

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Pada penelitian ini, objek penelitiannya yakni agregat kasar yang terdiri dari bahan-bahan ramah lingkungan, termasuk bahan agregat kasar yang terdiri dari *fly ash* yang disubstitusikan dengan *silica fume* dan pasir. Bahan-bahan tersebut kemudian diolah yang memakai sodium silikat (Na_2SiO_3) serta sodium hidroksida (NaOH) untuk menghasilkan ikatan antara Si dan Al yang menghasilkan struktur yang kuat. Proses reaksi ini umumnya digunakan dalam konteks beton geopolimer.

Pembuatan agregat kasar yang ramah lingkungan dari *fly ash* yang disubstitusikan dengan *silica fume* melibatkan penggunaan tiga variasi kandungan *silica fume* yang disubstitusikan kepada *fly ash* sebesar 0%, 5%, 10%. Agregat kasar yang dihasilkan akan digunakan sebagai objek penilaian dalam uji keausan terhadap mesin Los Angeles berat jenis, dan berat isi.

3.2 Variabel Penelitian

Penelitian ini memanipulasi variabel bebas dengan memvariasikan nilai persentase pada *silica fume* yang disubstitusikan kedalam *fly ash*. Persentase *silica fume* yang disubstitusikan kepada *fly ash* dalam mencampur agregat kasar yang ramah lingkungan dari beton geopolimer *fly ash* adalah 0%, 5%, 10%.

Tabel 3. 1 Variabel Penelitian *fly ash* yang disubstitusikan dengan *silica fume*
Variabel Penelitian Jumlah

| Substitusi <i>Silica fume</i> terhadap <i>fly ash</i> (%) | Lama Curing | Jumlah Agregat Buatan |
|---|-------------|--------------------------|
| 0% | 28 Hari | 30 kg |
| 5% | 28 Hari | 30 kg |
| 10% | 28 Hari | 30 kg |

| | |
|--------|-------|
| Jumlah | 90 kg |
|--------|-------|

3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini melibatkan uji XRF (*X-Ray fluorescence*) yang memiliki tujuan guna menentukan komposisi unsur bahan. Pembuatan agregat kasar pengganti menggunakan material *fly ash* tipe-F dan pasir, sedangkan sodium silikat (Na_2SiO_3) dari Toko Karawaci Kimia yang terletak di jalan Imam Bonjol, Sukajadi, Kota Tangerang, digunakan sebagai bahan perekat. Dengan demikian, proporsi yang sesuai dengan batasan yang ditetapkan antara $\text{SiO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ dapat dihitung, dan karakteristik campuran dengan perhitungan SH Solid dengan H_2O dapat diidentifikasi.:

1. Pengujian XRF *flyash* Tipe-F
 - Pengujian XRF untuk mengetahui kadar SiO_2 pada *flyash* dalam satuan persen (%)
 - Pengujian XRF untuk mengetahui kadar Al_2O pada *flyash* dalam satuan persen (%)
2. Pengujian XRF *Silica fume*
 - Pengujian XRF untuk mengetahui kadar SiO_2 pada *Silica fume* dalam satuan persen (%)
 - Pengujian XRF untuk mengetahui kadar Al_2O_3 pada *Silica fume* dalam satuan persen (%)
3. Perhitungan proporsi SiO_3 dan Al_2O_3
 - Proporsi SiO_3 dan Al_2O_3 dapat diestimasi dengan melakukan ekstraksi komposisi dari *fly ash*, NaOH , Na_2SiO_3 , H_2O , dan *silica fume* dengan mengalikan massa molar (M_r) dari masing-masing senyawa dalam satuan mol.
4. Perhitungan SH Solid dan H_2O
 - Perhitungan SH Solid dan H_2O dapat dilakukan setelah memisahkan jumlah mol antara SH solid yang ada dalam *fly ash*, NaOH , Na_2SiO_3 , dan *silica fume*. Setelah itu, jumlah tersebut dapat dibagi dengan jumlah mol

H₂O yang diekstraksi dalam perhitungan proporsi.

5. Pengujian Agregat Halus

- Uji agregat kadar lumpur (SNI 03-4142-1996)
- Uji daya serap air dan berat jenis agregat halus (SNI 1970: 2008).

6. Pengujian Agregat Kasar Natural dan *Artificial Aggregate*

- Uji daya serap air seta berat jenis agregat kasar (SNI 1969: 2008).
- Analisis saringan agregat kasar (SNI ASTM C136-2012).
 - Uji berat isi agregat kasar (SNI 03-4804-1998).

