



## PENGARUH SUBSTITUSI PET DAN ABU BUNGA PINUS MENGGUNAKAN METODE PENCAMPURAN BASAH DAN METODE PENCAMPURAN KERING PADA CAMPURAN LASTON AC-WC TERHADAP STABILITAS

Illyyuna Diazshafa Marwati<sup>a</sup>, Nia Indria<sup>a</sup>, Lulusi<sup>\*b</sup>, Alfi Salmannur<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

<sup>b</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

<sup>\*</sup>Corresponding author, email address: [lulusi@unsyiah.ac.id](mailto:lulusi@unsyiah.ac.id)

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 19 December 2020

Accepted 17 August 2021

Online 30 September 2021

#### Keywords:

Plastic bottle waste

PET

Pine flower ash

Mixing method

Dry mixing method

### ABSTRACT

Consumption of plastic waste in Indonesia is very high disrupting environmental sustainability, plastic waste takes hundreds of years to decompose making it a problem to be addressed immediately. So, in recent times, research has been carried out to utilize plastic waste into plastic-mix asphalt technology. One of them is by modifying the asphalt mixture with plastic bottle waste the type of Polyethylene Terephthalate (PET) as an additive. In addition, this study also used additional filler in the form of pine flower ash (PFA). This study aims to determine the characteristics of the AC-WC asphalt concrete mixture through Marshall testing of the substitution of PET into 60/70 penetration asphalt and filler ABP with using wet mixing methods and dry mixing methods. This research was started by examining the physical properties of asphalt, modified asphalt, and aggregates. Furthermore, the manufacture of test specimens with variations in asphalt content was carried out to determine the optimum bitumen content (OBC) and obtained OBC values of 5.29%, 5.79%, and 6.29%. Then made a PET substitution test object of 3%, 5%, and 7% and a combination of filler PFA 6% of the total weight of the filler on each asphalt content with wet mixing method and dry mixing method through Marshall test. The results of this study indicate that the stability for both methods of mixing the best levels is found in the substitution of 7% PET and the combination of ABP filler with an asphalt content of 6.29%, 1226.12 kg for the wet mixing method and 1291.43 kg for the dry mixing method. The durability value for the wet mixing method was obtained at 90.87% and for the dry mixing method it was obtained at 91.55%, both of these durability tests had met the specifications of 90%.

©2021 Magister Teknik Sipil USK. All rights reserved

## 1. PENDAHULUAN

Limbah plastik termasuk dalam limbah yang sangat sulit terurai, penguraian limbah plastik membutuhkan waktu yang sangat lama hingga ratusan tahun lamanya. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) pada tahun 2019 mengeluarkan data mengenai limbah plastik yang dikonsumsi Indonesia diperkirakan setiap tahunnya menghasilkan 9,52 juta ton (14% total sampah) yang ada dengan estimasi plastik 2,5 – 5 ton/km. Latar belakang penelitian ini dikarenakan terus bertambahnya produksi sampah plastik di Indonesia yang dapat menjadi permasalahan yang sangat mempengaruhi dalam pencemaran lingkungan. Saat ini Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) melakukan sebuah penelitian untuk memanfaatkan limbah plastik menjadi teknologi aspal campuran plastik dan dari

pengujian tersebut menunjukkan bahwa perkerasan jalan yang telah di substitusi dengan plastik dikatakan mampu mengurangi kerusakan jalan akibat gempuran air.

Salah satu limbah plastik yang dapat digunakan yaitu limbah botol plastik dengan tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET atau PETE) sebagai aditif pada campuran Laston AC-WC. Pemanfaatan limbah botol plastik selain membantu lingkungan dalam mengurangi penumpukan plastik dan jika dicampur dengan aspal juga dapat meningkatkan karakteristik pada aspal. Prameswari (2016) menyatakan campuran beraspal yang telah di substitusi dengan PET dikatakan dapat meningkatkan nilai stabilitas dalam campuran beraspal.

