

## KARAKTERISTIK CAMPURAN BERASPAL (HRS-WC) DENGAN BAHAN TAMBAHAN SERBUK LIMBAH UPVC (ADDITIVE)

Aulia Muttaqin<sup>1\*</sup>, Isfanari<sup>1</sup>, Titik Wahyuningsih<sup>1</sup>, Anwar Efendy<sup>1</sup>, Haerul Anam<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Sipil FT Universitas Muhammadiyah Mataram

\*olik\_master@yahoo.com

**Abstrak:** Pertumbuhan jumlah kendaraan berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS) semakin meningkat dalam kurun waktu satu tahun yaitu 10% atau sekitar 10 juta kendaraan dari tahun sebelumnya. Pertumbuhan jumlah kendaraan merupakan faktor utama kerusakan pada jalan karena semakin meningkatnya jumlah kendaraan maka beban yang diterima oleh jalan akan melebihi beban rencana. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sifat-sifat Marshall dari penambahan serbuk limbah UPVC terhadap campuran beraspal HRS-WC. Penelitian ini memanfaatkan serbuk limbah UPVC untuk dijadikan bahan tambah (aditif) dalam campuran laston dengan menggunakan aspal penetrasi 60/70. Penelitian ini menggunakan variasi kadar aspal 6%, 6.5%, 7%, 7.5% dan 8% dengan variasi serbuk limbah UPVC 2%, 5% dan 10% dari berat aspal. Hasil penelitian menunjukkan stabilitas, flow, VMA, VFA dapat memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga 2010 namun pada VIM tidak dapat memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga 2010 dikarenakan pada setiap penambahan campuran serbuk limbah UPVC 2%, 5% dan 10% VIM mengalami penurunan sampai dibawah campuran normal sehingga penambahan serbuk limbah UPVC tidak dapat digunakan sebagai bahan tambah terhadap campuran beraspal HRS-WC.

