

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah ekperimental bersamaan dengan aspek kuantitatif pada sampel. Penelitian ini berdasarkan persetujuan PT Freeport Indonesia dan dilaksanakan di Laboratorium Universitas Diponegoro.

3.1 *Job Mix Formula* Penelitian

Pada penelitian ini dibuat *jobmix formula* untuk aspal normal diantaranya sebagai berikut :

- Aspal Normal

Tabel 3.1 Job Mix Campuran Aspal AC-WC Normal

Variabel	Ag. Kasar ¾” (%)	Ag. Kasar ½” (%)	Pasir (%)	Abu Batu (%)	Filler (%)	Kadar Aspal (%)	Berat Total (gram)	Benda Uji (buah)
KA	13	32	15	38	2	5,5	1200	3
KB	13	32	15	38	2	6	1200	3
KC	13	32	15	38	2	6,5	1200	3
KD	13	32	15	38	2	7	1200	3
KE	13	32	15	38	2	7,5	1200	3

Adapun *jobmix formula* untuk aspal inovasi pada penelitian ini yaitu :

- Aspal Modifikasi Limbah *Tailing & Fly Ash*

Tabel 3.2 Job Mix Campuran Aspal Tailing dan Fly Ash 0%

Kode	Variabel KAO (%)	Ag. Kasar ¾” (%)	Ag. Kasar ½” (%)	Pasir (%)	Tailing (%)	Abu Batu (%)	Semen (%)	Fly Ash (%)	Berat Total (gram)	Benda Uji (buah)
A1	7,5	13	32	4	11	38	2	0	1200	3
A2	7,5	13	32	2	13	38	2	0	1200	3
A3	7,5	13	32	0	15	38	2	0	1200	3

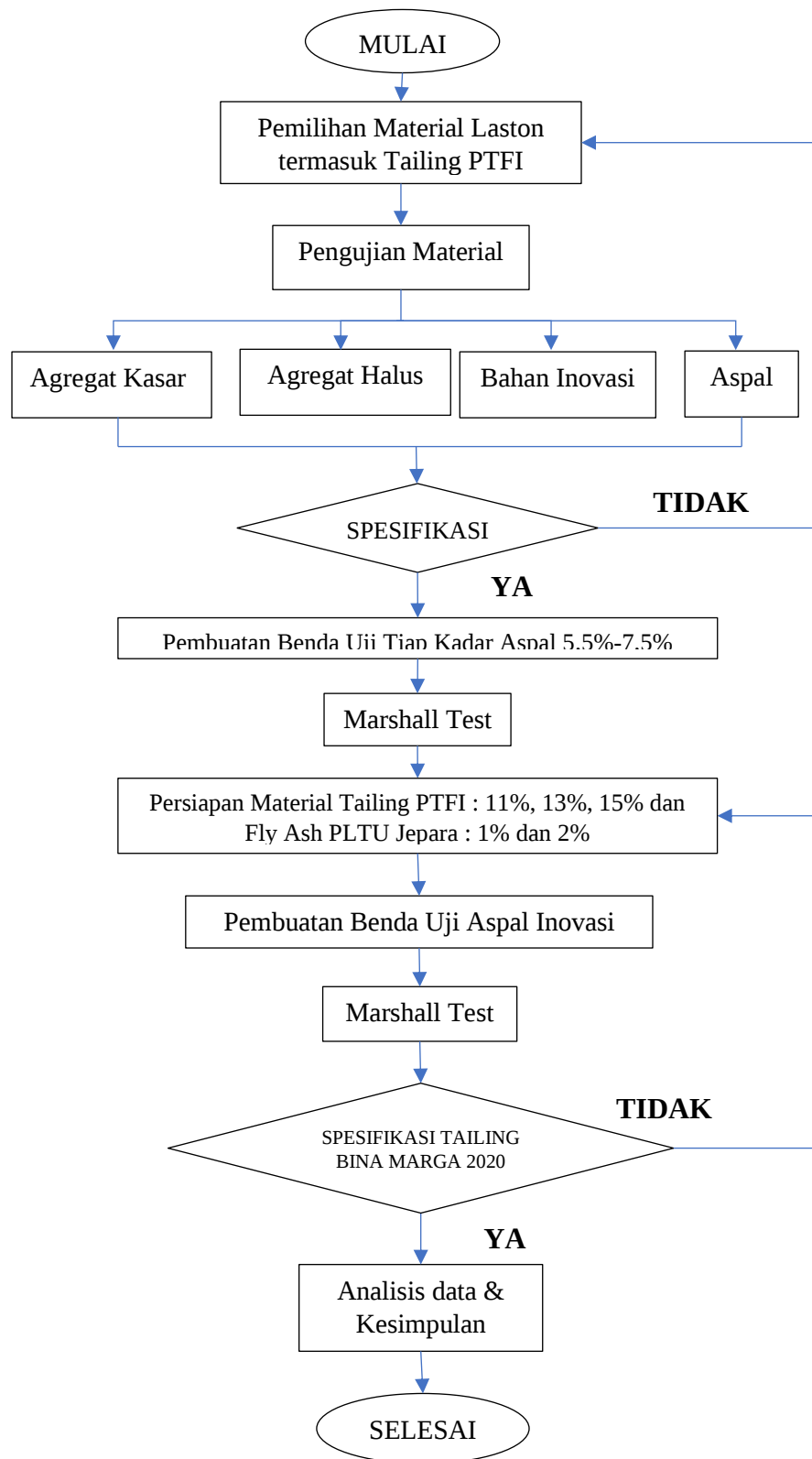
Tabel 3.3 Job Mix Campuran Aspal Tailing dan Fly Ash 1%

Kode	Variabel KAO (%)	Ag. Kasar ¾" (%)	Ag. Kasar ½" (%)	Pasir (%)	Tailing (%)	Abu Batu (%)	Semen (%)	Fly Ash (%)	Berat Total (gram)	Benda Uji (buah)
B1	7,5	13	32	4	11	38	1	1	1200	3
B2	7,5	13	32	2	13	38	1	1	1200	3
B3	7,5	13	32	0	15	38	1	1	1200	3

Tabel 3.4 Job Mix Campuran Aspal Tailing dan Fly Ash 2%

Kode	Variabel KAO (%)	Ag. Kasar ¾" (%)	Ag. Kasar ½" (%)	Pasir (%)	Tailing (%)	Abu Batu (%)	Semen (%)	Fly Ash (%)	Berat Total (gram)	Benda Uji (buah)
C1	7,5	13	32	4	11	38	0	2	1200	3
C2	7,5	13	32	2	13	38	0	2	1200	3
C3	7,5	13	32	0	15	38	0	2	1200	3

Dalam realisasi pembuatan benda uji, metode pengujian dan perhitungannya harus didasarkan pada diagram alir penelitian sehingga mempermudah pembaca dalam memahami pelaksanaan dari penelitian ini. Berikut diagram alir penelitian pencampuran aspal modifikasi (substitusi material).



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Material

3.2.1 Aspal

Aspal yang digunakan adalah bitumen aspal pen 60/70 yang disediakan oleh Laboratorium Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro



Gambar 3.2 Aspal pen 60-70

3.2.2 Agregat Kasar

a. Agregat Fraksi $\frac{3}{4}$ inch

Agregat kasar ini berukuran $\frac{3}{4}$ inchi yang disediakan oleh Penulis dari Toko Bangunan Semarang dan telah mengalami proses pengayakan lolos $\frac{3}{4}$ inchi dan tertahan no. #4.



Gambar 3.3 Agregat Kasar Fraksi $\frac{3}{4}$ "

b. Agregat Fraksi $\frac{1}{2}$ inch

Agregat kasar ini berukuran $\frac{1}{2}$ inchi yang disediakan oleh Penulis dari Toko Bangunan Semarang dan telah mengalami proses pengayakan lolos $\frac{1}{2}$ inchi dan tertahan no. #4.



Gambar 3.4 Agregat Kasar Fraksi $\frac{1}{2}$ "

3.2.3 Agregat Halus

a. Pasir

Pasir yang digunakan oleh Penulis berasal dari Toko Bangunan Semarang yang telah mengalami proses pengayakan lolos no. #4.



Gambar 3.5 Agregat Halus Pasir

b. Abu Batu

Abu batu yang digunakan oleh Penulis berasal dari Toko Bangunan Kendal yang telah mengalami proses pengayakan lolos no. #4.



Gambar 3.6 Agregat Halus Abu Batu

c. Tailing

Tailing yang digunakan oleh Penulis berasal dari Limbah Tambang PT Freeport Indonesia yang telah dikelola sehingga sudah melalui proses pengayakan lolos no. #4.



Gambar 3.7 Tailing PTFI

3.2.4 Filler

a. Semen

Semen yang digunakan oleh Penulis berasal dari Toko Bangunan Semarang dengan merk Semen Tiga Roda.



Gambar 3.8 Filler

b. Fly Ash

Fly Ash yang digunakan oleh Penulis berasal dari Limbah Pembakaran Batu Bara PLTU Jepara yang telah dikelola sehingga sudah melalui proses pengayakan lolos no.200.



Gambar 3.9 Filler Fly Ash

3.3 Metode Pengujian

3.3.1 Pengujian Kelayakan Material

a. Aspal

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian penetrasi, daktilitas, titik lembek dan berat jenis.

1. Pengujian Penetrasi

Pengujian penetrasi adalah cara untuk mendapatkan nilai penetrasi dari aspal keras yang dipergunakan sesuai dengan standar SNI 2456:2011. Tahapan ini dimulai dengan menusukkan jarum

berukuran 1 mm dan berat 50 gram ke dalam bitumen pada suhu ruangan 25°C setiap interval 5 detik.



Gambar 3.10 Pengujian Penetrasi

- Bahan dan Peralatan
 - Alat penetrasi untuk menggerakkan jarum naik dan turun tanpa gesekan beserta jarum penetrasi
 - Cawan logam berbentuk silinder
 - Tempat air benda uji dibawah alat penetrasi
 - *Stopwatch*
 - Air
 - Bitumen/Aspal keras
- Prosedur Pengujian
 - Memanaskan sampel aspal tidak > 60°C diatas titik lembek dan tidak lebih 30 menit. Sampel aspal diaduk secara perlahan agar udara tidak masuk.
 - Menuangkan sampel ke ke wadah dan didinginkan selama 1 jam
 - Meletakkan sampel ke dalam air
 - Mempersiapkan alat penetrasi dan jarum nya
 - Memindahkan wadah berisi air ke bawah penetrometer

- Memutar dial alat penetrometer dan membaca angka hasil penetrasi yang berhimpit dengan jarum penunjuk
- Menurunkan jarum perlahan hingga menyentuh permukaan sampel
- Melepas pemegang jarum bersamaan pada *stopwatch*
- Mengulangi tahapan sebanyak 5 kali pada setiap sampel di titik yang berbeda

2. Pengujian Daktilitas

Pengujian daktilitas adalah pengujian untuk mengetahui kekenyalan dari aspal keras dalam pengikatan terhadap agregat pada campuran aspal yang disesuaikan dengan SNI 2432:2011. Tahapannya adalah menarik aspal keras dengan kecepatan penarikan 5 cm/menit pada dua cetakan pada suhu ruangan (25°C).



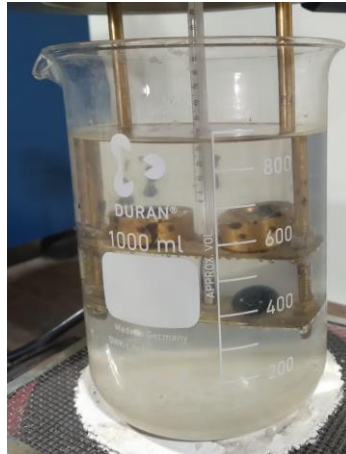
Gambar 3.11 Pengujian Daktilitas

- Peralatan dan Bahan
 - Cetakan berbahan kuningan
 - Wadah perendam dengan kapasitas 10 liter yang mampu menjaga suhu dan ketelitian 0,1. Wadah mampu merendam sampel 10 cm di bawah permukaan air dan dilengkapi pelat dasar berlubang dengan jarak 5 cm untuk meletakkan sampel.
 - Air
 - *Glycerine*
 - Aspal keras

- Prosedur Pengujian
 - Melapisi semua bagian cetakan pengujian daktilitas dengan *glycerine*
 - Memanaskan sampel aspal pada suhu 80°C-100°C, menuangkan sampel ke dalam cetakan dari ujung satu ke ujung lainnya hingga penuh
 - Mendinginkan cetakan pengujian dengan suhu ruangan selama 30-40 menit, memindahkan sampel ke wadah perendam selama 30 menit
 - Mendiamkan sampel di suhu 25°C pada wadah perendam selama 95 menit kemudian dilepaskan dari pelat dasar cetakan
 - Memasang sampel pada mesin daktilitas kemudian menarik sampel pada kecepatan 5 cm/menit hingga putus
 - Membaca jarak dari ujung cetakan sampai sampel terputus (cm)

3. Pengujian Titik Lembek

Pengujian titik lembek adalah metode untuk menentukan titik lembek dari suatu aspal keras sesuai spesifikasi SNI 2434:2011. Pengujian titik lembek dilakukan dengan mengukur temperature ketika bola baja turun ke lapisan aspal yang terdapat dalam cincin, sehingga aspal bersentuhan dengan dasar pelat yang berada di bawah cincin.



Gambar 3.12 Pengujian Titik Lembek

- Peralatan dan Bahan
 - Cincin bahan kuningan
 - Bejana Gelas
 - Bola baja ukuran dia. 9,53 mm
 - Termometer
 - Dudukan sampel
 - Penjepit
 - Aspal keras
 - Batu es
 - Air
- Prosedur Pengujian
 - Memanaskan aspal hingga cair dengan mengaduk secara perlahan
 - Menuangkan aspal ke dalam cincin. Pemanasan dilakukan $< 111^{\circ}\text{C}$ diatas dan kurang lebih selama 2 jam
 - Memanaskan 2 buah cincin dan meletakkan di atas pelat kuningan
 - Menuangkan sampel ke dalam 2 cincin dan didiamkan di suhu $> 8^{\circ}\text{C}$ dibawah titik lembek selama minimal 30 menit

- Setelah dingin, permukaan sampel diratakan dengan pisau yang dipanaskan
- Menuangkan air sebanyak 1000 ml pada bejana dengan suhu 51°C
- Memasang 2 aspal diatas dudukan serta pengarah bola diatasnya, peralatan dimasukan ke dalam bejana
- Meletakkan thermometer diantara 2 sampel
- Mengatur jarak agar dasar sampel dengan permukaan pelat menjadi 25,4 mm
- Meletakkan bola baja diatas dan ditengah permukaan aspal pada suhu 5°C menggunakan penjepit
- Memanaskan bejana pada kenaikan setiap 5°C/menit

4. Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis adalah metode untuk menentukan berat jenis aspal berdasarkan spesifikasi SNI 2441:2011 yang digunakan pada analisis campuran. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan berat dari aspal dan air menggunakan *picnometer*.



Gambar 3.13 Pengujian Berat Jenis Aspal

• Peralatan dan Bahan

- *Picnometer*
- Timbangan
- Wadah
- Kompor
- Termometer
- Penjepit

- Aquades
- Aspal padat
- Prosedur Pengujian
 - Merendam *picnometer* kosong ke dalam wadah berisi aquades
 - Menimbang *picnometer* kosong dan penutupnya, lalu catat massa A
 - Mengisi *picnometer* dengan aquades hingga batas maksimal
 - Menimbang *picnometer* berisi aquades lalu catat massa B
 - Memanaskan aspal cair dan tuang ke dalam *picnometer* setinggi $\frac{3}{4}$ bagian
 - Merendam *picnometer* yang berisi aspal
 - Menimbang *picnometer* berisi aspal lalu catat massa C
 - Menambahkan aquades pada *picnometer* berisi aspal hingga batas maksimal
 - Menimbang *picnometer* berisi aspal dan aquades lalu catat massa D

b. Agregat Kasar

Berikut merupakan pengujian kelayakan pada material agregat kasar

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan

Pengujian berat jenis agregat kasar adalah tahapan mengetahui *bulk*, *saturated surface dry*, *apparent* serta nilai penyerapan dari material agregat kasar sesuai dengan spesifikasi SNI 1969:2008.



Gambar 3.14 Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar dan Penyerapan

- Peralatan dan Bahan
 - Cawan
 - Keranjang bahan kawat
 - Timbangan
 - Saringan $\frac{3}{4}$ dan $\frac{1}{2}$
 - Wadah perendam air
 - Kain Lap
 - Kipas
 - Oven
 - Agregat lolos saringan no. $\frac{3}{4}$ min. 3500 gram dan $\frac{1}{2}$ min. 2000 gram
- Prosedur Pengujian
 - Mencuci sampel berukuran $\frac{3}{4}$ dan $\frac{1}{2}$ dengan bersih dari debu dan kotoran
 - Mengeluarkan udara dengan menggoyangkan sampel dan menimbang berat sampel dalam air
 - Mengeringkan sampel diatas kain
 - Menimbang sampel pada kondisi kering jenuh (BJ)
 - Mengeringkan sampel pada suhu 110°C
 - Menimbang sampel pada kondisi kering

2. Pengujian *Los Angeles Abrasion*

Pengujian *los angeles abrasion* adalah pengujian untuk mengetahui tingkat keausan pada agregat kasar sesuai dengan spesifikasi SNI 2417:2008.



Gambar 3.15 Pengujian Los Angeles Abrasion

- Peralatan & Bahan
 - Mesin *los angeles abaration*
 - Saringan 3/8
 - Timbangan
 - 11 bola baja
 - Oven
 - Agregat fraksi $\frac{3}{4}$ dan $\frac{1}{2}$ dengan berat total 5000 gram
- Prosedur Pengujian
 - Menyiapkan agregat fraksi $\frac{3}{4}$ dan $\frac{1}{2}$
 - Memasukkan sampel ke mesin *los angeles abration* bersamaan dengan 11 bola baja
 - Memutar mesin sebanyak 500 kali putaran
 - Mengeluarkan sampel dan saring dengan saringan 3/8
 - Mencuci sampel pada kondisi tertahan dan mengeringkan sampel dengan oven pada suhu 110°C
 - Mencatat penimbangan sampel

3. Pengujian kelekatan terhadap aspal

Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal adalah pengujian untuk menilai tingkat kelekatan antara agregat dan aspal dalam bentuk prosentase yang disesuaikan dengan SNI 03-2439-1991.



Gambar 3.16 Pengujian Kelekatan terhadap Agregat

- Peralatan & Bahan
 - Cawan
 - Timbangan

- Agregat kasar sebanyak 100 gram
- Aspal 6 gram
- Air
- Saringan no. $\frac{3}{4}$ dan no. 4

- Prosedur Pengujian

- Menyiapkan agregat kasar lolos no. $\frac{3}{4}$ dan tertahan di no. 4 sebanyak 100 gram serta aspal 6 gram
- Memasak agregat dengan dicampur aspal sampai semua aspal melekat ke agregat
- Mengisi gelas ukur dengan air bersih
- Memasukkan agregat yang sudah terselubungi aspal tersebut ke dalam gelas ukur dan tunggu selama 24 jam
- Setelah 24 jam, apabila terdapat aspal yang terkelupas maka ambil dan timbang beratnya

4. Pengujian material lolos ayakan No.200

Pengujian material lolos ayakan No. 200 adalah cara untuk menentukan persentase butiran dari material yang lolos ayakan no. 200 sesuai dengan spesifikasi SNI ASTM C117:2012.

- Peralatan dan Bahan

- Timbangan
- Saringan no. 200
- Air
- Agregat kasar

- Prosedur Pengujian

- Mempersiapkan sampel yang akan diuji
- Mengeringkan benda uji pada oven di suhu 110°C
- Menimbang sampel agregat kasar min. 2500 gram sesuai dengan SNI
- Mencuci sampel dan menyaring dengan saringan no. 200
- Mengeringkan sampel yang tertahan di saringan no. 200 dengan suhu 110°C

- Menimbang dan catat hasilnya

5. Pengujian Analisis Saringan

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan pembagian butir agregat kasar dengan menggunakan saringan.



Gambar 3.17 Pengujian Analisis

- Peralatan & Bahan

- Satu set saringan
- Timbangan
- *Shaker*
- Benda uji untuk agregat fraksi $\frac{3}{4}$ sebanyak 5000 gram dan agregat fraksi $\frac{1}{2}$ sebanyak 2500 gram

- Prosedur Pengujian

- Menimbang berat saringan kosong
- Menyusun satu set saringan dimulai dari no. 3/4 , no. 1/2, no. 3/8, no. 4, no. 8, no. 16, no. 30, no. 50, no. 100, no. 200, dan pan
- Memasukkan sampel ke dalam saringan
- Memasang saringan ke *shaker*
- Menyalakan *shaker* dalam waktu 15 menit
- Menimbang berat saringan ditambah agregat tertahan di setiap saringan

c. Agregat Halus

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan

Pengujian berat jenis agregat halus adalah langkah untuk mengetahui *bulk*, *saturated surface dry*, *apparent* dan nilai penyerapan agregat halus sesuai spesifikasi SNI 1970:2008.



Gambar 3.18 Pengujian Berat Jenis Agregat Halus & Penyerapan

- Peralatan & Bahan
 - *Picnometer* ukuran 500 ml
 - *Cone*
 - Saringan no. 4
 - Batang penumbuk
 - Oven
 - Timbangan
 - Pasir 500 gram
 - Abu batu 500 gram
 - Tailing 500 gram
 - Air
- Prosedur Pengujian
 - Menyiapkan material masing-masing lolos ayakan no. 4
 - Mencuci material agregat halus dan merendam dalam air dalam waktu 24 jam
 - Mengeringkan sampel pada udara panas
 - Memeriksa keadaan *saturated surface dry* dengan tes *cone* yaitu memasukkan material ke *cone* dan ditumbuk

selama 25 kali dalam 3 bagian. Apabila dia sudah jatuh maka material dalam keadaan SSD

- Memasukkan sampel ke *picnometer*
- Memasukkan air sebanyak leher *picnometer* lalu putar 45° sampai gelembung udara nya keluar
- Merendam *picnometer* berisi sampel selama 24 jam
- Menambahkan air sampai garis batas pada *picnometer* lalu timbang
- Mengeluarkan sampel dengan mengeringkannya pada suhu 110°C menggunakan oven
- Menghitung berat sampel setelah dingin
- Menghitung berat *picnometer* berisi air sebanyak garis batas

2. Pengujian analisis saringan

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan pembagian butir agregat kasar menggunakan saringan.



Gambar 3.19 Pengujian Analisis Saringan Agregat

- Timbangan
- Satu set saringan
- *Shaker*
- Benda uji untuk pasir, abu batu, *tailing* 500 gr
- Prosedur Pengujian
 - Menimbang berat saringan kosong

- Menyusun satu set saringan dimulai dari no. 3/4 , no. 1/2, no. 3/8, no. 4, no. 8, no. 16, no. 30, no. 50, no. 100, no. 200, dan pan
- Memasukkan sampel ke dalam saringan
- Memasang saringan ke *shaker*
- Menyalakan *shaker* selama 15 menit
- Menimbang berat saringan ditambah agregat tertahan pada setiap saringan

3. Pengujian material lolos ayakan no. 200

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

- Alat dan Bahan
 - Timbangan
 - Saringan no. 200
 - .Agregat Halus
 - Air
- Prosedur Pengujian
 - Mempersiapkan sampel uji
 - Masukkan sampel uji ke dalam oven pada suhu 110°C.
 - Menimbang sampel untuk agregat halus min. 300 gram sesuai SNI.
 - Mencuci dan menyaring sampel uji menggunakan saringan No. 200.
 - Mengeringkan kembali sampel yang tertahan pada saringan No. 200 dengan oven pada suhu 110°C.
 - Menimbang dan mencatat hasil berat tetap.

4. Pengujian *sand equivalent*

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan kadar debu/bahan yang menyerupai lumpur pada agregat halus. Pengujian ini berdasarkan SNI 03-4428-1997.



Gambar 3.20 Pengujian Sand Equivalent

- Alat dan Bahan
 - Agregat Halus (pasir, abu batu, tailing)
 - *Aquades*
 - *Glycerine*
 - Plastik & karet
 - Gelas ukur
 - Saringan No. 4
- Prosedur Pengujian
 - Masukkan *glycerine* dalam gelas ukur hingga skala 3.
 - Menambahkan air sampai skala 10 di gelas ukur
 - Menutup gelas ukur, kemudian diguncangkan hingga air dan *glycerine* tercampur rata.
 - Masukkan sampel uji kedalam campuran *glycerine* dan air.
 - Guncangkan hingga 90 kali.
 - Didiamkan selama 24 jam, kemudian membaca skala untuk tinggi lumpur dan sampel

d. *Filler*

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan

Pengujian berat jenis *filler* merupakan sebuah tahapan yang bertujuan untuk mengetahui *bulk*, *saturated surface dry*, *apparent* serta nilai penyerapan dari material agregat halus sesuai spesifikasi SNI 1970-2008.



Gambar 3.21 Pengujian Berat Jenis Filler & Penyerapan

- Alat dan Bahan
 - *Pycnometer* 500 ml
 - *Cone*
 - Saringan no. 4
 - Batang penumbuk
 - Termometer
 - Timbangan
 - Air
 - Semen 500 gr
 - *Fly ash* 500 gr
 - Oven
- Prosedur Pengujian
 - Menyiapkan material semen dan *fly ash* lolos saringan No. 200.
 - Mengeringkan sampel dengan oven di suhu 110°C.

- Diamkan pada suhu ruangan, kemudian rendam dalam air selama 24 jam.
- Mengeringkan sampel pada udara panas secara merata
- Pada saat keadaan SSD, dilakukan tes *cone* dengan cara memasukkan sampel uji ke dalam *cone* hingga penuh, kemudian menumbuk sampel uji sebanyak 25 kali dan mengamati keruntuhan.
- Masukkan sampel uji ke dalam piknometer
- Menghitung selisih berat piknometer berisi sampel uji dengan berat kosong dan memastikan berat sampel uji sama dengan perhitungan.
- Memasukkan air hingga 90% bagian dari piknometer dan mengeluarkan gelembung udara dengan menggoyangkan.
- Merendam piknometer berisi sampel uji kedalam air suhu 25°C selama 24 jam.
- Tambahkan air hingga mencapai batas yang ditentukan.
- Timbang piknometer berisi sampel uji dan air dengan ketelitian 0,1 gr (BT)
- Mengeluarkan sampel dan mengeringkannya dengan oven suhu 110°C kemudian mendinginkannya dengan desikator
- Menimbang sampel uji setelah dingin.
- Menentukan berat piknometer yang terisi air pada suhu 25°C.

2. Pengujian analisis saringan

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan pembagian butir agregat kasar dengan menggunakan saringan.



Gambar 3.22 Pengujian Analisis Saringan Filler

- Peralatan & Bahan
 - Timbangan
 - Satu set saringan
 - *Shaker*
 - Benda uji untuk *fly ash* 500 gr
- Prosedur Pengujian
 - Menimbang berat saringan kosong
 - Menyusun satu set saringan dimulai dari no. 3/4 , no. 1/2, no. 3/8, no. 4, no. 8, no. 16, no. 30, no. 50, no. 100, no. 200, dan pan
 - Memasukkan sampel ke dalam saringan
 - Memasang saringan ke *shaker*
 - Menyalakan *shaker* selama 15 menit
 - Menimbang berat saringan ditambahkan agregat tertahan pada setiap saringan

3. Pengujian material lolos ayakan no. 200

Pengujian material lolos ayakan No. 200 merupakan tahapan yang bertujuan untuk mengetahui persentase (%) butiran dari material yang lolos ayakan No. 200 sesuai pada spesifikasi SNI ASTM C117:2012.

- Alat dan Bahan
 - Timbangan
 - Saringan no. 200
 - *.Fly ash*

- Air
- Prosedur Pengujian
 - Mempersiapkan sampel uji
 - Masukkan sampel uji ke dalam oven pada suhu 110°C.
 - Menimbang sampel uji.
 - Mencuci dan menyaring sampel menggunakan saringan No. 200.
 - Mengeringkan kembali sampel uji yang tertahan pada saringan No. 200 dengan oven di suhu 110°C.
 - Menimbang dan mencatat hasil berat tetap.

3.3.2 Pengolahan Bahan Inovasi

a. Limbah *Tailing* PT Freeport Indonesia

Beberapa pengolahan limbah *tailing* sebelum dijadikan bahan inovasi pada benda uji :

- Mempersiapkan limbah *tailing* dari Sungai Akjwa ke *batching plant*
- Membersihkan limbah *tailing* dari kotoran yang ada
- Mengeringkan *tailing* menggunakan suhu luar/udara panas
- Melakukan pengujian terhadap *tailing* untuk mendapatkan hasil jika limbah ini telah memenuhi spesifikasi
- Limbah *tailing* yang digunakan untuk pencampuran aspal harus benar-benar kering dan tidak mengandung bahan lainnya



Gambar 3.23 Pengolahan Limbah *Tailing*

b. Limbah *Fly Ash* PLTU Jepara

Beberapa pengolahan limbah *fly ash* sebelum dijadikan bahan inovasi pada benda uji :

- Mempersiapkan limbah *fly ash* dari *batching plant*
- Membersihkan limbah *fly ash* dari kotoran
- Mengeringkan *fly ash* menggunakan suhu luar/udara panas
- Melakukan pengujian terhadap *fly ash* untuk mendapatkan hasil jika limbah ini telah memenuhi spesifikasi
- Limbah *fly ash* yang digunakan untuk pencampuran aspal harus benar-benar kering dan tidak mengandung bahan lainnya



Gambar 3.24 Pengolahan Limbah *Fly Ash*

3.3.3 Pembuatan Benda Uji

a. Kadar Aspal Optimum (KAO)

Dalam pembuatan benda uji, penelitian ini dimulai dari pembuatan sampel untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO) dengan variasi sebagai berikut :

Tabel 3.5 Variasi Kadar Aspal Optimum pada Aspal Normal

Variasi	Kadar Aspal (%)	Jumlah (Buah)
KA	5,5	3
KB	6	3
KC	6,5	3
KD	7	3
KE	7,5	3
Total Benda Uji		15

b. Aspal Modifikasi Limbah *Tailing* dan *Fly Ash*

Setelah pembuatan benda uji dalam menentukan KAO maka dilanjutkan pembuatan benda uji untuk mencari stabilitas tertinggi dari aspal modifikasi.

Tabel 3.6 Variasi Aspal Modifikasi Limbah Tailing & Fly Ash

Variasi KAO	KAO (%)	Variasi Limbah	Limbah <i>Tailing</i> (%)	Limbah <i>Fly Ash</i> (%)	Jumlah (buah)
KE1	7,5	A1	11	0	3
		A2	13	0	3
		A3	15	0	3
KE2	7,5	B1	11	1	3
		B2	13	1	3
		B3	15	1	3
KE3	7,5	C1	11	2	3
		C2	13	2	3
		C3	15	2	3
Total Benda Uji					27

c. Proses Pembuatan Benda Uji

1. Peralatan

- Cetakan sampel uji diameter 10 cm dan tinggi 7 cm
- Alat penumbuk manual bentuk silinder dengan berat 4.536 gram serta jarak tinggi jatuh bebas 457,2 mm
- Alat penumbuk manual bentuk silinder dengan berat 4.536 gram serta jarak tinggi jatuh bebas 457,2 mm
- Pemegang cetakan sampel uji
- Landasan untuk pemadat ukuran 203,2 x 203,3 x 457,2 mm dengan lapisan baja ukuran 304,8 x 304,8 x 25,4 mm
- *Extruder* atau dongkrak diameter 100 mm, alat untuk mengeluarkan sampel uji setelah pemadatan
- Wajan, spatula, kompor gas, sarung tangan dan kertas saringan (kertas kalender)

- Oven
- Timbangan
- Termometer



Gambar 3.25 Peralatan Pembuatan Benda Uji

2. Bahan

- Agregat kasar lolos saringan no. $\frac{3}{4}$ " dan $\frac{1}{2}$ "
- Aspal penetrasi 60/70
- Agregat halus lolos saringan no. 4 yaitu abu batu, pasir dan *tailing*
- Filler lolos saringan no. 200 yaitu semen dan *fly ash*



Gambar 3.26 Bahan Pembuatan Benda Uji

3. Persiapan Benda Uji

- Memanaskan agregat dan *filler* pada oven dengan suhu 115°C
- Menimbang wajan kosong pada neraca, lalu menambahkan agregat dan *filler* untuk mendapatkan hasil beratnya
- Menambahkan agregat dan *filler* yang hilang selama di oven dengan berat total agregat yaitu 1.110 gram

- Menambahkan aspal cair ke wajan bersama dengan agregat dan *filler* dengan kadar 7,5% sebanyak 90 gram
- Memasak aspal dengan agregat dan *filler* sampai tercampur dengan suhu 150°C



Gambar 3.27 Persiapan Benda Uji

4. Langkah Pembuatan Benda Uji

- Mempersiapkan alat penumbuk dan cetakan
- Melapisi cetakan menggunakan *gliserin* dan meletakkan kertas kalender
- Memasukkan campuran aspal ke dalam cetakan dengan cepat agar campuran aspal dalam keadaan panas
- Meletakkan kertas saringan diatas campuran aspal di dalam cetakan
- Memulai penumbukan sebanyak 75x setiap sisi sehingga total 150x
- Memberi nama atau kode dan mendinginkan benda uji dengan cetakan selama beberapa jam
- Mengeluarkan benda uji menggunakan dongkrak hidrolik
- Menimbang berat udara masing-masing benda uji
- Mengukur ketebalan benda uji
- Merendam benda uji selama 24 jam



Gambar 3.28 Pembuatan Benda Uji

3.3.4 Pengujian Marshall

a. Peralatan dan Bahan

- *Water bath*
- Termometer
- Satu set alat *marshall*
- Sampel benda uji aspal normal dan aspal modifikasi

b. Persiapan pengujian

- Menimbang berat dalam air dan SSD masing-masing benda uji
- Memasukkan benda uji ke *waterbath* selama 30 menit pada suhu 60°C

c. Pengujian Marshall

- Menempatkan benda uji pada bagian bawah alat penekan *marshall*
- Mengatur dial flow agar dalam posisi 0
- Menaikkan bagian kepala penekan hingga menyentuh cincin penguji
- Mengatur angka dial stabilitas dalam posisi 0

- Melakukan pembebanan sampel pada beban maksimum dengan pembacaan stabilitas dan flow



Gambar 3.29 Pengujian Marshall