

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

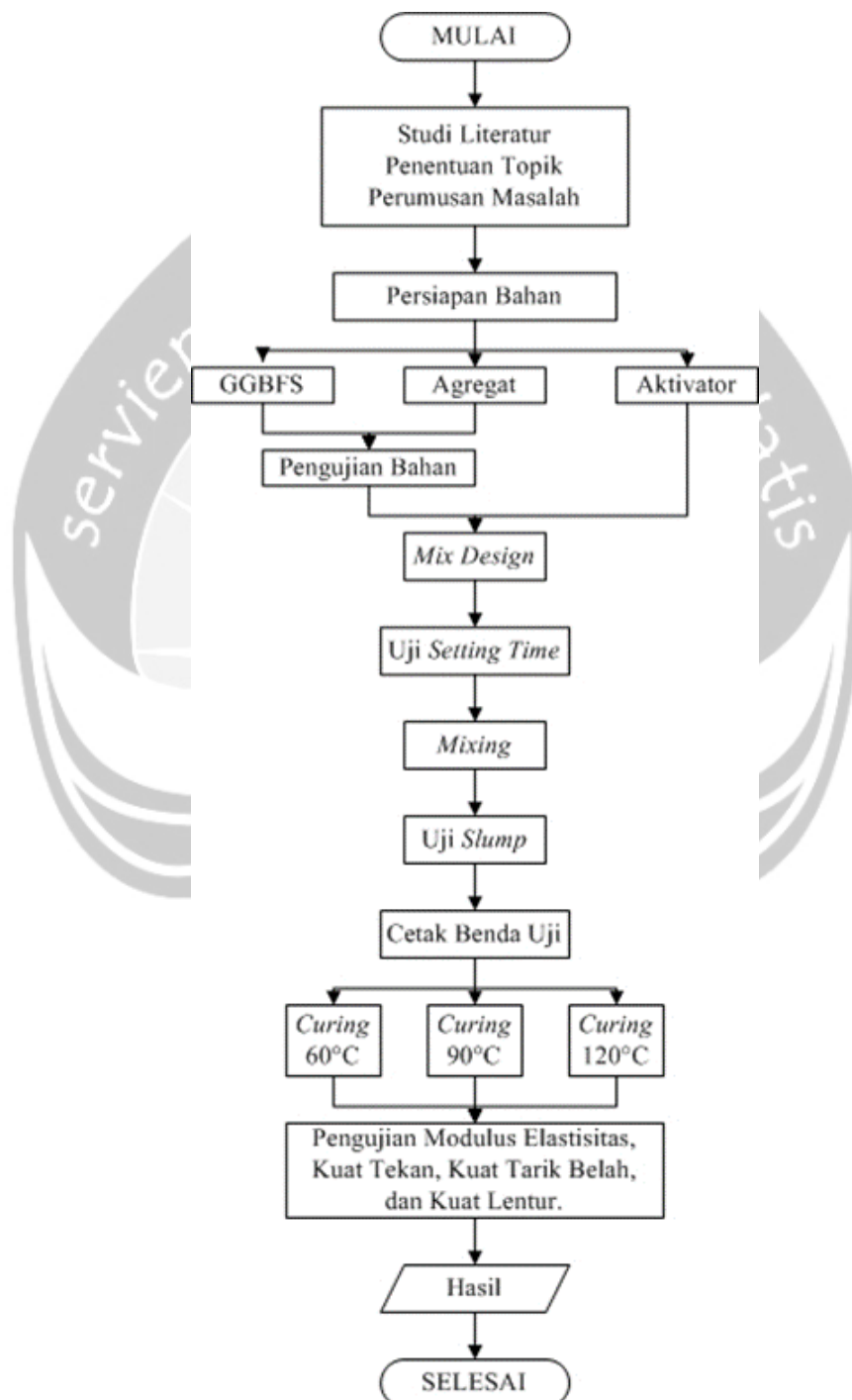
4.1 Umum

Metoda yang digunakan pada penelitian ini adalah studi eksperimental yang secara langsung dilakukan percobaan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan dan Laboratorium Transportasi Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Selain metode studi eksperimental, dilakukan juga studi pustaka untuk menyelaraskan teori mendasar mengenai penelitian ini dengan hasil yang diperoleh.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari suhu curing optimum yang dapat digunakan pada beton geopolimer berbasis *GGBFS*. Komposisi bahan pada penelitian ini diantaranya konsentrasi molaritas 8M, rasio perbandingan activator Na_2SiO_3 dan NaOH adalah 5 : 2, perbandingan massa agregat dan *binder* yaitu 70 : 30, perbandingan *GGBFS* dengan aktivator ialah 74 : 26, variasi suhu *curing* yang digunakan adalah 60°C, 90°C, dan 120°C dengan durasi *curing* 24 jam. Benda uji yang digunakan diantaranya 18 sampel silinder kecil ukuran 100 x 200 mm yang akan diuji kuat tekan pada usia beton 7 hari dan 28 hari, 12 sampel silinder besar ukuran 150 x 300 mm untuk diuji modulus elastisitas dan kuat tarik belah pada usia beton 28 hari, balok panjang 500 mm, tinggi 100 mm, dan lebar 100 mm untuk diuji *modulus of rupture* pada usia 28 hari.