3.4 Pelaksanaan Pembuatan Agregat Buatan

Penelitian ini menggambarkan langkah-langkah dalam proses pembuatan geopolimer yang melibatkan aktivator, bertujuan untuk menghasilkan struktur yang kokoh dengan rasio SiO₃ dan Al₂O₃ yang diatur dengan cermat. Berbagai langkah tersebut yakni:

1. Persiapan dan penentuan proporsi serta jumlah berat senyawa kimia NaOH, Na₂SiO₃, *fly ash*, dan *silica fume* yang akan di substitusikan pada *fly ash* sebagai pengganti dalam persentase Na₂SiO₃.
2. Pembentukan alkali aktivator melalui reaksi kimia antara NaOH, Na₂SiO₃, dan H₂O.
3. Campuran *fly ash*, *silica fume*, dan pasir dengan alkali aktivator menggunakan alat semprot yang tepat ke dalam mixer untuk menciptakan kohesi yang optimal.
4. Proses semprotan secara berkala alkali aktivator dalam campuran *silica fume*, *fly ash*, dan pasir sehingga terbentuknya agregat dalam mixer.
5. Agregat yang terbentuk kemudian dipindahkan ke dalam wadah untuk mengalami tahap pengeringan selama 1-2 hari, memastikan kekakuan yang optimal.
6. Setelah tahap pengeringan, agregat dimasukkan pada oven selama 4 jam suhu pada 60 derajat Celsius atau bias juga menggunakan prose steam curing dengan suhu 80 derajat Celsius selama 1 jam untuk menguatkan strukturnya secara menyeluruh.
7. Proses curing dilakukan dengan mempertahankan suhu ruangan

selama 28 hari setelah proses oven, memungkinkan agregat untuk mencapai kekuatan maksimal. Selanjutnya, agregat disaring dengan cermat sesuai dengan gradasi agregat kasar yang diinginkan.

8. Pengujian dan analisis hasil uji agregat buatan dilakukan secara menyeluruh setelah proses curing selama 28 hari, memastikan kualitas dan keandalan struktural yang optimal.

3.5 Pengujian Matrial Penyusun *Artificial Aggregate*

3.5.1 Uji XRF (X-Ray Fluorescence)

Penelitian ini memanfaatkan analisis X-Ray Fluorescence (XRF) guna mengkaji komposisi unsur dalam *fly ash* dan *silica fume*. Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam mengidentifikasi berbagai unsur, mulai dari natrium (Na) hingga uranium (U) dalam senyawa, dengan tingkat presisi tinggi.

Teknik XRF dilakukan menggunakan Rigaku NexCG dengan sampel berbentuk serbuk yang ditempatkan di atas plat logam. Sampel *fly ash* dan *silica fume* diuji untuk menentukan kandungan Silikat (Si) dan Alumina (Al) di dalamnya. Klasifikasi akurat unsur-unsur ini sangat penting untuk memastikan keakuratan kandungan yang diteliti dalam penelitian ini.

Pengujian XRF dilaksanakan di fasilitas sains BRIN di Puspitek Serpong. Beberapa persyaratan sampel perlu dipenuhi untuk mendapatkan hasil analisis yang optimal:

- Sampel harus berbentuk serbuk dengan ukuran lolos saringan 200 mesh atau plat berukuran 2 x 2 cm.
- Sampel harus kering total tanpa kelembaban atau kebasahan.
- Sampel harus non-higroskopik, non-volatile, dan tidak bersifat asam.
- Volume minimal sampel serbuk yang digunakan adalah satu sendok makan.

Pemenuhan persyaratan sampel ini memastikan kualitas dan akurasi hasil analisis XRF. Data komposisi unsur yang diperoleh selanjutnya dianalisis

untuk mengidentifikasi karakteristik *silica fume* serta *fly ash*, serta potensinya menjadi bahan bangunan atau material konstruksi.



Gambar 3. 1 X-Ray Fluorescence (ED-XRF) Rigaku NexCG
(Sumber: elsa.brin.go.id)

3.5.2 Pengujian Agregat Halus

3.5.2.1 Pengujian Kadar Lumpur

Sesuai dengan yang ada pada SNI 03-4142-1996, Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm), pengujian kadar lumpur dilakukan. Berikut adalah prosedur serta alat yang dipakai dari proses pengujian agregat halus:

1. Timbangan menggunakan ketelitian maksimum 0,1% dibandingkan berat benda uji.
2. Oven pada suhu yang di atur untuk memanaskan hingga $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
3. Dua saringan: Saringan Nomor 200 (0,075 mm) di bagian bawah lalu Saringan Nomor 16 (1,18 mm) di atasnya.
4. Wadah cuci dengan kapasitas memadai untuk memberikan tampungan benda uji serta air pencuci tanpa tumpah.