**Kata kunci:** Kendaraan, Limbah UPVC, Marshall Test, HRS-WC.

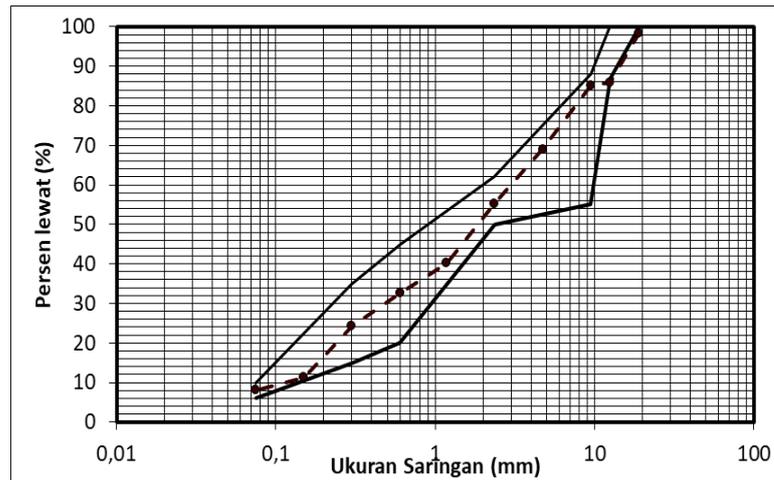
### I. PENDAHULUAN

Meningkatnya beban lalu lintas dan iklim tropis di Indonesia memberikan sumbangan kerusakan yang sangat cepat pada perkerasan jalan di Indonesia<sup>[1]</sup>. Seiring perkembangan dan pertumbuhan penduduk yang cukup signifikan di Indonesia mengakibatkan peningkatan mobilitas penduduk, sehingga banyak muncul jenis kendaraan-kendaraan berat di jalan raya. Jalan merupakan salah satu prasarana terpenting transportasi darat, yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap jalan yang diperuntukan bagi lalu lintas. Konstruksi jalan yang dibangun di Indonesia dominan menggunakan perkerasan dengan konstruksi aspal beton<sup>[2]</sup>. Kebutuhan aspal nasional Indonesia sekitar 1,2 juta ton pertahun. Dari kebutuhan ini, baru baru 0,6 juta ton saja yang dapat dipenuhi melalui impor<sup>[3]</sup>. Aspal beton sebagai bahan untuk konstruksi jalan sudah lama dikenal dan digunakan secara luas dalam pembuatan jalan. Aspal beton mempunyai beberapa kelebihan dibanding dengan bahan-bahan lain yakni, kemampuannya dalam mendukung beban kendaraan berat yang tinggi dan mempunyai ketahanan yang baik terhadap cuaca. Aspal beton atau Asphaltic Concrete adalah campuran dari agregat bergradasi menerus dengan bahan bitumen. Kekuatan utama aspal beton ada pada keadaan butir agregat yang saling mengunci dan sedikit filler sebagai penutup rongga. Penelitian ini akan berfokus pada pemanfaatan penggunaan serbuk limbah UPVC (Unplasticized Poly Vinyl Chloride) yang diharapkan dapat menghasilkan perpaduan yang baik antara agregat kasar, agregat halus, aspal dan filler yang nantinya akan diperoleh lapisan permukaan yang lentur dan dapat mendukung beban lalu lintas dengan baik dan nyaman tanpa mengalami deformasi atau kerusakan yang berarti dalam jangka waktu tertentu.

### II. METODOLOGI

Serbuk limbah UPVC yang digunakan bersumber dari CV. Teknologi Recosindo Perkasa Kota Mataram tepatnya di Jl. Perternakan 63 Selagalas, Mataram. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Balai Pengujian Material dan Konstruksi Dinas Pekerjaan Umum (PU) Provinsi Nusa Tenggara Barat.

Pada penelitian ini agregat yang digunakan terdiri dari agregat kasar (tertahan saringan no. 8), agregat halus (lolos saringan no. 8, tertahan saringan no. 200) dan filler (lolos saringan no. 200) [4]. Ketiga fraksi agregat tersebut diproporsikan sesuai dengan spesifikasi campuran agregat aspal beton (HRS-WC). Cara pencampuran agregat yang digunakan dalam penelitian ini adalah cara proporsional, dengan cara ini gradasi agregat gabungan direncanakan sesuai dengan gradasi campuran untuk (HRS-WC). Metode memproporsikan agregat yang dipakai adalah tanpa blending, tapi diproporsikan berdasarkan titik tengah spesifikasi agregat campuran [5]. Pada penelitian ini gradasi campuran agregat yang akan digunakan, direncanakan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Spesifikasi Gradasi Agregat

### Penentuan Kadar Aspal Awal dan KAO

Penentuan kadar aspal awal digunakan sebagai acuan untuk menentukan variasi kadar aspal, sehingga dapat ditentukan kadar aspal optimumnya (KAO) dengan menggunakan Persamaan

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{konstanta} \quad (1)$$

Penentuan KAO ini dilakukan dengan menggunakan metode bar-chart, dimana dibuat bar chart yang menunjukkan rentang kadar aspal yang memenuhi setiap karakteristik Marshall sesuai spesifikasi. Kadar aspal optimum ditentukan pada kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi karakteristik Marshall [9].

### Pengujian Stabilitas Marshall Sisa

Stabilitas adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi perubahan bentuk aspal. Stabilitas marshall sisa adalah persentase perbandingan antara stabilitas rendaman selama 24 jam (60° C) dengan stabilitas rendaman selama 30-40 menit (60 °C) [10]. Perhitungan Stabilitas Marshall Sisa dapat dilihat pada Persamaan 2 berikut:

$$\text{Stabilitas sisa} = \frac{\text{stabilitas}_{24 \text{ jam}}(60^\circ)}{\text{stabilitas}_{30 \text{ mnt}}(60^\circ)} \times 100\% \quad (2)$$

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan agregat meliputi analisa saringan, berat jenis dan penyerapan, angularitas, kadar lumpur, Sand Equivalent, keausan agregat, keawetan dan kelekatan agregat terhadap aspal. Agregat yang digunakan adalah agregat kasar (Coarse agregat dan medium agregat) dan

agregat halus diambil dari PT. Putra Lombok. Sedangkan pemeriksaan aspal terdiri dari pengujian penetrasi, titik nyala, titik leleh, berat jenis, daktilitas, dan kehilangan berat aspal.