4.2 Kerangka Alur Penelitian

Adapun bagan alir penelitian tugas akhir yang dibuat berisikan tahapan penelitian agar dapat berjalan dengan teratur ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Bagan Alir Penelitian Tugas Akhir

4.3 Alat

Pada penelitian ini digunakan beberapa peralatan, diantaranya:

1. Cetakan beton berbentuk silinder dengan diameter 100 mm, tinggi 200 mm, dan diameter 150 mm, tinggi 300 mm, serta cetakan balok ukuran panjang 500 mm, lebar 100 mm, dan tinggi 100 mm.
2. Kaliper yang digunakan untuk mengukur dimensi benda uji.
3. Bak adukan beton, yang digunakan sebagai wadah pada saat pembuatan benda uji.
4. Kerucut Abrams yang digunakan untuk pengujian slump.
5. Palu karet yang digunakan untuk memukul bagian luar cetakan agar adonan didalam dapat merata.
6. Penggaris yang digunakan untuk mengukur nilai slump.
7. Gelas ukur 500 ml yang digunakan untuk menguji kandungan zat organik dan kandungan lumpur dalam pasir.
8. Timbangan yang digunakan untuk menimbang berat dari setiap bahan, peralatan, dan benda uji yang akan digunakan dalam perhitungan.
9. Gelas beker 1000 ml yang digunakan sebagai wadah untuk mencampur aktivator.
10. *Piknometer* 500 ml yang digunakan untuk menguji penyerapan dan berat jenis agregat halus.
11. *Oven* yang digunakan sebagai wadah perawatan beton geopolimer dengan metode *dry curing* variasi suhu.

12. Saringan serta mesin pengayak yang digunakan dalam pengujian gradasi agregat unuk mendapatkan nilai modulus halus butir.
13. *Vicat* yang digunakan untuk pengujian setting time dari pasta beton geopolimer.
14. Cetakan kuat tarik belah yang digunakan untuk alas pengujian serta mendapatkan garis tengah dalam pengujian.
15. *Gardner Standart Color* yang digunakan untuk mengetahui kadar zat organik yang terdapat didalam agregat halus dengan mencocokkan warna larutan NaOH.
16. *Compressometer* yang digunakan dalam pengujian modulus elastisitas untuk mengetahui perpendekan dilinder beton.
17. *Universal Testing Machine (UTM)* yang digunakan untuk pengujian modulus elastisitas serta *modulus of rupture* beton geopolimer.
18. *Clipped plastic bag* (plastik kedap udara) dan kain perca yang digunakan dalam proses perawatan beton geopolimer dengan cara dibungkus rapat setelah keluar dari *oven*.
19. *Compression Testing Machine (CTM)* yang digunakan untuk pengujian kuat tekan serta kuat tarik belah beton geopolimer.
20. Mesin *Los Angeles Abrasion* yang digunakan untuk pengujian keausan agregat kasar.
21. Alat tambahan lain yang digunakan untuk membantu penelitian ini seperti sekop, ember, alat tulis, kuas, besi penumbuk, masker, dan sarung tangan.

4.4 **Bahan**

Material yang digunakan dalam pembuatan beton geopolimer berbasis *GGBFS* ini terdiri dari *Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS)*, agregat halus, agregat kasar, dan alkali aktivator yang terdiri dari Na_2SiO_3 , NaOH , dan aquades. Spesifikasi dari setiap bahan tersebut yaitu:

1. *Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS)* yang digunakan sebagai campuran beton pengganti semen berasal dari PT. Krakatau Semen Indonesia, Cilegon. *GGBFS* terlebih dahulu diuji kandungan unsur kimia yang ada didalamnya beserta berat jenis dari *GGBFS* tersebut.
2. Agregat halus berupa pasir yang digunakan berasal dari Kali Progo, Kulon Progo, D. I. Yogyakarta.
3. Agregat kasar berupa kerikil yang digunakan berasal dari Clereng, Kulon Progo, D. I. Yogyakarta dengan ukuran butir maksimal 10 mm.
4. Natrium silikat (Na_2SiO_3) atau *Waterglass* serta Natrium hidroksida (NaOH) yang digunakan adalah jenis teknis.
5. *Aquades* digunakan untuk melarutkan NaOH .

