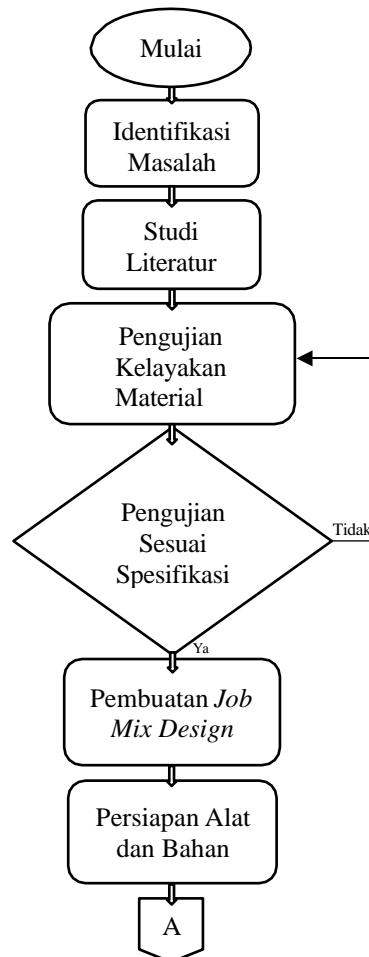


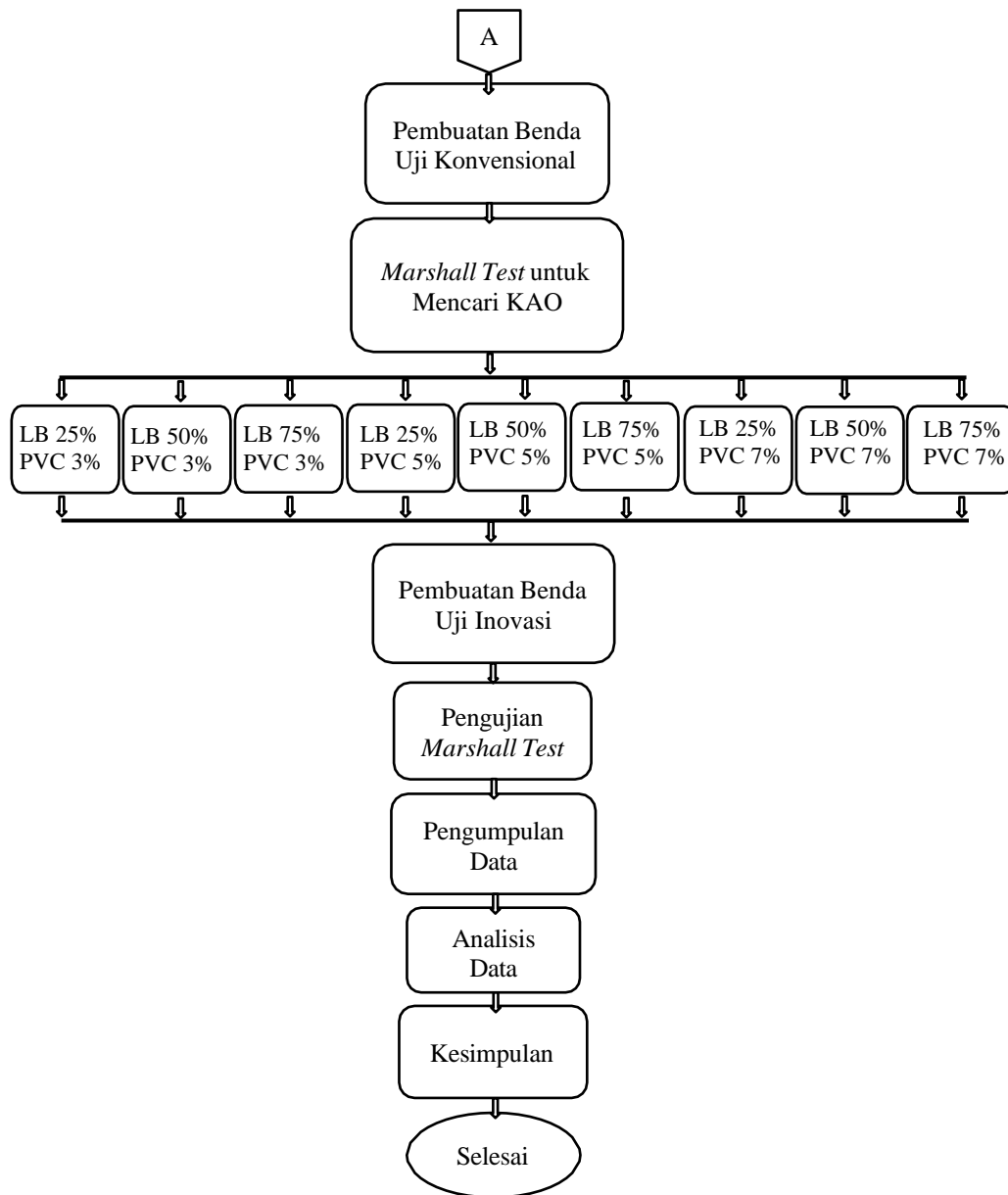
## BAB III

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan ialah eksperimental kuantitatif yang akan dilaksanakan di Laboratorium Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro yang terletak di Kecamatan Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari penambahan limbah beton dan serbuk limbah pipa PVC sebagai bahan campuran dalam pembuatan lapis aspal beton lapis aus (AC-WC).

