

# Penggunaan Biji Plastik *Polypropylene* (PP) Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Aspal Hangat Lapisan AC-WC

## *The Use of Polypropylene (PP) Plastic Seeds as an Additive to Warm Mix Asphalt in AC-WC*

Anni Susilowati<sup>1</sup>, Diana Putri<sup>2</sup>, Eko Wiyono<sup>3</sup>, Pratikto<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta, Indonesia

### Abstrak

Inovasi penggunaan limbah plastik sebagai bahan tambahan untuk memodifikasi aspal dan mengurangi dampak lingkungan dilakukan melalui metode campuran beraspal hangat (WMA). Penelitian ini menggunakan biji plastik jenis PP sebagai bahan tambahan, dengan tujuan untuk mengidentifikasi sifat-sifat aspal hangat AC-WC yang sesuai dengan standar Umum Bina Marga 2018, serta menemukan kadar biji plastik yang paling optimal dalam campuran hangat lapisan AC-WC. Variasi persentase aspal yang digunakan adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% dari keseluruhan berat agregat, dengan campuran AC-WC yang bergradasi menerus. Campuran aspal hangat ini dimodifikasi dengan penambahan biji plastik sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% terhadap kadar aspal. Pengujian dilakukan menggunakan parameter Marshall untuk mengukur stabilitas, flow, VMA, VIM, VFA, dan MQ. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan biji plastik meningkatkan stabilitas, MQ, dan VIM dibandingkan dengan campuran aspal hangat tanpa biji plastik, serta menurunkan nilai VMA, VFA, dan flow. Kadar biji plastik yang paling optimal ditemukan sebesar 3,75%, dengan nilai stabilitas 1569,06 Kg, flow 3,78 mm, VMA 15,91%, VIM 4,87%, VFA 69,41%, dan MQ 417,56 Kg/mm. Karakteristik ini telah sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018.

### Kata Kunci

AC-WC,  
Biji Plastik,  
Laston,  
Marshall

## PENDAHULUAN

Modifikasi aspal dengan memanfaatkan limbah plastik sudah diterapkan diberbagai wilayah di Indonesia untuk perkerasan jalan lentur. Hasil pengamatan lapangan mengatakan bahwa berdasarkan studi dari Balai Pusat Jalan dan PUPR campuran plastik dengan proporsi 4 % sampai dengan 6% dapat meningkatkan stabilitas jalan hingga mencapai 40% dibandingkan dengan aspal campuran konvensional (1).

Penambahan kadar limbah plastik pada campuran panas didapat kadar limbah plastik optimum adalah 7,5% dan kadar aspal optimum 6,25%, hasil dari penambahan biji plastik meningkatkan nilai stabilitas, VFB, marshall quotient dan kelelahan (2). Penurunan suhu untuk pencampuran dilakukan sebagai upaya mengurangi dampak lingkungan yang terjadi akibat pembakaran bahan bakar berkelanjutan. Penelitian (3) campuran beton aspal hangat dengan penambahan bahan aditif Sasobit menunjukkan bahwa campuran yang diproduksi pada suhu pencampuran 135°C

\*Koresponden : Anni Susilowati



[anni.susilowati@sipil.pnj.ac.id](mailto:anni.susilowati@sipil.pnj.ac.id)

dengan konsentrasi Sasobit 1,5% memenuhi semua kriteria spesifikasi. Namun, campuran lainnya yang diproduksi pada suhu pencampuran 125°C dan 115°C tidak memenuhi persyaratan spesifikasi dibandingkan dengan campuran kontrol. Campuran beraspal hangat (*Warm Mix Asphalt- WMA*) adalah proses pencampuran dengan suhu yang digunakan lebih rendah (20 – 40° C) dari campuran beraspal panas (*Hot Mixed Asphalt – HMA*).

Penelitian ini bertujuan menentukan kadar optimum biji plastik jenis *polypropylene* pada campuran hangat lapisan AC-WC dengan proporsi 0% ; 2,5% ; 5% ; 7,5% ; 10% ; 12,5% terhadap kadar aspal. Persentase ini didasarkan pada penelitian (2) campuran panas beton aspal didapat hasil kadar plastik optimum 7,5%.

*Warm Mix Asphalt* (WMA) adalah proses hemat energi modern yang menggunakan bahan ramah lingkungan, memiliki suhu pencampuran dan pemadatan yang lebih rendah (4). Penelitian yang dilakukan oleh (5) Campuran beton aspal hangat dengan bahan tambah plastik terhadap berat aspal, hasil penelitian menunjukkan kadar optimum plastik dalam campuran hangat beton aspal adalah 8% dengan suhu pencampuran yang digunakan berkisar antara 122° C – 128° C dan suhu pemadatan 108° C – 112° C.