#### **Pemeriksaan Agregat Kasar**

Berikut hasil pemeriksaan agregat kasar yang terdiri dari berat jenis dan penyerapan, angularitas, kadar lumpur, soundness test, keausan agregat dan kelekatan agregat terhadap aspal dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

| Jenis Pengujian              | Hasil |      |          |            | Spek.       |
|------------------------------|-------|------|----------|------------|-------------|
|                              | Bulk  | SSD  | Apparent | Penyerapan |             |
| Berat Jenis & Penyerapan     | 2.532 | 2,57 | 2,635    | 1,66%      | Maks 3%     |
| Angularitas                  |       |      | 99,99%   |            | $\geq 95\%$ |
| Kadar Lumpur                 |       |      | 0,67%    |            | $\leq 1\%$  |
| <i>Soundness Test</i>        |       |      | 4,38%    |            | $\leq 12\%$ |
| Keausan Agregat              |       |      | 30,21%   |            | Maks 40%    |
| Kelekatan Agregat thd. Aspal |       |      | 97,50%   |            | Min 95%     |

#### **Pemeriksaan Agregat Halus**

Berikut hasil pemeriksaan agregat halus yang terdiri dari berat jenis dan penyerapan, angularitas, kadar lumpur, sand equivalent dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

| Jenis Pengujian          | Hasil |      |          |            | Spek.       |
|--------------------------|-------|------|----------|------------|-------------|
|                          | Bulk  | SSD  | Apparent | Penyerapan |             |
| Berat Jenis & Penyerapan | 2,4   | 2,45 | 2,522    | 2,01%      | Maks 3%     |
| Angularitas              |       |      | 46,12%   |            | Min 45%     |
| Kadar Lumpur             |       |      | 0,90%    |            | $\leq 1\%$  |
| <i>Sand Equivalent</i>   |       |      | 91575%   |            | $\geq 50\%$ |

### Pemeriksaan Aspal

Berikut hasil pemeriksaan aspal yang terdiri dari pengujian penetrasi, titik nyala, titik lembek, berat jenis, daktilitas, dan kehilangan berat aspal dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini: Berdasarkan Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3 diatas dapat kita simpulkan bahwa hasil pemeriksaan agregat kasar, agregat halus dan aspal seluruhnya memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010. Maka dari itu dengan hasil tersebut, penelitian ini dapat dilanjutkan ke proses berikutnya yaitu pengujian karakteristik campuran aspal beton dengan campuran HRS-WC menggunakan uji Marshall.

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Aspal

| Pengujian              | Hasil  | Spek.       |
|------------------------|--------|-------------|
| Penetrasi              | 61     | 60 – 79     |
| Titik Nyala            | 320°C  | ≥ 200°C     |
| Titik Lembek           | 51°C   | 48-58°C     |
| Berat Jenis            | 1,039  | Min. 1,0    |
| Daktilitas             | 130 cm | Min. 100 cm |
| Kehilangan Berat Aspal | 0,04%  | Maks. 0,8 % |

### Penentuan Kadar Aspal

Setelah proporsi masing-masing agregat diketahui, maka dilakukan perhitungan kadar aspal awal yang nantinya digunakan sebagai acuan dalam menentukan variasi kadar aspal. Adapun perhitungannya sesuai dengan Persamaan 1 sebagai berikut:

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{konstanta} \quad (3)$$

Konstanta antara 0,5 – 1 untuk Lataston, disini diambil 0,7 maka :

$$P_b = 0,035 (43.08) + 0,045 (47.24) + 0,18 (8.07) + 2,5 = 7.56\% \approx 7.5\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka diketahui kadar aspal awal yaitu 7,5%. Sedangkan untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum, maka kadar aspal divariasi sebagai berikut : 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, 8%.