Variasi bahan pengisi (*filler*) dalam campuran aspal beton juga dapat memengaruhi karakteristik aspal. Pada penelitian ini, *filler* yang akan digunakan adalah abu bunga pinus. Di daerah Aceh Tengah banyak ditanami pohon pinus, dimana banyak bunga pinus yang jatuh dan dibiarkan begitu saja tanpa adanya pemanfaatan lebih lanjut. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan memanfaatkan abu bunga pinus sebagai *filler* pada campuran laston (AC-WC). Penelitian yang dilakukan oleh Gunarto dan Candra (2019), menggunakan campuran abu bunga pinus sebanyak 6% dan didapat kandungan aspal optimum berada pada kadar aspal 6,5% dengan nilai stabilitas 1417 kg.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui karakteristik campuran Laston AC-WC terhadap pengujian Marshall dan persentase terbaik dari penggunaan PET dan *filler* abu bunga pinus (ABP) sebagai substitusi aspal penetrasi 60/70 terhadap laston lapis aus (AC-WC) dengan metode pencampuran basah dan pencampuran kering.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Lapis Aspal Beton

Menurut Saodang (2005), lapisan aspal beton (Laston) disebut juga AC (*Asphalt Concrete*) yaitu lapisan yang terdiri dari campuran agregat bergradasi menerus dan aspal keras, kemudian dicampurkan lalu dihamparkan dalam keadaan panas yang nantinya akan dipadatkan pada suhu tertentu.

Menurut Bina Marga (2020), laston terdiri dari 3 lapis yaitu laston lapis aus (AC-WC) memiliki tebal minimum 4 cm dan ukuran maksimum agregatnya 19 mm, laston lapis antara (AC-BC) memiliki tebal minimum 6 cm dan ukuran maksimum agregatnya 25,4 mm dan laston lapis fondasi (AC-Base) memiliki tebal minimum 7,5 cm dan ukuran maksimum agregatnya 37,5 mm. Ketentuan mengenai sifat-sifat dari campuran lapisan aspal beton dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

**Tabel 1.** Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston

| Sifat-Sifat Campuran                                                |       | Laston (AC) | AC-WC Mod |
|---------------------------------------------------------------------|-------|-------------|-----------|
| Jumlah tumbukan perbidang                                           |       | 75          | 75        |
| Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif     | Min.  | 0,6         | 0,6       |
|                                                                     | Maks. | 1,6         | 1,6       |
| Rongga dalam campuran (VIM) (%)                                     | Min   | 3,0         | 3,0       |
|                                                                     | Maks  | 5,0         | 5,0       |
| Rongga dalam agregat (VMA) (%)                                      | Min   | 15          | 15        |
| Rongga terisi aspal (VFA) (%)                                       | Min.  | 65          | 65        |
| Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)                                     | Min   | 800         | 1000      |
|                                                                     | Min   | 2           | 2         |
| Pelelehan (mm)                                                      | Maks  | 4           | 4         |
|                                                                     | Min   | 90          | 90        |
| Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C |       |             |           |
| Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)           | Min   | 2           | 2         |

Sumber: Bina Marga 2020

## 2.2 Agregat

Menurut Sukirman (2003), jumlah agregat dalam struktur perkerasan jalan umumnya 75%–85% dari volume campuran atau 90%–95% dari berat total campuran, dengan jumlah tersebut agregat dapat dikatakan sebagai komponen utama dari struktur perkerasan jalan.

## 2.3 Bahan Pengisi (*Filler*)

Menurut Septiani (2019), *filler* memiliki parameter butiran ukuran kecil, memiliki bentuk butiran kubikel/*round*, bergradasi terbuka, dan memiliki permukaan yang luas. *Filler* memiliki berat jenis yang lebih besar daripada aspal dan memiliki indeks plastis  $\leq 4$ .

Semen Portland merupakan hasil dari olahan batu kapur (*limestone*) dan mineral lainnya, dicampur dan melalui proses pembakaran hingga menjadi bubuk. Bubuk ini akan menghasilkan suatu reaksi kimia akibat tercampur dengan air sehingga akan mengeras (Almahbubi, 2016).

Gunarto dan Candra (2019) menyatakan kandungan yang terdapat dalam bunga pinus biasanya digunakan untuk bahan campuran vernis dan sebagai pelarut untuk mengencerkan cat minyak, kandungan ini disebut senyawa terpene.

## 2.4 Aspal Modifikasi

Menurut Prameswari (2016), aspal modifikasi adalah aspal keras yang telah dicampur dengan bahan tambah (aditif) untuk meningkatkan stabilitas dan kualitas perkerasan untuk mencegah terjadinya kerusakan jalan akibat beban muatan kendaraan. Menurut Yildirim (2007), peningkatan daya tahan yang disebabkan polimer sangat berpengaruh terhadap berkurangnya kerusakan yang terjadi pada perkerasan, seperti retak akibat suhu, *fatigue damage*, deformasi permanen dan pelepasan/pemisahan material.

