berat Agregat Kering Oven (W1), gram</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (W2), gram</td> <td>476.6</td> </tr> <tr> <td>Berat yang lolos Ayakan No.200 [(W1- W2)]x 100%</td> <td>4.68</td> </tr> </tbody> </table>		Uraian	Hasil Pengamatan	Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (W2), gram	476.6	Berat yang lolos Ayakan No.200 [(W1- W2)]x 100%	4.68
Uraian	Hasil Pengamatan								
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500								
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (W2), gram	476.6								
Berat yang lolos Ayakan No.200 [(W1- W2)]x 100%	4.68								
<p>Diperiksa, Laboran</p> <p><i>(Signature)</i> (Darussalam, A.Md)</p>									
<p>Disetujui, Kepala Laboratorium</p> <p><i>(Signature)</i> (Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.)</p>									
									

Tabel L-2.5 Data pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN Program Studi TEKNIK SIPIL				
ANALISIS PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR (SNI 03 -1969-1990)				
Sumber	PT Harmak			
Tanggal Terima	21 Oktober 2017			
Asal Pasir	Clereng			
Keperluan	Penelitian Tugas Akhir			
	Uraian	Hasil 1	Hasil 2	Rata Rata
	Berat Kerikil Kering mutlak , gram (Bk), gram	4918	4895	4906.5
	Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	5000	5000	5000
	Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3126	3115	3120.5
	Berat Jenis Curah, $Bk/(Bj - Ba)$	2.624	2.597	2.611
	Berat jenis Jenuh kering muka, $Bj/(Bj - Ba)$	2.668	2.653	2.660
	Berat jenis semu, $Bk/(Bk - Ba)$	2.744	2.750	2.747
	Penyerapan air , $((Bj-Bk)/Bk) \times 100\%$	1.667	2.145	1.906
Diperiksa, Laboran  (Darussalam, A.Md)		Disetujui, Kepala Laboratorium  (Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.)		
				

Tabel L-2.6 Data pengujian analisis saringan agregat kasar

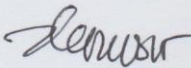
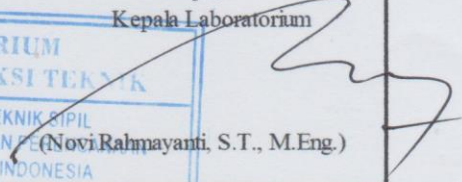
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN Program Studi TEKNIK SIPIL MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR (SNI 03 -1968-1990)				
Pengirim	PT Harmak			
Tanggal Terima	21 Oktober 2017			
Asal Pasir	Clereng			
Keperluan	Penelitian Tugas Akhir			


Lubang ayakan	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	3178	63.560	63.560	36.440
10,00	1520	30.400	93.960	6.040
4,80	279	5.580	99.540	0.460
2,40	2	0.040	99.580	0.420
1,20	0	0.000	99.580	0.420
0,60	0	0.000	99.580	0.420
0,30	0	0.000	99.580	0.420
0,15	0	0.000	99.580	0.420
Sisa	21	0.420	100.000	0.000
Jumlah	5000		754.960	

MODULUS HALUS BUTI = $\frac{754.960}{100} = 7.550$

Lubang ayakan	Persen Lolos	Besarnya Butiran max	
		B atas	B bawah
40	100	100	95
20	36.440	70	30
10	6.040	35	10
4.8	0.460	5	0


GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR

Diperiksa, Laboran  (Darussalam, A.Md)	Disetujui, Kepala Laboratorium  (Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.)
--	--




LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Tabel L-2.7 Data pengujian berat isi gembur agregat kasar

 <p>UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN Program Studi TEKNIK SIPIL PEMERIKSAAN BERAT ISI GEMBUR AGREGAT KASAR (SNI 03 -4804-1998)</p>													
Pengirim	PT Harmak												
Tanggal Terima	21 Oktober 2017												
Asal Pasir	Clereng												
Keperluan	Penelitian Tugas Akhir												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Uraian</th> <th>Hasil Pengamatan</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Berat Tabung (W1), gram</td> <td>10710</td> </tr> <tr> <td>Berat Tabung + Agregat SSD (W2), gram</td> <td>17850</td> </tr> <tr> <td>Berat Agregat (W3), gram</td> <td>7140</td> </tr> <tr> <td>Volume Tabung (V), cm³</td> <td>5419.874</td> </tr> <tr> <td>Berat Volume Gembur (V), gram/cm³</td> <td>1.317</td> </tr> </tbody> </table>		Uraian	Hasil Pengamatan	Berat Tabung (W1), gram	10710	Berat Tabung + Agregat SSD (W2), gram	17850	Berat Agregat (W3), gram	7140	Volume Tabung (V), cm ³	5419.874	Berat Volume Gembur (V), gram/cm ³	1.317
Uraian	Hasil Pengamatan												
Berat Tabung (W1), gram	10710												
Berat Tabung + Agregat SSD (W2), gram	17850												
Berat Agregat (W3), gram	7140												
Volume Tabung (V), cm ³	5419.874												
Berat Volume Gembur (V), gram/cm ³	1.317												
<p>Diperiksa, Laboran</p> <p><i>(Signature)</i> (Darussalam, A.Md)</p>													
<p>Disetujui, Kepala Laboratorium</p> <p><i>(Signature)</i> (Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.)</p>													
<div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; text-align: center;"> <p>LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK</p> <p>PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA YOGYAKARTA</p> </div>													

Tabel L-2.8 Data pengujian berat isi padat agregat kasar

 <p>UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN Program Studi TEKNIK SIPIL PEMERIKSAAN BERAT ISI PADAT AGREGAT KASAR (SNI 03 -4804-1998)</p>													
Pengirim	PT Harmak												
Tanggal Terima	21 Oktober 2017												
Asal Pasir	Clereng												
Keperluan	Penelitian Tugas Akhir												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Uraian</th> <th>Hasil Pengamatan</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Berat Tabung (W1), gram</td> <td>10710</td> </tr> <tr> <td>Berat Tabung + Agregat SSD (W2), gram</td> <td>18650</td> </tr> <tr> <td>Berat Agregat (W3), gram</td> <td>7940</td> </tr> <tr> <td>Volume Tabung (V), cm³</td> <td>5419.874</td> </tr> <tr> <td>Berat Volume Padat (V), gram/cm³</td> <td>1.465</td> </tr> </tbody> </table>		Uraian	Hasil Pengamatan	Berat Tabung (W1), gram	10710	Berat Tabung + Agregat SSD (W2), gram	18650	Berat Agregat (W3), gram	7940	Volume Tabung (V), cm ³	5419.874	Berat Volume Padat (V), gram/cm ³	1.465
Uraian	Hasil Pengamatan												
Berat Tabung (W1), gram	10710												
Berat Tabung + Agregat SSD (W2), gram	18650												
Berat Agregat (W3), gram	7940												
Volume Tabung (V), cm ³	5419.874												
Berat Volume Padat (V), gram/cm ³	1.465												
<p>Diperiksa, Laboran</p> <p><i>(Signature)</i> (Darussalam, A.Md)</p>													
<p>Disetujui, Kepala Laboratorium</p> <p><i>(Signature)</i> Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.)</p>													
<div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; text-align: center;"> <p>LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK PROGRAM STUDI (Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.) FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA YOGYAKARTA</p> </div>													

Tabel L-2.9 Data pengujian kuat desak beton GP-0,5



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 Program Studi TEKNIK SIPIL

FORM PENGUJIAN KUAT DESAK SILINDER

No Pengujian :
 Jenis Contoh : Silinder Beton
 Jumlah Contoh : 12 Sampel
 Terima Tanggal : -
 Diuji Tanggal : -
 Diuji Oleh : Muhammad Ridwan
 Diperiksa Oleh : Darussalam, A.Md

Nomor Benda Uji	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengujian	Umur (hari)	Massa Benda Uji (kg)	Dimensi		Luas Bidang (mm ²)	Gaya Tekan (KN)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Ket.
					H(mm)	D(mm)				
GP-0.5/7/1	3/21/2018	3/28/2018	7	13186.0	304.7	150.10	17695.028	22	1.243	-
GP-0.5/7/2	3/21/2018	3/28/2018	7	12932.0	304	150.7	17836.777	19	1.065	-
GP-0.5/7/3	3/21/2018	3/28/2018	7	13491.0	304.9	151.8	18098.118	25	1.381	-
GP-0.5/14/1	3/21/2018	4/4/2018	14	13149.0	304.2	149.9	17647.905	89	5.043	-
GP-0.5/14/2	3/21/2018	4/4/2018	14	13110.0	303.3	150.4	17765.832	108	6.079	-
GP-0.5/14/3	3/21/2018	4/4/2018	14	13208.0	304.7	150.8	17860.457	112	6.271	-
GP-0.5/21/1	3/21/2018	4/11/2018	21	13261.0	305	150	17671.459	158	8.941	-
GP-0.5/21/2	3/21/2018	4/11/2018	21	13077.0	303	150	17671.459	153	8.658	-
GP-0.5/21/3	3/21/2018	4/11/2018	21	13052.0	304.4	150.5	17789.465	147	8.263	-
GP-0.5/28/1	3/21/2018	4/18/2018	28	13324.0	305.2	149.8	17624.366	174	9.873	-
GP-0.5/28/2	3/21/2018	4/18/2018	28	13288.0	303.7	151.1	17931.590	165	9.202	-
GP-0.5/28/3	3/21/2018	21/12/2017	28	13198.0	300.1	150.1	17695.028	151	8.533	-

Diperiksa,
 Laboran


 (Darussalam, A.Md)

Disetujui,
 Kepala Laboratorium

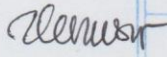
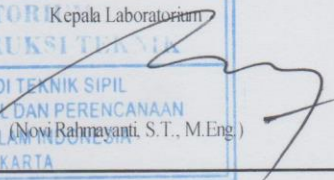
 (Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.)

