

**TINJAUAN KUAT TEKAN BETON GEOPOLYMER PADA  
PERKERASAN KAKU MENGGUNAKAN LIMBAH KACA  
SEBAGAI BAHAN ADDITIVE**

TUGAS AKHIR

Untuk Memenuhi Sebagian Dari Syarat-syarat yang Diperlukan untuk  
Memperoleh Ijazah Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

AULLI TIFANI B.

NIM : 1805903020028  
Bidang : Transportasi  
Jurusan : Teknik Sipil



**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TEUKU UMAR  
ALUE PEUNYARENG, ACEH BARAT  
2022**

**LEMBAR PENGESAHAN FAKULTAS  
TINJAUAN KUAT TEKAN BETON GEOPOLYMER PADA  
PERKERASAN KAKU MENGGUNAKAN LIMBAH KACA SEBAGAI  
BAHAN ADDITIVE**

Oleh :

Nama : Aulli Tifani B.  
NIM : 1805903020028  
Bidang Studi : Transportasi  
Jurusan : Teknik Sipil

Alue Peunyareng, 05 Oktober 2022

Disetujui Oleh,  
Pembimbing

**Veranita, S.T., MT**  
NIP. 198102102021212009

Diketahui/Disahkan Oleh

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Teuku Umar

Ketua Jurusan Teknik Sipil  
Sekretaris Jurusan

**Dr. Ir. M. Isya, M.T**  
NIP. 196204111989031002

**Ir. Lissa Opirina, S.T., M.T**  
NIP. 197905102021212009

**LEMBAR PENGESAHAN JURUSAN  
TINJAUAN KUAT TEKAN BETON GEOPOLYMER PADA  
PERKERASAN KAKU MENGGUNAKAN LIMBAH KACA SEBAGAI  
BAHAN ADDITIVE**

Oleh :

Nama : Aulli Tifani B.  
NIM : 1805903020028  
Bidang Studi : Transportasi  
Jurusan : Teknik Sipil

Alue Peunyareng, 05 Oktober 2022

Diuji Oleh,

Penguji I

Penguji II

**Dr. Irfan, S.T., M.T**  
NIP. 198008062015041001

**Bambang Tripoli, S.T., M.T**  
NIP. 197902102021211004

Diketahui/Disahkan Oleh

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Teuku Umar

Ketua Jurusan Teknik Sipil  
Sekretaris Jurusan

**Dr. Ir. M. Isya, M.T**  
NIP. 196204111989031002

**Ir. Lissa Opirina, S.T., M.T**  
NIP. 197905102021212009

## **PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aulli Tifani B.

NIM : 1805903020028

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa:

1. Tugas Akhir ini merupakan hasil karya asli saya yang diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh Gelar Strata 1 Program Studi Teknik Sipil di Universitas Teuku Umar.
2. Di dalam skripsi saya tidak terdapat bagian atau satu kesatuan yang utuh dari tugas akhir, tesis, disertasi, buku, atau bentuk lain yang saya kutip dari karya orang lain tanpa saya sebutkan sumbernya yang dapat dipandang sebagai tindakan penjiplakan.
3. Apabila ternyata terdapat dalam tugas akhir saya bagian bagian yang memenuhi unsur penjiplakan, maka saya akan mendapatkan sanksi sebagaimana mestinya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya untuk dapat dipergunakan seperlunya.

Alue Peunyareng, 05 Oktober 2022

Penulis,

**AULLI TIFANI B.**

NIM. 1805903020028

## **KATA PENGANTAR.**

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulisan tugas akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Tugas akhir ini berjudul “Tinjauan Kuat Tekan Beton Geopolymer Pada Perkerasan Kaku Menggunakan Limbah Kaca Sebagai Bahan Additive”, ditulis dalam rangka melengkapi tugas-tugas dan memenuhi syarat-syarat yang diperlukan untuk menyelesaikan Pendidikan Program Sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar.

Dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan tugas akhir ini penulis telah memperoleh bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak terutama pembimbing. Untuk itu penulis menyampaikan terima kasih yang amat tulus kepada Ibu Veranita, S.T., M.T sebagai Pembimbing.

Selanjutnya, pada kesempatan ini penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dekan Fakultas Teknik, Bapak Dr. Ir. M. Isya, M.T, Ketua Jurusan Teknik Sipil, Ibu Ir. Lissa Opirina, S.T., M.T, serta semua dosen pada Program Studi Teknik Sipil yang telah mendidik, mengajar dan memberi dorongan kepada penulis;
2. Bapak Penguji I Dr. Irfan, S.T., M.T, dan Bapak Penguji II Bambang Tripoli, S.T., M.T yang akan memberikan banyak masukan untuk perbaikan tulisan ini;
3. Kedua orang tua, ayah tercinta Benny Yafish dan mama tersayang Silvianti serta Irma Fitriani dan Intan Suryana yang telah memberikan motivasi dan dukungan kepada saya serta doa yang tiada henti-hentinya;
4. Sahabat saya Tivany Mayorilza Putri, Surianti serta rekan penelitian, Maisyura Balqis dan Risna Iftah yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini;

5. Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil dan rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknik Sipil khususnya angkatan 2018 yang ikut serta dalam memberikan dukungan kepada penulis hingga selesainya penulisan ini.

Akhirnya kepada Allah SWT jugalah kita berserah diri, karena tiada satupun dapat terjadi jika tidak atas kehendak-Nya

Meulaboh, 05 Oktober 2022

Penulis

Aulli Tifani B.

NIM. 1805903020028

# TINJAUAN KUAT TEKAN BETON GEOPOLYMER PADA PERKERASAN KAKU MENGGUNAKAN LIMBAH KACA SEBAGAI BAHAN ADDITIVE

Oleh  
**AULLI TIFANI B.**  
NIM. 1805903020028

Pembimbing  
Veranita, S.T.,M.T

## ABSTRAK

*Geopolymer* yaitu bentuk anorganik dari aluminium silika yang disintesa dari material dengan kandungan silika (Si) dan Alumina (Al) yang berasal dari alam atau material sampingan industri. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui nilai kuat tekan beton *geopolymer* pada perkerasan kaku menggunakan limbah kaca sebagai bahan *additive*. Metode yang digunakan untuk perhitungan *mix design* adalah AASHTO 1993 Perkerasan Kaku. Jumlah benda uji yang dibuat sebanyak 8 buah benda uji dengan menggunakan 4 buah perbandingan agregat dan *binder*, dengan masing-masing memiliki 2 buah perbandingan aktivator yaitu 3:1 dan 5:2. Benda uji yang sudah siap, kemudian dibuka dari cetakan dan diberikan kode serta dilakukan perendaman selama 28 hari. Setelah 28 hari selanjutnya dilaksanakan uji kuat tekan pada benda uji, menggunakan perhitungan sesuai Metode Pengujian Kuat Tekan Beton berdasarkan SNI-03-1794-2011. Hasil tertinggi yang didapat pada pengujian kuat tekan beton normal *geopolymer* umur 28 hari yaitu pada perbandingan 75:25 N (5:2) sebesar 18,8535 Mpa, sedangkan hasil uji kuat tekan beton *geopolymer* tertinggi yang menggunakan kaca pada umur 28 hari yaitu pada perbandingan 70:30 KCA (5:2) sebesar 22,0241 Mpa. Berdasarkan hasil tersebut kuat tekan beton memenuhi persyaratan spesifikasi SNI 1974:2011 bahwa nilai kuat tekan beton K225 yaitu 18,68 Mpa. Sehingga dapat disimpulkan semakin tinggi perbandingan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH}$  maka semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan. Kaca sebagai bahan *additive* juga mengandung senyawa anorganik yang konduktif untuk proses *geopolimerisasi* serta partikel kaca yang besar memberikan kekuatan pada campuran dengan bertindak sebagai agregat.

**Kata kunci** : Perkerasan Kaku, *Geopolymer*, Kuat Tekan, *Alkaline*, *Fly Ash*.

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>LEMBAR PENGESAHAN FAKULTAS</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN JURUSAN</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR TA`BEL</b> .....	ix
<b>DAFTAR LAMPIRAN GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR LAMPIRAN TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR LAMPIRAN PERHITUNGAN</b> .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Penelitian .....	3
1.5 Hasil Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN KEPUSTAKAAN</b> .....	5
2.1 Beton <i>Geopolymer</i> .....	5
2.2 Agregat.....	7
2.3 Perkerasan Kaku.....	10
2.4 Alkali Aktivator .....	11
2.5 Binder .....	11
2.6 Fly Ash .....	11
2.7 Kaca.....	13
2.8 Benda Uji.....	15
2.9 Uji <i>Slump</i> .....	15



2.10 Uji Kuat Tekan .....	16
2.11 Penelitian Terkait .....	17
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>20</b>
3.1 Lokasi Penelitian .....	20
3.2 Persiapan Alat dan Bahan .....	20
3.3 Variabel Penelitian .....	22
3.4 Perhitungan <i>Mix Design</i> .....	23
3.5 Perencanaan Campuran <i>Mix Design</i> .....	25
3.6 Prosedur Penelitian.....	25
3.6.1 Tahapan pemeriksaan agregat (kasar dan halus) .....	25
3.6.2 Tahapan pembuatan benda uji .....	27
3.6.3 Tahapan perawatan dan pengujian benda uji.....	28
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>29</b>
4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat .....	29
4.1.1 Pemeriksaan analisis saringan.....	29
4.1.2 Pemeriksaan kadar air agregat .....	31
4.1.3 Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar .....	32
4.1.4 Pemeriksaan berat volume agregat.....	32
4.1.5 Hasil pengukuran <i>slump</i> .....	33
4.1.6 Hasil pengujian kuat tekan .....	34
4.2 Pembahasan.....	37
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>39</b>
5.1 Kesimpulan .....	39
5.2 Saran.....	39
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>41</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Bagan Alir Fungsi Limbah Kaca Pada Beton Semen .....	14
Gambar 2.2 Skema Pengujian Kuat Tekan Beton .....	15
Gambar 4.1 Grafik Gradasi Agregat Kasar SNI 03-2834-2000.....	30
Gambar 4.2 Grafik Gradasi Agregat Halus SNI 03-2834-2000.....	31
Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian <i>Slump</i> .....	33
Gambar 4.4 Grafik Kuat Tekan Menggunakan Kaca dengan Alkalin 3:1 .....	35
Gambar 4.5 Grafik Kuat Tekan Menggunakan Kaca dengan Alkalin 5:2.....	35
Gambar 4.6 Grafik Kuat Tekan Perbandingan Agregat yang Berbeda.....	36

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Gradasi Agregat Halus .....	8
Tabel 2.2 Gradasi Agregat Kasar .....	8
Tabel 2.3 Kandungan Kimia Pada Kaca .....	13
Tabel 3.1 Variabel Penelitian.....	22
Tabel 3.2 <i>Mix Design</i> Menurut AASHTO 1993 Perkerasan Kaku.....	23
Tabel 3.3 Perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ : $\text{NaOH}$ .....	25
Tabel 3.4 Perencanaan Campuran ( <i>mix design</i> ) untuk $1 \text{ m}^3$ .....	25
Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Analisis Agregat.....	29
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat .....	31
Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar .....	32
Tabel 4.4 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Agregat .....	33
Tabel 4.5 Hasil Uji Kuat Tekan Beton <i>Geopolymer</i> Umur 28 Hsari.....	34

## DAFTAR LAMPIRAN GAMBAR

	Halaman
Gambar A.3.1 Bagan Alir Penelitian .....	43
Gambar A.3.2 Peta Provinsi Aceh .....	44
Gambar A.3.3 Peta Kabupaten Aceh Barat.....	45
Gambar A.3.4 Peta Lokasi Penelitian .....	46
Gambar A.3.5 Persiapan Bahan (1/2) .....	47
Gambar A.3.6 Persiapan Bahan (2/2) .....	48
Gambar A.3.7 Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat (1/2).....	49
Gambar A.3.8 Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat (2/2).....	50
Gambar A.3.9 Pembuatan Benda Uji (1/3) .....	51
Gambar A.3.10 Pembuatan Benda Uji (2/3) .....	52
Gambar A.3.11 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji (3/3) .....	54

## DAFTAR LAMPIRAN TABEL

	Halaman
Tabel B.4.1 Perhitungan Analisis Agregat Halus .....	54
Tabel B.4.2 Perhitungan Analisis Saringan Agregat Kasar .....	54
Tabel B.4.3 Perhitungan Kadar Air Agregat Kasar dan Halus .....	55
Tabel B.4.4 Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar .....	55
Tabel B.4.5 Perhitungan Berat Volume Agregat Kasar .....	56
Tabel B.4.6 Perhitungan Berat Volume Agregat Halus .....	56
Tabel B.4.7 <i>Mix Design</i> Untuk 1 m <sup>3</sup> Beton.....	57
Tabel B.4.8 Komposisi Material Untuk Setiap Benda Uji Silinder .....	57
Tabel B.4.9 Perhitungan kuat tekan beton <i>geopolymer</i> umur 28 hari.....	58

## DAFTAR LAMPIRAN PERHITUNGAN

	Halaman
Hitung C.4.1 Perhitungan <i>Mix Design</i> Beton <i>Geopolymer</i> . ....	59
Hitung C.4.2 Perhitungan untuk Mendapatkan Perbandingan 75 : 25 .....	60
Hitung C.4.3 Perhitungan untuk Mendapatkan Perbandingan 70 : 30.....	61
Hitung C.4.4 Perhitungan untuk Mendapatkan Perbandingan 65 : 35.....	62

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Perkerasan kaku adalah struktur perkerasan yang terdiri atas tanah dasar, lapis pondasi bawah, dan lapis beton semen baik menggunakan tulangan atau tanpa tulangan, serta menggunakan semen sebagai bahan ikat sehingga mempunyai tingkat kekakuan yang relatif tinggi. Perkerasan kaku memakai semen (PC) sebagai bahan dasar, tetapi seiring berjalannya waktu penggunaan semen yang berlebihan untuk bahan konstruksi dapat memunculkan dampak yang negatif untuk lingkungan. Hal ini dikarenakan pada saat diproduksi semen portland menggunakan banyak energi serta melepaskan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) ke atmosfer bumi. Karbon dioksida dari semen yang terhirup juga sangat berbahaya bagi kesehatan. (Oktaviastuti et al., 2021)

Sebagai solusi alternatif bahan pengganti semen digunakan *geopolymer*. Beberapa penelitian telah dilakukan dalam penggunaan *geopolymer* sebagai bahan pengganti semen. Seperti penelitian (Oktaviastuti et al., 2021) didapat hasil semakin besar perbandingan activator semakin besar pula kuat tekan yang didapatkan pada perbandingan agregat dan binder 75% : 25% dan perbandingan 70% : 30 %. Beton *geopolymer* juga terbukti memiliki kuat tekan yang lebih besar dari beton konvensional. Adapun penelitian lain yaitu Studi Eksperimen Kuat Tekan (Setyati Budiningrum et al., 2021) dimana hasil penelitiannya yaitu kuat tekan beton *geopolymer* berbahan dasar *fly ash*, mengalami peningkatan kuat tekan rata-rata sebesar 3,54 MPa atau 18,2 %.