## 2.5 Limbah Botol Plastik (*Polyethylene Terephthalate* / PET)

Menurut Nasution (2019), PET merupakan resin poliester yang memiliki kepekatan sekitar 1,35 - 1,38 g/cc selain itu juga memiliki karakteristik seperti mudah dibentuk, ringan, tahan lama dan kuat. PET sering digunakan dalam industri kimia dalam serat sintesis, wadah makanan dan botol/gelas minuman, aplikasi thermoforming dan resin teknik. Menurut Arianti (2005), menyatakan PET memiliki sifat tidak elastis dan thermoplastis yang artinya akan meleleh pada suhu tinggi namun mengeras pada suhu lingkungan.

## 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Bidang Transportasi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Banda Aceh. Agregat yang digunakan adalah kerikil pecah yang diproduksi oleh PT. Krueng Meuh Indrapuri, Kabupaten Aceh Besar. Menggunakan aspal keras penetrasi 60/70 Merk Shell Bitumen. Limbah botol plastik menggunakan jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) yang telah dipotong dengan ukuran  $\pm 2 \times 2 \text{ mm}^2$  untuk substitusi aspal penetrasi 60/70. *Filler* yang digunakan yaitu PCC (*Portland Cement Composite*) produksi PT. Solusi Bangun Andalas dan akan dikombinasikan dengan abu bunga pinus di mana bunga pinus yang digunakan bersumber dari daerah Takengon dan akan melalui proses pembakaran sehingga menghasilkan abu bunga pinus.

### 3.1 Teknik Pencampuran PET ke dalam Campuran Beraspal

Zoorob (2000) menyatakan terdapat dua metode dalam melakukan pencampuran plastik yang bertujuan untuk menaikkan kinerja campuran beraspal.

#### 1. Cara Basah (*Wet Process*)

Pencampuran dilakukan dengan memasukkan potongan botol plastik ke dalam aspal panas dan kemudian diaduk hingga homogen.

#### 2. Cara Kering (*Dry Process*)

Pencampuran dilakukan dengan memasukkan potongan botol plastik ke dalam agregat yang dipanaskan pada temperatur campuran, setelah itu ditambahkan aspal panas.

### 3.2 Variasi Kadar Aspal

Digunakan variasi sebanyak 5 variasi dengan masing-masing kadar variasi dibedakan 0,5% menjadi dua kadar aspal lebih kecil dari nilai kadar aspal tengah dan dua kadar aspal lainnya lebih besar dari nilai kadar aspal tengah.

### 3.3 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji

Pembuatan benda uji pada penelitian ini dilakukan dalam 3 tahap, yaitu:

1. Benda uji campuran aspal untuk menentukan perkiraan kadar aspal optimum (KAO);
2. Benda uji dengan substitusi PET dan kombinasi *filler* abu bunga pinus pada KAO dengan metode pencampuran basah dan metode pencampuran kering;
3. Benda uji untuk pengujian durabilitas.

Banyaknya benda uji untuk mengetahui sifat-sifat campuran dan penentuan KAO dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

**Tabel 2.** Benda Uji dengan Substitusi PET dan Kombinasi *Filler* Abu Bunga Pinus dan Semen *Portland* dengan Metode Pencampuran Basah

| Variasi Benda Uji                                                                                                                               | Jumlah    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Benda uji untuk penentuan Kadar Aspal Rencana (Pb)                                                                                              | 15        |
| Benda uji substitusi limbah botol plastik dan kombinasi <i>filler</i> abu bunga pinus dan semen <i>Portland</i> dengan metode pencampuran basah | 27        |
| Benda uji durabilitas dengan rendaman 30 menit dan 24 jam                                                                                       | 6         |
| <b>Total</b>                                                                                                                                    | <b>48</b> |