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK SIPIL
 PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

Tabel L-2.10 Data pengujian kuat desak beton GP-1

 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN Program Studi TEKNIK SIPIL	
FORM PENGUJIAN KUAT DESAK SILINDER	
No Pengujian :	
Jenis Contoh :	Silinder Beton
Jumlah Contoh :	12 Sampel
Terima Tanggal :	-
Diuji Tanggal :	-
Diuji Oleh :	Muhammad Ridwan
Diperiksa Oleh :	Darussalam, A.Md


Nomor Benda Uji	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengujian	Umur (hari)	Massa Benda Uji (kg)	Dimensi		Luas Bidang (mm ²)	Gaya Tekan (KN)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Ket.
					H(mm)	D(mm)				
GP-1/7/1	3/16/2018	3/23/2018	7	13189.0	302.7	151.40	18002.865	105	5.832	-
GP-1/7/2	3/16/2018	3/23/2018	7	13215.0	304	150.6	17813.113	87	4.884	-
GP-1/7/3	3/16/2018	3/23/2018	7	13233.0	303.4	150.1	17695.028	50	2.826	-
GP-1/14/1	3/16/2018	3/30/2018	14	13328.0	305.5	149.4	17530.370	145	8.271	-
GP-1/14/2	3/16/2018	3/30/2018	14	13198.0	304.9	150.3	17742.215	295	16.627	-
GP-1/14/3	3/16/2018	3/30/2018	14	13197.0	304	150.1	17695.028	245	13.846	-
GP-1/21/1	3/16/2018	4/6/2018	21	13241.0	303.9	150.4	17765.832	190	10.695	-
GP-1/21/2	3/16/2018	4/6/2018	21	13360.0	304	151.6	18050.460	260	14.404	-
GP-1/21/3	3/16/2018	4/6/2018	21	13304.0	303.3	151	17907.864	268	14.965	-
GP-1/28/1	3/16/2018	4/13/2018	28	13192.0	305.35	152.7	18313.357	305	16.655	-
GP-1/28/2	3/16/2018	4/13/2018	28	13158.0	305.7	151	17907.864	258	14.407	-
GP-1/28/3	3/16/2018	4/13/2018	28	13213.0	305.8	154.65	18784.071	525	27.949	-

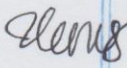
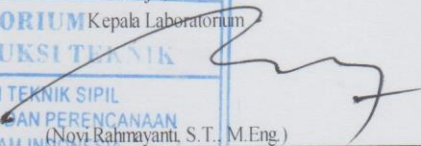
Diperiksa, Laboran  (Darussalam, A.Md)	Ditetapkan, Kepala Laboratorium  (Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng)
--	--

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK SIPIL

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

Tabel L-2.11 Data pengujian kuat desak beton GP-1,5

 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN Program Studi TEKNIK SIPIL		FORM PENGUJIAN KUAT DESAK SILINDER									
No Pengujian : Jenis Contoh : Silinder Beton Jumlah Contoh : 12 Sampel Terima Tanggal : - Diuji Tanggal : - Diuji Oleh : Muhammad Ridwan Diperiksa Oleh : Darussalam, A.Md											
Nomor Benda Uji	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengujian	Umur (hari)	Massa Benda Uji (kg)	Dimensi		Luas Bidang (mm ²)	Gaya Tekan (KN)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Ket.	
					H(mm)	D(mm)					
GP-1.5/7/1	3/12/2018	3/19/2018	7	13300.0	304.4	152.20	18193.623	250	13.741	-	
GP-1.5/7/2	3/12/2018	3/19/2018	7	13187.0	303.7	151.1	17931.590	269	15.001	-	
GP-1.5/7/3	3/12/2018	3/19/2018	7	13405.0	303.8	150.75	17848.615	277	15.519	-	
GP-1.5/14/1	3/12/2018	3/26/2018	14	13371.0	307.2	150.3	17742.215	485	27.336	-	
GP-1.5/14/2	3/12/2018	3/26/2018	14	13058.0	305.7	150.5	17789.465	460	25.858	-	
GP-1.5/14/3	3/12/2018	3/26/2018	14	13206.0	305.3	150.7	17836.777	370	20.744	-	
GP-1.5/21/1	3/12/2018	4/2/2018	21	12889.0	304.5	151.8	18098.118	610	33.705	-	
GP-1.5/21/2	3/12/2018	4/2/2018	21	13150.0	304.8	152	18145.839	670	36.923	-	
GP-1.5/21/3	3/12/2018	4/2/2018	21	12672.0	302.2	150.3	17742.215	565	31.845	-	
GP-1.5/28/1	3/12/2018	4/9/2018	28	13060.0	303.8	150.4	17765.832	620	34.898	-	
GP-1.5/28/2	3/12/2018	4/9/2018	28	13039.0	304.9	150.3	17742.215	690	38.890	-	
GP-1.5/28/3	3/12/2018	4/9/2018	28	13149.0	302.6	149.9	17647.905	540	30.599	-	

Diperiksa Laboran  (Darussalam, A.Md)	Disetujui Kepala Laboratorium  (Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.)
--	--

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA


Tabel L-2.12 Data pengujian kuat desak beton GP-2

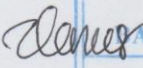
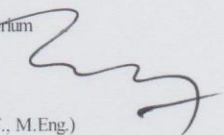
Nomor Benda Uji	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengujian	Umur (hari)	Massa Benda Uji (kg)	Dimensi		Luas Bidang (mm ²)	Gaya Tekan (KN)	Kuat Tekan (MPa)	Ket.
					H(mm)	D(mm)				
GP-2/7/1	3/1/2018	3/8/2018	7	13040.0	300.525	151.80	18098.118	186	10.277	-
GP-2/7/2	3/1/2018	3/8/2018	7	13024.0	301.72	150.75	17848.615	223	12.494	-
GP-2/7/3	3/1/2018	3/8/2018	7	13181.0	302.9	151.25	17967.210	190	10.575	-
GP-2/14/1	3/1/2018	3/15/2018	14	13229.0	306	150.5	17789.465	435	24.453	-
GP-2/14/2	3/1/2018	3/15/2018	14	13494.0	303.1	153.3	18457.556	460	24.922	-
GP-2/14/3	3/1/2018	3/15/2018	14	13384.0	305.7	152.3	18217.538	450	24.701	-
GP-2/21/1	3/1/2018	3/22/2018	21	13030.0	300.9	150.5	17789.465	600	33.728	-
GP-2/21/2	3/1/2018	3/22/2018	21	13220.0	302.8	150.2	17718.614	770	43.457	-
GP-2/21/3	3/1/2018	3/22/2018	21	13339.0	304.4	150.1	17695.028	610	34.473	-
GP-2/28/1	3/1/2018	3/29/2018	28	13192.0	301.5	150.5	17789.465	565	31.760	-
GP-2/28/2	3/1/2018	3/29/2018	28	13513.0	303.7	151.1	17931.590	760	42.383	-
GP-2/28/3	3/1/2018	3/29/2018	28	13338.0	304.2	150.5	17789.465	765	43.003	-

Diperiksa, Laboran	Disetujui, Kepala Laboratorium
	
(Darussalam, A.Md)	(Novri Rahmayanti, S.T., M.Eng.)

LABORATORIUM
SAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

Tabel L-2.13 Data pengujian kuat desak beton GP-2,5

 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN Program Studi TEKNIK SIPIL FORM PENGUJIAN KUAT DESAK SILINDER										
No Pengujian : Jenis Contoh : Silinder Beton Jumlah Contoh : 12 Sampel Terima Tanggal : - Diuji Tanggal : - Diuji Oleh : Muhammad Ridwan Diperiksa Oleh : Darussalam, A.Md										
Nomor Benda Uji	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengujian	Umur (hari)	Massa Benda Uji (kg)	Dimensi		Luas Bidang (mm ²)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Ket.
					H(mm)	D(mm)				
GP-2.5/7/1	2/27/2018	3/6/2018	7	12193.0	298.1	151.00	17907.864	190	10.610	-
GP-2.5/7/2	2/27/2018	3/6/2018	7	13145.0	299.5	152.1	18169.723	232	12.768	-
GP-2.5/7/3	2/27/2018	3/6/2018	7	13125.0	302	150	17671.459	160	9.054	-
GP-2.5/14/1	2/27/2018	3/13/2018	14	12909.0	300.4	151.1	17931.590	410	22.865	-
GP-2.5/14/2	2/27/2018	3/13/2018	14	13111.0	300.75	151.6	18050.460	360	19.944	-
GP-2.5/14/3	2/27/2018	3/13/2018	14	13118.0	303.25	150	17671.459	348	19.693	-
GP-2.5/21/1	2/27/2018	3/20/2018	21	13130.0	298.7	152.4	18241.469	500	27.410	-
GP-2.5/21/2	2/27/2018	3/20/2018	21	12872.0	299.7	150.3	17742.215	525	29.590	-
GP-2.5/21/3	2/27/2018	3/20/2018	21	13189.0	303.5	150.9	17884.152	540	30.194	-
GP-2.5/28/1	2/27/2018	3/27/2018	28	13287.0	302.45	151.4	18002.865	615	34.161	-
GP-2.5/28/2	2/27/2018	3/27/2018	28	12945.0	298.8	151.1	17931.590	635	35.412	-
GP-2.5/28/3	2/27/2018	3/27/2018	28	13075.0	300.7	151.3	17979.091	625	34.763	-