A. Prosedur Pengujian:

1. Timbang wadah yang kosong untuk menentukan berat awal.
2. Timbang benda uji lalu letakkan pada wadah.
3. Tuangkan air pencuci yang telah dicampur bahan pembersih (jika digunakan) pada wadah hingga benda uji terendam.
4. Aduk benda uji didalam wadah untuk memisahkan bahan halus serta butir-butir kasar yang telah lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm). Pastikan bahan halus melayang pada larutan air pencuci.
5. Tuangkan air pencuci dengan hati-hati di atas saringan Nomor 16 (1,18 mm) yang memiliki saringan Nomor 200 (0,075 mm) di bawahnya. Dipastikan bahan kasar tidak ikut terbang.
6. Ulangi langkah (3), (4), dan (5) sampai air pencuci terlihat jernih.
7. Kumpulkan seluruh benda uji yang telah ditahan pada saringan Nomor 200 (0,075 mm) serta Nomor 16 (1,18 mm) kembali pada wadah, kemudian dikeringkan pada oven yang bersuhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga sampai berat yang konstan. Timbang kembali dengan ketelitian optimal 0,1% dari berat contoh.
8. Hitung persentase bahan yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm) memakai rumus berikut:

$$\text{Persentase Bahan Halus} = \frac{A - B}{A} \times 100\%$$

B : Berat Wadah Kosong

A : Berat Benda Uji Kering Akhir

3.5.2.2 Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Berdasarkan standar SNI 1970-2008, Pengujian berat jenis serta daya serap air pada agregat halus memiliki tujuan guna mendapatkan informasi tentang berat jenis agregat dalam keadaan

kering, berat jenis agregat dalam keadaan jenuh permukaan kering, berat jenis semu, serta tingkat penyerapan airnya. Proses ini memiliki konsep serupa terhadap pengujian untuk agregat kasar, meskipun ada beda pada rumus perhitungannya yang disesuaikan dengan sifat khusus agregat halus. Perbedaan tersebut mencakup penyesuaian formula yang digunakan untuk menganalisis karakteristik fisik agregat halus tersebut.

A. Alat dan Bahan

1. Timbangan dengan kapasitas minimal 1 kg dan ketelitian 0,1 gram.
2. Piknometer berkapasitas 500 ml.
3. Kerucut terpancung yang terbuat dari logam pada tinggi (75 ± 3) mm, diameter bawah (90 ± 3) mm, serta diameter atas (40 ± 3) mm terhadap ketebalan minimal 0,8 mm.
4. Batang penumbuk datar diameter punch (25 ± 3) mm dan berbobot (340 ± 15) gram.
5. Saringan No. 4 (4,75 mm).
6. Oven terhadap kemampuan mengatur suhu hingga $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$.
7. Wadah khusus untuk agregat halus.
8. Agregat halus sebanyak 700 gram.

B. Prosedur Pelaksanaan

1. Melakukan pengeringan agregat halus seberat 700 gram yang menggunakan oven pada suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$.
2. Merendam agregat halus pada suhu ruangan dalam air selama (24 ± 4) jam.
3. Membuang air rendaman dari agregat halus.
4. Mengeringkan agregat halus sampai mencapai kondisi jenuh kering permukaan.

5. Melakukan pengujian kelembapan pada permukaan agregat halus yang menempatkannya pada kerucut dan melakukan penumbukan sebanyak 25 kali.
6. Membersihkan agregat yang tumpah pada sekitaran kerucut dan mengangkat kerucut secara hati-hati. Apabila permukaan agregat terlihat masih terlalu basah, proses penumbukan harus diulang hingga mencapai kejenuhan kering permukaan yang diinginkan.
7. Setelah mencapai kejenuhan kering permukaan, mengambil sampel agregat halus sebanyak (500 ± 10) gram dan menempatkannya di dalam piknometer. Air ditambahkan hingga mencapai sekitar 90% kapasitas piknometer. Mengeluarkan gelembung udara dengan menggoyangkan dan memutar piknometer.
8. Mengisi piknometer hingga batas bacaan, kemudian menimbang gabungan berat piknometer, sampel uji, dan air (Bt).
9. Mengeluarkan sampel uji dari piknometer, mengeringkannya menggunakan oven di suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ hingga berat tetap konstan. Dilakukan pendinginan selama $(1,0 \pm 0,5)$ jam dalam suhu kamar dan ditimbang (A).
10. Menimbang berat piknometer apabila sudah penuh oleh air pada suhu $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$.

3.5.2.3 Pengujian Slump

Pengujian Slump Beton Menurut SNI 1972:2022 bertujuan untuk menentukan kekentalan atau plastisitas serta kohesi dari beton segar. Nilai slump ini digunakan sebagai kemudahan pengerjaan beton dan kemampuannya mengisi cetakan.

A. Alat dan Bahan:

1. Cetakan Slump, memiliki bentuk kerucut terpotong pada diameter bawah 20 cm, tinggi 30 cm, serta diameter atas 10 cm.
2. Mistar, dengan panjang minimal 40 cm.
3. Rocker Bar, baja panjang 20 cm dengan diameter 16 mm.
4. Wadah Air, untuk membasahi cetakan.