*Geopolymer* yaitu bentuk anorganik dari aluminium silica yang disintesa dari material dengan kandungan Silica (Si) dan Alumina (Al) yang berasal dari alam atau material sampingan industri. Beton *geopolymer* adalah beton yang bahan utamanya banyak mengandung silica dan alumina tinggi yang direaksikan dengan alkali

aktifator. Penelitian ini direncanakan dengan menggunakan *fly ash* sebagai binder dan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus. Material yang paling sering dipakai sebagai bahan utama beton *geopolymer* adalah *fly ash*. *Fly ash* adalah material sampingan industri atau limbah yang dikategorikan sebagai limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) sehingga untuk penggunaannya diperlukan pengolahan terlebih dahulu, sehingga kandungan zat berbahaya di dalam *fly ash* dapat dikendalikan. Sehingga untuk mengikat beton *geopolymer* dibutuhkan *binder fly ash* dan alkaline aktivator berupa sodium silika ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan sodium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ).

Sebagai bahan pengganti agregat halus digunakan limbah kaca. Limbah kaca merupakan limbah yang tidak terurai secara alami oleh zat organik. Maka perlu dilakukan penanganan alternatif agar limbah kaca bermanfaat. Beberapa penelitian telah memanfaatkan limbah kaca ini sebagai bahan pengganti pasir karena mengandung silika dan mempunyai kekuatan geser yang tinggi (Arul Radjah, dkk., 2017).

Disini penulis ingin membuat inovasi baru untuk menjadikan *fly ash* sebagai *binder* dan limbah kaca sebagai bahan tambah untuk agregat halus pada beton *geopolymer*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, agar dapat menggantikan bahan semen menggunakan alternatif bahan yang ramah lingkungan menggunakan *geopolymer* pada perkerasan kaku, maka rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kuat tekan beton *geopolymer* pada perkerasan kaku menggunakan limbah kaca sebagai bahan *additive*?
2. Bagaimana perbandingan kuat tekan beton *geopolymer* dan beton normal pada perkerasan kaku?



### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas maka tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui kuat tekan beton *geopolymer* pada perkerasan kaku menggunakan limbah kaca sebagai bahan *additive*.
2. Mengetahui perbandingan kuat tekan beton *geopolymer* dan beton normal untuk perkerasan kaku.

### 1.4 Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi agar tidak terlalu luas yang akan diteliti. Batasan-batasan untuk penelitian tinjauan kuat tekan beton *geopolymer* pada perkerasan kaku menggunakan limbah kaca sebagai bahan *additive* sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton *geopolymer* pada perkerasan kaku;
2. Metode yang dipakai untuk perhitungan *mix design* adalah AASHTO 1993 Perkerasan Kaku;
3. Metode yang dipakai untuk uji kuat tekan adalah SNI-03-1794-2011;
4. Mutu beton yang direncanakan adalah K225 = 18,68 MPa;
5. Penggunaan limbah kaca sebesar 5% dari jumlah agregat halus;
6. Perbandingan agregat dan *binder* sebesar 75% agregat : 25% *binder*;
7. Penggunaan *fly ash* sebagai binder;
8. Penggunaan alkaline aktivator sebesar 1,1% dari jumlah *fly ash*;
9. Penggunaan aktivator yaitu sodium silika ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan sodium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ), dimana perbandingannya adalah 3:1, dan 5:2.ss

## 1.5 Hasil Penelitian

Berat beton normal *geopolymer* pada perkerasan kaku pada umur 28 hari yaitu untuk benda uji dengan kode 75:25 N (3:1) sebesar 10,53 kg, dan 75:25 N (5:2) sebesar 10,65 kg. Berat beton *geopolymer* yang menggunakan kaca pada umur 28 hari yaitu untuk benda uji dengan kode 75:25 KCA (3:1) sebesar 11,64 kg, kode 75:25 KCA (5:2) 11,96 kg, kode 70:30 KCA (3:1) sebesar 11,32 kg, kode 70:30 KCA (5:2) sebesar 11,79 kg, kode 65:35 KCA (3:1) sebesar 11,47 kg, dan kode 65:35 KCA (5:2) sebesar 11,21 kg. Hasil pengujian kuat tekan beton normal *geopolymer* tertinggi pada umur 28 hari dengan perbandingan 75:25 N yaitu sebesar 18,8535 Mpa dengan perbandingan alkalin (5:2), sedangkan hasil uji kuat tekan tertinggi beton *geopolymer* yang menggunakan kaca pada umur 28 hari yaitu pada perbandingan 70:30 KCA sebesar 22,0241 Mpa dengan perbandingan alkalin (5:2). Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton *geopolymer* pada umur 28 hari memenuhi persyaratan spesifikasi SNI 1974:2011 bahwa nilai kuat tekan beton K225 yaitu 18,68 Mpa. Dapat disimpulkan dari hasil diatas bahwa penggunaan kaca sebagai bahan *additive* mengandung senyawa anorganik yang kondusif untuk proses geopolimerisasi, serta partikel kaca yang besar memberikan kekuatan pada campuran dengan bertindak sebagai agregat.

Dapat disimpulkan pula semakin tinggi perbandingan alkalin yang dipakai maka semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan.

## BAB II

### TINJAUAN KEPUSTAKAAN

#### 2.1 *Beton Geopolymer*

Beton *geopolymer* adalah beton yang menggunakan bahan-bahan sisa industri yang bersifat anorganik sebagai bahan pengikatnya. Unsur-unsur *geopolymer* merupakan bahan yang mengandung alumina-silikat yang dapat bereaksi secara kimia dengan cairan alkaline pada temperatur tertentu untuk menghasilkan campuran yang menyerupai semen. *Geopolymer* ditemukan oleh Prof. Davidovits. Davidovits melakukan penelitian tentang geopolimer ini dari blok-blok atau beton kuno Piramida Besar di Mesir. Davidovits mengemukakan bahwa beton kuno tersebut tidak hanya kuat secara fisik, akan tetapi juga tahan terhadap serangan asam dan siklus panas-dingin yang ekstrim. Pada awalnya diyakini bahwa perbedaan utama antara produk lama dan semen Portland yaitu pada komponen *silicate hydrates* (C-S-H) yang merupakan komponen utama dari semen Portland (Thinks Physics).

Menurut Ilmiah R (2017) geopolimer merupakan produk beton yang reaksi pengikatannya adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi ini Aluminium (Al) dan Silika (Si) mempunyai peranan penting dalam ikatan polimerisasi karena reaksi aluminium dan silika dengan alkali akan menghasilkan *tetrahedral alumina* (AlO<sub>4</sub>) dan silika (SiO<sub>4</sub>). Proses polimerisasi menghasilkan suatu rantai dalam bentuk stuktur yang disebut *polysialate*. Air dilepaskan selama reaksi kimia terjadi dalam pembentukan senyawa geopolimer. Air ini dikeluarkan selama masa perawatan (curing) dan pengeringan.

Karakteristik beton *geopolymer* dapat bereaksi, polikondensasi dan mencapai stabilitas dimensi pada suhu di bawah dari 100°C. Selain itu, sifatnya juga keras, tahan terhadap cuaca, serangan bahan kimia, dan bersuhu tinggi. Kekuatan tekan dari semen *geopolymer* ini dapat mencapai 20 MPa dalam beberapa jam setelah proses

polimerisasi, serta mencapai 70-100 MPa dalam kurung waktu kurang dari satu bulan (Thinks Physics).

Material penyusun dalam beton *geopolymer* berupa material polimerik anorganik alkali *aluminosilikat (geopolymer)* yang dapat disintesis dengan cara mencampurkan prekursor dengan larutan alkali sebagai activator. Prekursor adalah bahan utama pembentuk *polymer* yang mengandung senyawa alumina dan silika dengan konsentrasi tinggi. Prekursor dapat berupa mineral alami maupun limbah industri. Unsur kimia yang terdapat pada prekursor yang bila dicampurkan dengan larutan *geopolymer* dapat menghasilkan material pasta *geopolymer* yang dapat mengikat seperti semen.

Berikut beberapa kelebihan dan kekurangan pada beton geopolimer (Gandina, 2013) :

- a. Kelebihan beton *geopolymer*
  - Tahan terhadap serangan asam sulfat,
  - Tahan terhadap reaksi silika-alkali,
  - Tahan terhadap api,
  - Mempunyai rangkai dan susut yang kecil,
  - Dapat mengurangi polusi udara.
- b. Kekurangan beton *geopolymer*
  - Proses pembuatan yang sedikit lebih rumit dibandingkan beton konvensional karena jenis material yang digunakan lebih banyak dari pada beton konvensional,
  - Belum ada perhitungan mix design yang pasti.

Suatu campuran beton akan dikatakan beton *geopolymer* bila memiliki sifat sebagai berikut :

- a. Pada beton segar (*fresh concrete*)
  - Memiliki setting time 1 jam pada suhu  $-20^{\circ}\text{C}$  sampai 7-60 menit pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$ ,
  - Penyusutan selama setting kurang dari 0.05%

- Kehilangan massa dari beton basah menjadi beton kering kurang dari 0.1% (ASTM 4843)
- b. Pada beton keras (*hardened concrete*)
  - Memiliki kuat tekan lebih besar dari 90 Mpa pada umur 28 hari,
  - Memiliki kuat tarik sebesar 1-15 Mpa pada umur 28 hari,
  - Memiliki water absorption kurang dari 3%.

## **2.2 Agregat**

Agregat adalah butir mineral dari alam yang berguna sebagai pengisi pada bahan campuran beton dimana agregat akan menempati sebanyak lebih kurang 70% volume beton, dan untuk dapat membedakan agregat atau jenis agregat itu sendiri berdasarkan pada ukuran dari agregat itu sendiri (butirnya), agregat yang memiliki butir kasar maka tergolong kedalam agregat kasar, begitu pun sebaliknya agregat yang memiliki butir-butir kecil maka tergolong agregat halus (Tjokrodimuljo, 2007).

Sukirman S., (2003) agregat ialah bahan yang berasal dari alam antara lain butiran-butiran kerikil, batu pecah, dan mineral lainnya baik berukuran kecil atau bagian-bagian kecil maupun ukuran yang besar.

Menurut (SNI-15-1991-03), yang disebut dengan agregat adalah butiran kerikil atau batu pecah, maupun mineral lainnya yang bersumber dari alam, maupun tidak bersumber dari alam atau buatan yang digunakan bersamaan dengan semen sebagai bahan pengikat yang akan membentuk beton, dalam persentasenya dalam beton terkandung lebih kurang 70-75% persen dari volume sebuah beton.

Menurut AASHTO 1993 Perkerasan Kaku, gradasi agregat halus harus merata dan harus memenuhi ketentuan gradasi seperti berikut:

Tabel 2.1 Gradasi agregat halus

Ukuran Saringan (mm)	Kumulatif Presentase Berat yang Lolos
9,5	100
4,75	95 – 100
2,36	80 – 100
1,18	50 – 85
0,600	25 – 60
0,300	10 – 30
0,150	2 – 10

Sumber : AASHTO 1993 Perkerasan Kaku

Agregat kasar harus bergradasi merata dan harus memenuhi ketentuan gradasi berikut ini :

Tabel 2.2 Gradasi agregat Kasar

Ukuran Saringan (mm)	Agregat 25 mm
50-5	37-70
40-5	-
25-5	95-100
20-5	100
15-5	-
80-40	-
60-40	-
50-25	0-15
40-20	20-55

Sumber : AASHTO 1993 Perkerasan Kaku

Berdasarkan ukurannya agregat dibedakan menjadi :

- Agregat halus, diameter 0 – 5 mm disebut pasir, yang dibedakan menjadi :
- Pasir halus :  $\emptyset$  0 – 1 mm
- Pasir kasar :  $\emptyset$  1 – 5 mm
- Agregat kasar, diameter  $\geq$  5 mm, biasanya berukuran antara 5 – 40 mm yang disebut kerikil

Jenis-jenis agregat dikelompokkan menjadi 2 bagian seperti berikut:

1. Agregat Halus Berfungsi sebagai pengisi didalam campuran beton yaitu diantara agregat kasar maka akan terjadi ikatan yang lebih kuat didalam beton. Dapat dikatakan sebagai agregat halus yang baik apabila agregat tidak mengandung lumpur  $>5\%$ , dan tidak mengandung bahan-bahan organik serta memiliki ukuran butiran yang bervariasi dan beragam. (SNI 03-6820- 2002) Agregat halus ialah agregat yang asalnya dari alam dan memiliki butir maksimum sebesar 4,76 mm. Jenis lainnya yaitu agregat halus hasil olahan dimana agregat ini dihasilkan dari pecahan-pecahan ataupun pemisahan butiran yang bisa didapat dengan cara menyaring ataupun metode lain seperti terak tanur tinggi. Berdasarkan (ASTM C33) pada umumnya agregat halus adalah berupa pasir maupun partikel yang memiliki butir kecil dari 5 mm, dan jika menurut saringannya yaitu lolos saringan ukuran No. 4 tertahan saringan No. 200.
2. Agregat Kasar Coarse Aggregate atau pada umumnya disebut dengan agregat kasar atau kerikil, merupakan hasil alam berupa batuan atau bisa juga pecahan dari batuan maupun dari industri batu pecah yang mana ukurannya berkisar 4,76-150 mm, Adapun bentuknya dapat berupa kerikil, batu pecah, terak tanur tiup. Sesuai dengan (SNI 03-2847-2002) yang merupakan Agregat kasar, apabila memiliki ukuran butir 5,00-40 mm.

### 2.3 Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku (beton semen) merupakan konstruksi perkerasan dengan bahan baku agregat dan menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya, sehingga mempunyai tingkat kekakuan yang relatif cukup tinggi khususnya bila dibandingkan dengan perkerasan aspal (perkerasan lentur), sehingga dikenal dan disebut sebagai perkerasan kaku atau rigid pavement (Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Tentang Konsep Dasar dan Konstruksi Perkerasan Kaku, 2017). Perkerasan kaku pada umumnya mempunyai ketebalan pelat beton 25 cm. Kekakuan beton semen yang besar, konstruksi perkerasan kaku mempunyai penyebaran beban yang lebih tinggi, sehingga lendutan menjadi lebih kecil serta tegangan pada tanah dasar menjadi lebih rendah. Karna itu tidak memerlukan daya dukung pondasi yang kuat. Berbeda dengan perkerasan lentur, dimana lapis pondasi dan lapisan pondasi bawah memerlukan kekuatan yang tinggi untuk mendistribusikan tegangan beban roda yang bekerja pada lapisan aspal.

Berdasarkan adanya sambungan dan tulangan plat beton perkerasan kaku, perkerasan beton semen dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis sebagai berikut :

- Perkerasan beton semen biasa dengan sambungan tanpa tulangan untuk kendali retak;
- Perkerasan beton semen biasa dengan sambungan dengan tulangan plat untuk kendali retak. Untuk kendali retak digunakan wire mesh diantara siar dan penggunaannya independen terhadap adanya tulangan dowel;
- Perkerasan beton bertulang menerus (tanpa sambungan). Tulangan beton terdiri dari baja tulangan dengan prosentasi besi yang relatif cukup banyak (0,02 % dari luas penampang beton).