4.5 **Pengujian Bahan**

Pengujian bahan baik dilakukan sebelum penelitian dimulai guna mengetahui kelayakan bahan yang akan dipakai dalam penelitian dengan berbagai macam pengujian. Dalam pembuatan beton geopolimer berbasis *GGBFS* ini terdapat 3 jenis bahan yang akan diuji kelayakannya, yaitu: *GGBFS*, agregat halus, dan agregat kasar.

4.5.1 *GGBFS (Ground Granulated Blast Furnace Slag)*

1. Pengujian Kandungan Unsur Kimia *GGBFS*

Pengujian kandungan unsur kimia dalam *GGBFS* dilakukan di UPT Laboratorium Institut Pertanian Stiper (INSTIPER) Yogyakarta.

2. Pengujian Berat Jenis *GGBFS*

Prosedur pengujian berat jenis *GGBFS* dimulai dengan menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam pengujian. Kemudian timbanglah *GGBFS* sebanyak 5 gram (W_1) dan labu takar 50 ml. Selanjutnya masukkan *GGBFS* kedalam labu takar dan timbanglah. Isilah labu takar dengan minyak tanah hingga batas kapasitas labu. Putarlah labu secara perlahan untuk menghilangkan gelembung yang berada didalam kemudian timbanglah beratnya (W_2). Timbanglah labu takar yang telah terisi penuh dengan minyak tanah (W_3). Kemudian *GGBFS* dan minyak tanah dikeluarkan dari labu takar dan dibersihkan dari minyak tanah.

Berikut rumus yang dapat digunakan untuk menghitung berat jenis *GGBFS*:

$$\text{Berat jenis} = \frac{0,8 \times W_1}{W_1 + W_3 - W_2} \quad (4-1)$$

Keterangan :

- Berat *GGBFS* (W_1)
- Berat *GGBFS* + bensin + labu takar (W_2)
- Berat labu takar + bensin (W_3)

4.5.2 Agregat Halus

Untuk agregat halus dilakukan beberapa pengujian diantaranya pemeriksaan kandungan organik, pemeriksaan kandungan lumpur, pemeriksaan gradasi, serta pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

1. Pemeriksaan kandungan zat organik

Kandungan zat organik didalam agregat dapat menurunkan kualitas dari beton, oleh karena itu pemeriksaan kandungan zat organik sangat perlu untuk dilakukan, Prosedur pengujiannya dengan cara mencocokkan warna dari larutan yang berada di atas pasir dengan warna pada *Gardner Standart Color*. Berikut adalah berbagai golongan yang digunakan dalam *Gardner Standard Color*:

- a Kuning muda sekali (no.5), zat organik sedikit, baik untuk dipergunakan.
- b Kuning muda (no.8), zat organik agak banyak, dapat digunakan.
- c Kuning tua (no.11), zat organik banyak, kurang baik digunakan.
- d Oranye tua sekali (no.14), zat organik lebih banyak, tidak boleh digunakan.
- e Merah tua (no.16), zat organik banyak sekali, tidak boleh dipergunakan.

Cara pemeriksaan kandungan zat organik agregat yaitu, pertama masukkan pasir kering *oven* sebanyak 130 cc ke dalam gelas ukur 250 cc. Kemudian tuangkan NaOH konsentrasi 3% ke dalam gelas ukur sampai 200 cc. Selanjutnya adalah kocok gelas ukur selama kurang lebih 10 menit hingga NaOH dan pasir

tercampur dengan rata lalu diamkan selama 24 jam. Setelah 24 jam, bandingkan warna larutan dengan *Gardner Standard Color*.

2. Pemeriksaan kandungan lumpur.

Pemeriksaan kandungan lumpur memiliki tujuan untuk mengetahui seberapa besar kandungan lumpur pada agregat. Kandungan lumpur yang terdapat didalam pasir dapat menghambat ikatan antara pasta beton dengan agregat halus yang berdampak pada menurunnya kualitas beton karena penyusutan volume oleh lumpur yang mengering.

Langkah pemeriksaan kandungan lumpur pada agregat adalah timbang pasir sebanyak 100 gram dalam keadaan kering *oven* lalu masukkan ke dalam gelas ukur 250 cc. Kemudian isi air ke dalam gelas ukur tersebut sampai setinggi 12 cm di atas permukaan pasir yang sudah di beri tanda dengan karet, setelah itu dikocok selama 1 menit dan didiamkan selama 1 menit agar pasir mengendap. Setelah dikocok, buang air yang keruh pada permukaan pasir. Ulangi langkah ini beberapa kali hingga air tidak menjadi keruh setelah dikocok. Setelah air tidak keruh lagi, air dibuang dan pasir dituang pada cawan. Masukkan cawan ke dalam *oven* dengan suhu 105°C – 110°C selama kurang lebih 24 jam. Setelah 24 jam, keluarkan pasir dan timbang beratnya (B).

