

## **BAB III**

### **KONSEP RANCANGAN PENELITIAN**

#### **A. Jenis**

Penelitian ini termasuk ke dalam jenis eksperimen yang terdiri dari beberapa tahap kegiatan yang mengacu kepada Standar Nasional Indonesia (SNI), *American Standard Testing and Material* (ASTM) dan jurnal-jurnal penelitian terdahulu.

#### **B. Subjek dan Objek**

##### **1. Subjek**

Subjek dalam penelitian ini adalah abu terbang yang berasal dari Pabrik Spiritus Madukismo sebagai pengganti sebagian pasir dalam campuran beton.

##### **2. Objek**

Objek dalam penelitian ini adalah rasio kuat tekan-berat dan rasio kuat tekan-harga beton yang dihasilkan dari penggantian sebagian pasir dengan abu terbang.

#### **C. Variabel**

##### **1. Variabel Bebas**

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahan atau timbulnya variabel terikat (Sugiyono, 2009). Variabel bebas dalam eksperimen ini adalah variasi penggunaan abu terbang sebagai pengganti sebagian pasir sebanyak 0%, 20%, 35%, dan 50% berdasarkan proporsi berat setiap bahan terhadap masing-masing kebutuhan semen *portland*.

## 2. Variabel Terikat

Variabel Terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas (Sugiyono, 2009). Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai porositas semu dan nilai sorptivitas beton.

## 3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga pengaruh variabel independen terhadap dependen tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti (Sugiyono,2009). Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah tipe semen, jenis agregat, jenis air, jenis abu terbang, dan *aggregate-cement ratio* di setiap tipe beton

## D. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan JPTSP FT UNY dalam sekitar kurun waktu tiga bulan yang dimulai dari Februari sampai dengan Mei 2019.

## E. Alat dan Bahan

### 1. Alat

#### a. Ember

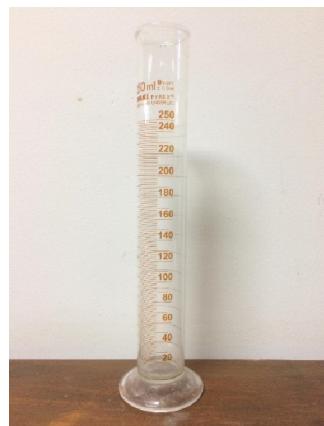
Ember digunakan sebagai wadah bahan campuran beton yang telah dipersiapkan untuk pengujian karakteristik atau pembuatan benda uji.



**Gambar 9.** Ember

b. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan sebagai wadah agregat saat pengujian berat jenis dan untuk menakar volume air saat pembuatan benda uji.



**Gambar 10.** Gelas Ukur

c. Ayakan

Ayakan digunakan sebagai alat pemisah antar-ukuran partikel agregat. Dua jenis ayakan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- 1) Ayakan gradasi yang tersusun berdasarkan ukuran sub-ayakan dari terbesar ke terkecil sesuai dengan SNI 03-2834-2000 yang digunakan dalam pengujian gradasi agregat.



**Gambar 11.** Ayakan Gradasi

- 2) Ayakan pencuci yang digunakan sebagai pemisah agregat kasar dari agregat halus dan lumpur saat pencucian agregat kasar.



**Gambar 12.** Ayakan Pencuci

d. Palu Kayu

Palu kayu digunakan sebagai alat untuk memadatkan campuran beton segar di dalam cetakan silinder.

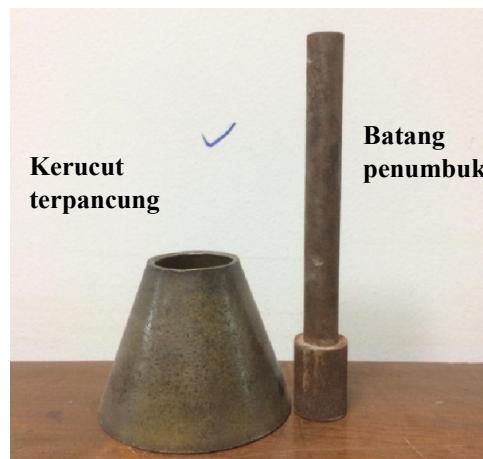


**Gambar 13.** Palu Kayu

e. Perkakas Uji Permukaan Jenuh Kering Muka Agregat Halus

Perkakas uji permukaan jenuh kering muka agregat halus adalah seperangkat alat yang digunakan untuk memastikan keadaan permukaan jenuh kering muka (*saturated surface dry*) agregat halus yang terdiri dari dua alat yakni:

- 1) Kerucut terpancung sebagai cetakan agregat halus yang memiliki diameter dalam atas 40 mm, diameter dalam bawah 90 mm, dan tinggi 75 mm.
- 2) Batang penumbuk dengan berat 340 gram dan diameter kepala 25 mm.



Gambar 14. Perkakas Uji Permukaan Jenuh Kering Agregat Halus

f. Perkakas Uji *Slump*

Perkakas uji *slump* adalah seperangkat alat yang digunakan dalam pengujian *slump*. Perkakas uji *slump* terdiri dari tiga alat yakni:

- 1) Kerucut Abrams sebagai cetakan campuran beton segar yang memiliki diameter dalam atas 10 cm, diameter dalam bawah 20 cm, dan tinggi 30 cm.
- 2) Batang penusuk dengan diameter 16 mm, panjang 60 cm, ujung berbentuk setengah bulat berdiameter 16 mm.
- 3) Alas dengan permukaan datar.



**Gambar 15.** Perkakas Uji *Slump*

g. Cetakan Silinder

Cetakan silinder digunakan sebagai wadah campuran beton segar untuk mengeras. Cetakan silinder terdiri dua tipe yakni:

- 1) Cetakan silinder besi yang memiliki diameter dalam 10 cm dan tinggi 20 cm.
- 2) Cetakan *Polyvinyl Chloride* (PVC) dengan diameter 3 *inch* dan tinggi 20 cm.



**Gambar 16.** Cetakan Silinder Besi



**Gambar 17.** Cetakan Silinder PVC

h. Bak Air

Bak air digunakan sebagai tempat perendaman saat perawatan benda uji.



**Gambar 18.** Bak Air

i. Neraca

Neraca digunakan untuk mengukur berat seluruh bahan campuran beton dan benda uji yang telah dibuat. Tiga jenis neraca yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- 1) Neraca Ohaus akurasi 0.01 gram yang digunakan untuk mengukur berat agregat siap uji dalam volume sangat sedikit seperti dari hasil pengayakan gradasi.



**Gambar 19.** Neraca Ohaus Akurasi 0.01 Gram

- 2) Neraca keseimbangan berat (*heavy duty solution balance*) akurasi 1 gram yang digunakan untuk mengukur berat benda uji dan agregat siap uji dalam volume sedikit.



**Gambar 20.** Neraca Keseimbangan Berat Akurasi 1 Gram

- 3) Neraca skala penentu (*bench scale*) yang digunakan untuk mengukur bahan siap campur untuk pembuatan benda uji dengan kapasitas 100 kilogram.



**Gambar 21.** Neraca Skala Penentu

- 4) Neraca digital yang digunakan untuk mengukur berat benda uji sorptivitas dengan ketelitian 0.1 gram.



**Gambar 22.** Neraca Skala Digital

j. Meteran Gulung

Meteran gulung digunakan untuk mengukur berbedaan tinggi antara kerucut Abrams dengan puncak campuran beton segar (nilai *slump*) setalah kerucut Abrams diangkat dari campuran beton segar.



**Gambar 23.** Meteran Gulung

k. Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur diameter dan tinggi benda uji.