Perkerasan beton yang kaku mempunyai modulus elastisitas yang besar untuk mendistribusikan beban yang berasal dari bagian atas menuju ke bidang tanah dasar yang cukup luas. Hal ini berarti bagian perkerasan kaku yang memiliki andil terbesar



datang dari kapasitas struktur perkerasan yang diperoleh dari plat beton itu sendiri. Jadi faktor yang paling penting untuk diperhatikan dalam membuat perencanaan perkerasan kaku ialah kekuatan beton sehingga kita dapat mengetahui kapasitas struktur yang akan menanggung beban nantinya. Berbeda dengan perkerasan lentur yang kekuatannya didapat dari tingkat ketebalan antara lapis pondasi bawah, lapis pondasi, serta lapis permukaan.

#### **2.4 Alkali Aktivator**

Alkali activator merupakan bahan kimia yang dibutuhkan untuk proses polimerisasi. Dalam *fly ash* yang mengandung unsur sodium dan silikat, alkali activator berfungsi sebagai salah satu bahan pengikat. Proses polimerisasi akan berlangsung cepat apabila larutan sodium yang digunakan banyak. Namun hal ini akan mengakibatkan kekuatan beton mengalami penurunan dikarenakan adanya retakan antar mikrostruktur (Skavara et al., 2006). Sedangkan untuk campuran *fly ash* dengan sodium hidroksida membentuk ikatan yang kurang kuat tetapi akan menghasilkan ikatan yang padat dan tidak ada retakan (Fitriani, 2010).

#### **2.5 Binder**

Binder merupakan bahan pengikat pada campuran beton yang terdiri dari fly ash dan alkaline aktivator yang berupa sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan sodium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) (Gandina, 2013)

#### **2.6 Fly Ash**

Abu terbang (*fly ash*) merupakan sisa dari hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik. Abu terbang mempunyai titik lebur sekitar  $1300\text{ }^\circ\text{C}$  dan mempunyai kerapatan massa (densitas), antara  $2.0 - 2.5\text{ g/cm}^3$ . Abu terbang adalah salah satu residu yang dihasilkan dalam pembakaran dan terdiri dari partikel-partikel

halus. Abu yang tidak naik disebut *bottom ash* (Wikipedia). Dalam dunia industri, abu terbang biasanya mengacu pada abu yang dihasilkan selama pembakaran batu bara. Abu terbang umumnya ditangkap oleh pengendap elektrostatis atau peralatan filtrasi partikel lain sebelum gas buang mencapai cerobong asap batu bara pembangkit listrik, dan bersama-sama dengan *bottom ash* dikeluarkan dari bagian bawah tungku dalam hal ini bersama-sama dikenal sebagai abu batu bara. Tergantung pada sumber dan tampilan batu bara yang dibakar, komponen abu terbang bervariasi, tetapi semua abu terbang termasuk sejumlah besar silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) (baik amorf dan kristal) dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), kedua bahan endemik yang di banyak terdapat dalam lapisan batuan batu bara.

Beberapa kasus, seperti pembakaran limbah padat untuk menciptakan listrik (fasilitas "*resource recovery*" atau konversi limbah-ke-energi), abu terbang dapat mengandung kontaminan dari *bottom ash* berkadar tinggi serta pencampuran abu terbang dan *bottom ash* bersama-sama membawa tingkat proporsional kontaminan dalam jangkauan untuk memenuhi syarat sebagai limbah tidak berbahaya dalam keadaan tertentu, sedangkan bila tidak dicampur, abu terbang akan berada dalam jangkauan untuk memenuhi syarat sebagai limbah berbahaya.

*Fly ash* yang memiliki aksi pozzolanic dapat dijadikan sebagai pengganti semen, bila ada kelembapan *fly ash* akan bereaksi dengan sodium hidroksida dengan temperatur tepat untuk membentuk komposisi semen.

Menurut ASTM C618-05 *fly ash* diklasifikasikan menjadi 3 yaitu :

- a. Kelas N yaitu pozzolan alam atau pozzolan yang telah dikalsinasi, selain itu juga hasil pembakaran yang mempunyai sifat pozzolan yang baik;
- b. Kelas F, jenis ini diperoleh dari pembakaran *anthracite* (batu bara keras yang mengkilat) atau *bituminous* batu bara. Jenis fly ash ini bersifat *pozzolanic*;
- c. Kelas C jenis ini umumnya diperoleh dari batubara *lignite* atau batubara subbitumen. Jenis *fly ash* ini bersifat pozzolan dan menyerupai semen yaitu dapat mengeras dan menambah kekuatan apabila bereaksi dengan air.

## 2.7 Kaca

Kaca mengandung silika (pasir), potasium, kapur, dan beberapa bagian bahan kimia yang lain. Semua bagian bahan ini dicairkan dan disejukkan pada suhu udara tertentu untuk menjadikannya keras tapi licin. Kaca berasal dari bahan yang bersifat cair namun memiliki kepadatan tinggi, dan struktur amorf. Atom-atom di dalamnya tidak membentuk suatu jalinan yang beraturan, seperti kristal, atau biasa disebut gelas. Kaca kebanyakan dibuat dari silika ( $\text{SiO}_2$ ), campuran batu pasir dengan fluks yang menghasilkan kekentalan dan titik leleh yang tidak terlalu tinggi, untuk kemudian dicampur lagi dengan bahan stabilisator supaya kuat (Wikipedia). Kaca mengandung beberapa bahan kimia, berikut beberapa bahan kimia yang ada pada kaca

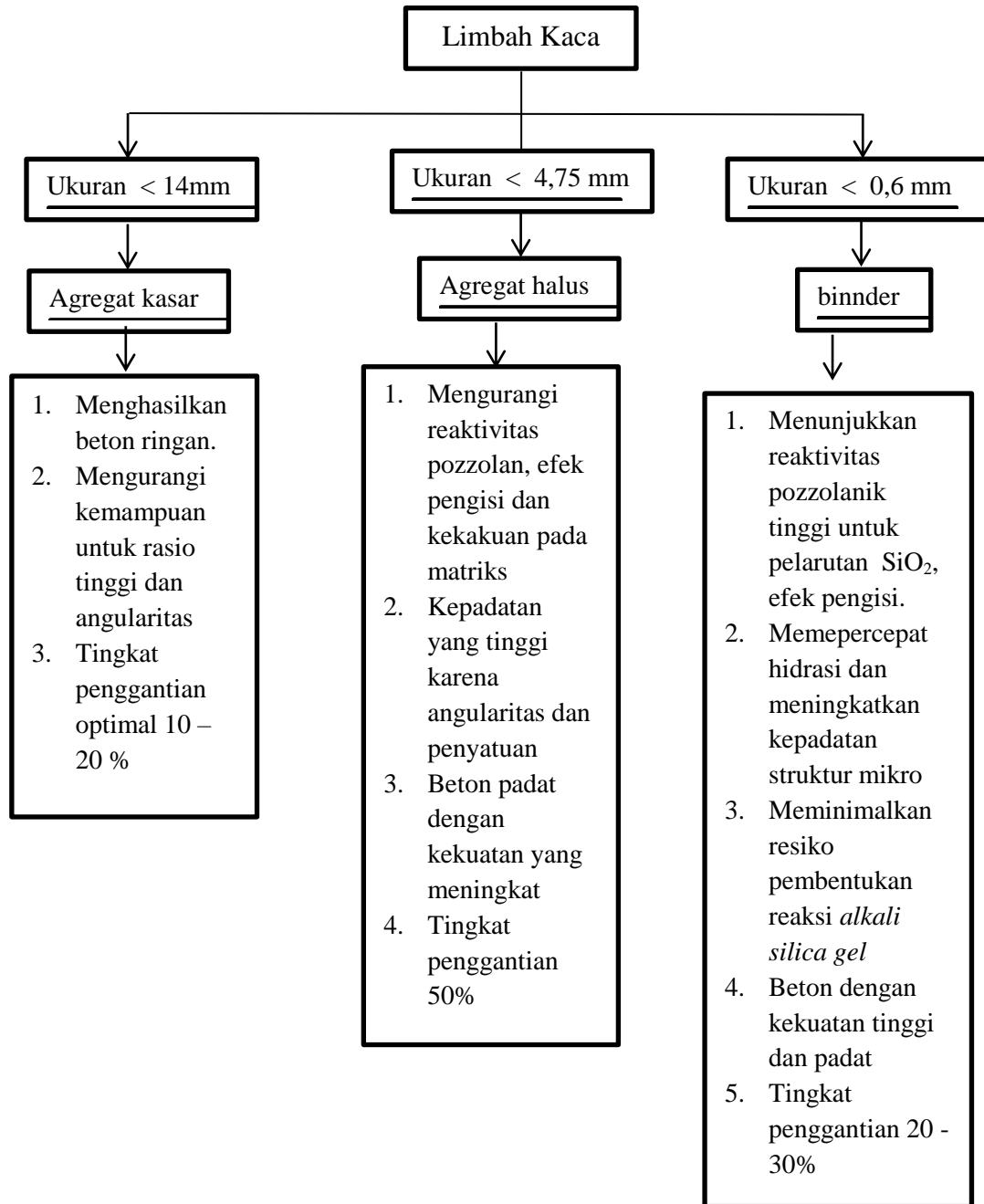
Tabel 2.3 Kandungan Kimia pada Kaca

Unsur	Serbuk Kaca
$\text{SiO}_2$	61,72%
$\text{Al}_2\text{O}_3$	3,45%
$\text{F}_2\text{O}_3$	0,18%
$\text{CaO}$	2,59%

Sumber : Hanafiah, (2011)

Secara umum 130 miliar ton kaca di produksi setiap tahun nya, diantaranya 100 juta ton dibuang menjadi sampah. Diantara kaca yang dibuang hanya 21% yang didaur ulang kembali. Kaca juga banyak mengandung silica yang dapat digunakan sebagai bahan *additive* atau untuk mengembangkan activator. Serbuk kaca juga secara efektif mempercepat proses polimerisasi dan menghasilkan kekuatan yang lebih baik terhadap hasil akhir beton *geopolymer*. Pada penelitian ini, kaca digunakan sebagai bahan pengganti agregat halus (Siddika et al., 2021). Limbah kaca yang akan digunakan sebagai bahan pengganti pada binder, namun tergantung pada pemilihan ukuran partikel dari limbah kaca tersebut. Ukuran partikel dan komposisi kimia dari limbah kaca adalah poin utama yang harus dipilih untuk membuat *mix design*.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 menjelaskan pemilihan ukuran dan fungsi limbah kaca pada beton semen.



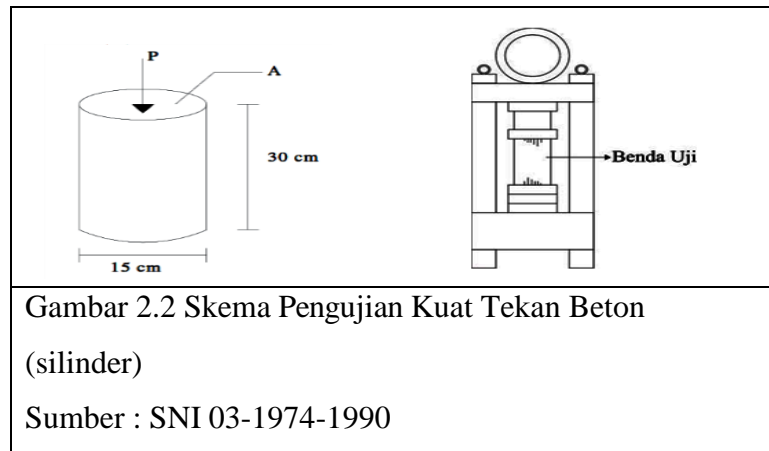
Gambar 2.1 Bagan Alir Fungsi Limbah Kaca Pada Beton Semen

Sumber : Ayesha Siddika, (2021)

## 2.8 Benda Uji

Benda uji yang akan dipakai adalah benda uji berbentuk silinder. Benda uji silinder memiliki diameter dalam 15 cm dan tinggi 30 cm, jadi untuk menghitung volume ini menggunakan rumus volume tabung yaitu :

$$V = \frac{1}{4} \times \pi d^2 \times t \quad (2.1)$$



Gambar 2.2 Skema Pengujian Kuat Tekan Beton  
(silinder)

Sumber : SNI 03-1974-1990

## 2.9 Uji Slump

*Slump* adalah penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur segera setelah cetakan uji slump diangkat. Cara uji ini meliputi penentuan nilai slump beton, baik di laboratorium maupun di lapangan. Nilai-nilai yang tertera dinyatakan dalam satuan internasional (SI) dan digunakan sebagai standar. Alat uji harus berupa sebuah cetakan yang terbuat dari bahan logam yang tidak lengket dan tidak bereaksi dengan pasta semen (Utomo, 2017)

Adapun cara kerja pengujian *slump* adalah berikut ini :

1. Cetakan dibasahi dan diletakkan di permukaan datar, cetakan harus ditahan secara kokoh ditempat selama pengisian, lalu dilakukan pengisian sebanyak tiga lapis. Setiap lapis di isi sepertiga dari volume cetakan;
2. Setiap lapisan dipadatkan dengan 25 tusukan menggunakan batang pemadat. Penusukan disebarakan secara merata di atas permukaan setiap lapisan. Untuk

lapisan bawah ini akan membutuhkan penusukan secara miring dan membuat setengah dari jumlah tusukan dekat ke batas pinggir cetakan, dan kemudian dilanjutkan penusukan vertikal secara spiral pada seputar pusat permukaan. Lapisan bawah dipadatkan seluruhnya. Batang penusuk dihindari mengenai pelat dasar cetakan. Lapisan kedua dipadatkan seluruhnya hingga kedalaman penusukan menembus batas lapisan di bawahnya;

3. Untuk lapisan paling atas, dilebihkan adukan beton di atas cetakan sebelum pemadatan dimulai. Setelah lapisan atas selesai dipadatkan, diratakan permukaan beton pada bagian atas cetakan dengan cara menggelindingkan batang penusuk di atasnya. Cetakan segera dilepaskan dari beton dengan cara mengangkat dalam arah vertikal secara-hati-hati;
4. Setelah beton menunjukkan penurunan pada permukaan, diukur segera slump dengan menentukan perbedaan vertikal antara bagian atas cetakan dan bagian pusat permukaan atas beton.

## **2.10 Uji Kuat Tekan**

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan (Manuahe et al., 2014). Metode yang dipakai untuk pengujian kuat tekan beton adalah SNI-03-1794-2011 (Badan Standardisasi Nasional, 2011)

### **a. Benda Uji**

Silinder untuk beberapa pengujian seperti pengujian kuat tekan beton, modulus elastisitas, rangkai, kuat tarik belah dapat terdiri dari berbagai ukuran dengan diameter minimum 50 mm dan panjang 100 mm. Jika diinginkan korelasi ataupun perbandingan dengan silinder yang dibuat di lapangan, silinder harus mempunyai diameter 150 mm, panjang 300 mm.