Kandungan lumpur dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{100 - B}{100} \times 100\% \quad (4-2)$$

3. Pemeriksaan gradasi.

Pemeriksaan ini memiliki tujuan untuk menentukan sebaran ukuran agregat dengan cara memisahkan agregat menggunakan saringan berdasarkan ukuran agregat. Semakin kecil nilai modulus halus butir menunjukkan semakin kecil pula ukuran butir agregatnya dan sebaliknya (Tjokrodimulyo, 1992).

Prosedur pemeriksaan gradasi agregat adalah pertama siapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam pengujian. Susun ayakan sebagai berikut No.3/4", No.1/2", No.3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200 dan pan. Bersihkan saringan menggunakan kuas kemudian timbang beratnya dan dicatat. Ambil 1000 gram agregat kering *oven* masukkan kedalam saringan dan tutup saringan. Letakkan saringan pada mesin pengayak lalu nyalakan mesin selama 10 menit, kemudian diamkan selama kurang lebih 5 menit agar debunya tidak berterbangan. Timbang setiap saringan beserta agregat yang tertahan kemudian catat beratnya. Berat benda uji dihitung dengan cara mengurangi berat saringan beserta agregat tertahan dengan berat saringan itu sendiri. Lakukanlah perhitungan sampai persentase lolos tiap saringan.

Modulus halus butir diperoleh dengan persamaan:

$$MHB = \frac{\text{Jumlah Berat Tertahan}}{100} \quad (4-3)$$

Keterangan :

MHB = modulus halus butir

4. Berat jenis dan penyerapan.

Prosedur pemeriksaan berat jenis dan penyerapan berdasarkan SNI 1970:2008 dengan cara sebagai berikut:

- a. Siapkan ± 500 gram pasir yang lolos saringan No.4 dalam keadaan *SSD*. Cek kondisi pasir dengan menggunakan kerucut yang terpancung kecil. Isi kerucut dengan pasir secara bertahap setiap $1/3$ bagian tumbuk sejumlah 8 kali. Setelah penuh angkat kerucut secara perlahan, apabila terjadi penurunan minimal $1/4$ dan maksimal $1/3$ bagian dari tinggi kerucut, maka agregat tersebut dalam keadaan *SSD*.
- b. Agregat dalam keadaan *SSD* dimasukkan ke dalam *piknometer* sebanyak 500 gram dan ditambahkan air hingga batas kapasitas *piknometer*.
- c. Kemudian putar-putar *piknometer* supaya gelembung udara dalam pasir dapat keluar. Apabila gelembung udara sudah keluar semua maka akan terjadi penurunan air.
- d. Tambahkan lagi air hingga batas kapasitas. Catat penambahan air.
- e. Kemudian keluarkan pasir dari *piknometer* tuangkan pada cawan.
- f. Masukkan cawan ke dalam *oven* selama 24 jam dengan suhu 110°C .
- g. Setelah 24 jam, keluarkan dari *oven* dan timbang berat pasir.

Berat jenis dan penyerapan agregat dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis Bulk} = \frac{A}{B - C} \quad (4-4)$$

$$\text{Berat jenis SSD} = \frac{B}{B - C} \quad (4-5)$$

$$\text{Berat jenis semu (Apparent)} = \frac{A}{A - C} \quad (4-6)$$

$$\text{Penyerapan (Absorption)} = \frac{B - A}{A} \times 100\% \quad (4-7)$$

Keterangan :

A = berat kering pasir (gram)

B = berat SSD pasir (gram)

C = volume total air sampai batas garis 500 ml (ml)

4.5.3 Agregat Kasar

Untuk agregat kasar dilakukan beberapa pengujian diantaranya pemeriksaan keausan, pemeriksaan gradasi butiran agregat kasar, serta berat jenis dan penyerapan.

1. Pemeriksaan keausan dengan mesin *los angeles abration*.

Pemeriksaan keausan agregat kasar menggunakan mesin los angeles abration bertujuan untuk mengetahui tingkat keausan dari suatu agregat. Berdasarkan SNI-2417-2008 berikut langkah-langkah pengujiannya pertama adalah ambil kerikil sebanyak 2500 gram yang lolos dari saringan $\frac{3}{4}$ " dan tertahan saringan $\frac{1}{2}$ ", serta kerikil sebanyak 2500 gram yang lolos saringan $\frac{1}{2}$ " dan tertahan saringan $\frac{3}{8}$ ". Siapkan alat *Los Angeles Abrasion*. Kemudian masukkan kedua jenis kerikil kedalam alatnya, beserta 11 butir bola baja dan tutup alatnya. Nyalakan alat serta atur sebanyak 500 putaran dengan kecepatan 33 putaran/menit dalam waktu 15 menit. Setelah alat berhenti, diamkan selama 10 menit agar debu tidak berterbangan. Buka alat, keluarkan isinya, kemudian ayak agregat hasilnya dengan saringan no. 12, timbang dan catat.