Diperiksa, Laboran  (Darussalam, A.Md)	Disetujui, Kepala Laboratorium  (Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.)
--	--

LABORATORIUM
SAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

Tabel L-2.14 Data pengujian tegangan tekan regangan GP-2,5/10

No	Beban (kN)	ΔL x 0,001 (mm)	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	σ (N/mm ²)	ϵ
1	0	0,0000	18002,87	200	0,000	0,0000000
2	10	0,0050	18002,87	200	0,555	0,0000250
3	20	0,0075	18002,87	200	1,111	0,0000375
4	30	0,0140	18002,87	200	1,666	0,0000700
5	40	0,0215	18002,87	200	2,222	0,0001075
6	50	0,0240	18002,87	200	2,777	0,0001200
7	60	0,0295	18002,87	200	3,333	0,0001475
8	70	0,0350	18002,87	200	3,888	0,0001750
9	80	0,0405	18002,87	200	4,444	0,0002025
10	90	0,0465	18002,87	200	4,999	0,0002325
11	100	0,0500	18002,87	200	5,555	0,0002500
12	110	0,0560	18002,87	200	6,110	0,0002800
13	120	0,0610	18002,87	200	6,666	0,0003050
14	130	0,0655	18002,87	200	7,221	0,0003275
15	140	0,0700	18002,87	200	7,777	0,0003500
16	150	0,0740	18002,87	200	8,332	0,0003700
17	160	0,0795	18002,87	200	8,887	0,0003975
18	170	0,0850	18002,87	200	9,443	0,0004250
19	180	0,0900	18002,87	200	9,998	0,0004500
20	190	0,0960	18002,87	200	10,554	0,0004800
21	200	0,1015	18002,87	200	11,109	0,0005075
22	210	0,1080	18002,87	200	11,665	0,0005400
23	220	0,1120	18002,87	200	12,220	0,0005600
24	230	0,1160	18002,87	200	12,776	0,0005800
25	240	0,1230	18002,87	200	13,331	0,0006150
26	250	0,1290	18002,87	200	13,887	0,0006450
27	260	0,1360	18002,87	200	14,442	0,0006800
28	270	0,1420	18002,87	200	14,998	0,0007100
29	280	0,1470	18002,87	200	15,553	0,0007350
30	290	0,1550	18002,87	200	16,109	0,0007750
31	300	0,1610	18002,87	200	16,664	0,0008050
32	310	0,1670	18002,87	200	17,219	0,0008350
33	320	0,1735	18002,87	200	17,775	0,0008675
34	330	0,1800	18002,87	200	18,330	0,0009000
35	340	0,1895	18002,87	200	18,886	0,0009475
36	350	0,1950	18002,87	200	19,441	0,0009750
37	360	0,2000	18002,87	200	19,997	0,0010000
38	370	0,2060	18002,87	200	20,552	0,0010300

39	380	0,2150	18002,87	200	21,108	0,0010750
40	390	0,2180	18002,87	200	21,663	0,0010900
41	400	0,2255	18002,87	200	22,219	0,0011275
42	410	0,2325	18002,87	200	22,774	0,0011625
43	420	0,2410	18002,87	200	23,330	0,0012050
44	430	0,2475	18002,87	200	23,885	0,0012375
45	440	0,2550	18002,87	200	24,441	0,0012750
46	450	0,2625	18002,87	200	24,996	0,0013125
47	460	0,2700	18002,87	200	25,551	0,0013500
48	470	0,2790	18002,87	200	26,107	0,0013950
49	480	0,2875	18002,87	200	26,662	0,0014375
50	490	0,2950	18002,87	200	27,218	0,0014750
51	500	0,3000	18002,87	200	27,773	0,0015000
52	510	0,3100	18002,87	200	28,329	0,0015500
53	520	0,3175	18002,87	200	28,884	0,0015875
54	530	0,3280	18002,87	200	29,440	0,0016400
55	540	0,3400	18002,87	200	29,995	0,0017000
56	550	0,3500	18002,87	200	30,551	0,0017500
57	560	0,3600	18002,87	200	31,106	0,0018000
58	570	0,3675	18002,87	200	31,662	0,0018375
59	580	0,3760	18002,87	200	32,217	0,0018800
60	590	0,3910	18002,87	200	32,773	0,0019550
61	600	0,4040	18002,87	200	33,328	0,0020200
62	610	0,4190	18002,87	200	33,883	0,0020950
63	615	0,4380	18002,87	200	34,161	0,0021900
64	610	0,4650	18002,87	200	33,883	0,0023250

Tabel L-2.15 Data pengujian tegangan tekan regangan GP-2,5/11

No	Beban (kN)	ΔL (mm)	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	σ (N/mm ²)	ϵ
1	0	0,0000	17931,59	200	0,0000	0,0000000
2	10	0,0000	17931,59	200	0,5577	0,0000000
3	20	0,0040	17931,59	200	1,1154	0,0000200
4	30	0,0090	17931,59	200	1,6730	0,0000450
5	40	0,0140	17931,59	200	2,2307	0,0000700
6	50	0,0195	17931,59	200	2,7884	0,0000975
7	60	0,0250	17931,59	200	3,3461	0,0001250
8	70	0,0310	17931,59	200	3,9037	0,0001550
9	80	0,0360	17931,59	200	4,4614	0,0001800
10	90	0,0400	17931,59	200	5,0191	0,0002000
11	100	0,0450	17931,59	200	5,5768	0,0002250
12	110	0,0490	17931,59	200	6,1344	0,0002450
13	120	0,0550	17931,59	200	6,6921	0,0002750
14	130	0,0640	17931,59	200	7,2498	0,0003200
15	140	0,0675	17931,59	200	7,8075	0,0003375
16	150	0,0720	17931,59	200	8,3651	0,0003600
17	160	0,0770	17931,59	200	8,9228	0,0003850
18	170	0,0835	17931,59	200	9,4805	0,0004175
19	180	0,0900	17931,59	200	10,0382	0,0004500
20	190	0,0945	17931,59	200	10,5958	0,0004725
21	200	0,1050	17931,59	200	11,1535	0,0005250
22	210	0,1090	17931,59	200	11,7112	0,0005450
23	220	0,1175	17931,59	200	12,2689	0,0005875
24	230	0,1270	17931,59	200	12,8265	0,0006350
25	240	0,1320	17931,59	200	13,3842	0,0006600
26	250	0,1375	17931,59	200	13,9419	0,0006875
27	260	0,1425	17931,59	200	14,4996	0,0007125
28	270	0,1505	17931,59	200	15,0572	0,0007525
29	280	0,1575	17931,59	200	15,6149	0,0007875
30	290	0,1640	17931,59	200	16,1726	0,0008200
31	300	0,1725	17931,59	200	16,7303	0,0008625
32	310	0,1775	17931,59	200	17,2879	0,0008875
33	320	0,1850	17931,59	200	17,8456	0,0009250
34	330	0,1915	17931,59	200	18,4033	0,0009575
35	340	0,2000	17931,59	200	18,9610	0,0010000
36	350	0,2075	17931,59	200	19,5186	0,0010375
37	360	0,2190	17931,59	200	20,0763	0,0010950
38	370	0,2335	17931,59	200	20,6340	0,0011675

39	380	0,2330	17931,59	200	21,1917	0,0011650
40	390	0,2410	17931,59	200	21,7493	0,0012050
41	400	0,2470	17931,59	200	22,3070	0,0012350
42	410	0,2450	17931,59	200	22,8647	0,0012250
43	420	0,2550	17931,59	200	23,4224	0,0012750
44	430	0,2625	17931,59	200	23,9800	0,0013125
45	440	0,2670	17931,59	200	24,5377	0,0013350
46	450	0,2770	17931,59	200	25,0954	0,0013850
47	460	0,2820	17931,59	200	25,6531	0,0014100
48	470	0,2920	17931,59	200	26,2107	0,0014600
49	480	0,3005	17931,59	200	26,7684	0,0015025
50	490	0,3105	17931,59	200	27,3261	0,0015525
51	500	0,3180	17931,59	200	27,8838	0,0015900
52	510	0,3245	17931,59	200	28,4414	0,0016225
53	520	0,3330	17931,59	200	28,9991	0,0016650
54	530	0,3440	17931,59	200	29,5568	0,0017200
55	540	0,3590	17931,59	200	30,1145	0,0017950
56	550	0,3670	17931,59	200	30,6721	0,0018350
57	560	0,3750	17931,59	200	31,2298	0,0018750
58	570	0,3860	17931,59	200	31,7875	0,0019300
59	580	0,4005	17931,59	200	32,3452	0,0020025
60	590	0,4165	17931,59	200	32,9028	0,0020825
61	600	0,4325	17931,59	200	33,4605	0,0021625
62	610	0,4510	17931,59	200	34,0182	0,0022550
63	620	0,4775	17931,59	200	34,5759	0,0023875
64	635	0,5100	17931,59	200	35,4124	0,0025500
65	620	0,5550	17931,59	200	34,5759	0,0027750