#### 3.1 Diagram Alur Penelitian





**Gambar 3.1** Diagram Alur Penelitian  
 Sumber: Hasil Analisis Penelitian (2023)

## 3.2 Pengujian Kelayakan Material

### 3.2.1 Aspal

Material aspal yang digunakan berasal dari Laboratorium Transportasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro. Pengujian yang dilakukan ialah pengujian penetrasi, daktilitas, titik lembek dan berat jenis.

#### 1. Pengujian penetrasi

Pengujian penetrasi ialah suatu metode untuk mengukur angka penetrasi dari aspal keras yang dipergunakan sesuai dengan standar SNI 2456:2011. Prosedur ini dilakukan dengan menusukan jarum berukuran 1 mm dan berat 50 gram ke dalam bitumen setiap interval 5 detik pada suhu ruangan, yaitu 25°C.



**Gambar 3.2** Alat Pengujian Penetrasi Aspal

Sumber: Peneliti (2023)

#### a. Peralatan & bahan

Peralatan :

- 1) Alat penetrasi untuk menggerakkan jarum naik dan turun tanpa gesekan dan mengukur nilai penetrasi dengan ketelitian 0,1 mm.
- 2) Pemegang jarum dengan berat  $(47,5 \pm 0,05)$  gram yang mudah dilepaskan dari alat penetrasi.
- 3) Pemberat dengan berat  $(50 \pm 0,05)$  gram untuk pengukuran penetrasi beban 50 gram.
- 4) Jarum penetrasi *stainless steel* HRC 54-60 atau mutu 44°C. Ujung jarum kerucut terpancung.
- 5) Cawan logam atau gelas berbentuk silinder.

- 6) Tempat air benda uji diletakkan di bawah alat penetrasi, dengan kapasitas lebih dari 350 ml serta tinggi yang mampu merendam benda uji.
- 7) Pengukur waktu dengan skala pembagian terkecil 0,1 detik.

Bahan :

- 1) Aspal keras
- 2) Air

b. Prosedur pengujian

- 1) Memanaskan bahan sampel aspal tidak lebih dari 60°C di atas titik lembek dan tidak melebihi dari 30 menit. Bahan sampel aspal diaduk secara perlahan agar udara tidak masuk.
- 2) Setelah bahan sampel aspal cair merata, tuangkan ke dalam tempat sampel dan biarkan hingga dingin selama 1-1,5 jam dengan tinggi sampel lebih dari nilai penetrasi ditambah 100 mm.
- 3) Meletakkan sampel kedalam air yang suhunya telah ditentukan dan didiamkan selama 1-1,5 jam.
- 4) Mempersiapkan pemegang jarum dan membersihkan jarum penetrasi sebelum dipasang pada pemegang jarum.
- 5) Meletakkan pemberat sebesar 50 gram diatas jarum sehingga diperoleh beban dengan berat  $(100 \pm 0,1)$  gram.
- 6) Memindahkan wadah air ke bawah alat penguji penetrasi.
- 7) Memutar arloji alat penetrometer dan membaca angka hasil penetrasi yang berhimpit dengan jarum penunjuk, mencatat pembulatan terdekat hingga angka 0,1 mm.
- 8) Menurunkan jarum perlahan hingga menyentuh permukaan sampel, mengatur angka 0 pada arloji alat penetrometer hingga jarum penunjuk berhimpit.
- 9) Melepas pemegang jarum bersamaan pada *stopwatch* selama  $(5 \pm 0,1)$  detik.
- 10) Mengulangi pekerjaan sebelumnya lebih dari 5 kali setiap benda uji pada titik yang berbeda dengan jarak lebih dari 1 cm terhadap

tepi dinding.

## 2. Pengujian daktilitas

Pengujian daktilitas adalah pengujian kekenyalan dari aspal keras dalam pengikatan terhadap agregat pada campuran aspal berdasarkan SNI 2432:2011. Pengujian daktilitas dilakukan dengan cara menarik aspal keras pada dua cetakan pada suhu ruangan ( $25^{\circ}\text{C}$ ) dengan kecepatan penarikan 5cm/menit.



**Gambar 3.3** Alat Pengujian Daktilitas Aspal

Sumber : Peneliti (2023)

### a. Peralatan dan bahan

Peralatan :

- 1) Cetakan pengujian daktilitas berbahan kuningan.
- 2) Wadah perendam dengan kapasitas 10 liter yang mampu menjaga suhu dan ketelitian  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Wadah mampu merendam sampel 10 cm di bawah permukaan air dan dilengkapi pelat dasar berlubang dengan jarak 5 cm untuk meletakkan sampel.