**Tabel 3.** Benda Uji dengan Substitusi PET dan Kombinasi *Filler* Abu Bunga Pinus dan Semen *Portland* dengan Metode Pencampuran Kering

| Uraian                                                                                                             | Jumlah    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Benda uji untuk penentuan Kadar Aspal Rencana (Pb)                                                                 | 15        |
| Benda uji substitusi limbah botol plastik (PET) dan <i>filler</i> abu bunga pinus dengan menggunakan metode kering | 27        |
| Benda uji durabilitas dengan rendaman 30 menit dan 24 jam                                                          | 6         |
| <b>Total</b>                                                                                                       | <b>48</b> |

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Sifat-Sifat Fisis Aspal

Pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal penetrasi 60/70 tanpa dan dengan PET meliputi pemeriksaan berat jenis, penetrasi, daktilitas dan titik lembek. Dari hasil pemeriksaan memperlihatkan bahwa aspal dapat digunakan karena telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2020. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

**Tabel 4.** Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Aspal Pen. 60/70 (1/2)

| Pengujian   | Standar       | Syarat   | Satuan             | Hasil |
|-------------|---------------|----------|--------------------|-------|
| Berat jenis | SNI 2441:2011 | $\geq 1$ | gr/cm <sup>3</sup> | 1,031 |
| Penetrasi   | SNI 2456:2011 | 60-70    | (0,1 mm)           | 65,2  |

**Tabel 4.** Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Aspal Pen. 60/70 (2/2)

| Pengujian    | Standar       | Syarat     | Satuan | Hasil |
|--------------|---------------|------------|--------|-------|
| Daktilitas   | SNI 2432:2011 | $\geq 100$ | Cm     | 124   |
| Titik lembek | SNI 2434:2011 | $\geq 48$  | °C     | 48    |

**Tabel 5.** Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Aspal Pen. 60/70 dengan Substitusi PET

| Sifat-sifat Fisis Aspal | Satuan             | Variasi Persentase Kombinasi PET |       |       | Persyaratan |
|-------------------------|--------------------|----------------------------------|-------|-------|-------------|
|                         |                    | 3%                               | 5%    | 7%    |             |
| Berat jenis             | gr/cm <sup>3</sup> | 1,038                            | 1,045 | 1,053 | Min. 1,0    |
| Penetrasi               | (0,1 mm)           | 57                               | 53    | 51    | 50-70       |
| Titik lembek            | °C                 | 48                               | 48,5  | 49,25 | Min.48      |
| Daktilitas              | cm                 | 126                              | 121   | 117   | Min. 50     |

#### 4.2 Penentuan Kadar Aspal Rencana

Gradasi perencanaan agregat yang menghasilkan nilai kandungan untuk masing-masing fraksi sebesar: CA = 39%, FA = 54,5%, dan *Filler* = 6,5% dan konstanta yang diambil adalah 0,5 maka kadar aspal tengah/ideal sebesar:

$$\begin{aligned}
 P_b &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + \text{Konstanta} \\
 &= 0,035 (39) + 0,045 (54,5) + 0,18 (6,5) + 0,5 \\
 &= 1,37 + 2,45 + 1,17 + 0,5 \\
 &= 5,5\%
 \end{aligned}$$

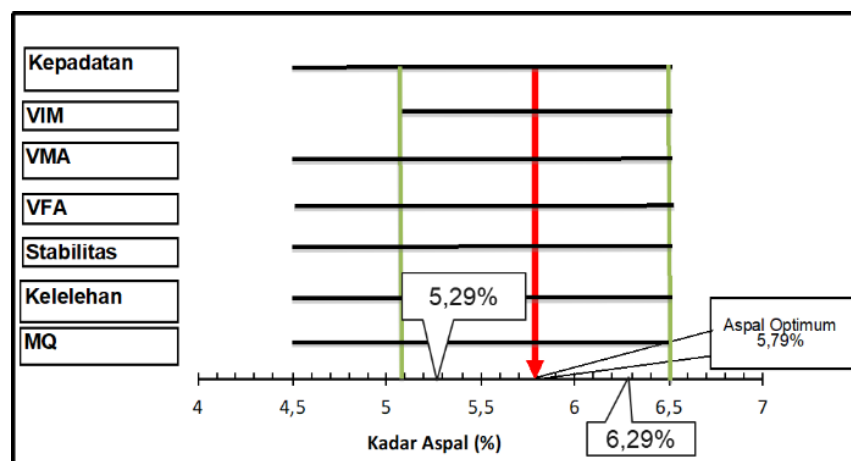
#### 4.3 Hasil Pengujian Marshall untuk Penentuan KAO

