

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorium yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh substitusi sebagian semen dengan *fly ash* dan mikrosilika, serta penambahan *superplasticizer*, terhadap kuat tekan beton. Design penelitian dilakukan dengan membuat benda uji berbentuk silinder beton yang kemudian diuji pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium fakultas sains dan Teknik program studi Teknik Sipil Universitas Bojonegoro. Pada laboratorium ini penulis melakukan pengujian material, pengecoran dan pembuatan benda uji (silinder), mix design, pengujian slump, pemeliharaan beton, pengujian kuat tekan beton.

3.3 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat tiga jenis variabel yang digunakan, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas merupakan faktor perlakuan yang dimodifikasi pada campuran beton, variabel terikat adalah hasil yang diamati sebagai respon dari perlakuan, sedangkan variabel kontrol adalah faktor-faktor yang dijaga tetap konstan agar hasil penelitian lebih akurat.

1. Variabel Bebas (Independent Variable)

Perlakuan yang diberikan dalam penelitian ini berupa variasi substitusi sebagian semen menggunakan *fly ash*, dengan kadar 0%, 10%, dan 20%, serta penambahan mikrosilika sebesar 10% dan *superplasticizer* sebesar 1% dari berat semen. Variasi campuran ini digunakan untuk mengetahui pengaruh perbedaan kadar *fly ash* terhadap kuat tekan beton, dengan *silica fume* dan *superplasticizer* dijaga tetap konstan.

Adapun variasi campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Beton Kontrol (BK), yaitu beton dengan substitusi sebagian sebagian semen menggunakan *fly ash* sebesar 0%, *silica fume* sebesar 10%, dan *superplasticizer* sebesar 1% dari berat semen.
- b. Beton Variasi 1 (V1), yaitu beton dengan substitusi sebagian sebagian semen menggunakan *fly ash* sebesar 10%, *silica fume* sebesar 10%, dan *superplasticizer* sebesar 1% dari berat semen.
- c. Beton Variasi 2 (V2), yaitu beton dengan substitusi sebagian sebagian semen menggunakan *fly ash* sebesar 20%, *silica fume* sebesar 10%, dan *superplasticizer* sebesar 1% dari berat semen.

Dengan penetapan variasi tersebut, pengaruh penggunaan *fly ash* terhadap kuat tekan beton dapat dianalisis secara lebih terarah, baik pada umur awal maupun umur lanjut, serta memudahkan proses perbandingan hasil antar variasi beton.

- a. Variabel Terikat (Dependent Variable)

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kuat tekan beton. Pengujian dilakukan pada benda uji silinder berukuran $\varnothing 15 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari.

- b. Variabel Kontrol (Controlled Variable)

Variabel kontrol meliputi mutu beton rencana $f'_c = 30 \text{ MPa}$, faktor air-semen (w/c ratio), jenis dan gradasi agregat, ukuran maksimum agregat kasar 20 mm, serta prosedur pencampuran, pengecoran, pemadatan, curing, dan pengujian sesuai standar SNI.

3.4 Bahan – Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bahan utama penyusun beton serta bahan tambahan (admixture) yang berfungsi meningkatkan kinerja beton. Seluruh material dipilih sesuai standar dan spesifikasi yang berlaku agar mutu beton yang dihasilkan dapat terjaga.

1. Semen Portland

Semen yang digunakan adalah semen *portlan tipe I*, semen yang digunakan pada penelitian ini dengan merek semen gresik umum. Semen ini berfungsi sebagai pengikat utama dalam campuran beton.



Gambar 3.1 Semen Portland

Sumber: Data Penulis, 2025

2. *Fly ash*

Fly ash adalah hasil sampingan dari pembakaran batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). *Fly ash* digunakan sebagai bahan pozzolan yang dapat menggantikan sebagian semen sekaligus meningkatkan kerapatan mikrostruktur beton.



Gambar 3.2 Fly ash

Sumber: Data Penulis, 2025

3. *Mikrosilika (Silica fume)*

Silica fume merupakan material berbentuk serbuk halus yang mengandung kadar silika tinggi. Bahan ini berfungsi mengisi rongga mikro dalam beton dan meningkatkan kekuatan tekan serta ketahanan beton terhadap lingkungan agresif.



Gambar 3.3 Silica fume

Sumber: Data Penulis, 2025

4. Agregat Halus

Agregat halus berupa pasir alami yang lolos saringan 4,75 mm dan memenuhi gradasi sesuai SNI 03-2461-2002. Agregat halus berfungsi mengisi rongga di antara agregat kasar.