Bahan :

- 1) Aspal keras
- 2) Dexarin
- 3) *Glycerine*
- 4) Air Peralatan

### b. Prosedur pengujian

- 1) Melapisi semua bagian pada cetakan pengujian daktilitas dengan *glycerine* dan dexarin.

- 2) Memanaskan bahas sampel aspal  $\pm 100$  gram dengan suhu  $80^{\circ}\text{C}$  -  $100^{\circ}\text{C}$  diatas titik lembek, menuangkan sampel kedalam cetakan dari ujung satu ke ujung lainnya hingga penuh.
- 3) Mendinginkan cetakan pengujian dengan suhu ruangan selama 30-40 menit, memindahkan kedalam wadah perendam yang suhunya sudah ditetapkan selama 30 menit.
- 4) Mendinginkan sampel dengan suhu  $25^{\circ}\text{C}$  pada wadah perendam selama 85 – 95 menit, lalu sampel dilepaskan dari pelat dasar serta sisi-sisi cetakan.
- 5) Memasang sampel pada mesin pengujian kemudian menariknya secara teratur dalam kecepatan 5 cm/menit hingga sampel mencapai jarak maksimal dan putus.
- 6) Membaca jarak antara pemegang cetakan pengujian ketika sampel putus (cm). Selama proses pengujian sampel terendam 2,5 cm dari permukaan air dengan suhu  $(25 \pm 9,5)^{\circ}\text{C}$ .

### 3. Pengujian titik lembek

Pengujian titik lembek ialah metode untuk menentukan titik lembek dari aspal sesuai spesifikasi SNI 2434:2011. Pengujian titik lembek dilakukan dengan mengukur temperatur ketika bola baja turun ke lapisan semen aspal yang terdapat dalam cincin, sehingga semen aspal bersentuhan dengan dasar pelat yang terletak di bawah cincin.

#### a. Peralatan dan bahan

Peralatan :

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| 1) Cincin berbahan kuningan                            | 2) Bejana gelas                     |
| 3) Bola baja berdiameter 9,53 mm, berat 3,45-3,55 gram | 4) Termometer $360^{\circ}\text{C}$ |
| 5) Dudukan sampel                                      | 6) Penjepit                         |

Bahan :

- |                |               |
|----------------|---------------|
| 1) Aspal keras | 2) Air suling |
| 3) Es batu     |               |

b. Prosedur pengujian

- 1) Memanaskan bahan sampel aspal dan diaduk perlahan hingga cair merata.
- 2) Menuangkan sampel kedalam dua cincin. Pemanasan dengan suhu dibawah  $111^{\circ}\text{C}$  di atas titik lembek, dibawah 2 jam.
- 3) Memanaskan dua buah cincin dan meletakkannya di atas pelat kuningan.
- 4) Menuangkan sampel ke dalam dua cincin dan didiamkan di suhu minimal  $8^{\circ}\text{C}$  dibawah titik lembek, minimal 30 menit.
- 5) Setelah dingin sampel diratakan permukaannya dengan pisau yang dipanaskan.
- 6) Menuangkan air suling 1000 ml kedalam bejana dengan suhu  $51^{\circ}\text{C}$ .
- 7) Memasang dua sampel diatas dudukan serta pengarah bola diatasnya, memasukan keseluruhan peralatan kedalam bejana gelas.
- 8) Meletakkan termometer diantara dua sampel (12,7 mm dari cincin).
- 9) Mengatur jarak antara dasar sampel dengan permukaan pelat dasar menjadi 25,4 mm.
- 10) Meletakkan bola baja di atas dan ditengah permukaan sampel dengan suhu  $5^{\circ}\text{C}$  memakai penjepit, pengarah bola dipasang kembali.
- 11) Memanaskan bejana dengan kenaikan  $5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ , 3 menit pertama perbedaan pemanasan tidak lebih dari  $0,5^{\circ}\text{C}$ .



**Gambar 3.4** Alat Pengujian Titik Lembek Aspal

Sumber: Peneliti (2023)

#### 4. Pengujian berat jenis

Pengujian berat jenis ialah metode untuk menentukan berat jenis aspal berdasarkan spesifikasi SNI 2441:2011, yang nantinya akan dipergunakan dalam analisis campuran. Pengujian berat jenis dilakukan dengan membandingkan berat dari aspal dan air suling menggunakan *pycnometer*.