Dari analisis hasil pengujian Marshall dengan variasi kadar aspal sebesar 4,5%; 5%; 5,5%; 6% dan 6,5%. Dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Hasil Pengujian Marshall untuk Penentuan KAO

| Karakteristik Campuran        | Kadar Aspal (%) |         |         |         |         | Spesifikasi BM 2020 |
|-------------------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------------------|
|                               | 4,5             | 5       | 5,5     | 6       | 6,5     |                     |
| Kepadatan (t/m <sup>3</sup> ) | 2,45            | 2,42    | 2,44    | 2,44    | 2,42    | -                   |
| VIM (%)                       | 5,54            | 5,74    | 4,20    | 3,58    | 3,62    | 3-5                 |
| VMA (%)                       | 16,22           | 17,48   | 17,23   | 17,78   | 18,87   | Min. 15             |
| VFA (%)                       | 65,83           | 67,19   | 75,81   | 79,95   | 80,87   | Min. 65             |
| Stabilitas (kg)               | 1080,57         | 1197,23 | 1199,66 | 1137,38 | 1032,30 | Min. 800            |
| Flow (mm)                     | 3,60            | 3,57    | 3,47    | 3,63    | 3,67    | 2-4                 |
| MQ(kg/mm)                     | 303,84          | 341,31  | 347,91  | 316,37  | 286,15  | Min. 250            |

Diperoleh KAO sebesar 5,79% yang memenuhi semua parameter Marshall. Nilai KAO ini divariasikan menjadi 3 (tiga) kadar aspal dengan *range* nilai KAO  $\pm 0,5$  % menjadi 5,29%; 5,79% dan 6,29%. Grafik penentuan KAO dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 1.** Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

#### 4.4 Hasil Pengujian Marshall dengan Kombinasi *Filler* ABP dan PC terhadap Substitusi PET

Hasil rekapitulasi pengujian Marshall dengan nilai KAO untuk metode pencampuran basah Tabel 7 sampai dengan Tabel 9 dan metode pencampuran kering dapat dilihat pada Tabel 10 sampai Tabel 12.

**Tabel 7.** Hasil Rekapitulasi Pengujian Marshall pada Substitusi PET 3% dengan Kombinasi *Filler* ABP dan PC dengan Metode Pencampuran Basah

| Karakteristik Campuran        | Kadar Aspal (%) |        |         | Spesifikasi BM (2020) |
|-------------------------------|-----------------|--------|---------|-----------------------|
|                               | 5.29%           | 5.79%  | 6.29%   |                       |
| Kepadatan (t/m <sup>3</sup> ) | 2.39            | 2.38   | 2.38    | -                     |
| VIM (%)                       | 6.31            | 5.83   | 5.18    | 3-5                   |
| VMA (%)                       | 18.57           | 19.21  | 19.71   | Min. 15               |
| VFA (%)                       | 66.00           | 69.64  | 73.69   | Min. 65               |
| Stabilitas (kg)               | 985.85          | 998,68 | 1074.22 | Min. 1000             |
| Flow (mm)                     | 4.67            | 4.60   | 4.30    | 2-4                   |
| MQ (kg/mm)                    | 217.44          | 220.67 | 256.07  | Min. 250              |

**Tabel 8.** Hasil Rekapitulasi Pengujian Marshall pada Substitusi PET 5% dengan Kombinasi *Filler* ABP dan PC dengan Metode Pencampuran Basah

| Karakteristik Campuran        | Kadar Aspal (%) |         |         | Spesifikasi BM (2020) |
|-------------------------------|-----------------|---------|---------|-----------------------|
|                               | 5.29%           | 5.79%   | 6.29%   |                       |
| Kepadatan (t/m <sup>3</sup> ) | 2.40            | 2.39    | 2.39    | -                     |
| VIM (%)                       | 6.05            | 5.47    | 4.90    | 3-5                   |
| VMA (%)                       | 18.34           | 18.90   | 19.47   | Min. 15               |
| VFA (%)                       | 67.07           | 71.05   | 74.84   | Min. 65               |
| Stabilitas (kg)               | 1013.93         | 1033.51 | 1108.86 | Min. 1000             |
| Flow (mm)                     | 3.93            | 3.83    | 3.77    | 2-4                   |
| MQ (kg/mm)                    | 271.13          | 270.04  | 298.17  | Min. 250              |