5. Agregat Kasar

Agregat kasar berupa kerikil pecah dengan ukuran maksimum 20 mm. Agregat kasar berfungsi sebagai kerangka utama beton dan berpengaruh pada kekuatan tekan.

6. Air

Air yang digunakan adalah air bersih yang bebas dari minyak, garam, maupun zat organik yang dapat mengganggu proses hidrasi semen. Standar mutu air mengacu pada SNI 03-2847-2019.

7. *Superplasticizer*

Superplasticizer adalah bahan kimia tambahan (*high range water reducing admixture*). Fungsinya adalah meningkatkan workability beton tanpa menambah jumlah air, sehingga rasio air-semen tetap rendah namun beton tetap mudah dikerjakan. *Superplasticizer* yang digunakan dalam penelitian ini adalah produk ViscoConcrate 3115 N.



Gambar 3.4 Superplasticizer

Sumber: Data Penulis, 2025

3.5 Alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Mesin Pengayak

Digunakan untuk melakukan analisis saringan dalam menentukan modulus halus butir (MHB) agregat halus dan kasar.



Gambar 3.5 Mesin Pengayak

Sumber: Data Penulis, 2025

2. Oven

Oven listrik digunakan untuk mengeringkan sampel hingga mencapai kondisi berat kering oven, serta untuk menentukan daya serap air beton.



Gambar 3.6 Oven

Sumber: Data Penulis, 2025

3. Kerucut Pasir

Digunakan untuk menentukan kondisi Saturated Surface Dry (SSD) pada agregat halus sebelum dilakukan pengujian.



Gambar 3.7 Kerucut Pasir

Sumber: Data Penulis, 2025

4. Gardner Standard Colour (GSC)

Berfungsi untuk menguji kandungan bahan organik pada agregat halus.



Gambar 3.8 Gardner Standard Colour

Sumber: Data Penulis, 2025

5. Mesin Los Angeles Abrasion (LAA)

Digunakan untuk menguji tingkat keausan agregat kasar.



Gambar 3.9 Mesin Los Angeles Abrasion (LAA)

Sumber: Data Penulis, 2025

6. Molen (Concrete Mixer)

Berfungsi untuk mencampur bahan-bahan beton sebelum dicetak.



Gambar 3.10 Molen (Concrete Mixer)

Sumber: Data Penulis, 2025

8. Cetakan Silinder Beton

Digunakan untuk mencetak benda uji berbentuk silinder dengan ukuran sesuai kebutuhan pengujian.



Gambar 3.11 Cetakan Silinder Beton

Sumber: Data Penulis, 2025

9. Keranjang Kawat

Dipakai dalam pengujian berat jenis agregat kasar.



Gambar 3.12 Keranjang Kawat

Sumber: Data Penulis, 2025

10. Universal Testing Machine (UTM)

Digunakan untuk menguji kuat tekan beton.



Gambar 3.13 Universal Testing Machine (UTM)

Sumber: Data Penulis, 2025

11. Tangki Air

Berfungsi dalam pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.



Gambar 3.14 Tangki Air

Sumber: Data Penulis, 2025

12. Timbangan

Digunakan untuk menimbang bahan dan benda uji.



Gambar 3.15 Timbangan Dengan Ketelitian 0,01g

Sumber: Data Penulis, 2025



Gambar 3.16 Timbangan Dengan Ketelitian 1g

Sumber: Data Penulis, 2025



Gambar 3.17 Timbangan Dengan Ketelitian 10g

Sumber: Data Penulis, 2025

13. Piknometer

Berfungsi untuk menentukan berat jenis agregat halus.



Gambar 3.18 Piknometer

Sumber: Data Penulis, 2025

14. Saringan

Digunakan dalam analisis saringan untuk memisahkan agregat berdasarkan ukuran butir.



Gambar 3.19 Saringan

Sumber: Data Penulis, 2025

15. Vibrator Beton

Alat untuk memadatkan beton segar dengan cara menghasilkan getaran. Getaran ini menghilangkan rongga udara (void) dalam campuran beton sehingga beton menjadi lebih padat, kuat, dan tidak keropos.



Gambar 3.20 Vibrator Beton

Sumber: Data Penulis, 2025

16. Kerucut Abrams

Alat berbentuk kerucut terpancung yang digunakan untuk menguji nilai slump (keleccakan) beton segar. Hasil pengujian menunjukkan tingkat kemudahan pengerjaan (workability) beton.