Keausan agregat kasar dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Keausan} = \frac{A - B}{A} \times 100\% \quad (4-8)$$

Keterangan :

A = berat awal agregat kasar (gram)

B = berat agregat kasar setelah diayak saringan No.12 (gram)

2. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai berat jenis dan penyerapan pada agregat kasar. Berdasarkan SNI 1969-2008, berikut langkah-langkah pengujiannya:

- a. Pertama siapkan kerikil yang tertahan saringan 1/2" dalam keadaan jenuh air selama 24 jam dengan jumlah berat tertentu.
- b. Masukkan kerikil dalam keranjang untuk penimbangan dalam air. Kemudian timbang dan catat beratnya (C).
- c. Angkat kerikil dari air lalu diamkan hingga dalam kondisi *SSD (Saturated Surface Dry)*. Setelah itu timbang dan catat beratnya (B).
- d. Lalu masukkan kerikil ke dalam *oven* selama 24 jam dengan suhu 110°C. Setelah 24 jam, timbang dan catat berat keringnya (A).

Berat jenis dan penyerapan agregat dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis Bulk} = \frac{A}{B - C} \quad (4-9)$$

$$\text{Berat jenis SSD} = \frac{B}{B - C} \quad (4-10)$$

$$\text{Berat jenis semu (Apparent)} = \frac{A}{A - C} \quad (4-11)$$

$$\text{Penyerapan (Absorption)} = \frac{B - A}{A} \times 100\% \quad (4-12)$$

Keterangan :

- A = Berat kering agregat kasar (gram)
 B = Berat SSD agregat kasar (gram)
 C = Berat agregat kasar dalam air (gram)

3. Pemeriksaan gradasi butiran agregat kasar.

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan gradasi butir agregat kasar. Prosedur pemeriksaan gradasi agregat adalah pertama siapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam pengujian. Susun ayakan sebagai berikut No.3/4", No.1/2", No.3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200 dan pan. Bersihkan saringan menggunakan kuas kemudian timbang beratnya dan dicatat. Ambil 1000 gram agregat kering oven masukkan kedalam saringan dan tutup saringan. Letakkan saringan pada mesin pengayak lalu nyalakan mesin selama 10 menit, kemudian diamkan selama kurang lebih 5 menit agar debunya tidak berterbangan. Timbang setiap saringan beserta agregat yang tertahan kemudian catat beratnya. Berat benda uji dihitung dengan cara mengurangi berat saringan beserta agregat tertahan dengan berat saringan itu sendiri. Lakukanlah perhitungan sampai persentase lolos tiap saringan. Pengujian gradasi agregat akan menghasilkan nilai modulus butir (MHB) agregat kasar.

4.6 Uji Setting Time

Pada penelitian ini, pengujian *setting time* dilakukan berdasarkan SNI-03-6825-2002 tentang Metode pengujian waktu ikat menggunakan alat *vicat*. Pengujian *setting time* merupakan waktu terjadinya pengerasa awal pada beton. Proses pengadukan dari adonan beton sendiri berbeda dengan standar dikarenakan

pengadukan pada penelitian ini dilakukan secara manual. Langkah-Langkah dalam pengujian *setting time* dimulai dari menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Oleskan bagian dalam cetakan menggunakan oli. Masukkan pasta beton geopolimer kedalam cetakan hingga penuh kemudian ratakan bagian atasnya. Letakkan benda uji tersebut pada alat *vicat* kemudian sentuhkan jarum *vicat* tepat dipermukaan benda uji, aturlah pembacaan pada titik nol dan kencangkan kuncinya. Setelah 30 detik pertama lepaskan kuncinya dan catat angkanya. Naikkan kembali jarum kemudian bersihkan jarum setiap selesai pengujian. Ulangi langkah tersebut setiap 5 menit untuk 30 menit pertama dan 15 menit untuk selanjutnya.