### **b. Perhitungan Kuat Tekan**

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (2.2)$$

Dimana :

$P$  = Beban Maksimum (kg)

$A$  = Luas penampang (cm<sup>2</sup>)

Perhitungan standar deviasi :

$$\text{Standar deviasi (sd)} = \sqrt{\sum \frac{(X_i - X_{rt})^2}{N-1}} \quad (2.3)$$

Dimana :

$X_i$  = data kuat tekan masing-masing uji ( $X_1, X_2, X_3$  dst)

$X_{rt}$  = data kuat tekan rata-rata dari semua benda uji.

## 2.11 Penelitian Terkait

Beberapa penelitian yang terkait sebagai acuan yang mempunyai kesinambungan terhadap penelitian yang dilakukan, antara lain :

1. (Oktaviastuti et al., 2021) Pada Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia, 6(1), 2021, page 78 – 87 dengan judul “*Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Alternatif Perkerasan Kaku di Daerah Pesisir*” dari penelitiannya didapat hasil yaitu kuat tekan beton dengan perbandingan aktivator 5:2 pada perbandingan agregat dengan binder 75 : 25, 70 : 30, dan 65 : 35 cenderung lebih besar dibandingkan dengan perbandingan lainnya. Dengan perendaman selama 28 hari hasil untuk perendaman perbandingan agregat 75 : 25 dan 65 : 35 kuat tekan terbesar menggunakan air laut, sedangkan 70 : 30 kuat tekan terbesar menggunakan air PDAM. Berdasarkan hasil tersebut juga diperoleh hasil bahwa perendaman air laut mempengaruhi kuat tekan dari beton *geopolymer*, namun dengan perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Berdasarkan pengujian yang telah

dilakukan, diperoleh trend dari perbedaan kuat tekan bahwa semakin besar perbandingan aktivator semakin besar pula kuat tekan yang didapatkan. Diperoleh 4 dari 9 benda uji yang memenuhi kuat tekan rencana (20 MPa) pada perbandingan aktivator 5:2 AB7525 sebesar 20.762 MPa, perbandingan aktivator 5:2 AB7030 sebesar 23.031 MPa, perbandingan aktivator 3:2 AB6535 sebesar 22.810 MPa dan pada perbandingan aktivator 3:2 AB6535 sebesar 27.275 MPa.

2. (Annatio, 2016) Pada Publikasi Ilmiah, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Tahun 2016. Dengan judul "*Kualitas Beton Geopolymer Pada Perkerasan Kaku (Menggunakan Material Lokal)*". Dari penelitiannya didapat hasil karakteristik beton geopolymer yaitu, kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur beton *geopolymer* rata-rata lebih besar dari beton normal pada variasi perbandingan ke 5:2. Nilai rata-rata kuat tekan beton normal yaitu 18,862 MPa. Nilai rata-rata kuat tekan beton *geopolymer* pada variasi 3:2 yaitu 11,883 MPa. Pada variasi 4:2 yaitu 18,825 MPa. Pada variasi 5:2 yaitu 21,314 MPa. Nilai rata-rata kuat tarik belah beton normal yaitu 7,096 MPa. Nilai rata-rata kuat tarik belah beton *geopolymer* pada variasi 3:2 yaitu 6,311 MPa. Pada variasi 4:2 yaitu 6,785 MPa. Pada variasi 5:2 yaitu 7,215 MPa. Nilai rata-rata kuat lentur balok beton normal yaitu 4,835 MPa. Nilai rata-rata kuat lentur balok beton *geopolymer* pada variasi 3:2 yaitu 3,843 MPa. Pada variasi 4:2 yaitu 6,303 MPa. Pada variasi 5:2 yaitu 8,003 MPa. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa beton *geopolymer* lebih bagus hasilnya pada variasi perbandingan 5:2.
3. (Prasetyo et al., 2015) meneliti alternatif pengganti semen, beton *geopolymer* tersebut menggunakan bahan limbah residu pembakaran batu bara (*fly ash*) sebagai bindernya. Alkaline Aktivator yang digunakan dalam penelitian ini adalah  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (sodium silikat) dan  $\text{NaOH}$  (sodium hidroksida) konsentrasi 10M. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan beton terhadap benda uji berbentuk kubus 15x15x15 cm 3 sebanyak



45 benda uji. Variasi aktivator 1:2, 2:2, 3:2, 4:2 dan 5:2, sedangkan variasi penggunaan agregat dan *binder* (*fly ash* dan aktivator) adalah 75% : 25%, 70% :30% dan 65% : 35%. Curing yang dipakai dengan cara didiamkan dalam suhu ruangan. Pengujian dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Berdasarkan hasil penelitian dapat diperoleh grafik hubungan antara kuat tekan beton *geopolymer* terhadap perbandingan aktivator. Untuk beton *geopolymer* 75 : 25, kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton dengan perbandingan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH} = 5:2$  sebesar 135,407 kg/cm<sup>2</sup>. Untuk beton *geopolymer* 70 : 30, kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton dengan perbandingan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH} = 5:2$  sebesar 141,037 kg/cm<sup>2</sup>. Dan untuk beton *geopolymer* 65 : 35, kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton dengan perbandingan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH} = 4:2$  sebesar 98,593 kg/cm<sup>2</sup>.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Metode untuk penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental yaitu percobaan langsung di laboratorium, dimana akan menggali data mengenai aplikasi beton *geopolymer* pada perkerasan kaku. Tahap awal yang perlu dilakukan adalah persiapan material dan peralatan, penumbukan limbah kaca, pemeriksaan sifat fisis agregat, merencanakan campuran beton, sebab untuk membuat beton *geopolymer* sendiri belum ada perhitungan *mix design* yang pasti. Untuk itu *mix design* mengacu pada AASHTO 1993 Perkerasan Kaku. Benda uji yang sudah siap, kemudian dilakukan perendaman selama 28 hari. Selanjutnya dilaksanakan uji kuat tekan pada benda uji, menggunakan perhitungan sesuai Metode Pengujian Kuat Tekan Beton berdasarkan SNI-03-1794-2011. Bagan alir penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran A.3.1 Halaman 41.

#### **3.1 Lokasi Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Universitas Teuku Umar Meulaboh, Kecamatan Meureubo, Kabupaten Aceh Barat. Material yang digunakan untuk penelitian ini yaitu, batu pecah sebagai agregat kasar, pasir sebagai agregat halus, limbah kaca sebagai bahan *additive* yang didapat dari limbah industri Duta Kaca, Peta Provinsi Aceh, peta kabupaten Aceh Barat dan peta lokasi Penelitian dapat dilihat pada Lampiran A.3.2, Lampiran A.3.3 dan Lampiran A.3.4 halaman 42, 43 dan 44.

#### **3.2 Persiapan Alat dan Bahan**

Persiapan bahan dilakukan pembersihan pada limbah kaca setelahnya, kaca ditumbuk menggunakan alu sehingga menjadi butiran-butiran kecil. Kaca yang akan digunakan untuk pengganti sebagian agregat halus adalah kaca yang tertahan pada

saringan nomor 50 dan 100. Limbah kaca yang digunakan sebagai bahan *additive* pada agregat halus adalah sebesar 5% dari jumlah agregat halus.

Benda uji yang dibuat tidak menggunakan semen melainkan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen tersebut. *Fly ash* yang digunakan didapat dari PLTU di Nagan Raya. Bahan Pengikat yang digunakan adalah alkaline yang berupa sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan sodium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) yang akan dilarutkan dengan air suling. Alkaline aktivator didapat dari pembelian *online* di CV. Rudang Jaya, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara.

Agregat kasar (batu pecah) dan agregat halus (pasir) diperoleh dari Kabupaten Nagan Raya. Pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat meliputi, pemeriksaan gradasi agregat, pemeriksaan berat jenis, pemeriksaan kadar air agregat, dan pemeriksaan berat isi agregat. Bahan dan alat untuk penelitian ini antara lain :

a. Bahan

- Agregat halus, pasir dan limbah kaca,
- Agregat kasar (batu pecah),
- *Fly Ash* yang berasal dari Nagan Raya,
- Alkali activator berupa sodium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) dan sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ),
- Air suling untuk membuat larutan sodium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ).

b. Alat

- Meliputi alat-alat pemeriksaan agregat,
- Alat-alat pengecoran,
- Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram,
- Oven dengan pengatur suhu ( $110 \pm 5$ ) °C,
- Baskom dan cawan besar sebagai tempat untuk menyimpan bahan untuk pembuatan silinder beton,
- Alat pengaduk, ember, pisau perata dan peralatan pembantu lainnya.
- Stopwatch,

- Alat-alat uji *slump* yang terdiri dari kerucut Abram dan tongkat pemadat, cetakan silinder dengan ukuran tinggi 30 cm dan diameter 15 cm, bak perendaman,
- Alat uji kuat tekan *compression testing machine*.

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel perbandingan material untuk penelitian ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

NO	Perbandingan Agregat dengan <i>Binder</i>	Perbandingan Aktivator $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ : NaOH	Jumlah Benda Uji yang Dibuat
1.	75 : 25	3 : 1	1
		5 : 2	1
2.	70 : 30	3 : 1	1
		5 : 2	1
3.	65 : 35	3 : 1	1
		5 : 2	1
4.	75 : 25	3 : 1	1
		5 : 2	1
Jumlah			8

Ket : <sup>1,2,3</sup>Agregat = Agregat Kasar + agregat halus + kaca

<sup>1,2,3</sup>Binder = Fly ash + alkalin

<sup>4</sup>Agregat = Agregat Kasar + agregat halus

<sup>4</sup>Binder = Semen + Air

### 3.4 Perhitungan *Mix Design*

Benda uji yang digunakan adalah silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Perhitungan *job mix* untuk penelitian ini menggunakan AASHTO 1993. Rumus perhitungan volume silinder benda uji dirujuk pada rumus 2.1 halaman 15.

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{4} \times \pi d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,30 \\ &= 0,0053 \text{ M}^3 \end{aligned}$$

Jadi untuk 1 buah benda uji dengan diameter 15 cm dan dengan tinggi 30 cm. Volumennya adalah 0,0053 M<sup>3</sup>. Dalam 1 buah benda uji komposit beton, berjumlah 3 buah benda uji silinder sehingga volume yang dibutuhkan dalam 1 buah benda uji adalah 3 x 0,0053 = 0,0159 M<sup>3</sup>.

Benda uji yang dibutuhkan sebanyak 8 benda uji adalah 8 x 0,0053 M<sup>3</sup> = 0,0424 M<sup>3</sup>. Volume untuk pengecoran beton yang akan dimasukkan kedalam 8 benda uji sebagai isian adalah 0,0424 M<sup>3</sup>.

Beton untuk penelitian ini adalah mutu K-225 dalam 1 M<sup>3</sup> berikut tabel *mix design* menurut AASHTO 1993 Perkerasan Kaku.

Tabel 3.2 *Mix Design* Menurut AASHTO 1993 Perkerasan Kaku

<b>Material</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Satuan</b>
Fly Ash	400	Kg/m <sup>3</sup>
Agregat Halus	791	Kg/m <sup>3</sup>
Agregat Kasar	1077	Kg/m <sup>3</sup>
Air	160	Kg/m <sup>3</sup>
Slump	Maks 5	Cm <sup>2</sup>

Maka pada penelitian ini jumlah bahan yang dibutuhkan untuk pengecoran isian benda uji silinder dalam 0,0424 M<sup>3</sup> adalah :

Fly Ash = 400 x 0,0053  
 = 2,12 kg (1 benda uji)  
 = 2,12 x 8 benda uji  
 = 16,96 kg

Pasir = 791 x 0,0053  
 = 4,191 kg  
 = 4,191 x 8 benda uji  
 = 33,53 kg

Kaca = 4,191 kg x 5%  
 = 0,20955 kg  
 = 0,20955 kg x 6 benda uji  
 = 1,2573 kg

Kerikil = 1077 x 0,0053 =  
 = 5,707 kg  
 = 5,707 x 8 benda uji  
 = 45,65 kg

Alkaline (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>+NaOH) = 1,1 x fly ash  
 = 1,1 x 2,12 kg  
 = 2,331 kg  
 = 2,331 x 6 benda uji  
 = 13,99 kg

Tabel 3.3 Perbandingan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> : NaOH

Alkalin Aktivator		2,331 kg	
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	NaOH	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	NaOH
3	1	1,5543 kg	0,77715 kg
5	2	1,39887 Gr	0,93258 kg

### 3.5 Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Untuk campuran beton ini diperkirakan kekuatan tekan rencana yaitu 18,67 MPa. Proporsi campuran beton geopolimer pada penelitian ini menggunakan campuran agregat kasar, agregat halus, kaca, fly ash, dan activator. Benda uji yang dipakai berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Berikut tabel perencanaan campuran dibawah ini.

Tabel 3.4 Perencanaan Campuran (*mix design*) untuk 1 m<sup>3</sup>

Material	Geo – FA	Satuan
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	2,9317	Kg
NaOH 8 M	1,70973	Kg
Fly Ash	2,12	Kg
Pasir	4,191	Kg
Kerikil	5,707	Kg
Kaca	0,20955	Kg

### 3.6 Prosedur Penelitian

#### 3.6.1 Tahapan pemeriksaan agregat (kasar dan halus)

##### 1. Pemeriksaan gradasi agregat (*Sieve Analysis*)

Pemeriksaan sieve analysis agregat ini berdasarkan pada ketentuan ASTM D75-87. Pemeriksaan dilakukan dengan cara menimbang agregat sebanyak 5000 gr. Lalu agregat dicuci dan dikeringkan dalam oven dengan suhu  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , kemudian agregat disaring lewat susunan saringan nomor 1 ½, 1, ¾, ½, 3/8, 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200. Berat fraksi agregat yang tertahan pada setiap saringan ditimbang lalu dicatat perhitungannya.

2. Pemeriksaan kadar air

Pemeriksaan kadar air agregat diawali dengan menimbang agregat kasar sebanyak 2500 gr dan agregat halus sebanyak 625 gr. Lalu kedua agregat dimasukkan ke oven dengan suhu  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam. Setelah 24 jam agregat dikeluarkan dari oven dan ditimbang kembali.

3. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar.

Pemeriksaan ini diawali dengan menimbang agregat sebanyak 3000 gr, setelahnya agregat dicuci untuk menghilangkan debu, agregat yang telah dicuci dikeringkan di oven dengan suhu  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam, setelah 24 jam keluarkan agregat dan biarkan dingin pada suhu ruang selama 1 sampai 3 jam, kemudian agregat ditimbang untuk mendapatkan berat agregat kering oven.