Gambar 3.21 Kerucut Abrams

Sumber: Data Penulis, 2025

17. Kompor Listrik

Alat pemanas yang menggunakan energi Listrik digunakan untuk memanaskan piknometer dan mengeluarkan rongga udara dalam pengujian berat jenis agregat halus.



Gambar 3.22 Kompor Listrik

Sumber: Data Penulis, 2025

18. Cetok

Alat tangan (trowel) yang digunakan untuk mengambil, mengaduk, meratakan, atau membentuk adukan.



Gambar 3.23 Cetok

Sumber: Data Penulis, 2025

19. Mould Berat Isi

Cetakan berbentuk silinder atau wadah dengan volume tertentu yang digunakan untuk mengukur berat isi agregat halus dan agregat kasar dengan cara menimbang material dalam volume tetap.



Gambar 3.24 Mold Baja Berat Isi

Sumber: Data Penulis, 2025

20. Gelas Ukur

Tabung transparan yang memiliki skala volume. Digunakan untuk mengukur volume cairan seperti air dalam campuran.



Gambar 3.25 Gelas Ukur

Sumber: Data Penulis, 2025

21. Cawan

Wadah digunakan untuk menampung sampel material. cawan sering digunakan untuk pengujian kadar air tanah atau agregat dengan cara dipanaskan dalam oven lalu ditimbang.



Gambar 3.26 Cawan Kecil

Sumber: Data Penulis, 2025



Gambar 3.27 Cawan Besar

Sumber: Data Penulis, 2025



Gambar 3.28 Loyang

Sumber: Data Penulis, 2025

22. Kolam air

Kolam air digunakan untuk proses curing (perawatan) beton setelah beton mengeras awal. Benda uji beton direndam di dalam air selama jangka waktu tertentu untuk menjaga kelembapan beton.



Gambar 3.29 kolam Air

Sumber: Data Penulis, 2025

3.6 Langkah Penelitian

Penelitian ini dilakukan 4 (empat) tahap, yaitu tahap pertama uji propertis material Agregat, penentuan proporsi campuran (mix design), pembuatan benda uji beton dan pengujian kuat tekan beton. Keempat tahapan tersebut dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro. Berikut ini langkah-langkah penelitiannya:

3.6.1 Uji Propertis Material Agregat

Sebelum pembuatan beton dilakukan, diperlukan melakukan Uji propertis material agregat alami, buatan dan alat serta data-data pendukung untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik dari bahan penyusun. Berikut ini adalah langkah-langkah Uji propertis material yang dilakukan oleh peneliti:

3.6.1.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan nilai berat jenis curah (bulk), berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu (apparent), serta nilai penyerapan air agregat kasar.

1) Benda Uji

Benda uji berupa agregat kasar dengan berat sebesar 2000 gram.

2) Prosedur Pengujian

- a. Benda uji dikeringkan di dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga mencapai berat tetap.

- b. Setelah pengeringan, benda uji dikeluarkan dari oven dan didinginkan pada suhu ruang selama 1–3 jam.
- c. Benda uji kemudian direndam di dalam air bersuhu ruang selama (24 ± 4) jam.
- d. Setelah perendaman selesai, agregat dikeluarkan dari air dan dikeringkan permukaannya menggunakan kain penyerap hingga mencapai kondisi jenuh kering permukaan (SSD). Untuk agregat berukuran besar, proses pengeringan dilakukan satu per satu.
- e. Agregat dalam kondisi SSD ditimbang dan dicatat beratnya.
- f. Benda uji dimasukkan ke dalam keranjang kawat, kemudian ditimbang di dalam air sambil diguncang perlahan untuk menghilangkan udara yang terperangkap.
- g. Suhu air diukur dan dicatat sebagai dasar penyesuaian terhadap suhu standar 25°C .
- h. Setelah penimbangan di dalam air, agregat dimasukkan kembali ke dalam wadah dan dikeringkan di dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ selama (24 ± 4) jam, kemudian ditimbang sebagai berat kering oven.

3.6.1.2 Pengujian Keausan Agregat Kasar Menggunakan Mesin Los Angeles Abrasion

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan agregat kasar terhadap keausan akibat gesekan dan tumbukan selama proses pemakaian.

1) Benda Uji

Benda uji berupa agregat kasar.

2) Prosedur Pengujian

- a. Agregat disiapkan masing-masing sebanyak 2500 gram, dengan fraksi pertama lolos saringan $3/4''$ dan tertahan $1/2''$, serta fraksi kedua lolos saringan $1/2''$ dan tertahan $3/8''$.
- b. Penutup mesin Los Angeles Abrasion dibuka, kemudian agregat beserta 6 buah bola baja dimasukkan ke dalam tabung mesin.