B. Prosedur Pengujian:

1. Siapkan cetakan dengan membasahinya terlebih dahulu menggunakan air, kemudian letakkan di atas permukaan datar yang kokoh. Pastikan cetakan stabil dan tidak bergerak selama pengujian.
2. Untuk melakukan pengujian, pertama isi cetakan dengan adukan beton secara bertahap dari atas. Isi cetakan hingga penuh, dengan sedikit gundukan di atasnya. Ratakan permukaan beton menggunakan rocker bar dengan gerakan melingkar dan ketukan sebanyak 15 kali. Segera setelah meratakan, lepaskan cetakan secara vertikal ke atas dengan gerakan lurus dan hati-hati. Biarkan beton runtuh secara alami tanpa bantuan selama 15 detik.
3. Untuk mengukur slump, ukur jarak vertikal antara titik tertinggi permukaan beton yang runtuh dengan tepi atas cetakan menggunakan mistar.
4. Catat nilai slump dalam satuan centimeter (cm). Lakukan pengukuran slump minimal dua kali dari adukan yang sama dan laporkan rata-rata nilainya.

3.6 Pengujian Material *Artificial Aggregate* & Agregat Kasar Alami

Pengujian *artificial aggregate* dapat dilakukan ketika *artificial aggregate* melalui proses *curing* selama 4 jam dengan oven 60° C kemudian di *curing* dengan suhu ruangan selama 28 hari. Hasil Pengujian agregat kasar alami

mengacu dari ASTM dan juga SNI sebagai perbandingan dengan *artificial aggregate*.

3.6.1 Pengujian Berat Jenis dan Daya Serap Air

3.6.1.1 Agregat Kasar Alami dan *Artificial Aggregate*

Menurut SNI 1969-2008, pengujian daya serap air serta berat jenis bertujuan untuk mengidentifikasi beberapa parameter kunci terkait *artificial aggregate* dan agregat kasar alami. Dalam pengujian ini, berat jenis dalam keadaan jenuh kering, berat jenis dalam keadaan kering, permukaan, tingkat penyerapan air, dan berat jenis semu diukur. Di bawah ini adalah definisi dan rumus yang diperlukan untuk melakukan pengujian tersebut.

A. Alat dan Bahan

2. Agregat kasar seberat ± 5 kg.
3. Oven dengan kemampuan mencapai suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ untuk proses pengeringan agregat.
4. Wadah penampung air.
5. Wadah yang diperuntuk tempat pengujian agregat kasar.
6. Timbangan dengan kapasitas 5 kg dan ketelitian 0,1%.
7. Kain pengering untuk menghilangkan kelembaban pada agregat kasar yang direndam air.
8. Timbangan gantung pada kapasitas 5 kg serta ketelitian 0,1%.

B. Metode Pelaksanaan

1. Membersihkan benda uji hingga bersih sesuai kapasitas yang diperlukan (± 3 kg).
2. Mengeringkan benda uji menggunakan oven di suhu 110°C ($\pm 5^\circ\text{C}$) hingga memiliki berat konstan.

3. Mendinginkan benda uji hingga mencapai suhu ruang selama 1 hingga 3 jam, lalu menimbanginya kembali (A).
4. Selama 24 hingga 4 jam, rendam agregat kasar bahan uji di suhu kamar.
5. Setelah 24 jam direndam, lepaskan bahan uji dan keringkan dengan kain, kemudian timbang kembali (B).
6. Untuk menghilangkan gelembung udara, masukkan agregat kasar uji ke dalam wadah berisi air dan timbang kembali.

C. Perhitungan

1. Berat Jenis Curah Kering

Rumus yang diterapkan guna mengestimasi berat jenis curah kering (S_{sd}) pada suhu 23°C untuk air dan agregat, dihitung menggunakan persamaan 3.1 berikut ini:

$$S_d = \frac{A}{B-C} \quad (3.1)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

A = Berat benda uji yang dikeringkan dalam oven (gram)

B = Berat benda uji pada keadaan jenuh kering permukaan agregat kasar di udara (gram)

C = Berat benda uji pada air (gram)

S_d = Berat Jenis Curah Kering

2. Berat Jenuh Kering Permukaan

Persamaan untuk menghitung berat jenis jenuh kering permukaan (S_s), di suhu 23°C untuk air dan agregat, dapat dijabarkan melalui persamaan 3.2 berikut:

$$S_s = \frac{B}{B-C} \quad (3.2)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

B = Berat benda uji dalam keadaan jenuh kering permukaan di udara (gram)

C = Berat benda uji dalam air (gram)

S_s = Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan

3. Berat Jenis Semu

Persamaan untuk menghitung berat jenis semu (S_a), di suhu 23°C untuk air dan agregat, ditunjukkan oleh persamaan 3.3 berikut:

$$S_a = \frac{A}{A-C} \quad (3.3)$$

Dengan keterangan yaitu:

A = Berat benda uji yang dikeringkan dalam oven (gram)

C = Berat benda uji pada air (gram)

S_a = Berat Jenis Semu

4. Penyerapan Air

Persamaan untuk menghitung persentase penyerapan air (S_w), dapat dihitung dengan memakai persamaan 3.4 yakni:

$$S_w = \frac{B-A}{A} \quad (3.4)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

Sw = Persentase Penyerapan Air

A = Berat benda uji yang dikeringkan dalam oven (gram)

B = Berat benda uji pada keadaan jenuh kering permukaan di udara (gram)

3.6.2 Pengujian Berat Isi *Artificial Aggregate* dan Agregat Kasar Alami

Menurut SNI 03-1969-1990, yang mengatur mengenai Pengujian Bobot Isi serta Rongga Udara dalam Agregat pengujian bobot isi dan rongga udara pada agregat. Di bawah ini merupakan alat serta prosedur yang dipakai guna menguji agregat halus dan kasar:

A. Alat

1. Timbangan pada ketelitian 0,1 gram serta kapasitas 2 kg dan guna contoh agregat kasar, serta ketelitian 1 gram.
2. Batang penusuk dari baja yang lurus, pada panjang 610 mm juga diameter 16 mm, serta ujung tumpul berbentuk setengah bulat.
3. Alat penakar silinder dari logam maupun bahan kedap air, pada dasar serta ujung yang rata sempurna, serta kapasitas menyesuaikan Tabel 3.2.
4. Sendok maupun sendok yang sesuai kebutuhan.
5. Untuk agregat kasar, alat kalibrasi termasuk pelat kaca pada ketebalan minimal 6 mm dan ukuran setidaknya 25 mm lebih besar dari diameter takaran yang akan dilakukan kalibrasi.

Tabel 3. 2 Ukuran Nominal Agregat & Kapasitas Maksimum Penakar Berat Isi

| Ukuran Besar Beton Nominal Agregat (mm) | Kapasitas Maksimum Penakar (liter) |
|--|---|
| 12,5 | 2,8 |
| 25,0 | 9,3 |
| 37,5 | 14 |
| 75 | 28 |
| 112 | 70 |
| 150 | 100 |

B. Prosedur Pengujian

1. Isi penakar hingga sepertiga dari kapasitasnya serta diratakan memakai batang perata.
2. Tusuk lapisan agregat tersebut sebanyak 25 kali menggunakan batang penusuk.
3. Tambahkan agregat hingga mencapai dua pertiga volume penakar, selanjutnya diratakan serta tusuk seperti sebelumnya.
4. Isi penakar hingga melimpah, lalu ratakan permukaan agregat pada batang perata.
5. Menentukan berat penakar kosong juga berat penakar yang berisi agregat.
6. Catat berat dengan ketelitian 0,05 kg.
7. Hitung berat agregat yang berada pada penakar.

3.6.3 Pengujian Analisis Saringan *Artificial Aggregate* dan Agregat Kasar Alami

Pengujian ini berdasarkan metode yang tercantum dalam SNI 03-1968-1990 tentang Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus, Agregat Buatan, serta Agregat Kasar Alami. Berikut adalah alat, bahan, ukuran agregat, dan langkah-langkah pelaksanaannya.

B. Alat dan Bahan yang Digunakan

1. Timbangan digital pada ketelitian 0,2% dari berat benda uji.
2. Oven yang mengatur suhu untuk pemanasan hingga $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$.
3. Talam-talam.
4. Wadah agregat.
5. Agregat kasar buatan dan agregat kasar alami.
6. Ayakan agregat pada ukuran yakni:
 - a. Ayakan standar untuk agregat kasar dengan lubang berukuran 9,5 mm ($3/8''$),
 - b. Ayakan standar untuk agregat kasar dengan lubang berukuran 2,36 mm (No.8),
 - c. Ayakan standar untuk agregat kasar dengan lubang berukuran 37,5 mm ($3''$),
 - d. Ayakan standar untuk agregat kasar dengan lubang berukuran 12,5 mm ($1/2''$),
 - e. Ayakan standar untuk agregat kasar dengan lubang berukuran 1,19 mm (No.16),
 - f. Ayakan standar untuk agregat kasar dengan lubang berukuran 19,1 mm ($3/4''$),
 - g. Ayakan standar untuk agregat kasar dengan lubang berukuran 4,75 mm (No.4),
 - h. Ayakan dengan lubang bujur sangkar.

B. Benda Uji

Ukuran agregat kasar yang dipakai yakni:

1. Ukuran maksimum $3/8''$ dengan berat minimum 1,25 kg.
2. Ukuran maksimum $3/4''$ dengan berat minimum 1,25 kg.
3. Ukuran maksimum $1''$ dengan berat minimum 1,25 kg.
4. Ukuran maksimum $1/2''$ dengan berat minimum 1,25 kg.