##### a. Peralatan dan bahan

Peralatan :

- |                      |              |
|----------------------|--------------|
| 1) <i>Pycnometer</i> | 2) Timbangan |
| 3) Wadah perendam    | 4) Kompor    |
| 5) Termometer        | 6) Penjepit  |

Bahan :

- 1) Aspal padat
- 2) Aquades

##### b. Prosedur pengujian

- 1) Merendam *pycnometer* kosong kedalam wadah berisi aquades.
- 2) Menimbang *pycnometer* kosong dan penutupnya, catat sebagai massa A.
- 3) Isi *pycnometer* dengan aquades hingga batas maksimal.
- 4) Menimbang *pycnometer* berisi aquades, catat sebagai massa B.
- 5) Memanaskan aspal cair dan tuangkan kedalam *pycnometer* 3/4 bagian dari tingginya.
- 6) Merendam *pycnometer* berisi aspal.
- 7) Menimbang *pycnometer* berisi aspal, catat sebagai massa C.
- 8) Menambahkan aquades pada *pycnometer* berisi aspal hingga batas maksimal.
- 9) Menimbang *pycnometer* berisi aspal dan aquades, catat sebagai massa D.





**Gambar 3.5** Pengujian Berat Jenis Aspal  
Sumber: Peneliti (2023)

### 3.2.2 Agregat Kasar

#### 1. Pengujian berat jenis dan penyerapan

Pengujian berat jenis agregat kasar adalah pengujian untuk mengetahui berat jenis curah (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*), berat jenis semu (*apparent*) serta nilai penyerapan dari material agregat kasar sesuai dengan spesifikasi SNI 1969-2008.

##### a. Peralatan dan bahan

Peralatan :

- |                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| 1) Keranjang berbahan kawat | 2) Cawan                |
| 3) Wadah perendam air       | 4) Saringan 3/4 dan 1/2 |
| 5) Timbangan                | 6) Kain lap             |
| 7) Oven                     | 8) Kipas angin          |

Bahan :

- 1) Agregat lolos saringan No. 3/4 dan No. 1/2

##### b. Prosedur pengujian

- 1) Mencuci sampel uji ukuran 3/4 dan 1/2 hingga terhindar dari debu ataupun bahan lain yang melekat pada sampel.



**Gambar 3.6** Pencucian Agregat Kasar

Sumber: Peneliti (2023)

- 2) Mengeluarkan udara yang tersekap dengan mengguncangkan sampel uji, timbang sampel dalam air (BA).
  - 3) Mengeringkan sampel uji di atas kain dan diangin-anginkan dengan kipas.
  - 4) Menimbang sampel permukaan kering jenuh (BJ).
  - 5) Mengeringkan sampel di oven suhu  $105^{\circ}\text{C}$  sampai berat tetap.
  - 6) Menimbang sampel (BK).
2. Pengujian *los angeles abration*

Pengujian *los angeles abration* adalah pengujian untuk mengetahui nilai keausan dari material agregat kasar sesuai dengan spesifikasi SNI 2417:2008.



**Gambar 3.7** Pengujian *Los Angeles Abration*

Sumber: Peneliti (2023)

- a. Peralatan dan bahan

Peralatan :

- |                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| 1) Mesin <i>los angeles abration</i> | 2) Oven |
| 3) Saringan No. 12                   | 4) Pan  |
| 5) Timbangan                         | 6) Kuas |
| 7) Bola baja                         |         |

Bahan :

- 1) Agregat gradasi B dengan berat  $2500 \pm 10$  gram.

b. Prosedur pengujian

- 1) Menyiapkan agregat gradasi B dengan berat yang ditentukan.
- 2) Memasukan sampel uji dan bola baja ke dalam mesin *los angeles abration*.
- 3) Memutar mesin *los angeles abration* 500 kali putaran.
- 4) Setelah pemutaran selesai, mengeluarkan sampel uji lalu saring dengan ayakan No. 12.
- 5) Mencuci sampel uji yang tertahan dan dikeringkan melalui oven suhu  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- 6) Mencatat penimbangan sampel uji.

3. Pengujian kelekatan terhadap aspal

Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal ialah pengujian untuk menilai persentase kelekatan antara agregat dan aspal, sesuai dengan ketentuan dalam spesifikasi SNI 03-2439-1991.



**Gambar 3.8** Pengujian Kelekatan Agregat terhadap Aspal  
Sumber: Peneliti (2023)

a. Peralatan dan bahan

Peralatan :

- 1) Cawan
- 2) Oven
- 3) Timbangan
- 4) Saringan No. 3/8 dan 3/4
- 5) Spatula

Bahan :

- 1) Agregat lolos saringan No. 3/8 dan tertahan saringan No. 3/4
- 2) Aspal padat
- 3) Aquades

b. Prosedur pengujian

- 1) Menimbang agregat 100 gr kedalam wadah.
- 2) Memanaskan wadah berisi agregat dengan suhu  $135^{\circ}\text{C}$  -  $149^{\circ}\text{C}$  selama 60 menit.
- 3) Memanaskan aspal dengan suhu  $135^{\circ}\text{C}$  -  $149^{\circ}\text{C}$ .
- 4) Menambahkan 5,5 gr aspal yang sudah dipanaskan kedalam agregat.
- 5) Meratakan dengan spatula hingga seluruh permukaan agregat terselimuti aspal.
- 6) Memasukkan agregat terselimuti aspal kedalam gelas ukur dengan ukuran 600 ml dan menambahkan aquades 400 ml.
- 7) Merendam sampel uji selama 16 – 18 jam.
- 8) Mengamati secara visual dan memperkirakan persentase luas permukaan sampel uji yang terselimuti aspal, Min. 95%.