- c. Setelah agregat dan bola baja dimasukkan, penutup mesin ditutup kembali dengan rapat.
- d. Mesin Los Angeles Abrasion dijalankan hingga mencapai jumlah 500 putaran.
- e. Debu hasil abrasi yang keluar selama proses pengujian ditampung menggunakan penampung debu.
- f. Setelah mesin berhenti, penutup dibuka, kemudian bola baja dan agregat dikeluarkan dan ditampung dalam wadah atau pan.
- g. Agregat yang diperoleh disaring menggunakan saringan No.12.
- h. Agregat yang tertahan pada saringan No.12 ditimbang.
- i. Nilai keausan agregat dihitung berdasarkan perbandingan berat agregat sebelum dan sesudah pengujian.

3.6.1.3 Pengujian Kandungan Lumpur Agregat Halus

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase kandungan lumpur yang terdapat pada agregat halus.

1) Benda Uji

Benda uji berupa agregat halus yang lolos ayakan No.4.

2) Prosedur Pengujian

- a. Dua buah wadah disiapkan, kemudian masing-masing wadah ditimbang dan dicatat berat awalnya.
- b. Agregat halus sebanyak 1000 gram dimasukkan ke dalam masing-masing wadah.
- c. Sampel agregat dikeringkan di dalam oven selama 24 jam.
- d. Setelah pengeringan, agregat dikeluarkan dari oven dan didinginkan pada suhu ruang.
- e. Agregat kemudian dicuci menggunakan air bersih hingga partikel lumpur terlepas.
- f. Setelah pencucian, agregat dikeringkan kembali di dalam oven selama 24 jam.
- g. Agregat yang telah kering ditimbang kembali dan dicatat untuk perhitungan kadar lumpur.

3.6.1.4 Pengujian Kandungan Bahan Organik dengan Larutan NaOH

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keberadaan dan tingkat kandungan bahan organik dalam agregat halus.

1) Benda Uji

Benda uji berupa agregat halus.

2) Prosedur Pengujian

- a. Dua buah gelas ukur disiapkan, kemudian pasir dimasukkan ke dalam masing-masing gelas ukur sebanyak 130 ml.
- b. Larutan NaOH ditambahkan ke dalam gelas ukur secukupnya, kemudian gelas ditutup rapat dan dikocok selama beberapa menit hingga campuran homogen.
- c. Setelah tercampur merata, penutup gelas dibuka dan larutan NaOH ditambahkan kembali hingga volume mencapai 200 ml.
- d. Gelas ukur ditutup kembali dan didiamkan selama 24 jam.
- e. Setelah 24 jam, warna larutan NaOH dibandingkan dengan standar warna yang ditetapkan.

3.6.1.5 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian ini bertujuan menentukan berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu, serta nilai penyerapan air agregat halus.

1) Benda Uji

Benda uji berupa agregat halus sebanyak 500 gram dalam kondisi SSD, dengan jumlah 3 sampel.

2) Prosedur Pengujian

- a. Agregat halus dalam kondisi SSD dikeringkan di dalam oven selama 24 jam, kemudian dikeluarkan dan didinginkan.
- b. Sampel agregat dimasukkan ke dalam piknometer, kemudian ditambahkan air aquades secukupnya.
- c. Piknometer dipanaskan hingga mendidih sambil agregat diaduk atau ditusuk untuk menghilangkan rongga udara.

- d. Setelah proses pemanasan, piknometer diputar perlahan selama beberapa menit, kemudian didiamkan selama 24 jam.
- e. Setelah 24 jam, air aquades ditambahkan hingga mencapai tanda batas pada piknometer, kemudian dilakukan penimbangan dan pencatatan berat.
- f. Isi piknometer dibersihkan dari agregat, kemudian piknometer diisi kembali dengan air bersih hingga tanda batas dan ditimbang sebagai pembanding.

3.6.1.6 Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Pengujian analisis saringan dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran (gradasi) agregat halus yang digunakan dalam campuran beton.

1) Benda Uji

Benda uji berupa agregat halus.