Tabel L-2.16 Data pengujian tegangan tekan regangan GP-2,5/12

No	Beban (kN)	ΔL x 0,001 (mm)	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	σ (N/mm ²)	ϵ
1	0	0,0000	17979,09	200	0,000	0,0000000
2	10	0,0050	17979,09	200	0,556	0,0000250
3	20	0,0100	17979,09	200	1,112	0,0000500
4	30	0,0165	17979,09	200	1,669	0,0000825
5	40	0,0210	17979,09	200	2,225	0,0001050
6	50	0,0275	17979,09	200	2,781	0,0001375
7	60	0,0340	17979,09	200	3,337	0,0001700
8	70	0,0420	17979,09	200	3,893	0,0002100
9	80	0,0470	17979,09	200	4,450	0,0002350
10	90	0,0525	17979,09	200	5,006	0,0002625
11	100	0,0550	17979,09	200	5,562	0,0002750
12	110	0,0600	17979,09	200	6,118	0,0003000
13	120	0,0670	17979,09	200	6,674	0,0003350
14	130	0,0710	17979,09	200	7,231	0,0003550
15	140	0,0775	17979,09	200	7,787	0,0003875
16	150	0,0825	17979,09	200	8,343	0,0004125
17	160	0,0900	17979,09	200	8,899	0,0004500
18	170	0,0950	17979,09	200	9,455	0,0004750
19	180	0,1070	17979,09	200	10,012	0,0005350
20	190	0,1075	17979,09	200	10,568	0,0005375
21	200	0,1125	17979,09	200	11,124	0,0005625
22	210	0,1200	17979,09	200	11,680	0,0006000
23	220	0,1250	17979,09	200	12,236	0,0006250
24	230	0,1315	17979,09	200	12,793	0,0006575
25	240	0,1395	17979,09	200	13,349	0,0006975
26	250	0,1450	17979,09	200	13,905	0,0007250
27	260	0,1490	17979,09	200	14,461	0,0007450
28	270	0,1520	17979,09	200	15,017	0,0007600
29	280	0,1575	17979,09	200	15,574	0,0007875
30	290	0,1625	17979,09	200	16,130	0,0008125
31	300	0,1690	17979,09	200	16,686	0,0008450
32	310	0,1760	17979,09	200	17,242	0,0008800
33	320	0,1820	17979,09	200	17,798	0,0009100
34	330	0,1875	17979,09	200	18,355	0,0009375
35	340	0,1925	17979,09	200	18,911	0,0009625
36	350	0,2000	17979,09	200	19,467	0,0010000
37	360	0,2075	17979,09	200	20,023	0,0010375
38	370	0,2125	17979,09	200	20,579	0,0010625

39	380	0,2170	17979,09	200	21,136	0,0010850
40	390	0,2235	17979,09	200	21,692	0,0011175
41	400	0,2300	17979,09	200	22,248	0,0011500
42	410	0,2365	17979,09	200	22,804	0,0011825
43	420	0,2425	17979,09	200	23,360	0,0012125
44	430	0,2475	17979,09	200	23,917	0,0012375
45	440	0,2540	17979,09	200	24,473	0,0012700
46	450	0,2625	17979,09	200	25,029	0,0013125
47	460	0,2690	17979,09	200	25,585	0,0013450
48	470	0,2755	17979,09	200	26,141	0,0013775
49	480	0,2830	17979,09	200	26,698	0,0014150
50	490	0,2905	17979,09	200	27,254	0,0014525
51	500	0,3050	17979,09	200	27,810	0,0015250
52	510	0,3130	17979,09	200	28,366	0,0015650
53	520	0,3210	17979,09	200	28,922	0,0016050
54	530	0,3300	17979,09	200	29,479	0,0016500
55	540	0,3390	17979,09	200	30,035	0,0016950
56	550	0,3455	17979,09	200	30,591	0,0017275
57	560	0,3550	17979,09	200	31,147	0,0017750
58	570	0,3600	17979,09	200	31,703	0,0018000
59	580	0,3740	17979,09	200	32,260	0,0018700
60	590	0,3850	17979,09	200	32,816	0,0019250
61	600	0,3950	17979,09	200	33,372	0,0019750
62	610	0,4100	17979,09	200	33,928	0,0020500
63	625	0,4250	17979,09	200	34,763	0,0021250
64	610	0,4400	17979,09	200	33,928	0,0022000

Tabel L-2.17 Data pengujian tegangan tekan regangan GP-2/10

No	Beban (kN)	ΔL x 0,001 (mm)	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	σ (N/mm ²)	ϵ
1	0	0,0000	17789,46	200	0,000	0,0000000
2	10	0,0030	17789,46	200	0,562	0,0000150
3	20	0,0055	17789,46	200	1,124	0,0000275
4	30	0,0110	17789,46	200	1,686	0,0000550
5	40	0,0160	17789,46	200	2,249	0,0000800
6	50	0,0200	17789,46	200	2,811	0,0001000
7	60	0,0250	17789,46	200	3,373	0,0001250
8	70	0,0300	17789,46	200	3,935	0,0001500
9	80	0,0350	17789,46	200	4,497	0,0001750
10	90	0,0400	17789,46	200	5,059	0,0002000
11	100	0,0450	17789,46	200	5,621	0,0002250
12	110	0,0500	17789,46	200	6,183	0,0002500
13	120	0,0550	17789,46	200	6,746	0,0002750
14	130	0,0600	17789,46	200	7,308	0,0003000
15	140	0,0615	17789,46	200	7,870	0,0003075
16	150	0,0625	17789,46	200	8,432	0,0003125
17	160	0,0725	17789,46	200	8,994	0,0003625
18	170	0,0775	17789,46	200	9,556	0,0003875
19	180	0,0800	17789,46	200	10,118	0,0004000
20	190	0,0850	17789,46	200	10,680	0,0004250
21	200	0,0900	17789,46	200	11,243	0,0004500
22	210	0,0950	17789,46	200	11,805	0,0004750
23	220	0,1000	17789,46	200	12,367	0,0005000
24	230	0,1050	17789,46	200	12,929	0,0005250
25	240	0,1100	17789,46	200	13,491	0,0005500
26	250	0,1150	17789,46	200	14,053	0,0005750
27	260	0,1175	17789,46	200	14,615	0,0005875
28	270	0,1225	17789,46	200	15,178	0,0006125
29	280	0,1275	17789,46	200	15,740	0,0006375
30	290	0,1325	17789,46	200	16,302	0,0006625
31	300	0,1350	17789,46	200	16,864	0,0006750
32	310	0,1400	17789,46	200	17,426	0,0007000
33	320	0,1450	17789,46	200	17,988	0,0007250
34	330	0,1500	17789,46	200	18,550	0,0007500
35	340	0,1550	17789,46	200	19,112	0,0007750
36	350	0,1600	17789,46	200	19,675	0,0008000
37	360	0,1650	17789,46	200	20,237	0,0008250
38	370	0,1700	17789,46	200	20,799	0,0008500

39	380	0,1750	17789,46	200	21,361	0,0008750
40	390	0,1825	17789,46	200	21,923	0,0009125
41	400	0,1850	17789,46	200	22,485	0,0009250
42	410	0,1900	17789,46	200	23,047	0,0009500
43	420	0,1950	17789,46	200	23,609	0,0009750
44	430	0,1990	17789,46	200	24,172	0,0009950
45	440	0,2050	17789,46	200	24,734	0,0010250
46	450	0,2100	17789,46	200	25,296	0,0010500
47	460	0,2150	17789,46	200	25,858	0,0010750
48	470	0,2175	17789,46	200	26,420	0,0010875
49	480	0,2225	17789,46	200	26,982	0,0011125
50	490	0,2300	17789,46	200	27,544	0,0011500
51	500	0,2350	17789,46	200	28,107	0,0011750
52	510	0,2390	17789,46	200	28,669	0,0011950
53	520	0,2425	17789,46	200	29,231	0,0012125
54	530	0,2475	17789,46	200	29,793	0,0012375
55	540	0,2550	17789,46	200	30,355	0,0012750
56	550	0,2600	17789,46	200	30,917	0,0013000
57	565	0,2650	17789,46	200	31,760	0,0013250
58	550	0,2725	17789,46	200	30,917	0,0013625