4. Pengujian material lolos ayakan No. 200

Pengujian material lolos ayakan No. 200 ialah metode untuk melihat persentase butiran dari material yang lolos ayakan No. 200 sesuai dengan spesifikasi SNI ASTM C117:2012.

a. Peralatan dan bahan

Peralatan :

- 1) Saringan No. 200
- 2) Timbangan

Bahan :

- 1) Agregat kasar
- 2) Air

b. Prosedur pengujian

- 1) Mempersiapkan sampel uji.
- 2) Oven sampel uji hingga berat tetap suhu 110°C.
- 3) Menimbang sampel uji sesuai SNI ASTM C117:2012, untuk agregat kasar Min. 2500 gr.
- 4) Mencuci sampel uji dan menyaring dengan saringan No. 200.
- 5) Sampel uji tertahan saringan No. 200 dikeringkan kembali dengan oven suhu 110°C.



**Gambar 3.9** Pengovenan Agregat Tertahan Saringan No. 200

Sumber: Peneliti (2023)

- 6) Menimbang dan catat hasil berat tetap.

### 3.2.3 Agregat Halus

#### 1. Pengujian berat jenis dan penyerapan

Pengujian berat jenis agregat halus ialah metode untuk mengetahui berat jenis curah (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*), berat jenis semu (*apparent*) dan nilai penyerapan dari material agregat halus sesuai dengan spesifikasi SNI 1970-2008.

#### a. Peralatan dan bahan

Peralatan :

- |                             |                   |
|-----------------------------|-------------------|
| 1) <i>Pycnometer</i> 500 ml | 2) <i>Cone</i>    |
| 3) Batang penumbuk          | 4) Saringan No. 4 |
| 5) Timbangan                | 6) Termometer     |
| 7) Oven                     |                   |

Bahan :

- |                    |                 |
|--------------------|-----------------|
| 1) Abu batu 500 gr | 2) Pasir 500 gr |
| 3) Air suling      |                 |

#### b. Prosedur pengujian

- 1) Menyiapkan abu batu serta pasir lolos ayakan No. 4.
- 2) Mengeringkan sampel uji dengan oven suhu 110°C hingga berat tetap.
- 3) Mendinginkan dalam suhu ruangan, merendam didalam air 24 jam.
- 4) Mengeringkan pada udara panas secara merata.
- 5) Memeriksa keadaan SSD sampel uji dengan tes *cone*, memasukkan sampel uji kedalam *cone* hingga penuh dan menumbuk dengan menjatuhkan batang penumbuk sebanyak 25 kali kemudian mengamati keruntuhan.
- 6) Memasukkan sampel uji kedalam piknometer.
- 7) Memeriksa selisih berat piknometer berisi sampel dengan berat kosong, memastikan berat sampel uji sama dalam perhitungan.
- 8) Memasukkan air suling hingga 90% bagian dari piknometer, menghilangkan gelembung udara didalamnya dengan cara diguncangkan.
- 9) Merendam piknometer berisi sampel uji kedalam air suhu 25°C selama 24 jam.
- 10) Menambahkan air hingga hingga mencapai batas yang ditentukan.
- 11) Menimbang piknometer berisi sampel uji dan air dengan ketelitian 0,1 gram (BT).
- 12) Mengeluarkan sampel dan mengeringkannya dengan oven suhu 110°C hingga berat tetap, mendinginkan sampel uji dengan desikator.
- 13) Setelah dingin sampel uji ditimbang (Bk).
- 14) Menentukan berat piknometer yang diisi dengan air pada suhu 25°C.



**Gambar 3.10** Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Sumber: Peneliti (2023)

## 2. Pengujian material lolos ayakan No. 200

Pengujian material lolos ayakan No. 200 ialah metode untuk mengetahui persentase butiran dari material yang lolos ayakan No. 200 sesuai pada spesifikasi SNI ASTM C117:2012.

### a. Peralatan dan bahan

Peralatan :

- 1) Saringan No. 200
- 2) Timbangan

Bahan :

- 1) Agregat kasar
- 2) Air

### b. Prosedur pengujian

- 1) Mempersiapkan sampel uji.
- 2) Oven sampel uji hingga berat tetap suhu 110°C.
- 3) Menimbang sampel uji sesuai SNI ASTM C117:2012, untuk agregat halus Min. 300 gr.
- 4) Mencuci sampel uji dan menyaring dengan saringan No. 200.
- 5) Sampel uji tertahan saringan No. 200 dikeringkan kembali dengan oven suhu 110°C.



**Gambar 3.11** Pengovenan Agregat Tertahan Saringan No. 200

Sumber: Peneliti (2023)

6) Menimbang dan catat hasil berat tetap.

### 3. Pengujian *sand equivalent*

#### a. Peralatan dan bahan

Peralatan :

- 1) Agregat halus (abu batu dan pasir)
- 2) *Glycerine*
- 3) Aquades

Bahan :

- 1) Gelas ukur
- 2) Plastik dan karet
- 3) Saringan No. 4

#### b. Prosedur pengujian

- 1) Memasukkan sampel uji kedalam gelas ukur dengan skala 5.
- 2) Menambahkan *glycerine* hingga skala 10.
- 3) Menambahkan air hingga skala 15.
- 4) Menutup gelas ukur dengan plastik dan karet, diguncangkan 90 kali.
- 5) Didiamkan 24 jam, kemudian membaca skala tinggi lumpur dan sampel uji.





**Gambar 3.12** Pengujian *Sand Equivalent*

Sumber: Peneliti (2023)

### 3.2.4 *Filler*

#### 1. Pengujian berat jenis dan penyerapan

Pengujian berat jenis *filler* ialah metode guna mengetahui berat jenis curah (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*), berat jenis semu (*apparent*) serta nilai penyerapan dari material agregat halus sesuai spesifikasi SNI 1970-2008.

##### a. Peralatan dan bahan

Peralatan :

- |                             |                   |
|-----------------------------|-------------------|
| 1) <i>Pycnometer</i> 500 ml | 2) <i>Cone</i>    |
| 3) Batang penumbuk          | 4) Saringan No. 4 |
| 5) Timbangan                | 6) Termometer     |
| 7) Oven                     |                   |

Bahan :

- |                 |               |
|-----------------|---------------|
| 1) Semen 500 gr | 2) PVC 500 gr |
| 3) Air suling   |               |

##### b. Prosedur pengujian

- 1) Menyiapkan semen dan serbuk limbah PVC lolos saringan No. 200.
- 2) Melakukan pengeringan sampel uji dengan oven suhu 110°C hingga berat tetap.
- 3) Mendinginkan dalam suhu ruangan, merendam didalam air 24 jam.
- 4) Mengeringkan pada udara panas secara merata.
- 5) Memeriksa keadaan SSD sampel uji dengan tes *cone*,

memasukkan sampel uji kedalam *cone* hingga penuh dan menumbuk dengan menjatuhkan batang penumbuk sebanyak 25 kali kemudian mengamati keruntuhan.

- 6) Memasukkan sampel uji kedalam piknometer.
- 7) Memeriksa selisih berat piknometer berisi sampel dengan berat kosong, memastikan berat sampel uji sama dalam perhitungan.
- 8) Memasukkan air suling hingga 90% bagian dari piknometer, menghilangkan gelembung udara didalamnya dengan cara diguncangkan.
- 9) Merendam piknometer berisi sampel uji kedalam air suhu 25°C selama 24 jam.
- 10) Menambahkan air hingga hingga mencapai batas yang ditentukan.
- 11) Menimbang piknometer berisi sampel uji dan air dengan ketelitian 0,1 gram (BT).
- 12) Mengeluarkan sampel dan mengeringkannya dengan oven suhu 110°C hingga berat tetap, mendinginkannya dengan desikator.
- 13) Setelah dingin sampel uji ditimbang (Bk).
- 14) Menentukan berat piknometer yang diisi dengan air pada suhu 25°C.



**Gambar 3.13** Pengujian Berat Jenis *Filler*

Sumber: Peneliti (2023)

## 2. Pengujian material lolos ayakan No. 200

Pengujian material lolos ayakan No. 200 ialah metode untuk melihat persentase butiran dari material yang lolos saringan No. 200

sesuai pada spesifikasi SNI ASTM C117:2012.

a. Peralatan dan bahan

Peralatan :

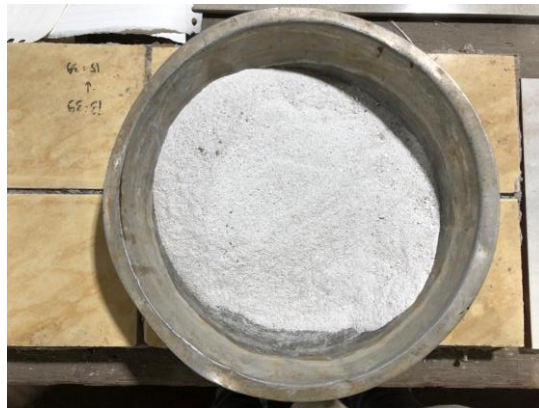
- 1) Saringan No. 200                      2) Timbangan

Bahan :

- 1) Semen 500 gr                      2) PVC 500 gr

b. Prosedur pengujian

- 1) Mempersiapkan sampel uji.
- 2) Oven sampel uji hingga berat tetap suhu 110°C.
- 3) Menimbang sampel uji sesuai SNI ASTM C117:2012, untuk agregat halus lolos saringan No. 4 dan Min. 300 gr.
- 4) Menyaring sampel uji dengan saringan No. 200.
- 5) Sampel uji tertahan saringan No. 200 dikeringkan kembali dengan oven suhu 110°C.
- 6) Menimbang dan catat hasil berat tetap.



**Gambar 3.14** Pengujian Material Lolos Ayakan No. 200 *Filler*

Sumber: Peneliti (2023)

### **3.3 Pengolahan Bahan Tambahan**

#### **3.3.1 Pengolahan Limbah Pipa PVC (*Polyvinyl Chloride*)**

Dalam pengolahan limbah pipa PVC langkah-langkah yang dilakukan sebelum menjadi bahan campuran dalam aspal adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan limbah pipa PVC.

2. Membersihkan limbah pipa PVC secara menyeluruh.
3. Memotong limbah pipa PVC menjadi bagian lebih kecil.
4. Menumbuk limbah pipa PVC dengan mortar hingga menjadi serbuk.
5. Menyaring serbuk limbah pipa PVC dengan saringan No. 200.
6. Memanaskan serbuk limbah pipa PVC lolos saringan No. 200 sebelum dicampurkan ke dalam agregat.



**Gambar 3.15** Penghancuran Limbah Pipa PVC

Sumber: Peneliti (2023)

### 3.3.2 Pengolahan Limbah Beton

Dalam proses pengolahan limbah beton sebelum dipergunakan sebagai bahan campuran dalam aspal, tahapan yang dilakukan sebagai berikut:

1. Pengumpulan limbah beton.
2. Penghancuran limbah beton hingga mencapai ukuran yang serupa dengan agregat kasar (kerikil).



**Gambar 3.16** Limbah Beton

Sumber: Peneliti (2023)

### 3.3.3 Pencampuran Limbah Beton dan Limbah pipa PVC

Limbah beton dicampur dalam proporsi 25%, 50%, dan 75% dari total berat agregat kasar. Sementara itu, pencampuran serbuk limbah pipa PVC melibatkan persentase sebanyak 3%, 5%, dan 7% dari total berat *filler*.

### 3.4 Pembuatan Benda Uji

#### 3.3.1 Kadar Aspal Optimum (KAO)

Variasi berikut untuk mengetahui Kadar Aspal Optimum (KAO) benda uji yang nantinya akan dilakukan uji melalui metode *Marshall*.

**Tabel 3.1** Variasi Kadar Aspal Optimum

Variabel	Kadar Aspal (%)	Banyak Benda Uji (buah)
x.a	5.0	3
x.b	5.25	3
x.c	5.5	3
x.d	5.75	3
x.e	6.0	3

Sumber: Hasil Analisis Data Penelitian (2023)

#### 3.3.2 Aspal Limbah Beton dan *filler* Serbuk PVC

Berikut variasi yang akan diujikan untuk menentukan komposisi yang paling ideal antara aspal dengan campuran Limbah Beton, dan *filler* Serbuk PVC menggunakan metode *Marshall*.

**Tabel 3.2** Variasi Kadar Aspal Limbah Beton dan *Filler* limbah PVC

Variabel	Limbah Beton (%)	Kadar PVC (%)	Banyak Benda Uji
A 1	25	3	3
A 2	25	5	3
A 3	25	7	3
B 1	50	3	3
B 2	50	5	3
B 3	50	7	3
C1	75	3	3
C2	75	5	3
C3	75	7	3

Sumber: Hasil Analisis Data Penelitian (2023)

### 3.3.3 Proses Pembuatan Sampel Uji

#### a. Peralatan

1. Cetakan sampel uji diameter 101,6 mm dan tinggi 76,2 mm.
2. Alat penumbuk manual bentuk silinder memiliki berat 4,536 gram serta jarak tinggi jatuh bebas 457,2 mm.
3. Landasan pemadat ukuran 203,2 x 203,2 x 457,2 mm dengan lapisan baja ukuran 304,8 x 304,8 x 25,4 mm dan dipasangkan ke lantai beton pada keempat sudutnya.
4. Pemegang cetakan sampel uji.



**Gambar 3.17** Alat Penumbuk Manual

Sumber: Peneliti (2023)

5. *Ekstruder* diameter 100 mm, alat untuk mengeluarkan sampel uji setelah pemadatan.
6. Oven dengan pengatur temperatur.
7. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram.
8. Termometer berbahan logam kapasitas hingga 204°C.
9. Alat pendukung ; wajan, spatula, kompor gas, sarung tangan, dan kertas saringan.



**Gambar 3. 1.** Wajan, Kompor  
Sumber : Peneliti (2023)



**Gambar 3. 2.** Sarung Tangan, Kertas Saring  
Sumber : Peneliti (2023)

b. Bahan

1. Aspal penetrasi 60/70



**Gambar 3.20** Aspal Penetrasi 60/70  
Sumber: Peneliti (2023)

2. Agregat kasar lolos saringan No. 3/4 dan No. ½



**Gambar 3. 21** Agregat Kasar 3/4" dan 1/2"  
Sumber: Peneliti (2023)

3. Agregat halus berupa pasir dan abu batu lolos saringan No. 4



**Gambar 3.22** Pasir dan Abu Batu

Sumber: Peneliti (2023)



**Gambar 3.23** Semen dan PVC

Sumber: Peneliti (2023)

#### 4. Limbah



**Gambar 3.24** Limbah beton

Sumber: Peneliti (2023)

#### c. Persiapan sampel uji



1. Memanaskan agregat dan *filler* pada oven dengan suhu 105°C.



**Gambar 3.25** Pemanasan Agregat dan *Filler*

Sumber: Peneliti (2023)

2. Mendinginkan agregat dan *filler* hingga suhu ruangan.
  3. Menimbang agregat dan *filler* sesuai dengan berat yang direncanakan.
  4. Memanaskan bahan aspal keras hingga suhu pencampuran.
  5. Melapisi cetakan sampel uji dengan *glycerin*.
- d. Langkah pembuatan sampel uji
1. Menyiapkan rancangan campuran sampel uji.
  2. Memanaskan rancangan campuran agregat dengan kompor.
  3. Menuangkan aspal dan limbah beton kedalam rancangan campuran agregat sembari diaduk hingga merata.



**Gambar 3.26** Penambahan Aspal dan Limbah beton

Sumber: Peneliti (2023)

4. Meletakkan cetakan yang telah dilapisi *glycerin* pada landasan pematat.
5. Memasukkan kertas saringan kedalam cetakan.
6. Memasukkan campuran sampel uji kedalam cetakan.
7. Meletakkan kertas saringan pada bagian atas sampel uji.
8. Memadatkan campuran sampel uji sebanyak 75 kali pada kedua

sisinya.

9. Mengeluarkan sampel uji dengan *ekstruder* dan memberi label.
10. Mendinginkan sampel uji pada suhu ruangan 24 jam.



**Gambar 3.27** Pendinginan Sampel Uji

Sumber: Peneliti (2023)

### 3.5 Pengujian Metode *Marshall*

Berikut merupakan tahapan dalam melakukan metode *Marshall*:

a. Peralatan

1. *Water bath* yang mampu mempertahankan suhu 60°C.



**Gambar 3.28** *Water Bath*

Sumber : Peneliti (2023)

2. Satu set alat *marshall* yang terdiri atas, kepala penekan, dogkrak pembebanan, cincin penguji, arloji pengukur pelelehan.



**Gambar 3.29** Alat *Marshall Test*

Sumber: Peneliti (2023)

b. Bahan

1. Sampel uji *marshall* LASTON AC-WC



**Gambar 3.30** Sampel Uji *Marshall* LASTON AC-WC

Sumber : Peneliti (2023)

c. Persiapan pengujian

1. Membersihkan sampel uji.
2. Mengukur sampel uji.
3. Menimbang berat kering sampel uji.
4. Menimbang sampel uji dalam air.
5. Menimbang berat kering permukaan sampel uji.

d. Langkah *marshall test*

1. Merendam sampel uji dalam *water bath* 30 – 40 menit menggunakan suhu 60°C.

2. Menempatkan sampel uji segera kedalam bagian bawah alat penekan uji *marshall*.
3. Memasang bagian penutup penekan uji *marshall* diatas sampel uji serta meletakkannya kedalam mesin uji *marshall*.
4. Memasang dial *flow* pada batang penutup serta mengatur jarum dial pada angka 0.
5. Menaikan kepala penekan sampai menyentuh cincin penguji.
6. Mengatur jarum dial stabilitas pada angka 0.
7. Melakukan pembebanan hingga tercapai pembebanan maksimum, mencatat ketika dial stabilitas mengalami penurunan.



**Gambar 3.31** Proses Pembebanan

Sumber: Peneliti (2023)

8. Mencatat nilai pelelehan ketika pembebanan maksimum.

### **3.6 Pengolahan Data**

Segala jenis data yang didapat dari *result* pengujian campuran aspal beton lapis aus (ACWC) konvensional dan campuran aspal beton lapis aus (ACWC) dengan bahan limbah beton dan serbuk limbah pipa PVC disajikan bentuk tabel dan dibandingkan dalam bentuk grafik antara nilai KAO dan karakteristik *marshall*. Komposisi limbah beton yang dipergunakan ialah 3% dan 5% dari total berat aspal yang dipergunakan sementara komposisi serbuk limbah pipa PVC yang dipergunakan ialah 10%, 12,5%, dan 15% dari total berat *filler* yang digunakan. Diharapkan berdasarkan komposisi campuran aspal beton lapis aus (ACWC) dengan bahan limbah beton dan serbuk limbah pipa PVC dapat dijadikan alternatif dalam membuat campuran aspal beton yang lebih berkualitas dan tahan lama. Dengan adanya inovasi campuran aspal beton lapis aus ini, diharapkan dapat memanfaatkan limbah beton menjadi berguna dan mengurangi limbah plastik PVC yang sulit terurai dan mencemari lingkungan.