Berat agregat kering jenuh didapatkan dengan cara merendam agregat di suhu ruang selama 24 jam, setelah 24 jam agregat dikeluarkan dari air lalu lap dengan kain sampai selaput air pada permukaan agregat hilang kemudian timbang, sedangkan untuk berat agregat dalam air dilakukan dengan cara menimbang agregat di keranjang yang berada didalam air, dan guncangkan batunya untuk mengeluarkan udara yang tersekap lalu tentukan beratnya dalam air.

4. Pemeriksaan berat isi agregat.

Pemeriksaan ini dilakukan dengan 3 tahap. Pertama yang dilakukan adalah menimbang berat wadah kosong. Lalu tahap pertama yaitu berat isi lepas, agregat dimasukkan ke wadah silinder dari ketinggian 5 cm dengan sendok, lalu setelah wadah penuh agregat diratakan dengan mistar perata, lalu agregat serta wadah silinder ditimbang, setelahnya dilakukan perhitungan berat isi lepas. Tahap kedua yaitu berat isi tusukan, agregat dimasukkan dalam 3 lapis yang sama tebal, setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 (dua puluh lima) kali tusukan secara merata. Pada saat pemadatan tongkat harus tepat masuk sampai lapisan



bagian bawah tiap-tiap lapisan, lalu permukaan agregat diratakan dengan mistar perata, kemudian ditimbang dan dilakukan perhitungan. Tahap ketiga yaitu berat isi goyangan, masukkan agregat dengan hati-hati agar tidak terjadi pemisahan butir dalam 3 (tiga) lapis yang sama tebal, lalu padatkan setiap lapisan dengan cara letakkan wadah di atas tempat yang kokoh dan datar, angkatlah salah satu sisinya kira-kira setinggi 5 cm kemudian lepaskan, ulangi hal ini pada sisi yang berlawanan. Padatkan setiap lapisan sebanyak 25 kali untuk setiap lapisan, lalu ratakan permukaan agregat dengan mistar perata, setelah nya timbang dan lakukan perhitungan.

### **3.6.2 Tahapan pembuatan benda uji**

1. Menyiapkan semua alat dan bahan untuk membuat benda uji;
2. Limbah kaca yang telah dibersihkan ditumbuk menggunakan alu sampai menjadi butiran-butiran kecil yang setelahnya akan disaring. Kaca yang digunakan adalah yang tertahan saringan nomor 50 dan 100.
3. Agregat ditimbang sesuai dengan komposisi campuran yang telah direncanakan. Yaitu : agregat kasar, agregat halus, serbuk kaca, *fly ash*, dan activator;
4. Mencampurkan *fly ash* dengan sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ );
5. Membuat campuran agregat halus, serbuk kaca, dan sodium hidroksida ( $\text{NaOH}$ );
6. Kemudian kedua campuran tersebut disatukan dan ditambahkan agregat kasar;
7. *Slump* beton segar diperiksa dengan menggunakan alat uji *slump*;
8. Setelah nilai uji *slump* terpenuhi, campuran beton *geopolymer* dimasukkan ke dalam cetakan silinder dengan ukuran tinggi 30 cm dan diameter 15 cm, dengan cara dimasukkan 1/3 bagian lalu ditusuk sebanyak 25 kali

- menggunakan tongkat penusuk (besi diameter 10). Tambahkan dan tusuk-tusuk campuran beton sampai 3 lapis lalu ratakan permukaan benda uji;
9. Diamkan beton dalam cetakan selama 24 jam atau lebih lama;
  10. Setelah waktu penyimpanan benda uji tercapai, cetakan silinder dibuka dan diberikan kode pada benda uji;
  11. Benda uji untuk pengujian kuat tekan disimpan di ruangan (perawatan menggunakan suhu ruang) selama 28 hari, sebelum dilakukan pengujian guna menjaga kondisi benda uji tetap utuh.

### **3.6.3 Tahapan perawatan dan pengujian benda uji**

Perawatan pada beton *geopolymer* dilakukan dengan merendam benda uji ke dalam bak berisi air PDAM. Akan tetapi sebelumnya dilakukan penimbangan terlebih dahulu pada setiap benda uji, untuk didapat data berat benda uji yang kemudian dibandingkan dengan berat benda uji setelah perendaman untuk meninjau proses peresapan air pada beton *geopolymer*. Selanjutnya benda uji akan didiamkan dalam bak perendaman selama 28 hari. Setelah direndam selama 28 hari, benda uji akan dikeluarkan dan didiamkan hingga mengering untuk selanjutnya ditimbang. Selanjutnya akan dilakukan uji kuat tekan terhadap benda uji silinder menggunakan mesin tekan *universal testing machine*.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan dibahas hasil dan pembahasan terkait penelitian yang telah dilakukan, seperti hasil pengujian sifat fisis agregat kasar dan agregat halus, hasil pengujian *slump*, serta hasil dari kuat tekan beton *geopolymer* pada perkerasan kaku.

#### 4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

##### 4.1.1 Pemeriksaan analisis saringan

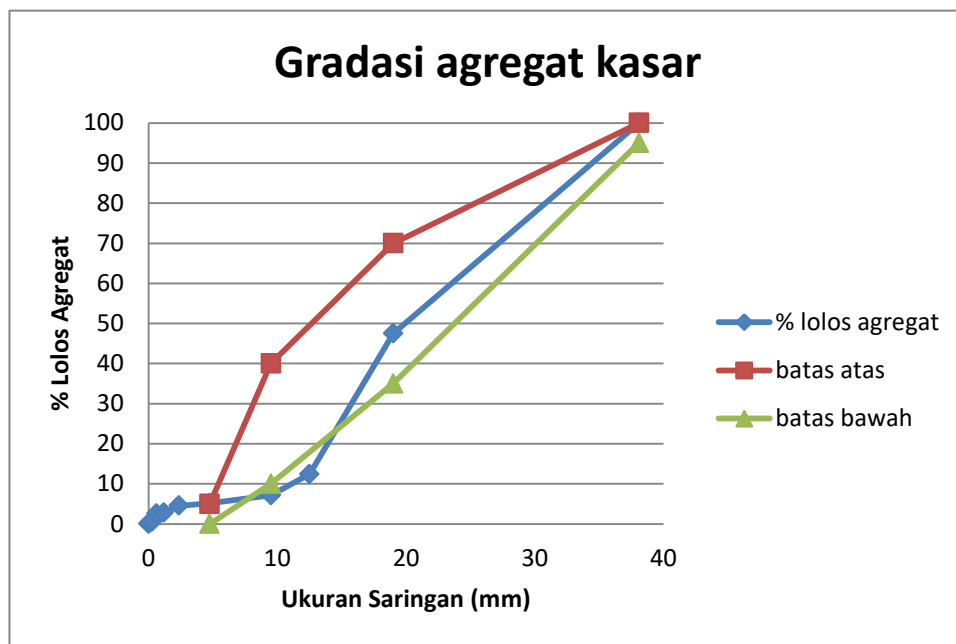
Pemeriksaan analisis saringan agregat ialah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka-angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir (SNI-03-1968-1990). Pemeriksaan ini bertujuan untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus maupun agregat kasar. Hasil dari pemeriksaan analisis agregat ini disajikan dalam tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Analisis Agregat

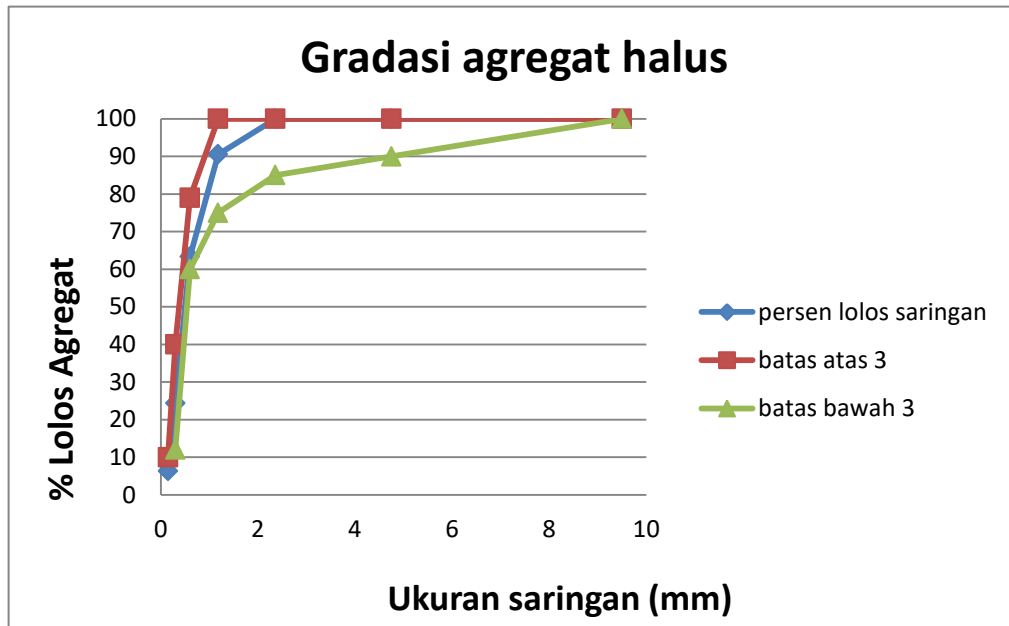
No. Saringan	Persen Lolos Saringan	
	Kasar	Halus
1,5	100	100
1	91,08	100
$\frac{3}{4}$	47,47	100
$\frac{1}{2}$	12,39	100
$\frac{3}{8}$	7,14	100
4	5,15	100
8	4,56	100
16	2,78	90,52
30	2,58	63,35

50	0,595	24,35
100	0,396	6,31
200	0,198	2,82

Tabel 4.1 diatas menunjukkan bahwa agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat yang lolos saringan nomor 3/8 dan tertahan di saringan nomor 4. Sedangkan untuk agregat halus digunakan agregat yang lolos saringan no 4.



Gambar 4.1 Grafik Gradasi Agregat Kasar SNI 03-2834-2000



Gambar 4.2 Grafik Gradasi Agregat Halus SNI 03-2834-2000

#### 4.1.2 Pemeriksaan kadar air agregat

Pemeriksaan ini bertujuan untuk memperoleh persentase dari kadar air yang dikandung agregat dengan cara pengeringan oven. Kadar air agregat adalah perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering. Pengujian dilakukan berdasarkan SNI 03-1971-1990. Berikut hasil dari pemeriksaan kadar air agregat yang dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini :

Tabel 4.2 Hasil pengujian kadar air agregat

Keterangan	Agregat	
	Kasar (Kg)	Halus (Kg)
Cawan+agg	2,595	0,72
Cawan + agg kering oven	2,58	0,705
Berat cawan	0,095	0,095
Berat benda uji kering oven	2,485	0,61

Kadar air agregat (%)	0,6	2,4
-----------------------	-----	-----

Tabel 4.2 diatas menunjukkan kadar air masing-masing agregat kasar dan agregat halus dimana agregat kasar adalah batu pecah dengan kadar air 0,6%, serta agregat halus yaitu pasir dengan kadar air sebesar 2,4%.

#### 4.1.3 Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Pemeriksaan berat jenis agregat ini bertujuan untuk menentukan berat jenis lepas, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu, dan penyerapan agregat. Pemeriksaan dilakukan menggunakan SNI 03-1969-1990. Hasil pemeriksaan agregat ini dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini :

Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian	Hasil (Kg)
Berat Jenis (Bulk)	3,1514
Berat Jenis Permukaan Jenuh SSD	3,0841
Berat Jenis Semu (Appearant)	2,9527
Penyerapan	2,1356

#### 4.1.4 Pemeriksaan berat volume agregat

Pemeriksaan berat volume agregat digunakan untuk menentukan proporsi agregat yang digunakan dalam campuran (berat volume agregat halus, kasar, ataupun campuran). Berat volume agregat diartikan sebagai perbandingan antara berat material kering dengan volumenya. Hasil dari pemeriksaan berat isi agregat dapat dilihat pada tabel 4.4 dibawah ini:

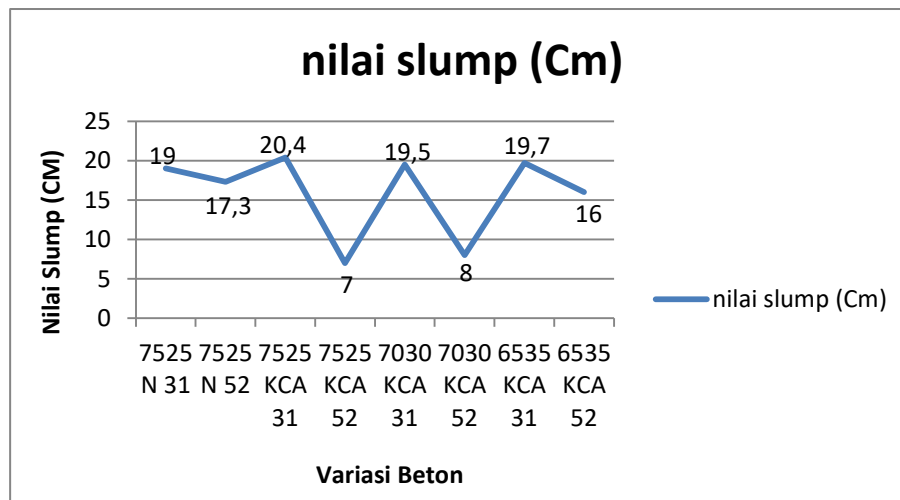
Tabel 4.4 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Agregat

Jenis Agregat	Berat Volume (Kg/L)	Referensi (ASTM)
Kasar	1,623	1,6 – 1,9
Halus	1,67	-

Hasil berat volume agregat di atas menunjukkan berat volume agregat dapat digunakan sebagai bahan pembentuk beton, dengan berat volume agregat kasar telah memenuhi spesifikasi yaitu 1,623 kg/l dengan kisaran 1,6 kg/l – 1,9 kg/l seperti yang disarankan ASTM. Agregat halus yang digunakan sebagai bahan pembentuk beton dengan berat volume yaitu 1,66 Kg/L.

#### 4.1.5 Hasil Pengukuran *Slump*

Data yang didapat dari hasil pengukuran *slump* pada setiap pengecoran dari variasi beton yang menggunakan kaca sebagai bahan *additive* pada agregat halus dapat dilihat pada gambar 4.1. Data tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai *slump* adukan beton berkisar antara 7 cm – 20,4 cm, nilai *slump* yang direncanakan tidak terpenuhi.



Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian *Slump*

Grafik diatas dapat disimpulkan *slump* dipengaruhi oleh persentase agregat dan penambahan kaca sebanyak 5% dari jumlah agregat halus. Hasil *slump* yang didapat yaitu untuk kode 75:25 N (3:1) 19 cm, 75:25 N (5:2) 17,3 cm, 75:25 KCA (3:1) sebesar 20,4 cm, 75:25 KCA (5:2) sebesar 7 cm, 70:30 KCA (3:1) 19,5 cm, 70:30 KCA (5:2) 8 cm, 65:35 KCA (3:1) 19,7 cm, dan 65:35 KCA (5:2) 16 cm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan *fly ash* maka nilai *slump* juga semakin tinggi, hal ini disebabkan karena pengaruh kadar alkalin yang digunakan dalam campuran ini didapatkan berdasarkan berat *fly ash* yang digunakan oleh masing masing variasi, jadi apabila berat *fly ash* semakin tinggi, maka kebutuhan air dalam hal ini yaitu alkalin juga semakin tinggi dan mengakibatkan nilai *slump* semakin tinggi.