**Gambar 24.** Jangka Sorong

1. Mesin Gradasi

Mesin gradasi digunakan sebagai pengguncang ayakan gradasi saat pengujian gradasi agregat.



**Gambar 25.** Mesin Gradasi

m. Mesin Los Angeles

Mesin Los Angeles digunakan sebagai pengabrasai saat pengujian keausan agregat kasar yang di dalamnya terdapat bilah baja melintang penuh dengan tinggi 9 cm serta 11 bola baja dengan diameter 4.7 cm dan berat 440 gram per bola.



**Gambar 26.** Mesin Los Angeles

n. Oven

Oven digunakan untuk menghilangkan kadar air yang terkandung dalam agregat siap uji.



**Gambar 27.** Oven

**o. Mesin Pengaduk**

Mesin pengaduk digunakan saat proses pencampuran bahan campuran beton yang kapasitas untuk membuat sekitar enam benda uji silinder.



**Gambar 28.** Mesin Pengaduk

**p. Kain Lap**

Kain lap digunakan untuk mengelap permukaan agregat kasar sampai dengan keadaan jenuh kering muka (*saturated surface dry*).



**Gambar 29.** Kain Lap

q. Mesin Potong (*Cut Off*)

Mesin *cut off* digunakan untuk memotong benda uji sorptivitas menjadi ukuran yang ditentukan.



**Gambar 30.** Mesin Potong (*Cut Off*)

r. *Stopwatch*

*Stopwatch* digunakan untuk menghitung waktu pada pengujian sorptivitas.



**Gambar 31.** *Stopwatch*

s. Plastik Pembungkus (*Plastic wrap*)

*Plastic wrap* digunakan untuk membungkus benda uji sorptivitas pada saat *curing*.



**Gambar 32.** Plastik Pembungkus (*Plastic wrap*)  
(Sumber: Polymer Solution, 2016)

t. Baskom Aluminium

Baskom aluminium digunakan sebagai wadah dalam pengujian sorptivitas.



**Gambar 33.** Baskom Aluminium

2. Bahan

a. Pasir

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Sungai Progo.



**Gambar 34.** Pasir

b. Batu Pecah

Batu pecah yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Gunung Merapi.



**Gambar 35.** Batu Pecah

c. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Pabrik Spiritus Madukismo.

**Gambar 36.** Abu Terbang

d. Semen *Portland* Tipe 1

Semen *portland* yang digunakan adalah semen OPC (Ordinary *Portland* Cement) Tipe I, sesuai dengan SNI 15-2049-2004. Semen yang digunakan berasal dari PT. Holcim *Readymix Batching Plant* Yogyakarta.



**Gambar 37.** Semen *Portland* Tipe 1

e. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.



**Gambar 38.** Air

f. Oli

Oli digunakan untuk melumasi cetakan silinder agar benda uji mudah dilepaskan dari cetakan silinder pada umur 1 hari.



**Gambar 39.** Oli

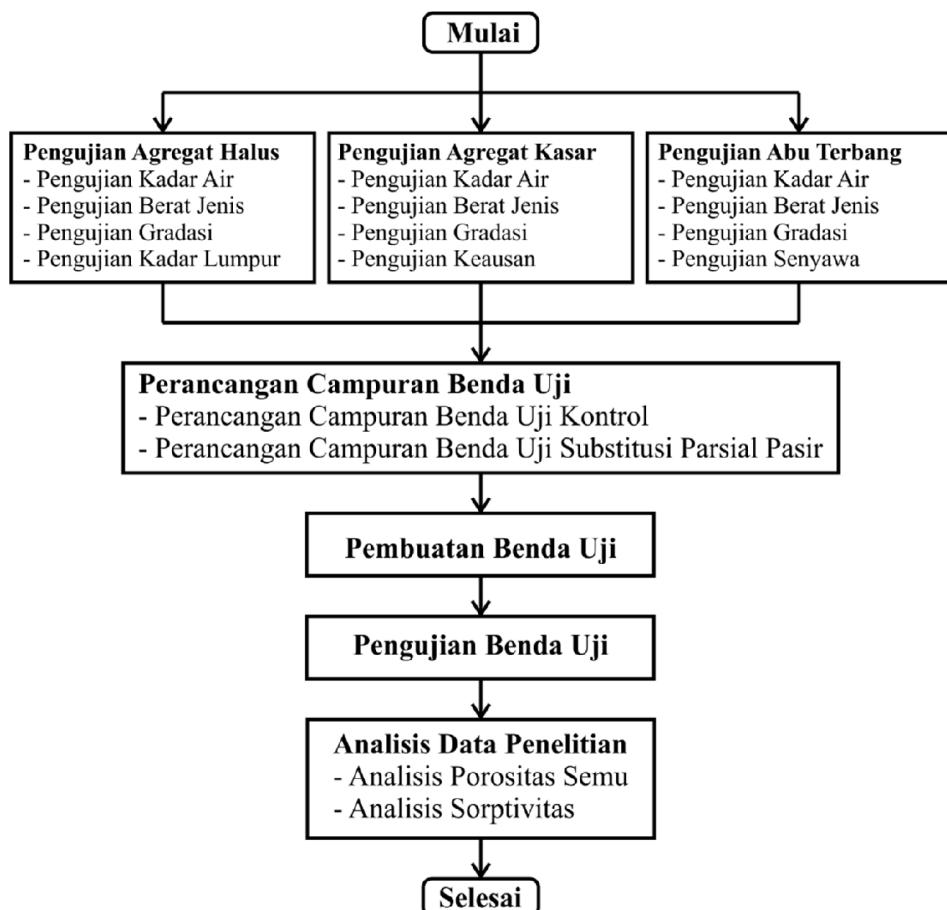
g. Cat Kedap Air

Cat kedap air digunakan untuk menyelubungi permukaan benda uji sorptivitas.



**Gambar 40.** Cat Kedap Air

## F. Diagram Alir Penelitian



**Gambar 41.** Diagram Alir Penelitian

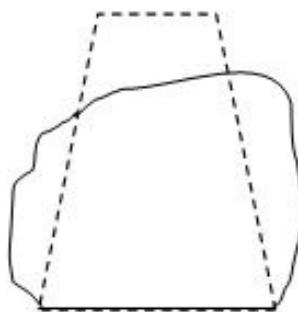
### 1. Pengujian Agregat Halus

#### a. Pengujian Kadar Air

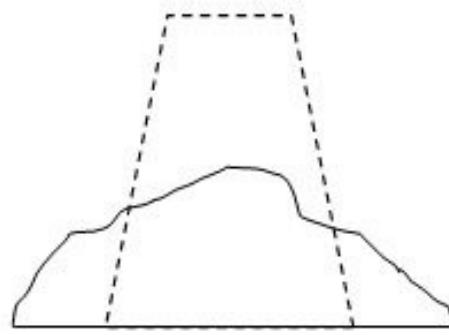
Pengujian kadar air pada agregat halus digunakan untuk mencari persentase berat air yang dapat diserap pori-pori agregat halus terhadap berat agregat halus kering. Agregat halus yang digunakan berada dalam kondisi jenuh kering muka (SSD). Pemeriksaan SSD agregat halus diperlukan untuk mengetahui keadaan

agregat halus termasuk dalam kategori basah, kering, maupun SSD. Pemeriksaan SSD agregat halus memerlukan alat berupa kerucut pemancung dan batang penumbuk. Adapun cara pelaksanaan pemeriksaan SSD dijelaskan sebagai berikut:

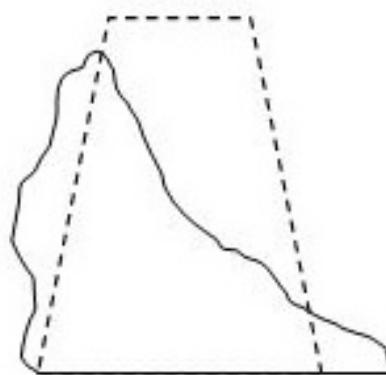
- 1) Letakkan kerucut terpancung di tempat yang rata dan kering
- 2) Isi kerucut terpancung dengan agregat halus yang akan diperiksa dalam 3 lapis, masing-masing sekitar  $1/3$  volume kerucut terpancung.
- 3) Masukkan  $1/3$  lapis pertama agregat halus ke dalam kerucut terpancung kemudian tumbuk dengan batang penumbuk sebanyak 8 kali, penumbukan harus merata selebar permukaan.
- 4) Ulangi petunjuk nomor 3 hingga mencapai lapis ketiga
- 5) Setelah lapisan agregat halus yang ketiga telah selesai proses penumbukannya kemudian ditambahkan kembali agregat halus hingga setinggi ujung kerucut terpancung, lalu ditumbuk 1 kali.
- 6) Tunggu 30 detik, kemudian angkat kerucut terpancung ke atas dengan hati-hati sehingga benar-benar tegak ke atas dan untuk mengetahui jenis agregat halus yang diuji perhatikan Gambar 42 hingga 44.



**Gambar 42.** Agregat Halus Kondisi Basah



**Gambar 43.** Agregat Halus Kondisi Kering



**Gambar 44.** Agregat Halus Kondisi SSD

Keterangan:

- = Kondisi agregat halus sebelum kerucut terpancung diangkat.
- - - - = Kondisi agregat halus setelah kerucut terpancung diangkat.

Adapun prosedur dalam menentukan kadar air agregat halus kondisi SSD adalah sebagai berikut:

- 1) Buat sampel uji agregat halus kondisi SSD sebanyak lima buah dengan berat 300 gram.
- 2) Masukkan kelima sampel tersebut ke dalam oven pada suhu  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  selama 24 jam.

- 3) Setelah 24 jam, keluarkan kelima sampel tersebut untuk ditimbang beratnya.
- 4) Nilai kadar air agregat halus tiap sampel dapat dihitung dengan persamaan 1.

Nilai kadar air agregat halus didapatkan dari rerata nilai kadar air dari kelima sampel tersebut.

$$KA_H = \left( \frac{B_{SSD} - B_k}{B_{SSD}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

dimana:

$KA_H$  : Kadar air agregat halus (%)

$B_{SSD}$  : Berat agregat halus SSD (g)

$B_k$  : Berat agregat halus kering oven (g)

b. Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis pada agregat halus digunakan untuk menentukan perbandingan antara berat agregat halus terhadap volume air yang volumenya sama dengan agregat tersebut. Aggregat halus yang digunakan berada dalam kondisi jenuh kering muka (SSD). Adapun prosedur dalam menentukan berat jenis agregat halus kondisi SSD adalah sebagai berikut:

- 1) Buat sampel uji agregat halus kondisi SSD sebanyak lima buah dengan berat tertentu.
- 2) Masukkan tiap sampel ke dalam gelas ukur yang telah berisi air dengan volume tertentu yang dapat merendam seluruh butiran sampel.
- 3) Catat volume air setelah sampel dimasukkan ke dalam gelas ukur.

- 4) Berat jenis agregat halus tiap sampel dapat dihitung dengan persamaan 2. Berat jenis agregat halus didapatkan dari rerata nilai berat jenis dari kelima sampel tersebut.

$$BJ_H = \frac{B_{SSD}}{(V_B - V_A)} \quad (2)$$

dimana

$BJ_H$  : Berat jenis agregat halus

$B_{SSD}$  : Berat agregat halus SSD (g)

$V_A$  : Volume air sebelum diisi dengan agregat halus (ml)

$V_B$  : Volume air setelah diisi dengan agregat halus (ml)

### c. Pengujian Gradasi

Gradasi agregat adalah pembagian butiran agregat berdasarkan ukuran tertentu yang mempengaruhi kelayakan penggerjaan dan kepadatan beton. Pengujian gradasi pasir bertujuan untuk mengetahui zona gradasi agregat halus bertujuan untuk mengetahui ukuran maksimum agregat yang dibutuhkan dalam perancangan campuran dengan metode SNI 03-2834-2000. Adapun prosedur pengujian kadar air agregat kasar adalah sebagai berikut:

- 1) Agregat halus seberat yang dibutuhkan dicuci dengan air hingga bersih dari kotoran.
- 2) Agregat halus yang telah dicuci kemudian dihilangkan kadar airnya menggunakan oven.
- 3) Agregat halus dalam keadaan kering diambil sebanyak dua sampel dengan berat tertentu.

- 4) Setiap sampel agregat halus dimasukkan ke dalam ayakan gradasi dengan susunan sesuai dengan Tabel 1.
- 5) Ayakan gradasi yang berisi agregat halus diletakkan pada mesin gradasi yang kemudian dioperasikan.
- 6) Setelah mesin gradasi beroperasi selama tiga menit, ayakan gradasi diputar dengan sudut horizontal  $90^\circ$  kemudian mesin gradasi dioperasikan kembali selama dua menit.
- 7) Setelah pengayakan selesai, agregat halus yang terdapat di masing-masing ayakan gradasi dikeluarkan kemudian ditimbang beratnya.
- 8) Persentase agregat halus kumulatif yang lolos ayakan tertentu dapat dihitung dengan persamaan 3. Kemudian zona agregat halus dapat ditentukan menurut Tabel 1.

$$L_{Kx} = 100 - T_{Kx} \quad (3)$$

dengan

$$T_{Kx} = T_{Kx+1} + T_x \quad (4)$$

dimana

$L_{Kx}$  : Persentase agregat halus kumulatif yang lolos dari ayakan ke-x

$T_{Kx}$  : Persentase agregat halus kumulatif yang tertahan di ayakan ke-x

$T_{Kx+1}$  : Persentase agregat halus kumulatif tertahan di ayakan atas ayakan ke-x

$T_x$  : Persentase agregat halus yang lolos dari ayakan ke-x

#### d. Pengujian Kadar Lumpur

Lumpur adalah partikel yang lolos ayakan nomor 200 (0,075 mm). Apabila agregat halus dan kasar mengandung kadar lumpur yang tinggi maka dapat menyebabkan terhambatnya pengerasan semen, mengurangi daya ikatan pasta semen dengan agregat sehingga dapat mengurangi kekuatan dan ketahanan beton dan lebih lanjut lagi beton akan menjadi retak ketika kering akibat dari tingginya bagian yang halus. Pengujian kadar lumpur bertujuan untuk menentukan besarnya persentase berat partikel yang lolos ayakan nomor 200 (0,075 mm). Adapun prosedur pengujian kadar lumpur adalah sebagai berikut:

- 1) Buat sampel uji agregat halus sebanyak lima buah sebanyak volume tertentu.
- 2) Masukkan sampel ke dalam gelas ukur berisi air dengan volume tertentu hingga seluruh butiran agregat halus terendam di dalam air.
- 3) Kocok gelas ukur tersebut selama 30 detik lalu diamkan selama 24 jam.
- 4) Setelah didiamkan selama 24 jam, catat volume lumpur.
- 5) Kadar lumpur agregat halus tiap sampel dapat dihitung dengan persamaan 5. Kadar lumpur agregat halus didapatkan dari rerata nilai kadar lumpur dari kelima sampel tersebut.

$$D = \frac{V_L}{(V_P + V_L)} \quad (5)$$

dimana

$D$  : Kadar lumpur agregat halus

$V_H$  : Volume agregat halus yang terbaca pada gelas ukur (ml)

$V_L$  : Volume lumpur yang terbaca pada gelas ukur (ml)

## 2. Pengujian Agregat Kasar

### a. Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air pada agregat kasar digunakan untuk mencari persentase berat air yang dapat diserap pori-pori agregat kasar terhadap berat agregat kasar kering. Agregat kasar yang digunakan berada dalam kondisi SSD. Untuk membuat agregat kasar dalam kondisi SSD dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- 1) Merendam agregat kasar yang dibutuhkan di dalam air selama 24 jam.
- 2) Setelah dilakukan perendaman, tiriskan agregat kasar lalu agregat kasar dikeringkan permukaannya menggunakan kain lap.