**Tabel 9.** Hasil Rekapitulasi Pengujian Marshall pada Substitusi PET 7% dengan Kombinasi *Filler* ABP dan PC dengan Metode Pencampuran Basah

| Karakteristik Campuran        | Kadar Aspal (%) |         |         | Spesifikasi BM (2020) |
|-------------------------------|-----------------|---------|---------|-----------------------|
|                               | 5.29%           | 5.79%   | 6.29%   |                       |
| Kepadatan (t/m <sup>3</sup> ) | 2.40            | 2.40    | 2.39    | -                     |
| VIM (%)                       | 5.88            | 5.33    | 4.68    | 3-5                   |
| VMA (%)                       | 18.20           | 18.79   | 19.28   | Min. 15               |
| VFA (%)                       | 67.69           | 71.60   | 75.74   | Min. 65               |
| Stabilitas (kg)               | 1069.61         | 1108.09 | 1226.12 | Min. 1000             |
| Flow (mm)                     | 3.83            | 3.77    | 3.10    | 2-4                   |
| MQ (kg/mm)                    | 293.26          | 308.92  | 436.32  | Min. 250              |

**Tabel 10.** Hasil Rekapitulasi Pengujian Marshall pada Substitusi PET 3% dengan Kombinasi *Filler* ABP dan PC dengan Metode Pencampuran Kering

| <b>Karakteristik<br/>Campuran</b> | <b>Kadar Aspal (%)</b> |             |             | <b>Spesifikasi BM 2020</b> |
|-----------------------------------|------------------------|-------------|-------------|----------------------------|
|                                   | <b>5,29</b>            | <b>5,79</b> | <b>6,29</b> |                            |
| Kepadatan (t/m <sup>3</sup> )     | 2,40                   | 2,38        | 2,37        | -                          |
| VIM (%)                           | 5,89                   | 5,90        | 5,46        | 3-5                        |
| VMA (%)                           | 18,20                  | 19,27       | 19,94       | Min. 15                    |
| VFA (%)                           | 67,65                  | 69,41       | 72,62       | Min. 65                    |
| Stabilitas (kg)                   | 1054,11                | 1048,40     | 1095,71     | Min. 1000                  |
| <i>Flow</i> (mm)                  | 5,57                   | 5,13        | 4,60        | 2-4                        |
| MQ (kg/mm)                        | 191,10                 | 207,11      | 246,22      | Min. 250                   |

**Tabel 11.** Hasil Rekapitulasi Pengujian Marshall pada Substitusi PET 5% dengan Kombinasi *Filler* ABP dan PC dengan Metode Pencampuran Kering

| <b>Karakteristik<br/>Campuran</b> | <b>Kadar Aspal (%)</b> |             |             | <b>Spesifikasi BM 2020</b> |
|-----------------------------------|------------------------|-------------|-------------|----------------------------|
|                                   | <b>5,29</b>            | <b>5,79</b> | <b>6,29</b> |                            |
| Kepadatan (t/m <sup>3</sup> )     | 2,43                   | 2,42        | 2,41        | -                          |
| VIM (%)                           | 4,80                   | 4,51        | 3,98        | 3-5                        |
| VMA (%)                           | 17,25                  | 18,08       | 18,69       | Min. 15                    |
| VFA (%)                           | 72,26                  | 75,05       | 78,77       | Min. 65                    |
| Stabilitas (kg)                   | 1031,65                | 1052,53     | 1130,38     | Min. 1000                  |
| <i>Flow</i> (mm)                  | 5,27                   | 4,77        | 4,20        | 2-4                        |
| MQ (kg/mm)                        | 199,41                 | 235,42      | 287,27      | Min. 250                   |

**Tabel 12.** Hasil Rekapitulasi Pengujian Marshall pada Substitusi PET 7% dengan Kombinasi *Filler* ABP dan PC dengan Metode Pencampuran Kering

| <b>Karakteristik<br/>Campuran</b> | <b>Kadar Aspal (%)</b> |             |             | <b>Spesifikasi BM 2020</b> |
|-----------------------------------|------------------------|-------------|-------------|----------------------------|
|                                   | <b>5,29</b>            | <b>5,79</b> | <b>6,29</b> |                            |
| Kepadatan (t/m <sup>3</sup> )     | 2,44                   | 2,43        | 2,42        | -                          |
| VIM (%)                           | 4,38                   | 4,00        | 3,50        | 3-5                        |
| VMA (%)                           | 16,89                  | 17,64       | 18,28       | Min. 15                    |
| VFA (%)                           | 74,11                  | 77,38       | 80,86       | Min. 65                    |
| Stabilitas (kg)                   | 1116,95                | 1153,08     | 1291,43     | Min. 1000                  |
| <i>Flow</i> (mm)                  | 3,97                   | 3,67        | 3,37        | 2-4                        |
| MQ (kg/mm)                        | 299,38                 | 321,43      | 398,18      | Min. 250                   |