C. Prosedur Pengujian

Pengujian yang dilakukan memiliki tahapan-tahapan yakni:

1. Keringkan benda uji untuk agregat halus pada oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai memperoleh berat yang konstan.
2. Saring benda uji dengan susunan saringan, dimulai dari saringan pada ukuran terbesar di atas. Guncang saringan secara manual maupun menggunakan mesin pengguncang selama 15 menit.

3.6.4 Uji Keausan Agregat Kasar (*Los Angeles*)

Berdasarkan standar (SNI, 2417:2008), Uji Los Angeles digunakan menjadi metode guna menerapkan resistensi agregat kasar kepada abrasi, dengan tujuan untuk mengukur tingkat abrasi dengan membandingkan berat material yang terabrasi dengan berat material asli, diungkapkan dalam bentuk persentase.



Gambar 3. 2 Alat Uji Los Angeles

Metode pengujian melibatkan penempatan benda uji pada mesin *Los Angeles*, di mana mesin berputar pada kecepatan antara 30 hingga 33 rpm. Sesudah proses rotasi selesai, benda uji dikeluarkan dari mesin serta dilakukan penyaringan memakai saringan nomor 12 yang punya lubang selebar 1,7 mm; butiran yang tertahan di atas saringan tersebut kemudian dilakukan pencucian hingga bersih. Sesudahnya, benda uji dikeringkan pada oven di suhu $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{C}$) hingga memperoleh berat yang konstan.

Tabel 3. 3 Daftar gradasi dan berat benda uji

| Ukuran saringan | | | | Gradasi dan berat benda uji (gram) | | | | | | |
|-------------------|-------|----------|-------|------------------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Lolos | | Tertahan | | A | B | C | D | E | F | G |
| saringan | | saringan | | | | | | | | |
| mm | inci | mm | inci | | | | | | | |
| 75 | 3.0 | 63 | 2 ½ | - | - | - | - | 2500 | - | - |
| | | | | | | | | ± 50 | | |
| 63 | 2 ½ | 50 | 2.0 | - | - | - | - | 2500 | - | - |
| | | | | | | | | ± 50 | | |
| 50 | 2.0 | 37.5 | 1 ½ | - | - | - | - | 2500 | 5000 | - |
| | | | | | | | | ± 50 | ± 50 | |
| 37.5 | 1 ½ | 25 | 1 | 1250 | - | - | - | - | 5000 | 5000 |
| | | | | ± 25 | | | | | ± 25 | ± 10 |
| 25 | 1 | 19 | ¾ | 1250 | - | - | - | - | - | 5000 |
| | | | | ± 25 | | | | | | ± 10 |
| 19 | ¾ | 12.5 | ½ | 1250 | 2500 | - | - | - | - | - |
| | | | | ± 10 | ± 10 | | | | | |
| 12.5 | ½ | 9.5 | 3/8 | 1250 | 2500 | - | - | - | - | - |
| | | | | ± 10 | ± 10 | | | | | |
| 9.5 | 3/8 | 6.3 | ¼ | - | - | 2500 | - | - | - | - |
| | | | | | | ± 10 | | | | |
| 6.3 | ¼ | 4.75 | No. 4 | - | - | 2500 | 2500 | - | - | - |
| | | | | | | ± 10 | ± 10 | | | |
| 4.75 | No. 4 | 2.36 | No. 8 | - | - | - | 2500 | - | - | - |
| | | | | | | | ± 10 | | | |
| Total | | | | 5000 | 5000 | 5000 | 5000 | 10000 | 10000 | 10000 |
| | | | | ± 10 | ± 10 | ± 10 | ± 10 | ± 10 | ± 10 | ± 10 |
| Jumlah bola | | | | 12 | 11 | 8 | 6 | 12 | 12 | 12 |
| Berat bola (gram) | | | | 5000 | 4584 | 3330 | 5000 | 5000 | 5000 | 5000 |
| | | | | ± 25 | ± 25 | ± 20 | ± 25 | ± 25 | ± 25 | ± 25 |

Prosedur ini memiliki tujuan guna menetapkan keausan agregat kasar pada gesekan dan abrasi yang memakai mesin *Los Angeles*, sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 2417:2008).

A. Alat:

1. Mesin Los Angeles
2. Ayakan standar dengan saringan nomor 1", nomor ¾", nomor ½", nomor 3/8"
3. ember

4. Sendok agregat
5. Timbangan dengan ketelitian 0,01 kg

B. Bahan:

1. Agregat kasar kering
2. Bola baja dengan diameter 48 mm 12 bola baja

C. Langkah-langkah Pengujian:

1. Persiapan Benda Uji:

Persiapkan *Artificial Aggregate* dengan ukuran sebagai berikut :

- a. Ukuran maksimum 3/8" dengan berat minimum 1,25 kg.
- b. Ukuran maksimum 3/4" dengan berat minimum 1,25 kg.
- c. Ukuran maksimum 1" dengan berat minimum 1,25 kg.
- d. Ukuran maksimum 1/2" dengan berat minimum 1,25 kg.