4.7 Pengujian Slump

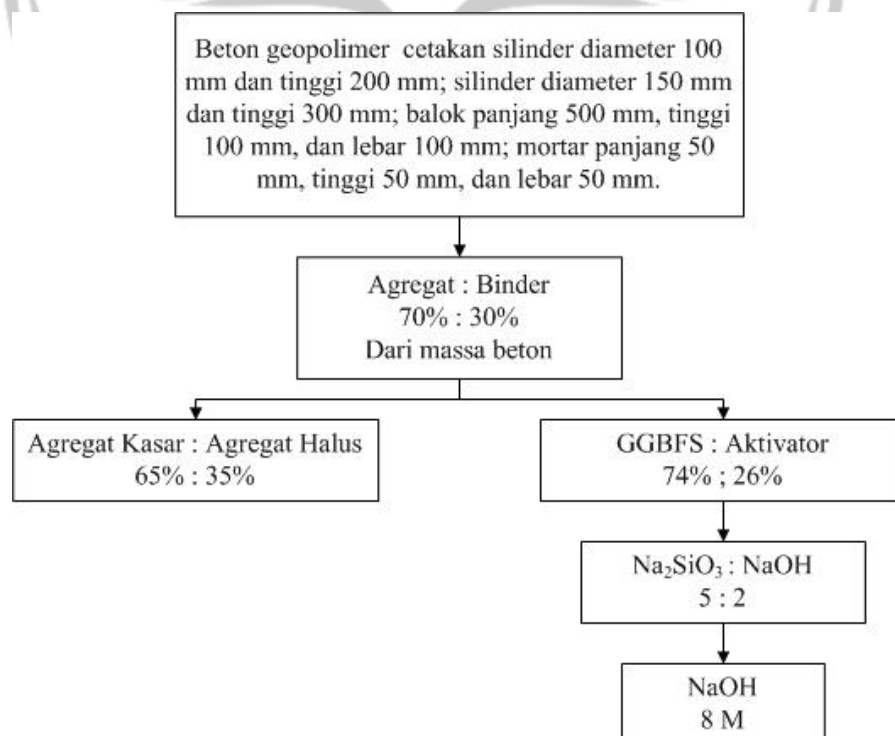
Pada penelitian ini dilakukan pengujian nilai *slump* dengan tujuan untuk mengetahui tingkat kesulitan (*workability*) dari asukan beton geopolimer berbasis *GGBFS*. Semakin tinggi nilai *slump* maka semakin baik *workability*nya. Pengujian nilai *slump* dilakukan pada saat mixing. Berikut langkah-langkah pengujian nilai *slump*:

- a. Siapkan alat dan bahan yang akan digunakan pada saat pengujian *slump*.
- b. Letakkan kerucut abrams pada permukaan yang rata sedekat mungkin dengan tempat pengadukan adonan beton.
- c. Masukkan asukan beton kedalam kerucut abrams hingga ketinggian $\frac{1}{3}$ dari kerucut abrams. Kemudian tusuk-tusuk menggunakan besi tulangan hingga 25 kali. Ulangi langkah tersebut hingga kerucut abrams terisi

- penuh. Tekan kerucut abrams kebawah agar tidak ada adonan beton yang keluar.
- d. Setelah terisi penuh, ratakan permukaan atas kerucut abrams, kemudian tunggu beberapa detik.
 - e. Kerucut abrams diangkat perlahan tegak lurus keatas.
 - f. Nilai *slump* sudah bisa didapat dengan mengurangi tinggi kerucut abrams dengan tinggi dari adukan beton yang perlahan sudah turun.

4.8 Pembuatan Benda Uji

Benda uji dibuat diawali dengan pembuatan rencana campuran beton geopolimer. Rencana tersebut menggunakan metode pendekatan berat dari beton geopolimer itu sendiri. Komposisi perbandingan campuran beton geopolimer dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Komposisi Campuran untuk Beton Geopolimer

Keterangan :

1. Perbandingan persentase agregat dengan *binder* yang digunakan adalah 70:30. Total agregat halus yang digunakan adalah 35% sari keseluruhan kebutuhan agregat berdasarkan penelitian Joseph dan Mathew (2012) “*Influence of aggregate content on the behavior of fly ash based geopolymer concrete*”.
2. Besarnya molaritas NaOH yang digunakan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Adi dkk (2018) dengan judul “*Studi Experimental Pengaruh Perbedaan Molaritas Aktivator Pada Perilaku Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash*”.
3. Rasio perbandingan komposisi Na_2SiO_3 : NaOH menggunakan 5:2 berdasarkan penelitian Prasetyo dkk (2015) tentang tinjauan kuat tekan beton geopolimer dengan *fly ash* sebagai pengganti semen.
4. Perbandingan presentase agregat dan aktivator sebesar 70% : 30% berdasarkan penelitian yang dilakukan Purba (2018) yang berjudul “*Pemanfaatan Batu Bauksit sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Beton Geopolimer yang Berbasis Fly Ash*”.
5. Secara keseluruhan, total benda uji yang akan dibuat berjumlah 36 benda uji dengan macam variasi seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Variasi Benda Uji

Pengujian	Keterangan	Jumlah Benda Uji		
		suhu 60°C	suhu 90°C	suhu 120°C
Tekan	Silinder (d=100mm, t=200mm) diuji pada umur beton 7 dan 28 hari	6	6	6
Tarik Belah	Silinder (d=150mm, t=300mm) diuji pada umur beton 28 hari	2	2	2
Modulus Elastisitas	Silinder (d=150mm, t=300mm) diuji pada umur beton 28 hari	2	2	2
<i>Modulus of Rupture</i>	Balok (p=500mm, l=100mm, t=100mm) diuji pada umur beton 28 hari	2	2	2
<i>Setting Time</i>	Silinder (d=60mm, t=40mm) dilakukan sebelum pengecoran	3	3	3