Berdasarkan hasil diatas, untuk metode pencampuran basah kombinasi *filler* abu bunga pinus dan substitusi PET diperoleh kombinasi terbaik pada persentase 7% dengan 6,29% kadar aspal dan nilai stabilitas 1226,12 kg. Sedangkan pada metode pencampuran kering kombinasi abu bunga pinus sebagai *filler* dan substitusi PET diperoleh kombinasi terbaik juga pada persentase 7% dengan kadar aspal 6,29% dan nilai stabilitas 1291,43 kg. Kedua nilai stabilitas tersebut telah memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2020 dengan syarat  $\geq 1000$  kg.

#### 4.5 Pengujian Durabilitas

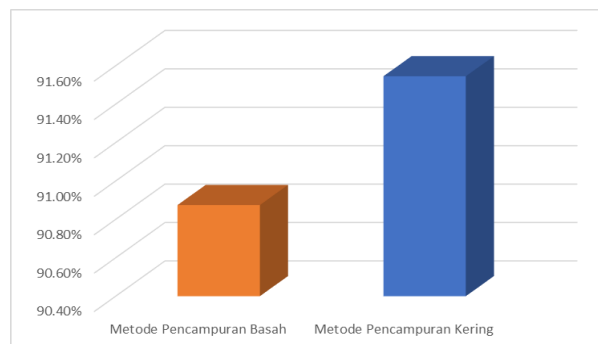
Dari hasil pengujian Marshall dengan kombinasi *filler* abu bunga pinus dan semen *portland* terhadap substitusi variasi kadar PET dengan metode pencampuran basah dan metode pencampuran kering, selanjutnya dilakukan pengujian durabilitas antara stabilitas rendaman 30 menit dengan stabilitas rendaman 24 jam pada suhu 60°C. Untuk rekapitulasi hasil pengujian dan perhitungan nilai durabilitas untuk kadar aspal efektif dengan substitusi PET dapat dilihat pada Tabel 13.

**Tabel 13.** Hasil Rekapitulasi Pengujian Durabilitas dengan Substitusi PET dan Kombinasi *Filler* Abu Bunga Pinus dan Semen *Portland* pada Metode Pencampuran Basah dan Metode Pencampuran Kering

| Variasi Benda Uji                                                                                                                                                 | Rendaman 30 Menit | Rendaman 24 Jam | Hasil   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------|---------|
| (a)                                                                                                                                                               | (b)               | (c)             | (d)=c/b |
| Benda uji substitusi limbah botol plastik (PET) dan kombinasi <i>filler</i> abu bunga pinus dan semen <i>Portland</i> dengan menggunakan metode pencampuran basah | 1159.96           | 1054.11         | 90.87%  |
| Benda uji dengan substitusi limbah botol plastik (PET) dengan <i>filler</i> abu bunga pinus dengan metode pencampuran kering                                      | 1163,00           | 1064,67         | 91,55%  |

#### 4.6 Pembahasan

Dari hasil pengujian nilai durabilitas dari campuran laston AC-WC dengan substitusi PET dan *filler* abu bunga pinus pada metode pencampuran basah yaitu sebesar 90,87% dan pada metode pencampuran kering yaitu sebesar 91,55%. Dapat dilihat bahwa kedua nilai durabilitas tersebut telah memenuhi spesifikasi dengan syarat  $\geq 90\%$ . Dimana nilai tersebut menyatakan bahwa campuran beraspal dapat dikatakan awet. Nilai durabilitas tertinggi didapat pada metode pencampuran kering. Nilai durabilitas untuk campuran AC-WC dengan metode pencampuran basah dan metode pencampuran kering dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Hasil Pengujian Durabilitas Laston AC-WC dengan Substitusi PET dan *Filler* Abu Bunga Pinus Dengan Metode Pencampuran Basah dan Metode Pencampuran Kering



## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah: a) pengaruh yang terjadi dari substitusi PET dan *filler* abu bunga pinus menunjukkan bahwa nilai stabilitas terbaik untuk metode pencampuran basah dan pencampuran kering, keduanya terdapat pada persentase PET 7% dengan kadar aspal 6,29%. Dari kedua metode ini, didapatkan nilai stabilitas tertinggi pada metode pencampuran kering dengan nilai sebesar 1291,43 kg, sedangkan dengan metode basah didapatkan nilai sebesar 1229,12 kg. Namun, kedua metode tersebut telah memenuhi spesifikasi yaitu  $\geq 1000$  kg, dan b) pada nilai durabilitas juga didapatkan nilai tertinggi pada metode pencampuran kering dengan nilai sebesar 91,55%, sedangkan untuk metode pencampuran basah didapatkan nilai sebesar 90,87%. Kedua nilai tersebut menunjukkan bahwa campuran beraspal memiliki nilai keawetan dengan syarat  $\geq 90\%$ .

Adapun saran yang diambil berdasarkan hasil diatas adalah: a) untuk penelitian selanjutnya dengan subjek yang sama disarankan untuk mengambil variasi PET > 7% dengan gradasi rencana campuran berbeda atau dapat mengganti bahan tambah dengan *filler* yang berbeda; b) pada penelitian selanjutnya disarankan untuk membuat beberapa variasi persentase *filler* abu bunga pinus kurang dari 6% atau lebih dari 6% untuk dapat mengetahui kinerjanya terhadap campuran laston AC-WC atau dapat menggunakan bahan substitusi lainnya seperti LDPE, PP, maupun getah pinus, dan c) pada penelitian ini struktur kimia abu bunga pinus tidak diperiksa, untuk penelitian selanjutnya diharapkan untuk memeriksa struktur kimia abu bunga pinus.

## DAFTAR PUSTAKA

- Almahbubi, M. 2016. *Analisis campuran laston lapis aus (AC-WC) dengan penambahan Polyethylene Terephthalate (PET) dan abu sekam padi*. Banda Aceh: Tugas Akhir. Fakultas Teknik, Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala.
- Arianti, Nasrul, dan Balaka, R. 2015. *Analisis pengaruh penggunaan Polyethylene Terephthalate (PET) terhadap karakteristik marshall sebagai bahan tambah pada campuran laston AC-BC*. Kendari. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin. No. 1 : 25.
- Bukhari, dkk. 2007. *Rekayasa bahan dan tebal perkerasan*. Banda Aceh: Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala.
- Direktorat Jendral Bina Marga. 2020. *Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Edisi 2018 untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan (Revisi 2)*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Gunarto, A. dan Candra, A. I. 2019. *Penelitian campuran aspal beton dengan menggunakan filler bunga pinus*. UKaRsT. 3(1). 37.
- Nasution, M. F. N. 2019. *Pengaruh penambahan plastik PET (Polyethylene Terephthalate) terhadap karakteristik campuran laston ac-wc di laboratorium*. Medan : Bidang Studi Teknik Transportasi Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- Prameswari, P. A. Pratama, P. dan Herianto, D. 2016. *Pengaruh pemanfaatan PET pada laston lapis pengikat terhadap parameter Marshall*. Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain (JRSDD). 4(2). 294–305.
- Saodang, H. 2005. *Konstruksi jalan raya*. Bandung: Penerbit Nova.
- Septiani, R. 2019. *Substitusi styrofoam dan abu serbuk kayu sebagai material campuran laston lapis aus dengan metode pencampuran basah*. Banda Aceh: Tugas Akhir. Fakultas Teknik, Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal campuran panas*. Bandung: Penerbit Granit.
- Tenriajeng, A. T. 1999. *Rekayasa jalan raya-2*. Jakarta: Penerbit Gunadarma.
- Yildirim, Y. 2007. Polymer modified asphalt binders. *J. Construction and Building Materials*, 21(1), pp.66-72.
- Zoorob dan Suparma, L. B. 2000. Laboratory design and investigation of proportion of bituminous composite waste recycled plastic aggregate replacement. *CIB Symposium Construction, and Environment Theory Into Practice*. Sao Paulo, Brazil.