2. Pengisian Mesin Los Angeles:

- a. Masukkan bola baja pada drum mesin Los Angeles sesuai dengan jumlah yang ditentukan standar.
- b. Masukkan agregat kering yang telah disiapkan pada drum mesin Los Angeles.

3. Pengujian:

- a. Tutup drum mesin Los Angeles rapat-rapat.
- b. Nyalakan mesin dan putar drum dengan kecepatan 30 ± 3 rpm selama 500 putaran

4. Penimbangan Benda Uji Akhir:

- a. saring hasil pengujian dengan saringan nomor 12".
- b. timbang hasil yang tertahan saringan dan lolos saringan.

Perhitungan keausan dapat dihitung menggunakan rumus (SNI 03-2417-2008), sebagai berikut :

$$Keausan = \frac{a-b}{a} \times 100\%$$

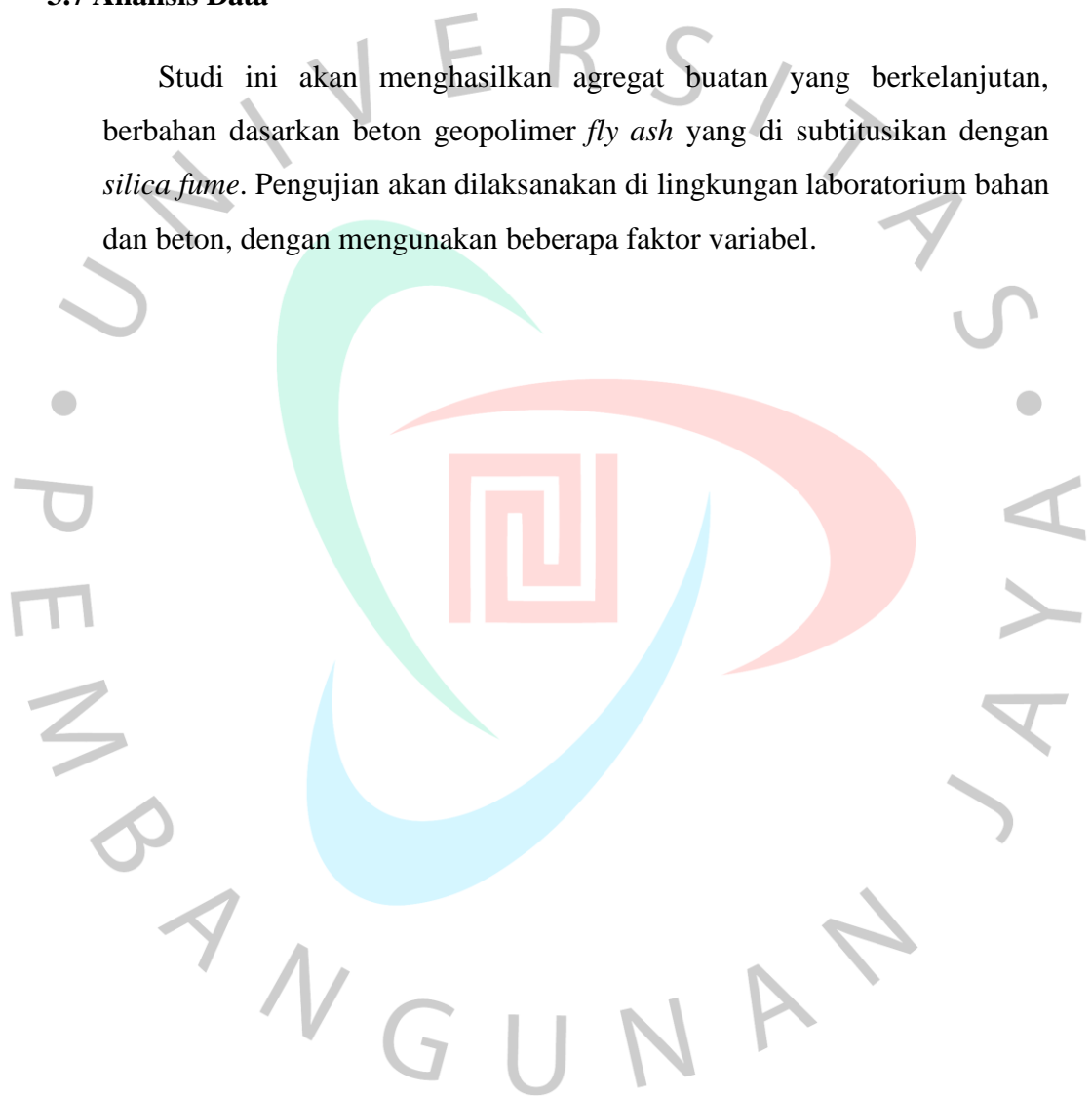
Keterangan :