2) Prosedur Pengujian

- a. Agregat halus ditimbang sebanyak 2500 gram kemudian dikeringkan di dalam oven selama 24 jam.
- b. Setelah pengeringan, agregat dikeluarkan dari oven dan didinginkan hingga mencapai suhu ruang.
- c. Ayakan disusun secara berurutan dari ukuran lubang terkecil hingga terbesar, dengan ayakan terbesar ditempatkan di bagian atas.
- d. Susunan ayakan kemudian ditempatkan pada alat pengguncang saringan (sieve shaker).
- e. Sampel agregat halus sebanyak 2500 gram dimasukkan ke dalam susunan ayakan.
- f. Mesin sieve shaker dihidupkan dan dijalankan selama ± 15 menit.
- g. Setelah proses pengayakan selesai, agregat yang tertahan pada masing-masing ayakan ditimbang dan dicatat.

3.6.1.7 Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Agregat Halus

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat isi agregat halus dalam kondisi gembur dan padat.

1) Benda Uji

Benda uji berupa agregat halus dalam kondisi jenuh kering permukaan (SSD).

2) Prosedur Pengujian

- a. Silinder pengukur dalam keadaan kosong ditimbang dan dicatat dimensinya.
- b. Agregat halus dimasukkan ke dalam silinder tanpa pemadatan hingga penuh, kemudian permukaannya diratakan menggunakan mistar dan ditimbang untuk memperoleh berat isi gembur.
- c. Untuk menentukan berat isi padat, agregat dimasukkan ke dalam silinder secara bertahap setiap $\frac{1}{3}$ tinggi silinder.
- d. Setiap lapisan dipadatkan menggunakan tongkat pemadat sebanyak 25 tumbukan yang dilakukan secara merata.
- e. Setelah silinder terisi penuh dan dipadatkan, benda uji ditimbang dan dicatat.

3.6.1.8 Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui kadar air alami yang terkandung dalam agregat halus.

1) Benda Uji

Benda uji berupa agregat halus.

2) Prosedur Pengujian

- a. Cawan pengering ditimbang dan dicatat beratnya.
- b. Agregat halus dimasukkan ke dalam cawan, kemudian ditimbang sebagai berat awal.
- c. Sampel agregat dikeringkan di dalam oven selama 24 jam.
- d. Setelah pengeringan, agregat ditimbang kembali untuk memperoleh berat kering, yang selanjutnya digunakan dalam perhitungan kadar air.

3.6.1.9 Pengujian Kandungan Lumpur Agregat Kasar

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase kandungan lumpur pada agregat kasar.

1) Benda Uji

Benda uji berupa agregat kasar.

2) Prosedur Pengujian

- a. Dua buah wadah disiapkan, kemudian masing-masing wadah ditimbang dan dicatat berat awalnya.
- b. Agregat kasar sebanyak 1000 gram dimasukkan ke dalam wadah.
- c. Sampel dikeringkan di dalam oven selama 24 jam.
- d. Setelah pengeringan, agregat dikeluarkan dari oven dan didinginkan pada suhu ruang.
- e. Agregat dicuci menggunakan air bersih untuk menghilangkan partikel lumpur yang menempel.
- f. Setelah pencucian, agregat dikeringkan kembali di dalam oven selama 24 jam.
- g. Agregat yang telah kering ditimbang kembali dan dicatat untuk menghitung kadar lumpur.

3.6.1.10 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan nilai berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu, serta nilai penyerapan air agregat kasar.

1) Benda Uji

Benda uji berupa agregat kasar dengan berat 2000 gram.

2) Prosedur Pengujian

- a. Agregat dikeringkan di dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga mencapai berat tetap.
- b. Setelah itu, agregat didinginkan pada suhu ruang selama 1–3 jam.
- c. Agregat direndam di dalam air bersuhu ruang selama (24 ± 4) jam.
- d. Benda uji dikeluarkan dari air dan dikeringkan permukaannya menggunakan kain penyerap hingga mencapai kondisi SSD.
- e. Agregat dalam kondisi SSD ditimbang dan dicatat beratnya.
- f. Agregat dimasukkan ke dalam keranjang kawat, diguncang perlahan untuk mengeluarkan udara yang terperangkap, kemudian ditimbang di dalam air.
- g. Suhu air diukur untuk penyesuaian terhadap suhu standar 25°C .

- h. Agregat dikeringkan kembali di dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ selama (24 ± 4) jam, kemudian ditimbang sebagai berat kering oven.

3.6.1.11 Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran (gradasi) agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton.

1) Benda Uji

Benda uji berupa agregat kasar.