Adapun prosedur dalam menentukan kadar air agregat halus kondisi SSD adalah sebagai berikut:

- 1) Buat sampel uji agregat kasar kondisi SSD sebanyak lima buah dengan berat 500 gram.
- 2) Masukkan kelima sampel tersebut ke dalam oven pada suhu  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  selama 24 jam.
- 3) Setelah 24 jam, keluarkan kelima sampel tersebut untuk ditimbang beratnya.
- 4) Nilai kadar air agregat kasar tiap sampel dapat dihitung dengan persamaan 6.

Nilai kadar air agregat kasar didapatkan dari rerata nilai kadar air dari kelima sampel tersebut.

$$KA_K = \left( \frac{B_{SSD} - B_k}{B_{SSD}} \right) \times 100\% \quad (6)$$

dimana:

$KA_H$  : Kadar air agregat kasar (%)

$B_{SSD}$  : Berat agregat kasar SSD (g)

$B_k$  : Berat agregat kasar kering oven (g)

b. Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis pada agregat kasar digunakan untuk menentukan perbandingan antara berat agregat kasar terhadap volume air yang volumenya sama dengan agregat tersebut. Agregat kasar yang digunakan berada dalam kondisi jenuh kering muka (SSD). Adapun prosedur dalam menentukan berat jenis agregat kasar kondisi SSD adalah sebagai berikut:

- 1) Buat sampel uji agregat kasar kondisi SSD sebanyak lima buah dengan berat tertentu.
- 2) Masukkan tiap sampel ke dalam gelas ukur yang telah berisi air dengan volume tertentu yang dapat merendam seluruh butiran sampel.
- 3) Catat volume air setelah sampel dimasukkan ke dalam gelas ukur.
- 4) Berat jenis agregat kasar tiap sampel dihitung dengan persamaan 7. Berat jenis agregat kasar didapatkan dari rerata nilai berat jenis dari kelima sampel tersebut.

$$BJ_K = \frac{B_{SSD}}{(V_B - V_A)} \quad (7)$$

dimana

$BJ_K$  : Berat jenis agregat kasar

$B_{SSD}$  : Berat agregat kasar SSD (g)

$V_A$  : Volume air sebelum diisi dengan agregat halus (ml)

$V_B$  : Volume air setelah diisi dengan agregat halus (ml)

### c. Pengujian Gradasi

Gradasi agregat adalah pembagian butiran agregat kasar berdasarkan ukuran tertentu yang mempengaruhi kelayakan pengerajan dan kepadatan beton. Pengujian gradasi agregat kasar bertujuan untuk mengetahui ukuran maksimum agregat yang dibutuhkan dalam perancangan campuran dengan metode SNI 03-2834-2000.

Adapun prosedur pengujian kadar air agregat kasar adalah sebagai berikut:

- 1) Agregat kasar seberat yang dibutuhkan dicuci dengan air hingga bersih dari kotoran.
- 2) Agregat kasar yang telah dicuci kemudian dihilangkan kadar airnya menggunakan oven.
- 3) Agregat kasar dalam keadaan kering diambil sebanyak dua sampel dengan berat tertentu.
- 4) Setiap sampel agregat kasar dimasukkan ke dalam ayakan gradasi dengan susunan sesuai dengan Tabel 2.
- 5) Ayakan gradasi yang berisi agregat kasar diletakkan pada mesin gradasi yang kemudian dioperasikan.
- 6) Setelah mesin gradasi beroperasi selama tiga menit, ayakan gradasi diputar dengan sudut horizontal  $90^\circ$  kemudian mesin gradasi dioperasikan kembali selama dua menit.
- 7) Setelah pengayakan selesai, agregat kasar yang terdapat di masing-masing ayakan gradasi dikeluarkan kemudian ditimbang beratnya.

- 8) Persentase agregat kasar kumulatif yang lolos ayakan tertentu dihitung dengan persamaan 8. Kemudian ukuran maksimum agregat kasar ditentukan menurut Tabel 2.

$$L_{Kx} = 100 - T_{Kx} \quad (8)$$

dengan

$$T_{Kx} = T_{Kx+1} + T_x \quad (9)$$

dimana

$L_{Kx}$  : Persentase agregat kasar kumulatif yang lolos dari ayakan ke-x

$T_{Kx}$  : Persentase agregat kasar kumulatif yang tertahan di ayakan ke-x

$T_{Kx+1}$  : Persentase agregat kasar kumulatif tertahan di ayakan atas ayakan ke-x

$T_x$  : Persentase agregat kasar yang lolos dari ayakan ke-x

#### d. Pengujian Keausan

Secara umum agregat kasar harus memiliki daya tahan yang cukup terhadap pemecahan, penurunan mutu, dan penghancuran. Keausan agregat kasar dapat diketahui melalui pengujian keausan agregat kasar dengan menggunakan mesin Los Angeles. Pengujian keausan agregat kasar bertujuan untuk mengetahui tingkat keausan agregat kasar. Adapun prosedur pengujian keausan agregat kasar adalah sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan sampel uji agregat kasar:
  - a) Lolos ayakan 19 mm dan tertahan ayakan 12,5 mm sebanyak  $2500 \pm 10$  gram.

- b) Lolos ayakan 12,5 mm dan tertahan ayakan 9,5 mm sebanyak  $2500 \pm 10$  gram.
- 2) Mencuci sampel hingga bersih dan dikeringkan menggunakan oven selama 24 jam dengan suhu  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , kemudian dinginkan sampel hingga mencapai suhu ruang.
  - 3) Memasukkan sampel dan bola baja sebanyak 11 buah ke dalam mesin Los Angeles.
  - 4) Menyalakan mesin Los Angeles, mesin akan berputar dengan kecepatan 30 sampai dengan 33 putaran per menit sebanyak 500 putaran.
  - 5) Setelah putaran selesai sampel dikeluarkan kemudian dilakukan pengayakan dengan ayakan ukuran 1,7 mm.
  - 6) Agregat kasar yang tertahan pada ayakan ukuran 1,7 mm dicuci bersih kemudian dikeringkan dengan oven selama 24 jam dengan suhu  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  sampai berat tetap kemudian ditimbang beratnya.
  - 7) Keausan agregat kasar dihitung dengan persamaan 10.

$$C = \left( \frac{B_A - B_B}{B_A} \right) \times 100\% \quad (10)$$

dimana

$C$  : Keausan agregat kasar (%)

$B_A$  : Berat agregat kasar sebelum diuji dengan mesin Los Angeles (g)

$B_B$  : Berat agregat kasar setelah diuji dengan mesin Los Angeles (g)

### 3. Pengujian Abu Terbang

#### a. Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air pada abu terbang digunakan untuk mencari persentase berat air yang dapat diserap pori-pori abu terbang terhadap berat abu terbang kering. abu terbang yang digunakan berada dalam kondisi SSD. Adapun prosedur dalam menentukan kadar air abu terbang kondisi SSD adalah sebagai berikut:

- 1) Buat sampel uji abu terbang kondisi SSD sebanyak lima buah dengan berat 150 gram.
- 2) Masukkan kelima sampel tersebut ke dalam oven pada suhu  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam.
- 3) Setelah 24 jam, keluarkan kelima sampel tersebut untuk ditimbang beratnya.
- 4) Nilai kadar air abu terbang tiap sampel dihitung dengan persamaan 11. Nilai kadar air abu terbang didapatkan dari rerata nilai kadar air dari kelima sampel tersebut.

$$KA_{AT} = \left( \frac{B_{SSD} - B_k}{B_{SSD}} \right) \times 100\% \quad (11)$$

dimana:

$KA_{AT}$  : Kadar air abu terbang (%)

$B_{SSD}$  : Berat abu terbang SSD (g)

$B_k$  : Berat agregat abu terbang oven (g)

#### b. Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis pada abu terbang digunakan untuk menentukan perbandingan antara berat abu terbang terhadap volume air yang volumenya sama

dengan abu terbang tersebut. Abu terbang yang digunakan berada dalam kondisi SSD. Adapun prosedur dalam menentukan berat jenis abu terbang kondisi SSD adalah sebagai berikut:

- 1) Buat sampel uji abu terbang kondisi SSD sebanyak lima buah dengan berat tertentu.
- 2) Masukkan tiap sampel ke dalam gelas ukur yang telah berisi air dengan volume tertentu yang dapat merendam seluruh butiran sampel.
- 3) Catat volume air setelah sampel dimasukkan ke dalam gelas ukur.
- 4) Berat jenis abu terbang tiap sampel dihitung dengan persamaan 12. Berat jenis abu terbang didapatkan dari rerata nilai berat jenis dari kelima sampel tersebut.

$$BJ_{AT} = \frac{B_{SSD}}{(V_B - V_A)} \quad (12)$$

dimana

$BJ_{AT}$  : Berat jenis abu terbang

$B_{SSD}$  : Berat abu terbang SSD (g)

$V_A$  : Volume air sebelum diisi dengan abu terbang (ml)

$V_B$  : Volume air setelah diisi dengan abu terbang (ml)

### c. Pengujian Gradasi

Gradasi agregat adalah pembagian butiran agregat berdasarkan ukuran tertentu yang mempengaruhi kelayakan penggerjaan dan kepadatan beton. Pengujian gradasi abu terbang bertujuan untuk mengetahui persentase jumlah *binder* abu terbang. Adapun cara pengujian kadar air abu terbang adalah sebagai berikut:

- 1) Abu terbang dihilangkan kadar airnya menggunakan oven.

- 2) Abu terbang dalam keadaan kering diambil sebanyak dua sampel dengan berat tertentu.
- 3) Setiap sampel abu terbang dimasukan ke dalam ayakan gradasi dengan susunan sesuai dengan Tabel 1.
- 4) Ayakan gradasi yang berisi abu terbang diletakkan pada mesin gradasi yang kemudian dioperasikan.
- 5) Setelah mesin gradasi beroperasi selama tiga menit, ayakan gradasi diputar dengan sudut horizontal  $90^\circ$  kemudian mesin gradasi dioperasikan kembali selama dua menit.
- 6) Setalah pengayakan selesai, abu terbang yang terdapat di masing-masing ayakan gradasi dikeluarkan kemudian ditimbang beratnya.
- 7) Persentase agregat kumulatif yang lolos ayakan tertentu dihitung dengan persamaan 13. Persentase *binder* abu terbang secara berurutan dapat ditentukan berdasarkan persentase abu terbang yang lolos ayakan 0.15 mm.

$$L_{Kx} = 100 - T_{Kx} \quad (13)$$

dengan

$$T_{Kx} = T_{Kx+1} + T_x \quad (14)$$

di mana

$L_{Kx}$  : Persentase abu terbang kumulatif yang lolos dari ayakan ke-x

$T_{Kx}$  : Persentase abu terbang kumulatif yang tertahan di ayakan ke-x

$T_{Kx+1}$  : Persentase abu terbang kumulatif yang tertahan di ayakan atas ayakan ke-x

$T_x$  : Persentase abu terbang yang lolos dari ayakan ke-x

d. Pengujian Gradasi

Pengujian senyawa abu terbang dilakukan untuk mengetahui kelas abu terbang serta persentase kandungan SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Pengujian senyawa abu terbang dilakukan di Laboratorium Kimia Analisis Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNY.

4. Perancangan Campuran Beton

a. Perancangan Campuran Benda Uji Kontrol

Rancang campur benda uji kontrol yang dinotasikan sebagai SPP1 dilakukan dengan mengacu pada SNI 03-2834-2000. Beton akan dirancang dengan kuat tekan (*f<sub>c</sub>*) 31 MPa pada umur 28 hari, rasio air-semen 0.50, dan *slump* 120 mm. Adapun campuran SPP1 dirancang dengan cara sebagai berikut:

- 1) Kebutuhan air dihitung menggunakan persamaan 15 dengan perkiraan kebutuhan air berdasarkan ukuran maksimum dan jenis agregat halus maupun kasar diperlihatkan pada Tabel 5, kemudian kebutuhan semen *portland* dihitung menggunakan persamaan 16.

$$W = 0.67 \times W_H + 0.33 \times W_K \quad (15)$$

dimana

$W$  : Kebutuhan air benda uji kontrol (l/m<sup>3</sup>)

$W_H$  : Perkiraan kebutuhan air benda uji kontrol berdasarkan jenis agregat halus (l/m<sup>3</sup>)

$W_K$  : Perkiraan kebutuhan air benda uji kontrol berdasarkan jenis agregat kasar (l/m<sup>3</sup>)

**Tabel 6.** Perkiraan Kebutuhan Air Campuran Beton

<b>Ukuran Agregat Maksimum (mm)</b>	<b>Jenis Batuan Agregat</b>	<b>Kebutuhan Air (l/m<sup>3</sup>)</b>
10	Alami	225
	Batu pecah	250
20	Alami	195
	Batu pecah	225
40	Alami	175
	Batu pecah	205

(SNI 03-2834-2000)

$$PC = \frac{W}{wc} \quad (16)$$

dimana

$PC$  : Kebutuhan semen *portland* benda uji kontrol (kg/m<sup>3</sup>)

$wc$  : Rasio air-semen benda uji kontrol

- 2) Berat jenis agregat campuran dihitung menggunakan persamaan 17 dengan perbandingan agregat campuran ditentukan berdasarkan zona pasir dan ukuran agregat maksimum menggunakan grafik yang diperlihatkan pada Gambar 45.