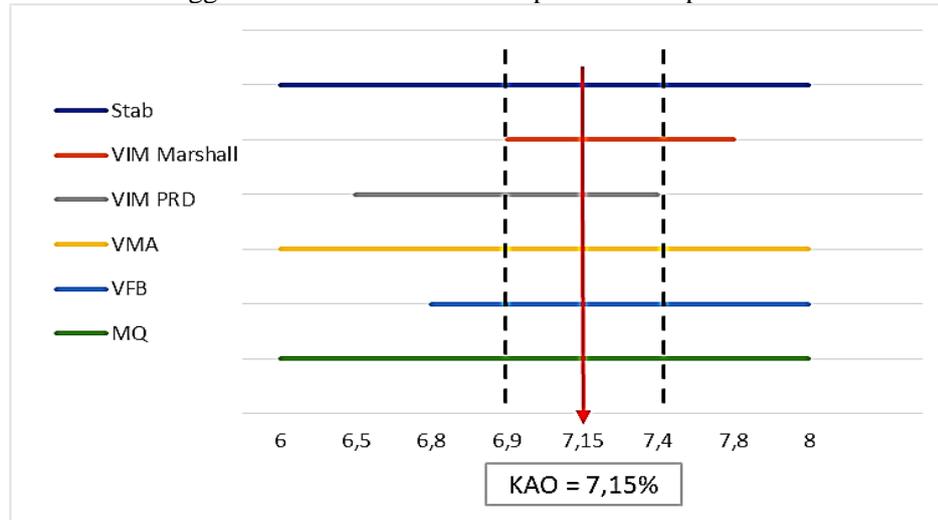
### Penentuan Kadar Aspal Optimum Lataston HRS-WC

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dikaji, dibuat ringkasan pembahasan hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 4 dibawah ini:

Tabel 4. Hasil Pengujian Karakteristik Campuran HRS-WC

| Binder Content (%)        | 6%    | 6.5%  | 7%    | 7.5%  | 8%    | Spek.     |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| Unit Weight               | 2.251 | 2.289 | 2.316 | 2.328 | 2.327 |           |
| Stability (kg)            | 1056  | 1116  | 1209  | 1247  | 1263  | min 800   |
| Flow (mm)                 | 2.95  | 3.15  | 3.25  | 3.35  | 3.45  | min 3.0   |
| Marshall Quotient (kg/mm) | 358   | 354   | 372   | 372   | 366   | min 250   |
| Air Voids (%)             | 9.48  | 7.26  | 5.46  | 4.29  | 3.63  | 4.0 - 6.0 |
| VIM PRD (%)               |       | 5.05  | 3.50  | 2.83  |       | min 3.0   |
| VMA (%)                   | 21.34 | 20.43 | 19.91 | 19.94 | 20.39 | min 18    |
| VFB (%)                   | 55.58 | 64.45 | 72.56 | 78.47 | 82.21 | min 68    |

Berdasarkan Tabel 4 diatas diketahui hasil dari karakteristik Marshall yang terdiri dari stabilitas, flow, MQ, VIM, VMA dan VFB sudah memenuhi spesifikasi Bina Marga. Kemudian menentukan KAO menggunakan metode barchart seperti terlihat pada Gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. Grafik Barchart Penentuan KAO

Berdasarkan Gambar 2 diatas diketahui kadar aspal optimum campuran aspal beton yaitu 7,15%. Selanjutnya yaitu perhitungan nilai stabilitas sisa menggunakan Persamaan 2.