2) Prosedur Pengujian

- a. Agregat kasar ditimbang sebanyak 2500 gram, kemudian dikeringkan di dalam oven selama 24 jam.
- b. Setelah pengeringan, agregat dikeluarkan dari oven dan didinginkan hingga mencapai suhu ruang.
- c. Ayakan disusun secara berurutan dari ukuran lubang terkecil hingga terbesar, dengan ayakan terbesar ditempatkan di bagian atas.
- d. Susunan ayakan diletakkan pada alat pengguncang saringan (sieve shaker).
- e. Sampel agregat kasar sebanyak 2500 gram dimasukkan ke dalam susunan ayakan.
- f. Mesin sieve shaker dihidupkan dan dijalankan selama ± 15 menit.
- g. Setelah proses pengayakan selesai, agregat yang tertahan pada masing-masing ayakan ditimbang dan dicatat.

3.6.1.12 Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Agregat Kasar

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan berat isi agregat kasar dalam kondisi gembur dan padat.

1) Benda Uji

Benda uji berupa agregat kasar.

2) Prosedur Pengujian

- a. Silinder pengukur dalam keadaan kosong ditimbang dan dicatat dimensinya.

- b. Agregat kasar dimasukkan ke dalam silinder tanpa pemadatan hingga penuh, kemudian permukaannya diratakan menggunakan mistar dan ditimbang untuk memperoleh berat isi gembur.
- c. Untuk menentukan berat isi padat, agregat dimasukkan ke dalam silinder secara bertahap setiap $\frac{1}{3}$ tinggi silinder.
- d. Setiap lapisan dipadatkan menggunakan tongkat pemadat sebanyak 25 tumbukan yang dilakukan secara merata.
- e. Setelah silinder terisi penuh dan dipadatkan, benda uji ditimbang dan dicatat.

3.6.2 Pembuatan Benda Uji Beton

Pembuatan benda uji beton dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro. Benda uji yang dibuat berupa silinder beton berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Proses pembuatan benda uji mengacu pada standar SNI 7656:2012 dan SNI 1974:2011. Tahapan pembuatan benda uji beton adalah sebagai berikut:

1. Persiapan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan terdiri dari semen Portland tipe I, agregat halus, agregat kasar, air, *fly ash*, mikrosilika (*Silica fume*), dan *superplasticizer*. Seluruh bahan ditimbang sesuai dengan hasil perhitungan mix design untuk masing-masing variasi campuran beton, yaitu beton control dan beton dengan substitusi sebagian semen.

2. Penimbangan Material

Penimbangan material dilakukan dengan ketelitian tinggi menggunakan timbangan digital. *Fly ash* dan *silica fume* digunakan sebagai substitusi sebagian berat semen, sedangkan *superplasticizer* ditambahkan sebesar 1% dari berat semen sesuai variasi penelitian.

3. Proses Pencampuran Beton

Proses pencampuran dilakukan menggunakan molen (concrete mixer) dengan urutan sebagai berikut:

- a. Agregat kasar dan agregat halus dimasukkan ke dalam mixer dan dicampur hingga merata.

- b. Semen, *fly ash*, dan *silica fume* dimasukkan secara bertahap, kemudian diaduk hingga campuran homogen.
- c. Air pencampur ditambahkan sedikit demi sedikit sambil mixer berputar.
- d. *Superplasticizer* dicampurkan bersama sebagian air terakhir agar terdistribusi secara merata. Proses pengadukan dilanjutkan hingga diperoleh adukan beton yang homogen dan memiliki kelecakan yang baik.

4. Pengujian Slump

Setelah proses pencampuran selesai, dilakukan uji slump menggunakan kerucut Abrams untuk mengetahui tingkat workability beton. Pengujian slump dilakukan sebelum beton dicetak sebagai kontrol mutu adukan segar.

5. Pencetakan Benda Uji

Cetakan silinder beton dibersihkan dan diolesi oli tipis agar beton mudah dilepaskan. Adukan beton dimasukkan ke dalam cetakan dalam tiga lapisan, dan setiap lapisan dipadatkan sebanyak 25 kali tumbukan menggunakan tongkat pemadat. Setelah cetakan terisi penuh, permukaan beton diratakan menggunakan cetok.

6. Pelepasan Cetakan

Benda uji beton dibiarkan dalam cetakan selama ± 24 jam pada suhu ruang. Setelah itu, cetakan dilepas dan setiap benda uji diberi kode identitas sesuai variasi campuran dan umur pengujian.

7. Perawatan (Curing)

Benda uji yang telah dilepas dari cetakan kemudian direndam dalam kolam air bersih hingga mencapai umur pengujian, yaitu 7, 14, 21 dan 28 hari, sesuai dengan rencana penelitian.