Tabel L-2.18 Data pengujian tegangan tekan regangan GP-2/11

No	Beban (KN)	ΔL (mm)	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	τ (N/mm ²)	ε
1	0	0,0000	17931,59	200	0,0000	0,0000000
2	10	0,0020	17931,59	200	0,5577	0,0000100
3	20	0,0050	17931,59	200	1,1154	0,0000250
4	30	0,0075	17931,59	200	1,6730	0,0000375
5	40	0,0125	17931,59	200	2,2307	0,0000625
6	50	0,0175	17931,59	200	2,7884	0,0000875
7	60	0,0200	17931,59	200	3,3461	0,0001000
8	70	0,0250	17931,59	200	3,9037	0,0001250
9	80	0,0300	17931,59	200	4,4614	0,0001500
10	90	0,0350	17931,59	200	5,0191	0,0001750
11	100	0,0375	17931,59	200	5,5768	0,0001875
12	110	0,0425	17931,59	200	6,1344	0,0002125
13	120	0,0450	17931,59	200	6,6921	0,0002250
14	130	0,0500	17931,59	200	7,2498	0,0002500
15	140	0,0550	17931,59	200	7,8075	0,0002750
16	150	0,0600	17931,59	200	8,3651	0,0003000
17	160	0,0650	17931,59	200	8,9228	0,0003250
18	170	0,0700	17931,59	200	9,4805	0,0003500
19	180	0,0750	17931,59	200	10,0382	0,0003750
20	190	0,0775	17931,59	200	10,5958	0,0003875
21	200	0,0825	17931,59	200	11,1535	0,0004125
22	210	0,0850	17931,59	200	11,7112	0,0004250
23	220	0,0900	17931,59	200	12,2689	0,0004500
24	230	0,0950	17931,59	200	12,8265	0,0004750
25	240	0,1000	17931,59	200	13,3842	0,0005000
26	250	0,1050	17931,59	200	13,9419	0,0005250
27	260	0,1100	17931,59	200	14,4996	0,0005500
28	270	0,1150	17931,59	200	15,0572	0,0005750
29	280	0,1200	17931,59	200	15,6149	0,0006000
30	290	0,1225	17931,59	200	16,1726	0,0006125
31	300	0,1275	17931,59	200	16,7303	0,0006375
32	310	0,1360	17931,59	200	17,2879	0,0006800
33	320	0,1400	17931,59	200	17,8456	0,0007000
34	330	0,1410	17931,59	200	18,4033	0,0007050
35	340	0,1475	17931,59	200	18,9610	0,0007375
36	350	0,1510	17931,59	200	19,5186	0,0007550
37	360	0,1550	17931,59	200	20,0763	0,0007750

38	370	0,1610	17931,59	200	20,6340	0,0008050
39	380	0,1650	17931,59	200	21,1917	0,0008250
40	390	0,1700	17931,59	200	21,7493	0,0008500
41	400	0,1750	17931,59	200	22,3070	0,0008750
42	410	0,1800	17931,59	200	22,8647	0,0009000
43	420	0,1850	17931,59	200	23,4224	0,0009250
44	430	0,1900	17931,59	200	23,9800	0,0009500
45	440	0,1975	17931,59	200	24,5377	0,0009875
46	450	0,2005	17931,59	200	25,0954	0,0010025
47	460	0,2035	17931,59	200	25,6531	0,0010175
48	470	0,2100	17931,59	200	26,2107	0,0010500
49	480	0,2175	17931,59	200	26,7684	0,0010875
50	490	0,2250	17931,59	200	27,3261	0,0011250
51	500	0,2290	17931,59	200	27,8838	0,0011450
52	510	0,2325	17931,59	200	28,4414	0,0011625
53	520	0,2375	17931,59	200	28,9991	0,0011875
54	530	0,2450	17931,59	200	29,5568	0,0012250
55	540	0,2510	17931,59	200	30,1145	0,0012550
56	550	0,2550	17931,59	200	30,6721	0,0012750
57	560	0,2600	17931,59	200	31,2298	0,0013000
58	570	0,2650	17931,59	200	31,7875	0,0013250
59	580	0,2725	17931,59	200	32,3452	0,0013625
60	590	0,2800	17931,59	200	32,9028	0,0014000
61	600	0,2850	17931,59	200	33,4605	0,0014250
62	610	0,2900	17931,59	200	34,0182	0,0014500
63	620	0,2950	17931,59	200	34,5759	0,0014750
64	630	0,2990	17931,59	200	35,1335	0,0014950
65	640	0,3050	17931,59	200	35,6912	0,0015250
66	650	0,3100	17931,59	201	36,2489	0,0015423
67	660	0,3180	17931,59	202	36,8066	0,0015743
68	670	0,3250	17931,59	203	37,3642	0,0016010
69	680	0,3350	17931,59	204	37,9219	0,0016422
70	690	0,3400	17931,59	205	38,4796	0,0016585
71	700	0,3490	17931,59	206	39,0373	0,0016942
72	710	0,3575	17931,59	207	39,5949	0,0017271
73	720	0,3700	17931,59	208	40,1526	0,0017788
74	730	0,3775	17931,59	209	40,7103	0,0018062
75	740	0,3825	17931,59	210	41,2680	0,0018214
76	750	0,3950	17931,59	211	41,8256	0,0018720
77	760	0,4030	17931,59	212	42,3833	0,0019009
78	750	0,4100	17931,59	213	41,8256	0,0019249

Tabel L-2.19 Data pengujian tegangan tekan regangan GP-2/12

No	Beban (KN)	ΔL (mm)	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	τ (N/mm ²)	ϵ
1	0	0,0000	17789,46475	200	0,0000	0,0000000
2	10	0,0075	17789,46475	200	0,5621	0,0000375
3	20	0,0175	17789,46475	200	1,1243	0,0000875
4	30	0,0275	17789,46475	200	1,6864	0,0001375
5	40	0,0325	17789,46475	200	2,2485	0,0001625
6	50	0,0400	17789,46475	200	2,8107	0,0002000
7	60	0,0450	17789,46475	200	3,3728	0,0002250
8	70	0,0510	17789,46475	200	3,9349	0,0002550
9	80	0,0550	17789,46475	200	4,4970	0,0002750
10	90	0,0575	17789,46475	200	5,0592	0,0002875
11	100	0,0700	17789,46475	200	5,6213	0,0003500
12	110	0,0750	17789,46475	200	6,1834	0,0003750
13	120	0,0800	17789,46475	200	6,7456	0,0004000
14	130	0,0850	17789,46475	200	7,3077	0,0004250
15	140	0,0900	17789,46475	200	7,8698	0,0004500
16	150	0,0950	17789,46475	200	8,4320	0,0004750
17	160	0,1010	17789,46475	200	8,9941	0,0005050
18	170	0,1075	17789,46475	200	9,5562	0,0005375
19	180	0,1125	17789,46475	200	10,1183	0,0005625
20	190	0,1175	17789,46475	200	10,6805	0,0005875
21	200	0,1250	17789,46475	200	11,2426	0,0006250
22	210	0,1290	17789,46475	200	11,8047	0,0006450
23	220	0,1330	17789,46475	200	12,3669	0,0006650
24	230	0,1400	17789,46475	200	12,9290	0,0007000
25	240	0,1440	17789,46475	200	13,4911	0,0007200
26	250	0,1510	17789,46475	200	14,0533	0,0007550
27	260	0,1550	17789,46475	200	14,6154	0,0007750
28	270	0,1600	17789,46475	200	15,1775	0,0008000
29	280	0,1650	17789,46475	200	15,7397	0,0008250
30	290	0,1700	17789,46475	200	16,3018	0,0008500
31	300	0,1755	17789,46475	200	16,8639	0,0008775
32	310	0,1815	17789,46475	200	17,4260	0,0009075
33	320	0,1900	17789,46475	200	17,9882	0,0009500
34	330	0,1950	17789,46475	200	18,5503	0,0009750
35	340	0,1990	17789,46475	200	19,1124	0,0009950
36	350	0,2050	17789,46475	200	19,6746	0,0010250
37	360	0,2100	17789,46475	200	20,2367	0,0010500

38	370	0,2150	17789,46475	200	20,7988	0,0010750
39	380	0,2225	17789,46475	200	21,3610	0,0011125
40	390	0,2280	17789,46475	200	21,9231	0,0011400
41	400	0,2330	17789,46475	200	22,4852	0,0011650
42	410	0,2400	17789,46475	200	23,0473	0,0012000
43	420	0,2450	17789,46475	200	23,6095	0,0012250
44	430	0,2510	17789,46475	200	24,1716	0,0012550
45	440	0,2550	17789,46475	200	24,7337	0,0012750
46	450	0,2650	17789,46475	200	25,2959	0,0013250
47	460	0,2700	17789,46475	200	25,8580	0,0013500
48	470	0,2750	17789,46475	200	26,4201	0,0013750
49	480	0,2790	17789,46475	200	26,9823	0,0013950
50	490	0,2860	17789,46475	200	27,5444	0,0014300
51	500	0,2925	17789,46475	200	28,1065	0,0014625
52	510	0,2990	17789,46475	200	28,6687	0,0014950
53	520	0,3050	17789,46475	200	29,2308	0,0015250
54	530	0,3125	17789,46475	200	29,7929	0,0015625
55	540	0,3220	17789,46475	200	30,3550	0,0016100
56	550	0,3260	17789,46475	200	30,9172	0,0016300
57	560	0,3310	17789,46475	200	31,4793	0,0016550
58	570	0,3375	17789,46475	200	32,0414	0,0016875
59	580	0,3425	17789,46475	200	32,6036	0,0017125
60	590	0,3480	17789,46475	200	33,1657	0,0017400
61	600	0,3550	17789,46475	200	33,7278	0,0017750
62	610	0,3600	17789,46475	200	34,2900	0,0018000
63	620	0,3660	17789,46475	200	34,8521	0,0018300
64	630	0,3730	17789,46475	200	35,4142	0,0018650
65	640	0,3815	17789,46475	201	35,9763	0,0018980
66	650	0,3890	17789,46475	202	36,5385	0,0019257
67	660	0,3945	17789,46475	203	37,1006	0,0019433
68	670	0,4050	17789,46475	204	37,6627	0,0019853
69	680	0,4150	17789,46475	205	38,2249	0,0020244
70	690	0,4220	17789,46475	206	38,7870	0,0020485
71	700	0,4280	17789,46475	207	39,3491	0,0020676
72	710	0,4390	17789,46475	208	39,9113	0,0021106
73	720	0,4425	17789,46475	209	40,4734	0,0021172
74	730	0,4510	17789,46475	210	41,0355	0,0021476
75	740	0,4650	17789,46475	211	41,5977	0,0022038
76	750	0,4800	17789,46475	212	42,1598	0,0022642
77	765	0,5115	17789,46475	213	43,0030	0,0024014
78	750	0,5265	17789,46475	214	42,1598	0,0024603