$$BJ_C = R_{HC} \times BJ_H + R_{KC} \times BJ_K \quad (17)$$

dimana

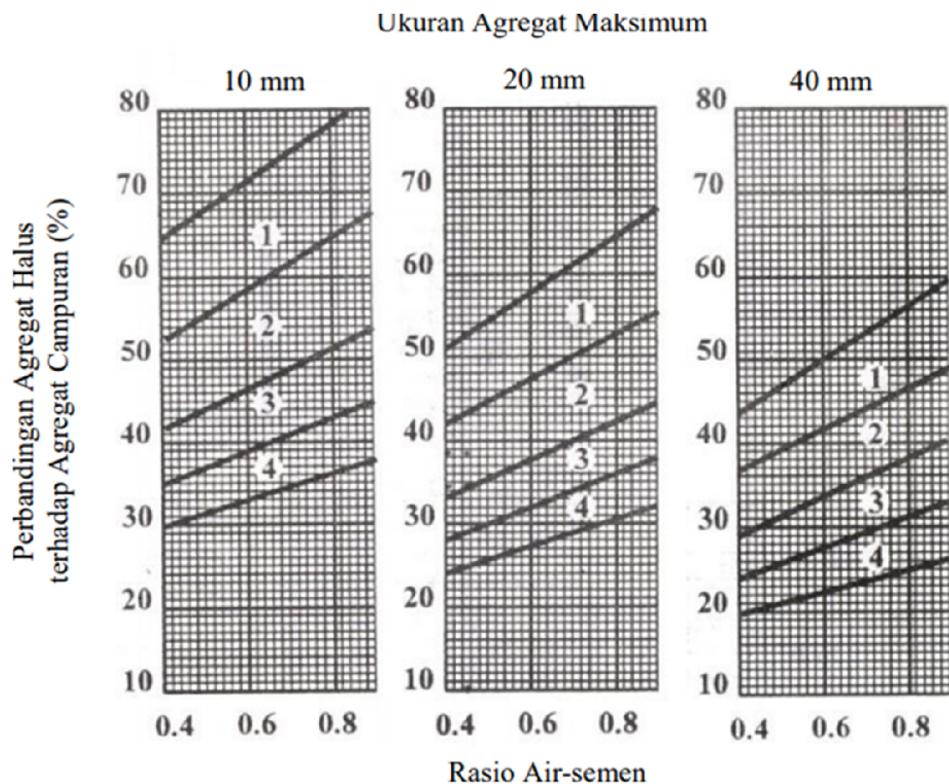
$BJ_C$  : Berat jenis agregat campuran benda uji kontrol

$R_H$  : Rasio agregat halus-agregat campuran benda uji kontrol

$BJ_H$  : Berat jenis pasir

$R_K$  : Rasio agregat kasar-agregat campuran benda uji kontrol

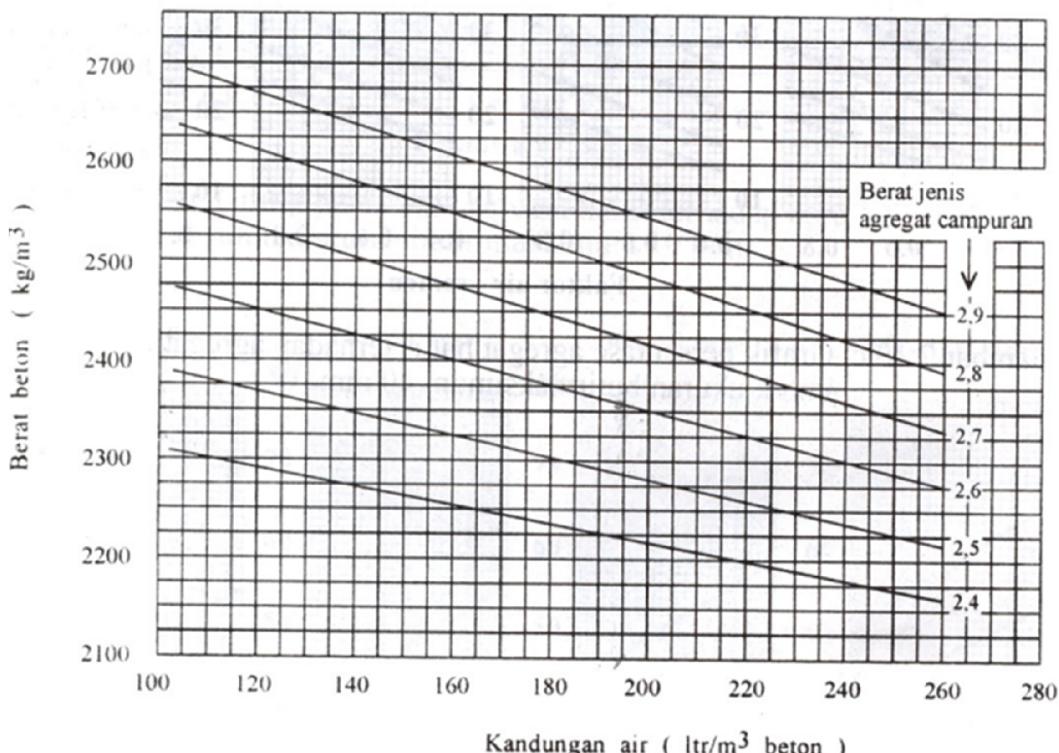
$BJ_K$  : Berat jenis agregat kasar



**Gambar 45.** Grafik Perbandingan Agregat Campuran berdasarkan Zona Agregat Halus

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

- 3) Berat campuran beton segar ditentukan berdasarkan berat jenis agregat campuran dan kebutuhan air menggunakan grafik yang diperlihatkan pada Gambar 46, kemudian kebutuhan pasir dan batu pecah secara berurutan dihitung menggunakan persamaan 18 dan 19.



**Gambar 46.** Grafik Berat Campuran Beton Segar  
 (Sumber: SNI 03-2834-2000)

$$H = R_H \times C \quad (18)$$

$$K = C - H \quad (19)$$

dengan

$$C = B_C - W - PC \quad (20)$$

dimana

$H$  : Kebutuhan agregat halus benda uji kontrol (kg/m³)

$K$  : Kebutuhan agregat kasar benda uji kontrol (kg/m³)

$C$  : Kebutuhan agregat campuran benda uji kontrol (kg/m³)

$B_C$  : Berat campuran beton segar benda uji kontrol (kg/m³)

## b. Perancangan Campuran Benda Uji Kontrol

Perancangan campuran benda uji dengan penggunaan abu terbang sebagai pengganti sebagian pasir sebanyak 20%, 35%, dan 50% yang secara berurutan dinotasikan sebagai SPP2, SPP3, dan SPP4 dilakukan berdasarkan metode berbasis pada *cementing efficiency* abu terbang seperti yang dilakukan oleh Rajamane dan Ambily (2013). Yeh (2013) mendefinisikan *cementing efficiency* abu terbang sebagai nilai sebagian kebutuhan semen yang dapat digantikan dengan sebagian pozolan tanpa mempengaruhi sifat beton. Nilai *cementing efficiency* dapat berkisar dari 0.1 sampai 1.1 yang tergantung pada tipe semen, umur beton, tipe dan rasio abu terbang-*binder* (Rajamane dan Ambily, 2013). Adapun campuran SPP2, SPP3, dan SPP4 dirancang dengan cara sebagai berikut:

- 1) Nilai *cementing efficiency* dihitung dengan persamaan 21 atau menggunakan grafik pada Gambar 47 yang didapatkan dari pendekatan unifikasi oleh Yeh (2013), kemudian rasio air-*binder* dihitung dengan persamaan 22.