8. Persiapan Pengujian Kuat Tekan

Setelah mencapai umur pengujian, benda uji dikeluarkan dari kolam perendaman, dibersihkan dari sisa air di permukaannya, dan selanjutnya siap untuk dilakukan pengujian kuat tekan.

3.6.3 Perawatan Benda Uji Beton

Perawatan beton adalah proses menjaga permukaan beton tetap lembab sejak selesai pemadatan hingga beton cukup kering dan keras. Pada penelitian ini, perawatan benda uji dilakukan dengan merendamnya di kolam air penuh di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro. Agar sampel tidak basah saat pengujian, benda uji diangkat $\pm$ 24 jam sebelum pengujian dilakukan. Jika pengujian dijadwalkan pada usia beton 7, 14, 21, dan 28 hari.

3.6.4 Pengujian Benda Uji Beton

Pengujian benda uji beton dalam penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kuat tekan beton sesuai standar SNI 03-1974-1990. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian dilaksanakan pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari untuk melihat perkembangan kekuatan beton dari setiap variasi campuran.

Sebelum diuji, benda uji dikeluarkan dari bak perendaman kemudian dibersihkan dari sisa air yang menempel di permukaannya. Silinder beton diletakkan secara tegak lurus di antara dua plat mesin uji tekan (Compression Testing Machine/CTM), dengan posisi pusat benda uji sejajar dengan pusat beban agar gaya yang diberikan merata. Beban diberikan secara bertahap dan terus meningkat hingga benda uji mengalami keruntuhan. Nilai kuat tekan beton diperoleh dengan membagi beban maksimum (P) yang mampu ditahan benda uji dengan luas penampang melintang silinder (A).

3.7 Teknik Pengumpulan Data

1. Pengujian Laboratorium

Digunakan untuk memperoleh data karakteristik agregat dan material lain yang digunakan dalam campuran beton.

2. Studi Literatur

Digunakan untuk memperoleh teori, standar, dan hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini.

3.8 Metode Analisis Data

Metode analisis data dalam penelitian ini digunakan untuk mengolah dan mengevaluasi hasil pengujian kuat tekan beton akibat substitusi sebagian semen dengan

fly ash dan *silica fume* serta penambahan *superplasticizer*. Analisis data dilakukan secara kuantitatif dan deskriptif berdasarkan hasil pengujian laboratorium dan dibandingkan dengan beton kontrol.

Tahapan analisis data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Analisis Hasil Pengujian Material

Data hasil pengujian agregat halus dan agregat kasar, meliputi berat jenis, penyerapan air, berat isi, kadar lumpur, gradasi, dan keausan agregat, dianalisis untuk memastikan bahwa seluruh material memenuhi persyaratan standar SNI yang berlaku dan layak digunakan dalam campuran beton.

2. Perhitungan Mix Design

Perhitungan campuran beton dilakukan berdasarkan hasil pengujian karakteristik material dan mengacu pada SNI 7656:2012 tentang tata cara pemilihan campuran beton normal. Variasi campuran beton disusun dalam beberapa komposisi, yaitu beton dengan substitusi sebagian semen menggunakan *fly ash* sebesar 0%, 10% dan 20%, *silica fume* sebesar 10%, serta penambahan *superplasticizer* sebesar 1% dari berat semen.

3. Perhitungan Kuat Tekan Beton

Nilai kuat tekan beton dihitung berdasarkan hasil pengujian menggunakan mesin Compression Testing Machine (CTM) sesuai SNI 1974:2011. Kuat tekan beton dihitung dengan persamaan:

$$F_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(1)$$

di mana:

F_c = kuat tekan beton (MPa)

P = beban maksimum yang diterima benda uji (N)

A = luas penampang benda uji silinder (mm²)

4. Analisis Perbandingan Kuat Tekan

Hasil kuat tekan beton pada setiap variasi campuran dianalisis dan dibandingkan dengan beton control untuk mengetahui pengaruh substitusi sebagian semen menggunakan *fly ash* dan *silica fume* terhadap kuat tekan beton pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari.

5. Penentuan Komposisi Optimum

Komposisi optimum ditentukan berdasarkan nilai kuat tekan tertinggi yang diperoleh dari variasi campuran beton pada umur 28 hari. Selain itu, pertimbangan kecenderungan peningkatan kuat tekan pada umur 7, 21 dan 14 hari juga digunakan sebagai pendukung dalam menentukan efektivitas penggunaan material substitusi.