Tabel L-2.20 Data pengujian tegangan tekan regangan GP-1,5/10

No	Beban (KN)	ΔL x 0,001 (mm)	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	τ (N/mm ²)	ε
1	0	0,0000	17765,83212	200	0,000	0,0000000
2	10	0,0030	17765,83212	200	0,563	0,0000150
3	20	0,0080	17765,83212	200	1,126	0,0000400
4	30	0,0130	17765,83212	200	1,689	0,0000650
5	40	0,0200	17765,83212	200	2,252	0,0001000
6	50	0,0275	17765,83212	200	2,814	0,0001375
7	60	0,0340	17765,83212	200	3,377	0,0001700
8	70	0,0405	17765,83212	200	3,940	0,0002025
9	80	0,0475	17765,83212	200	4,503	0,0002375
10	90	0,0545	17765,83212	200	5,066	0,0002725
11	100	0,0600	17765,83212	200	5,629	0,0003000
12	110	0,0685	17765,83212	200	6,192	0,0003425
13	120	0,0755	17765,83212	200	6,755	0,0003775
14	130	0,0805	17765,83212	200	7,317	0,0004025
15	140	0,0855	17765,83212	200	7,880	0,0004275
16	150	0,0920	17765,83212	200	8,443	0,0004600
17	160	0,1000	17765,83212	200	9,006	0,0005000
18	170	0,1065	17765,83212	200	9,569	0,0005325
19	180	0,1125	17765,83212	200	10,132	0,0005625
20	190	0,1200	17765,83212	200	10,695	0,0006000
21	200	0,1260	17765,83212	200	11,258	0,0006300
22	210	0,1325	17765,83212	200	11,820	0,0006625
23	220	0,1375	17765,83212	200	12,383	0,0006875
24	230	0,1450	17765,83212	200	12,946	0,0007250
25	240	0,1520	17765,83212	200	13,509	0,0007600
26	250	0,1575	17765,83212	200	14,072	0,0007875
27	260	0,1650	17765,83212	200	14,635	0,0008250
28	270	0,1705	17765,83212	200	15,198	0,0008525
29	280	0,1770	17765,83212	200	15,761	0,0008850
30	290	0,1825	17765,83212	200	16,323	0,0009125
31	300	0,1900	17765,83212	200	16,886	0,0009500
32	310	0,1975	17765,83212	200	17,449	0,0009875
33	320	0,2025	17765,83212	200	18,012	0,0010125
34	330	0,2100	17765,83212	200	18,575	0,0010500
35	340	0,2125	17765,83212	200	19,138	0,0010625
36	350	0,2175	17765,83212	200	19,701	0,0010875
37	360	0,2205	17765,83212	200	20,264	0,0011025

38	370	0,2250	17765,83212	200	20,826	0,0011250
39	380	0,2325	17765,83212	200	21,389	0,0011625
40	390	0,2400	17765,83212	200	21,952	0,0012000
41	400	0,2450	17765,83212	200	22,515	0,0012250
42	410	0,2525	17765,83212	200	23,078	0,0012625
43	420	0,2600	17765,83212	200	23,641	0,0013000
44	430	0,2700	17765,83212	200	24,204	0,0013500
45	440	0,2775	17765,83212	200	24,767	0,0013875
46	450	0,2800	17765,83212	200	25,330	0,0014000
47	460	0,2895	17765,83212	200	25,892	0,0014475
48	470	0,3000	17765,83212	200	26,455	0,0015000
49	480	0,3075	17765,83212	200	27,018	0,0015375
50	490	0,3150	17765,83212	200	27,581	0,0015750
51	500	0,3200	17765,83212	200	28,144	0,0016000
52	510	0,3300	17765,83212	200	28,707	0,0016500
53	520	0,3400	17765,83212	200	29,270	0,0017000
54	530	0,3470	17765,83212	200	29,833	0,0017350
55	540	0,3560	17765,83212	200	30,395	0,0017800
56	550	0,3650	17765,83212	200	30,958	0,0018250
57	560	0,3725	17765,83212	200	31,521	0,0018625
58	570	0,3825	17765,83212	200	32,084	0,0019125
59	580	0,3925	17765,83212	200	32,647	0,0019625
60	590	0,4060	17765,83212	200	33,210	0,0020300
61	600	0,4225	17765,83212	200	33,773	0,0021125
62	610	0,4775	17765,83212	200	34,336	0,0023875
63	620	0,4950	17765,83212	200	34,898	0,0024750
64	610	0,5075	17765,83212	201	34,336	0,0025249

Tabel L-2.21 Data pengujian tegangan tekan regangan GP-1,5/11

No	Beban (KN)	ΔL (mm)	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	τ (N/mm ²)	ϵ
1	0	0,0000	17742,22	200	0,0000	0,0000000
2	10	0,0025	17742,22	200	0,5636	0,0000125
3	20	0,0070	17742,22	200	1,1273	0,0000350
4	30	0,0130	17742,22	200	1,6909	0,0000650
5	40	0,0215	17742,22	200	2,2545	0,0001075
6	50	0,0270	17742,22	200	2,8181	0,0001350
7	60	0,0350	17742,22	200	3,3818	0,0001750
8	70	0,0410	17742,22	200	3,9454	0,0002050
9	80	0,0480	17742,22	200	4,5090	0,0002400
10	90	0,0550	17742,22	200	5,0726	0,0002750
11	100	0,0600	17742,22	200	5,6363	0,0003000
12	110	0,0675	17742,22	200	6,1999	0,0003375
13	120	0,0750	17742,22	200	6,7635	0,0003750
14	130	0,0810	17742,22	200	7,3272	0,0004050
15	140	0,0875	17742,22	200	7,8908	0,0004375
16	150	0,0950	17742,22	200	8,4544	0,0004750
17	160	0,1020	17742,22	200	9,0180	0,0005100
18	170	0,1040	17742,22	200	9,5817	0,0005200
19	180	0,1150	17742,22	200	10,1453	0,0005750
20	190	0,1225	17742,22	200	10,7089	0,0006125
21	200	0,1280	17742,22	200	11,2725	0,0006400
22	210	0,1350	17742,22	200	11,8362	0,0006750
23	220	0,1425	17742,22	200	12,3998	0,0007125
24	230	0,1475	17742,22	200	12,9634	0,0007375
25	240	0,1550	17742,22	200	13,5271	0,0007750
26	250	0,1610	17742,22	200	14,0907	0,0008050
27	260	0,1685	17742,22	200	14,6543	0,0008425
28	270	0,1760	17742,22	200	15,2179	0,0008800
29	280	0,1815	17742,22	200	15,7816	0,0009075
30	290	0,1880	17742,22	200	16,3452	0,0009400
31	300	0,1930	17742,22	200	16,9088	0,0009650
32	310	0,1980	17742,22	200	17,4725	0,0009900
33	320	0,2030	17742,22	200	18,0361	0,0010150
34	330	0,2080	17742,22	200	18,5997	0,0010400
35	340	0,2130	17742,22	200	19,1633	0,0010650
36	350	0,2180	17742,22	200	19,7270	0,0010900
37	360	0,2230	17742,22	200	20,2906	0,0011150

38	370	0,2280	17742,22	200	20,8542	0,0011400
39	380	0,2330	17742,22	200	21,4178	0,0011650
40	390	0,2380	17742,22	200	21,9815	0,0011900
41	400	0,2450	17742,22	200	22,5451	0,0012250
42	410	0,2525	17742,22	200	23,1087	0,0012625
43	420	0,2600	17742,22	200	23,6724	0,0013000
44	430	0,2650	17742,22	200	24,2360	0,0013250
45	440	0,2700	17742,22	200	24,7996	0,0013500
46	450	0,2850	17742,22	200	25,3632	0,0014250
47	460	0,2930	17742,22	200	25,9269	0,0014650
48	470	0,3015	17742,22	200	26,4905	0,0015075
49	480	0,3100	17742,22	200	27,0541	0,0015500
50	490	0,3250	17742,22	200	27,6177	0,0016250
51	500	0,3375	17742,22	200	28,1814	0,0016875
52	510	0,3450	17742,22	200	28,7450	0,0017250
53	520	0,3510	17742,22	200	29,3086	0,0017550
54	530	0,3615	17742,22	200	29,8723	0,0018075
55	540	0,3700	17742,22	200	30,4359	0,0018500
56	550	0,3775	17742,22	200	30,9995	0,0018875
57	560	0,3850	17742,22	200	31,5631	0,0019250
58	570	0,3950	17742,22	200	32,1268	0,0019750
59	580	0,4050	17742,22	200	32,6904	0,0020250
60	590	0,4100	17742,22	200	33,2540	0,0020500
61	600	0,4175	17742,22	200	33,8176	0,0020875
62	610	0,4280	17742,22	200	34,3813	0,0021400
63	620	0,4390	17742,22	200	34,9449	0,0021950
64	630	0,4480	17742,22	200	35,5085	0,0022400
65	640	0,4550	17742,22	200	36,0722	0,0022750
66	650	0,4575	17742,22	200	36,6358	0,0022875
67	660	0,4700	17742,22	200	37,1994	0,0023500
68	670	0,4825	17742,22	200	37,7630	0,0024125
69	680	0,4950	17742,22	200	38,3267	0,0024750
70	690	0,5150	17742,22	200	38,8903	0,0025750
71	680	0,5350	17742,22	201	38,3267	0,0026617

Tabel L-2.22 Data pengujian tegangan tekan regangan GP-1,5/12

No	Beban (KN)	ΔL (mm)	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	τ (N/mm ²)	ϵ
1	0	0,0000	17647,90459	200	0,0000	0,0000000
2	10	0,0055	17647,90459	200	0,5666	0,0000275
3	20	0,0125	17647,90459	200	1,1333	0,0000625
4	30	0,0175	17647,90459	200	1,6999	0,0000875
5	40	0,0275	17647,90459	200	2,2666	0,0001375
6	50	0,0325	17647,90459	200	2,8332	0,0001625
7	60	0,0390	17647,90459	200	3,3998	0,0001950
8	70	0,0445	17647,90459	200	3,9665	0,0002225
9	80	0,0515	17647,90459	200	4,5331	0,0002575
10	90	0,0575	17647,90459	200	5,0998	0,0002875
11	100	0,0650	17647,90459	200	5,6664	0,0003250
12	110	0,0700	17647,90459	200	6,2330	0,0003500
13	120	0,0775	17647,90459	200	6,7997	0,0003875
14	130	0,0850	17647,90459	200	7,3663	0,0004250
15	140	0,0925	17647,90459	200	7,9330	0,0004625
16	150	0,1015	17647,90459	200	8,4996	0,0005075
17	160	0,1075	17647,90459	200	9,0662	0,0005375
18	170	0,1160	17647,90459	200	9,6329	0,0005800
19	180	0,1225	17647,90459	200	10,1995	0,0006125
20	190	0,1300	17647,90459	200	10,7662	0,0006500
21	200	0,1375	17647,90459	200	11,3328	0,0006875
22	210	0,1450	17647,90459	200	11,8994	0,0007250
23	220	0,1535	17647,90459	200	12,4661	0,0007675
24	230	0,1610	17647,90459	200	13,0327	0,0008050
25	240	0,1630	17647,90459	200	13,5993	0,0008150
26	250	0,1760	17647,90459	200	14,1660	0,0008800
27	260	0,1825	17647,90459	200	14,7326	0,0009125
28	270	0,1895	17647,90459	200	15,2993	0,0009475
29	280	0,1950	17647,90459	200	15,8659	0,0009750
30	290	0,2025	17647,90459	200	16,4325	0,0010125
31	300	0,2075	17647,90459	200	16,9992	0,0010375
32	310	0,2150	17647,90459	200	17,5658	0,0010750
33	320	0,2225	17647,90459	200	18,1325	0,0011125
34	330	0,2300	17647,90459	200	18,6991	0,0011500
35	340	0,2380	17647,90459	200	19,2657	0,0011900
36	350	0,2430	17647,90459	200	19,8324	0,0012150
37	360	0,2525	17647,90459	200	20,3990	0,0012625

38	370	0,2600	17647,90459	200	20,9657	0,0013000
39	380	0,2660	17647,90459	200	21,5323	0,0013300
40	390	0,2725	17647,90459	200	22,0989	0,0013625
41	400	0,2825	17647,90459	200	22,6656	0,0014125
42	410	0,2900	17647,90459	200	23,2322	0,0014500
43	420	0,2960	17647,90459	200	23,7989	0,0014800
44	430	0,3085	17647,90459	200	24,3655	0,0015425
45	440	0,3160	17647,90459	200	24,9321	0,0015800
46	450	0,3210	17647,90459	200	25,4988	0,0016050
47	460	0,3310	17647,90459	200	26,0654	0,0016550
48	470	0,3375	17647,90459	200	26,6321	0,0016875
49	480	0,3460	17647,90459	200	27,1987	0,0017300
50	490	0,3525	17647,90459	200	27,7653	0,0017625
51	500	0,3625	17647,90459	200	28,3320	0,0018125
52	510	0,3750	17647,90459	200	28,8986	0,0018750
53	520	0,3850	17647,90459	200	29,4653	0,0019250
54	510	0,3950	17647,90459	200	28,8986	0,0019750
55	500	0,4050	17647,90459	200	28,3320	0,0020250

Tabel L-2.23 Data pengujian tegangan tekan regangan GP-1/10

No	Beban (KN)	ΔL x 0,001 (mm)	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	τ (N/mm ²)	ε
1	0	0,0000	18313,35674	200	0,000	0,0000000
2	10	0,0050	18313,35674	200	0,546	0,0000250
3	20	0,0125	18313,35674	200	1,092	0,0000625
4	30	0,0175	18313,35674	200	1,638	0,0000875
5	40	0,0345	18313,35674	200	2,184	0,0001725
6	50	0,0410	18313,35674	200	2,730	0,0002050
7	60	0,0490	18313,35674	200	3,276	0,0002450
8	70	0,0580	18313,35674	200	3,822	0,0002900
9	80	0,0675	18313,35674	200	4,368	0,0003375
10	90	0,0760	18313,35674	200	4,914	0,0003800
11	100	0,0840	18313,35674	200	5,460	0,0004200
12	110	0,0870	18313,35674	200	6,007	0,0004350
13	120	0,1010	18313,35674	200	6,553	0,0005050
14	130	0,1110	18313,35674	200	7,099	0,0005550
15	140	0,1190	18313,35674	200	7,645	0,0005950
16	150	0,1280	18313,35674	200	8,191	0,0006400
17	160	0,1400	18313,35674	200	8,737	0,0007000
18	170	0,1505	18313,35674	200	9,283	0,0007525
19	180	0,1600	18313,35674	200	9,829	0,0008000
20	190	0,1690	18313,35674	200	10,375	0,0008450
21	200	0,1780	18313,35674	200	10,921	0,0008900
22	210	0,1925	18313,35674	200	11,467	0,0009625
23	220	0,2025	18313,35674	200	12,013	0,0010125
24	230	0,2150	18313,35674	200	12,559	0,0010750
25	240	0,2250	18313,35674	200	13,105	0,0011250
26	250	0,2400	18313,35674	200	13,651	0,0012000
27	260	0,2525	18313,35674	200	14,197	0,0012625
28	270	0,2720	18313,35674	200	14,743	0,0013600
29	280	0,2900	18313,35674	200	15,289	0,0014500
30	290	0,3050	18313,35674	200	15,835	0,0015250
31	300	0,3100	18313,35674	200	16,381	0,0015500
32	305	0,3200	18313,35674	200	16,655	0,0016000
33	300	0,3250	18313,35674	200	16,381	0,0016250

Tabel L-2.24 Data pengujian tegangan tekan regangan GP-1/11

No	Beban (KN)	ΔL (mm)	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	τ (N/mm ²)	ϵ
1	0	0,0000	17907,86	200	0,0000	0,0000000
2	10	0,0050	17907,86	200	0,5584	0,0000250
3	20	0,0120	17907,86	200	1,1168	0,0000600
4	30	0,0185	17907,86	200	1,6752	0,0000925
5	40	0,0260	17907,86	200	2,2337	0,0001300
6	50	0,0335	17907,86	200	2,7921	0,0001675
7	60	0,0400	17907,86	200	3,3505	0,0002000
8	70	0,0470	17907,86	200	3,9089	0,0002350
9	80	0,0525	17907,86	200	4,4673	0,0002625
10	90	0,0600	17907,86	200	5,0257	0,0003000
11	100	0,0675	17907,86	200	5,5841	0,0003375
12	110	0,0750	17907,86	200	6,1426	0,0003750
13	120	0,0850	17907,86	200	6,7010	0,0004250
14	130	0,0925	17907,86	200	7,2594	0,0004625
15	140	0,1000	17907,86	200	7,8178	0,0005000
16	150	0,1100	17907,86	200	8,3762	0,0005500
17	160	0,1190	17907,86	200	8,9346	0,0005950
18	170	0,1290	17907,86	200	9,4930	0,0006450
19	180	0,1400	17907,86	200	10,0515	0,0007000
20	190	0,1505	17907,86	200	10,6099	0,0007525
21	200	0,1650	17907,86	200	11,1683	0,0008250
22	210	0,1775	17907,86	200	11,7267	0,0008875
23	220	0,1850	17907,86	200	12,2851	0,0009250
24	230	0,2100	17907,86	200	12,8435	0,0010500
25	240	0,2300	17907,86	200	13,4019	0,0011500
26	250	0,2500	17907,86	200	13,9603	0,0012500
27	258	0,2950	17907,86	200	14,4071	0,0014750
28	240	0,3400	17907,86	200	13,4019	0,0017000

Tabel L-2.25 Data pengujian tegangan tekan regangan GP-1/12

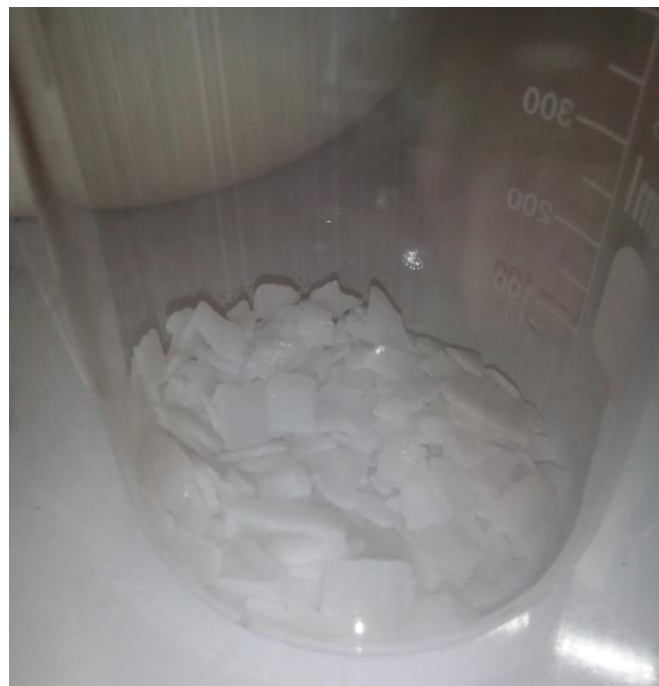
No	Beban (KN)	ΔL (mm)	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	τ (N/mm ²)	ϵ
1	0	0,0000	18784,07139	200	0,0000	0,0000000
2	10	0,0015	18784,07139	200	0,5324	0,0000075
3	20	0,0050	18784,07139	200	1,0647	0,0000250
4	30	0,0090	18784,07139	200	1,5971	0,0000450
5	40	0,0135	18784,07139	200	2,1295	0,0000675
6	50	0,0170	18784,07139	200	2,6618	0,0000850
7	60	0,0200	18784,07139	200	3,1942	0,0001000
8	70	0,0250	18784,07139	200	3,7266	0,0001250
9	80	0,0290	18784,07139	200	4,2589	0,0001450
10	90	0,0335	18784,07139	200	4,7913	0,0001675
11	100	0,0375	18784,07139	200	5,3237	0,0001875
12	110	0,0420	18784,07139	200	5,8560	0,0002100
13	120	0,0460	18784,07139	200	6,3884	0,0002300
14	130	0,0510	18784,07139	200	6,9208	0,0002550
15	140	0,0550	18784,07139	200	7,4531	0,0002750
16	150	0,0600	18784,07139	200	7,9855	0,0003000
17	160	0,0650	18784,07139	200	8,5179	0,0003250
18	170	0,0700	18784,07139	200	9,0502	0,0003500
19	180	0,0755	18784,07139	200	9,5826	0,0003775
20	190	0,0815	18784,07139	200	10,1150	0,0004075
21	200	0,0875	18784,07139	200	10,6473	0,0004375
22	210	0,0925	18784,07139	200	11,1797	0,0004625
23	220	0,0975	18784,07139	200	11,7121	0,0004875
24	230	0,1025	18784,07139	200	12,2444	0,0005125
25	240	0,1075	18784,07139	200	12,7768	0,0005375
26	250	0,1150	18784,07139	200	13,3091	0,0005750
27	260	0,1225	18784,07139	200	13,8415	0,0006125
28	270	0,1275	18784,07139	200	14,3739	0,0006375
29	280	0,1330	18784,07139	200	14,9062	0,0006650
30	290	0,1390	18784,07139	200	15,4386	0,0006950
31	300	0,1470	18784,07139	200	15,9710	0,0007350
32	310	0,1525	18784,07139	200	16,5033	0,0007625
33	320	0,1600	18784,07139	200	17,0357	0,0008000
34	330	0,1670	18784,07139	200	17,5681	0,0008350
35	340	0,1750	18784,07139	200	18,1004	0,0008750
36	350	0,1790	18784,07139	200	18,6328	0,0008950
37	360	0,1850	18784,07139	200	19,1652	0,0009250

38	370	0,1925	18784,07139	200	19,6975	0,0009625
39	380	0,2025	18784,07139	200	20,2299	0,0010125
40	390	0,2090	18784,07139	200	20,7623	0,0010450
41	400	0,2150	18784,07139	200	21,2946	0,0010750
42	410	0,2225	18784,07139	200	21,8270	0,0011125
43	420	0,2325	18784,07139	200	22,3594	0,0011625
44	430	0,2425	18784,07139	200	22,8917	0,0012125
45	440	0,2490	18784,07139	200	23,4241	0,0012450
46	450	0,2575	18784,07139	200	23,9565	0,0012875
47	460	0,2675	18784,07139	200	24,4888	0,0013375
48	470	0,2775	18784,07139	200	25,0212	0,0013875
49	480	0,2875	18784,07139	200	25,5536	0,0014375
50	490	0,3050	18784,07139	200	26,0859	0,0015250
51	500	0,3250	18784,07139	200	26,6183	0,0016250
52	510	0,3400	18784,07139	200	27,1507	0,0017000
53	520	0,3550	18784,07139	200	27,6830	0,0017750
54	525	0,3950	18784,07139	200	27,9492	0,0019750
55	520	0,4350	18784,07139	200	27,6830	0,0021750

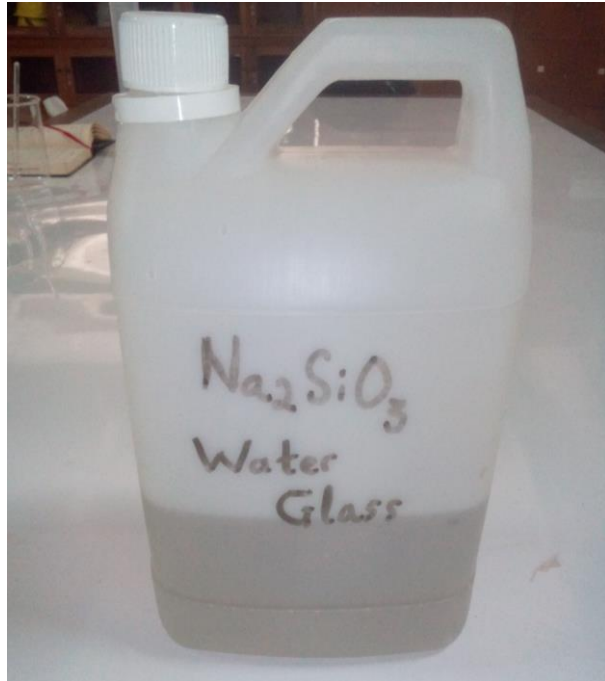
Lampiran 3 Gambar



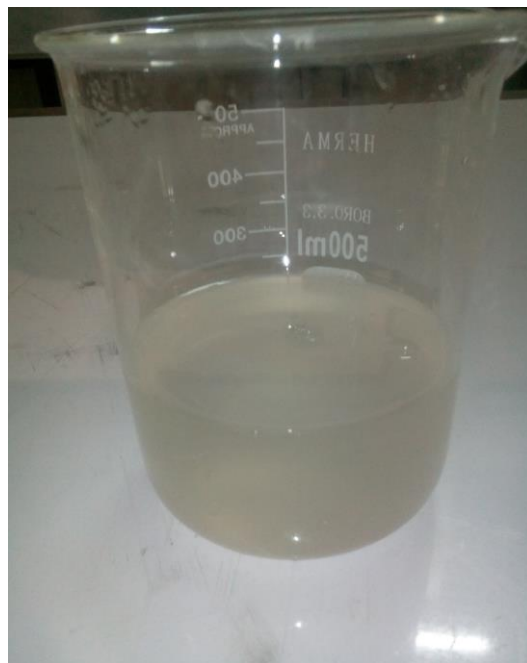
Gambar L-3.1 Abu terbang (*fly ash*)



Gambar L-3.2 NaOH (*flakes*)



Gambar L-3.3 *Waterglass*



Gambar L-3.4 Larutan alkali aktivator



Gambar L-3.5 Pasta geopolimer



Gambar L-3.6 Slumpflow GP-2,0



Gambar L-3.7 *Slumpflow* GP-2,0



Gambar L-3.8 *Slumpflow* GP-2,0



Gambar L-3.9 *Slumpflow GP-1,5*



Gambar L-3.10 *Slumpflow GP-1,5*



Gambar L-3.11 Slumpflow GP-1,5



Gambar L-3.12 Beton segar



Gambar L-3.13 Sampel kuat tekan



Gambar L-3.14 Sampel kuat tekan



Gambar L-3.15 Sampel kuat tekan