#### Penentuan Nilai Stabilitas Marshall Sisa Campuran HRS-WC Berdasarkan KAO

Berikut adalah rangkuman dari karakteristik campuran pada kadar aspal optimum yang ditampilkan pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5. Hasil Pengujian Karakteristik Marshall

| Karakteristik Marshall              | Hasil     | Spek. Bina Marga |
|-------------------------------------|-----------|------------------|
| Stabilitas (ketahanan)              | 1209 kg   | Min. 800 kg      |
| Flow                                | 3.25 mm   | Min. 3 mm        |
| Marshall Quotient (stabilitas/flow) | 375 kg/mm | Min. 250 kg/mm   |
| VIM (rongga udara dalam campuran)   | 5.46 %    | 4,0 – 6,0%       |
| VMA (rongga antar butir agregat)    | 19.91 %   | Min. 18%         |
| VFB (rongga terisi aspal)           | 72.56 %   | Min. 68%         |

Hasil penelitian menunjukkan nilai stabilitas Marshall dengan rendaman 24 jam (60°C) adalah sebesar 782,6 kg. Stabilitas marshall sisa adalah persentase perbandingan antara stabilitas rendaman selama 24 jam (60°C) dengan stabilitas rendaman selama 30-40 menit (60°C). Adapun perhitungannya sesuai dengan Persamaan 2 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{IRS} &= \frac{MSI}{MSS} \times 100 & (4) \\
 &= \frac{\text{stabilitas}_{24 \text{ jam}(60^\circ)}}{\text{stabilitas}_{30 \text{ mnt}(60^\circ)}} \times 100 \\
 &= \frac{782,6 \text{ kg}}{857,8 \text{ kg}} \times 100\% \\
 &= 91,233\%
 \end{aligned}$$

Jadi nilai stabilitas marshall sisa untuk campuran HRS-WC pada kadar aspal optimum adalah sebesar 91.233%. Nilai ini telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan Departemen Pekerjaan Umum (DPU), yaitu standar minimum nilai stabilitas marshall sisa sebesar 90%.

### **Karakteristik Campuran HRS-WC dengan Plastik Bekas sebagai Pengganti Sebagian Agregat**

Berikut adalah nilai karakteristik campuran HRS-WC dengan plastik bekas sebagai pengganti sebagian agregat dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini:

Tabel 6. Nilai Karakteristik Campuran HRS-WC dengan Plastik Bekas sebagai Pengganti Sebagian Agregat

| Karakteristik Campuran  | Kadar Plastik (%) |        |        |        | Spek.     |
|-------------------------|-------------------|--------|--------|--------|-----------|
|                         | 0%                | 2%     | 5%     | 10%    |           |
| Bj (gr/m <sup>3</sup> ) | 2.334             | 2.221  | 2.119  | 1.956  | -         |
| VIM (%)                 | 4.755             | 3.042  | 2.500  | 0.319  | 4.0 - 6.0 |
| VFA(%)                  | 75.897            | 87.312 | 90.938 | 98.947 | min 68    |
| VMA(%)                  | 19.726            | 23.975 | 27.591 | 30.241 | min 18    |
| Stabilitas (kg)         | 1334              | 1044   | 1786   | 1675   | min 800   |
| Flow(mm)                | 3.77              | 3.13   | 3.58   | 3.18   | min 3.0   |

Berdasarkan Tabel 6 diatas dapat diketahui: Nilai stabilitas campuran meningkat seiring dengan bertambahnya kadar plastik. Namun, pada penambahan plastik dibawah 5%, nilai stabilitas belum mencapai nilai minimum yang disyaratkan untuk campuran Lataston HRS-WC yaitu 800 kg. Ini disebabkan karena plastik bekas (LDPE) adalah jenis material yang tidak menyerap aspal dan memiliki bidang permukaan halus sehingga menyebabkan berkurangnya sifat saling kunci (interlock) antar agregat. Dengan meningkatnya kadar plastik yang ditambahkan, memungkinkan terjadinya sifat saling kunci dan pelekatan antara plastik dengan plastik lainnya yang dalam hal ini dapat meningkatkan nilai stabilitas atau kekuatan campuran beraspal. Kemudian peningkatan waktu kelelahan plastis sejalan dengan peningkatan kadar plastik pada campuran. Nilai Flow yang diperoleh jauh lebih besar dari spesifikasi minimum. Ini disebabkan karena material plastik memiliki tekstur yang elastis, sehingga lebih rentan terhadap deformasi dan pada saat diberikan beban akan lebih mampu mengikuti perubahan bentuk akibat pembebanan. Untuk nilai MQ menunjukkan bahwa nilai Marshall Quotient meningkat sampai pada campuran dengan kadar plastik 5%, samapai pada kadar plastik 10%, sampai namun masih dibawah nilai minimum MQ yang disyaratkan untuk campuran HRS-WC yaitu 250 kg/mm. Ini disebabkan karena nilai flow yang sangat besar. Nilai Marshall Quotient merupakan perbandingan antara nilai stabilitas dan flow (kelelahan plastis). Nilai VIM menurun seiring bertambahnya kadar plastik pada campuran, namun nilai-nilai ini jauh di bawah nilai maksimum yang disyaratkan oleh Bina Marga untuk campuran HRS-WC yaitu 6%.kecilnya rongga dalam campuran disebabkan oleh posisi dari partikel atau butiran plastik yang tidak ideal dan memberikan perlawanan (cenderung kembali ke bentuk semula) pada saat temperatur mulai menurun hingga menyisakan rongga-rongga pori besar di dalam dan permukaan benda uji. Rongga dan pori yang terlalu besar berakibat buruk pada durabilitas atau keawetan perkerasan karena rentan terhadap pengaruh air dan udara, sehingga selimut aspal akan semakin mudah beroksidasi dan menjadi getas. Sedangkan untuk nilai VMA menunjukkan bahwa nilai VMA meningkat sampai pada kadar plastik 10% namun masih sesuai spesifikasi yang disyaratkan oleh Bina Marga untuk campuran HRS-WC yaitu minimum 18%. Nilai VMA dipengaruhi oleh jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat, serta kadar aspal.

Dan untuk nilai VFB menunjukkan penurunan jumlah rongga terisi aspal sejajar dengan peningkatan kadar plastik pada campuran. Nilai VFB dari hasil perhitungan dan pengujian semua variasi benda uji tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yaitu minimum 65%. Ini disebabkan karena jumlah rongga dalam campuran (VIM) yang terlalu besar akibat dari penggunaan agregat yang bukan merupakan material standar.

#### IV. KESIMPULAN

Dari analisa pengaruh penggunaan limbah UPVC sebagai bahan tambah agregat untuk campuran lataston (HRS-WC) dalam karakteristik uji marshal dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Karakteristik campuran aspal beton yang menggunakan plastik bekas sebagai bahan penambah sebagian agregat adalah sebagai berikut:

- Stabilitas, Pada campuran dengan variasi plastic 0%, 2%, 5%, 10%, diperoleh nilai stabilitas secara berturut-turut adalah 1334kg; 1044kg; 1786kg; 1675kg; . Nilai stabilitas dengan variasi plastik diatas 5% sedikit lebih besar karena jumlah material plastik yang saling melekat satu sama lain bertambah.
- Flow, Pada campuran dengan variasi plastik 0%, 2%, 5%, 10% diperoleh nilai Flow menurun seiring penambahan kadar plastik pada campuran. Secara berturut-turut nilai Flow yang didapat adalah 3.77mm; 3.13mm; 3.58mm; 3.18mm; mm.
- Marshall Quotient, Pada campuran dengan variasi plastik 0%, 2%, 5%, 10%, dan 13% diperoleh nilai Marshall Quotient berturut-turut adalah sebesar 305,5 kg/mm; 108,6 kg/mm; 116,8 kg/mm; 128,96 kg/mm; 129,08 kg/mm. Nilai Marshall Quotient menunjukkan campuran dengan kadar aspal diatas 5% tidak memenuhi spesifikasi.
- VIM, Pada campuran dengan variasi plastik 0%, 2%, 5%, 10% diperoleh Nilai VIM berturut-turut sebesar 4.755%; 3.042%; 2.500%; 0.319%;. Nilai VIM menurun seiring bertambahnya kadar plastik pada campuran, namun nilai-nilai ini jauh di bawah nilai maksimum yang disyaratkan oleh Bina Marga untuk campuran Lataston. kecilnya rongga dalam campuran akan berpengaruh pada keawetan atau durabilitas campuran beraspal.
- VMA, Nilai VMA yang diperoleh untuk campuran dengan variasi plastik 0%, 2%, 5%, 10%, adalah sebesar 19.726%; 23.975%; 27.591%; 30.241%;. Nilai ini dinyatakan memenuhi spesifikasi yaitu diperoleh nilai VMA diatas 19,5%. Batas minimum yang disyaratkan sebesar 15%.
- VFB, Pada campuran dengan variasi plastik 0%, 2%, 5%, 10% diperoleh nilai VFB secara berturut-turut sebesar 75.897%; 87.312%; 90.938%; 98.947%; . Nilai VFB meningkat sejalan dengan peningkatan kadar plastik pada campuran. besarnya rongga terisi aspal disebabkan karena jumlah rongga dalam campuran (VIM) yang terlalu kecil. Hal ini akan berpengaruh langsung pada kekedapan campuran.

Dari persyaratan bina marga 2010 untuk campuran menggunakan bahan tambah limbah upvc untuk VIM, VMA, VFB, Stabilitas dan flow yang tidak memenuhi spesifikasi adalah VIM dikarenakan semakin bertambahnya limbah upvc rongga dalam campuran (VIM) semakin mengecil dan itu sangat berpengaruh terhadap kekedapan terhadap aspal itu sendiri. jadi untuk serbuk limbah upvc tidak dapat di gunakan sebagai bahan tambah untuk campuran aspal.

## REFERENSI

- [1] I. G. N. Widyantara, L. B. Suparma, and I. Muthohar, "Stabilitas Marshall dan Ketahanan Deformasi Warm Mix Asphalt Menggunakan Aditif Zycotherm," vol. XIV, no. 1, 2018.
- [2] P. R. Blend, M. A. Westplat, M. Darwis, and N. Nagu, "Jurnal SIPILsains TERHADAP KARKTERISTIK LASTON AC-WC DENGAN BAHAN," vol. 08, pp. 47–58, 2018.
- [3] I. B. Saifuddin, A. Gaus, and C. Anwar, "Studi Karakteristik Kuat Tekan Pada Campuran Asphalt Concrete," vol. 07, pp. 25–34, 2017.
- [4] G. M. B. Baskara, "Analisis Modulus Kekakuan Campuran Aspal Beton Dengan Penggunaan Agregat Buatan Berbahan Geopolimer," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2019.
- [5] N. Widayanti, "Analisis Kelelahan (Fatigue) Lapis Perkerasan Lentur Pada Campuran Aspal Beton Menggunakan Agregat Buatan Fly Ash Geopolimer," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2019.
- [6] Departemen Pekerjaan Umum, Badan Penelitian Dan Pengembangan PU, Standar Nasional Indonesia. 2003. Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas Dengan Alat Marshall.RSNI M-01-2003.
- [7] Sukirman, S. 2007. Beton Aspal Campuran Panas. Yayasan Obor Indonesia, Jakarta.
- [8] Thanaya, I N.A. 2008. Praktikum Bahan Perkerasan Jalan. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bukit Jimbaran.
- [9] A. Efendy and E. Ahyudanari, "Analisis Perbandingan Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk Perbedaan Gradasi (BBA, FAA dan BM)," J. Apl. Tek. Sipil, vol. 17, no. 1, p. 7, 2019.
- [10] A. Thanaya, "Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus ( AC-WC ) Menggunakan Aspal Penetrasi 60 / 70 dengan Penambahan Lateks Material dan Metode," vol. 22, no. 2, pp. 77–86, 2016.