Pembuatan beton konvensional dengan beton geopolimer memiliki perbedaan yang terletak pada penggunaan aktivator pada beton geopolimer yang digunakan sebagai pengikat *GGBFS*. Berikut cara pembuatan beton geopolimer:

1. Pembuatan aktivator alkali
 - a. 1 M NaOH adalah 40gr, pada penelitian ini digunakan konsentrasi NaOH 8 M, sehingga dilarutkan $40 \times 8 = 320$ gr NaOH dengan 1 liter aquades.
 - b. Campurlah larutan NaOH tadi dengan Na_2SiO_3 (*waterglass*) dengan rasio perbandingan Na_2SiO_3 dengan NaOH adalah 5:2, aduk hingga merata.
2. Siapkan bahan yang diperlukan lainnya seperti agregat kasar, agregat halus, dan *GGBFS*.
3. Campur agregat kasar dan halus hingga merata. Lalu masukkan *GGBFS* kemudian aduk hingga merata dengan agregat.

4. Perlahan masukkan larutan aktivator sambal terus diaduk hingga merata hingga dirasa cukup menjadi adonan beton *GGBFS*.
5. Uji *slump* terlebih dahulu untuk mengetahui tingkat *workability* beton geopolimer.
6. Setelah dilakukan uji *slump*, masukkan adonan beton ke dalam cetakan. Pertama masukkan 1/3 dari tinggi cetakan kemudian tusuk 25 kali, ulangi langkah tersebut hingga cetakan terisi penuh. Ratakan permukaan atas beton.
7. Cetakan yang sudah terisi penuh dibiarkan dalam suhu ruangan selama 24 jam.
8. Setelah 24 jam dilepaskan dari cetakan kemudian dimasukkan kedalam *oven* sesuai dengan variasi suhu curing masing-masing selama 24 jam.
9. Setelah keluar dari *oven*, benda uji dibungkus menggunakan kain perca yang kemudian ditutup rapat menggunakan plastik kedap udara sampai umur pengujian benda uji.
10. Pengujian beton dilakukan pada umur 7 dan 28 hari.

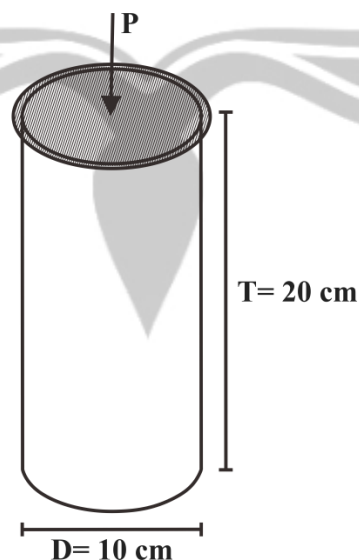
4.9 Pengujian Benda Uji

Setelah benda uji mencapai umur yang ditentukan kemudian akan diuji untuk mendapatkan hasilnya. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Pengujian yang dilakukan adalah kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah, dan *modulus of rupture* beton geopolimer.

4.9.1 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur benda uji 7 dan 28 hari untuk mendapatkan nilai kuat tekan dari beton geopolimer berbasis *GGBFS*. Berikut langkah-langkah pengujian kuat tekan:

- Ukur dimensi benda uji (diameter 10 cm dan tinggi 20 cm) sebanyak 3 kali masing-masing kemudian dirata-rata.
- Timbang berat masing-masing benda uji.
- Letakkan benda uji pada alat uji kuat tekan kemudian beri plat besi diatas benda uji.
- Nyalakan alat kuat tekan dan beri beban. Apabila jarum pada benda uji sudah tidak naik lagi dan kembali ke posisi semula pertanda benda uji hancur, itulah beban maksimal dari benda uji tersebut, catat hasilnya.
- Kemudian hitunglah kuat tekan benda uji sesuai rumus.



Gambar 4.3 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton

4.9.2 Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas dilakukan pada umur benda uji 28 hari.

Prosedur pengujian modulus elastisitas sebagai berikut:

- a. Ukur dimensi benda uji (diameter 15 cm dan tinggi 30 cm) sebanyak 3 kali kemudian di rata-rata.
- b. Timbang berat benda uji dan dicatat.
- c. Pasang benda uji pada alat *compressometer* lalu ukur P_0 nya.
- d. Letakkan benda uji yang sudah terpasang dengan *compressometer* pada mesin *UTM*.
- e. Nyalakan mesinnya dan tempelkan beban tepat di permukaan benda uji.
- f. Lepaskan baut pengikat pada *compressometer* dan pastikan jarum dial menunjukkan angka 0.
- g. Tambahkan pembebanan dan catat perubahan panjang pada setiap penambahan beban 500 kgf. Hentikan pembebanan ketika sudah retak atau mencapai 30% dari beban maksimum saat pengujian kuat tekan.
- h. Olah data dari hasil pengujian modulus elastisitas beton geopolimer.

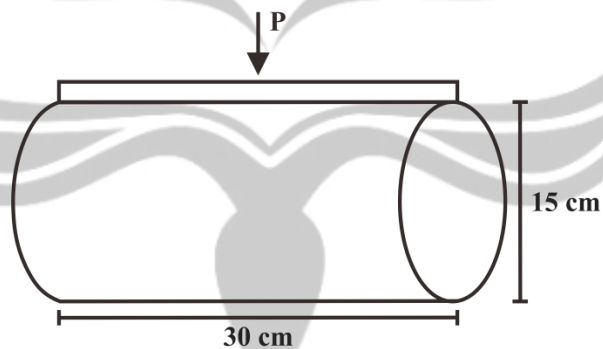


Gambar 4.4 Pengujian Modulus Elastisitas Beton

4.9.3 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah dilakukan pada umur beton 28 hari. Berikut prosedur pengujian kuat tarik belah beton:

- a. Ukur dimensi benda uji (diameter 15 cm dan tinggi 30 cm) sebanyak 3 kali dan dirata-rata.
- b. Pasang benda uji pada alat bantu kuat tarik belah.
- c. Letakkan benda uji yang telah terpasang pada alat bantu ke mesin pengujian.
- d. Nyalakan mesin uji dan tambahkan pembebanan hingga jarum petunjuk tidak naik lagi yang pertanda bahwa benda uji sudah pecah, kemudian catatn beban maksimumnya.
- e. Kemudian hitung nilai kuat tarik belah beton sesuai dengan rumus.



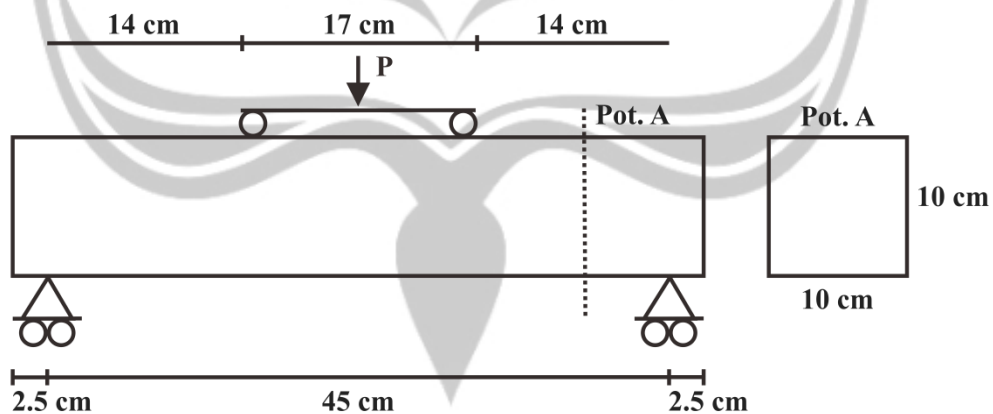
Gambar 4.5 Sketsa Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

4.9.4 Pengujian *Modulus of Rupture* Beton

Pengujian *modulus of rupture* dilakukan pada umur benda uji 28 hari.

Berikut prosedur pengujian *modulus of rupture*:

- Ukur dimensi benda uji (panjang 500 mm, lebar 100 mm, dan tinggi 100 mm) sebanyak 3 kali kemudian dirata-rata.
- Pasang benda uji pada alat bantu uji *modulus of rupture* yang telah diletakkan pada mesin *UTM*.
- Nyalakan mesin *UTM* dan tambah pembebanan hingga jarum petunjuk sudah tidak naik lagi dan kembali pada posisi semula yang pertanda bahwa benda uji sudah pecah.
- Catat hasil pembebanan maksimum dan hitung *modulus of rupture* sesuai dengan rumus.



Gambar 4.6 Sketsa Pengujian *Modulus of Rupture*

4.10 Jadwal Pelaksanaan Tugas Akhir

Penjadwalan rencana pelaksanaan tugas akhir disusun sedemikian rupa untuk menjaga keteraturan dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir sehingga dapat berjalan dengan baik dan lancar sesuai dengan waktu yang telah ditetapkan seperti terlihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Jadwal Rencana Pelaksanaan Tugas Akhir

Nama Kegiatan	Pelaksanaan Kegiatan																			
	Agustus				September				Oktober				November				Desember			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Menentukan Topik dan Mencari Jurnal Referensi	■	■	■	■																
Persiapan Bahan dan Pengujian Material				■	■	■	■	■	■											
Pelaksanaan Penelitian									■	■	■	■	■	■	■	■				
Analisis Data													■	■	■	■				
Penulisan Paper Seminar Hasil													■	■	■	■	■			
Seminar Hasil																	■			
Penulisan Laporan Tugas Akhir													■	■	■	■	■	■	■	■