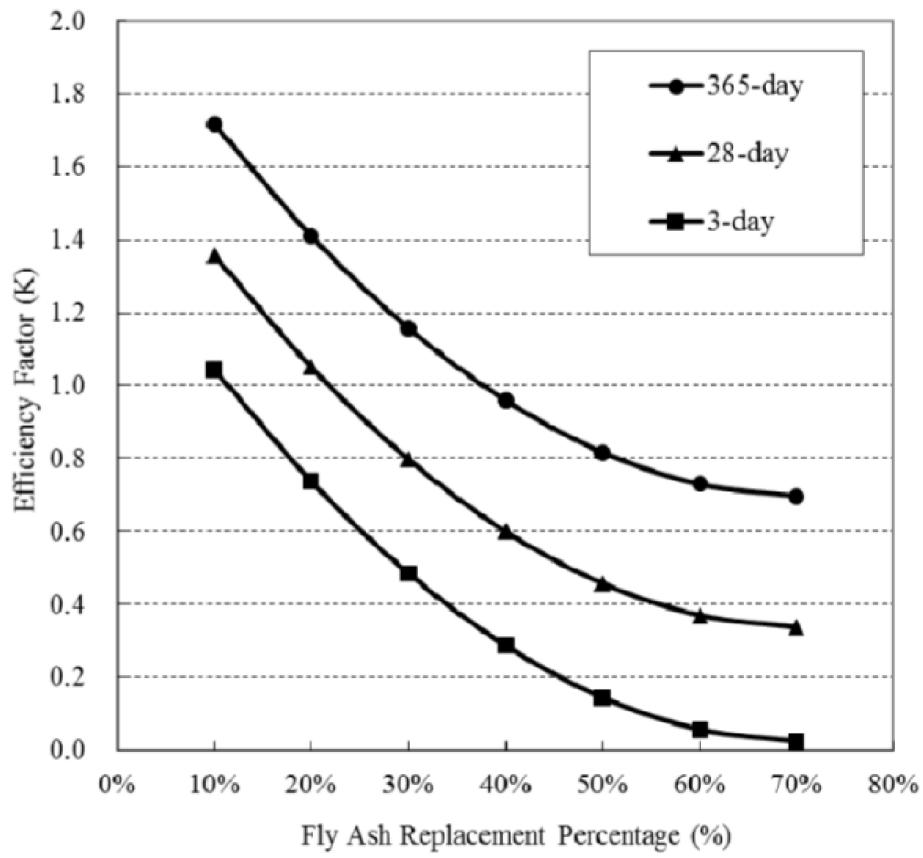
$$k_{AT} = 1.25 + 0.14 \times \ln T - 3.9 \times R + 2.75 \times R^2 \quad (21)$$

dimana

$k_{AT}$  : Nilai *cementing efficiency* abu terbang benda uji kontrol

$T$  : Umur benda uji (hari)

$R$  : Persentase penggantian abu terbang = 0,1 - 1



**Gambar 47.** Grafik Nilai *Cementing Efficiency* Abu Terbang  
(Sumber: Yeh, 2013)

$$wb = wc \times [(1 - fab) + k_{AT} \times fab] \quad (22)$$

dengan

$$fab = \frac{AT_{FSP}}{(PC_P + AT_{FSP})} \quad (23)$$

dimana

$wb$  : Rasio air-binder benda uji dengan abu terbang

$fab$  : Rasio abu terbang-binder benda uji dengan abu terbang

$AT_{FSP}$  : Proporsi abu terbang benda uji dengan abu terbang

$PC_P$  : Proporsi semen *portland* benda uji kontrol = 1

- 2) Pengurangan kebutuhan semen *portland* dapat dihitung berdasarkan Tabel 5 menggunakan persamaan 24.

$$PC_{FSred} = 0.2 \times R + 2 \quad (24)$$

dimana

$PC_{FSred}$  : Pengurangan kebutuhan semen *portland* benda uji dengan abu terbang

$$R = 1-100$$

- 3) Proporsi kebutuhan tiap material dihitung menggunakan persamaan 25, kemudian kebutuhan semen *portland*, abu terbang, agregat halus, agregat kasar, dan air secara berurutan dihitung dengan menggunakan persamaan 26, 27, 28, 29, dan 30.

$$PC_P: (H_P - AT_{FSP}): K_P: wc = [PC_{FSP}: AT_{FSP}]: H_{FSP}: K_{FSP}: wb \quad (25)$$

$$PC_{FS} = PC - (PC_{FSred} \times PC) \quad (26)$$

$$AT_{FS} = AT_{FSP} \times PC_{AT} \quad (27)$$

$$H_{FS} = H_{FSP} \times PC_{AT} \quad (28)$$

$$K_{FS} = K_{FSP} \times PC_{AT} \quad (29)$$

$$W_{FS} = wb \times (PC_{FS} + AT_{FS}) \quad (30)$$

dimana

$H_P$  : Proporsi agregat halus benda uji kontrol

$K_P$  : Proporsi agregat kasar benda uji kontrol

$PC_{FSP}$  : Proporsi semen *portland* benda uji dengan abu terbang = 1

$H_{FSP}$  : Proporsi agregat halus benda uji dengan abu terbang

- $K_{FS}$  : Proporsi agregat kasar benda uji dengan abu terbang  
 $PC_{FS}$  : Kebutuhan semen *portland* benda uji dengan abu terbang  
 $AT_{FS}$  : Kebutuhan abu terbang benda uji dengan abu terbang  
 $H_{FS}$  : Kebutuhan agregat halus benda uji dengan abu terbang  
 $K_{FS}$  : Kebutuhan agregat kasar benda uji dengan abu terbang  
 $W_{FS}$  : Kebutuhan air benda uji dengan abu terbang

## 5. Pembuatan Benda Uji

Pengadukan campuran beton dalam penelitian ini dilakukan dengan mesin pengaduk. Pengujian *slump* dilakukan untuk mengetahui tingkat *workability* (kelecanan) dari setiap variasi campuran beton segar. Benda uji porositas semu dan sorptivitas SPP1, SPP2, dan SPP3 dibuat sebanyak 6 dari masing-masing variasi dengan menggunakan cetakan silinder besi. Untuk benda uji porositas semu dan sorptivitas SPP 4 dibuat sebanyak 6 silinder dengan cetakan silinder PVC dikarenakan terbatasnya cetakan silinder besi. Rincian benda uji ditampilkan pada Tabel 7.

**Tabel 7. Keterangan Benda Uji**

<b>Pengujian</b>	<b>Kode</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Bentuk Benda Uji</b>	
			<b>Silinder Ø 10 cm tinggi 20 cm</b>	<b>Silinder Ø 3 inch tinggi 20 cm</b>
Porositas	SPP1	3	✓	
	SPP2	3	✓	
	SPP3	3	✓	
	SPP4	3		✓
Sorptivitas	SPP1	3	✓	
	SPP2	3	✓	
	SPP3	3	✓	
	SPP4	3		✓

Adapun pembuatan benda uji dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- a. Agregat dipersiapkan dengan cara:
  - 1) Untuk pasir dikondisikan SSD dengan cara penjemuran di bawah matahari yang sebelumnya telah didiamkan di dalam karung dengan kondisi jenuh air selama 24 atau 48 jam.
  - 2) Untuk batu pecah dikondisikan SSD dengan cara pendiaman di dalam karung selama 48 atau 72 jam yang sebelumnya telah dibersihkan dari seluruh kotoran menggunakan ayakan pencuci dan air.
  - 3) Untuk abu terbang dikondisikan kering alami dengan cara penjemuran di bawah sinar matahari.
- b. Volume kebutuhan seluruh bahan campuran yang telah dipersiapkan diukur menggunakan gelas ukur untuk air dan timbangan skala duduk untuk semen *Portland*, abu terbang, pasir, dan batu pecah, kemudian seluruh bahan dimasukkan ke dalam ember yang ditelakkan di tempat teduh.
- c. Seluruh kotoran yang berada di dalam mesin pengaduk dibersihkan menggunakan air, kemudian mesin pengaduk dibiarkan sampai dalam kondisi SSD.
- d. Seluruh bahan dimasukkan ke dalam mesin pengaduk dengan urutan:
  - 1) Agreagat, kemudian mesin dioperasikan sampai pasir, batu pecah, dan abu terbang tercampur dengan merata.
  - 2) Semen *Portland*, kemudian mesin dioperasikan sampai agregat dan semen *Portland* tercampur dengan merata.