#### 4.1.6 Hasil Pengujian Kuat Tekan

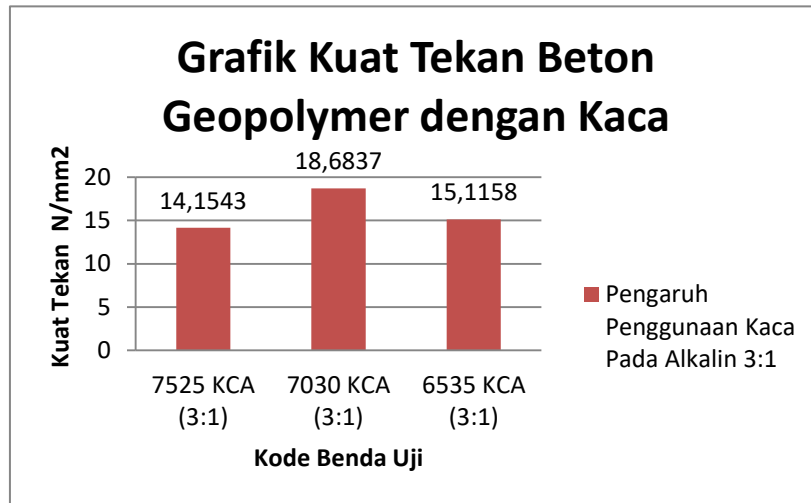
Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Sebelum pengujian kuat tekan beton, benda uji yang berada di bak perendaman dikeluarkan dan didiamkan selama 24 jam untuk mengeringkan benda uji. Setelahnya, benda uji ditimbang untuk mendapatkan berat per benda uji. Setelahnya akan dilakukan pengujian kuat tekan beton terhadap benda uji menggunakan mesin *compression testing machine*. Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari dapat dilihat pada Lampiran C.4.9 halaman 58.

Tabel 4.5 Hasil Uji Kuat Tekan Beton *Geopolymer* Umur 28 hari.

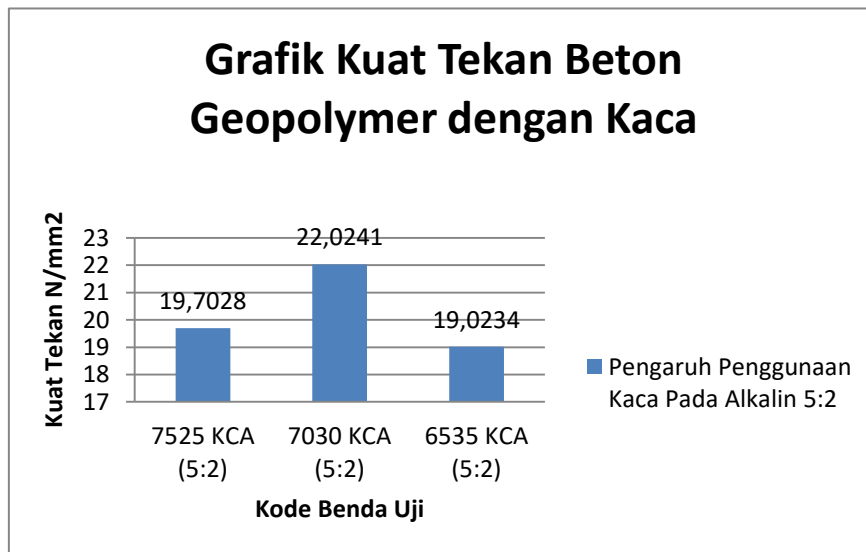
Variasi BU	Kode BU	Berat BU (Kg)	P (kN)	N/mm <sup>2</sup>
Normal	75:25 (3:1)	10,53	332	18,7969
	75:25 (5:2)	10,65	333	18,8535
Menggunakan kaca 5% dari jumlah	75:25 (3:1)	11,64	250	14,1543
	75:25 (5:2)	11,96	348	19,7028
	70:30 (3:1)	11,32	330	18,6837



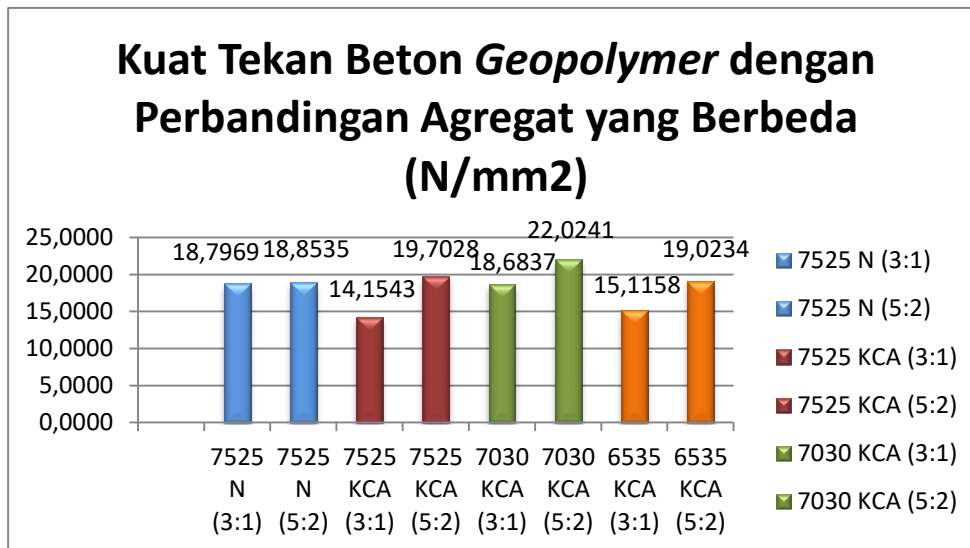
agregat halus sebagai bahan additive	70:30 (5:2)	11,79	389	22,0241
	65:35 (3:1)	11,47	267	15.1168
	65:35 (5:2)	11,21	336	19,0234



Gambar 4.4 Grafik Kuat Tekan Menggunakan Kaca dengan Alkalin 3:1



Gambar 4.5 Grafik Kuat Tekan Menggunakan Kaca dengan Alkalin 5:2



Gambar 4.6 Grafik Kuat Tekan Perbandingan Agregat yang Berbeda

Disimpulkan dari tabel 4.5 kuat tekan beton *geopolymer* yang memenuhi nilai kuat tekan beton K225 atau setara dengan 18,68 Mpa yaitu pada kode beton 75:25 N (3:1), 75:25 N (5:2), 75:25 KCA (5:2), 70:30 KCA (3:1), 70:30 KCA (5:2), kode 65:35 KCA (5:2), sedangkan untuk kode beton 75:25 KCA (3:1) dan 65:35 KCA (3:1) tidak memenuhi nilai kuat tekan beton yang direncanakan. Hal ini kemungkinan disebabkan jumlah alkalin yang digunakan untuk pencampuran dilapangan mungkin berbeda dengan jumlah alkalin pada perencanaan awal campuran beton *geopolymer*. Maka dalam campuran adukan setiap benda uji di laboratorium, kebutuhan alkalin bisa dikurangi 5% atau ditambahkan 5% dari perencanaan awal campuran beton *geopolymer*.

Pengujian beton normal *geopolymer* pada perkerasan kaku pada umur 28 hari diperoleh berat benda uji beton sebesar 10,53 kg untuk perbandingan 75:25 (3:1), dan 10,65 kg untuk perbandingan 75:25 (5:2), sedangkan pada beton *geopolymer* dengan umur rencana 28 hari menggunakan kaca sebagai bahan *additive* didapat berat benda uji beton yaitu 11,64 kg untuk perbandingan 75:25 (3:1), 11,96 kg untuk perbandingan 75:25 (5:2), 11,32 kg untuk perbandingan 70:30 (3:1), 11,79 kg untuk

perbandingan 70:30 (5:2), 11,47 kg untuk perbandingan 65:35 (3:1), dan 11,21 kg untuk perbandingan 65:35 (5:2).

## 4.2 Pembahasan

Secara keseluruhan dapat dilihat untuk kuat tekan beton *geopolymer* dari data yang diperoleh pada tabel 4.5 dapat dilihat pengaruh dari aktifator dan variasi beton, agregat dan binder terhadap kuat tekan beton *geopolymer*, untuk beton *geopolymer* normal dengan variasi agregat banding binder dengan kode 75:25 N kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton *geopolymer* dengan perbandingan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  :  $\text{NaOH}$  (5:2), sedangkan untuk beton yang memakai kaca dengan kode 75:25 KCA kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton *geopolymer* dengan perbandingan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  :  $\text{NaOH}$  (5:2), kode 70:30 KCA kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton *geopolymer* dengan perbandingan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  :  $\text{NaOH}$  (5:2), begitu juga untuk beton *geopolymer* dengan kode 65:35 KCA kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton *geopolymer* dengan perbandingan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  :  $\text{NaOH}$  (5:2). Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi perbandingan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  :  $\text{NaOH}$  yang digunakan dalam campuran, maka semakin tinggi pula kuat tekan yang dihasilkan oleh masing-masing beton, hal ini memiliki pendapat yang sama dengan penelitian Ekaputri dan Januarti (2014) dengan penelitian tentang pengaruh molaritas terhadap kuat mekanik beton *geopolymer* kuat tekan tertinggi pada perbandingan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  :  $\text{NaOH} = 4:2$ .

Kaca sebagai bahan additive pada agregat halus sendiri mengandung senyawa kimia yang secara teoritis, berarti bahwa senyawa anorganik yang ditemukan di kaca kondusif untuk geopolimerisasi karena Si, Al, dan Ca diperlukan untuk berlangsungnya proses polimerisasi, reaksi *geopolymer* ditingkatkan dengan penambahan silika sedangkan partikel kaca yang besar memberikan kekuatan pada campuran dengan bertindak sebagai agregat, kesimpulan kaca tersebut sependapat dengan penelitian Arulrajah A., dkk (2017) yang meneliti kaca daur ulang sebagai bahan pengisi tambahan dalam geopolimer ampas kopi bekas, beton yang

menggunakan kaca juga cenderung memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan beton normal hal ini berarti kaca dapat digunakan sebagai pengganti agregat halus karena kuat tekan mengalami kenaikan, kesimpulan ini sependapat dengan penelitian Indriani L. (2016) yang meneliti manfaat pecahan kaca sebagai agregat halus pada beton.

Berdasarkan hasil analisa tersebut dapat disimpulkan kuat tekan beton *geopolymer* pada perkerasan kaku menggunakan limbah kaca sebagai bahan additive sesuai dengan persyaratan spesifikasi SNI 1974:2011 bahwa kuat tekan beton K225 adalah 18,68 Mpa. Sedangkan kode beton 75:25 KCA (3:1) dan 65:35 KCA (3:1) tidak memenuhi persyaratan, hal ini dapat disebabkan perencanaan campuran beton *geopolymer* untuk setiap sampel benda uji, jumlah alkalin yang digunakan dalam pencampuran dilapangan mungkin berbeda dengan jumlah alkalin dalam perencanaan awal campuran beton *geopolymer*. Ini bisa terjadi karena tingkat kesulitan dalam adukan beton *geopolymer* itu sendiri, dan karena pengaruh kondisi di laboratorium, serta pada agregat masih terdapat debu. Maka dalam campuran adukan setiap sampel dilaboratorium, kebutuhan alkalin bisa dikurangi 5% atau ditambahkan 5% dari perencanaan awal campuran beton *geopolymer*, kesimpulan ini juga sependapat dengan penelitian Prasetyo B. G., dkk yang meneliti kuat tekan beton *geopolymer* dengan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dibahas pada bab hasil penelitian dan pembahasan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Semakin tinggi kandungan *fly ash* maka nilai slump juga semakin tinggi. Jadi apabila berat *fly ash* semakin tinggi, maka kebutuhan alkalin juga semakin tinggi dan mengakibatkan nilai slump juga semakin tinggi;
2. Hasil kuat tekan beton normal lebih rendah daripada beton yang memakai kaca. Hal ini disebabkan karena kaca memiliki senyawa anorganik yang konduktif untuk geopolimerisasi, reaksi *geopolymer* ditingkatkan dengan penambahan silika sedangkan partikel kaca yang besar memberikan kekuatan pada campuran dengan bertindak sebagai agregat;
3. Semakin tinggi perbandingan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH}$  yang digunakan dalam campuran, maka terdapat kecenderungan semakin tingginya kuat tekan yang dihasilkan oleh masing-masing beton.

#### 5.2 Saran

Hasil penelitian ini diharapkan dapat berguna secara umum dalam bidang ilmu bahan bangunan, jalan rabat beton (*rigid pavement*) dan juga dapat dijadikan sebagai salah satu pedoman dalam perencanaan beton *geopolymer* pada perkerasan kaku menggunakan limbah kaca sebagai bahan *additive*. Maka dari itu disarankan beberapa hal sebagai berikut :

1. Proses pemeriksaan gradasi agregat lebih baik dilakukan untuk setiap benda uji;
2. Dalam proses pencampuran beton *geopolymer* ini sebaiknya menggunakan perlengkapan pelindung seperti masker dan sarung tangan karena *fly ash* dan zat kimia yang digunakan sangat berbahaya bagi tubuh;

3. Disarankan membuka cetakan 2 hari atau sampai beton *geopolymer* mengeras setelah proses pengecoran;
4. Setelah mengeluarkan benda uji dari kolam perawatan sebaiknya dibiarkan mengering selama 2 hari;
5. Teknik pencampuran berikutnya disarankan menggunakan mesin, karena pada penelitian ini teknik pencampuran dilakukan secara manual;
6. Grafik untuk setiap perbandingan benda uji sebaiknya dipisah agar mudah menarik kesimpulan.