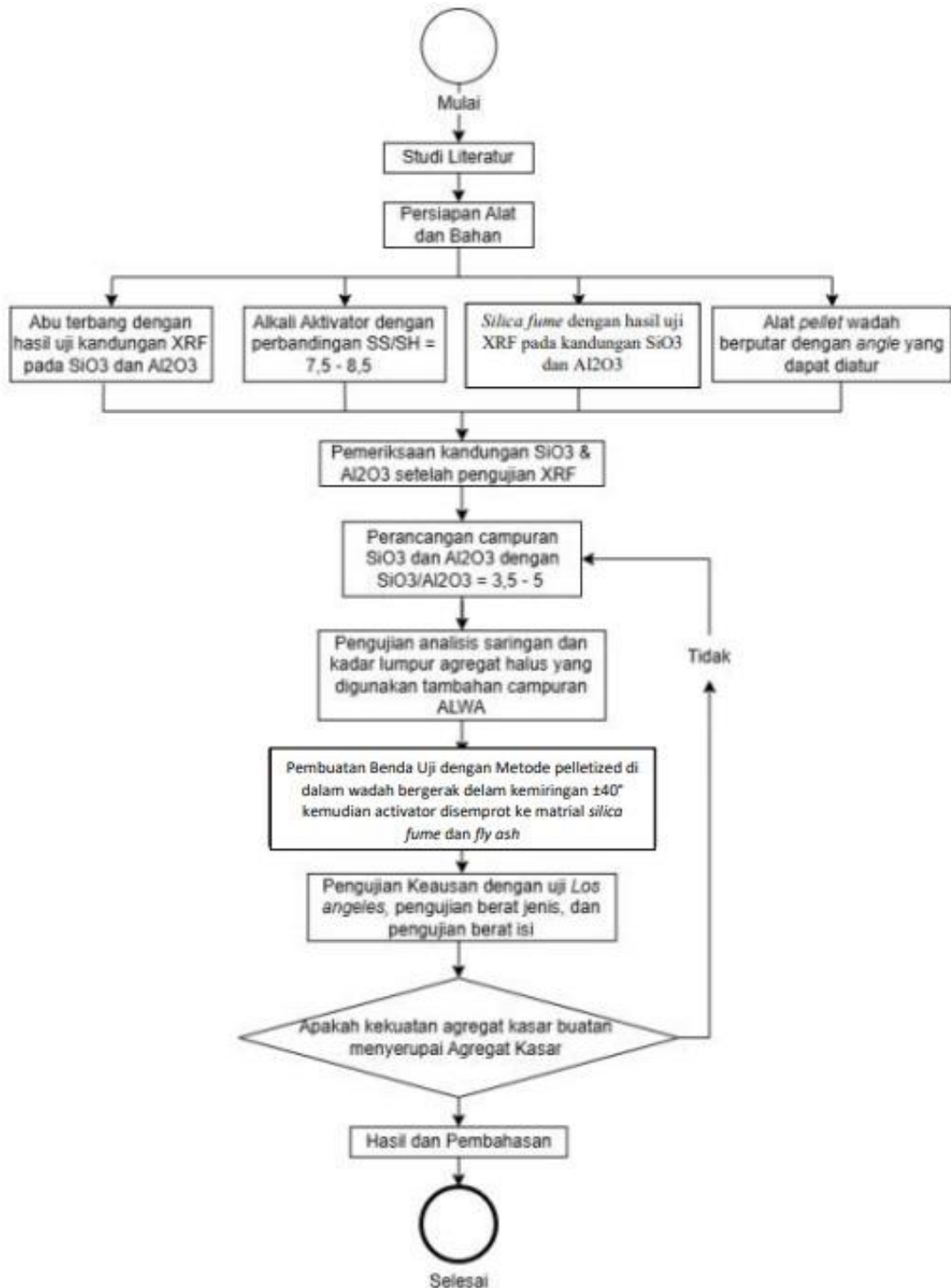
a = berat benda uji semula, pada satuan gram (gr)

b = berat benda uji tertahan saringan no.12, dalam satuan gram (gr)

3.7 Analisis Data

Studi ini akan menghasilkan agregat buatan yang berkelanjutan, berbahan dasarnya beton geopolimer *fly ash* yang di substitusikan dengan *silica fume*. Pengujian akan dilaksanakan di lingkungan laboratorium bahan dan beton, dengan menggunakan beberapa faktor variabel.





Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian