

# **ANALISIS KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL BERONGGA MENGGUNAKAN PLASTIK HDPE**

## **TUGAS AKHIR**

Untuk Memenuhi Sebagian dari Syarat-syarat  
Yang Diperlukan untuk Memperoleh  
Ijazah Sarjana Teknik

Oleh :

ZULAIHA  
NIM: 1903120214



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH ACEH  
BATHOH - BANDA ACEH  
2022

## LEMBAR PENGESAHAN FAKULTAS

Tugas Akhir dengan judul “Analisis Karakteristik Campuran Aspal Berongga Menggunakan Plastik HDPE”, disusun oleh:

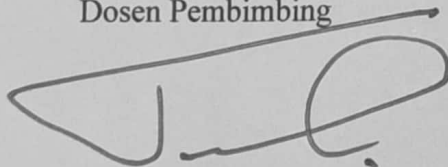
Nama Mahasiswa : Zulaiha  
NIM : 1903120214  
Program Studi : Teknik Sipil

Diajukan untuk memenuhi sebagian dari syarat-syarat yang diperlukan guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh, telah lulus pada tanggal 24 Februari 2022.

Banda Aceh, 24 Februari 2022

Disetujui Oleh,

Dosen Pembimbing



Ir. Tamalkhani, ST, M.Eng.Sc, IPM,  
ASEAN Eng

NIDN. 1327108201

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Ir. Tamalkhani, ST, M.Eng.Sc, IPM,  
ASEAN Eng

NIDN. 1327108201

Menyetujui/Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh



Dr. Ir. Hafnidar A. Rani, ST, MM, IPU, ASEAN Eng, ACPE

NIDN. 0104037002

## LEMBAR PENGESAHAN PROGRAM STUDI

Analisis Karakteristik Campuran Aspal Berongga Menggunakan Plastik HDPE

Disusun oleh

Nama Mahasiswa : Zulaiha  
NIM : 1903120214  
Program Studi : Teknik Sipil

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Strata-1 (S-1) di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh.

Tugas Akhir ini telah diperiksa dan disetujui oleh Dosen Pembimbing dan Dosen Penguji untuk disahkan.

Banda Aceh, 24 Februari 2022

Dosen Pembimbing

Ir. Tamalkhani, ST, M.Eng. Sc, IPM, ASEAN Eng  
NIDN. 1327108201

Dosen Penguji I

Cut Nawalul Azka, S.ST, MT. IPP  
NIDN. 1330019301

Dosen Penguji II

Agustiar, ST, MT. IPM  
NIDN. 0018087003

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Ir. Tamalkhani, ST, M.Eng.Sc, IPM, ASEAN Eng  
NIDN. 1327108201

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Zulaiha

Nim : 1903120214

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

1. Di dalam tugas akhir saya tidak terdapat bagian atau satu kesatuan yang utuh dari tugas akhir/skripsi, tesis, disertasi, buku atau bentuk lain yang saya kutip dari karya orang lain tanpa saya sebutkan sumbernya yang dapat dipandang sebagai tindakan penjiplakan.
2. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat reproduksi karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain yang dijadikan seolah-olah karya asli saya sendiri.
3. Apabila ternyata terdapat dalam tugas akhir saya bagian-bagian yang memenuhi unsur penjiplakan, maka saya menyatakan kesediaan untuk dibatalkan sebagian atau seluruhnya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya untuk dapat dipergunakan seperlunya.

Bathoh, 24 Februari 2022

Penulis,



**Zulaiha**  
1903120214

## KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat ALLAH SWT yang telah melimpahkan karunia-NYA sehingga penulis tugas akhir ini dapat diselesaikan pada waktunya.

Tugas akhir ini berjudul "Analisis Karakteristik Campuran Aspal Berongga Menggunakan Plastik HDPE" ditulis dalam rangka melengkapi dan memenuhi salah satu syarat yang diperlukan untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Sarjana Teknik sipil pada Universitas Muhammadiyah Aceh.

Dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan tugas akhir ini, penulis telah memperoleh bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak terutama pembimbing. Untuk itu penulis menyampaikan terima kasih yang tulus kepada Bapak Ir. Tamalkhani, ST, M.Eng.Sc, IPM, ASEAN Eng sebagai pembimbing.

Selanjutnya, pada kesempatan ini penulis juga menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ibu Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh Dr.Ir. Hafnidar A.Rani, ST, MM, IPU, ASEAN Eng, ACPE.
2. Bapak Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh Ir. Tamalkhani, ST, M.Eng.Sc, IPM, ASEAN Eng dan Ibu Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh Cut Nawalul Azka, S.ST, MT. IPP.
3. Tenaga Pengajar pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh.
4. Ibu Penguji Cut Nawalul Azka, S.ST, MT. IPP dan Bapak Penguji Agustiar, ST, MT. IPM yang telah memberikan banyak masukan untuk perbaikan tulisan ini.
5. Ibu, Ayah, Kakak dan Adik tercinta yang selalu berdoa dan memberikan dukungan untuk keberhasilan penulis.

6. Sahabat-sahabat seperjuangan Putri Para Junita, Saheh Bukhari, Rifa Anggraini, Amalia Zahratul Putri dan lainnya yang telah banyak membantu penulis hingga selesainya penulisan ini.

Akhir kata penulis berharap Allah SWT membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah membantu baik secara materil maupun doa kepada penulis. Akhir kata penulis mohon maaf dan terimakasih yang sebesar-besarnya. Semoga tulisan ini bermanfaat bagi para pembaca dan semua pihak yang membutuhkan, Aamiin.

Bathoh, 24 Februari 2022

Penulis,

**Zulaiha**  
1903120214

## **ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF ASPHALT MIXTURES HOLLOW USING HDPE PLASTIC**

By:

Zulaiha  
1903120214

Advisor

Ir. Tamalkhani, ST, M.Eng.Sc, IPM, ASEAN Eng

### **ABSTRACT**

Hollow asphalt is an asphalt mixture that has large air voids which makes hollow asphalt have a low stability value. To increase the stability value for hollow asphalt, other potential additives are needed, such as oyster shell waste and High Density Polyethylene (HDPE) waste. HDPE has high strength and stiffness so that it can strengthen the bond between aggregates and Oyster Shell (CT) has a behavior other than being a filler but also being able to bind because of the silica and lime content so that it can add reinforcement to the hollow asphalt mixture. The aims of the study were to determine the effect of substitution of CT filler and HDPE waste as a substitute for asphalt pen 60/70 and to determine the percentage variation that can be used in hollow asphalt mixtures by looking at the values of Cantabro Loss (CL), Void In Mix (VIM) and Asphalt Flow Down. (AFD). The method used is the Australian Asphalt Pavement Association (AAPA) in 2004. In this study, several variations of asphalt content were made to determine the Optimum Asphalt Content (KAO), namely 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% and 6.5%. AAPA states that the determination of KAO requires 3 (three) parameters, namely CL, VIM and AFD. After obtaining the KAO value, then making the test object from the KAO value with substitution variations of 0% CT: 100% PC, 50% CT: 50% PC and 100% CT: 0% PC from the total weight of the filler and HDPE variations of 2%, 4% and 6% of the total weight of asphalt. The results of this study obtained the KAO value of 5.8%. Based on the KAO value in the hollow asphalt mixture for each variation of CT and HDPE that meet the AAPA specifications, it is in the variation of 50% CT: 50% PC with HDPE content of 4% and 6%, with CL test values (32.67% and 6% respectively). 33.10% < 35%), VIM values (18.49% and 18.16% 18-25%), AFD values (0.09% and 0.10% < 0.3%) and stability values ( 761.95 kg and 789.25 kg 500 kg).

Keywords: Hollow Asphalt, Oyster Shell, High Density Polyethylene.

## ANALISIS KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL BERONGGA MENGGUNAKAN PLASTIK HDPE

Oleh:

Zulaiha  
1903120214

Pembimbing

Ir. Tamalkhani, ST, M.Eng.Sc, IPM, ASEAN Eng

### ABSTRAK

Aspal berongga merupakan campuran beraspal yang memiliki rongga udara yang besar yang membuat aspal berongga memiliki nilai stabilitas yang rendah. Untuk meningkatkan nilai stabilitas untuk aspal berongga diperlukan bahan tambah lain yang memiliki potensi seperti limbah cangkang tiram dan limbah *High Density Polyethylene* (HDPE). HDPE memiliki kekuatan yang tinggi dan kaku sehingga dapat memperkuat ikatan antar agregat dan Cangkang Tiram (CT) memiliki perilaku selain untuk pengisi (*filler*) juga mampu untuk mengikat karena kandungan silika dan kapur sehingga dapat menambah kekuatan terhadap campuran aspal berongga. Tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui pengaruh substitusi *filler* CT dan limbah HDPE sebagai substitusi aspal pen 60/70 dan untuk menentukan variasi persentase yang dapat digunakan dalam campuran aspal berongga dengan melihat nilai *Cantabro Loss* (CL), *Void In Mix* (VIM) dan *Asphalt Flow Down* (AFD). Metode yang digunakan yaitu *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) tahun 2004. Pada penelitian ini dibuat beberapa variasi kadar aspal untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) yaitu 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0% dan 6,5%. AAPA menyebutkan penentuan KAO mensyaratkan 3 (tiga) parameter yaitu CL, VIM dan AFD. Setelah didapatkan nilai KAO selanjutnya membuat benda uji dari nilai KAO dengan variasi substitusi 0% CT : 100% PC, 50% CT : 50% PC dan 100% CT : 0% PC dari berat total *filler* dan variasi HDPE sebesar 2%, 4% dan 6% terhadap berat total aspal. Hasil dari penelitian ini didapatkan nilai KAO yaitu 5,8%. Berdasarkan nilai KAO tersebut pada campuran aspal berongga untuk setiap variasi CT dan HDPE yang memenuhi spesifikasi AAPA adalah pada variasi 50% CT : 50% PC dengan kadar HDPE 4% dan 6%, dengan nilai masing-masing pengujian CL (32,67% dan 33,10% < 35%), nilai VIM (18,49% dan 18,16% ≥ 18-25%), nilai AFD (0,09% dan 0,10% < 0,3%) dan nilai stabilitas (761,95 kg dan 789,25 kg ≥ 500 kg).

**Kata Kunci:** *Aspal Berongga, Cangkang Tiram, High Density Polyethylene.*

## DAFTAR ISI

|                                                     | Halaman      |
|-----------------------------------------------------|--------------|
| <b>PENGESAHAN FAKULTAS .....</b>                    | <b>i</b>     |
| <b>PENGESAHAN PROGRAM STUDI.....</b>                | <b>ii</b>    |
| <b>PERNYATAAN .....</b>                             | <b>iii</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR .....</b>                         | <b>iv</b>    |
| <b>ABSTRAK .....</b>                                | <b>vi</b>    |
| <b>ABSTRCT .....</b>                                | <b>vii</b>   |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                              | <b>viii</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL.....</b>                            | <b>xi</b>    |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                           | <b>xii</b>   |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>                        | <b>xiii</b>  |
| <br><b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                   | <br><b>1</b> |
| <br><b>BAB II TINJAUAN KEPUSTAKAAN.....</b>         | <br><b>4</b> |
| 2.1 Pengertian Perkerasan Jalan .....               | 4            |
| 2.2 Aspal Berongga .....                            | 5            |
| 2.3 Aspal Modifikasi .....                          | 7            |
| 2.4 Bahan Penyusun Campuran Aspal Berongga.....     | 8            |
| 2.4.1 Agregat.....                                  | 8            |
| 2.4.2 Aspal .....                                   | 9            |
| 2.4.3 Limbah <i>High Density Polyethylene</i> ..... | 10           |
| 2.4.4 Bahan Pengisi ( <i>Filler</i> ) .....         | 10           |
| 2.4.5 Abu Cangkang Tiram (CT) .....                 | 10           |
| 2.5 Gradasi Agregat.....                            | 11           |
| 2.6 Karakteristik Campuran Aspal Berongga .....     | 12           |
| 2.7 Parameter Marshall .....                        | 12           |
| 2.7.1 Berat Volume ( <i>Density</i> ) .....         | 13           |
| 2.7.2 Stabilitas.....                               | 13           |

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.7.3 Kelelehan Plastis ( <i>Flow</i> ) .....                     | 14        |
| 2.7.4 <i>Marshall Qoutient</i> (MQ).....                          | 14        |
| 2.8 Parameter Metode AAPA .....                                   | 14        |
| 2.8.1 <i>Cantabro Loss</i> (CL) .....                             | 14        |
| 2.8.2 Rongga Dalam Campuran (VIM) .....                           | 15        |
| 2.8.3 <i>Asphalt Flow Down</i> (AFD) .....                        | 15        |
| 2.9 Penentuan Kadar Aspal Optimum Aspal Berongga.....             | 16        |
| 2.10 Penelitian Terdahulu .....                                   | 17        |
| <br><b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>                    | <b>19</b> |
| 3.1 Pengumpulan Data .....                                        | 19        |
| 3.2 Bahan dan Alat Penelitian .....                               | 19        |
| 3.3 Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat .....                         | 20        |
| 3.4 Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal .....                           | 21        |
| 3.5 Bahan Pengisi ( <i>Filler</i> ) .....                         | 22        |
| 3.6 Persiapan Abu Cangkang Tiram (CT).....                        | 22        |
| 3.7 Persiapan Limbah <i>High Density Polyethylene</i> (HDPE)..... | 23        |
| 3.8 Pembuatan Benda Uji.....                                      | 24        |
| 3.8.1 Pembuatan Benda Uji Untuk Penentuan KAO .....               | 25        |
| 3.8.2 Pembuatan Benda Uji Substitusi <i>Filler</i> dan HDPE .     | 26        |
| 3.8.3 Pengujian <i>Marshall</i> .....                             | 27        |
| 3.8.4 Pengujian <i>Void In Mix</i> (VIM) .....                    | 28        |
| 3.8.5 Pengujian <i>Cantabro Loss</i> (CL) .....                   | 28        |
| 3.8.6 Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> (AFD) .....              | 29        |
| 3.9 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) .....                     | 29        |
| <br><b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>                      | <b>31</b> |
| 4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat.....                    | 31        |
| 4.2 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal .....                     | 32        |
| 4.3 Hasil Pemeriksaan Gradasi.....                                | 32        |
| 4.4 Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) .....               | 34        |

|                                                                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.4.1 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tanpa Substitusi <i>Filler</i><br>dan <i>High Density Polyethylene</i> (HDPE)..... | 34        |
| 4.4.2 Hasil Pengujian VIM, CL dan AFD Untuk Penentuan<br>Kadar Aspal Optimum (KAO) .....                                 | 35        |
| 4.5 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> dengan Substitusi <i>Filler</i> dan <i>High<br/>Density Polyethylene</i> .....       | 38        |
| 4.5.1 Hasil <i>Density</i> dengan Substitusi <i>Filler</i> dan HDPE..                                                    | 38        |
| 4.5.2 Hasil Pengujian <i>Void In Mix</i> (VIM) dengan Substitusi<br><i>Filler</i> dan HDPE .....                         | 40        |
| 4.5.3 Hasil Stabilitas dengan Substitusi <i>Filler</i> dan HDPE                                                          | 41        |
| 4.5.4 Hasil <i>Flow</i> dengan Substitusi <i>Filler</i> dan HDPE.....                                                    | 42        |
| 4.5.5 Hasil <i>Marshall Qoutient</i> (MQ) dengan Substitusi<br><i>Filler</i> dan HDPE .....                              | 44        |
| 4.6 Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i> (CL) dengan Substitusi<br><i>Filler</i> dan HDPE .....                          | 45        |
| 4.7 Hasil Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> (AFD) dengan<br>Substitusi <i>Filler</i> dan HDPE.....                      | 47        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>                                                                                  | <b>49</b> |
| 5.1 Kesimpulan.....                                                                                                      | 49        |
| 5.2 Saran.....                                                                                                           | 50        |
| <b>DAFTAR KEPUSTAKAAN .....</b>                                                                                          | <b>51</b> |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                                        | Halaman |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Tabel 2.1 Syarat dan ketentuan campuran aspal berongga .....                                                           | 7       |
| Tabel 2.2 Persyaratan aspal modifikasi.....                                                                            | 8       |
| Tabel 2.3 Persyaratan sifat fisis agregat kasar dan halus .....                                                        | 9       |
| Tabel 2.4 Persyaratan sifat fisis aspal pen 60/70 .....                                                                | 10      |
| Tabel 2.5 Gradasi agregat campuran aspal berongga.....                                                                 | 12      |
| Tabel 2.6 Spesifikasi penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) .....                                                        | 17      |
| Tabel 2.7 Penelitian terdahulu.....                                                                                    | 17      |
| Tabel 3.1 Jumlah benda uji untuk penentuan KAO tanpa substitusi<br>CT dan HDPE .....                                   | 26      |
| Tabel 3.2 Jumlah benda uji substitusi CT dan HDPE .....                                                                | 26      |
| Tabel 3.3 Jumlah keseluruhan benda uji .....                                                                           | 27      |
| Tabel 4.1 Rekapitulasi hasil pemeriksaan sifat fisis agregat.....                                                      | 31      |
| Tabel 4.2 Rekapitulasi hasil pemeriksaan sifat fisis aspal .....                                                       | 32      |
| Tabel 4.3 Hasil pemeriksaan gradasi rencana .....                                                                      | 33      |
| Tabel 4.4 Komposisi campuran untuk penentuan KAO .....                                                                 | 34      |
| Tabel 4.5 Rekapitulasi hasil pengujian <i>Marshall</i> tanpa substitusi <i>filler</i> dan<br>HDPE.....                 | 35      |
| Tabel 4.6 Rekapitulasi hasil pengujian <i>cantabro loss</i> , <i>void in mix</i> dan<br><i>asphalt flow down</i> ..... | 36      |
| Tabel 4.7 Rekapitulasi hasil <i>density</i> dengan substitusi CT dan HDPE.....                                         | 38      |
| Tabel 4.8 Rekapitulasi hasil VIM dengan substitusi CT dan HDPE .....                                                   | 40      |
| Tabel 4.9 Rekapitulasi hasil Stabilitas dengan substitusi CT dan HDPE ...                                              | 41      |
| Tabel 4.10 Rekapitulasi hasil <i>flow</i> dengan substitusi CT dan HDPE .....                                          | 43      |
| Tabel 4.11 Rekapitulasi hasil nilai MQ dengan substitusi CT dan HDPE..                                                 | 44      |
| Tabel 4.12 Rekapitulasi hasil pengujian CL substitusi CT dan HDPE.....                                                 | 45      |
| Tabel 4.13 Rekapitulasi hasil pengujian AFD substitusi CT dan HDPE....                                                 | 47      |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                        | <b>Halaman</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Gambar 3.1 Perbedaan cangkang tiram sebelum ditumbuk dan<br>sesudah ditumbuk.....      | 23             |
| Gambar 3.3 Perbedaan HDPE sebelum dicacah dan sesudah<br>dicacah.....                  | 24             |
| Gambar 4.1 Grafik hasil pemeriksaan gradasi .....                                      | 33             |
| Gambar 4.2 Grafik penentuan kadar aspal optimum pada nilai CL.....                     | 36             |
| Gambar 4.3 Grafik penentuan kadar aspal optimum pada nilai VIM.....                    | 37             |
| Gambar 4.4 Grafik penentuan kadar aspal optimum pada nilai AFD.....                    | 37             |
| Gambar 4.5 Grafik pengaruh substitusi <i>filler</i> dan HDPE pada <i>density</i> ..... | 39             |
| Gambar 4.6 Grafik pengaruh substitusi <i>filler</i> dan HDPE pada VIM .....            | 40             |
| Gambar 4.7 Grafik pengaruh substitusi <i>filler</i> dan HDPE pada stabilitas....       | 42             |
| Gambar 4.8 Grafik pengaruh substitusi <i>filler</i> dan HDPE pada <i>flow</i> .....    | 43             |
| Gambar 4.9 Grafik pengaruh substitusi <i>filler</i> dan HDPE pada MQ .....             | 44             |
| Gambar 4.10 Grafik pengaruh substitusi <i>filler</i> dan HDPE pengujian CL...          | 46             |
| Gambar 4.11 Grafik pengaruh substitusi <i>filler</i> dan HDPE pengujian AFD            | 47             |

## DAFTAR LAMPIRAN GAMBAR

| LAMPIRAN A                                                                                                       | Halaman |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Gambar A.3.1 Bagan alir penelitian.....                                                                          | 53      |
| Gambar A.3.2 Peta Provinsi Aceh .....                                                                            | 54      |
| Gambar A.3.3 Peta lokasi pengambilan agregat .....                                                               | 55      |
| Gambar A.3.4 Peta lokasi pengambilan limbah cangkang tiram .....                                                 | 55      |
| Gambar A.3.5 Peta lokasi pengambilan limbah HDPE .....                                                           | 56      |
| Gambar A.3.6 Peta lokasi penelitian .....                                                                        | 56      |
| Gambar A.3.7 Bahan yang digunakan .....                                                                          | 57      |
| Gambar A.3.8 Alat yang digunakan .....                                                                           | 58      |
| Gambar A.3.9 Alat yang digunakan .....                                                                           | 59      |
| Gambar A.3.11 Analisis agregat .....                                                                             | 61      |
| Gambar A.3.12 Proses pengolahan abu cangkang tiram .....                                                         | 62      |
| Gambar A.3.13 Proses pengolahan limbah HDPE.....                                                                 | 63      |
| Gambar A.3.14 Proses pengujian sifat fisis agregat dan aspal .....                                               | 64      |
| Gambar A.3.15 Proses pembuatan benda uji .....                                                                   | 65      |
| Gambar A.3.16 Proses pembuatan benda uji .....                                                                   | 66      |
| Gambar A.3.17 Proses pembuatan benda uji untuk pengujian <i>marshall</i> ...                                     | 67      |
| Gambar A.3.18 Proses pengujian CL .....                                                                          | 68      |
| Gambar A.3.19 Proses pengujian AFD .....                                                                         | 69      |
| Gambar A.4.1 Grafik hubungan kadar aspal pengujian <i>marshall</i> tanpa substitusi <i>filler</i> dan HDPE ..... | 70      |
| Gambar A.4.2 Grafik nilai <i>density</i> dengan substitusi <i>filler</i> dan HDPE .....                          | 71      |
| Gambar A.4.3 Grafik nilai VIM dengan substitusi <i>filler</i> dan HDPE .....                                     | 72      |
| Gambar A.4.4 Grafik nilai stabilitas dengan substitusi <i>filler</i> dan HDPE....                                | 73      |
| Gambar A.4.5 Grafik nilai <i>flow</i> dengan substitusi <i>filler</i> dan HDPE.....                              | 74      |
| Gambar A.4.6 Grafik nilai MQ dengan substitusi <i>filler</i> dan HDPE .....                                      | 75      |
| Gambar A.4.7 Grafik Pengujian CL dengan substitusi <i>filler</i> dan HDPE....                                    | 76      |
| Gambar A.4.8 Grafik pengujian AFD dengan substitusi <i>filler</i> dan HDPE .                                     | 77      |

## DAFTAR LAMPIRAN TABEL

| <b>LAMPIRAN B</b>                                                      | <b>Halaman</b> |
|------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Tabel B.2.1 Kode Jenis Plastik .....                                   | 78             |
| Tabel B.2.2 Angka Koreksi Benda Uji .....                              | 79             |
| Tabel B.4.1 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat ..... | 80             |
| Tabel B.4.2 Hasil Pemeriksaan ImpCT Agregat .....                      | 80             |
| Tabel B.4.3 Hasil Keausan Agregat.....                                 | 80             |
| Tabel B.4.4 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen. 60/70.....        | 80             |

## DAFTAR LAMPIRAN PERHITUNGAN

| LAMPIRAN C                                                                             | Halaman |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Tabel C.4.1 Hasil Pemeriksaan Indeks Kepipihan Agregat.....                            | 81      |
| Tabel C.4.2 Hasil Pemeriksaan Indeks Kelonjongan Agregat.....                          | 81      |
| Tabel C.4.3 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen. 60/70.....                          | 81      |
| Tabel C.4.4 Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen. 60/70.....                         | 81      |
| Tabel C.4.5 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen. 60/70.....                       | 82      |
| Tabel C.4.6 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen. 60/70 + 2% HDPE....                 | 82      |
| Tabel C.4.7 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen. 60/70 + 4% HDPE....                 | 82      |
| Tabel C.4.8 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen. 60/70 + 6% HDPE....                 | 83      |
| Tabel C.4.9 Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen. 60/70 + 2% HDPE...                 | 83      |
| Tabel C.4.10 Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen. 60/70 + 4% HDPE...                | 83      |
| Tabel C.4.11 Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen. 60/70 + 6% HDPE...                | 83      |
| Tabel C.4.12 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal 60/70+2% HDPE.....                   | 84      |
| Tabel C.4.13 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal 60/70+4% HDPE.....                   | 84      |
| Tabel C.4.14 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal 60/70+6% HDPE.....                   | 85      |
| Tabel C.4.15 Komposisi Campuran 0% CT:100% PC dan 2,4,6% HDPE ....                     | 85      |
| Tabel C.4.16 Komposisi Campuran 50% CT:50% PC dan 2,4,6% HDPE ....                     | 86      |
| Tabel C.4.17 Komposisi Campuran 100% CT:0% PC dan 2,4,6% HDPE ....                     | 87      |
| Tabel C.4.18 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tanpa Substitusi <i>Filler</i> dan HDPE . | 88      |
| Tabel C.4.19 Hasil Pengujian CL Tanpa Substitusi <i>Filler</i> dan HDPE .....          | 89      |
| Tabel C.4.20 Hasil Pengujian AFD Tanpa Substitusi <i>Filler</i> dan HDPE .....         | 90      |
| Tabel C.4.21 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Dengan <i>filler</i> 0% CT:100% PC.....   | 91      |
| Tabel C.4.22 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Dengan <i>filler</i> 50% CT:50% PC.....   | 92      |
| Tabel C.4.23 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Dengan <i>filler</i> 100% CT:0% PC.....   | 93      |
| Tabel C.4.24 Hasil Pengujian CL Dengan <i>Filler</i> 0% CT:100% PC.....                | 94      |
| Tabel C.4.25 Hasil Pengujian CL Dengan <i>Filler</i> 50% CT:50% PC.....                | 95      |
| Tabel C.4.26 Hasil Pengujian CL Dengan <i>Filler</i> 100% CT:0% PC.....                | 96      |
| Tabel C.4.27 Hasil Pengujian AFD Dengan <i>Filler</i> 0% CT:100% PC.....               | 97      |

|              |                                                                                |    |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel C.4.28 | Hasil Pengujian AFD Dengan <i>Filler</i> 50% CT:50% PC .....                   | 97 |
| Tabel C.4.29 | Hasil Pengujian AFD Dengan <i>Filler</i> 100% CT:0% PC .....                   | 98 |
| Tabel C.4.30 | Rekapitulasi Hasil Pengujian Tanpa Substitusi.....                             | 99 |
| Tabel C.4.31 | Rekapitulasi Hasil Pengujian Dengan Substitusi <i>Filler</i> dan<br>HDPE ..... | 99 |

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

Prasarana jalan merupakan infrastruktur transportasi darat yang sangat penting dalam menunjang berbagai aktivitas dan menunjang perkembangan perekonomian di Indonesia. Dengan bertambahnya jumlah penduduk maka pembangunan prasarana jalan juga semakin bertambah, sehingga lahan untuk resapan air kedalam tanah semakin berkurang. Oleh karena itu perlu ada hal yang baru untuk pembangunan jalan yang ramah terhadap lingkungan salah satunya adalah aspal berongga (aspal berpori).

Aspal berongga (pori) sudah banyak digunakan di negara-negara maju seperti: Belanda, Spanyol, Belgia, Inggris, Australia, Amerika Serikat juga Jepang, Singapura, Jerman, Prancis dan Malaysia, sedangkan di Indonesia belum banyak digunakan khususnya di daerah Aceh dan sebenarnya sangat dibutuhkan karena di Indonesia memiliki curah hujan yang sangat tinggi, sehingga aspal berongga dapat menjadi solusinya.

Pemilihan aspal berongga pada lapisan permukaan adalah salah satu cara untuk mengatasi terjadinya genangan air dipermukaan jalan yang diakibatkan oleh curah hujan yang tinggi sehingga dapat mengganggu keselamatan di jalan. Dimana aspal berongga itu sendiri merupakan campuran aspal yang memiliki gradasi terbuka didominasi oleh persentase agregat kasar yang tinggi, persentase agregat halus yang rendah, sehingga struktur yang dihasilkan memiliki rongga udara yang besar. Rongga yang besar membuat aspal berongga memiliki nilai permeabilitas yang tinggi namun memiliki nilai stabilitas yang rendah. Untuk meningkatkan nilai stabilitas diperlukan bahan tambah lain yang memiliki potensi seperti limbah cangkang tiram sebagai *filler* dan limbah HDPE (*High Density Polyethylene*) sebagai substitusi aspal pen 60/70.

Pada penelitian ini limbah cangkang tiram merupakan limbah yang diambil dari tempat pembudidayaan kerang tiram yang berada di Gampong Alue Naga, Kecamatan Syiah Kuala, Banda Aceh yang belum diolah atau dimanfaatkan secara optimal. Cangkang tiram mempunyai sifat kimia yang mengandung kapur

67,072% dan silika 8,252% (Bunyamin, 2021). Zat kapur bertujuan untuk keawetan suatu perkerasan jalan, sedangkan silika bertujuan mengunci antar agregat. Pada penelitian ini Cangkang Tiram (CT) disubstitusikan dengan *Portland Cement* (PC) sebagai *filler* dengan persentase 0% CT : 100% PC, 50% CT : 50% PC dan 100% CT : 0% PC terhadap berat total *filler*.

Limbah HDPE (*High Density Polyethylene*) merupakan salah satu jenis plastik yang dapat didaur ulang dan memiliki kode nomor 2 pada simbol daur ulang. Contoh limbah HDPE yaitu botol-botol plastik bekas wadah sampo, *lotion*, deterjen yang bertanda HDPE-2. Limbah HDPE dalam penelitian ini disubstitusikan dengan aspal pen 60/70, dengan persentase 2%, 4% dan 6% terhadap berat total aspal.

Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh substitusi *filler* cangkang tiram dan limbah HDPE sebagai substitusi aspal pen 60/70 dan untuk menentukan variasi persentase yang dapat digunakan dalam campuran aspal berongga dengan melakukan pengujian *Cantabro Loss* (CL), *Void In Mix* (VIM) dan *Asphalt Flow Down* (AFD). Manfaat dari penelitian ini menambah pengetahuan tentang material perkerasan jalan Cangkang Tiram (CT) sebagai alternatif substitusi *filler* dan limbah HDPE sebagai substitusi aspal pen 60/70 serta untuk meningkatkan nilai guna dari limbah cangkang tiram dan limbah HDPE khususnya pada campuran aspal berongga. Penelitian dilakukan di Laboratorium Transportasi Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh, Batoh-Banda Aceh. Gradasi yang digunakan adalah gradasi campuran aspal berongga (gradasi terbuka) berdasarkan metode AAPA 2004.

Agregat yang digunakan diperoleh dari mesin pemecah batu di Indrapuri, Kpaten Aceh Besar dan untuk bahan pengikat yang digunakan adalah aspal pen. 60/70 produksi Pertamina, sedangkan HDPE yang digunakan didapat dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) pusat daur ulang sampah plastik Bank Sampah Induk Sadar Mandiri Aceh, Gampong Jawa yang telah dipilah, dibersihkan dan dicacah.

Pengujian untuk penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) menggunakan metode *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA 2004) dengan

parameter nilai *Cantabro Loss* (CL), *Void In Mix* (VIM) dan *Asphalt Flow Down* (AFD). Pada tahap awal penelitian dilakukan pembuatan benda uji untuk menentukan KAO dengan kadar aspal yang digunakan 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% tanpa variasi substitusi *filler* dan HDPE. Setelah didapat Kadar Aspal Optimum (KAO) maka dilanjutkan dengan pembuatan benda uji menggunakan substitusi *filler* persentase 0% CT : 100% PC, 50% CT : 50% PC dan 100% CT : 0% PC dan persentase HDPE 2%, 4% dan 6%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk campuran aspal berongga adalah 5,8%. Setelah KAO didapat selanjutnya dibuat benda uji menggunakan KAO berdasarkan substitusi *filler* dengan persentase 0% CT : 100% PC dan penggunaan HDPE persentase 2%, 4% dan 6% dengan hasil yang diperoleh untuk VIM masing-masing 22,88%, 18,73% dan 18,38%, untuk nilai CL masing-masing 34,03%, 34,57% dan 35,52%, nilai AFD masing-masing 0,12%, 0,11%, dan 0,09% dengan nilai stabilitas masing-masing 604,92 kg, 778,06 kg dan 789,47 kg. Hasil substitusi *filler* persentase 50% CT : 50% PC dengan 2%, 4% dan 6% HDPE yaitu nilai VIM masing-masing 21,88%, 18,49% dan 18,16%, untuk nilai CL masing-masing 30,17%, 32,67% dan 33,10%, nilai AFD masing-masing 0,16%, 0,09% dan 0,10% dengan nilai stabilitas masing-masing 492,92 kg, 761,95 kg dan 789,25 kg. Hasil substitusi *filler* persentase 100% CT : 0% PC dengan 2%, 4% dan 6% HDPE diperoleh nilai VIM masing-masing 21,49%, 21,28% dan 17,80%, untuk nilai CL masing-masing 19,89%, 21,70% dan 22,95%, nilai AFD masing-masing 0,21%, 0,13% dan 0,10% dengan stabilitas 466,96 kg, 489,45 kg dan 581,81 kg.

Dari hasil yang didapatkan persentase terbaik campuran Cangkang Tiram (CT) sebagai substitusi *filler* dan *High Density Polyethylene* (HDPE) sebagai substitusi aspal pen. 60/70 yaitu pada 50% CT : 50% PC dengan 4% dan 6% HDPE, dengan demikian bahan limbah tersebut dapat dimanfaatkan untuk campuran aspal khususnya aspal berongga (pori).

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini diuraikan mengenai beberapa landasan teori dan rumusan yang dikutip dari hasil penelitian terdahulu dan pendapat para ahli yang akan digunakan sebagai bahan dasar referensi dan acuan yang berkaitan dengan penelitian ini.

#### **2.1 Pengertian Perkerasan Jalan**

Sukirman (2003) berpendapat bahwa perkerasan jalan merupakan suatu komponen yang sangat penting dalam memenuhi kelancaran pergerakan lalu lintas. Perkerasan jalan dilihat dari bahan pengikatnya terdiri dari tiga jenis, yaitu sebagai berikut :

1. Perkerasan kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku adalah jenis perkerasan yang menggunakan lapisan pelat beton baik menggunakan tulangan atau tanpa tulangan yang diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa pondasi bawah. Beban yang bekerja atau yang melintasi lapisan perkerasan kaku sebagian besar dipikul oleh pelat beton tersebut.

2. Perkerasan lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan lentur adalah jenis perkerasan yang menggunakan bahan aspal sebagai pengikat untuk lapisan perkerasan. Perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan diatas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi sebagai penerima beban lalu lintas dan menyebarkan ke lapisan dibawahnya.

3. Perkerasan komposit (*Composite Pavement*)

Perkerasan komposit adalah kombinasi antara konstruksi perkerasan lentur dengan konstruksi perkerasan kaku. Dalam kombinasi tersebut, perkerasan kaku dapat diletakkan di atas perkerasan lentur atau juga sebaliknya.

## 2.2 Aspal Berongga

Watson (2003) menyatakan bahwa campuran aspal berongga awalnya dikenal sebagai jenis campuran *opengraded friction courses* yang telah digunakan sejak tahun 1950 di Amerika Serikat untuk meningkatkan kekesatan perkerasan beraspal. Banyak nama lain yang digunakan untuk campuran beraspal porus, seperti: *drain asphalt* di Perancis, *whispering asphalt* di Jerman, dan *Popcorn mix* di Amerika Serikat (Hardiman, 2004).

Gasruddin (2019) aspal berongga adalah aspal yang dicampur dengan agregat tertentu yang setelah dipadatkan mempunyai 10-25% pori-pori udara. Aspal berongga umumnya memiliki nilai stabilitas Marshall yang lebih rendah dari aspal beton yang menggunakan gradasi rapat, stabilitas Marshall akan meningkat bila gradasi terbuka yang digunakan lebih banyak fraksi halus.

Aspal berongga merupakan salah satu alternatif untuk meningkatkan keselamatan di jalan dan mengurangi kebisingan (*noise reduction*). Aspal berongga didesain untuk mendapatkan kadar rongga yang besar untuk meneruskan aliran air ke saluran samping dan lapisan dasar yang kedap air untuk mencegah air meresap ke lapis *subbase* dan badan jalan sehingga genangan air di atas permukaan jalan yang seringkali terjadi setelah hujan dan mengganggu kelancaran arus lalu lintas dapat diminimalisir. Kondisi ini dimungkinkan karena gradasi yang digunakan merupakan gradasi terbuka yang memiliki fraksi agregat kasar tidak kurang dari 85% dari berat total campuran (Gasruddin, 2019).

Aspal berongga merupakan campuran beraspal panas bergradasi terbuka dengan persentase agregat kasar yang besar, persentase agregat halus yang kecil, sehingga menyediakan rongga udara yang besar. Rongga udara ini diharapkan dapat meloloskan air jika hujan, sehingga air tidak tergenang di permukaan jalan (Diana, 1995).

Sanusi (2008) menyebutkan campuran aspal berongga merupakan generasi baru dalam perkerasan lentur, yang membolehkan air meresap ke dalam lapisan atas *wearing course* secara vertikal dan horizontal. Djumari (2009) menyebutkan perkerasan aspal berongga mempunyai sistem drainase ganda yaitu pengaliran air

terlaksana lewat permukaan dan oleh lapisan itu sendiri, yakni melalui pori-pori yang dimilikinya memungkinkan air dapat langsung meresap masuk kedalam lapisan, mengalir menuju ke bagian tepi badan jalan dan kemudian masuk ke saluran samping.

Gasruddin (2019) menyatakan penggunaan aspal berongga telah digunakan sebagai lapisan permukaan jalan pada daerah pedestrian seperti tempat-tempat pejalan kaki (pedestrian walkways) ditaman-taman, trotoar dan untuk kendaraan ringan (*light vehicle*).

Djumari (2009) menyebutkan bahwa penggunaan campuran aspal berongga pada lapisan permukaan memiliki beberapa keuntungan, yaitu sebagai berikut:

1. Dapat mengurangi *aquaplaning* apabila permukaan aspal basah akibat tingginya kadar pori dalam campuran aspal;
2. Permukaan campuran aspal berongga sangat kasar dan kesat, oleh karena itu didominasi agregat kasar sehingga permukaannya memiliki *skid resistance* tinggi yang dapat mengurangi kecelakaan lalu lintas berupa slipnya ban kendaraan diatas permukaan jalan;
3. Terjadi untaian pori yang membentuk saluran drainase yang mampu meresap air pada arah vertikal dan mengalirkannya ke saluran samping jalan sehingga air tidak mempengaruhi lapisan *sub base*;
4. Dapat meredam kebisingan 3-4 dB dimana kebisingan tersebut diredam oleh rongga-rongga yang ada dalam aspal;
5. Lokalisir penyebaran api.

Penggunaan campuran aspal berongga juga memiliki beberapa kerugian yang menyebabkan kurangnya penggunaan campuran ini pada lapisan permukaan, beberapa kerugian tersebut adalah:

1. Tingginya kadar rongga didalam campuran aspal menyebabkan stabilitas aspal berongga menurun sehingga perlu mempertimbangkan penggunaan lebih cermat pada lalu lintas yang tinggi;
2. Dengan besarnya rongga yang ada dalam perkerasan menyebabkan resiko terhadap bahaya *pumping* oleh lalu lintas;

3. Peluang terjadinya kerusakan pada perkerasan sangat tinggi karena udara memasuki rongga campuran aspal, sehingga terjadi proses oksidasi pada aspal yang menyebabkan aspal menjadi lapuk;
4. Kemungkinan bahaya *desintegrasi* perkerasan akan terjadi akibat kurangnya peristiwa *interlocking* oleh karena penggunaan agregat kasar dalam jumlah yang besar dan dibatasinya agregat halus.

Syarat dan ketentuan aspal berongga yang dikutip dari *Australian Asphalt Pavement Association* (2004), dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1 Syarat dan Ketentuan Campuran Aspal Berongga

| No | Kriteria Perencanaan             | Nilai      |
|----|----------------------------------|------------|
| 1  | Uji <i>cantabro loss</i> (%)     | < 35       |
| 2  | Uji <i>asphalt flow down</i> (%) | < 0,3      |
| 3  | Stabilitas marshall (kg)         | $\geq 500$ |
| 4  | Kelelehan plastis (mm)           | 2 – 6      |
| 5  | Kadar rongga udara (%)           | 18 – 25    |
| 6  | <i>Marshall qoutient</i> (kg/mm) | < 400      |
| 7  | Jumlah tumbukan perbidang        | 50         |

Sumber : AAPA (2004)

## 2.3 Aspal Modifikasi

Aspal modifikasi adalah aspal yang dibuat dengan mencampur aspal keras dengan suatu bahan tambah yang diharapkan untuk meningkatkan sifat-sifat dari aspal tersebut. Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai modifikasi aspal yaitu polimer. Penggunaan polimer sebagai bahan untuk memodifikasi aspal terus berkembang di dalam dekade terakhir yang diharapkan dapat memberikan ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi dan umur konstruksi, serta mengatasi keretakan sehingga dihasilkan kinerja jalan yang lebih tahan lama (Pei-Hung, 2000).

Menurut Edison (2010) aspal polimer adalah suatu material yang dihasilkan dari modifikasi antara aspal keras dengan polimer alam atau polimer sintesis, polimer tersebut terdiri atas plastomer dan elastomer. Contoh plastomer (plastik) antara lain *Polypropylene* (PP) dan *Polyethylene* (PS), sedangkan elastomer antara lain aspal karet alam dan *Styrene Butadiene Styrene* (SBS). Penggunaan polimer plastomer telah dilakukan untuk meningkatkan mutu aspal yang dikembangkan beberapa dekade terakhir, umumnya dengan sedikit penambahan bahan polimer (biasanya 2-6%). Pembuatan polimer elastomer seperti aspal karet dengan bahan tambah berupa lateks akan timbul masalah yaitu : terjadi pelepasan gas amoniak dan buih yang dapat membahayakan bagi pekerja di lapangan. Persyaratan aspal modifikasi dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Persyaratan Aspal Modifikasi

| No. | Jenis Pengujian      | Standar          | Aspal Penetrasi 60-70 | Aspal Modifikasi |
|-----|----------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| 1.  | Penetrasi pada 25°C  | SNI 06-2456-1991 | 60-70                 | Min.50           |
| 2.  | Titik Lembek (°C)    | SNI 06-2434-1991 | ≥48                   | ≥54              |
| 3.  | Daktilitas pada 25°C | SNI-06-2432-1991 | ≥100                  | ≥100             |
| 4.  | Berat Jenis          | SNI-06-2441-1991 | ≥1,0                  | ≥1,0             |

Sumber : Bina Marga (2018)

## 2.4 Bahan Penyusun Campuran Aspal Berongga

Bahan penyusun campuran sangat penting dalam campuran aspal berongga. Bahan tersebut terdiri dari Agregat (agregat halus dan agregat kasar), aspal, bahan pengisi atau *filler*, Cangkang Tiram (CT) dan limbah *High Density Polyethylene* (HDPE).

### 2.4.1 Agregat

Sukirman (2003) menyatakan bahwa agregat sebagai batu pecah, kerikil, pasir, atau komposisi mineral lainnya, baik yang berupa hasil pengolahan (penyaringan, pemecahan) yang merupakan bahan baku utama konstruksi

perkerasan jalan. Agregat mengisi 90-95% berat campuran atau 75-85% volume campuran. Oleh karena itu perlu diperhatikan dengan baik kualitas agregat yang akan dipakai, yaitu dengan memperhatikan sifat-sifat dari agregat tersebut seperti gradasi dan ukuran butir, kebersihan, bentuk dan tekstur permukaan, kekuatan dan porositas. Agregat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu agregat kasar yang tertahan pada saringan No. 4 (4,75 mm) dan agregat halus yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm). Beberapa persyaratan agregat untuk lapisan permukaan jalan disajikan pada Tabel 2.3 di bawah ini:

Tabel 2.3 Persyaratan Sifat Fisis Agregat Kasar dan Halus

| <b>Pengujian Agregat Kasar</b>  | <b>Standar</b>     | <b>Nilai</b> |
|---------------------------------|--------------------|--------------|
| Abrasi dengan mesin Los Angeles | SNI 2417-2008      | Maks. 40%    |
| Kepipihan                       | ASTM D-4791        | Maks. 10%    |
| Kelonjongan                     | ASTM D-4791        | Maks. 10%    |
| Berat jenis                     | SNI03-1969-1991    | Min 2,5      |
| Penyerapan                      | SNI 03-4142-1996   | Maks. 2 %    |
| <i>ImpCT</i>                    | SNI03-1969-1991    |              |
| <b>Pengujian Agregat Halus</b>  | <b>Standar</b>     | <b>Nilai</b> |
| Material lolos saringan no.200  | SNI ASTM C117-2012 | Maks. 10%    |
| Berat jenis                     | SNI 03-1970-2008   | Min 2,5      |

Sumber : Bina Marga (2018)

## 2.4.2 Aspal

Sukirman (2003) berpendapat bahwa aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat dan bersifat termoplastis. Aspal akan mencair jika dipanaskan sampai dengan temperatur tertentu, dan kembali membeku jika temperatur turun. Menurut Sukirman (1999) aspal yang digunakan dalam konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai: bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara aspal itu sendiri.

Aspal berdasarkan jenisnya dapat dibedakan atas: aspal emulsi, aspal cair, dan aspal semen. Aspal semen (aspal keras) banyak tipe ditentukan berdasarkan nilai penetrasinya seperti: aspal penetrasi 40/50, aspal penetrasi 60/70, aspal penetrasi 85/100, aspal penetrasi 120/150 dan aspal penetrasi 200/300. Persyaratan sifat fisis aspal pen 60/70 dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4 Persyaratan Sifat Fisis Aspal Pen 60/70

| No. | Sifat-sifat Fisis Aspal       | Standar         | Syarat     |
|-----|-------------------------------|-----------------|------------|
| 1.  | Berat jenis (25°C)            | SNI 2441-1-2011 | $\geq 1,0$ |
| 2.  | Penetrasi 25°C (% semula)     | SNI-2456-2011   | 60-70      |
| 3.  | Daktilitas (25°C; 5 cm/detik) | SNI 2432 – 2011 | $\geq 100$ |
| 4.  | Titik lembek (°C)             | SNI 2434 – 2011 | $\geq 48$  |

Sumber : Bina Marga (2018)

#### 2.4.3 Limbah *High Density Polyethylene* (HDPE)

Limbah HDPE (*High Density Polyethylene*) merupakan salah satu jenis plastik yang terbuat dari minyak bumi yang dapat didaur ulang dan memiliki kode nomor 2 pada simbol daur ulang. Contoh limbah HDPE yaitu botol-botol plastik bekas wadah sampo, *lotion*, deterjen yang bertanda HDPE-2. Dengan menambahkan limbah plastik HDPE pada aspal akan menaikkan titik lembeknya, sehingga menjadikan aspal modifikasi lebih tahan terhadap perubahan cuaca.

Rahman (2013) pada studi sifat reologi aspal pen rendah dan tinggi yang dimodifikasi limbah tas plastik (HDPE) menyebutkan bahwa kualitas aspal yang dimodifikasi dengan plastik menghasilkan sifat yang lebih baik dibandingkan aspal murni. Tahir dan setiawan (2009) berpendapat bahwa penambahan HDPE pada aspal porus dapat menaikkan nilai stabilitas, dimana stabilitas erat kaitannya dengan kerusakan jalan akibat beban yang berlebihan oleh kendaraan. Adapun jenis-jenis kode plastik dapat dilihat pada Lampiran B Tabel B.2.1 Halaman 71.

#### 2.4.4 Bahan Pengisi (*Filler*)

Sukirman (2003) berpendapat bahwa *filler* merupakan sekumpulan mineral agregat yang umunya lolos saringan No. 200. Fungsi dari *filler* dalam campuran aspal dengan agregat adalah mengisi rongga-rongga (*voids*) diantara agregat kasar sehingga rongga udara menjadi lebih kecil dan kerapatan massanya menjadi lebih besar, dengan bubuk isian yang berbutir halus maka luas permukaan butir akan bertambah, sehingga luas bidang kontak yang ditimbulkan antara butiran juga akan bertambah luas, yang diakibatkan tahanan terhadap gaya geser menjadi lebih

besar yang selanjutnya stabilitas geseran akan bertambah. *Filler* yang digunakan pada penelitian ini yaitu variasi antara Cangkring Tiram (CT) dengan *Portland Cement* (PC).

#### 2.4.5 Cangkring Tiram (CT)

Tiram adalah sekelompok kerang-kerangan dengan cangkang berkapur dan relatif pipih, tiram merupakan hewan yang ditemukan dilingkungan laut yang hidupnya dengan cara menempelkan diri pada substrak seperti batu, akar, batang mangrove serta substrak keras lainnya (Ruwa, 1989).

Bunyamin (2021) menyatakan bahwa cangkang tiram mempunyai sifat kimia yang mengandung kapur 67,072% dan silika 8,252%. Dimana zat kapur bertujuan untuk keawetan suatu perkerasan jalan, sedangkan silika bertujuan mengunci antar agregat.

### 2.5 Gradasi Agregat

Bukhari (2007) mendefinisikan gradasi agregat merupakan distribusi partikel-partikel agregat berdasarkan ukurannya yang saling mengisi dan membentuk suatu ikatan saling mengunci (*interlocking*) sehingga dapat mempengaruhi stabilitas perkerasan. Gradasi agregat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gradasi campuran aspal porus (gradasi terbuka) dengan menggunakan ukuran maksimum 14 mm.

Sukirman (1999) mengemukakan bahwa gradasi agregat atau distribusi agregat dapat dibedakan menjadi:

1. Gradasi seragam (*uniform graded*) yaitu agregat yang ukuran hampir sama dan mengandung agregat halus yang sedikit jumlahnya sehingga tidak mengisi rongga antar agregat. Agregat dengan gradasi seragam akan menghasilkan lapisan perkerasan yang bersifat permeabilitas tinggi dan stabilitas kurang. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka (*open graded*).

2. Gradasi rapat (*dense graded*) yaitu campuran agregat kasar dan halus dalam porsi berimbang sehingga menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas tinggi, kedap air dan bervolume besar.

Persyaratan gradasi agregat yang dikutip dari *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) pada tahun 2004, dapat dilihat pada Tabel 2.5 di bawah ini:

Tabel 2.5 Gradasi Agregat Campuran Aspal Berongga

| Ukuran Ayakan (inch) | Ukuran Ayakan (mm) | % Berat yang Lolos  |
|----------------------|--------------------|---------------------|
|                      |                    | Agregat maks. 14 mm |
| ¾"                   | 19,0               | 100                 |
| ½"                   | 13,2               | 85 – 100            |
| 3/8"                 | 9,5                | 45 – 70             |
| 1/4"                 | 6,7                | 25 – 45             |
| No. 4                | 4,75               | 10 – 25             |
| No. 8                | 2,36               | 7 – 15              |
| No. 16               | 1,18               | 6 – 12              |
| No. 30               | 0,6                | 5 – 10              |
| No. 50               | 0,3                | 4 – 8               |
| No. 100              | 0,15               | 3 – 7               |
| No. 200              | 0,075              | 2 – 5               |
| Total                |                    | 100                 |
| Kadar Aspal          |                    | 4,5 – 6,5           |

Sumber : AAPA (2004)

## 2.6 Karakteristik Campuran Aspal Berongga

Diana (2004) menyatakan karakteristik yang disyaratkan untuk campuran aspal berongga adalah: *density*, stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient* (MQ), permeabilitas, dan keawetan (*durability*). Aspal porus sangat terkait dengan perilaku dan sifat-sifat campuran beraspal yang menggunakan gradasi agregat dengan jumlah fraksi kasar  $\pm 85\%$  terhadap berat total campuran sehingga struktur yang dihasilkan lebih terbuka dan berongga.

*Australian Asphalt Pavement Association* (2004) menyebutkan bahwa penentuan kadar aspal optimum (KAO) mensyaratkan tiga parameter yaitu *cantabro loss* (ketahanan terhadap pelepasan butir), *Void In Mix* (kadar rongga didalam campuran) dan *asphalt flow down* (aliran aspal ke bawah).

## 2.7 Parameter Marshall

Sukirman (2003) mengemukakan metode campuran yang paling banyak digunakan di Indonesia saat ini adalah suatu metode rancangan campuran berdasarkan pengujian empiris yaitu dengan menggunakan alat marshall, uji marshall merupakan tahapan penting dalam penentuan karakteristik campuran beraspal.

### 2.7.1 Berat Volume (*Density*)

Berat volume merupakan perbandingan antara berat kering benda uji dengan berat air pada volumenya. Menurut Bukhari (2007) berat volume dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$q = c / f \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

$q = \text{density (kg/cm}^3\text{)}$

$c = \text{berat kering (gr)}$

$f = \text{volume benda uji (cm}^3\text{)}, f = d - e$

$d = \text{berat dalam kering keadaan jenuh permukaan (gr)}$

$e = \text{berat dalam air (gr)}$

### 2.7.2 Stabilitas

Menurut Sukirman (2003) stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap gelombang alur atau *bleending*. Menurut Bukhari (2007) menyatakan hasil pembacaan dial alat marshall, nilai stabilitas harus dikalikan dengan nilai kalibrasi alat dan faktor koreksi benda uji sehingga besar stabilitas dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$S = p . q . r \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

$S = \text{stabilitas (kg)}$

$p = \text{nilai kalibrasi alat marshall (16,783 kg)}$

q = pembacaan dial stabilitas

r = koreksi benda uji

*Australian Asphalt Pavement Association (AAPA)* tahun 2004 mensyaratkan nilai stabilitas adalah  $\geq 500$  kg. Untuk tabel koreksi benda uji dapat dilihat pada Lampiran Tabel B 2.2 Halaman 72.

### 2.7.3 Kelelehan Plastis (*Flow*)

Menurut Sukirman (1999) *flow* adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,1. *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA)* tahun 2004 mensyaratkan nilai *flow* adalah 2 – 6 mm.

### 2.7.4 Marshall Quotient (MQ)

Bukhari (2007) menyatakan *Marshall Quotient (MQ)* merupakan hasil bagi antara stabilitas marshall dengan flow. Nilai stabilitas marshall dan flow yang tinggi menunjukkan campuran aspal beton yang kaku, sehingga bila menerima beban maka akan mudah retak. Nilai MQ dapat diperoleh dengan persamaan:

$$MQ = S/\text{flow} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

MQ = nilai *marshall quotient* (kg/mm)

S = nilai stabilitas *marshall* (kg)

flow = pembacaan dial *flow* (mm)

*Australian Asphalt Pavement Association (AAPA)* tahun 2004 mensyaratkan nilai *marshall qoutient* adalah maks. 400 kg.

## 2.8 Parameter Metode AAPA

*Australian Asphalt Pavement Association* (2004) menyebutkan bahwa penentuan kadar aspal optimum (KAO) mensyaratkan tiga parameter yaitu

*cantabro loss* (ketahanan terhadap pelepasan butir), *asphalt flow down* (aliran aspal ke bawah) dan VIM (kadar rongga didalam campuran).

### 2.8.1 *Cantabro Loss (CL)*

AAPA (2004) menyatakan bahwa pengujian ini dimaksudkan untuk melihat ketahanan campuran terhadap pelepasan butir. Ketahanan benda uji campuran aspal terhadap pelepasan butir dapat dihitung dengan persamaan:

$$A_1 = [(m_1 - m_2)/m_1] \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

$A_1$  = *cantabro loss* (%)

$m_1$  = berat awal benda uji (%)

$m_2$  = berat akhir benda uji (%)

*Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) tahun 2004 mensyaratkan nilai *cantabro loss* adalah < 35 %. Winayati, dkk (2011) menyebutkan bahwa *cantabro loss* dapat memberikan gambaran sejauh mana ketahanan perkerasan aspal terhadap menahan gesekan antara roda kendaraan dengan permukaan jalan.

### 2.8.2 *Rongga Dalam Campuran (VIM)*

Bukhari (2007) menyebutkan bahwa nilai *Void In Mix* (VIM) menunjukan persentase volume rongga terhadap volume total campuran setelah didapatkan dan dinyatakan dalam persen. Rongga dalam campuran dapat dihitung dengan persamaan :

$$n = 100 - 100 (g/h) \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

$n$  = persen rongga (%);

$g$  = berat volume atau *density*;

$$h = \text{berat jenis teoritis, } h = \frac{100}{\frac{\% \text{ Agregat}}{B_j \text{ Agregat}} + \frac{\% \text{ Aspal}}{B_j \text{ Aspal}}}$$

*Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) tahun 2004 mensyaratkan VIM berkisar 18-25 %. Koting, dkk (2007) menyebutkan bahwa

campuran aspal berongga yang memiliki nilai VIM yang tinggi mengakibatkan campuran tersebut untuk tidak dapat kembali ke kondisi semula akibat dari beban yang terjadi karena kendaraan sehingga menghasilkan kekakuan yang kecil.

### 2.8.3 Asphalt Flow Down (AFD)

AAPA (1997) menyatakan bahwa pengujian *asphalt flow down* ini dimaksudkan untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang dapat tercampur homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal. Hal ini penting dilakukan agar selama pengangkutan dari *Asphalt Mix Plant* (AMP) ke lokasi penghamparan  $\pm 1$  jam tidak terjadi pemisahan aspal. Akibatnya kadar rongga yang ditargetkan tidak tercapai, sehingga kemampuan drainasenya tidak efektif. Besarnya *asphalt flow down* dapat dihitung dengan persamaan:

$$AFD = (m_3 - m_1 / m_2 - m_1) \times 100\% \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

$AFD = \text{asphalt flow down (\%)}$

$m_1$  = berat cetakan berupa nampan (gr)

$m_2$  = berat cetakan beserta campuran beraspal (gr)

$m_3$  = berat cetakan beserta campuran beraspal yang melekat pada aluminium foil (gr)

*Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) tahun 2004 mensyaratkan nilai *asphalt flow down* adalah  $< 0,3 \%$ .

## 2.9 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Aspal Berongga

Sukirman (2003) mengartikan Kadar Aspal Optimum (KAO) adalah nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi campuran dalam rentang  $\pm 0,5 \%$ . Pemakaian kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan perkerasan jalan mudah runtuh, sedangkan apabila kadar aspal terlalu banyak akan mengakibatkan aspal meleleh keluar (*bleeding*).

AAPA (2004) menyebutkan parameter untuk menentukan Kadar Aspal Optimum yaitu *Cantabro Loss*, *Void In Mix* dan *Asphalt Flow Down* untuk

campuran aspal berongga dengan diameter agregat maksimum 14 mm bekisar antara 4,5 – 6,5% dari total berat campuran. Nilai spesifikasi penentuan KAO metode AAPA dapat disajikan pada Tabel 2.6 di bawah ini:

Tabel 2.6 Spesifikasi Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

| No | Spesifikasi                      | Syarat (%) |
|----|----------------------------------|------------|
| 1  | <i>Cantabro Loss (CL) %</i>      | < 35       |
| 2  | <i>Void In Mix (VIM) %</i>       | 18-25      |
| 3  | <i>Asphalt flow down (AFD) %</i> | < 0,3      |

Sumber : AAPA (2004)

## 2.11 Penelitian Terdahulu

Ada beberapa penelitian terdahulu yang telah dilakukan, yang berhubungan dengan aspal berongga, Cangkring Tiram (CT) dan limbah *High Density Polyethylene* (HDPE), dapat dilihat pada Tabel 2.7 di bawah ini:

Tabel 2.7 Penelitian Terdahulu (1/2)

| No | Nama dan Tahun Penelitian | Judul Penelitian                                                                                                  | Metode Penelitian                                                          | Hasil Penelitian                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Bunyamin, dkk (2021)      | Uji <i>Marshall</i> Pada Campuran AC-WC Dengan Substitusi <i>Filler</i>                                           | Bina Marga 2010 Revisi 4 Tahun 2018<br>(Laston AC-WC)                      | Komposisi terbaik substitusi <i>filler</i> CT dan PC diperoleh pada persentase 20% CT dan 80% PC pada kadar aspal 5,00% , nilai stabilitas yaitu 1323,01 kg dengan nilai VIM 3,66% VMA 15,91% VFA 76,99 dan MQ 508,68 kg/mm.                                                         |
| 2  | Supriyadi, dkk (2018)     | Kajian Eksperimental Campuran Aspal Porus Dengan Bahan Tambahan Plastik HDPE ( <i>High Density Polyethylene</i> ) | RSNI (Rancangan Standar Nasional Indonesia) 2 tahun 2012.<br>(Aspal Porus) | Nilai <i>cantabro loss</i> terbaik ada pada kadar plastik 15%. Campuran aspal porus yang ditambah dengan plastik HDPE membuat nilai permeabilitas menjadi lebih baik seiring bertambahnya kadar plastik HDPE, meningkatkan nilai stabilitas dan <i>flow</i> , tetapi menurunkan VIM. |

Tabel 2.7 Penelitian Terdahulu (2/2)

|   |                                |                                                                                                                                |                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3 | Syammaun, et al (2019)         | <i>CharCTeristic of Cocunut-Shell Ash as Filler and LDPE Plastic Waste as Substitution Materials of Porus Asphalt Mixtures</i> | Bina Marga 2010 dan AAPA 2004.<br>(Aspal Porus) | Dalam penelitiannya, LDPE sebagai substitusi aspal dan tempurung kelapa sebagai substitusi <i>filler</i> . Nilai stabilitas dalam campuran aspal cenderung meningkat dengan substitusi LDPE + CA dibandingkan dengan campuran aspal tanpa substitusi LDPE + CA. Nilai stabilitas tertinggi dengan substitusi 3% LDPE dan 50% CA dengan nilai 560,50 kg. Substitusi LDPE dengan aspal pen 60/70 yaitu 3%, 5% dan 7% terhadap berat total aspal.                                                                                                                                                                                                                           |
| 4 | Syammaun, T and R. Yati (2020) | <i>Effect Of Coconut-Shell Ash As Filler And Plastic Bottle As Substitution Of Porus Asphalt Mixture</i>                       | AAPA 2004 dan AAPA 1997.<br>(Aspal Porus)       | Dalam penelitiannya menggunakan PET sebagai substitusi aspal dan tempurung kelapa sebagai substitusi <i>filler</i> . Benda uji dari nilai KAO dengan variasi substitusi PET sebesar 0%, 2%, 4% dan 6% terhadap berat aspal serta penggunaan <i>filler</i> kombinasi ATK dan semen <i>Portland</i> sebesar 50% dari berat total <i>filler</i> . Total benda uji keseluruhan adalah sebanyak 84 benda uji. Hasil dari penelitian ini didapatkan nilai KAO yaitu 5,74%. Berdasarkan nilai KAO tersebut, pada campuran aspal porus untuk setiap variasi PET pada pengujian CL, AFD, Marshall dan permeabilitas yang memenuhi spesifikasi AAPA adalah pada variasi 2% dan 4%. |

### **BAB III**

#### **METODOLOGI PENELITIAN**

Metode penelitian membahas dengan lengkap sistematis mengenai rancangan penelitian, sumber data, proses pengumpulan data, alat dan bahan yang digunakan dan metode pengolahan data. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Transportasi Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh, Batoh-Banda Aceh. Sistematis kegiatan yang dilakukan dapat dilihat pada bagan alir yang terdapat pada Lampiran A Gambar A.3.1 Halaman 53.

#### **3.1 Pengumpulan Data**

Dalam penelitian ini data yang diperoleh meliputi data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh sebagai pendukung utama dalam penelitian. Data ini berupa hasil pengujian *cantabro loss*, pengujian *asphalt flow down*, pengujian *marshall*, pengujian *void in mix* dan hasil penentuan KAO berdasarkan metode AAPA 2004.

Data sekunder adalah data yang diperoleh dalam bentuk yang sudah jadi, setelah dibuat atau dikumpulkan oleh suatu badan instansi terkait. Data sekunder yang dibutuhkan berupa peta Provinsi Aceh, peta lokasi penelitian, peta pengambilan material, hasil pengujian sifat fisis agregat dan sifat fisis aspal. Peta-peta tersebut diperlukan untuk mengetahui secara umum lokasi material yang dijadikan bahan penelitian dapat dilihat pada Lampiran A Gambar A.3.2 - A.3.6 Halaman 54-56.

#### **3.2 Bahan dan Alat Penelitian**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini secara ringkas dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Aspal penetrasi 60/70 yang telah disediakan di Laboratorium Transportasi Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh;
2. Agregat kasar tertahan saringan No.4 (4,75 mm), agregat halus lolos saringan No. 4 (4,75 mm). Agregat dalam penelitian ini diambil dari PT. Ayu Lestari, Kec. Indrapuri, Kab. Aceh Besar.
3. Limbah cangkang tiram sebagai substitusi *filler*, limbah cangkang tiram didapatkan dari tempat pembudidayaan tiram yang berada di gampong Alue Naga, kecamatan Syiah Kuala, Banda Aceh.
4. Limbah HDPE (*High Density Polyethylene*), pada penelitian ini limbah HDPE didapat dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) pusat daur ulang sampah plastik Bank Sampah Induk Sadar Mandiri Aceh, Gampong Jawa.
5. Peralatan penelitian yang digunakan adalah peralatan untuk pemeriksaan sifat fisis aspal, sifat fisis agregat, pengujian *Marshall*, pengujian *cantabro los*, *asphalt flow down* dan VIM. Alat-alat yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran A Gambar A.3.7-A.3.10 Halaman 57-60.

### 3.3 Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

Pemeriksaan sifat fisis agregat dalam penelitian ini meliputi :

1. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan  
Benda uji pada pengujian berat jenis agregat adalah material agregat yang tertahan saringan No.4 benda uji kemudian dicuci untuk menghilangkan debu atau bahan lain yang melekat pada permukaannya. Selanjutnya dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°C sampai berat tetap, didinginkan pada suhu ruang 1 sampai 3 jam, kemudian ditimbang beratnya (Bk) dengan ketelitian 0,3 gr, benda uji tersebut dilap dengan kain meresap sampai selaput air pada permukaan menghilang (kondisi *saturated surface dry*) dan ditimbang (Bj).
2. Pemeriksaan berat isi agregat  
Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan berat agregat dengan volume wadah yang berpedoman pada ketentuan AASHTO T-19-

74. Peralatan yang digunakan yaitu wadah baja silinder dengan diameter 149,6 mm, tinggi 175 mm dengan tebal dasar pemadat 5,08 mm, tongkat pemadat berdiameter 15 mm dengan panjang 60 cm serta timbangan dengan ketelitian 0,1%. Agregat yang digunakan lolos saringan 13,5 mm dan tertahan saringan 1,36 mm dengan suhu 110°C hingga mencapai berat tetap. Penusukan dilakukan sebanyak 3 (tiga) lapis, setiap lapisan di tusuk 25 kali dengan tongkat pemadat.

3. Pemeriksaan indeks kepipihan dan kelonjongan agregat

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan persentase berat butiran yang pipih dan lonjong dibandingkan terhadap berat total. Pemeriksaan ini berpedoman pada AASHTO T-27-24. Peralatan yang digunakan untuk mengukur indeks kepipihan adalah alat *flakiness gauge*, sedangkan untuk indeks kelonjongan adalah alat *elongation gauge*.

4. Pemeriksaan tumbukan

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan agregat dalam menahan tumbukan dengan menggunakan alat *impCT* berpedoman pada AASHTO T-27-74. Agregat yang digunakan lolos saringan 1/2" (12,7 mm) tertahan saringan 3/8" (9,25 mm) dengan suhu yang dikeringkan 110°C. Pada pemeriksaan ini ditumbuk sebanyak 25 kali setiap lapisnya. Pada lapisan terakhir, permukaan dipadatkan lalu ditimbang kemudian penumbukan dilakukan sebanyak 15 kali dengan tinggi jatuh 15,5" (41 mm). Untuk pengujian sifat fisis agregat dapat dilihat pada Lampiran A Gambar A.3.14 Halaman 64.

### 3.4 Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal

Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal penetrasi 60/70. Pemeriksaan sifat fisis aspal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Pemeriksaan berat jenis aspal, berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat jenis aspal dengan air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu.

2. Pemeriksaan penetrasi, bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal pada suhu 25°C. Penggunaan aspal untuk campuran perkerasan pada daerah panas mempunyai penetrasi yang lebih rendah dibanding dengan daerah dingin.
3. Pemeriksaan titik lembek, adalah temperature pada saat aspal mulai menjadi lunak dan dapat menyelimuti agregat pada proses pencampuran. Aspal dengan titik lembek yang lebih tinggi kurang peka terhadap perubahan temperature dan lebih baik untuk bahan pengikat aspal.
4. Pemeriksaan daktilitas, bertujuan untuk mengetahui sifat kohesi dalam aspal itu sendiri umumnya dilakukan pada suhu ruang. Pengujian sifat fisis aspal dapat dilihat pada Lampiran A Gambar A.3.14 Halaman 64.

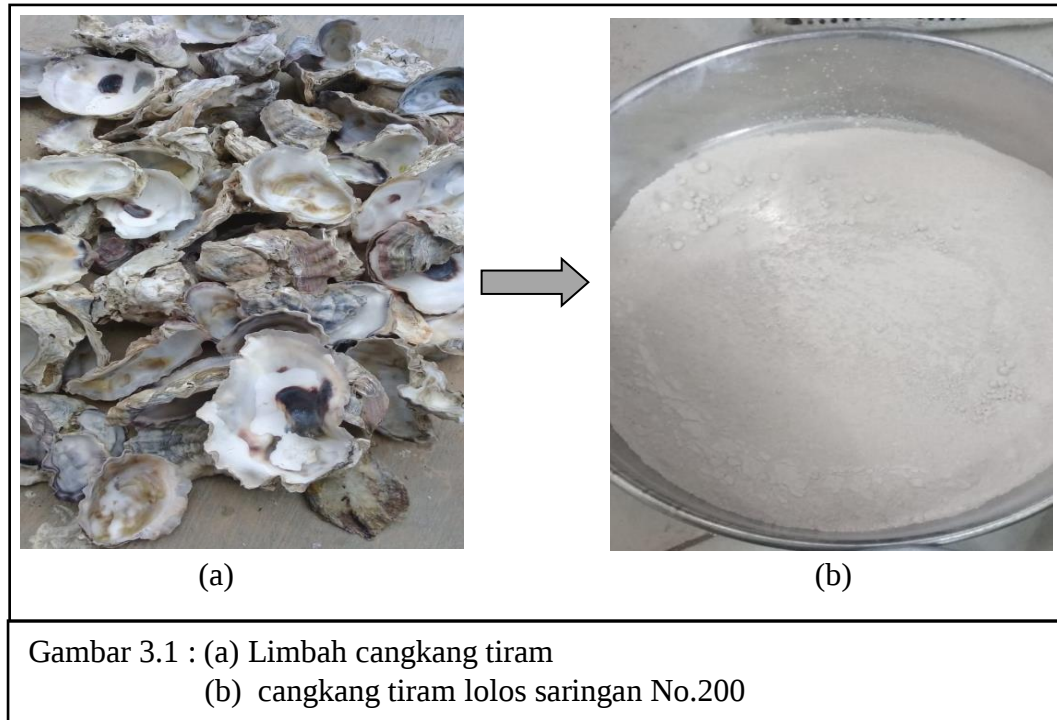
### **3.5 Bahan Pengisi (*Filler*)**

Bahan pengisi (*filler*) yang digunakan dalam penelitian ini yaitu substitusi Cangkang Tiram (CT) dengan *cement portland* (PC) yang lolos saringan No.200 (0,074 mm), dengan persentase 0% CT : 100% PC, 50% CT : 50% PC dan 100% CT : 0% PC.

### **3.6 Persiapan Cangkang Tiram (CT)**

Limbah cangkang tiram yang didapat dari tempat pembudidayaan tiram yang berada di Gampong Alue Naga, Kecamatan Syiah Kuala, Banda Aceh. Tahap pengolahannya, limbah cangkang tiram yang diambil dipilah dan dicuci terlebih dahulu, kemudian cangkang tiram dijemur pada terik matahari, cangkang tiram yang kering dioven pada suhu 200°C selama 2 jam, kemudian ditumbuk menggunakan lesung, cangkang tiram yang telah ditumbuk secara manual sampai benar-benar halus kemudian diayak lolos saringan No. 200 (0,075 mm), cangkang tiram yang tidak lolos ayakan kemudian diblender untuk mendapatkan cangkang tiram yang lebih halus. Pada campuran antara aspal dengan agregat menggunakan substitusi cangkang tiram dengan *portland cement* (PC) yaitu dengan variasi 0%

CT : 100% PC, 50% CT : 50% PC dan 100% CT : 0% PC terhadap berat total *filler*.

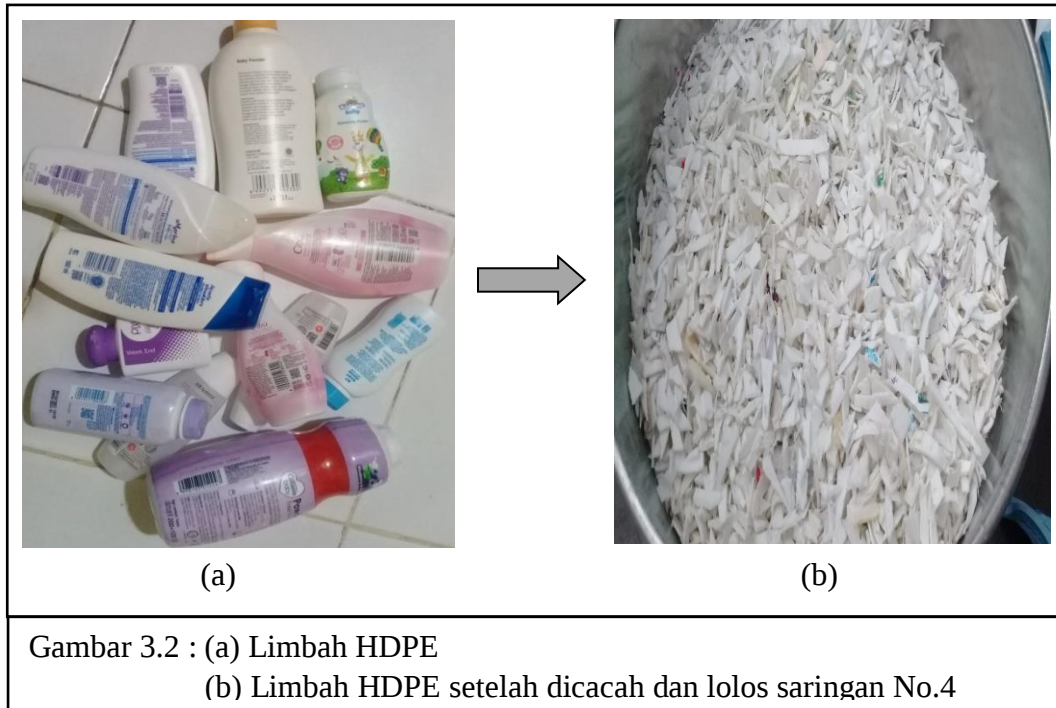


Proses pengolahan limbah cangkang tiram menjadi cangkang tiram dalam bentuk *filler* dapat dilihat pada Lampiran A Gambar A.3.12 Halaman 62.

### 3.7 Persiapan Limbah *High Density Polyethylene* (HDPE)

Pada campuran antara aspal dengan agregat menggunakan penambahan limbah HDPE yaitu dengan variasi 2%, 4% dan 6% terhadap berat total aspal. Pemilihan HDPE yang didapat dari pusat daur ulang sampah plastik bank sampah induk sadar mandiri aceh dan limbah rumah tangga dilakukan secara acak berdasarkan kondisi barang dan kebersihannya. Limbah HDPE yang diambil merupakan limbah yang telah dicacah secara acak kemudian dibersihkan atau dicuci terlebih dahulu dari kotoran yang menempel, kemudian jemur matahari supaya kering. Agar memudahkan dalam proses pelarutan, maka limbah HDPE yang telah dicacah diayak menggunakan saringan yang lolos No. 4 (4,75 mm), limbah HDPE yang tidak lolos kemudian dipotong menggunakan gunting dengan

ukuran acak untuk lolos ayakan yang nantinya akan dicampurkan ke dalam aspal panas dan diaduk sampai seluruh limbah tersebut larut dalam aspal.



Proses pengolahan limbah HDPE dapat dilihat pada Lampiran A Gambar A.3.13 Halaman 63.

### 3.8 Pembuatan Benda Uji

Setelah dilakukan pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal, pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat dan juga pemeriksaan gradasi, maka dilakukan pembuatan benda uji dengan memperhitungkan jumlah material yang digunakan terhadap jumlah berat total campuran. Prosedur pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

1. Agregat ditimbang sesuai dengan fraksi ukuran berdasarkan gradasi yang telah ditentukan.
2. Berat campuran agregat dan aspal yang telah dicampurkan merupakan berat total campuran yang menghasilkan satu buah benda uji setinggi 6,5 cm dan diameter 10,2 cm dan pada dasarnya total berat campuran untuk satu buah benda uji adalah  $\pm 1100$  gr.

3. Pencampuran pada pembuatan benda uji menggunakan metode kering (*dry process*) yaitu suatu pencampuran dimana limbah HDPE yang telah dipotong/dicacah hasil ayakan yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm) dimasukkan kedalam agregat yang telah dipanaskan dengan temperatur 120°C dan diaduk sampai homogen, kemudian masukkan aspal panas aduk hingga tercampur rata dan tambahkan *filler* kemudian diaduk kembali sampai temperatur 160°C.
4. Campuran yang telah tercampur rata dituangkan kedalam *mold* yang telah disiapkan, ditusuk-tusuk dan dipadatkan pada temperatur 140°C dengan menggunakan alat penumbuk (*hammer*) seberat 10 pon (4,35g kg) dengan tinggi jatuh 18 inch (45,7 cm).
5. Kemudian ditumbuk sebanyak 2x50 tumbukan. Hal ini dilakukan untuk setiap variasi penambahan cangkang tiram (CT) dan HDPE yang telah ditentukan. Campuran direncanakan dengan menggunakan gradasi terbuka berdasarkan *Australia Asphalt Pavement Assosiation* (AAPA) tahun 2004.

Campuran aspal berongga dengan bahan cangkang tiram (CT) sebagai bahan substitusi *filler* dan HDPE sebagai bahan substitusi aspal pen. 60/70 yang dibuat dalam bentuk benda uji, dimana jumlah benda uji yang telah direncanakan sebanyak 3 buah benda uji (sampel) untuk setiap pengujian parameter aspal CT. Untuk pembuatan benda uji dapat dilihat pada Lampiran A Gambar A.3.15-A.3.17 Halaman 65-67.

### **3.8.1 Pembuatan Benda Uji Untuk Penentuan KAO**

Kadar aspal yang digunakan untuk pembuatan benda uji penentuan KAO yaitu kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5% terhadap berat total campuran menggunakan *filler portland cement* (PC) tanpa variasi substitusi cangkang tiram (CT) dan HDPE (*High Density Polyethylene*). Setiap kadar aspal dibuat 3 (tiga) benda uji untuk 1 (satu) jenis pengujian dengan 3 (tiga) jenis pengujian. Rancangan jumlah benda uji tanpa substitusi limbah HDPE (*high density polyeyhylene*) dan CT (Cangkang Tiram) yang digunakan disajikan pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Jumlah Benda Uji Untuk Penentuan KAO Tanpa Substitusi CT dan HDPE (Kelompok A)

| Kadar Aspal Pen 60/70 (%) | Uji <i>Cantabro Loss</i> (benda uji)                 | Uji <i>Asphalt Flow Down</i> (benda uji)             | Uji VIM (benda uji)                               |
|---------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 4,5                       | CL <sub>1</sub> ,CL <sub>2</sub> ,CL <sub>3</sub>    | AF <sub>1</sub> ,AF <sub>2</sub> ,AF <sub>3</sub>    | A <sub>1</sub> ,A <sub>2</sub> ,A <sub>3</sub>    |
| 5,0                       | CL <sub>4</sub> ,CL <sub>5</sub> ,CL <sub>6</sub>    | AF <sub>4</sub> ,AF <sub>5</sub> ,AF <sub>6</sub>    | A <sub>4</sub> ,A <sub>5</sub> ,A <sub>6</sub>    |
| 5,5                       | CL <sub>7</sub> ,CL <sub>8</sub> ,CL <sub>9</sub>    | AF <sub>7</sub> ,AF <sub>8</sub> ,AF <sub>9</sub>    | A <sub>7</sub> ,A <sub>8</sub> ,A <sub>9</sub>    |
| 6,0                       | CL <sub>10</sub> ,CL <sub>11</sub> ,CL <sub>12</sub> | AF <sub>10</sub> ,AF <sub>11</sub> ,AF <sub>12</sub> | A <sub>10</sub> ,A <sub>11</sub> ,A <sub>12</sub> |
| 6,5                       | CL <sub>13</sub> ,CL <sub>14</sub> ,CL <sub>15</sub> | AF <sub>13</sub> ,AF <sub>14</sub> ,AF <sub>15</sub> | A <sub>13</sub> ,A <sub>14</sub> ,A <sub>15</sub> |
| Jumlah                    | 15                                                   | 15                                                   | 15                                                |
| Total                     | 45 Benda Uji                                         |                                                      |                                                   |

### 3.8.2 Pembuatan Benda Uji Substitusi *Filler* dan HDPE

Setelah didapat nilai kadar aspal optimum (KAO) terbaik, selanjutnya dibuat benda uji dari nilai KAO dengan substitusi cangkang tiram (CT) dengan *portland cement* (PC) sebagai *filler* dengan persentase 0% CT : 100% PC, 50% CT : 50% PC dan 100% CT : 0% PC dari berat total *filler* serta HDPE sebagai bahan substitusi aspal pen 60/70 dengan persentase 2%, 4% dan 6% dari berat total aspal. Rancangan jumlah benda uji yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.2 dibawah ini:

Tabel 3.2 Jumlah Benda Uji Substitusi CT dan HDPE (Kelompok B) (1/2)

| <i>Filler</i> |           | HDPE<br>(%) | Uji <i>Cantabro Loss</i> | Uji <i>Asphalt Flow Down</i> | Uji VIM |
|---------------|-----------|-------------|--------------------------|------------------------------|---------|
| CT<br>(%)     | PC<br>(%) |             |                          |                              |         |
| 0             | 100       | 2           | 1,2,3                    | 1,2,3                        | 1,2,3   |
|               |           | 4           | 1,2,3                    | 1,2,3                        | 1,2,3   |
|               |           | 6           | 1,2,3                    | 1,2,3                        | 1,2,3   |
| 50            | 50        | 2           | 1,2,3                    | 1,2,3                        | 1,2,3   |
|               |           | 4           | 1,2,3                    | 1,2,3                        | 1,2,3   |
|               |           | 6           | 1,2,3                    | 1,2,3                        | 1,2,3   |
| 100           | 0         | 2           | 1,2,3                    | 1,2,3                        | 1,2,3   |
|               |           | 4           | 1,2,3                    | 1,2,3                        | 1,2,3   |
|               |           | 6           | 1,2,3                    | 1,2,3                        | 1,2,3   |
| Jumlah        |           |             | 27                       | 27                           | 27      |
| Total         |           |             | 81 Benda Uji             |                              |         |

Total rencana benda uji keseluruhan yang direncanakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3.3 berikut:

Tabel 3.3 Jumlah Keseluruhan Benda Uji (Kelompok A dan Kelompok B)

| Kelompok Benda Uji | Jumlah Benda Uji Keseluruhan Untuk Kelompok A dan B |                              |         |
|--------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------|---------|
|                    | Uji <i>Cantabro Loss</i>                            | Uji <i>Asphalt Flow Down</i> | Uji VIM |
| A                  | 15                                                  | 15                           | 15      |
| B                  | 27                                                  | 27                           | 27      |
| Jumlah             | 42                                                  | 42                           | 42      |
| Total              | 126 Benda Uji                                       |                              |         |

### 3.8.3 Pengujian *Marshall*

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal. Pengujian ini berpedoman pada AASHTO T-245-74. Alat yang digunakan adalah alat uji *Marshall* lengkap dengan nilai stabilitas dan *flow*, bak perendam (*water bath*), *thermometer*, dan timbangan. Prosedur pengujian *Marshall* adalah sebagai berikut:

1. Setelah campuran agregat, aspal dan *filler* tercampur secara rata, kemudian dimasukkan kedalam cetakan (*mold*) yang telah dilumuri oli dan diberi alas cetakan berupa kertas;
2. Benda uji yang telah dipadatkan (2x50 tumbukan) didiamkan selama satu malam, kemudian dikeluarkan dari cetakan dengan menggunakan *extruder* dan timbang benda uji untuk mendapatkan berat benda uji kering;
3. Benda uji direndam di dalam air selama satu malam dan ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji dalam air;
4. Kemudian benda uji dilap dengan kain sehingga menyerap air permukaan pada benda uji dan segera ditimbang untuk mendapatkan berat dalam udara benda uji kering permukaan jenuh;
5. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu direndam dalam *water bath* pada suhu 60°C selama 30 menit;

6. Setelah itu benda uji diletakkan pada alat uji stabilitas dan dilakukan pengujian dengan membaca nilai stabilitas dan *flow*.

Pengujian Marshall meliputi uji *density*, stabilitas, kelelahan plastis (*flow*), persen rongga antar butir/*void in mixture* (VIM) dan *Marshall quotient*. Untuk pembuatan benda uji dan pengujian Marshall dapat dilihat pada Lampiran A Gambar A.3.15-A.3.17 Halaman 65-67.

#### **3.8.4 Pengujian Void In Mix (VIM)**

Pembuatan benda uji untuk setiap benda uji yang diperlukan sekitar  $\pm 1100$  gram. Untuk setiap variasi campuran dibuat 3 buah benda uji sesuai dengan perhitungan komposisi campuran rencana. Prosedur pengujian VIM adalah sebagai berikut:

1. Pada proses pencampuran suhu pencampuran adalah  $160^{\circ}\text{C}$ , kemudian campuran tersebut dimasukkan kedalam cetakan (*mold*) yang telah dilumuri oli dengan diameter 10 cm dan tinggi 9 cm;
2. Campuran aspal berongga pada penelitian ini direncanakan untuk melayani lalu lintas ringan sampai sedang, sehingga benda uji dipadatkan 2x50 tumbukan (50 tumbukan untuk setiap permukaan);
3. Kemudian didiamkan selama 24 jam, setelah 24 jam benda uji dikeluarkan dari cetakan kemudian diukur tinggi dan ditimbang;
4. Setelah ditimbang benda uji direndam selama 24 jam, setelah 24 jam benda uji ditimbang kembali didalam air kemudian benda uji dilap dan ditimbang berat jenuh. Pengujian VIM dapat dilihat pada Lampiran A.3.15-A.3.17 Halaman 65-67.

#### **3.8.5 Pengujian Cantabro Loss (CL)**

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan campuran beraspal terhadap proses disintegrasi atau tahanan pelepasan butir campuran bergradasi terbuka. Benda uji yang telah dipadatkan didiamkan selama satu malam, kemudian dikeluarkan dari cetakan dengan menggunakan *extruder*. Kemudian benda uji tersebut didiamkan selama 7 hari sebelum pengujian. Setelah itu, benda

uji dimasukkan ke dalam mesin *Los Angeles* dan diputar sebanyak 300 putaran tanpa menggunakan bola baja. Pengujian CL dapat dilihat pada Lampiran A Gambar A.3.18 Halaman 68.

#### **3.8.6 Pengujian *Asphalt Flow Down* (AFD)**

Pengujian ini adalah untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang dapat tercampur homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal. Hal ini penting dilakukan agar selama pengangkutan dari *Asphalt Mix Plant* (AMP) ke lokasi penghamparan kurang lebih selama 1 jam tidak terjadi pemisahan aspal. Prosedur pengujian *asphalt flow down* adalah sebagai berikut:

1. Nampan dengan ukuran permukaan 20 x 40 cm dilapisi dengan kertas alumunium foil, berat cetakan ditimbang dan dicatat;
2. Bucket berukuran 15 x 15 cm, tempat untuk meletakkan agregat yang akan dioven, berat nampan yang telah dilapisi aluminium foil dan bucket ditimbang dan dicatat;
3. Selanjutnya dibuat campuran beraspal seberat  $\pm 1100$  gr dan setelah tercampur merata dituangkan kedalam bucket diatas nampan yang telah dilapisi aluminium foil permukaannya diratakan dan ditimbang dicatat beratnya;
4. Bucket yang telah berisi campuran aspal beserta nampan yang telah dilapisi aluminium foil tersebut dimasukkan ke dalam oven dengan suhu  $\pm 160^{\circ}\text{C}$  selama  $\pm 60$  menit;
5. Bucket dikeluarkan dari dalam oven beserta nampan yang telah dilapisi aluminium foil, kemudian berat nampan beserta aspal yang melekat pada alumunium foil ditimbang dan dicatat. Untuk pengujian AFD dapat dilihat pada Lampiran A Gambar A.3.19 Halaman 69.

### **3.9 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)**

Penentuan KAO campuran aspal berongga dalam penelitian ini menggunakan metode *Australian Asphalt Pavement Association* (2004)

menyebutkan penentuan KAO dengan metode ini hanya mensyaratkan tiga parameter yaitu VIM, *cantabro loss* (ketahanan terhadap pelepasan butir) dan *asphalt flow down* (aliran aspal ke bawah). Selanjutnya nilai kadar aspal optimum (KAO) ditentukan berdasarkan metode Australia melalui pengujian *cantabro loss* dan *asphalt flow down* dengan tahapan – tahapan sebagai berikut:

1. Kadar rongga minimum dalam campuran sebesar 18% diset untuk mendapatkan kadar aspal maksimum (Bc max);
2. Nilai *cantabro loss* maksimum sebesar 35% diset untuk mendapatkan kadar aspal minimum (Bc min);
3. Kadar aspal sementara diperoleh dari rata-rata nilai maksimum dan minimum;
4. *Plotting* kadar aspal sementara pada grafik *asphalt flow down*,
5. Kadar aspal optimum diperoleh dengan menjumlahkan kadar aspal sementara dengan nilai *asphalt flow down* (AFD).

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini diuraikan hasil pengujian serta pengolahan data dan pembahasan yang didasarkan dari hasil penelitian di Laboratorium dengan menggunakan metode yang telah diuraikan pada Bab II dan III. Hasil penelitian yang disajikan adalah hasil analisis karakteristik cangkang tiram sebagai *filler* dan substitusi limbah *high density polyethylene* pada campuran aspal berongga meliputi hasil pengujian Marshall, pengujian *Cantabro Loss* (CL), pengujian *Void In Mix* (VIM) dan pengujian *Asphalt Flow Down* (AFD) dengan substitusi *filler* dan substitusi HDPE serta tanpa substitusi. Namun disamping itu akan disajikan pula data hasil pemeriksaan sifat fisis agregat dan sifat fisis aspal berupa data primer dan sekunder.

#### 4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

Hasil pemeriksaan sifat fisis agregat yang meliputi pemeriksaan berat jenis, penyerapan, kepipihan, kelonjongan, keausan dan *impact*. Hasil pemeriksaan sifat fisis agregat dapat dilihat pada Lampiran B Tabel B.4.1-B.4.3 Halaman 80 dan Lampiran C Tabel C.4.1-C.4.2 Halaman 81. Rekapitulasi hasil pemeriksaan sifat fisis agregat dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

| Pengujian     | Standar         | Hasil                      | Spesifikasi                 |
|---------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------|
| Berat Jenis   | SNI03-1969-1991 | 2,738 gr/cm <sup>3</sup> * | Min. 2,5 gr/cm <sup>3</sup> |
| Penyerapan    | SNI03-1969-1991 | 1,739*                     | Maks. 3%                    |
| Kepipihan     | ASTM D-4791     | 9,83%                      | Maks. 10%                   |
| Kelonjongan   | ASTM D-4791     | 9,63%                      | Maks. 10%                   |
| Keausan       | SNI 2417-2008   | 16,44%*                    | Maks. 40%                   |
| <i>Impact</i> | SNI 2417-2008   | 6,49%*                     | Maks. 25%                   |

Keterangan : \* Data Sekunder (Yati, 2019)

#### 4.2 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal

Hasil pemeriksaan sifat fisis aspal yang meliputi pemeriksaan berat jenis, penetrasi, daktilitas dan titik lembek. Hasil pemeriksaan sifat fisis aspal dapat dilihat pada Lampiran B Tabel B.4.4 Halaman 80 dan Lampiran C Tabel C.4.3-C.4.14 Halaman 81-85. Rekapitulasi hasil pemeriksaan sifat fisis aspal dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal + HDPE

| No. | Sifat-Sifat Fisis Aspal             | Hasil                 |         |         |         |                         |                         |
|-----|-------------------------------------|-----------------------|---------|---------|---------|-------------------------|-------------------------|
|     |                                     | Aspal Penetrasi 60/70 | Aspal + | Aspal + | Aspal + | Syarat Aspal Pen. 60/70 | Syarat Aspal Modifikasi |
|     |                                     |                       | HDPE 2% | HDPE 4% | HDPE 6% |                         |                         |
| 1.  | Berat jenis ( $\text{gr/cm}^3$ )    | 1,03*                 | -       | -       | -       | $\geq 1,0$              | $\geq 1,0$              |
| 2.  | Penetrasi (mm)                      | 64,50                 | 62      | 60      | 58      | 60 – 70                 | $\geq 50$               |
| 3.  | Daktilitas (cm)                     | 130                   | 126     | 123     | 120     | $\geq 100$              | $\geq 100$              |
| 4.  | Titik lembek ( $^{\circ}\text{C}$ ) | 48,5                  | 54      | 54,5    | 55      | $\geq 48$               | $\geq 54$               |

Keterangan: \* Data Sekunder (Yati, 2019)

#### 4.3 Hasil Pemeriksaan Gradasi

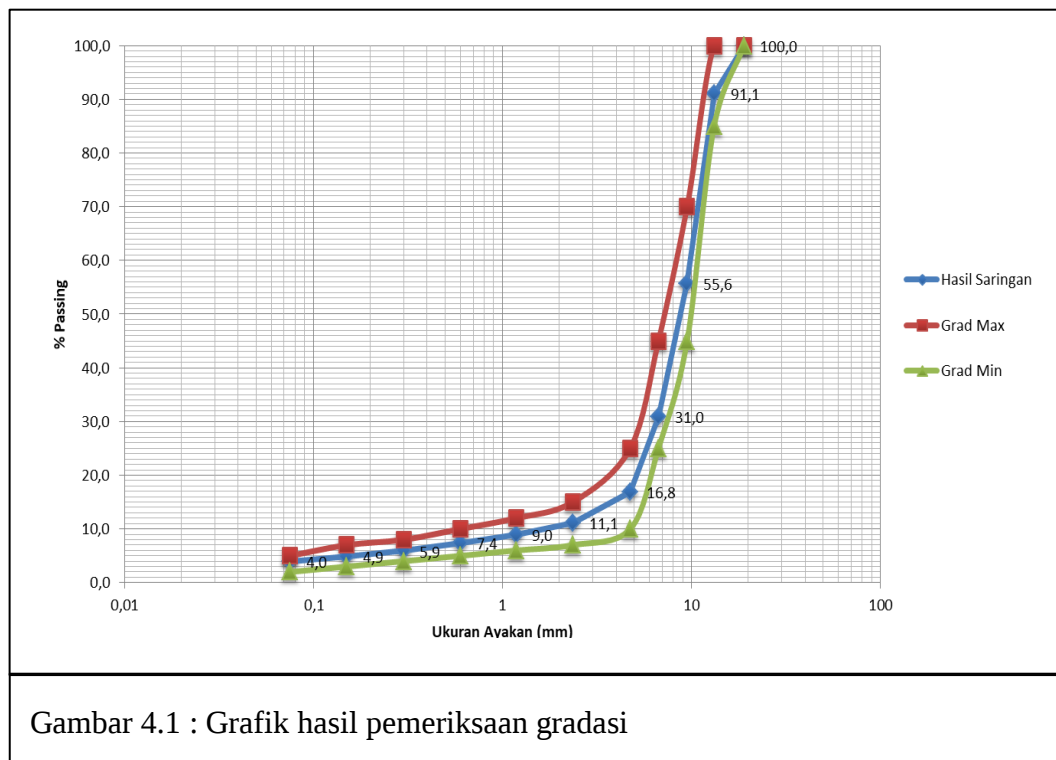
Pemeriksaan gradasi agregat dilakukan dengan menggunakan analisa saringan. Agregat yang tersedia di lapangan tidak dapat digunakan langsung dalam campuran karena tidak memenuhi spesifikasi gradasi yang disyaratkan. Oleh karena itu, harus dilakukan penyesuaian gradasi terlebih dahulu sehingga agregat tersebut memenuhi syarat spesifikasi yang telah ditetapkan.

Gradasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah gradasi terbuka (*open graded*) dengan agregat maksimal 14 mm berdasarkan spesifikasi *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) tahun 2004 untuk campuran aspal berongga. Hasil pemeriksaan gradasi agregat dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Gradasi Rencana

| Ukuran Ayakan |       | Aspal Berongga     |                 |                       |           |
|---------------|-------|--------------------|-----------------|-----------------------|-----------|
|               |       | % Berat Yang Lolos |                 | % Berat Yang Tertahan |           |
| (inch)        | (mm)  | Spesifikasi        | Gradasi Rencana | Tertahan              | Kumulatif |
| ¾"            | 19    | 100                | 100,0           | 0,0                   | 0,0       |
| ½"            | 12,5  | 85-100             | 91,1            | 8,9                   | 8,9       |
| 3/8"          | 9,5   | 45-70              | 55,6            | 35,5                  | 44,4      |
| No. 1/4       | 6,7   | 25-45              | 31,0            | 24,7                  | 69,1      |
| No.4          | 4,75  | 10-25              | 16,8            | 14,1                  | 83,2      |
| No.8          | 2,36  | 7-15               | 11,1            | 5,8                   | 89,0      |
| No.16         | 1,18  | 6-12               | 9,0             | 2,1                   | 91,1      |
| No.30         | 0,6   | 5-10               | 7,4             | 1,6                   | 92,7      |
| No.50         | 0,3   | 4-8                | 5,9             | 1,5                   | 94,2      |
| No.100        | 0,15  | 3-7                | 4,9             | 1,0                   | 95,2      |
| No.200        | 0,075 | 2-5                | 4,0             | 0,9                   | 96,0      |
| PAN           |       |                    |                 | 4,0                   | 100       |

Dari hasil pemeriksaan yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa agregat tersebut dapat digunakan dalam campuran karena memenuhi spesifikasi gradasi yang disyaratkan. Grafik hasil pemeriksaan gradasi dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut:



Selanjutnya gradasi rencana tersebut digunakan untuk menghitung komposisi campuran agregat dari masing-masing ukuran saringan dengan variasi kadar aspal pen. 60/70 murni maupun dengan substitusi *filler* dengan persentase CT 0 % CT : 100% PC, 50% CT : 50 PC dan 100% CT : 0% PC terhadap berat total *filler* dan HDPE 2%, 4% dan 6% terhadap berat total aspal.

#### 4.4 Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Dari hasil gradasi rencana dapat dihitung komposisi campuran agregat dari masing-masing ukuran saringan dengan variasi kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5%. Komposisi campuran untuk menentukan KAO dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Komposisi Campuran Untuk Penentuan KAO

| Agregat              |         |         |            | Berat Agregat Tertahan         |        |        |       |        |
|----------------------|---------|---------|------------|--------------------------------|--------|--------|-------|--------|
|                      |         |         |            | Untuk Variasi Kadar Aspal (gr) |        |        |       |        |
| Ukuran Saringan      |         | % Lolos | % Tertahan | 4,5 %                          | 5%     | 5,5%   | 6%    | 6,5%   |
| CA                   | 3/4'    | 100     | 0,0        | 0,0                            | 0,0    | 0,0    | 0,0   | 0,0    |
|                      | ½'      | 91,1    | 8,9        | 93,4                           | 92,9   | 92,4   | 91,9  | 91,4   |
|                      | 3/8'    | 55,6    | 35,5       | 372,6                          | 370,7  | 368,7  | 366,8 | 364,8  |
|                      | ¼'      | 31,0    | 24,7       | 259,4                          | 258,0  | 256,7  | 255,3 | 253,9  |
|                      | No. 4   | 16,8    | 14,1       | 148,3                          | 147,6  | 146,8  | 146,0 | 145,2  |
| FA                   | No. 8   | 11,1    | 5,8        | 60,4                           | 60,1   | 59,8   | 59,5  | 59,1   |
|                      | No. 16  | 9,0     | 2,1        | 21,9                           | 21,7   | 21,6   | 21,5  | 21,4   |
|                      | No. 30  | 7,4     | 1,6        | 16,8                           | 16,7   | 16,6   | 16,5  | 16,5   |
|                      | No. 50  | 5,9     | 1,5        | 15,7                           | 15,6   | 15,5   | 15,4  | 15,3   |
|                      | No. 100 | 4,9     | 1,0        | 10,8                           | 10,8   | 10,7   | 10,7  | 10,6   |
|                      | No. 200 | 4,0     | 0,9        | 9,3                            | 9,3    | 9,3    | 9,2   | 9,2    |
| Total Persen Agregat |         |         | 96,0       | 1008,6                         | 1003,3 | 998,0  | 992,7 | 987,5  |
| Filler (Semen)       |         |         | 4,0        | 41,9                           | 41,7   | 41,5   | 41,3  | 41,0   |
| Berat Agregat (gr)   |         |         | 100,0      | 1050,5                         | 1045,0 | 1039,5 | 1034  | 1028,5 |
| Berat Aspal (gr)     |         |         |            | 49,5                           | 55,0   | 60,5   | 66,0  | 71,5   |
| Berat Campuran (gr)  |         |         |            | 1100                           | 1100   | 1100   | 1100  | 1100   |

##### 4.4.1 Hasil Pengujian Marshall Tanpa Substitusi Filler dan High Density Polyethylene (HDPE)

Hasil pengujian Marshall tanpa substitusi *filler* dan HDPE menghasilkan parameter-parameter Marshall meliputi: *density*, stabilitas, *flow*, VIM dan

*Marshall quotient*. Dari analisis hasil pengujian Marshall dengan variasi kadar aspal sebesar 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0% dan 6,5% menggunakan gradasi terbuka. Untuk lebih jelas hasil pengujian keseluruhan parameter Marshall untuk kadar aspal tanpa substitusi *filler* dan HDPE dapat dilihat pada Lampiran C Tabel C.4.18 Halaman 90-91. Rekapitulasi hasil pengujian Marshall tanpa substitusi *filler* dan HDPE dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut ini:

Tabel 4.5 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall Tanpa Substitusi *Filler* dan HDPE

| No | Karakteristik Campuran        | Kadar Aspal (%) |        |        |        |        | Spesifikasi AAPA (2004) |
|----|-------------------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|-------------------------|
|    |                               | 4,5             | 5      | 5,5    | 6      | 6,5    |                         |
| 1  | Density (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2,05            | 2,08   | 2,09   | 2,10   | 2,14   | ≥2                      |
| 2  | VIM (%)                       | 22,65           | 20,86  | 19,84  | 18,87  | 16,50  | 18-25%                  |
| 3  | Stabilitas (kg)               | 474,68          | 546,62 | 598,65 | 627,07 | 429,81 | Min. 500 kg             |
| 4  | Flow (mm)                     | 3,23            | 3,30   | 4,13   | 4,37   | 4,43   | 2-6%                    |
| 5  | MQ (kg/mm)                    | 148,03          | 165,84 | 145,21 | 147,07 | 100,71 | Maks. 400 kg/mm         |

Hasil pengujian Marshall tanpa substitusi *filler* dan HDPE selanjutnya digambarkan dalam bentuk grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter Marshall. Untuk lebih jelas grafik hubungan kadar aspal dengan parameter Marshall pada masing-masing kadar aspal dapat dilihat pada Lampiran A Gambar A.4.1 Halaman 72.

#### 4.4.2 Hasil Pengujian VIM, CL dan AFD Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

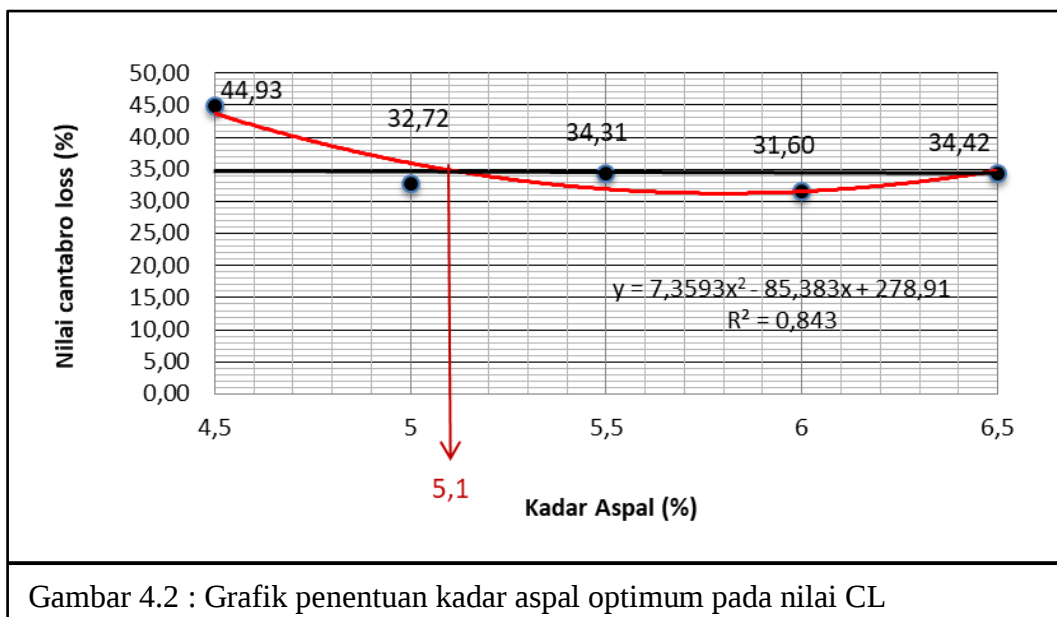
Hasil pengujian *Void In Mix* (VIM), *Cantabro Loss* (CL) dan *Asphalt Flow Down* (AFD) tanpa menggunakan substitusi cangkang tiram sebagai *filler* dan HDPE sebagai substitusi aspal menghasilkan nilai VIM yang terendah sebesar 16,50% pada kadar aspal 6,5% dan nilai tertinggi sebesar 22,65% pada kadar aspal 4,5%. Untuk CL nilai terendah sebesar 31,60% pada kadar aspal 6% dan nilai tertinggi sebesar 44,93 pada kadar aspal 4,5%. Sedangkan untuk AFD didapat nilai terendah sebesar 0,09% pada kadar aspal 4,5% dan nilai tertinggi

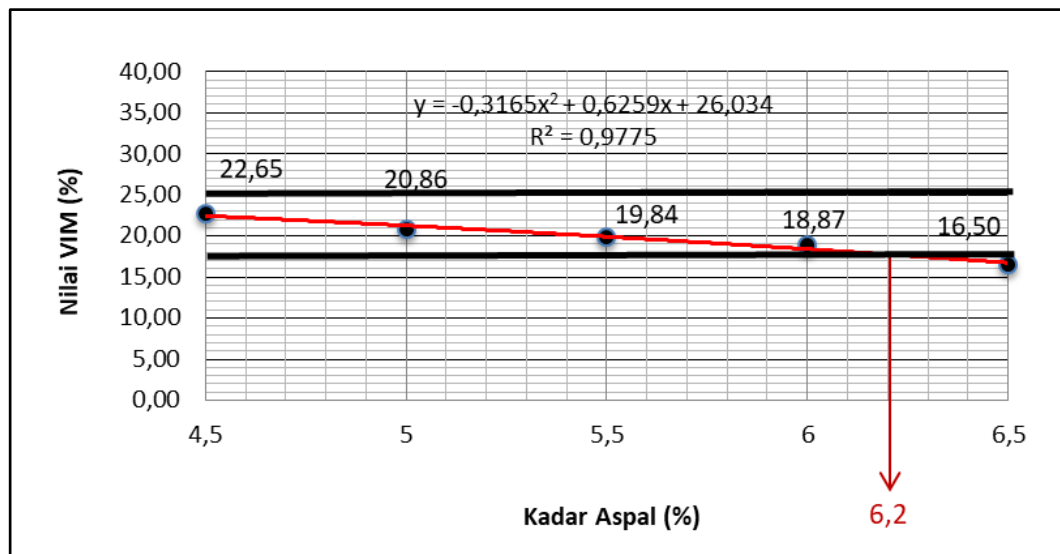
sebesar 0,16% pada kadar aspal 6,5%. Untuk lebih jelas hasil pengujian keseluruhan *Void In Mix* (VIM), *Cantabro Loss* (CL) dan *Asphalt Flow Down* (AFD) tanpa substitusi cangkang tiram sebagai *filler* dan HDPE sebagai substitusi aspal pen. 60/70 dapat dilihat pada Lampiran C Tabel C.4.18-C.4.20 Halaman 83-86. Rekapitulasi hasil pengujian VIM, CL dan AFD dengan variasi kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Cantabro Loss*, *Void In Mix* dan *Asphalt Flow Down*

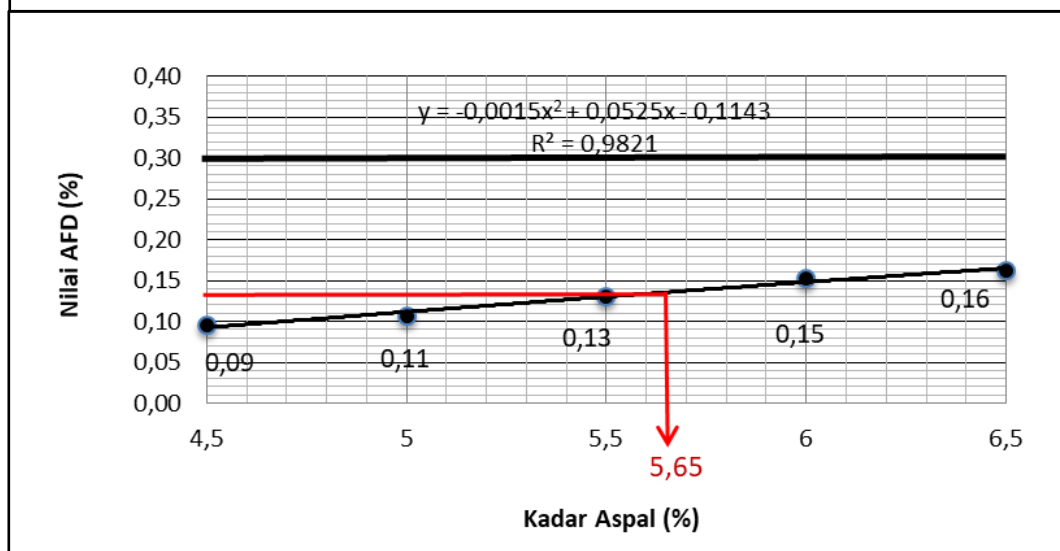
| No | Karakteristik                | Kadar Aspal (%) |       |       |       |       | Persyaratan (%) |
|----|------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
|    |                              | 4,5             | 5     | 5,5   | 6     | 6,5   |                 |
| 1  | <i>Cantabro Loss</i> (%)     | 44,93           | 32,72 | 34,31 | 31,60 | 34,42 | Maks. 35        |
| 2  | <i>Void In Mix</i> (%)       | 22,65           | 20,86 | 19,84 | 18,87 | 16,50 | 18-25           |
| 3  | <i>Asphalt Flow Down</i> (%) | 0,09            | 0,11  | 0,13  | 0,15  | 0,16  | Maks. 0,3       |

Hasil pengujian VIM, CL dan AFD dengan variasi kadar aspal selanjutnya digambarkan dalam bentuk grafik hubungan antara kadar aspal dengan berdasarkan nilai *cantabro loss*, *void in mix* dan *asphalt flow down* yang telah disyaratkan. Untuk lebih jelas grafik penentuan kadar aspal optimum (KAO) dapat dilihat pada Gambar 4.2, 4.3 dan 4.4 berikut:





Gambar 4.3 : Grafik penentuan kadar aspal optimum pada nilai VIM



Gambar 4.4 : Grafik penentuan kadar aspal optimum pada nilai AFD

Gambar 4.2, 4.3 dan 4.4 diatas menjelaskan bahwa KAO sementara dari grafik hubungan kadar aspal dengan CL, diperoleh kadar aspal maks. (Bc. Maks) pada 35% nilai CL yaitu 5,1% dan dari grafik hubungan kadar aspal dengan VIM diperoleh kadar aspal min. (Bc. Min) pada 18% nilai VIM yaitu 6,2%. Hasil rata-rata dari Bc. Maks dan Bc. Min maka diperoleh nilai KAO sementara yaitu 5,65%. Pada grafik hubungan antara kadar aspal dengan AFD ditarik garis dari kadar aspal KAO sementara 5,65% hingga perpotongan dengan garis hubungan antara kadar aspal dengan AFD sebesar 0,135. Nilai AFD 0,135 dijumlahkan dengan KAO sementara 5,65% maka didapat nilai KAO sebesar 5,8%.

#### 4.5 Hasil Pengujian Marshall Dengan Substitusi Filler dan High Density Polyethylene

Hasil pengujian Marshall dengan substitusi *filler* dan HDPE menghasilkan parameter-parameter Marshall meliputi: *density*, stabilitas, *flow*, VIM dan *Marshall quotient*. Dari analisis hasil pengujian Marshall dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,8% digunakan untuk membuat benda uji dengan substitusi *filler* 0% CT : 100% PC, 50% CT : 50% PC dan 100% CT : 0% PC serta substitusi LDPE 2%, 4% dan 6%. Komposisi campuran substitusi *filler* dan HDPE dapat dilihat pada Lampiran C Tabel C.4.15-C.4.17 Halaman 85-87. Untuk lebih jelas hasil pengujian keseluruhan parameter Marshall dengan substitusi *filler* dan HDPE dapat dilihat pada Lampiran C Tabel C.4.21-C.4.23 Halaman 91-93. Grafik pengujian *Marshall* dapat dilihat pada Lampiran C Gambar A.4.2-A.4.6 Halaman 71-75.

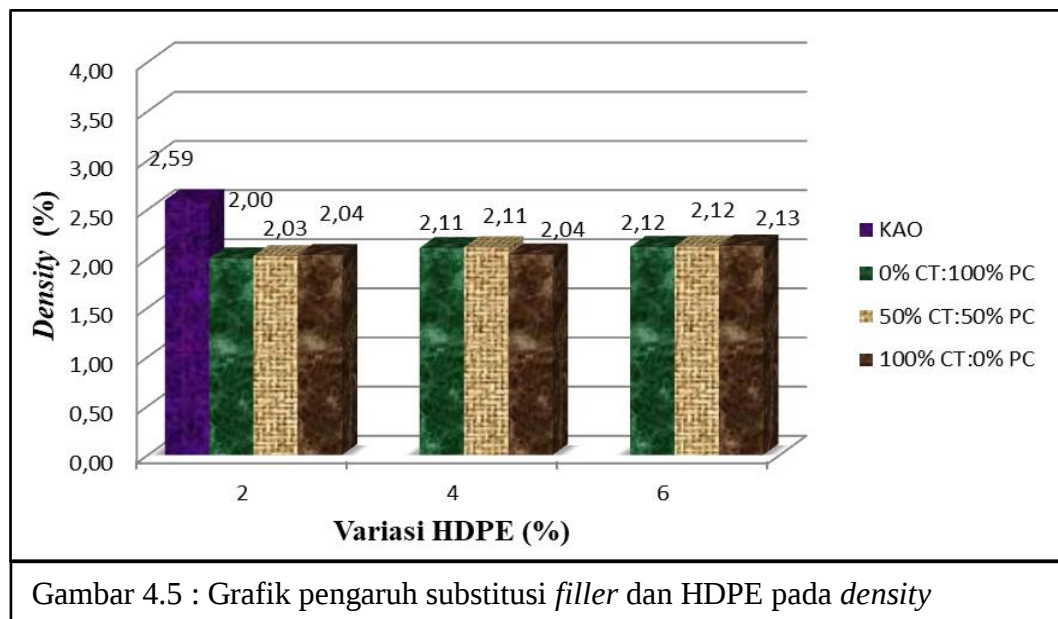
##### 4.5.1 Hasil Density dengan Substitusi Filler dan HDPE

Hasil *density* untuk kadar aspal optimum 5,8% pada campuran aspal berongga dengan variasi *filler* 0% CT : 100% PC, 50% CT : 50% PC dan 100% CT : 0% PC terhadap berat total *filler* dengan substitusi HDPE 2%, 4% dan 6% terhadap berat total aspal. Untuk lebih jelas hasil pengujian keseluruhan *density* dapat dilihat pada Lampiran C Tabel C.4.21-C.4.23 Halaman 91-93. Rekapitulasi hasil *density* pada campuran aspal berongga pengaruh substitusi cangkang tiram dengan HDPE dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7 Rekapitulasi Hasil *Density* dengan Substitusi CT dan HDPE

| No | Karakteristik                       | Substitusi HDPE (%) |      |      | Persyaratan<br>(gram/cm <sup>3</sup> ) |
|----|-------------------------------------|---------------------|------|------|----------------------------------------|
|    |                                     | 2                   | 4    | 6    |                                        |
| 1  | <i>Density</i><br>(0% CT : 100% PC) | 2,00                | 2,11 | 2,12 | ≥ 2                                    |
| 2  | <i>Density</i><br>(50% CT : 50% PC) | 2,03                | 2,11 | 2,12 |                                        |
| 3  | <i>Density</i><br>(100% CT : 0% PC) | 2,04                | 2,04 | 2,13 |                                        |

Dari Tabel 4.7 nilai *density* dalam campuran aspal berongga diperoleh 2,00 gram/cm<sup>3</sup>-2,13 gram/cm<sup>3</sup>. *Density* (kepadatan) merupakan perbandingan antara berat kering benda uji dengan berat air pada volume yang sama. semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar massa setiap volumenya. Rekapitulasi hasil nilai *density* kemudian diplot pada grafik hubungan substitusi *filler* dengan HDPE dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut:



Berdasarkan Gambar 4.5 menunjukkan bahwa nilai *density* meningkat seiring dengan bertambahnya kadar HDPE dan variasi CT dalam campuran aspal berongga, hal ini disebabkan oleh HDPE yang mampu mengikat antara agregat dan CT yang mampu mengisi rongga-rongga dalam campuran serta volume dari campuran dan proses pemadatan yang dilakukan sama pada setiap variasi campuran. Untuk lebih jelas grafik hubungan persentase kadar cangkang tiram dengan HDPE terhadap nilai *density* dapat dilihat pada Lampiran A Gambar A.4.2 Halaman 71.

#### 4.5.2 Hasil Pengujian *Void In Mix* (VIM) dengan Substitusi *Filler* dan HDPE

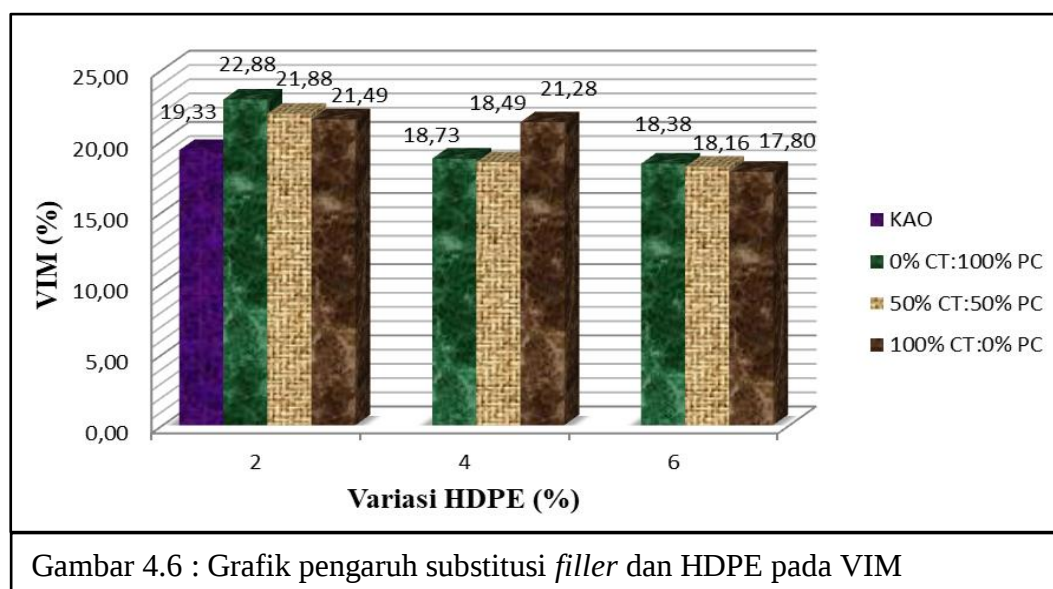
Hasil nilai *Void In Mix* (VIM) untuk kadar aspal optimum 5,8% pada campuran aspal berongga dengan variasi *filler* 0% CT : 100% PC, 50% CT : 50%

PC dan 100% CT : 0% PC dengan substitusi HDPE 2%, 4% dan 6%. Untuk lebih jelas hasil pengujian keseluruhan VIM dapat dilihat pada Lampiran C Tabel C.4.21-C.4.23 Halaman 91-93. Rekapitulasi hasil pengujian VIM pengaruh substitusi cangkang tiram dengan HDPE dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut:

Tabel 4.8 Rekapitulasi Hasil VIM dengan Substitusi CT dan HDPE

| No | Karakteristik                 | Substitusi HDPE (%) |       |       | Persyaratan (%) |
|----|-------------------------------|---------------------|-------|-------|-----------------|
|    |                               | 2                   | 4     | 6     |                 |
| 1  | Void In Mix (0% CT : 100% PC) | 22,88               | 18,73 | 18,38 | 18 – 25         |
| 2  | Void In Mix (50% CT : 50% PC) | 21,88               | 18,49 | 18,16 |                 |
| 3  | Void In Mix (100% CT : 0% PC) | 21,49               | 21,28 | 17,80 |                 |

Dari Tabel 4.8 nilai VIM diperoleh 18,16%-22,88%. Nilai VIM yang terlalu tinggi akan mengakibatkan berkurangnya keawetan perkerasan. Nilai VIM yang terlalu rendah akan mengakibatkan terjadinya *bleeding* pada lapis keras. Rekapitulasi hasil pengujian VIM kemudian diplot pada grafik hubungan substitusi *filler* dengan HDPE pada Gambar 4.6 berikut:



Gambar 4.6 : Grafik pengaruh substitusi *filler* dan HDPE pada VIM

Berdasarkan Gambar 4.6 menunjukkan bahwa nilai VIM menurun seiring bertambahnya kadar HDPE, hal tersebut dikarenakan HDPE yang kurang tercampur sempurna dengan aspal justru membuat rongga-rongga antar agregat tertutupi. Seiring dengan bertambahnya *filler* CT mempengaruhi nilai VIM

menjadi semakin menurun kecuali pada persentase 50% CT : 50% CT dengan 4% HDPE dalam campuran aspal berongga, hal ini dikarenakan CT mengisi campuran sehingga berkurangnya rongga antar agregat. Nilai VIM diperoleh 18,16% - 22,88%. Untuk lebih jelas grafik hubungan persentase kadar cangkang tiram dengan HDPE terhadap nilai VIM dapat dilihat pada Lampiran Gambar A.4.3 Halaman 72.

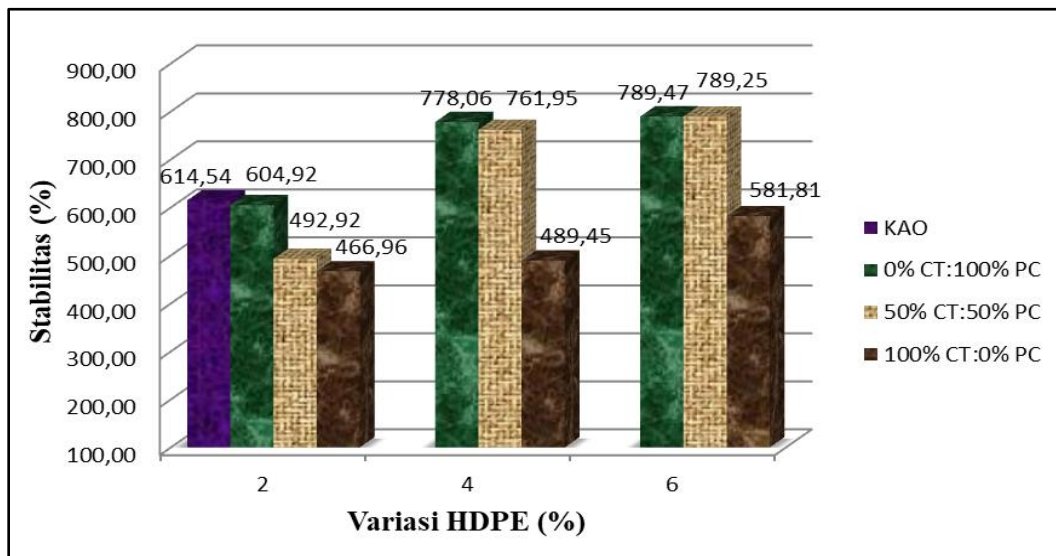
#### 4.5.3 Hasil Stabilitas dengan Substitusi *Filler* dan HDPE

Hasil nilai Stabilitas untuk kadar aspal optimum 5,8% pada campuran aspal berongga dengan variasi *filler* 0% CT : 100% PC, 50% CT : 50% PC dan 100% CT : 0% PC dengan substitusi HDPE 2%, 4% dan 6%. Untuk lebih jelas hasil keseluruhan nilai stabilitas dapat dilihat pada Lampiran C Tabel C.4.21-C.4.23 Halaman 91-93. Rekapitulasi hasil nilai stabilitas pengaruh substitusi cangkang tiram dengan HDPE dapat dilihat pada Tabel 4.9 berikut:

Tabel 4.9 Rekapitulasi Hasil Stabilitas dengan Substitusi CT dan HDPE

| No | Karakteristik                | Substitusi HDPE (%) |        |        | Persyaratan (kg) |
|----|------------------------------|---------------------|--------|--------|------------------|
|    |                              | 2                   | 4      | 6      |                  |
| 1  | Stabilitas (0% CT : 100% PC) | 604,92              | 778,06 | 789,47 | Min. 500         |
| 2  | Stabilitas (50% CT : 50% PC) | 492,92              | 761,95 | 789,25 |                  |
| 3  | Stabilitas (100% CT : 0% PC) | 466,96              | 489,45 | 581,81 |                  |

Dari Tabel 4.9 nilai stabilitas dalam campuran aspal berongga diperoleh 466,96 kg-789,47 kg, dimana nilai stabilitas keseluruhan sesuai dengan persyaratan namun untuk persentase 50% CT : 50% PC dengan 2% HDPE dan persentase 100% CT : 0% PC dengan 2% dan 4% HDPE tidak sesuai dengan persyaratan yaitu Min. 500 kg. Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap gelombang alur atau *bleeding*. Hasil rekapitulasi nilai stabilitas kemudian diplot pada grafik hubungan substitusi *filler* dengan HDPE dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut:



Gambar 4.7 : Grafik pengaruh substitusi *filler* dan HDPE pada stabilitas

Berdasarkan Gambar 4.7 menunjukkan bahwa nilai stabilitas meningkat seiring dengan bertambahnya kadar HDPE, hal ini bisa terjadi karena aspal dan HDPE memiliki sifat yang sama yaitu termoplastik maka semakin banyak kadar HDPE justru membuat campuran aspal semakin mengental. Sedangkan seiring bertambahnya variasi CT dalam campuran aspal berongga mengalami nilai stabilitas menurun, hal ini dikarenakan *filler* CT hanya berfungsi sebagai pengisi dalam campuran sehingga tidak mampu mengikat partikel didalam campuran. Untuk lebih jelas grafik hubungan persentase kadar cangkang tiram dengan HDPE terhadap nilai stabilitas dapat dilihat pada Lampiran A Gambar A.4.4 Halaman 73.

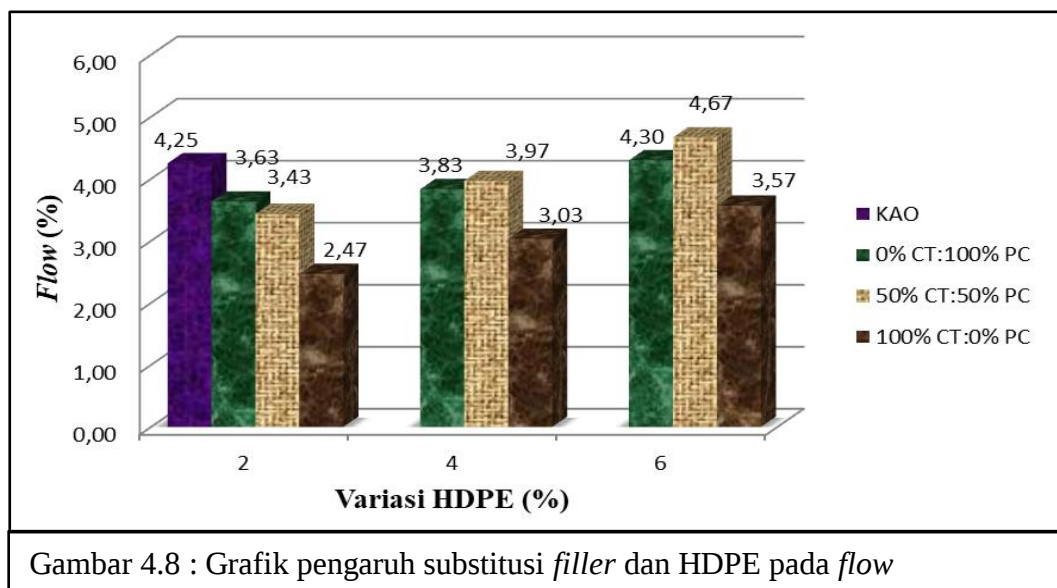
#### 4.5.4 Hasil *Flow* dengan Substitusi *Filler* dan HDPE

Hasil nilai *flow* untuk kadar aspal optimum 5,8% pada campuran aspal berongga dengan variasi *filler* 0% CT : 100% PC, 50% CT : 50% PC dan 100% CT : 0% PC dengan substitusi HDPE 2%, 4% dan 6%. Untuk lebih jelas hasil keseluruhan nilai *flow* dapat dilihat pada Lampiran C Tabel C.4.21-C.4.23 Halaman 91-93. Rekapitulasi hasil nilai *flow* pada campuran aspal berongga pengaruh substitusi cangkang tiram dengan HDPE dapat dilihat pada Tabel 4.10 berikut:

Tabel 4.10 Rekapitulasi Hasil Nilai *Flow* dengan Substitusi CT dan HDPE

| No | Karakteristik                    | Substitusi HDPE (%) |      |      | Persyaratan (mm) |
|----|----------------------------------|---------------------|------|------|------------------|
|    |                                  | 2                   | 4    | 6    |                  |
| 1  | <i>Flow</i><br>(0% CT : 100% PC) | 3,63                | 3,83 | 4,30 | 2-6              |
| 2  | <i>Flow</i><br>(50% CT : 50% PC) | 3,43                | 3,97 | 4,67 |                  |
| 3  | <i>Flow</i><br>(100% CT : 0% PC) | 2,47                | 3,03 | 3,57 |                  |

Dari Tabel 4.10 Nilai *flow* dalam campuran aspal berongga diperoleh 2,47%-4,67%, dimana nilai *flow* keseluruhan sesuai dengan persyaratan yaitu 2-6 mm. Nilai *flow* menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapisan perkerasan akibat beban yang diterimanya. Nilai *flow* kemudian diplot pada grafik hubungan substitusi *filler* dengan HDPE dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut:



Berdasarkan Gambar 4.8 menunjukkan bahwa nilai *flow* meningkat seiring dengan bertambahnya kadar HDPE, hal ini disebabkan oleh campuran aspal dan HDPE mengental. Sedangkan seiring bertambahnya variasi CT dalam campuran aspal berongga terjadi penurunan, hal ini terjadi karena CT tidak mengisi rongga antar agregat. Untuk lebih jelas grafik hubungan persentase kadar cangkang tiram dengan HDPE terhadap nilai *flow* dapat dilihat pada Lampiran A Gambar A.4.5 Halaman 74.

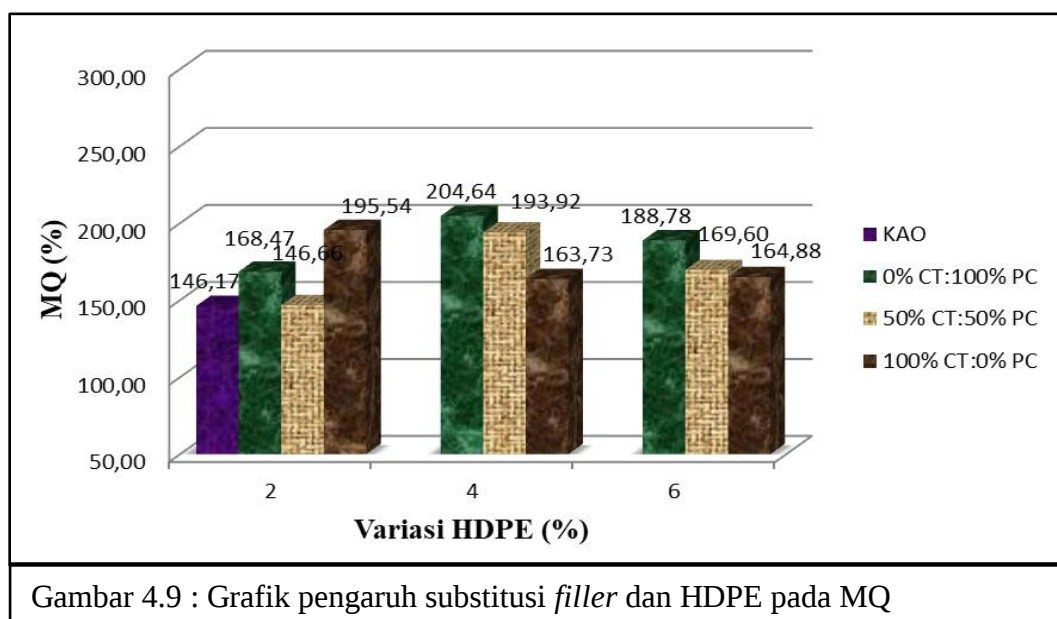
#### 4.5.5 Hasil *Marshall Qoutient* (MQ) dengan Substitusi *Filler* dan HDPE

Hasil nilai *marshall qoutient* untuk kadar aspal optimum 5,8% pada campuran aspal berongga dengan variasi *filler* 0% CT : 100% PC, 50% CT : 50% PC dan 100% CT : 0% PC dengan substitusi HDPE 2%, 4% dan 6%. Untuk lebih jelas hasil keseluruhan nilai *marshall qoutient* dapat dilihat pada Lampiran C Tabel C.4.21-C.4.23 Halaman 91-93. Rekapitulasi hasil nilai *marshall qoutient* pada campuran aspal berongga pengaruh substitusi cangkang tiram dengan HDPE dapat dilihat pada Tabel 4.11 berikut:

Tabel 4.11 Rekapitulasi Hasil Nilai MQ dengan Substitusi CT dan HDPE

| No | Karakteristik                              | Substitusi HDPE (%) |        |        | Persyaratan (kg/mm) |
|----|--------------------------------------------|---------------------|--------|--------|---------------------|
|    |                                            | 2                   | 4      | 6      |                     |
| 1  | <i>Marshall Qoutient</i> (0% CT : 100% PC) | 168,47              | 204,64 | 188,78 | Maks. 400           |
| 2  | <i>Marshall Qoutient</i> (50% CT : 50% PC) | 146,66              | 193,92 | 169,60 |                     |
| 3  | <i>Marshall Qoutient</i> (100% CT : 0% PC) | 195,54              | 163,73 | 164,88 |                     |

Dari Tabel 4.11 Nilai *marshall qoutient* dalam campuran aspal berongga diperoleh 146,66kg/mm-204,64kg/mm. Hasil *marshall qoutient* kemudian diplot pada grafik hubungan substitusi *filler* dengan HDPE dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut:



Berdasarkan Gambar 4.9 menunjukkan bahwa nilai *marshall qoutient* meningkat seiring dengan bertambahnya kadar HDPE dan menurun seiring bertambahnya variasi CT dalam campuran aspal berongga, kecuali pada persentase 100% CT : 0% PC dengan 2% HDPE. Nilai MQ digunakan sebagai pendekatan terhadap kekakuan campuran. Semakin tinggi nilai MQ maka campuran akan kaku dan mudah timbul retak, sedangkan semakin rendah nilai MQ maka perkerasan akan mudah mengalami deformasi. Untuk lebih jelas grafik hubungan persentase kadar cangkang tiram dengan HDPE terhadap nilai *marshall qoutient* dapat dilihat pada Lampiran A Gambar A.4.6 Halaman 75.

#### 4.6 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* (CL) dengan substitusi *Filler* dan HDPE

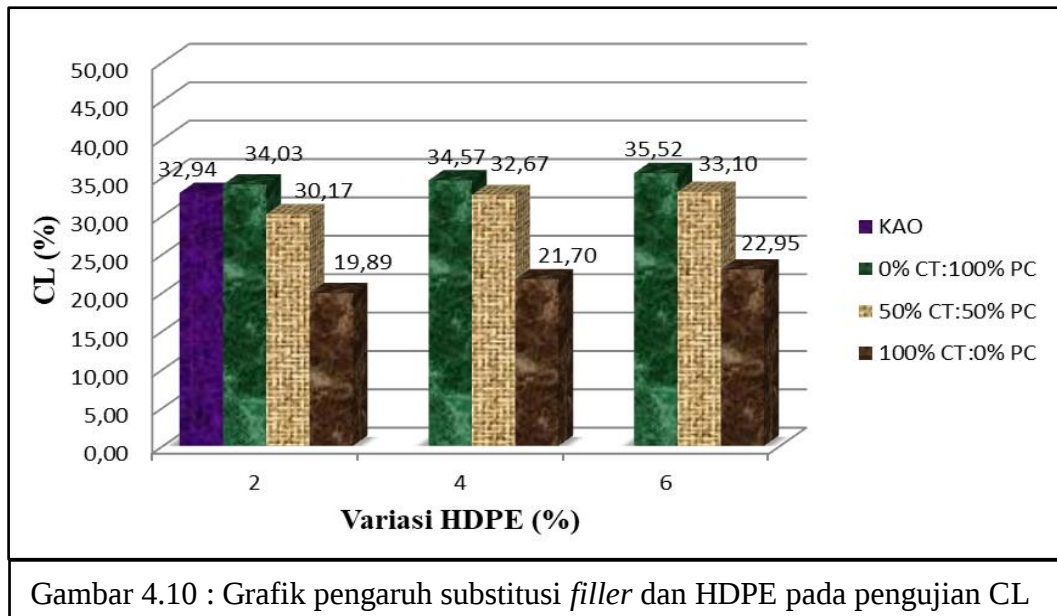
Hasil pengujian *Cantabro Loss* (CL) untuk kadar aspal optimum 5,8% pada campuran aspal berongga dengan variasi *filler* 0% CT : 100% PC, 50% CT : 50% PC dan 100% CT : 0% PC dengan substitusi HDPE 2%, 4% dan 6%. Untuk lebih jelas hasil pengujian keseluruhan CL dapat dilihat pada Lampiran C Tabel C.4.24-C.4.26 Halaman 94-96. Rekapitulasi hasil pengujian CL pada campuran aspal berongga pengaruh substitusi cangkang tiram dengan HDPE dapat dilihat pada Tabel 4.12 berikut:

Tabel 4.12 Rekapitulasi Hasil Pengujian CL Substitusi CT dan HDPE

| No | Karakteristik                             | Substitusi HDPE (%) |       |       | Persyaratan (%) |
|----|-------------------------------------------|---------------------|-------|-------|-----------------|
|    |                                           | 2                   | 4     | 6     |                 |
| 1  | <i>Cantabro Loss</i><br>(0% CT : 100% PC) | 34,03               | 34,57 | 35,52 | Maks. 35        |
| 2  | <i>Cantabro Loss</i><br>(50% CT : 50% PC) | 30,17               | 32,67 | 33,10 |                 |
| 3  | <i>Cantabro Loss</i><br>(100% CT : 0% PC) | 19,89               | 21,70 | 22,95 |                 |

Dari Tabel 4.12 nilai CL diperoleh sebesar 19,89%-35,52%, dengan nilai tertinggi terdapat pada persentase 0% CT : 100% PC dengan 6% kadar HDPE dan tidak sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan. *Cantabro loss* menunjukkan ketahanan campuran terhadap pelepasan butir, semakin tinggi nilai CL maka

ketahanan terhadap pelepasan butir semakin kecil dan begitu juga sebaliknya. Hasil pengujian CL kemudian diplot pada grafik hubungan substitusi *filler* dengan HDPE dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut:



Berdasarkan Gambar 4.10 menunjukkan bahwa nilai CL semakin meningkat dengan bertambahnya kadar HDPE, hal ini disebabkan karena pengaruh HDPE yang meleleh pada saat pencampuran yang mengakibatkan serat dapat lebih mengikat agregat sehingga dapat mengurangi kehilangan berat. Sedangkan seiring bertambahnya variasi CT dalam campuran aspal berongga terjadi penurunan, hal ini disebabkan oleh kurangnya daya ikat CT dalam campuran. Untuk lebih jelas grafik hubungan persentase kadar cangkang tiram dengan HDPE terhadap nilai CL dapat dilihat pada Lampiran A Gambar A.4.7 Halaman 76.

#### 4.7 Hasil Pengujian *Asphalt Flow Down* (AFD) dengan Substitusi *filler* dan HDPE

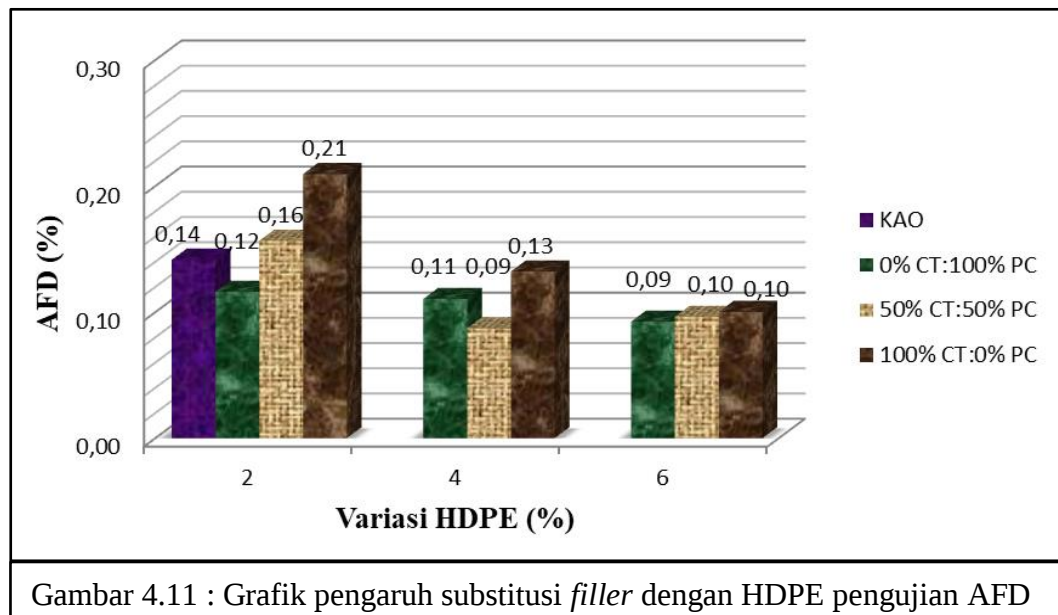
Hasil pengujian *Asphalt Flow Down* (AFD) untuk kadar aspal optimum 5,8% pada campuran aspal berongga dengan variasi *filler* 0% CT : 100% PC, 50% CT : 50% PC dan 100% CT : 0% PC dengan substitusi HDPE 2%, 4% dan 6%. Untuk lebih jelas hasil pengujian keseluruhan AFD dapat dilihat pada Lampiran C

Tabel C.4.27-C.4.29 Halaman 97-98. Rekapitulasi hasil pengujian AFD pada aspal berongga pengaruh substitusi cangkang tiram dengan HDPE dapat dilihat pada Tabel 4.13 berikut:

Tabel 4.13 Rekapitulasi Hasil Pengujian AFD Substitusi CT dan HDPE

| No | Karakteristik                       | Substitusi HDPE (%) |      |      | Persyaratan (%) |
|----|-------------------------------------|---------------------|------|------|-----------------|
|    |                                     | 2                   | 4    | 6    |                 |
| 1  | Asphalt Flow Down (0% CT : 100% PC) | 0,12                | 0,11 | 0,09 | Maks. 0,3       |
| 2  | Asphalt Flow Down (50% CT : 50% PC) | 0,16                | 0,09 | 0,10 |                 |
| 3  | Asphalt Flow Down (100% CT : 0% PC) | 0,21                | 0,13 | 0,10 |                 |

Dari Tabel 4.13 nilai AFD diperoleh 0,09%-0,21%, dengan nilai tertinggi terdapat pada persentase 100% CT : 0% PC dengan 2% kadar HDPE dan masih memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. *Asphalt Flow Down* (AFD) bertujuan untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang dapat tercampur homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal. Rekapitulasi hasil pengujian AFD kemudian diplot pada grafik hubungan substitusi *filler* dengan HDPE dapat dilihat pada Gambar 4.11 berikut:



Berdasarkan Gambar 4.11 menunjukkan bahwa nilai AFD semakin menurun dengan bertambahnya kadar HDPE, hal ini disebabkan oleh aspal yang

telah dicampurkan dengan HDPE semakin mengental membuat daya ikatan campuran antar agregat semakin kuat. Sedangkan seiring bertambahnya variasi CT dalam campuran aspal berongga mengalami nilai AFD meningkat kecuali pada persentase 50% CT : 50% PC pada kadar HDPE 4%, hal ini terjadi karena CT tidak mampu tercampur secara rata dalam campuran aspal berongga sehingga semakin mudah aspal untuk melalui celah pada keranjang. Untuk lebih jelas grafik hubungan persentase kadar cangkang tiram dengan HDPE terhadap nilai AFD dapat dilihat pada Lampiran A Gambar A.4.8 Halaman 77.

Rekapitulasi hasil keseluruhan pengujian Marshall, CL dan AFD tanpa substitusi *filler* dan HDPE serta hasil keseluruhan pengujian Marshall, CL dan AFD dengan substitusi *filler* dan HDPE dapat dilihat pada Lampiran C Tabel C.4.30-C.4.31 Halaman 99.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dan saran dapat diambil berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya.

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang analisis karakteristik campuran aspal berongga menggunakan plastik HDPE dapat diambil kesimpulan, yaitu :

1. Berdasarkan evaluasi parameter metode *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA 2004) yang meliputi *Cantabro Loss* (CL), *Void In Mix* (VIM) dan *Asphalt Flow Down* (AFD) diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran aspal berongga yaitu 5,8%.
2. Pada pengujian *Void In Mix* (VIM) persentase yang memenuhi persyaratan standar AAPA (2004) dengan batasan nilai 18-25% yaitu pada persentase 50% CT : 50% PC dengan kadar HDPE 4% dan 6% diperoleh nilai masing-masing 18,49% dan 18,16%. Semakin besar penambahan variasi Cangkang Tiram (CT) dan variasi HDPE menyebabkan nilai *void in mix* semakin menurun.
3. Pada pengujian *Asphalt Flow Down* (AFD) persentase yang memenuhi persyaratan standar AAPA (2004) dengan nilai maksimal 0,3% yaitu pada persentase 50% CT : 50% PC dengan kadar HDPE 4% dan 6% diperoleh nilai masing-masing 0,09% dan 0,10%. Semakin besar variasi penambahan HDPE menyebabkan nilai *asphalt flow down* semakin menurun. Sedangkan semakin bertambah variasi Cangkang Tiram (CT) nilai *asphalt flow down* semakin meningkat.
4. Pada pengujian *Cantabro Loss* (CL) persentase yang memenuhi persyaratan standar AAPA (2004) dengan nilai maksimal 35% yaitu pada persentase 50% CT : 50% PC dengan kadar HDPE 4% dan 6% diperoleh nilai masing-masing 32,67% dan 30,07%. Peningkatan variasi

penambahan HDPE menyebabkan nilai *cantabro loss* semakin besar dengan kata lain ketahanan campuran terhadap pelepasan butiran semakin kecil. Sedangkan peningkatan variasi penambahan Cangkang Tiram (CT) menyebabkan nilai *cantabro loss* semakin kecil yang diakibatkan banyaknya kadar *filler*.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian diatas diberikan beberapa saran untuk mempermudah peneliti selanjutnya:

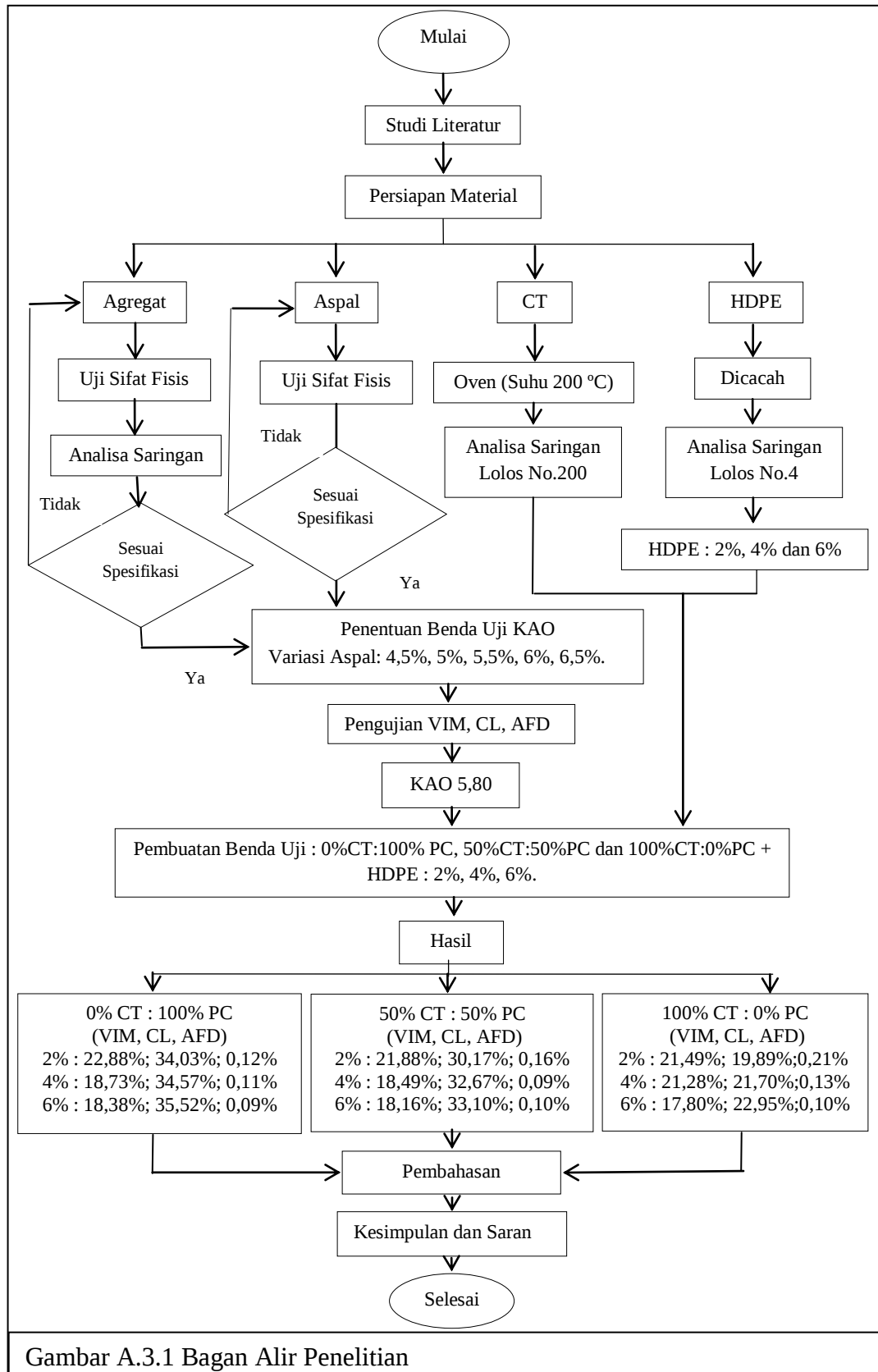
1. Metode pencampuran pada penelitian ini menggunakan cara kering, maka untuk peneliti selanjutnya disarankan menggunakan cara basah.
2. Sebagai perbandingan pada penelitian ini menggunakan metode *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) tahun 2004, maka untuk peneliti selanjutnya disarankan menggunakan metode *Road Engineering Association Of Malaysia* (REAM) tahun 2008.
3. Untuk peneliti selanjutnya disarankan menambahkan variasi pada *filler* Cangkang Tiram (CT) yaitu 75% CT terhadap berat total *filler* dan penambahan variasi limbah *High Density Polyethylene* (HDPE) diatas 6% terhadap berat total aspal.
4. Untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan penelitian serupa yaitu cangkang tiram sebagai substitusi *filler* dan limbah LDPE sebagai substitusi aspal pen 60/70.
5. Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai unsur kimia yang terkandung dalam Cangkang Tiram (CT).

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

- AAPA, Australian Asphalt Pavement Association, 1997, *Open Graded Asphalt Design Guide*, Australian.
- AAPA, Australian Asphalt Pavement Association, 2004, *National Asphalt Specification*, Second Edition.
- Agus, I, 2009. *Statistik: Konsep Dasar dan Aplikasinya*, Penerbit Kencana, Jakarta.
- Bukhari, R. A, 2007. *Rekayasa Bahan dan Tebal Perkerasan Jalan Raya*, Bidang Studi Teknik Transportasi Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala.
- Bunjamin, Zainal Abidin dan Febrina Dian Kurniasari, 2021. *Uji Marshall Pada Campuran AC-WC Dengan Substitusi Filler*, Serambi Engineering, Volume VI, No. 1. 1631-1638.
- Diana, 1995. *Aspal Porus*, Bandar Lampung: Fakultas Teknik, UNILA.
- Diana, 2004. *The Influence Of Using Modified Asphalt On Durability Of Porus Asphalt*, Laporan Penelitian, Bandar Lampung: Fakultas Teknik UNILA.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018. *Spesifikasi Umum Bidang Direktorat Jenderal Bina Marga Edisi 2018 Divisi 6*. Kementerian Pekerjaan Umum Indonesia.
- Djumari dan Djoko sarwono, 2009. *Perencanaan Gradasi Aspal Porus Menggunakan Material Lokal Dengan Metode Pemampatan Kering*. Media Teknik Sipil, Volume IX.
- Edison, Bambang, 2010. *Karakteristik Campuran Aspal Panas (Asphalt Concrete-Binder Course) menggunakan Aspal Polimer*. Jurnal APTEK Vol. 2, No.1.
- Gasruddin, Ahmad, 2019. *Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Aspal Berongga Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70*. Jurnal Media Inovasi Teknik Sipil UNIDAYAN, 8(1), 70-80.
- Hardiman, 2004. *Application of Cantabrian and Binder Drainage Tests in Designing of Porous Asphalt Binder Content*. Jurnal Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi, Volume 4, No. 2. Bandung.

- Koting, Suhana, Mohamed Rehan Karim dan Hilmi Mahmud, 2007. *The Properties Of Bituminous Mixtures For Semi-Flexible Pavement*. Proceeding Of The Eastern Asia Society For Transportation Studies, Vol.6
- Rahman dan Nobinur, 2013. *Studi Sifat Reologi Aspal Pen Rendah Dan Tinggi Yang Dimodifikasi Limbah Tas Plastic (HDPE)*.
- Ruwa, R. K, 1989. *Pertumbuhan Crassostrea Cucullata Born (Bivalvia) Pada Level Berbeda Zona Intertidal*. Kenya Marine and Fisheries Research Institute, Aquaculture, 88 (1990) : 303 – 312.
- Sanusi dan Setyawan, 2008. *Observasi Properties Aspal Porus Berbagai Gradasi Dengan Material Lokal*. Media Teknik Sipil.
- Sukirman, 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Bandung: Nova.
- Sukirman, 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*, Bandung: Granit.
- Supriyadi, I. R. D, Boedi Rahardjo dan Pranoto, 2018. *Kajian Eksperimental Campuran Aspal Porus Dengan Bahan Tambahan Plastik HDPE (High Density Poly Ethylene*, Jurnal Bangunan, Vol. 23, No. 2.
- Syammaun, Tamalkhani, Firmansyah Rachman dan Rifki Hidayat, 2019. *Characteristic of Coconut-Shell Ash as Filler and LDPE Plastic Waste as Substitution Materials of Porus Asphalt Mixtures*. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: 2277-3878, Volume 8
- Syammaun, Tamalkhani dan Riska Yati, 2020. *Effect Of Coconut-Shell Ash As Filler And Plastic Bottle As Substitution Of Porus Asphalt Mixture*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 821. No.1.
- Tahir dan Setiawan, 2009. *Kinerja Durabilitas Campuran Beton Aspal Ditinjau dari Faktor Suhu Pemadatan dan Lama Perendaman*. Jurnal Teknik Sipil- Universitas Tadulako, Palu.
- Watson, D. E., Moore, K. A., William, K and Cooley, L. A. 2003. *Refinement of New Generation Open-graded Friction Course Mix Design*. Annual Meeting of the Transportation Research Board, Auburn.
- Winayati, W, 2011. *Analisis Penggunaan Abu Tandan Kelapa Sawit Sebagai Filler Ditinjau Dari Nilai Keausan Perkerasan (Cantabro Loss)*. Jurnal Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning.

## LAMPIRAN A



## LAMPIRAN A



Gambar A.3.2 : Peta Provinsi Aceh

Sumber : <https://aceh.bps.go.id> (2021)



Gambar A.3.3 : Peta Lokasi Pengambilan Agregat

Sumber : <https://bit.ly/3hSG6VE> (2021)



Gambar A.3.4 : Peta Lokasi Pengambilan Limbah Cangkang Tiram

Sumber : <https://bit.ly/36sIeOv> (2021)



Gambar A.3.5 : Peta Lokasi Pengambilan Limbah HDPE

Sumber : <https://bit.ly/3sC6IeOv> (2021)



Gambar A.3.6 : Peta Lokasi Penelitian

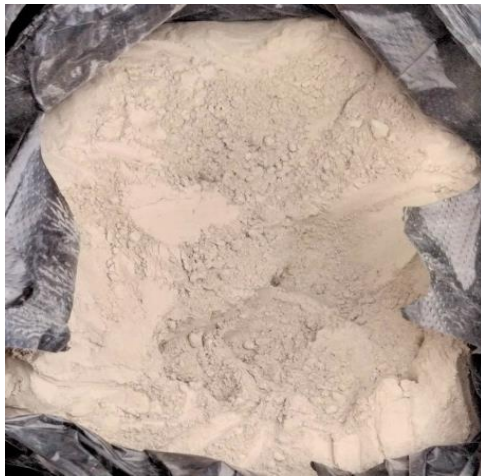
Sumber : <https://bit.ly/7sC2IeOv> (2022)



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Keterangan :

- a. Agregat
- b. Aspal pen. 60/70
- c. Semen
- d. Abu cangkang tiram lolos saringan No. 200
- e. Limbah HDPE lolos saringan No. 4

Gambar A.3.7 : Bahan yang digunakan

Sumber : 11 September 2021



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Keterangan :

- a. Oven
- b. *Los Angeles*
- c. Daktilitas
- d. Timbangan air
- e. *Water bath*

Gambar A.3.8 : Alat yang digunakan  
Sumber : 15 September 2021



(a)



(b)



(c)



(d)

Keterangan :

- a. *Sieve analysis*
- b. *Marshall test*
- c. *ImpCT*
- d. *Extruder*

Gambar A.3.9 : Alat yang digunakan  
Sumber : 15 September 2021



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Keterangan :

- a. Penetrometer
- b. Softening ball
- c. *Flakiness gauge*
- d. *Elongation gauge*
- e. Kualiti dan kompor

Gambar A.3.10 : Alat yang digunakan  
Sumber : 15 September 2021



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Keterangan :

- a. Pengambilan agregat
- b. Penyaringan agregat
- c. Pencucian agregat
- d. Penjemuran agregat
- e. Penimbangan agregat

Gambar A.3.11 : Analisis agregat  
Sumber : 15 Oktober 2021



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

Keterangan :

- Pengambilan limbah cangkang tiram
- Pencucian
- Penjemuran
- Pengovenan
- Cangkang tiram setelah dioven
- Penumbukan
- Abu cangkang tiram lolos saringan No. 200

Gambar A.3.12 : Proses Pengolahan Abu Cangkang Tiram

Sumber : 23 November 2021



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Keterangan :

- a. Limbah HDPE yang digunakan
- b. Limbah HDPE setelah dicacah
- c. Pencucian
- d. Penjemuran
- e. Limbah HDPE sebelum disaring
- f. Limbah HDPE lolos saringan No. 4

Gambar A.3.13 : Proses Pengolahan Limbah HDPE

Sumber : 23 November 2021



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Keterangan :

- a. Pengujian kepipihan
- b. Pengujian kelonjongan
- c. Bahan untuk pengujian titik lembek
- d. Pengujian titik lembek

- e. Bahan pengujian daktilitas
- f. Pengujian daktilitas
- g. Bahan untuk pengujian penetrasi
- h. Pengujian penetrasi

Gambar A.3.14 : Proses Pengujian Sifat Fisis Agregat dan Aspal

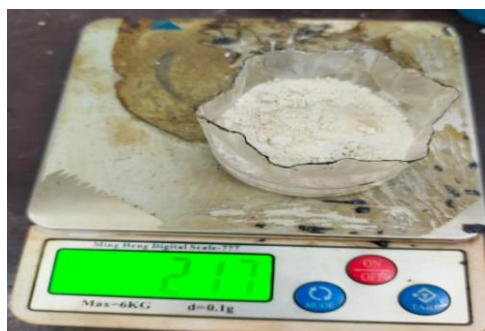
Sumber : 08 Desember 2021



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Keterangan :

- Penimbangan agregat
- Penimbangan *filler* semen
- Penimbangan *filler* CT
- Penimbangan HDPE
- Penimbangan aspal
- Pemanasan agregat

Gambar A.3.15 : Proses Pembuatan Benda Uji

Sumber : 20 Desember 2021



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Keterangan :

- a. Penambahan HDPE pada campuran
- b. Penambahan aspal pada campuran
- c. Proses pencampuran
- d. Proses penambahan *filler*
- e. Setelah pencampuran
- f. Penumbukan

Gambar A.3.16 : Proses Pembuatan Benda Uji

Sumber : 20 Desember 2021



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Keterangan :

- a. Pengeluaran benda uji dengan alat *extruder*
- b. Benda uji
- c. Perendaman benda uji selama 24 jam
- d. Penimbangan benda uji didalam air
- e. Perendaman benda uji didalam *water bath* selama 30 menit dengan suhu 60°
- f. Pengujian marshall

Gambar A.3.17 : Proses Pembuatan Benda Uji Untuk Pengujian *Marshall*

Sumber : 20 Desember 2021



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Keterangan :

- a. Pencampuran campuran
- b. Penumbukan
- c. Pengeluaran benda uji dari cetakan menggunakan *extruder*
- d. Hasil benda uji
- e. Pengujian CL dengan alat *Loss Angles*
- f. Benda uji setelah keluar dari mesin *Loss Angles*

Gambar A.3.18 : Proses Pengujian CL

Sumber : 27 Desember 2021



(a)



(b)



(c)



(d)



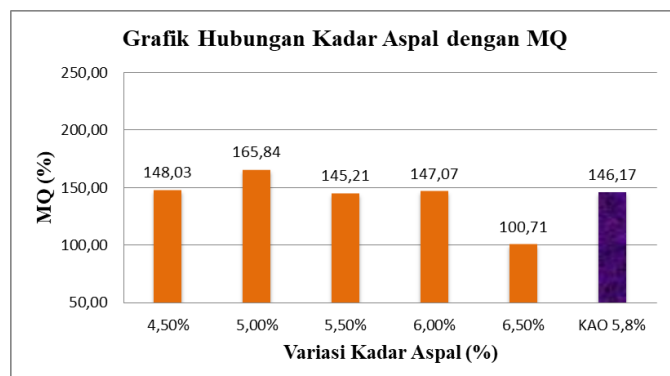
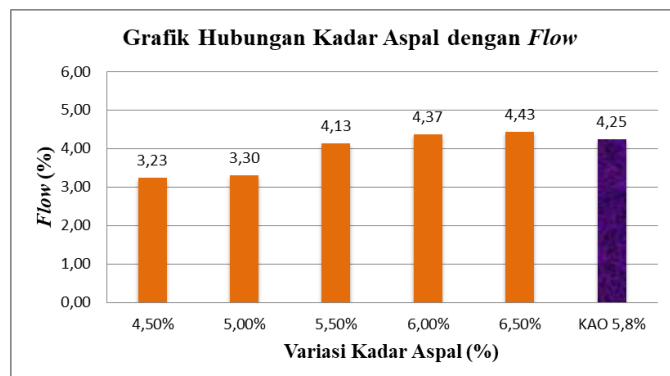
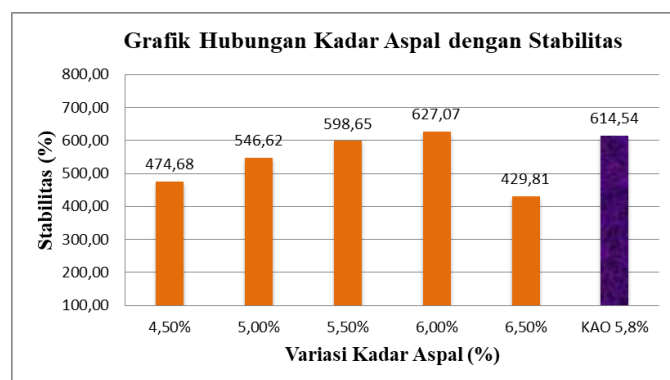
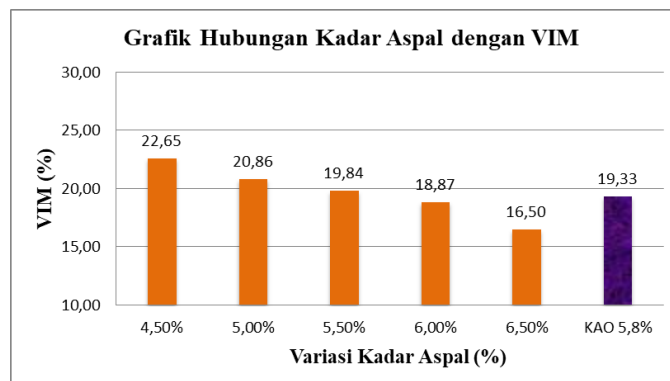
(e)

Keterangan :

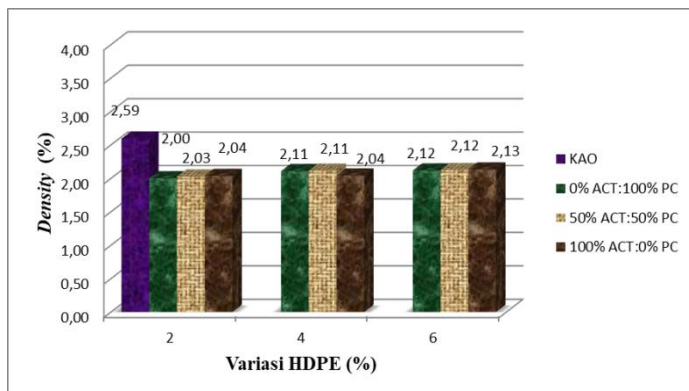
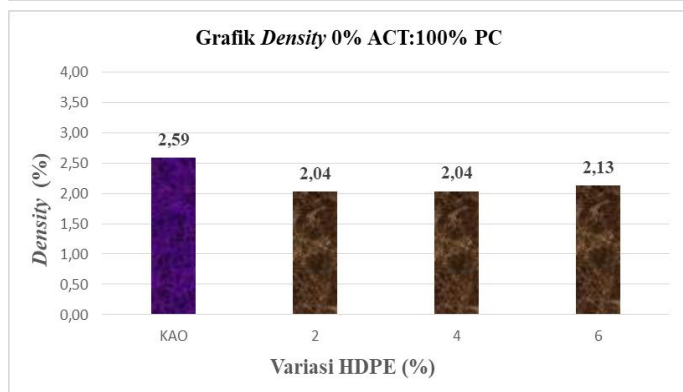
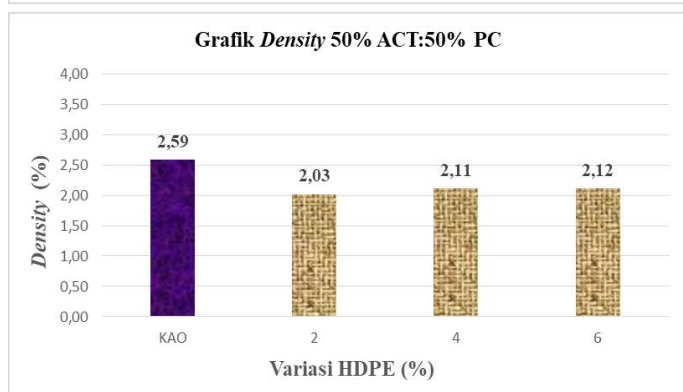
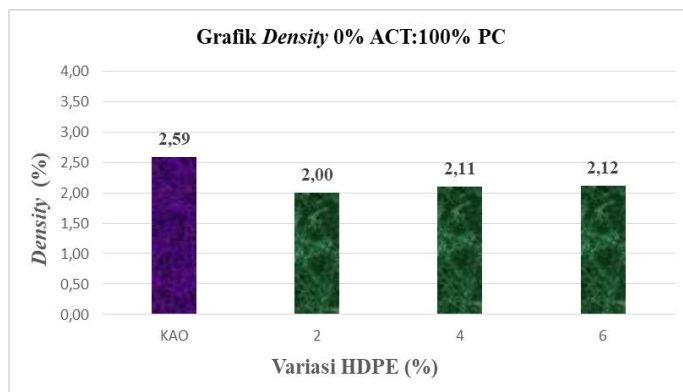
- a. Persiapan pengujian AFD
- b. Pencampuran campuran
- c. Proses campuran dimasukkan kedalam *bucket*
- d. *Bucket* yang berisi campuran dimasukkan kedalam oven
- e. Hasil AFD setelah dioven selama 1 jam dengan suhu  $160^{\circ}\text{C}$

Gambar A.3.19 : Proses Pengujian AFD

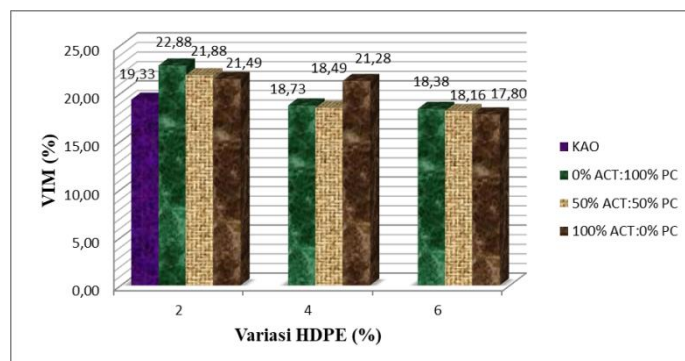
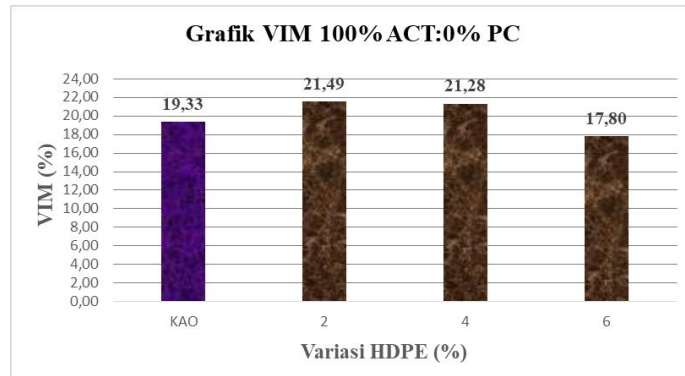
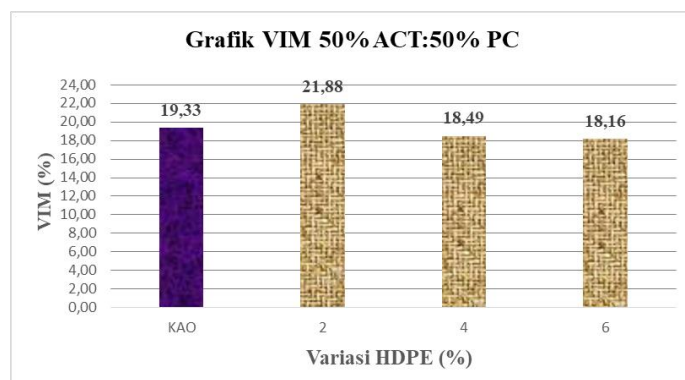
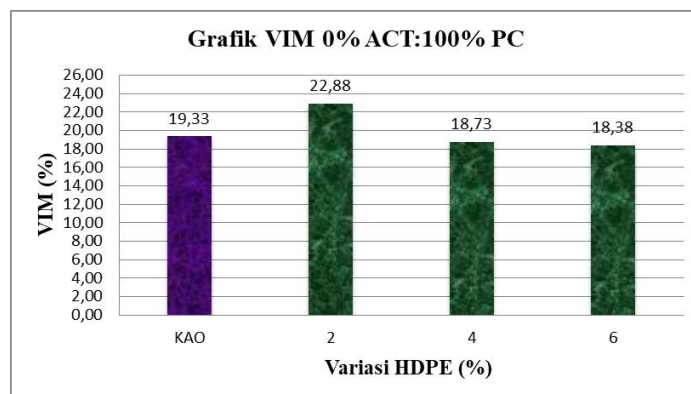
Sumber : 28 Desember 2021



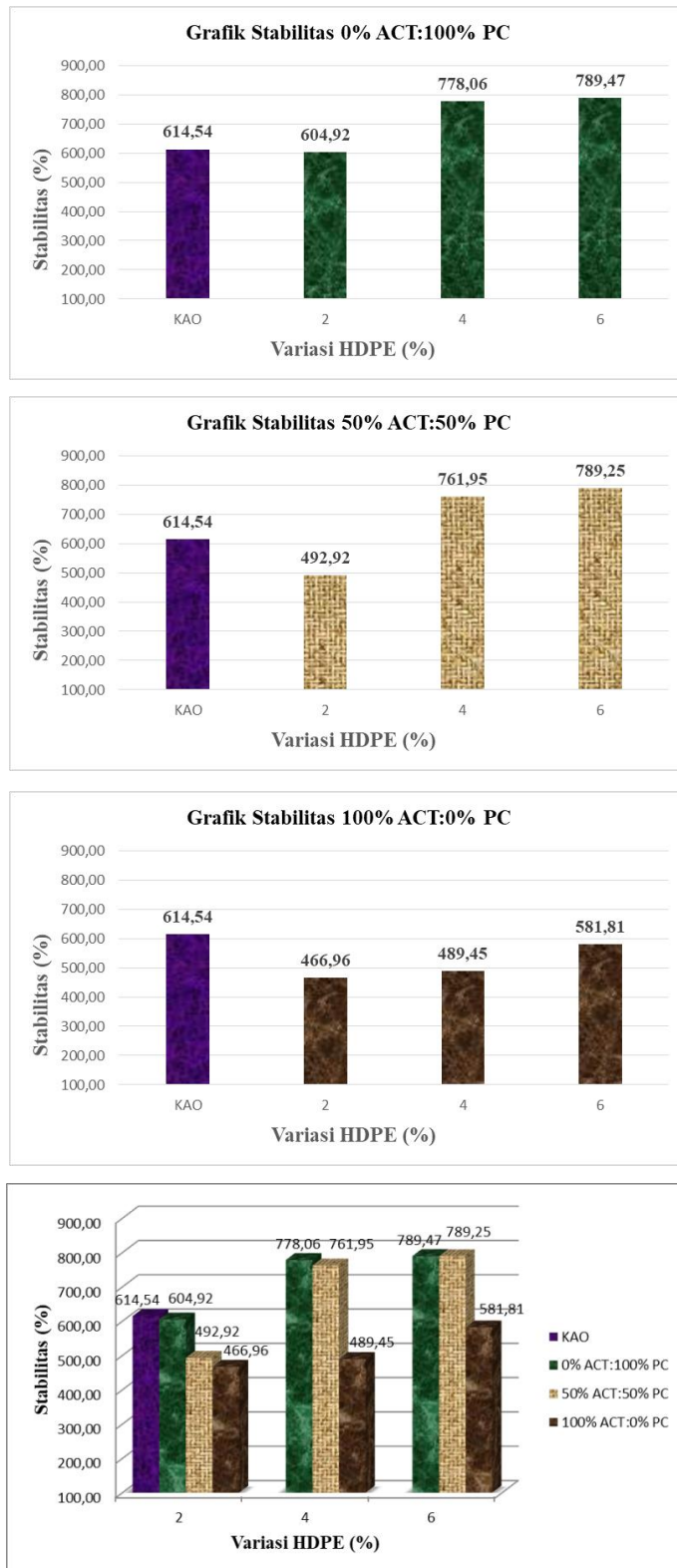
Gambar A.4.1 Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Pengujian *Marshall* Tanpa Substitusi *Filler* dan HDPE



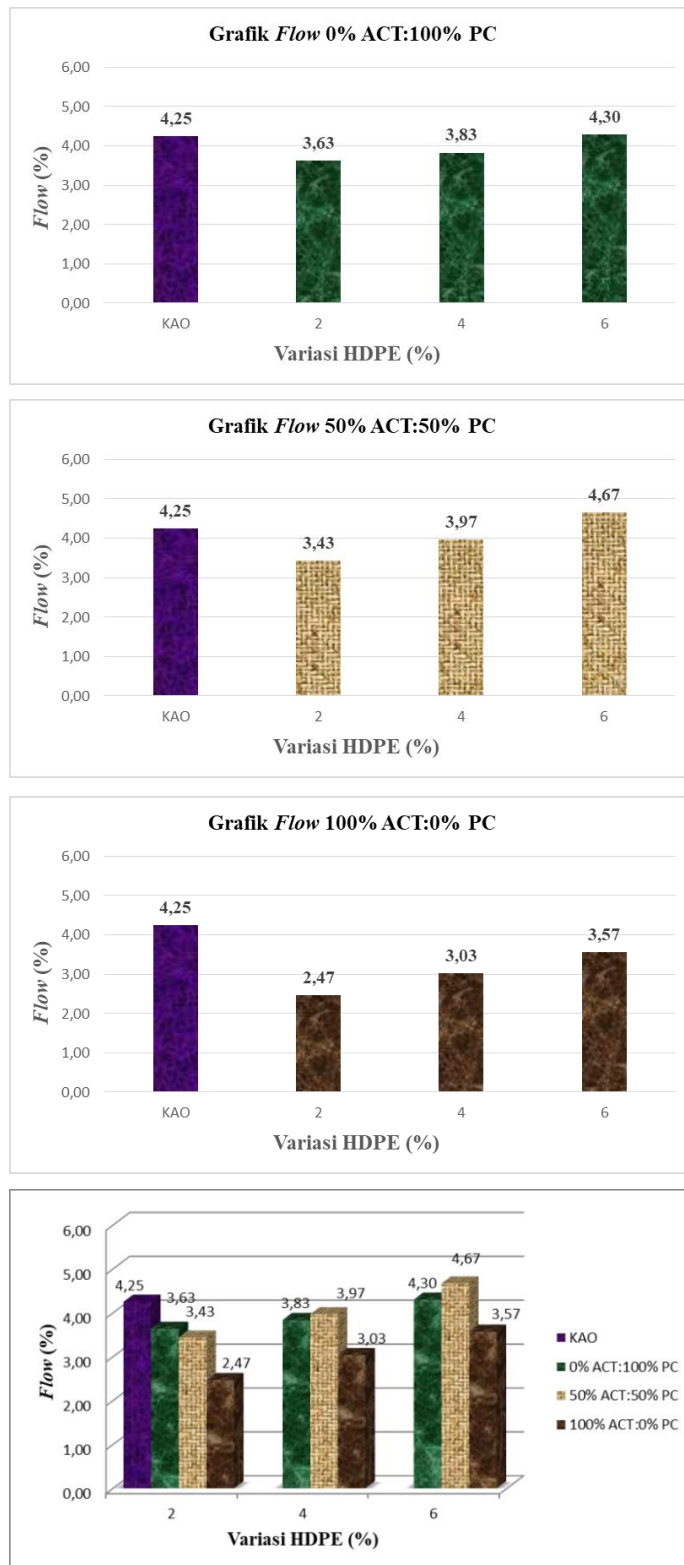
Gambar A.4.2 Grafik Nilai *Density* Dengan Substitusi *Filler* dan HDPE



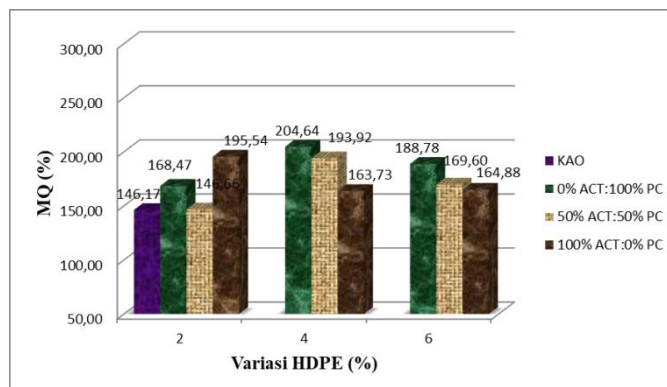
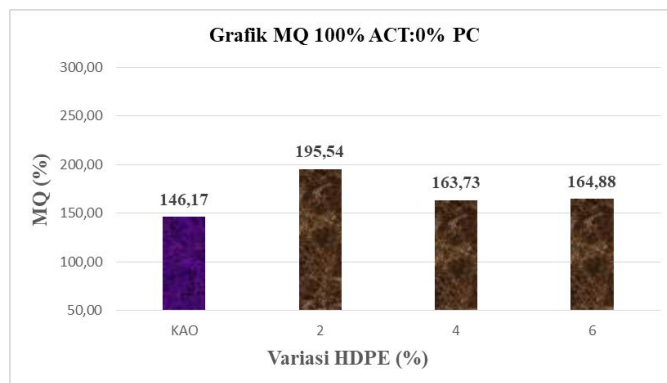
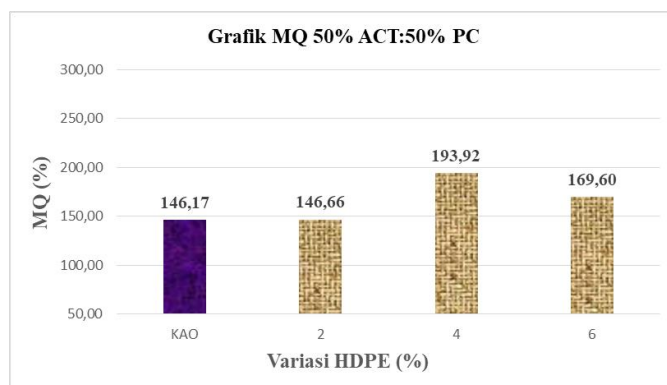
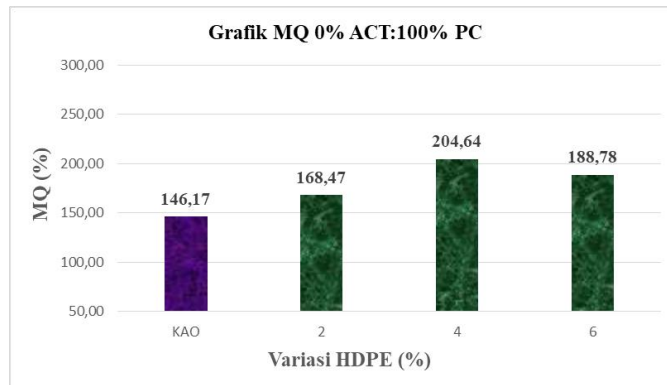
Gambar A.4.3 Grafik Nilai VIM Dengan Substitusi *Filler* dan HDPE



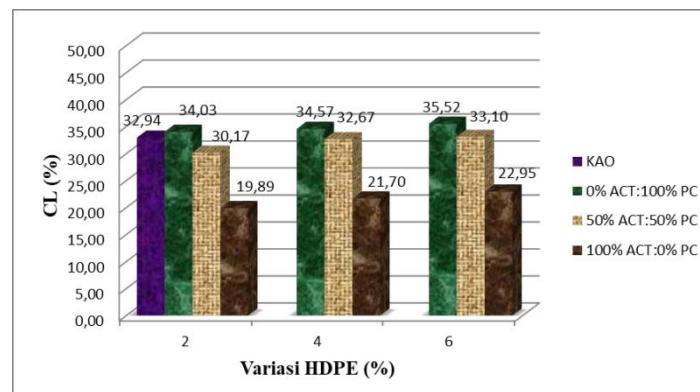
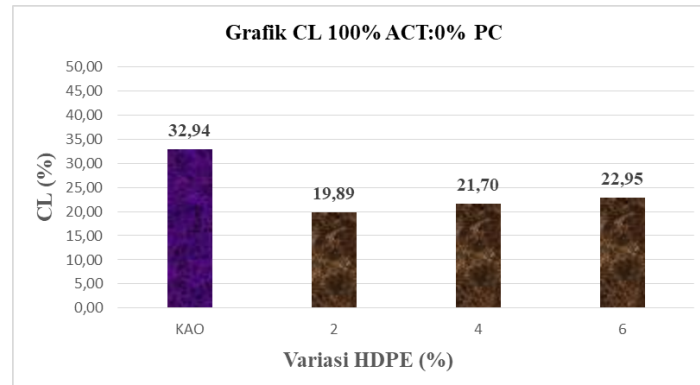
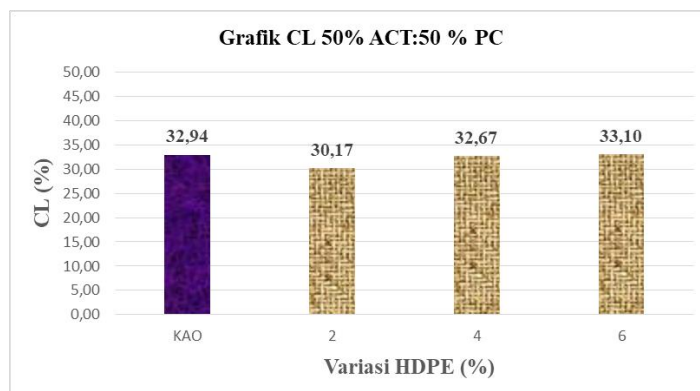
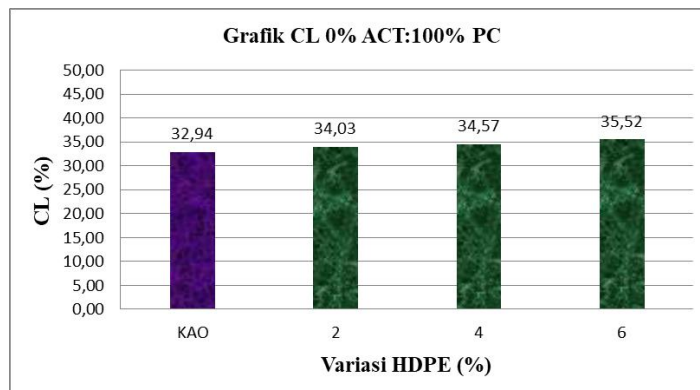
Gambar A.4.4 Grafik Nilai Stabilitas Dengan Substitusi *Filler* dan HDPE



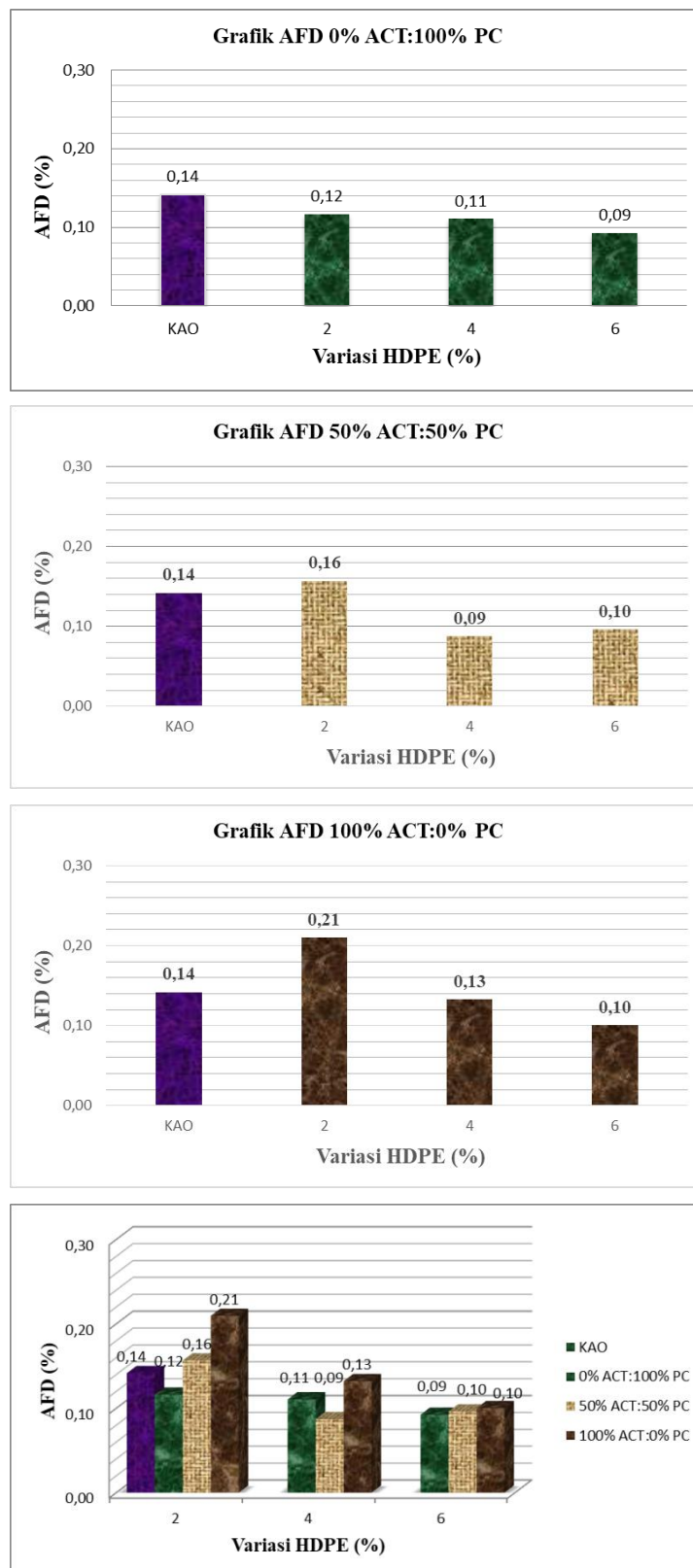
Gambar A.4.5 Grafik Nilai *Flow* Dengan Substitusi *Filler* dan HDPE



Gambar A.4.6 Grafik Nilai *Marshall Quotient* Dengan Substitusi *Filler* dan HDPE



Gambar A.4.7 Grafik Pengujian CL Dengan Substitusi *Filler* dan HDPE



Gambar A.4.8 Grafik Pengujian AFD Dengan Substitusi *Filler* dan HDPE

## LAMPIRAN B

Tabel B.2.1 Kode Jenis Plastik

| Jenis Polimer                                     | Kode                                                                                | Sifat                                                                                               | Penggunaan                                                                                                 |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET atau PETE) |    | Jernih, kuat, tahan pelarut, kedap gas dan air, melunak pada suhu 80 °C.                            | Botol susu cair dan juice, tutup plastik, kantong belanja dan wadah es krim.                               |
| <i>High Density Polyethylene</i> (HDPE)           |    | Keras hingga semi fleksibel, kaku, tangguh, tahan lembab dan melunak pada suhu 75 °C.               | Galon air minum, botol susu, botol sabun, botol deterjen, botol shampo, dan plastik kemasan tebal lainnya. |
| <i>Polyvinyl Chloride</i> (PVC)                   |   | Kuat, keras, bisa jernih, bentuk bisa diubah dengan pelarut, melunak pada suhu 80 °C.               | Plastik untuk pipa air, ubin, kabel listrik, wrapping, dan mainan anak/hewan peliharaan.                   |
| <i>Low Density Polyethylene</i> (LDPE)            |  | Mudah diproses, kuat, fleksible, kedap air, melunak pada suhu 70 °C.                                | Kantong plastik (kresek), kantong plastik sampah, tas belanja, hingga bungkus makanan.                     |
| <i>Polypropylene</i> (PP)                         |  | Keras tapi fleksible, kuat, tahan terhadap bahan kimia, panas dan minyak, melunak pada suhu 140 °C. | Tempat makanan /minuman, botol sirup, kotak yogurt, sedotan plastik, selotip, dan tali berbahan plastik.   |
| <i>Polystyrene</i> (PS)                           |  | mudah dibentuk, melunak pada suhu 95 °C.                                                            | Styrofoam, tempat telur, sendok/garpu plastik,                                                             |
| <i>Polycarbonate</i> (OTHER)                      |  | Keras, jernih dan tahan panas                                                                       | iPod cases, dan CompCT Disk (CD)                                                                           |

Tabel B.2.2 Angka Koreksi Benda Uji

| <b>Isi Benda Uji<br/>(cm)</b> | <b>Tebal Benda Uji<br/>(mm)</b> | <b>Angka Koreksi</b> |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| 200-213                       | 25,4                            | 5,56                 |
| 214-225                       | 27,0                            | 5,00                 |
| 226-237                       | 28,6                            | 4,55                 |
| 238-250                       | 30,2                            | 4,17                 |
| 251-264                       | 31,18                           | 3,85                 |
| 265-276                       | 33,3                            | 3,57                 |
| 277-289                       | 34,9                            | 3,33                 |
| 290-301                       | 36,5                            | 3,03                 |
| 302-316                       | 38,1                            | 2,78                 |
| 317-328                       | 39,7                            | 2,50                 |
| 329-340                       | 41,3                            | 2,27                 |
| 341-353                       | 42,9                            | 2,08                 |
| 354-367                       | 44,4                            | 1,92                 |
| 368-379                       | 46,0                            | 1,79                 |
| 380-392                       | 47,6                            | 1,67                 |
| 393-403                       | 49,2                            | 1,56                 |
| 406-420                       | 50,8                            | 1,47                 |
| 421-431                       | 52,4                            | 1,39                 |
| 432-443                       | 54,0                            | 1,32                 |
| 444-456                       | 55,6                            | 1,25                 |
| 457-470                       | 57,2                            | 1,19                 |
| 471-482                       | 58,7                            | 1,14                 |
| 483-495                       | 60,3                            | 1,09                 |
| 496-508                       | 61,9                            | 1,04                 |
| 509-522                       | 63,5                            | 1,00                 |
| 523-535                       | 64,0                            | 0,96                 |
| 536-546                       | 65,1                            | 0,93                 |
| 547-559                       | 66,7                            | 0,89                 |
| 560-573                       | 68,3                            | 0,86                 |
| 574-585                       | 71,4                            | 0,83                 |
| 586-598                       | 73,0                            | 0,81                 |
| 599-601                       | 74,6                            | 0,78                 |
| 611-625                       | 76,2                            | 0,76                 |

Tabel B.4.1 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

| Uraian                                      |                                   | Agregat |
|---------------------------------------------|-----------------------------------|---------|
| Berat benda uji kering oven (Bk)            | (gr)                              | 2978,5  |
| Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj) | (gr)                              | 3030,3  |
| Berat benda uji dalam air (Ba)              | (gr)                              | 1942,4  |
| Berat jenis (Bulk)                          | $\frac{Bk}{Bj - Ba}$              | 2,738   |
| Berat jenis kering permukaan jenuh          | $\frac{Bj}{Bj - Ba}$              | 2,785   |
| Berat jenis semu (Apparent)                 | $\frac{Bk}{Bk - Ba}$              | 2,875   |
| Penyerapan (Absorption)                     | $\frac{Bk - Bj}{Bk} \times 100\%$ | 1,739   |

Tabel B.4.2 Hasil Pemeriksaan Impact Agregat

| No          | Uraian                                   | Pengujian |        |        |
|-------------|------------------------------------------|-----------|--------|--------|
|             |                                          | I         | II     | III    |
| 1           | Berat benda uji + takaran (A) gram       | 2674,6    | 2693,3 | 2648,7 |
| 2           | Berat takaran (B) gram                   | 2054,4    | 2054,4 | 2055,4 |
| 3           | Berat benda uji sebelum diuji (A-B) gram | 620,2     | 638,9  | 593,3  |
| 4           | Berat lolos #2,36 mm (C) gram            | 43,2      | 33,2   | 43,3   |
| 5           | Nilai ImpCT = $C/(A-B) \times 100\%$     | 6,97%     | 5,20%  | 7,30%  |
| Rata – rata |                                          | 6,49%     |        |        |

Tabel B.4.3 Hasil Keausan Agregat

| Gradasi Pemeriksaan   |          | Berat Sampel (gr) |
|-----------------------|----------|-------------------|
| Lolos                 | Tertahan |                   |
| 19,1 mm               | 12,5 mm  | 2524,5            |
| 12,5 mm               | 4,75 mm  | 2520,9            |
| Jumlah berat          | (a)      | 5045,4            |
| Berat tertahan No. 12 | (b)      | 4215,7            |
| Berat yang Aus (a-b)  |          | 829,7             |
| Nilai Keausan         |          | 16,44             |

Tabel B.4.4 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen. 60/70

| Pemeriksaan                              | Berat (gr) |
|------------------------------------------|------------|
| Berat piknometer + aspal                 | 61,48 gr   |
| Berat piknometer kosong                  | 29,30 gr   |
| Berat aspal (a)                          | 32,18 gr   |
| Berat piknometer + air                   | 79,60 gr   |
| Berat piknometer kosong                  | 29,30 gr   |
| Berat air (b)                            | 50,30 gr   |
| Berat piknometer + aspal + air           | 80,50 gr   |
| Berat piknometer + aspal                 | 61,48 gr   |
| Berat air (c)                            | 19,02 gr   |
| Volume aspal (b-c)                       | 31,28 gr   |
| Berat Jenis = Berat aspal / Volume aspal | 1,03 gr    |

## LAMPIRAN C

Tabel C.4.1 Hasil Pemeriksaan Indeks Kepipihan Agregat

| Analisis Saringan |                          | Berat yang Lolos<br>(W2) (gr) | Indeks Kepipihan<br>(W2/W1)x100% (%) |
|-------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Saringan (mm)     | Berat Tertahan (W1) (gr) |                               |                                      |
| 12,5              | 797,60                   | 76,96                         | 9,65                                 |
| 9,5               | 271,80                   | 26,82                         | 9,87                                 |
| 6,7               | 534,70                   | 53,30                         | 9,97                                 |
| Rata – rata       |                          |                               | 9,83                                 |

Sumber : Pengamatan Langsung

Tabel C.4.2 Hasil Pemeriksaan Indeks Kelonjongan Agregat

| Analisis Saringan |                          | Berat yang Lolos<br>(W2) (gr) | Indeks Kelonjongan<br>(W2/W1)x100% (%) |
|-------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|
| Saringan (mm)     | Berat Tertahan (W1) (gr) |                               |                                        |
| 12,5              | 797,60                   | 73,32                         | 9,19                                   |
| 9,5               | 271,80                   | 26,70                         | 9,82                                   |
| 6,7               | 534,70                   | 52,87                         | 9,89                                   |
| Rata – rata       |                          |                               | 9,63                                   |

Sumber : Pengamatan Langsung

Tabel C.4.3 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen. 60/70

| Penetrasi pada 25°, 100 gr, 5 detik |                |    |    |    |
|-------------------------------------|----------------|----|----|----|
| Pengamatan Ke                       | Kode Benda Uji |    |    |    |
|                                     | 1              | 2  | 3  | 4  |
| 1                                   | 55             | 60 | 64 | 65 |
| 2                                   | 63             | 62 | 68 | 69 |
| 3                                   | 62             | 61 | 63 | 67 |
| 4                                   | 65             | 66 | 67 | 68 |
| 5                                   | 64             | 65 | 66 | 70 |
| Rata – rata                         | 64,50          |    |    |    |

Sumber : Pengamatan Langsung

Tabel C.4.4 Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen. 60/70

| Pengamatan Daktilitas pada 25°, 5 cm per menit |            |
|------------------------------------------------|------------|
| Kode Benda Uji                                 | Hasil (cm) |
| 1                                              | 127 cm     |
| 2                                              | 135 cm     |
| 3                                              | 129 cm     |
| Rata – rata                                    | 130 cm     |

Sumber : Pengamatan Langsung

Tabel C.4.5 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen. 60/70

| No          | Suhu yang<br>diamati | Waktu |       | Titik Lembek |         |
|-------------|----------------------|-------|-------|--------------|---------|
|             |                      | I     | II    | I (°C)       | II (°C) |
| 1           | 5                    | 0,00  | 0,00  | 47           | 50      |
| 2           | 10                   | 4,00  | 4,00  |              |         |
| 3           | 15                   | 5,37  | 5,37  |              |         |
| 4           | 20                   | 6,37  | 6,37  |              |         |
| 5           | 25                   | 8,20  | 8,20  |              |         |
| 6           | 30                   | 9,20  | 9,20  |              |         |
| 7           | 35                   | 10,50 | 10,50 |              |         |
| 8           | 40                   | 12,21 | 12,21 |              |         |
| 9           | 45                   | 13,36 | 13,36 |              |         |
| 10          | 50                   | 14,32 | 14,40 |              |         |
| 11          | 55                   |       |       |              |         |
| Rata – rata |                      |       |       | 48,5         |         |

Sumber : Pengamatan Langsung

Tabel C.4.6 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen. 60/70 + 2% HDPE

| Penetrasi pada 25°, 100 gr, 5 detik |                |    |    |    |
|-------------------------------------|----------------|----|----|----|
| Pengamatan Ke                       | Kode Benda Uji |    |    |    |
|                                     | 1              | 2  | 3  | 4  |
| 1                                   | 51             | 60 | 63 | 67 |
| 2                                   | 55             | 59 | 62 | 65 |
| 3                                   | 57             | 61 | 62 | 68 |
| 4                                   | 59             | 62 | 67 | 68 |
| 5                                   | 60             | 65 | 64 | 65 |
| Rata – rata                         | 62,00          |    |    |    |

Sumber : Pengamatan Langsung

Tabel C.4.7 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen. 60/70 + 4% HDPE

| Penetrasi pada 25°, 100 gr, 5 detik |                |    |    |    |
|-------------------------------------|----------------|----|----|----|
| Pengamatan Ke                       | Kode Benda Uji |    |    |    |
|                                     | 1              | 2  | 3  | 4  |
| 1                                   | 52             | 60 | 61 | 62 |
| 2                                   | 51             | 59 | 62 | 64 |
| 3                                   | 58             | 60 | 62 | 63 |
| 4                                   | 59             | 62 | 63 | 60 |
| 5                                   | 53             | 63 | 64 | 62 |
| Rata - rata                         | 60,00          |    |    |    |

Sumber : Pengamatan Langsung

Tabel C.4.8 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen. 60/70 + 6% HDPE

| <b>Penetrasi pada 25°, 100 gr, 5 detik</b> |                       |    |    |    |
|--------------------------------------------|-----------------------|----|----|----|
| <b>Pengamatan Ke</b>                       | <b>Kode Benda Uji</b> |    |    |    |
|                                            | 1                     | 2  | 3  | 4  |
| 1                                          | 52                    | 58 | 57 | 60 |
| 2                                          | 51                    | 56 | 60 | 59 |
| 3                                          | 58                    | 59 | 58 | 62 |
| 4                                          | 59                    | 55 | 59 | 60 |
| 5                                          | 53                    | 60 | 62 | 62 |
| Rata - rata                                | 58,00                 |    |    |    |

Sumber : Pengamatan Langsung

Tabel C.4.9 Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen. 60/70 + 2% HDPE

| <b>Pengamatan Daktilitas pada 25°, 5 cm per menit</b> |                   |
|-------------------------------------------------------|-------------------|
| <b>Kode Benda Uji</b>                                 | <b>Hasil (cm)</b> |
| 1                                                     | 127 cm            |
| 2                                                     | 127 cm            |
| 3                                                     | 125 cm            |
| Rata - rata                                           | 126 cm            |

Sumber : Pengamatan Langsung

Tabel C.4.10 Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen. 60/70 + 4% HDPE

| <b>Pengamatan Daktilitas pada 25°, 5 cm per menit</b> |                   |
|-------------------------------------------------------|-------------------|
| <b>Kode Benda Uji</b>                                 | <b>Hasil (cm)</b> |
| 1                                                     | 123 cm            |
| 2                                                     | 124 cm            |
| 3                                                     | 122 cm            |
| Rata - rata                                           | 123 cm            |

Sumber : Pengamatan Langsung

Tabel C.4.11 Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen. 60/70 + 6% HDPE

| <b>Pengamatan Daktilitas pada 25°, 5 cm per menit</b> |                   |
|-------------------------------------------------------|-------------------|
| <b>Kode Benda Uji</b>                                 | <b>Hasil (cm)</b> |
| 1                                                     | 120 cm            |
| 2                                                     | 121 cm            |
| 3                                                     | 120 cm            |
| Rata - rata                                           | 120 cm            |

Sumber : Pengamatan Langsung

Tabel C.4.12 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen. 60/70 + 2% HDPE

| No          | Suhu yang<br>diamati | Waktu |       | Titik Lembek |         |
|-------------|----------------------|-------|-------|--------------|---------|
|             |                      | I     | II    | I (°C)       | II (°C) |
| 1           | 5                    | 0,00  | 0,00  | 53           | 55      |
| 2           | 10                   | 4,00  | 4,00  |              |         |
| 3           | 15                   | 5,40  | 5,40  |              |         |
| 4           | 20                   | 7,37  | 7,37  |              |         |
| 5           | 25                   | 8,50  | 8,50  |              |         |
| 6           | 30                   | 9,20  | 9,20  |              |         |
| 7           | 35                   | 10,50 | 10,50 |              |         |
| 8           | 40                   | 12,35 | 12,35 |              |         |
| 9           | 45                   | 13,45 | 13,45 |              |         |
| 10          | 50                   | 15,32 | 15,32 |              |         |
| 11          | 55                   |       | 15,58 |              |         |
| Rata - rata |                      |       |       | 54           |         |

Sumber : Pengamatan Langsung

Tabel C.4.13 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen. 60/70 + 4% HDPE

| No          | Suhu yang<br>diamati | Waktu |       | Titik Lembek |         |
|-------------|----------------------|-------|-------|--------------|---------|
|             |                      | I     | II    | I (°C)       | II (°C) |
| 1           | 5                    | 0,00  | 0,00  | 55           | 54      |
| 2           | 10                   | 4,20  | 4,20  |              |         |
| 3           | 15                   | 5,53  | 5,53  |              |         |
| 4           | 20                   | 8,37  | 8,37  |              |         |
| 5           | 25                   | 8,52  | 8,52  |              |         |
| 6           | 30                   | 9,32  | 9,32  |              |         |
| 7           | 35                   | 10,30 | 10,30 |              |         |
| 8           | 40                   | 11,40 | 11,40 |              |         |
| 9           | 45                   | 13,12 | 13,12 |              |         |
| 10          | 50                   | 15,30 | 15,45 |              |         |
| 11          | 55                   | 16,10 |       |              |         |
| Rata - rata |                      |       |       | 54,5         |         |

Sumber : Pengamatan Langsung

Tabel C.4.14 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen. 60/70 + 6% HDPE

| No          | Suhu yang<br>diamati | Waktu |       | Titik Lembek |         |
|-------------|----------------------|-------|-------|--------------|---------|
|             |                      | I     | II    | I (°C)       | II (°C) |
| 1           | 5                    | 0,00  | 0,00  | 55           | 55      |
| 2           | 10                   | 5,00  | 5,00  |              |         |
| 3           | 15                   | 6,10  | 6,10  |              |         |
| 4           | 20                   | 7,20  | 7,20  |              |         |
| 5           | 25                   | 8,55  | 8,55  |              |         |
| 6           | 30                   | 10,00 | 10,00 |              |         |
| 7           | 35                   | 11,27 | 11,27 |              |         |
| 8           | 40                   | 12,30 | 12,30 |              |         |
| 9           | 45                   | 14,40 | 14,40 |              |         |
| 10          | 50                   | 16,15 | 16,15 |              |         |
| 11          | 55                   | 17,02 | 17,02 |              |         |
| Rata - rata |                      |       |       | 55           |         |

Sumber : Pengamatan Langsung

Tabel C.4.15 Komposisi Campuran 0% CT : 100% PC dan 2%, 4%, 6% HDPE

| Uk. Saringan               | % lolos | % Tertahan | 5,80%  | 5,80%  | 5,80%  |
|----------------------------|---------|------------|--------|--------|--------|
| 3/4' (19,0 mm)             | 100,0   | 0,0        | 0,0    | 0,0    | 0,0    |
| 1/2' (12,5 mm)             | 91,1    | 8,9        | 92,1   | 92,1   | 92,1   |
| 3/8' (9,5 mm)              | 55,6    | 35,5       | 367,5  | 367,5  | 367,5  |
| 1/4' (6,3 mm)              | 31,0    | 24,7       | 255,8  | 255,8  | 255,8  |
| No.4 (4,75 mm)             | 16,8    | 14,1       | 146,3  | 146,3  | 146,3  |
| No.8 (2,36 mm)             | 11,1    | 5,8        | 59,6   | 59,6   | 59,6   |
| No.16 (1,18 mm)            | 9,0     | 2,1        | 21,6   | 21,6   | 21,6   |
| No.30 (0,6 mm)             | 7,4     | 1,6        | 16,6   | 16,6   | 16,6   |
| No.50 (0,3 mm)             | 5,9     | 1,5        | 15,4   | 15,4   | 15,4   |
| No.100 (0,15 mm)           | 4,9     | 1,0        | 10,7   | 10,7   | 10,7   |
| No.200 (0,075 mm)          | 4,0     | 0,9        | 9,2    | 9,2    | 9,2    |
| Total Persen Agregat       |         | 96,0       | 994,9  | 994,9  | 994,9  |
| Filler (semen)             |         | 4,0        | 41,3   | 41,3   | 41,3   |
| Filler CT 0 %              |         | -          | 0,0    | 0,0    | 0,0    |
| Filler PC 100 %            |         | -          | 41,3   | 41,3   | 41,3   |
| Berat Agregat + Filler(gr) |         | 100,0      | 1036,2 | 1036,2 | 1036,2 |
| Berat Aspal Total (gr)     |         | -          | 63,8   | 63,8   | 63,8   |
| Berat Aspal (gr)           |         | -          | 62,5   | 61,2   | 60,0   |
| Berat HDPE 2 %             |         | -          | 1,3    | -      | -      |
| Berat HDPE 4 %             |         | -          | -      | 2,6    | -      |
| Berat HDPE 6 %             |         | -          | -      | -      | 3,8    |
| Berat Campuran (gr)        |         | -          | 1100,0 | 1100,0 | 1100,0 |
| Berat Total = 1100 gr      |         |            |        |        |        |

Tabel C.4.16 Komposisi Campuran 50% CT : 50% PC dan 2%, 4%, 6% HDPE

| Uk. Saringan                       | % lolos | % Tertahan | 5,80%  | 5,80%  | 5,80%  |
|------------------------------------|---------|------------|--------|--------|--------|
| 3/4' (19,0 mm)                     | 100,0   | 0,0        | 0,0    | 0,0    | 0,0    |
| 1/2' (12,5 mm)                     | 91,1    | 8,9        | 92,1   | 92,1   | 92,1   |
| 3/8' (9,5 mm)                      | 55,6    | 35,5       | 367,5  | 367,5  | 367,5  |
| 1/4' (6,3 mm)                      | 31,0    | 24,7       | 255,8  | 255,8  | 255,8  |
| No.4 (4,75 mm)                     | 16,8    | 14,1       | 146,3  | 146,3  | 146,3  |
| No.8 (2,36 mm)                     | 11,1    | 5,8        | 59,6   | 59,6   | 59,6   |
| No.16 (1,18 mm)                    | 9,0     | 2,1        | 21,6   | 21,6   | 21,6   |
| No.30 (0,6 mm)                     | 7,4     | 1,6        | 16,6   | 16,6   | 16,6   |
| No.50 (0,3 mm)                     | 5,9     | 1,5        | 15,4   | 15,4   | 15,4   |
| No.100 (0,15 mm)                   | 4,9     | 1,0        | 10,7   | 10,7   | 10,7   |
| No.200 (0,075 mm)                  | 4,0     | 0,9        | 9,2    | 9,2    | 9,2    |
| Total Persen Agregat Tertahan      |         | 96,0       | 994,9  | 994,9  | 994,9  |
| <i>Filler</i> (semen)              |         | 4,0        | 41,3   | 41,3   | 41,3   |
| <i>Filler</i> CT 50 %              |         | -          | 20,7   | 20,7   | 20,7   |
| <i>Filler</i> PC 50 %              |         | -          | 20,7   | 20,7   | 20,7   |
| Berat Agregat + <i>Filler</i> (gr) |         | 100,0      | 1036,2 | 1036,2 | 1036,2 |
| Berat Aspal Total (gr)             |         | -          | 63,8   | 63,8   | 63,8   |
| Berat Aspal (gr)                   |         | -          | 62,5   | 61,2   | 60,0   |
| Berat HDPE 2 %                     |         | -          | 1,3    | -      | -      |
| Berat HDPE 4 %                     |         | -          | -      | 2,6    | -      |
| Berat HDPE 6 %                     |         | -          | -      | -      | 3,8    |
| Berat Campuran (gr)                |         | -          | 1100,0 | 1100,0 | 1100,0 |
| Berat Total = 1100 gr              |         |            |        |        |        |

Tabel C.4.17 Komposisi Campuran 100% CT : 0% PC dan 2%, 4%, 6% HDPE

| Uk. Saringan                       | % lolos | % Tertahan | 5,80%  | 5,80%  | 5,80%  |
|------------------------------------|---------|------------|--------|--------|--------|
| 3/4' (19,0 mm)                     | 100,0   | 0,0        | 0,0    | 0,0    | 0,0    |
| 1/2' (12,5 mm)                     | 91,1    | 8,9        | 92,1   | 92,1   | 92,1   |
| 3/8' (9,5 mm)                      | 55,6    | 35,5       | 367,5  | 367,5  | 367,5  |
| 1/4' (6,3 mm)                      | 31,0    | 24,7       | 255,8  | 255,8  | 255,8  |
| No.4 (4,75 mm)                     | 16,8    | 14,1       | 146,3  | 146,3  | 146,3  |
| No.8 (2,36 mm)                     | 11,1    | 5,8        | 59,6   | 59,6   | 59,6   |
| No.16 (1,18 mm)                    | 9,0     | 2,1        | 21,6   | 21,6   | 21,6   |
| No.30 (0,6 mm)                     | 7,4     | 1,6        | 16,6   | 16,6   | 16,6   |
| No.50 (0,3 mm)                     | 5,9     | 1,5        | 15,4   | 15,4   | 15,4   |
| No.100 (0,15 mm)                   | 4,9     | 1,0        | 10,7   | 10,7   | 10,7   |
| No.200 (0,075 mm)                  | 4,0     | 0,9        | 9,2    | 9,2    | 9,2    |
| Total Persen Agregat Tertahan      |         | 96,0       | 994,9  | 994,9  | 994,9  |
| <i>Filler</i> (semen)              |         | 4,0        | 41,3   | 41,3   | 41,3   |
| <i>Filler</i> CT 100 %             |         | -          | 41,3   | 41,3   | 41,3   |
| <i>Filler</i> PC 0 %               |         | -          | 0,0    | 0,0    | 0,0    |
| Berat Agregat + <i>Filler</i> (gr) |         | 100,0      | 1036,2 | 1036,2 | 1036,2 |
| Berat Aspal Total (gr)             |         | -          | 63,8   | 63,8   | 63,8   |
| Berat Aspal (gr)                   |         | -          | 62,5   | 61,2   | 60,0   |
| Berat HDPE 2 %                     |         | -          | 1,3    | -      | -      |
| Berat HDPE 4 %                     |         | -          | -      | 2,6    | -      |
| Berat HDPE 6 %                     |         | -          | -      | -      | 3,8    |
| Berat Campuran (gr)                |         | -          | 1100,0 | 1100,0 | 1100,0 |
| Berat Total = 1100 gr              |         |            |        |        |        |

Tabel C.4.18 Hasil Pengujian *Marshall* Tanpa Substitusi *Filler* dan HDPE

| Spesifikasi     | =                 | Aspal Porus      | Berat jenis bulk agregat (Gsb)    | =               | 2,738    |                          |               |                             |                                       |       |                          |                |                 |           |        |
|-----------------|-------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------|----------|--------------------------|---------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------|--------------------------|----------------|-----------------|-----------|--------|
| Agregat         | =                 | AMP Ayu Lestari  | Berat jenis efektif agregat (Gse) | =               | 2,809    | Faktor kalibrasi alat    | =             | 16,783                      |                                       |       |                          |                |                 |           |        |
| Aspal           | =                 | Aspal Pen. 60/70 | Berat jenis aspal (Gb)            | =               | 1,030    | Faktor koreksi benda uji | =             | Dari Tabel                  |                                       |       |                          |                |                 |           |        |
| Nomor Benda Uji | Kadar Aspal       |                  | Tebal Benda Uji                   | Berat Benda Uji |          |                          | Isi Benda Uji | Kepadatan (Berat Isi) (Gmb) | BJ Campuran Maksimum (Gmm) (teoritis) | VIM   | Stabilitas (Min. 500 kg) |                |                 | Kelelehan | MQ     |
|                 | Terhadap Campuran | Terhadap Agregat |                                   | Kering          | SSD      | Dalam Air                |               |                             |                                       |       | Bacaan Alat              | Faktor Koreksi | Setelah Koreksi |           |        |
|                 | ( % )             | ( % )            |                                   | ( gram )        | ( gram ) | ( gram )                 |               |                             |                                       |       | 18 - 25                  | ( % )          | ( kg )          | Benda Uji | ( kg ) |
| a               | b                 | c                | d                                 | e               | f        | g                        | h = ( f - g ) | i = ( e / h )               | j                                     | k     | n                        | o              | p               | q         | r      |
| A1              | 4,50              | 4,71             | 6,50                              | 1177,90         | 1198,40  | 623,35                   | 575,05        | 2,05                        | 2,65                                  | 22,60 | 33,00                    | 0,83           | 459,69          | 3,50      | 131,34 |
| A2              | 4,50              | 4,71             | 6,50                              | 1174,10         | 1191,40  | 620,70                   | 570,70        | 2,06                        | 2,65                                  | 22,26 | 34,00                    | 0,86           | 490,73          | 2,90      | 169,22 |
| A3              | 4,50              | 4,71             | 6,80                              | 1173,60         | 1195,40  | 618,87                   | 576,53        | 2,04                        | 2,65                                  | 23,08 | 34,00                    | 0,83           | 473,62          | 3,30      | 143,52 |
| Rata-rata       | 4,50              | 4,71             | 6,60                              | 1175,20         | 1195,07  | 620,97                   | 574,09        | 2,05                        | 2,65                                  | 22,65 | 33,67                    | 0,84           | 474,68          | 3,23      | 148,03 |
| A4              | 5,00              | 5,26             | 6,50                              | 1143,23         | 1167,40  | 603,30                   | 564,10        | 2,03                        | 2,63                                  | 22,80 | 36,00                    | 0,86           | 519,60          | 3,10      | 167,61 |
| A5              | 5,00              | 5,26             | 6,60                              | 1159,40         | 1177,50  | 623,15                   | 554,35        | 2,09                        | 2,63                                  | 20,34 | 37,00                    | 0,89           | 552,66          | 3,50      | 157,90 |
| A6              | 5,00              | 5,26             | 6,50                              | 1169,45         | 1182,10  | 629,12                   | 552,98        | 2,11                        | 2,63                                  | 19,45 | 38,00                    | 0,89           | 567,60          | 3,30      | 172,00 |
| Rata-rata       | 5,00              | 5,26             | 6,53                              | 1157,36         | 1175,67  | 618,52                   | 557,14        | 2,08                        | 2,63                                  | 20,86 | 37,00                    | 0,88           | 546,62          | 3,30      | 165,84 |
| A7              | 5,50              | 5,82             | 6,70                              | 1179,30         | 1194,30  | 629,00                   | 565,30        | 2,09                        | 2,60                                  | 19,91 | 42,00                    | 0,86           | 606,20          | 4,40      | 137,77 |
| A8              | 5,50              | 5,82             | 6,80                              | 1166,20         | 1184,30  | 631,24                   | 553,06        | 2,11                        | 2,60                                  | 19,04 | 41,00                    | 0,89           | 612,41          | 3,90      | 157,03 |
| A9              | 5,50              | 5,82             | 6,50                              | 1176,10         | 1196,30  | 627,87                   | 568,43        | 2,07                        | 2,60                                  | 20,56 | 40,00                    | 0,86           | 577,34          | 4,10      | 140,81 |
| Rata-rata       | 5,50              | 5,82             | 6,67                              | 1173,87         | 1191,63  | 629,37                   | 562,26        | 2,09                        | 2,60                                  | 19,84 | 41,00                    | 0,87           | 598,65          | 4,13      | 145,21 |
| A10             | 6,00              | 6,38             | 6,50                              | 1173,10         | 1193,50  | 615,18                   | 578,32        | 2,03                        | 2,58                                  | 21,51 | 43,00                    | 0,83           | 598,99          | 5,30      | 113,02 |
| A11             | 6,00              | 6,38             | 6,60                              | 1173,90         | 1192,80  | 627,21                   | 565,59        | 2,08                        | 2,58                                  | 19,69 | 40,00                    | 0,86           | 577,34          | 3,60      | 160,37 |
| A12             | 6,00              | 6,38             | 6,80                              | 1138,90         | 1156,70  | 635,70                   | 521,00        | 2,19                        | 2,58                                  | 15,41 | 42,00                    | 1,00           | 704,89          | 4,20      | 167,83 |
| Rata-rata       | 6,00              | 6,38             | 6,63                              | 1161,97         | 1181,00  | 626,03                   | 554,97        | 2,10                        | 2,58                                  | 18,87 | 41,67                    | 0,90           | 627,07          | 4,37      | 147,07 |
| A13             | 6,50              | 6,95             | 6,50                              | 1140,82         | 1161,30  | 607,50                   | 553,80        | 2,06                        | 2,56                                  | 19,66 | 27,00                    | 0,89           | 403,30          | 5,20      | 77,56  |
| A14             | 6,50              | 6,95             | 6,50                              | 1128,93         | 1142,80  | 638,15                   | 504,65        | 2,24                        | 2,56                                  | 12,76 | 24,00                    | 1,04           | 418,90          | 4,60      | 91,07  |
| A15             | 6,50              | 6,95             | 6,60                              | 1139,12         | 1156,30  | 620,50                   | 535,80        | 2,13                        | 2,56                                  | 17,09 | 29,00                    | 0,96           | 467,24          | 3,50      | 133,50 |
| Rata-rata       | 6,50              | 6,95             | 6,53                              | 1136,29         | 1153,47  | 622,05                   | 531,42        | 2,14                        | 2,56                                  | 16,50 | 26,67                    | 0,96           | 429,81          | 4,43      | 100,71 |
| KA0             | 5,80              | 6,16             | 6,50                              | 1176,20         | 1193,90  | 622,09                   | 571,81        | 2,06                        | 2,59                                  | 20,65 | 42,00                    | 0,86           | 606,20          | 4,85      | 124,99 |
| KA0             | 5,80              | 6,16             | 6,50                              | 1170,05         | 1188,55  | 629,23                   | 559,32        | 2,09                        | 2,59                                  | 19,30 | 40,00                    | 0,89           | 597,47          | 3,75      | 159,33 |
| KA0             | 5,80              | 6,16             | 6,60                              | 1157,50         | 1176,50  | 631,79                   | 544,72        | 2,12                        | 2,59                                  | 18,03 | 41,00                    | 0,93           | 639,94          | 4,15      | 154,20 |
| Rata-rata       | 5,80              | 6,16             | 6,53                              | 1167,92         | 1186,32  | 627,70                   | 558,62        | 2,09                        | 2,59                                  | 19,33 | 41,00                    | 0,89           | 614,54          | 4,25      | 146,17 |

Tabel C.4.19 Hasil Pengujian CL Tanpa Substitusi *Filler* dan HDPE

| No.         | Benda Uji | Kadar Aspal | Berat Benda Uji Awal | Berat Benda Uji Setelah Di Tes | Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di tes | Perbandingan Berat Benda Uji Awal dan Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di Tes | Cantabro Loss  |
|-------------|-----------|-------------|----------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------|
|             |           | %           | Gram A               | Gram B                         | Gram C = A - B                            | Gram D = C/A                                                                    | % E = D x 100% |
| 1           | CL1       | 4,5         | 1168,80              | 634,80                         | 534,00                                    | 0,46                                                                            | 45,69          |
| 2           | CL2       | 4,5         | 1170,10              | 654,40                         | 515,70                                    | 0,44                                                                            | 44,07          |
| 3           | CL3       | 4,5         | 1170,35              | 643,20                         | 527,15                                    | 0,45                                                                            | 45,04          |
| Rata - rata |           |             |                      |                                |                                           |                                                                                 | 44,93          |
| No.         | Benda Uji | Kadar Aspal | Berat Benda Uji Awal | Berat Benda Uji Setelah Di Tes | Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di tes | Perbandingan Berat Benda Uji Awal dan Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di Tes | Cantabro Loss  |
|             |           | %           | Gram A               | Gram B                         | Gram C = B - A                            | Gram D = C/A                                                                    | % E = D x 100% |
| 1           | CL4       | 5,0         | 1179,40              | 801,80                         | 377,60                                    | 0,32                                                                            | 32,02          |
| 2           | CL5       | 5,0         | 1182,28              | 798,80                         | 383,48                                    | 0,32                                                                            | 32,44          |
| 3           | CL6       | 5,0         | 1192,70              | 790,50                         | 402,20                                    | 0,34                                                                            | 33,72          |
| Rata - rata |           |             |                      |                                |                                           |                                                                                 | 32,72          |
| No.         | Benda Uji | Kadar Aspal | Berat Benda Uji Awal | Berat Benda Uji Setelah Di Tes | Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di tes | Perbandingan Berat Benda Uji Awal dan Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di Tes | Cantabro Loss  |
|             |           | %           | Gram A               | Gram B                         | Gram C = B - A                            | Gram D = C/A                                                                    | % E = D x 100% |
| 1           | CL7       | 5,5         | 1101,10              | 723,65                         | 377,45                                    | 0,34                                                                            | 34,28          |
| 2           | CL8       | 5,5         | 1109,12              | 745,21                         | 363,91                                    | 0,33                                                                            | 32,81          |
| 3           | CL9       | 5,5         | 1109,37              | 711,80                         | 397,57                                    | 0,36                                                                            | 35,84          |
| Rata - rata |           |             |                      |                                |                                           |                                                                                 | 34,31          |
| No.         | Benda Uji | Kadar Aspal | Berat Benda Uji Awal | Berat Benda Uji Setelah Di Tes | Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di tes | Perbandingan Berat Benda Uji Awal dan Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di Tes | Cantabro Loss  |
|             |           | %           | Gram A               | Gram B                         | Gram C = B - A                            | Gram D = C/A                                                                    | % E = D x 100% |
| 1           | CL10      | 6,0         | 1138,20              | 788,81                         | 349,39                                    | 0,31                                                                            | 30,70          |
| 2           | CL11      | 6,0         | 1142,30              | 757,55                         | 384,75                                    | 0,34                                                                            | 33,68          |
| 3           | CL12      | 6,0         | 1125,44              | 783,01                         | 342,43                                    | 0,30                                                                            | 30,43          |
| Rata - rata |           |             |                      |                                |                                           |                                                                                 | 31,60          |
| No.         | Benda Uji | Kadar Aspal | Berat Benda Uji Awal | Berat Benda Uji Setelah Di Tes | Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di tes | Perbandingan Berat Benda Uji Awal dan Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di Tes | Cantabro Loss  |
|             |           | %           | Gram A               | Gram B                         | Gram C = A - B                            | Gram D = C/A                                                                    | % E = D x 100% |
| 1           | CL13      | 6,5         | 1176,30              | 767,87                         | 408,43                                    | 0,35                                                                            | 34,72          |
| 2           | CL14      | 6,5         | 1083,30              | 754,91                         | 328,39                                    | 0,30                                                                            | 30,31          |
| 3           | CL15      | 6,5         | 1098,80              | 678,90                         | 419,90                                    | 0,38                                                                            | 38,21          |
| Rata - rata |           |             |                      |                                |                                           |                                                                                 | 34,42          |
| No.         | Benda Uji | Kadar Aspal | Berat Benda Uji Awal | Berat Benda Uji Setelah Di Tes | Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di tes | Perbandingan Berat Benda Uji Awal dan Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di Tes | Cantabro Loss  |
|             |           | %           | Gram A               | Gram B                         | Gram C = A - B                            | Gram D = C/A                                                                    | % E = D x 100% |
| 1           | KAO       | 5,8         | 1119,65              | 756,23                         | 363,42                                    | 0,32                                                                            | 32,46          |
| 2           | KAO       | 5,8         | 1125,71              | 751,38                         | 374,33                                    | 0,33                                                                            | 33,25          |
| 3           | KAO       | 5,8         | 1117,41              | 747,41                         | 370,00                                    | 0,33                                                                            | 33,11          |
| Rata - rata |           |             |                      |                                |                                           |                                                                                 | 32,94          |

Tabel C.4.20 Hasil Pengujian AFD Tanpa Substitusi *Filler* dan HDPE

| No | Benda Uji | Kadar Aspal (%) | Berat Nampan + Aluminium Foil | Berat Nampan + Aluminium Foil + Bucket | Berat Nampan + Aluminium Foil + Bucket + Campuran Aspal | Berat Campuran Aspal | A + Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil | Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil (E-A) | Nilai Asphalt Flow Down (G= F/Dx100%) |
|----|-----------|-----------------|-------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|
|    |           |                 | Gram                          | Gram                                   | Gram                                                    | Gram                 | Gram                                       | Gram                                         | %                                     |
|    |           |                 | A                             | B                                      | C                                                       | D                    | E                                          | F                                            | G                                     |
| 1  | AF1       | 4,5             | 405,10                        | 477,60                                 | 1534,40                                                 | 1056,80              | 508,40                                     | 103,30                                       | 0,10                                  |
| 2  | AF2       | 4,5             | 405,13                        | 454,56                                 | 1540,50                                                 | 1085,94              | 511,40                                     | 106,27                                       | 0,10                                  |
| 3  | AF3       | 4,5             | 406,07                        | 462,32                                 | 1588,60                                                 | 1126,28              | 506,10                                     | 100,03                                       | 0,09                                  |
|    |           |                 |                               |                                        |                                                         |                      |                                            | Rata-rata                                    | 0,09                                  |
| No | Benda Uji | Kadar Aspal (%) | Berat Nampan + Aluminium Foil | Berat Nampan + Aluminium Foil + Bucket | Berat Nampan + Aluminium Foil + Bucket + Campuran Aspal | Berat Campuran Aspal | A + Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil | Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil (E-A) | Nilai Asphalt Flow Down (G= F/Dx100%) |
|    |           |                 | Gram                          | Gram                                   | Gram                                                    | Gram                 | Gram                                       | Gram                                         | %                                     |
|    |           |                 | A                             | B                                      | C                                                       | D                    | E                                          | F                                            | G                                     |
| 1  | AF4       | 5,0             | 406,60                        | 478,50                                 | 1566,40                                                 | 1087,90              | 515,96                                     | 109,36                                       | 0,10                                  |
| 2  | AF5       | 5,0             | 406,50                        | 463,30                                 | 1557,60                                                 | 1094,30              | 520,76                                     | 114,26                                       | 0,10                                  |
| 3  | AF6       | 5,0             | 404,12                        | 475,46                                 | 1562,80                                                 | 1087,34              | 528,98                                     | 124,86                                       | 0,11                                  |
|    |           |                 |                               |                                        |                                                         |                      |                                            | Rata-rata                                    | 0,11                                  |
| No | Benda Uji | Kadar Aspal (%) | Berat Nampan + Aluminium Foil | Berat Nampan + Aluminium Foil + Bucket | Berat Nampan + Aluminium Foil + Bucket + Campuran Aspal | Berat Campuran Aspal | A + Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil | Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil (E-A) | Nilai Asphalt Flow Down (G= F/Dx100%) |
|    |           |                 | Gram                          | Gram                                   | Gram                                                    | Gram                 | Gram                                       | Gram                                         | %                                     |
|    |           |                 | A                             | B                                      | C                                                       | D                    | E                                          | F                                            | G                                     |
| 1  | AF7       | 5,5             | 236,50                        | 309,10                                 | 1389,50                                                 | 1080,40              | 383,20                                     | 146,70                                       | 0,14                                  |
| 2  | AF8       | 5,5             | 236,30                        | 310,23                                 | 1390,70                                                 | 1080,47              | 363,99                                     | 127,69                                       | 0,12                                  |
| 3  | AF9       | 5,5             | 235,10                        | 304,32                                 | 1380,40                                                 | 1076,08              | 382,69                                     | 147,59                                       | 0,14                                  |
|    |           |                 |                               |                                        |                                                         |                      |                                            | Rata-rata                                    | 0,13                                  |
| No | Benda Uji | Kadar Aspal (%) | Berat Nampan + Aluminium Foil | Berat Nampan + Aluminium Foil + Bucket | Berat Nampan + Aluminium Foil + Bucket + Campuran Aspal | Berat Campuran Aspal | A + Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil | Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil (E-A) | Nilai Asphalt Flow Down (G= F/Dx100%) |
|    |           |                 | Gram                          | Gram                                   | Gram                                                    | Gram                 | Gram                                       | Gram                                         | %                                     |
|    |           |                 | A                             | B                                      | C                                                       | D                    | E                                          | F                                            | G                                     |
| 1  | AF10      | 6,0             | 403,90                        | 490,70                                 | 1558,50                                                 | 1067,80              | 553,80                                     | 149,90                                       | 0,14                                  |
| 2  | AF11      | 6,0             | 405,15                        | 493,83                                 | 1560,30                                                 | 1066,47              | 567,37                                     | 162,22                                       | 0,15                                  |
| 3  | AF12      | 6,0             | 403,70                        | 488,60                                 | 1556,70                                                 | 1068,10              | 580,98                                     | 177,28                                       | 0,17                                  |
|    |           |                 |                               |                                        |                                                         |                      |                                            | Rata-rata                                    | 0,15                                  |
| No | Benda Uji | Kadar Aspal (%) | Berat Nampan + Aluminium Foil | Berat Nampan + Aluminium Foil + Bucket | Berat Nampan + Aluminium Foil + Bucket + Campuran Aspal | Berat Campuran Aspal | A + Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil | Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil (E-A) | Nilai Asphalt Flow Down (G= F/Dx100%) |
|    |           |                 | Gram                          | Gram                                   | Gram                                                    | Gram                 | Gram                                       | Gram                                         | %                                     |
|    |           |                 | A                             | B                                      | C                                                       | D                    | E                                          | F                                            | G                                     |
| 1  | AF13      | 6,5             | 406,00                        | 498,70                                 | 1595,90                                                 | 1097,20              | 575,40                                     | 169,40                                       | 0,15                                  |
| 2  | AF14      | 6,5             | 406,15                        | 489,40                                 | 1578,50                                                 | 1089,10              | 593,80                                     | 187,65                                       | 0,17                                  |
| 3  | AF15      | 6,5             | 404,30                        | 486,12                                 | 1576,30                                                 | 1090,18              | 580,30                                     | 176,00                                       | 0,16                                  |
|    |           |                 |                               |                                        |                                                         |                      |                                            | Rata-rata                                    | 0,16                                  |
| No | Benda Uji | Kadar Aspal (%) | Berat Nampan + Aluminium Foil | Berat Nampan + Aluminium Foil + Bucket | Berat Nampan + Aluminium Foil + Bucket + Campuran Aspal | Berat Campuran Aspal | A + Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil | Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil (E-A) | Nilai Asphalt Flow Down (G= F/Dx100%) |
|    |           |                 | Gram                          | Gram                                   | Gram                                                    | Gram                 | Gram                                       | Gram                                         | %                                     |
|    |           |                 | A                             | B                                      | C                                                       | D                    | E                                          | F                                            | G                                     |
| 1  | KA0       | 5,8             | 320,20                        | 399,90                                 | 1474,00                                                 | 1074,10              | 468,50                                     | 148,30                                       | 0,14                                  |
| 2  | KA0       | 5,8             | 320,73                        | 402,03                                 | 1475,50                                                 | 1073,47              | 465,68                                     | 144,95                                       | 0,14                                  |
| 3  | KA0       | 5,8             | 319,40                        | 396,46                                 | 1468,55                                                 | 1072,09              | 481,84                                     | 162,44                                       | 0,15                                  |
|    |           |                 |                               |                                        |                                                         |                      |                                            | Rata-rata                                    | 0,14                                  |

Tabel C.4.21 Hasil Pengujian *Marshall* Dengan *Filler* 0% CT : 100% PC

| Spesifikasi         | =                 | Aspal Porus      | Berat jenis bulk agregat (Gsb)    | =               | 2,738    |                          |               |                             |                                       |           |                          |                |                 |                 |              |
|---------------------|-------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------|----------|--------------------------|---------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------|--------------------------|----------------|-----------------|-----------------|--------------|
| Agregat             | =                 | AMP Ayu Lestari  | Berat jenis efektif agregat (Gse) | =               | 2,809    | Faktor kalibrasi alat    | =             | 16,783                      |                                       |           |                          |                |                 |                 |              |
| Aspal               | =                 | Aspal Pen. 60/70 | Berat jenis aspal (Gb)            | =               | 1,030    | Faktor koreksi benda uji | =             | Dari Tabel                  |                                       |           |                          |                |                 |                 |              |
| Persen Campuran (%) | Kadar Aspal       |                  | Tebal Benda Uji                   | Berat Benda Uji |          |                          | Isi Benda Uji | Kepadatan (Berat Isi) (Gmb) | BJ Campuran Maksimum (Gmm) (teoritis) | VIM 18-25 | Stabilitas (Min. 500 kg) |                |                 | Kelelehan 2 - 6 | MQ Maks. 400 |
|                     | Terhadap Campuran | Terhadap Agregat |                                   | Kering          | SSD      | Dalam Air                |               |                             |                                       |           | Bacaan Alat              | Faktor Koreksi | Setelah Koreksi |                 |              |
|                     | ( % )             | ( % )            |                                   | ( gram )        | ( gram ) | ( gram )                 |               |                             |                                       |           | ( kg )                   | Benda Uji      | ( kg )          |                 |              |
| a                   | b                 | c                | d                                 | e               | f        | g                        | h = ( f - g ) | i = ( e / h )               | j                                     | k         | l                        | m              | n               | o               | p            |
| 2                   | 5,80              | 6,16             | 6,50                              | 1105,40         | 1166,80  | 604,60                   | 562,20        | 1,97                        | 2,59                                  | 24,15     | 40,00                    | 0,86           | 577,34          | 3,30            | 174,95       |
| 2                   | 5,80              | 6,16             | 6,60                              | 1108,60         | 1153,60  | 612,50                   | 541,10        | 2,05                        | 2,59                                  | 20,97     | 41,00                    | 0,93           | 639,94          | 3,40            | 188,22       |
| 2                   | 5,80              | 6,16             | 6,50                              | 1105,30         | 1165,80  | 608,30                   | 557,50        | 1,98                        | 2,59                                  | 23,52     | 40,00                    | 0,89           | 597,47          | 4,20            | 142,26       |
| Rata-rata           | 5,80              | 6,16             | 6,53                              | 1106,43         | 1162,07  | 608,47                   | 553,60        | 2,00                        | 2,59                                  | 22,88     | 40,33                    | 0,89           | 604,92          | 3,63            | 168,47       |
| 4                   | 5,80              | 6,16             | 6,50                              | 1119,40         | 1141,50  | 610,30                   | 531,20        | 2,11                        | 2,59                                  | 18,71     | 47,00                    | 1,00           | 788,80          | 3,50            | 225,37       |
| 4                   | 5,80              | 6,16             | 6,70                              | 1124,60         | 1148,20  | 612,50                   | 535,70        | 2,10                        | 2,59                                  | 19,02     | 48,00                    | 0,96           | 773,36          | 3,70            | 209,02       |
| 4                   | 5,80              | 6,16             | 6,70                              | 1115,70         | 1145,70  | 617,87                   | 527,83        | 2,11                        | 2,59                                  | 18,46     | 46,00                    | 1,00           | 772,02          | 4,30            | 179,54       |
| Rata-rata           | 5,80              | 6,16             | 6,63                              | 1119,90         | 1145,13  | 613,56                   | 531,58        | 2,11                        | 2,59                                  | 18,73     | 47,00                    | 0,99           | 778,06          | 3,83            | 204,64       |
| 6                   | 5,80              | 6,16             | 6,50                              | 1102,50         | 1136,40  | 614,70                   | 521,70        | 2,11                        | 2,59                                  | 18,48     | 48,00                    | 1,00           | 805,58          | 5,00            | 161,12       |
| 6                   | 5,80              | 6,16             | 6,80                              | 1105,40         | 1140,60  | 612,50                   | 528,10        | 2,09                        | 2,59                                  | 19,26     | 47,00                    | 0,96           | 757,25          | 4,50            | 168,28       |
| 6                   | 5,80              | 6,16             | 7,00                              | 1109,70         | 1138,80  | 620,60                   | 518,20        | 2,14                        | 2,59                                  | 17,39     | 48,00                    | 1,00           | 805,58          | 3,40            | 236,94       |
| Rata-rata           | 5,80              | 6,16             | 6,77                              | 1105,87         | 1138,60  | 615,93                   | 522,67        | 2,12                        | 2,59                                  | 18,38     | 47,67                    | 0,99           | 789,47          | 4,30            | 188,78       |

Tabel C.4.22 Hasil Pengujian *Marshall* Dengan *Filler* 50% CT : 50% PC

| Spesifikasi         | =                 | Aspal Porus      | Berat jenis bulk agregat (Gsb)    | =               | 2,738    |                          |               |                             |                                       |       |                       |                |                 |           |        |
|---------------------|-------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------|----------|--------------------------|---------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------|-----------------------|----------------|-----------------|-----------|--------|
| Agregat             | =                 | AMP Ayu Lestari  | Berat jenis efektif agregat (Gse) | =               | 2,809    | Faktor kalibrasi alat    | =             | 16,783                      |                                       |       |                       |                |                 |           |        |
| Aspal               | =                 | Aspal Pen. 60/70 | Berat jenis aspal (Gb)            | =               | 1,030    | Faktor koreksi benda uji | =             | Dari Tabel                  |                                       |       |                       |                |                 |           |        |
| Persen Campuran (%) | Kadar Aspal       |                  | Tebal Benda Uji                   | Berat Benda Uji |          |                          | Isi Benda Uji | Kepadatan (Berat Isi) (Gmb) | BJ Campuran Maksimum (Gmm) (teoritis) | VIM   | Stabilitas (Min. 500) |                |                 | Kelelehan | MQ     |
|                     | Terhadap Campuran | Terhadap Agregat |                                   | Kering          | SSD      | Dalam Air                |               |                             |                                       |       | Bacaan Alat           | Faktor Koreksi | Setelah Koreksi |           |        |
|                     | ( % )             | ( % )            |                                   | ( gram )        | ( gram ) | ( gram )                 |               |                             |                                       |       | ( kg )                | Benda Uji      | ( kg )          |           |        |
| a                   | b                 | c                | d                                 | e               | f        | g                        | h = (f - g)   | i = (e / h)                 | j                                     | k     | l                     | m              | n               | o         | p      |
| 2                   | 5,80              | 6,16             | 6,50                              | 1100,20         | 1146,90  | 609,80                   | 537,10        | 2,05                        | 2,59                                  | 20,98 | 33,00                 | 0,93           | 515,07          | 3,30      | 156,08 |
| 2                   | 5,80              | 6,16             | 6,70                              | 1092,80         | 1143,20  | 610,40                   | 532,80        | 2,05                        | 2,59                                  | 20,88 | 32,00                 | 0,96           | 515,57          | 3,00      | 171,86 |
| 2                   | 5,80              | 6,16             | 6,50                              | 1098,10         | 1165,40  | 609,60                   | 555,80        | 1,98                        | 2,59                                  | 23,79 | 30,00                 | 0,89           | 448,11          | 4,00      | 112,03 |
| Rata-rata           | 5,80              | 6,16             | 6,57                              | 1097,03         | 1151,83  | 609,93                   | 541,90        | 2,03                        | 2,59                                  | 21,88 | 31,67                 | 0,93           | 492,92          | 3,43      | 146,66 |
| 4                   | 5,80              | 6,16             | 6,50                              | 1100,10         | 1151,40  | 625,50                   | 525,90        | 2,09                        | 2,59                                  | 19,31 | 45,00                 | 0,96           | 725,03          | 3,90      | 185,90 |
| 4                   | 5,80              | 6,16             | 6,80                              | 1100,50         | 1148,50  | 630,70                   | 517,80        | 2,13                        | 2,59                                  | 18,02 | 46,00                 | 1,00           | 772,02          | 3,50      | 220,58 |
| 4                   | 5,80              | 6,16             | 6,70                              | 1100,60         | 1148,30  | 629,71                   | 518,59        | 2,12                        | 2,59                                  | 18,13 | 47,00                 | 1,00           | 788,80          | 4,50      | 175,29 |
| Rata-rata           | 5,80              | 6,16             | 6,67                              | 1100,40         | 1149,40  | 628,64                   | 520,76        | 2,11                        | 2,59                                  | 18,49 | 46,00                 | 0,99           | 761,95          | 3,97      | 193,92 |
| 6                   | 5,80              | 6,16             | 6,40                              | 1097,90         | 1126,70  | 609,40                   | 517,30        | 2,12                        | 2,59                                  | 18,13 | 47,00                 | 1,00           | 788,80          | 4,70      | 167,83 |
| 6                   | 5,80              | 6,16             | 6,50                              | 1099,60         | 1137,20  | 615,60                   | 521,60        | 2,11                        | 2,59                                  | 18,68 | 48,00                 | 0,96           | 773,36          | 4,30      | 179,85 |
| 6                   | 5,80              | 6,16             | 6,80                              | 1095,80         | 1128,90  | 615,50                   | 513,40        | 2,13                        | 2,59                                  | 17,67 | 48,00                 | 1,00           | 805,58          | 5,00      | 161,12 |
| Rata-rata           | 5,80              | 6,16             | 6,57                              | 1097,77         | 1130,93  | 613,50                   | 517,43        | 2,12                        | 2,59                                  | 18,16 | 47,67                 | 0,99           | 789,25          | 4,67      | 169,60 |

Tabel C.4.23 Hasil Pengujian *Marshall* Dengan *Filler* 100% CT : 0% PC

| Spesifikasi               | =                    | Aspal Porus         | Berat jenis bulk agregat (Gsb)    | =               | 2,738    |                          |                  |                                   |                                                   |              |                           |                   |                    |                    |                 |
|---------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------|----------|--------------------------|------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------|--------------|---------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| Agregat                   | =                    | AMP Ayu Lestari     | Berat jenis efektif agregat (Gse) | =               | 2,809    | Faktor kalibrasi alat    | =                | 16,783                            |                                                   |              |                           |                   |                    |                    |                 |
| Aspal                     | =                    | Aspal Pen. 60/70    | Berat jenis aspal (Gb)            | =               | 1,030    | Faktor koreksi benda uji | =                | Dari Tabel                        |                                                   |              |                           |                   |                    |                    |                 |
| Persen<br>Campuran<br>(%) | Kadar Aspal          |                     | Tebal<br>Benda<br>Uji             | Berat Benda Uji |          |                          | Isi Benda<br>Uji | Kepadatan<br>(Berat Isi)<br>(Gmb) | BJ<br>Campuran<br>Maksimum<br>(Gmm)<br>(teoritis) | VIM<br>18-25 | Stabilitas (Min. 500 kg ) |                   |                    | Kelelehan<br>2 - 6 | MQ<br>Maks. 400 |
|                           | Terhadap<br>Campuran | Terhadap<br>Agregat |                                   | Kering          | SSD      | Dalam Air                |                  |                                   |                                                   |              | Bacaan<br>Alat            | Faktor<br>Koreksi | Setelah<br>Koreksi |                    |                 |
|                           | ( % )                | ( % )               |                                   | ( gram )        | ( gram ) | ( gram )                 |                  |                                   |                                                   |              | ( kg )                    | Benda<br>Uji      | ( kg )             | ( mm )             | ( kg/mm )       |
| a                         | b                    | c                   | d                                 | e               | f        | g                        | h = (f - g)      | i = (e / h)                       | j                                                 | k            | l                         | m                 | n                  | o                  | p               |
| 2                         | 5,80                 | 6,16                | 6,30                              | 1105,20         | 1146,80  | 607,50                   | 539,30           | 2,05                              | 2,59                                              | 20,95        | 29,00                     | 0,89              | 433,17             | 3,00               | 144,39          |
| 2                         | 5,80                 | 6,16                | 6,50                              | 1102,30         | 1153,50  | 608,15                   | 545,35           | 2,02                              | 2,59                                              | 22,03        | 30,00                     | 0,93              | 468,25             | 2,00               | 234,12          |
| 2                         | 5,80                 | 6,16                | 6,50                              | 1100,50         | 1150,30  | 609,50                   | 540,80           | 2,03                              | 2,59                                              | 21,50        | 32,00                     | 0,93              | 499,46             | 2,40               | 208,11          |
| Rata-rata                 | 5,80                 | 6,16                | 6,43                              | 1102,67         | 1150,20  | 608,38                   | 541,82           | 2,04                              | 2,59                                              | 21,49        | 30,33                     | 0,92              | 466,96             | 2,47               | 195,54          |
| 4                         | 5,80                 | 6,16                | 6,60                              | 1098,60         | 1171,30  | 615,18                   | 556,12           | 1,98                              | 2,59                                              | 23,80        | 31,00                     | 0,89              | 463,04             | 3,40               | 136,19          |
| 4                         | 5,80                 | 6,16                | 6,50                              | 1099,80         | 1168,40  | 627,21                   | 541,19           | 2,03                              | 2,59                                              | 21,61        | 30,00                     | 0,93              | 468,25             | 3,00               | 156,08          |
| 4                         | 5,80                 | 6,16                | 6,70                              | 1098,70         | 1155,40  | 635,70                   | 519,70           | 2,11                              | 2,59                                              | 18,45        | 32,00                     | 1,00              | 537,06             | 2,70               | 198,91          |
| Rata-rata                 | 5,80                 | 6,16                | 6,60                              | 1099,03         | 1165,03  | 626,03                   | 539,00           | 2,04                              | 2,59                                              | 21,28        | 31,00                     | 0,94              | 489,45             | 3,03               | 163,73          |
| 6                         | 5,80                 | 6,16                | 6,50                              | 1104,60         | 1146,40  | 629,00                   | 517,40           | 2,13                              | 2,59                                              | 17,65        | 33,00                     | 1,00              | 553,84             | 4,00               | 138,46          |
| 6                         | 5,80                 | 6,16                | 6,70                              | 1108,50         | 1150,60  | 631,24                   | 519,36           | 2,13                              | 2,59                                              | 17,67        | 35,00                     | 1,00              | 587,41             | 3,20               | 183,56          |
| 6                         | 5,80                 | 6,16                | 6,50                              | 1105,80         | 1148,70  | 627,87                   | 520,83           | 2,12                              | 2,59                                              | 18,10        | 36,00                     | 1,00              | 604,19             | 3,50               | 172,63          |
| Rata-rata                 | 5,80                 | 6,16                | 6,57                              | 1106,30         | 1148,57  | 629,37                   | 519,20           | 2,13                              | 2,59                                              | 17,80        | 34,67                     | 1,00              | 581,81             | 3,57               | 164,88          |

Tabel C.4.24 Hasil Pengujian CL Dengan *Filler* 0% CT : 100% PC

| No. | Persen Campuran (HDPE) | KAO | Berat Benda Uji Awal | Berat Benda Uji Setelah Di Tes | Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di tes | Perbandingan Berat Benda Uji Awal dan Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di Tes | Cantabro Loss |
|-----|------------------------|-----|----------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|     | %                      | %   | Gram                 | Gram                           | Gram                                      | Gram                                                                            | %             |
|     |                        |     | A                    | B                              | C = A - B                                 | D = C/A                                                                         | E = D x 100%  |
| 1   | 2                      | 5,8 | 1093,30              | 712,70                         | 380,60                                    | 0,35                                                                            | 34,81         |
| 2   | 2                      | 5,8 | 1063,40              | 717,50                         | 345,90                                    | 0,33                                                                            | 32,53         |
| 3   | 2                      | 5,8 | 1089,20              | 710,70                         | 378,50                                    | 0,35                                                                            | 34,75         |
|     |                        |     |                      |                                |                                           | Rata - rata                                                                     | 34,03         |
| No. | Persen Campuran (HDPE) | KAO | Berat Benda Uji Awal | Berat Benda Uji Setelah Di Tes | Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di tes | Perbandingan Berat Benda Uji Awal dan Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di Tes | Cantabro Loss |
|     | %                      | %   | Gram                 | Gram                           | Gram                                      | Gram                                                                            | %             |
|     |                        |     | A                    | B                              | C = A - B                                 | D = C/A                                                                         | E = D x 100%  |
| 1   | 4                      | 5,8 | 1109,40              | 730,30                         | 379,10                                    | 0,34                                                                            | 34,17         |
| 2   | 4                      | 5,8 | 1103,30              | 712,50                         | 390,80                                    | 0,35                                                                            | 35,42         |
| 3   | 4                      | 5,8 | 1098,60              | 723,80                         | 374,80                                    | 0,34                                                                            | 34,12         |
|     |                        |     |                      |                                |                                           | Rata - rata                                                                     | 34,57         |
| No. | Persen Campuran (HDPE) | KAO | Berat Benda Uji Awal | Berat Benda Uji Setelah Di Tes | Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di tes | Perbandingan Berat Benda Uji Awal dan Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di Tes | Cantabro Loss |
|     | %                      | %   | Gram                 | Gram                           | Gram                                      | Gram                                                                            | %             |
|     |                        |     | A                    | B                              | C = A - B                                 | D = C/A                                                                         | E = D x 100%  |
| 1   | 6                      | 5,8 | 1109,20              | 719,20                         | 390,00                                    | 0,35                                                                            | 35,16         |
| 2   | 6                      | 5,8 | 1107,50              | 715,60                         | 391,90                                    | 0,35                                                                            | 35,39         |
| 3   | 6                      | 5,8 | 1110,10              | 710,40                         | 399,70                                    | 0,36                                                                            | 36,01         |
|     |                        |     |                      |                                |                                           | Rata - rata                                                                     | 35,52         |

Tabel 4.25 Hasil Pengujian CL Dengan *Filler* 50% CT : 50% PC

| No. | Persen Campuran (HDPE) | KAO | Berat Benda Uji Awal | Berat Benda Uji Setelah Di Tes | Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di tes | Perbandingan Berat Benda Uji Awal dan Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di Tes | Cantabro Loss |
|-----|------------------------|-----|----------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|     | %                      | %   | Gram                 | Gram                           | Gram                                      | Gram                                                                            | %             |
|     |                        |     | A                    | B                              | C = A - B                                 | D = C/A                                                                         | E = D x 100%  |
| 1   | 2                      | 5,8 | 1107,20              | 728,30                         | 378,90                                    | 0,34                                                                            | 34,22         |
| 2   | 2                      | 5,8 | 1109,80              | 794,80                         | 315,00                                    | 0,28                                                                            | 28,38         |
| 3   | 2                      | 5,8 | 1110,10              | 800,40                         | 309,70                                    | 0,28                                                                            | 27,90         |
|     |                        |     |                      |                                |                                           | Rata - rata                                                                     | 30,17         |
| No. | Persen Campuran (HDPE) | KAO | Berat Benda Uji Awal | Berat Benda Uji Setelah Di Tes | Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di tes | Perbandingan Berat Benda Uji Awal dan Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di Tes | Cantabro Loss |
|     | %                      | %   | Gram                 | Gram                           | Gram                                      | Gram                                                                            | %             |
|     |                        |     | A                    | B                              | C = A - B                                 | D = C/A                                                                         | E = D x 100%  |
| 1   | 4                      | 5,8 | 1100,10              | 748,80                         | 351,30                                    | 0,32                                                                            | 31,93         |
| 2   | 4                      | 5,8 | 1100,50              | 745,40                         | 355,10                                    | 0,32                                                                            | 32,27         |
| 3   | 4                      | 5,8 | 1103,50              | 730,50                         | 373,00                                    | 0,34                                                                            | 33,80         |
|     |                        |     |                      |                                |                                           | Rata - rata                                                                     | 32,67         |
| No. | Persen Campuran (HDPE) | KAO | Berat Benda Uji Awal | Berat Benda Uji Setelah Di Tes | Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di tes | Perbandingan Berat Benda Uji Awal dan Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di Tes | Cantabro Loss |
|     | %                      | %   | Gram                 | Gram                           | Gram                                      | Gram                                                                            | %             |
|     |                        |     | A                    | B                              | C = A - B                                 | D = C/A                                                                         | E = D x 100%  |
| 1   | 6                      | 5,8 | 1109,90              | 747,90                         | 362,00                                    | 0,33                                                                            | 32,62         |
| 2   | 6                      | 5,8 | 1110,60              | 760,20                         | 350,40                                    | 0,32                                                                            | 31,55         |
| 3   | 6                      | 5,8 | 1099,80              | 713,50                         | 386,30                                    | 0,35                                                                            | 35,12         |
|     |                        |     |                      |                                |                                           | Rata - rata                                                                     | 33,10         |

Tabel C.4.26 Hasil Pengujian CL Dengan *Filler* 100% CT : 0% PC

| No. | Persen Campuran (HDPE) | KAO | Berat Benda Uji Awal | Berat Benda Uji Setelah Di Tes | Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di tes | Perbandingan Berat Benda Uji Awal dan Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di Tes | Cantabro Loss |
|-----|------------------------|-----|----------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|     | %                      | %   | Gram                 | Gram                           | Gram                                      | Gram                                                                            | %             |
|     |                        |     | A                    | B                              | C = A - B                                 | D = C/A                                                                         | E = D x 100%  |
| 1   | 2                      | 5,8 | 1098,10              | 858,50                         | 239,60                                    | 0,22                                                                            | 21,82         |
| 2   | 2                      | 5,8 | 1010,30              | 853,20                         | 157,10                                    | 0,16                                                                            | 15,55         |
| 3   | 2                      | 5,8 | 1095,60              | 851,40                         | 244,20                                    | 0,22                                                                            | 22,29         |
|     |                        |     |                      |                                |                                           | Rata - rata                                                                     | 19,89         |
| No. | Persen Campuran (HDPE) | KAO | Berat Benda Uji Awal | Berat Benda Uji Setelah Di Tes | Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di tes | Perbandingan Berat Benda Uji Awal dan Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di Tes | Cantabro Loss |
|     | %                      | %   | Gram                 | Gram                           | Gram                                      | Gram                                                                            | %             |
|     |                        |     | A                    | B                              | C = A - B                                 | D = C/A                                                                         | E = D x 100%  |
| 1   | 4                      | 5,8 | 1090,30              | 852,10                         | 238,20                                    | 0,22                                                                            | 21,85         |
| 2   | 4                      | 5,8 | 1097,50              | 856,80                         | 240,70                                    | 0,22                                                                            | 21,93         |
| 3   | 4                      | 5,8 | 1091,50              | 858,90                         | 232,60                                    | 0,21                                                                            | 21,31         |
|     |                        |     |                      |                                |                                           | Rata - rata                                                                     | 21,70         |
| No. | Persen Campuran (HDPE) | KAO | Berat Benda Uji Awal | Berat Benda Uji Setelah Di Tes | Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di tes | Perbandingan Berat Benda Uji Awal dan Berat Kehilangan Benda Uji Setelah Di Tes | Cantabro Loss |
|     | %                      | %   | Gram                 | Gram                           | Gram                                      | Gram                                                                            | %             |
|     |                        |     | A                    | B                              | C = A - B                                 | D = C/A                                                                         | E = D x 100%  |
| 1   | 6                      | 5,8 | 1104,40              | 850,90                         | 253,50                                    | 0,23                                                                            | 22,95         |
| 2   | 6                      | 5,8 | 1108,80              | 850,70                         | 258,10                                    | 0,23                                                                            | 23,28         |
| 3   | 6                      | 5,8 | 1105,30              | 855,20                         | 250,10                                    | 0,23                                                                            | 22,63         |
|     |                        |     |                      |                                |                                           | Rata - rata                                                                     | 22,95         |

Tabel C.4.27 Hasil Pengujian AFD Dengan *Filler* 0% CT : 100% PC

| No | Persen Campuran (HDPE) | KAO | Berat Nampn + Aluminium Foil | Berat Nampn + Aluminium Foil + Bucket | Berat Nampn + Aluminium Foil + Bucket + Campuran Aspal | Berat Campuran Aspal | A + Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil | Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil (E-A) | Nilai Asphalt Flow Down (G= F/Dx100%) |
|----|------------------------|-----|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|
|    | %                      | %   | Gram                         | Gram                                  | Gram                                                   | Gram                 | Gram                                       | Gram                                         | %                                     |
|    |                        |     | A                            | B                                     | C                                                      | D                    | E                                          | F                                            | G                                     |
| 1  | 2                      | 5,8 | 403,10                       | 478,60                                | 1554,60                                                | 1076,00              | 522,30                                     | 119,20                                       | 0,11                                  |
| 2  | 2                      | 5,8 | 405,13                       | 456,57                                | 1560,50                                                | 1103,93              | 534,50                                     | 129,37                                       | 0,12                                  |
| 3  | 2                      | 5,8 | 405,07                       | 452,31                                | 1561,60                                                | 1109,29              | 538,70                                     | 133,63                                       | 0,12                                  |
|    |                        |     |                              |                                       |                                                        |                      |                                            | Rata-rata                                    | 0,12                                  |
| No | Persen Campuran (HDPE) | KAO | Berat Nampn + Aluminium Foil | Berat Nampn + Aluminium Foil + Bucket | Berat Nampn + Aluminium Foil + Bucket + Campuran Aspal | Berat Campuran Aspal | A + Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil | Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil (E-A) | Nilai Asphalt Flow Down (G= F/Dx100%) |
|    | %                      | %   | Gram                         | Gram                                  | Gram                                                   | Gram                 | Gram                                       | Gram                                         | %                                     |
|    |                        |     | A                            | B                                     | C                                                      | D                    | E                                          | F                                            | G                                     |
| 1  | 4                      | 5,8 | 406,70                       | 488,20                                | 1576,50                                                | 1088,30              | 525,90                                     | 119,20                                       | 0,11                                  |
| 2  | 4                      | 5,8 | 406,60                       | 473,50                                | 1565,30                                                | 1091,80              | 521,70                                     | 115,10                                       | 0,11                                  |
| 3  | 4                      | 5,8 | 404,10                       | 485,40                                | 1573,70                                                | 1088,30              | 530,90                                     | 126,80                                       | 0,12                                  |
|    |                        |     |                              |                                       |                                                        |                      |                                            | Rata-rata                                    | 0,11                                  |
| No | Persen Campuran (HDPE) | KAO | Berat Nampn + Aluminium Foil | Berat Nampn + Aluminium Foil + Bucket | Berat Nampn + Aluminium Foil + Bucket + Campuran Aspal | Berat Campuran Aspal | A + Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil | Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil (E-A) | Nilai Asphalt Flow Down (G= F/Dx100%) |
|    | %                      | %   | Gram                         | Gram                                  | Gram                                                   | Gram                 | Gram                                       | Gram                                         | %                                     |
|    |                        |     | A                            | B                                     | C                                                      | D                    | E                                          | F                                            | G                                     |
| 1  | 6                      | 5,8 | 235,40                       | 319,20                                | 1399,50                                                | 1080,30              | 333,80                                     | 98,40                                        | 0,09                                  |
| 2  | 6                      | 5,8 | 234,90                       | 312,20                                | 1396,40                                                | 1084,20              | 343,70                                     | 108,80                                       | 0,10                                  |
| 3  | 6                      | 5,8 | 235,70                       | 309,30                                | 1390,70                                                | 1081,40              | 328,50                                     | 92,80                                        | 0,09                                  |
|    |                        |     |                              |                                       |                                                        |                      |                                            | Rata-rata                                    | 0,09                                  |

Tabel C.4.28 Hasil Pengujian AFD Dengan *Filler* 50% CT : 50% PC

| No | Persen Campuran (HDPE) | KAO | Berat Nampn + Aluminium Foil | Berat Nampn + Aluminium Foil + Bucket | Berat Nampn + Aluminium Foil + Bucket + Campuran Aspal | Berat Campuran Aspal | A + Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil | Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil (E-A) | Nilai Asphalt Flow Down (G= F/Dx100%) |
|----|------------------------|-----|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|
|    | %                      | %   | Gram                         | Gram                                  | Gram                                                   | Gram                 | Gram                                       | Gram                                         | %                                     |
|    |                        |     | A                            | B                                     | C                                                      | D                    | E                                          | F                                            | G                                     |
| 1  | 2                      | 5,8 | 404,80                       | 458,70                                | 1568,5                                                 | 1109,80              | 563,80                                     | 159,00                                       | 0,14                                  |
| 2  | 2                      | 5,8 | 404,60                       | 463,83                                | 1567,3                                                 | 1103,47              | 577,37                                     | 172,77                                       | 0,16                                  |
| 3  | 2                      | 5,8 | 403,50                       | 458,60                                | 1556,7                                                 | 1098,10              | 590,20                                     | 186,70                                       | 0,17                                  |
|    |                        |     |                              |                                       |                                                        |                      |                                            | Rata-rata                                    | 0,16                                  |
| No | Persen Campuran (HDPE) | KAO | Berat Nampn + Aluminium Foil | Berat Nampn + Aluminium Foil + Bucket | Berat Nampn + Aluminium Foil + Bucket + Campuran Aspal | Berat Campuran Aspal | A + Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil | Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil (E-A) | Nilai Asphalt Flow Down (G= F/Dx100%) |
|    | %                      | %   | Gram                         | Gram                                  | Gram                                                   | Gram                 | Gram                                       | Gram                                         | %                                     |
|    |                        |     | A                            | B                                     | C                                                      | D                    | E                                          | F                                            | G                                     |
| 1  | 4                      | 5,8 | 240,40                       | 322,50                                | 1398,6                                                 | 1076,1               | 340,30                                     | 99,90                                        | 0,09                                  |
| 2  | 4                      | 5,8 | 242,50                       | 320,40                                | 1401,2                                                 | 1080,8               | 335,40                                     | 92,90                                        | 0,09                                  |
| 3  | 4                      | 5,8 | 240,60                       | 321,60                                | 1408,4                                                 | 1086,8               | 330,30                                     | 89,70                                        | 0,08                                  |
|    |                        |     |                              |                                       |                                                        |                      |                                            | Rata-rata                                    | 0,09                                  |
| No | Persen Campuran (HDPE) | KAO | Berat Nampn + Aluminium Foil | Berat Nampn + Aluminium Foil + Bucket | Berat Nampn + Aluminium Foil + Bucket + Campuran Aspal | Berat Campuran Aspal | A + Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil | Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil (E-A) | Nilai Asphalt Flow Down (G= F/Dx100%) |
|    | %                      | %   | Gram                         | Gram                                  | Gram                                                   | Gram                 | Gram                                       | Gram                                         | %                                     |
|    |                        |     | A                            | B                                     | C                                                      | D                    | E                                          | F                                            | G                                     |
| 1  | 6                      | 5,8 | 405,30                       | 477,50                                | 1576,4                                                 | 1098,9               | 510,53                                     | 105,23                                       | 0,10                                  |
| 2  | 6                      | 5,8 | 404,60                       | 474,60                                | 1571,6                                                 | 1097,0               | 510,70                                     | 106,10                                       | 0,10                                  |
| 3  | 6                      | 5,8 | 404,20                       | 481,30                                | 1572,8                                                 | 1091,5               | 509,37                                     | 105,17                                       | 0,10                                  |
|    |                        |     |                              |                                       |                                                        |                      |                                            | Rata-rata                                    | 0,10                                  |

Tabel C.4.29 Hasil Pengujian AFD Dengan *Filler* 100% CT : 0% PC

| No | Persen Campuran (HDPE) | KAO | Berat Nampan + Aluminium Foil | Berat Nampan + Aluminium Foil + Bucket | Berat Nampan + Aluminium Foil + Bucket + Campuran Aspal | Berat Campuran Aspal | A + Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil | Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil (E-A) | Nilai Asphalt Flow Down (G= F/Dx100%) |
|----|------------------------|-----|-------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|
|    | %                      | %   | Gram                          | Gram                                   | Gram                                                    | Gram                 | Gram                                       | Gram                                         | %                                     |
|    |                        |     | A                             | B                                      | C                                                       | D                    | E                                          | F                                            | G                                     |
| 1  | 2                      | 5,8 | 236,60                        | 310,10                                 | 1407,5                                                  | 1097,4               | 473,20                                     | 236,60                                       | 0,22                                  |
| 2  | 2                      | 5,8 | 237,30                        | 312,23                                 | 1409,7                                                  | 1097,47              | 453,97                                     | 216,67                                       | 0,20                                  |
| 3  | 2                      | 5,8 | 236,11                        | 309,72                                 | 1407,9                                                  | 1098,18              | 472,78                                     | 236,67                                       | 0,22                                  |
|    |                        |     |                               |                                        |                                                         |                      |                                            | <b>Rata-rata</b>                             | <b>0,21</b>                           |
| No | Persen Campuran (HDPE) | KAO | Berat Nampan + Aluminium Foil | Berat Nampan + Aluminium Foil + Bucket | Berat Nampan + Aluminium Foil + Bucket + Campuran Aspal | Berat Campuran Aspal | A + Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil | Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil (E-A) | Nilai Asphalt Flow Down (G= F/Dx100%) |
|    | %                      | %   | Gram                          | Gram                                   | Gram                                                    | Gram                 | Gram                                       | Gram                                         | %                                     |
|    |                        |     | A                             | B                                      | C                                                       | D                    | E                                          | F                                            | G                                     |
| 1  | 4                      | 5,8 | 402,70                        | 486,50                                 | 1578,6                                                  | 1092,1               | 563,80                                     | 161,10                                       | 0,15                                  |
| 2  | 4                      | 5,8 | 253,15                        | 390,93                                 | 1483,3                                                  | 1092,37              | 360,36                                     | 107,21                                       | 0,10                                  |
| 3  | 4                      | 5,8 | 405,10                        | 498,30                                 | 1596,5                                                  | 1098,2               | 570,68                                     | 165,58                                       | 0,15                                  |
|    |                        |     |                               |                                        |                                                         |                      |                                            | <b>Rata-rata</b>                             | <b>0,13</b>                           |
| No | Persen Campuran (HDPE) | KAO | Berat Nampan + Aluminium Foil | Berat Nampan + Aluminium Foil + Bucket | Berat Nampan + Aluminium Foil + Bucket + Campuran Aspal | Berat Campuran Aspal | A + Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil | Aspal Yang Melekat Pada Aluminium Foil (E-A) | Nilai Asphalt Flow Down (G= F/Dx100%) |
|    | %                      | %   | Gram                          | Gram                                   | Gram                                                    | Gram                 | Gram                                       | Gram                                         | %                                     |
|    |                        |     | A                             | B                                      | C                                                       | D                    | E                                          | F                                            | G                                     |
| 1  | 6                      | 5,8 | 406,12                        | 498,70                                 | 1598,9                                                  | 1100,2               | 546,60                                     | 140,48                                       | 0,13                                  |
| 2  | 6                      | 5,8 | 236,15                        | 389,40                                 | 1488,5                                                  | 1099,1               | 333,90                                     | 97,75                                        | 0,09                                  |
| 3  | 6                      | 5,8 | 236,30                        | 387,12                                 | 1486,3                                                  | 1099,2               | 328,30                                     | 92,00                                        | 0,08                                  |
|    |                        |     |                               |                                        |                                                         |                      |                                            | <b>Rata-rata</b>                             | <b>0,10</b>                           |

Tabel C.4.30 Rekapitulasi Hasil Pengujian Tanpa Substitusi

| No  | Kadar Aspal (%) | Jenis Pengujian  |              |             |              |                          |              |             |        |                           |                 |                   |              |                       |             |
|-----|-----------------|------------------|--------------|-------------|--------------|--------------------------|--------------|-------------|--------|---------------------------|-----------------|-------------------|--------------|-----------------------|-------------|
|     |                 | Density (gr/cm3) |              | VIM (%)     |              | Stabilitas Marshall (kg) |              | Flow(mm)    |        | Marshall Quotient (kg/mm) |                 | Cantabro Loss (%) |              | Asphalt Flow Down (%) |             |
|     |                 | Spesifikasi      | ≥ 2 (gr/cm3) | Spesifikasi | 18-25 %      | Spesifikasi              | Min. 500 Kg  | Spesifikasi | 2-6 mm | Spesifikasi               | Maks. 400 kg/mm | Spesifikasi       | Maks. 35%    | Spesifikasi           | Maks. 0,3 % |
| 1   | 4,50%           | 2,05             | Sesuai       | 22,65       | Sesuai       | 474,68                   | Tidak Sesuai | 3,23        | Sesuai | 148,03                    | Sesuai          | 44,93             | Tidak Sesuai | 0,09                  | Sesuai      |
| 2   | 5,00%           | 2,08             | Sesuai       | 20,86       | Sesuai       | 546,62                   | Sesuai       | 3,30        | Sesuai | 165,84                    | Sesuai          | 32,72             | Sesuai       | 0,11                  | Sesuai      |
| 3   | 5,50%           | 2,09             | Sesuai       | 19,84       | Sesuai       | 598,65                   | Sesuai       | 4,13        | Sesuai | 145,21                    | Sesuai          | 34,31             | Sesuai       | 0,13                  | Sesuai      |
| 4   | 6,00%           | 2,10             | Sesuai       | 18,87       | Sesuai       | 627,07                   | Sesuai       | 4,37        | Sesuai | 147,07                    | Sesuai          | 31,60             | Sesuai       | 0,15                  | Sesuai      |
| 5   | 6,50%           | 2,14             | Sesuai       | 16,50       | Tidak Sesuai | 429,81                   | Tidak Sesuai | 4,43        | Sesuai | 100,71                    | Sesuai          | 34,42             | Sesuai       | 0,16                  | Sesuai      |
| KAO | 5,80%           | 2,09             | Sesuai       | 19,33       | Sesuai       | 614,54                   | Sesuai       | 4,25        | Sesuai | 146,17                    | Sesuai          | 32,94             | Sesuai       | 0,14                  | Sesuai      |

Tabel C.4.31 Rekapitulasi Hasil Pengujian Dengan Substitusi *Filler* dan HDPE

| No | Persen Campuran | Jenis Pengujian |              |             |              |                          |              |             |        |                           |                 |                   |              |                       |             |
|----|-----------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|--------------------------|--------------|-------------|--------|---------------------------|-----------------|-------------------|--------------|-----------------------|-------------|
|    |                 | Density(gr/cm3) |              | VIM (%)     |              | Stabilitas Marshall (Kg) |              | Flow(mm)    |        | Marshall Quotient (kg/mm) |                 | Cantabro Loss (%) |              | Asphalt Flow Down (%) |             |
|    |                 | Spesifikasi     | ≥ 2 (gr/cm3) | Spesifikasi | 18-25 %      | Spesifikasi              | Min. 500 kg  | Spesifikasi | 2-6 mm | Spesifikasi               | Maks. 400 kg/mm | Spesifikasi       | Maks. 35%    | Spesifikasi           | Maks. 0,3 % |
| 1  | KAO (5,8%)      | 2,59            | Sesuai       | 19,33       | Sesuai       | 614,54                   | Sesuai       | 4,25        | Sesuai | 146,17                    | Sesuai          | 32,94             | Sesuai       | 0,14                  | Sesuai      |
| 2  | 0% CT : 100% PC |                 |              |             |              |                          |              |             |        |                           |                 |                   |              |                       |             |
|    | 2%              | 2,00            | Sesuai       | 22,88       | Sesuai       | 604,92                   | Sesuai       | 3,63        | Sesuai | 168,47                    | Sesuai          | 34,03             | Sesuai       | 0,12                  | Sesuai      |
|    | 4%              | 2,11            | Sesuai       | 18,73       | Sesuai       | 778,06                   | Sesuai       | 3,83        | Sesuai | 204,64                    | Sesuai          | 34,57             | Sesuai       | 0,11                  | Sesuai      |
|    | 6%              | 2,12            | Sesuai       | 18,38       | Sesuai       | 789,47                   | Sesuai       | 4,30        | Sesuai | 188,78                    | Sesuai          | 35,52             | Tidak sesuai | 0,09                  | Sesuai      |
| 3  | 50% CT : 50% PC |                 |              |             |              |                          |              |             |        |                           |                 |                   |              |                       |             |
|    | 2%              | 2,03            | Sesuai       | 21,88       | Sesuai       | 492,92                   | Tidak sesuai | 3,43        | Sesuai | 146,66                    | Sesuai          | 30,17             | Sesuai       | 0,16                  | Sesuai      |
|    | 4%              | 2,11            | Sesuai       | 18,49       | Sesuai       | 761,95                   | Sesuai       | 3,97        | Sesuai | 193,92                    | Sesuai          | 32,67             | Sesuai       | 0,09                  | Sesuai      |
|    | 6%              | 2,12            | Sesuai       | 18,16       | Sesuai       | 789,25                   | Sesuai       | 4,67        | Sesuai | 169,60                    | Sesuai          | 33,10             | Sesuai       | 0,10                  | Sesuai      |
| 4  | 100% CT : 0% PC |                 |              |             |              |                          |              |             |        |                           |                 |                   |              |                       |             |
|    | 2%              | 2,04            | Sesuai       | 21,49       | Sesuai       | 466,96                   | Tidak sesuai | 2,47        | Sesuai | 195,54                    | Sesuai          | 19,89             | Sesuai       | 0,21                  | Sesuai      |
|    | 4%              | 2,04            | Sesuai       | 21,28       | Sesuai       | 489,45                   | Tidak sesuai | 3,03        | Sesuai | 163,73                    | Sesuai          | 21,70             | Sesuai       | 0,13                  | Sesuai      |
|    | 6%              | 2,13            | Sesuai       | 17,80       | Tidak sesuai | 581,81                   | Sesuai       | 3,57        | Sesuai | 164,88                    | Sesuai          | 22,95             | Sesuai       | 0,10                  | Sesuai      |