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

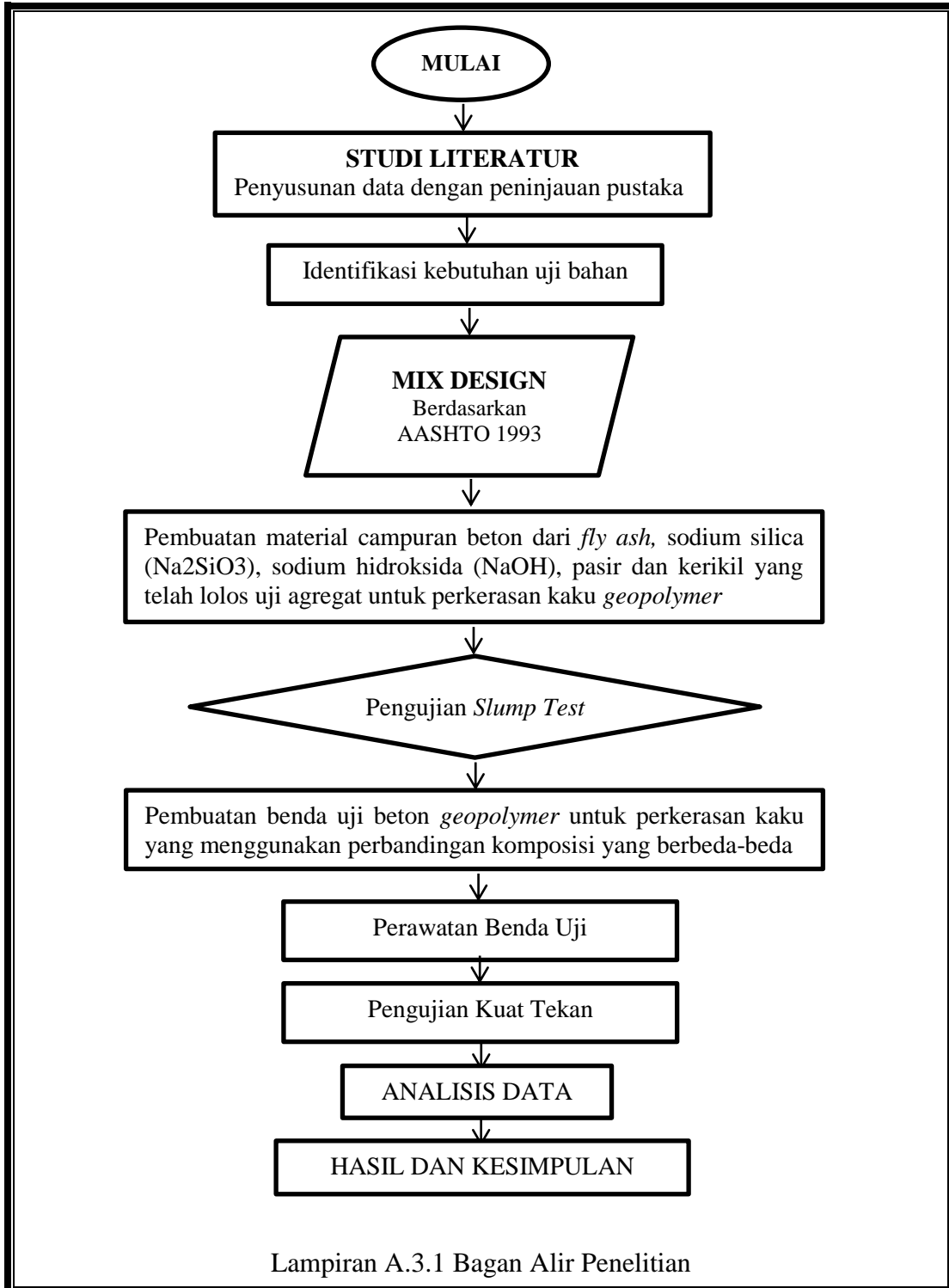
1. Annatio, A. (2016). *Kualitas Beton Geopolymer Pada Perkerasan Kaku (Menggunakan Material Lokal)*.
2. Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 20.
3. Fitriani, D. R. (2010). *Pengaruh Modulus Alkali Dan Kadar Aktivator Terhadap Kuat Tekan Fly Ash-Based Geopolymer Mortar*. 58.
4. Gandina, N. L. (2013). *Studi eksperimental beton geopolimer yang memanfaatkan fly ash sebagai pengganit semen dan srat mat sebagai aditif*. 1–14. <https://elib.unikom.ac.id/gdl.php?mod=browse&op=read&id=jbptunikompp-gdl-nisalatifa-32655>
5. Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Tentang Konsep Dasar dan Konstruksi Perkerasan Kaku. (2017). *Konsep Dasar dan Konstruksi Perkerasan Kaku. Modul 1 Konsep Dasar Konstruksi Perkerasan Kaku*, 51.
6. Manuahe, R., Sumajouw, M. D. J., & Windah, R. S. (2014). Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash). *Jurnal Sipil Statik*, 2(6), 277–282.
7. Oktaviastuti, B., Damar Pandulu, G., & Lusyana, E. (2021). *Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Alternatif Perkerasan Kaku di Daerah Pesisir (Compressive Strength of Geopolymer Concrete Based on Fly Ash as an Alternative to Rigid Pavement in Coastal Areas)*. 6(1), 78–87. <https://doi.org/10.33366/rekabua>
8. Prasetyo, G. B., Trinugroho, S., & Solikin, M. (2015). Tinjauan Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen. *Naskah Publikasi*.
9. Setyati Budiningrum, D., Kustirini, A., Purnijanto, B., Mahasukma, D., & Yogha Utama, T. (2021). *Studi Experimental Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan*

*Dasar Fly Ash Pltu Tanjungjati B Jepara. 07, 2021.*

10. Siddika, A., Hajimohammadi, A., Mamun, M. A. Al, Alyousef, R., & Ferdous, W. (2021). Waste glass in cement and geopolymer concretes: A review on durability and challenges. *Polymers*, *13*(13), 1–26. <https://doi.org/10.3390/polym13132071>
11. Utomo, T. (2017). *Analisa kuat tekan beton geopolimer dengan bahan alternatif abu sekam padi dan kapur padam*. 1–123.
12. Suryawan, A. (2005). *Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement)*. Beta Offset
13. MRF. 2001. "Apa Itu Geopolymer-Penjelasan Singkat dan Padat". <https://www.thinkphysics.com/2021/08/apa-itu-geopolymer-penjelasan-singkat.html> pada 05 Februari 2022 pukul 12.10.
14. "Abu Terbang". Wikipedia. Ensiklopedia Gratis. <https://id.wikipedia.org/wiki/abu-Terbang> pada 18 Maret 2022 pukul 13.12.
15. "Semen". Wikipedia. Ensiklopedia Gratis. <https://id.wikipedia.org/wiki/Semen> pada 31 Maret 2022 pukul 10.30.



LAMPIRAN A



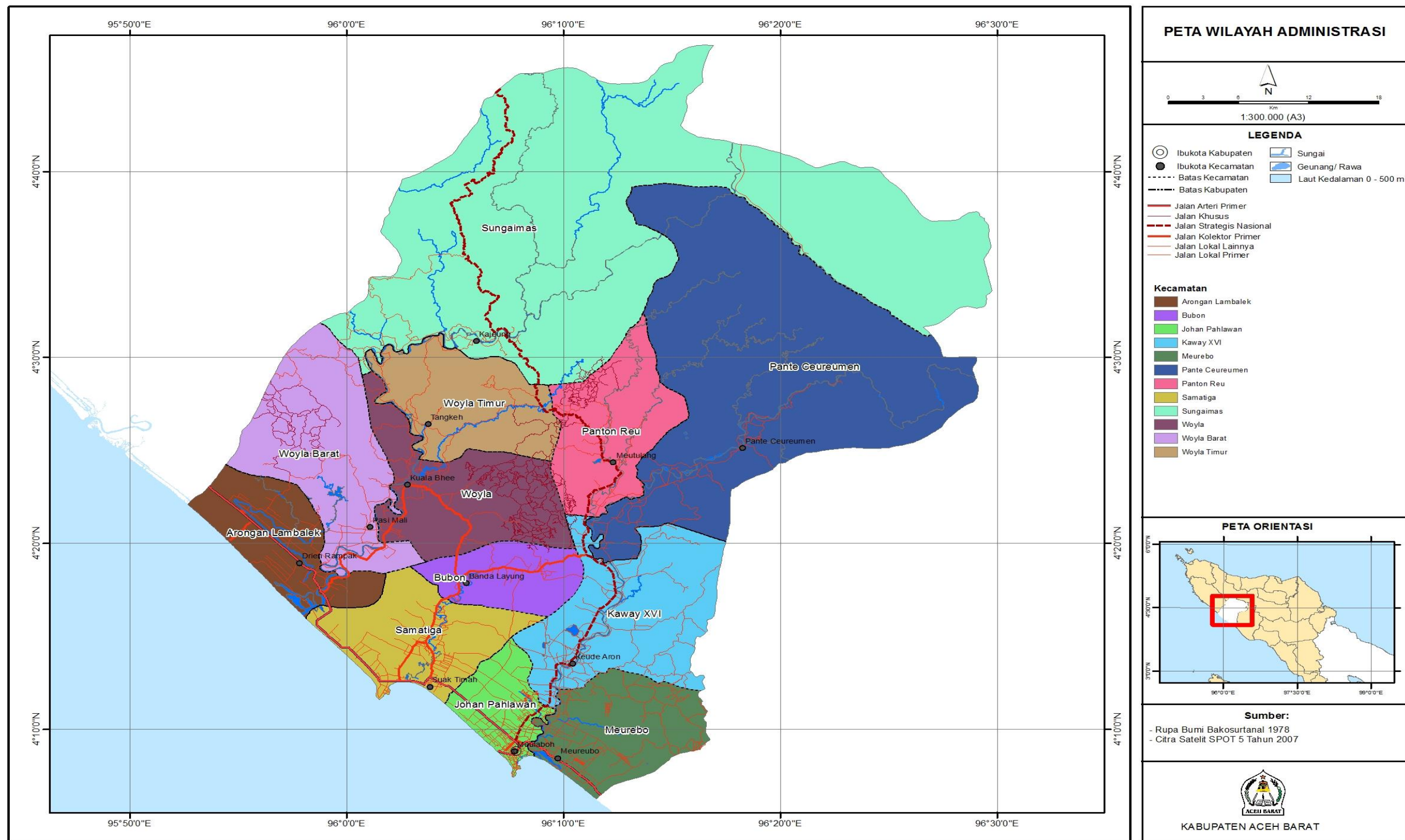


Lampiran A

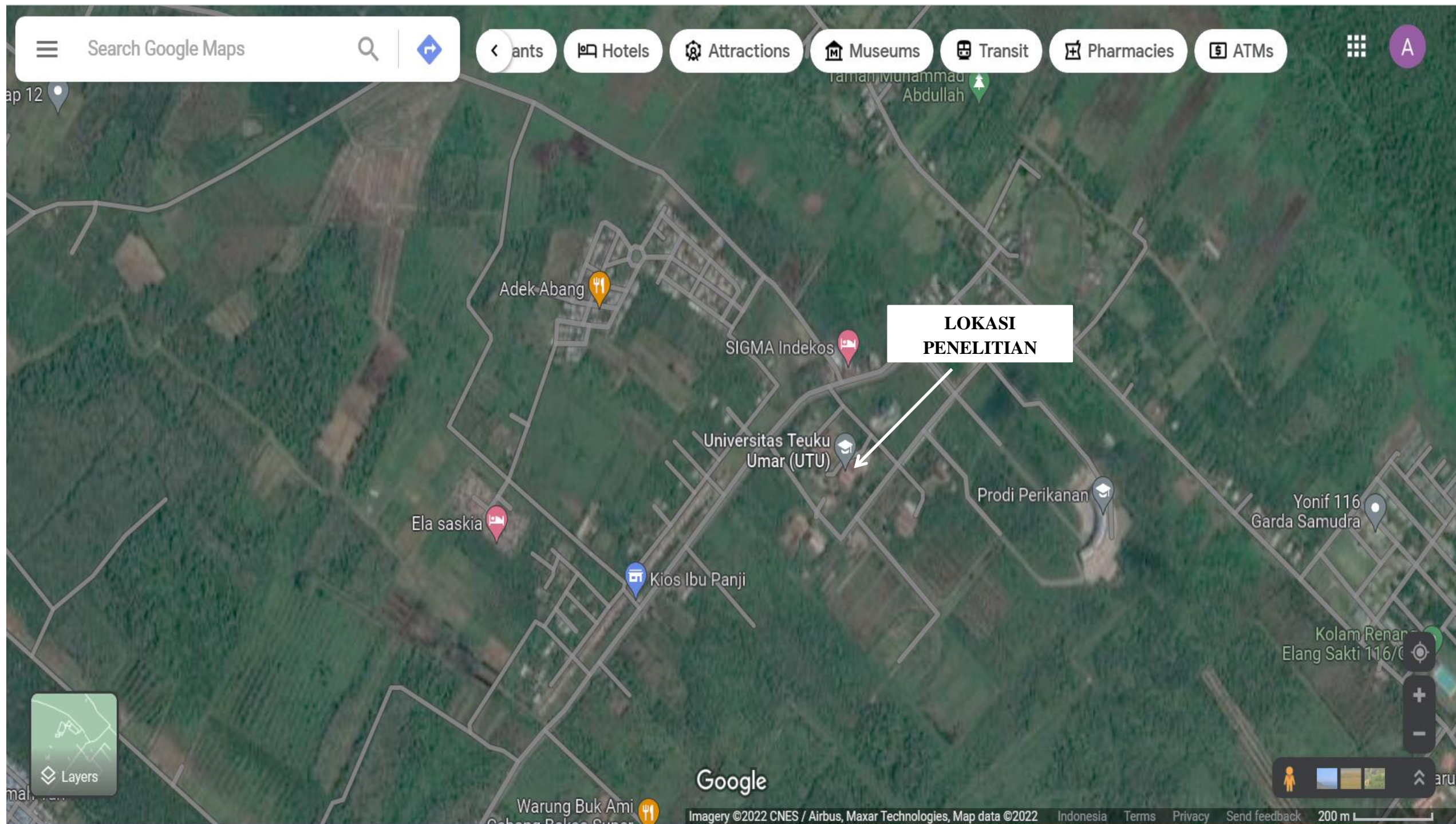


Lampiran A.3.2 : Peta Provinsi Aceh  
Sumber : Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2019)

Lampiran A



Lampiran A.3.3 : Peta Kabupaten Aceh Barat (Meulaboh)  
 Sumber : Bappeda Aceh Barat, 2007



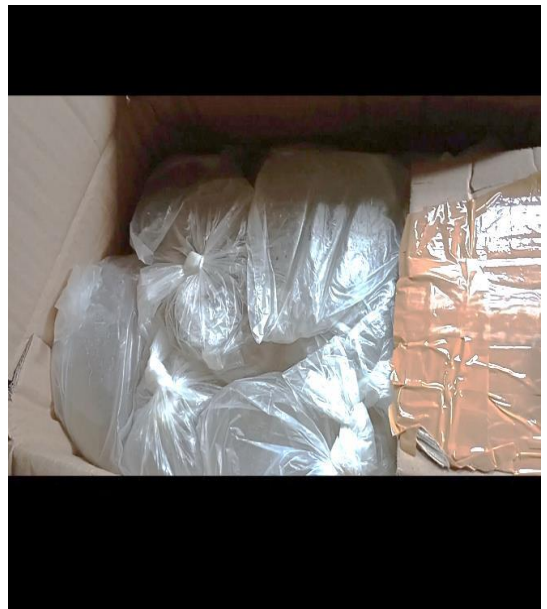
Lampiran A.3.4 LOKASI PENELITIAN

SUMBER : GOOGLE MAP 2022

Lampiran A



Gambar *Fly ash* sebagai bahan pengganti semen.