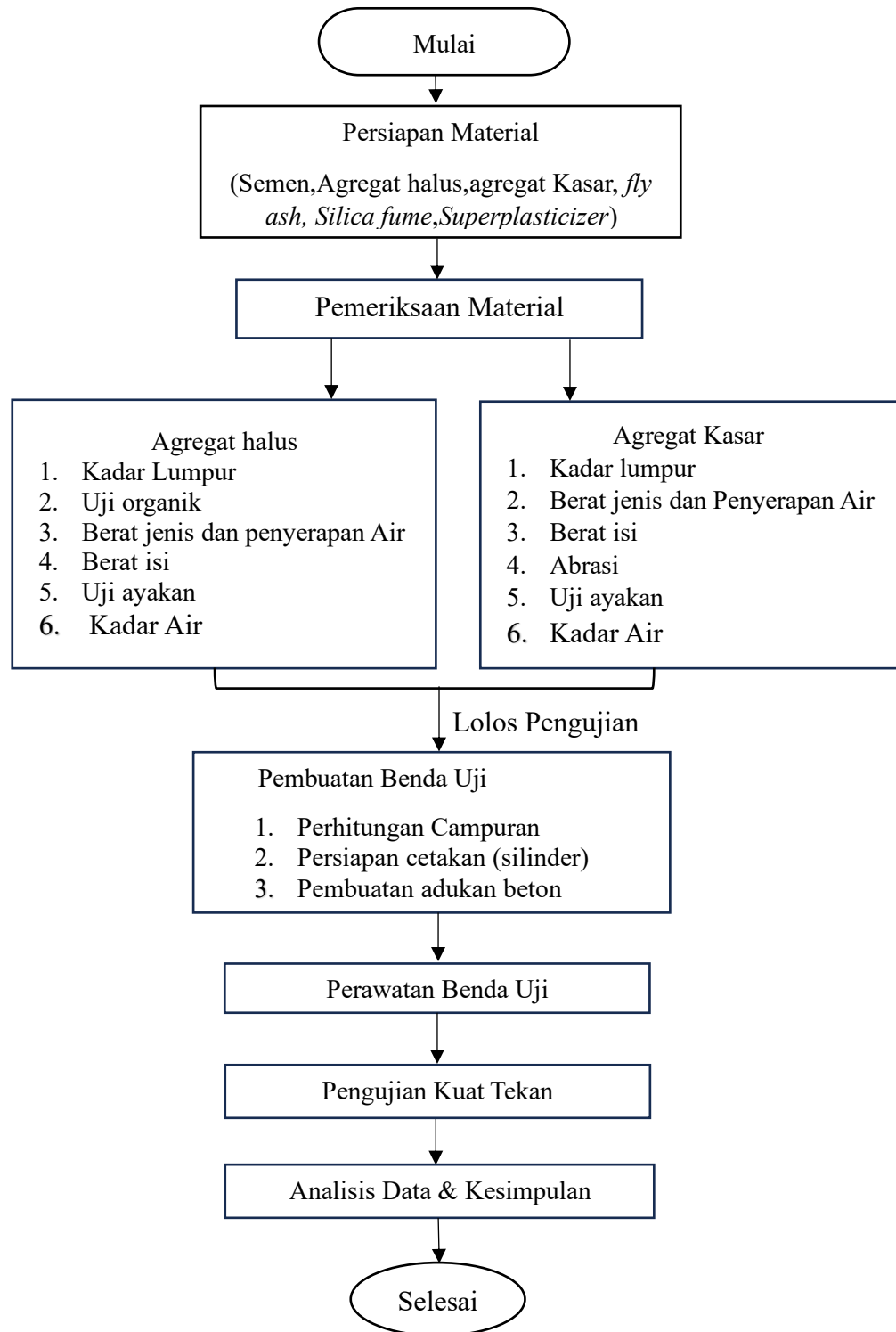
6. Analisis Deskriptif dan Pembahasan

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah interpretasi. Hasil analisis kemudian dibahas dengan mengaitkan teori beton, mekanisme reaksi pozzolan *fly ash* dan *silica fume*, serta hasil penelitian terdahulu yang relevan.

7. Penarikan Kesimpulan

Kesimpulan ditarik berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan untuk menjawab rumusan masalah dan mencapai tujuan penelitian, serta memberikan rekomendasi pemanfaatan *fly ash* dan *silica fume* sebagai substitusi sebagian semen dalam pembuatan beton hybrid.

3.9 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.30 Bagan Alir Penelitian

Sumber: Data Penulis, 2025