- 3) Air, kemudian mesin dioperasikan sampai seluruh bahan tercampur dengan merata atau selama  $1\frac{1}{2}$  menit.
- e. Operasi mesin dihentikan kemudian pengujian *slump* dilakukan dengan cara sebagai berikut:
  - 1) Seperangkat alat uji *slump* direndam di dalam air sampai menjadi kondisi jenuh air, kemudian diletakkan di tempat yang datar dengan posisi diameter terbesar kerucut Abrams berada di atas alas pelat.
  - 2) Campuran beton segar dimasukkan ke dalam kerucut Abrams secara berlapais dengan ketebalan  $\frac{1}{3}$  tinggi kerucut Abrams per lapis, dan campuran beton segar di setiap lapisan ditusuk menggunakan batang penusuk sebanyak 25 kali, kemudian ruang kosong di dalam atas kerucut Abrams diisi padatan campuran beton segar secukupnya.
  - 3) Setelah campuran beton segar di dalam kerucut Abrams didiamkan dan ditahan selama 30 detik, kerucut Abrams diangkat secara perlahan dengan kecepatan 3-7 detik, kemudian jarak antara bagian atas kerucut Abrams dengan puncak campuran beton segar yang merupakan nilai *slump* diukur menggunakan meteran gulung.
- f. Campuran beton segar dimasukkan ke dalam cetakan silinder yang sebelumnya telah dilumasi menggunakan oli. Cara pengisian yang dilakukan adalah sama dengan pengisian campuran beton segar ke dalam kerucut Abrams, tetapi setelah penusukan per-lapisan campuran beton dilakukan, cetakan silinder dipukul menggunakan palu hingga campuran beton memadat.

- g. Setelah cetakan silinder yang berisi campuran beton segar disimpan di dalam ruangan dengan atap selama 24 jam.
- h. Beton keras sebagai benda uji dikelurkan dari cetakan silinder dan diberikan kode identitas kemudian dimasukkan ke dalam bak perendaman untuk proses perawatan beton salam 28 hari.

## 6. Pengujian Benda Uji

### a. Porositas Semu

Adapun prosedur pengujian porositas semu adalah sebagai berikut:

1. Lepaskan sejumlah tiga spesimen dari cetakan silinder ketika umur benda uji 1 hari, kemudian rendam spesimen di dalam bak air hingga umur benda uji 28 hari.
2. Keluarkan spesimen dari dalam bak air pada umur benda uji 28 hari.
3. Timbang spesimen dalam keadaan SSD ( $B_{SSD}$ ).
4. Masukkan spesimen tersebut ke dalam oven pada suhu  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  selama 24 jam.
5. Setelah 24 jam, keluarkan spesimen tersebut untuk ditimbang beratnya ( $B_k$ ).
6. Nilai porositas semu tiap benda uji dapat dihitung dengan persamaan 31. Nilai porositas semu didapatkan dari rerata nilai porositas semu dari ketiga spesimen tersebut.

$$P = \frac{(B_{SSD} - B_k)}{B_k} \times 100\% \quad (31)$$

dimana

$P$  : Nilai porositas semu (%)

$B_{SSD}$  : Berat benda uji kondisi SSD (g)

$B_k$  : Berat benda uji kondisi kering oven (g)

b. Sorptivitas

Adapun prosedur pengujian sorptivitas mengacu pada ASTM C 1585 adalah sebagai berikut:

- 1) Lepaskan sejumlah tiga silinder beton dari cetakan silinder ketika umur benda uji 1 hari, kemudian rendam silinder beton di dalam bak air hingga umur benda uji 27 hari.
- 2) Keluarkan silinder beton dari dalam bak air pada umur benda uji 27 hari.
- 3) Potong silinder beton dengan ukuran sebagai berikut:
  - a) Untuk variasi SPP1, SPP2, dan SPP3 dipotong sepanjang  $50 \pm 3$  mm. Tiap silinder beton didapatkan dua spesimen.
  - b) Untuk variasi SPP4 dipotong sepanjang  $40 \pm 2.5$  mm. Tiap silinder beton didapatkan dua spesimen.
- 4) Letakkan spesimen selama 24 jam pada suhu ruang agar benda uji tidak jenuh air.
- 5) Masukkan spesimen tersebut ke dalam oven pada suhu  $50 \pm 2^\circ\text{C}$  selama 72 jam. Setelah 72 jam, keluarkan spesimen lalu bungkus spesimen menggunakan *plastic wrap* untuk mencegah udara bebas mengalir disekitar spesimen.
- 6) Simpan spesimen pada suhu  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  (asumsi suhu ruang  $25^\circ\text{C}$ ) selama 15 hari. Setelah disimpan selama 15 hari, buka *plastic wrap* lalu lapisi seluruh

permukaan spesimen dengan cat kedap air (kecuali sisi yang akan diuji).

Diamkan selama 24 jam pada suhu ruang agar cat mengering sempurna.

- 7) Catat berat awal, tinggi spesimen, dan diameter sisi yang diuji. Untuk tinggi spesimen dan diameter sisi yang diuji diukur masing-masing dua kali.
- 8) Susun spesimen dan alat uji sesuai dengan Gambar 48.
- 9) Hitung waktu dengan *stopwatch* dan timbang berat spesimen pada dengan interval waktu 1, 5, 10, 20, 30, 60 menit.
- 10) Nilai sorptivitas tiap interval waktu penimbangan dapat dihitung dengan persamaan 32.
- 11) Nilai sorptivitas spesimen dapat diketahui dengan *trendline* dari jumlah penyerapan dibandingkan dengan akar waktu penyerapan.

$$I = S \times t^{1/2} \quad (32)$$

dengan:

$$I = \frac{m_t}{A}$$

dimana:

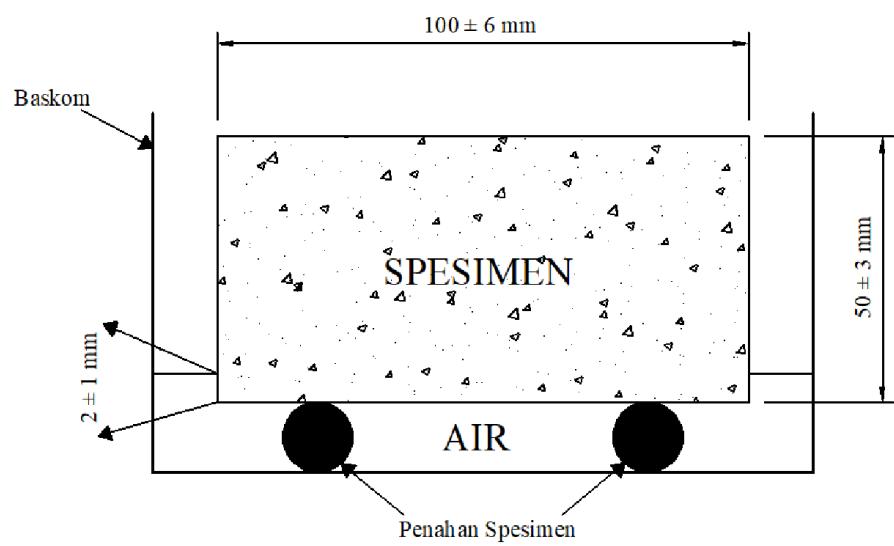
$I$  : Penyerapan spesimen ( $\text{g}/\text{cm}^2$ )

$S$  : Koefisien sorptivitas ( $\text{cm}/\text{detik}^{1/2}$ )

$t$  : waktu interval (d)

$m_t$  : perubahan berat spesimen pada waktu interval  $t$  (g)

$A$  : Luas penampang penyerapan ( $\text{cm}^2$ )



**Gambar 48.** Skema Pengujian Sorptivitas