Gambar kaca sebagai bahan *additive* agregat halus dan *waterglass* ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ).

Gambar A.3.5 Persiapan Bahan (1/2)

Sumber : Dokumentasi, 2022



Gambar soda api (NaOH) dan proses pengayakan pasir .



Gambar pasir sebagai agregat halus dan batu pecah sebagai agregat kasar.

Gambar A.3.6 Persiapan Bahan (2/2)  
Sumber : Dokumentasi, 2022



Gambar penimbangan agregat untuk pemeriksaan kadar air agregat.



Gambar pemeriksaan analisis saringan agregat.

Gambar A.3.7 Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat (1/2)

Sumber : Dokumentasi, 2022





Gambar penimbangan pemeriksaan berat isi agregat dan perendaman agregat untuk pemeriksaan berat jenis.

Gambar A.3.8 Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat (2/2)  
Sumber : Dokumentasi, 2022



Gambar proses pembuatan larutan NaOH dan pencampuran  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dengan larutan NaOH.



Gambar proses pencampuran *fly ash* dan alkalin.

Gambar A.3.9 Pembuatan Benda Uji (1/3)  
Sumber : Dokumentasi, 2022



Gambar proses pencampuran agregat kedalam adonan *fly ash*.



Gambar pengukuran *slump* dan proses memasukkan adonan beton *geopolymer* ke cetakan silinder 15 cm x 30 cm.

Gambar A.3.10 Pembuatan Benda Uji (2/3)  
Sumber : Dokumentasi, 2022



Gambar proses pengeringan beton *geopolymer* dan pembukaan cetakan, yang selanjutnya beton akan direndam selama 28 hari.



Gambar pengujian kuat tekan beton *geopolymer*

Gambar A.3.11 Proses pembuatan dan pengujian benda uji (3/3)

Sumber : Dokumentasi, 2022

LAMPIRAN B

Tabel B.4.1. Perhitungan Analisis Agregat Halus

ANALISIS SARINGAN AGREGAT HALUS				
Saringan	tertahan saringan	jumlah tertahan	% tertahan	% lolos
1,5	0	0	0	100
1	0	0	0	100
$\frac{3}{4}$	0	0	0	100
$\frac{1}{2}$	0	0	0	100
$\frac{3}{8}$	0	0	0	100
4	0	0	0	100
8	0	0	0	100
16	0,42	0,42	9,470124014	90,52987599
30	1,205	1,625	36,64036077	63,35963923
50	1,73	3,355	75,64825254	24,35174746
100	0,8	4,155	93,68658399	6,313416009
200	0,155	4,31	97,18151071	2,81848929
Filler	0,125	4,435	100	0

Tabel B.4.2 Perhitungan Analisis Saringan Agregat Kasar

ANALISIS SARINGAN AGREGAT KASAR				
Saringan	tertahan saringan	jumlah tertahan	% tertahan	% lolos
1.5	0	0	0	100
1	0,45	0,45	8,9	91,08
$\frac{3}{4}$	2,2	2,65	52,53	47,47
$\frac{1}{2}$	1,77	4,42	87,61	12,39
$\frac{3}{8}$	0,265	4,685	92,86	7,14
4	0,1	4,785	94,85	5,15
8	0,03	4,815	95,44	4,56
16	0,09	4,905	97,22	2,78
30	0,01	4,915	97,42	2,58
50	0,1	5,015	99,41	0,595
100	0,01	5,025	99,60	0,396
200	0,01	5,035	99,80	0,198
Filler	0,01	5,045	100	0

LAMPIRAN B

Tabel B 4.3 Perhitungan Kadar Air Agregat Kasar dan Halus

Keterangan	Agregat	
	Kasar (Kg)	Halus (Kg)
Cawan+agg	2,595	0,72
Cawan + agg kering oven	2,58	0,705
Berat cawan	0,095	0,095
Berat benda uji kering oven	2,485	0,61
Kadar air agregat (%)	0,6	2,4

Tabel B 4.4 Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Uraian	Batu Pecah
Berat Benda Uji Kering Oven (BK)	2950
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh (BJ)	2887
Berat Benda Uji Dalam Air (Ba)	1950,9
Berat Jenis (Bulk) $\frac{Bk}{BJ - Ba}$	3,1514
Berat Jenis Permukaan Jenuh SSD $\frac{Bj}{Bj - Ba}$	3,0841
Berat Jenis Semu (Appreant) $\frac{Bk}{Bk - Ba}$	2,9527
Penyerapan $\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100$	2,1356

LAMPIRAN B

Tabel B.4.5 Perhitungan Berat Volume Agregat Kasar

NO	KETERANGAN	SATUAN	CARA PEMADATAN AGREGAT		
			Isi Lepas	Padat Tusukan	Padat Goyangan
1	Berat Silinder Kosong (W1)	kg	2,81	2,81	2,81
2	Berat Silinder + Agregat (W2)	kg	7,45	7,555	7,55
3	Berat Agregat (W2 - W1 = W3)	kg	4,64	4,745	4,74
4	Volume Silinder (V)	L	2,9	2,9	2,9
5	Berat Isi Agregat (W3/V)	kg	1,6	1,64	1,63
6	Berat Isi Rata-rata	kg	1,624		

Tabel B.4.6 Perhitungan Berat Volume Agregat Halus

NO	KETERANGAN	SATUAN	CARA PEMADATAN AGREGAT		
			Isi Lepas	Padat Tusukan	Padat Goyangan
1	Berat Silinder Kosong (W1)	kg	2,81	2,81	2,81
2	Berat Silinder + Agregat (W2)	kg	7,59	7,673	7,677
3	Berat Agregat (W2 - W1 = W3)	kg	4,78	4,863	4,867
4	Volume Silinder (V)	L	2,9	2,9	2,9
5	Berat Isi Agregat (W3/V)	kg	1,65	1,68	1,68
6	Berat Isi Rata-rata	kg	1,67		

LAMPIRAN B.

Tabel B.4.7 *Mix design* untuk 1 m<sup>3</sup> beton

Material	1 m <sup>3</sup> benda uji	8 benda uji	Satuan
Fly Ash	2,12	16,96	kg
Agregat halus	4,191	33,53	kg
Agregat kasar	5,707	45,66	kg
Kaca	0,210 x 6 BU	1,26	kg
Alkaline	2,331	18,56	kg

Tabel B.4.8 Komposisi material untuk setiap benda uji silinder

Perbandingan agregat + binder	Fly Ash (kg)	Agregat Kasar (kg)	Agregat Halus (kg)	Alkaline (Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> :NaOH) (kg)			
				3	1	5	2
75 : 25 N	2,69	6,994	3,776	1,554	0,777	1,398	0,932
75 : 25 KCA	2,69	6,994	3,566	1,554	0,777	1,398	0,932
70 : 30 KCA	3,014	6,529	3,306	1,554	0,777	1,398	0,932
65 : 35 KCA	3,263	6,065	3,056	1,554	0,777	1,398	0,932

Ket : Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>:NaOH = (3:1) dan (5:2)



LAMPIRAN B

Tabel B.4.9 Hasil Kuat Tekan Beton Geopolymer Umur 28 Hari

Variasi BU	Perbandingan Agregat : Binder	Perbandingan Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> : NaOH				Umur (Hari)	Massa BU (kg)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (N/mm <sup>2</sup> )
		3	1	5	2				
Normal	75 : 25	1,554	0,777	1,398	0,932	28	10,53	332	18,7969
	75 : 25	1,554	0,777	1,398	0,932	28	10,65	333	18,8535
BU dengan kaca 5% dari jumlah agregat halus	75 : 25	1,554	0,777	1,398	0,932	28	11,64	250	14,1543
	75 : 25	1,554	0,777	1,398	0,932	28	11,96	348	19,7028
	70 : 30	1,554	0,777	1,398	0,932	28	11,32	330	18,6837
	70 : 30	1,554	0,777	1,398	0,932	28	11,79	389	22,0241
	65 : 35	1,554	0,777	1,398	0,932	28	11,47	267	15,1168
	65 : 35	1,554	0,777	1,398	0,932	28	11,21	336	19,0234

## Lampiran C.

### C.4.1 Perhitungan *mix design* beton *geopolymer*.

- *Mix design* menurut AASHTO 1993 Perkerasan Kaku

Material	Jumlah	Satuan
Fly Ash	400	Kg/m <sup>3</sup>
Agregat Halus (Pasir)	791	Kg/m <sup>3</sup>
Agregat Kasar (Batu Pecah)	1077	Kg/m <sup>3</sup>
Air	160	Kg/m <sup>3</sup>
Slump	Maks 5	Cm <sup>2</sup>
Alkalin	1,1 x jlh fly ash	Kg/m <sup>3</sup>

Volume silinder 15 cm x 30 cm

$$\begin{aligned}V &= \frac{1}{4} \times \pi d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,30 \\ &= 0,0053 \text{ M}^3\end{aligned}$$

- Mencari jumlah material untuk 1 m<sup>3</sup>

$$\begin{aligned}\text{Fly ash} &= 400 \times 0,0053 &= 2,12 \text{ kg} \\ \text{Pasir} &= 791 \times 0,0053 &= 4,191 \text{ kg} \\ \text{Btu pecah} &= 1077 \times 0,0053 &= 5,707 \text{ kg} \\ \text{Alkaline} &= 440 \times 0,0053 &= 2,332 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Dalam 1 silinder terdapat :

$$\begin{aligned}\text{Agregat kasar + halus} &= 4,191 + 5,707 &= 9,898 \text{ Kg} \\ \text{Binder (FA + alkalin)} &= 2,12 + 2,332 &= \underline{4,452 \text{ Kg}} + \\ &&14,35 \text{ Kg}\end{aligned}$$

#### C.4.2 Perhitungan untuk mendapatkan perbandingan 75 : 25

$$\frac{x}{14,35} \times 100 \% = 75 \%$$

$$x = 75 \% \times 14,35$$

$$x = 10,76 \text{ Kg (Agregat)}$$

$$\frac{x}{14,35} \times 100 \% = 25 \%$$

$$x = 25 \% \times 14,35$$

$$x = 3,59 \text{ Kg (Binder)}$$

- Untuk memisahkan agregat kasar dan halus

Agregat kasar : agregat halus

$$2 : 1 = 65 : 35$$

Total agregat = 10,76 Kg

$$65 \% \times 10,76 \text{ kg} = 6,994 \text{ Kg (kasar)}$$

$$35 \% \times 10,76 = 3,776 \text{ Kg (halus)}$$

- Untuk memisahkan jumlah fly ash dan alkalin

Total binder = 3,59 kg

$$\frac{x}{14,35} \times 100 \% = 75 \%$$

$$x = 75 \% \times 3,59$$

$$x = 2,69 \text{ Kg (FA)}$$

$$\frac{x}{14,35} \times 100 \% = 25 \%$$

$$x = 25 \% \times 3,59$$

$$x = 0,9 \text{ Kg (Alk)}$$

- Untuk memisahkan alkalin  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$

$$3 : 1 = 75 : 25$$

$$5 : 2 = 70 : 30$$

Total alkalin = 0,9 (tanpa air)

$$75 \% \times 0,9 = 0,675 \text{ kg (Na}_2\text{SiO}_3)$$

$$70 \% \times 0,9 = 0,63 \text{ (Na}_2\text{SiO}_3)$$

$$25 \% \times 0,9 = 0,225 \text{ kg (NaOH)}$$

$$30 \% \times 0,9 = 0,27 \text{ (NaOH)}$$

#### C.4.3 Perhitungan untuk mendapatkan perbandingan 70 : 30

$$\frac{x}{14,35} \times 100 \% = 70 \%$$

$$x = 70 \% \times 14,35$$

$$x = 10,045 \text{ Kg (Agregat)}$$

$$\frac{x}{14,35} \times 100 \% = 30 \%$$

$$x = 30 \% \times 14,35$$

$$x = 4,305 \text{ Kg (Binder)}$$

- Untuk memisahkan agregat kasar dan halus

Agregat kasar : agregat halus

$$2 : 1 = 65 : 35$$

Total agregat = 10,045 Kg

$$65 \% \times 10,045 \text{ kg} = 6,529 \text{ Kg (kasar)}$$

$$35 \% \times 10,045 \text{ kg} = 3,516 \text{ Kg (halus)}$$

- Untuk memisahkan jumlah fly ash dan alkalin

Total binder = 4,305 kg

$$\frac{x}{14,35} \times 100 \% = 70 \%$$

$$x = 70 \% \times 4,305$$

$$x = 3,014 \text{ Kg (FA)}$$

$$\frac{x}{14,35} \times 100 \% = 30 \%$$

$$x = 30 \% \times 4,305$$

$$x = 1,292 \text{ Kg (Alk)}$$

- Untuk memisahkan alkalin  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$

$$3 : 1 = 75 : 25$$

$$5 : 2 = 70 : 30$$

Total alkalin = 1,292 (tanpa air)

$$75 \% \times 1,292 = 0,969 \text{ kg (Na}_2\text{SiO}_3) \quad 70 \% \times 1,292 = 0,904 \text{ (Na}_2\text{SiO}_3)$$

$$25 \% \times 1,292 = 0,323 \text{ kg (NaOH)} \quad 30 \% \times 1,292 = 0,388 \text{ (NaOH)}$$

#### C.4.4 Perhitungan untuk mendapatkan perbandingan 65 : 35

$$\frac{x}{14,35} \times 100 \% = 65 \%$$

$$x = 65 \% \times 14,35$$

$$x = 9,33 \text{ Kg (Agregat)}$$

$$\frac{x}{14,35} \times 100 \% = 35 \%$$

$$x = 35 \% \times 14,35$$

$$x = 5,02 \text{ Kg (Binder)}$$

- Untuk memisahkan agregat kasar dan halus

Agregat kasar : agregat halus

$$2 : 1 = 65 : 35$$

Total agregat = 9,33 Kg

$$65 \% \times 9,33 \text{ kg} = 6,065 \text{ Kg (kasar)}$$

$$35 \% \times 9,33 \text{ kg} = 3,266 \text{ Kg (halus)}$$

- Untuk memisahkan jumlah fly ash dan alkalin

Total binder = 5,02 kg

$$\frac{x}{14,35} \times 100 \% = 65 \%$$

$$x = 65 \% \times 5,02$$

$$x = 3,263 \text{ Kg (FA)}$$

$$\frac{x}{14,35} \times 100 \% = 35 \%$$

$$x = 30 \% \times 5,02$$

$$x = 1,757 \text{ Kg (Alk)}$$

- Untuk memisahkan alkalin  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$

$$3 : 1 = 75 : 25$$

$$5 : 2 = 70 : 30$$

Total alkalin = 1,757 (tanpa air)

$$75 \% \times 1,757 = 1,318 \text{ kg (Na}_2\text{SiO}_3) \quad 70 \% \times 1,757 = 1,230 \text{ (Na}_2\text{SiO}_3)$$

$$25 \% \times 1,757 = 0,439 \text{ kg (NaOH)} \quad 30 \% \times 1,757 = 0,527 \text{ (NaOH)}$$