### Laston

Bagian lapisan dari jalan memiliki struktur bagian campuran seragam antara aspal keras dengan agregat bergradasi menerus. Bahan penyusun untuk membuat campuran laston ini adalah agregat, aspal, tanpa atau dengan bahan tambah (6).

Berdasarkan (7), Laston merupakan lapisan aus, disebut AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*). Ukuran agregat tertinggi yaitu 19 mm.

**Tabel 1.** Ketentuan Campuran Laston

| Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC)                      |      |           |              |         |
|-----------------------------------------------------------------|------|-----------|--------------|---------|
| Sifat-Sifat Campuran                                            |      | Laston    |              |         |
|                                                                 |      | Lapis Aus | Lapis Antara | Fondasi |
| Jumlah tumbukan per bidang                                      |      | 75        |              | 112     |
| Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif | Min  | 0,6       |              |         |
|                                                                 | Maks | 1,2       |              |         |
| Rongga dalam campuran (%)                                       | Min  | 3,0       |              |         |
|                                                                 | Maks | 5,0       |              |         |
| Rongga dalam Agregat (VMA) (%)                                  | Min  | 15        | 14           | 13      |
| Rongga Terisi Aspal (%)                                         | Min  | 65        | 65           | 65      |
| Stabilitas Marshall (kg)                                        | Min  | 800       |              | 1800    |
| Pelelehan (mm)                                                  | Min  | 2         |              | 3       |
|                                                                 | Maks | 4         |              | 6       |
| Stabilitas Marshall Sisa (% setelah perendaman)                 | Min  | 90        |              |         |
| Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan                        | Min  | 2         |              |         |

Sumber : Bina Marga 2018

### Agregat

Agregat kasar untuk perencanaan campuran adalah material yang tidak dapat melewati ayakan ukuran No.4 yang berukuran (4,75 mm). Adapun agregat halus yang dipakai adalah material yang dapat lolos atau tidak tertinggal pada ayakan No. 4 (4,75 mm).

### Filler

Bahan pengisi harus kering dan tidak boleh menggumpal (6). Komponen pengisi yang dipakai dalam campuran penelitian ini ialah semen. Fungsi dari filler dalam campuran aspal menurut (8) adalah sebagai :

1. Meningkatkan berat jenis dan mengurangi kadar aspal yang dibutuhkan untuk mengisi ruang rongga.
2. Meningkatkan kepadatan dan kestabilan dengan mengisi ruang antar agregat.

### Aspal

Aspal merupakan material yang biasanya hanya 4 - 10% berdasarkan berat atau 10 - 15% berdasarkan volume (6). Aspal memiliki fungsi sebagai bahan pengikat agregat dalam campuran dengan karakteristik daya lekat yang tinggi, sifat lengket, serta tahan air (6).

**Tabel 2.** Ketentuan Aspal

| No | Jenis Penelitian                      | Metode pengujian | Persyaratan Aspal penetrasi 60/70 |
|----|---------------------------------------|------------------|-----------------------------------|
| 1  | Penetrasi, °25 C (0,1 mm)             | SNI 06-2456-1991 | 60-70                             |
| 2  | Viskositas Dinamis °60 C (Pa.s)       | SNI 06-6441-2000 | 160-240                           |
| 3  | Viskositas Kinematis °135 C (cSt)     | SNI 06-6441-2000 | ≥ 300                             |
| 4  | Titik Lembek (°C)                     | SNI 2434-2011    | ≥ 48                              |
| 5  | Daktilitas pada °25 C (cm)            | SNI 2432-2011    | ≥ 100                             |
| 6  | Titik Nyala (°C)                      | SNI 2432-2011    | ≥ 232                             |
| 7  | Kelarutan dalam Trichloroethylene (%) | ASSTHO T44-03    | ≥ 99                              |
| 8  | Berat Jenis                           | SNI 2441:2011    | ≥ 1,0                             |

Sumber : Bina Marga 2018

### Biji Plastik

Polimer PP atau biji plastik, adalah produk daur ulang plastik yang berasal dari monomer propilena. Polimer ini mempunyai karakteristik kaku, tidak berbau, serta tahan terhadap pelarut, asam, dan basa (9). Limbah plastik tipe PP dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah tambahan dalam campuran beton aspal panas. Penelitian yang dilakukan oleh (2) dengan kadar aspal optimum 6,25%, menunjukkan bahwa dengan kadar aspal terbaik sebesar 6,25%, penggunaan limbah plastik jenis PP dapat meningkatkan nilai VFB, stabilitas, kelelahan, dan Marshall Quotient (MQ). Penelitian lain yang dilakukan oleh (10) mengenai pencampuran beton aspal hangat pada suhu 125° C dengan plastik tipe PP dan bahan aditif zeolite, menunjukkan bahwa variasi kadar plastik variasi sebesar 2%, 4%, 6% berdasarkan berat aspal memenuhi spesifikasi.

## METODE PENELITIAN

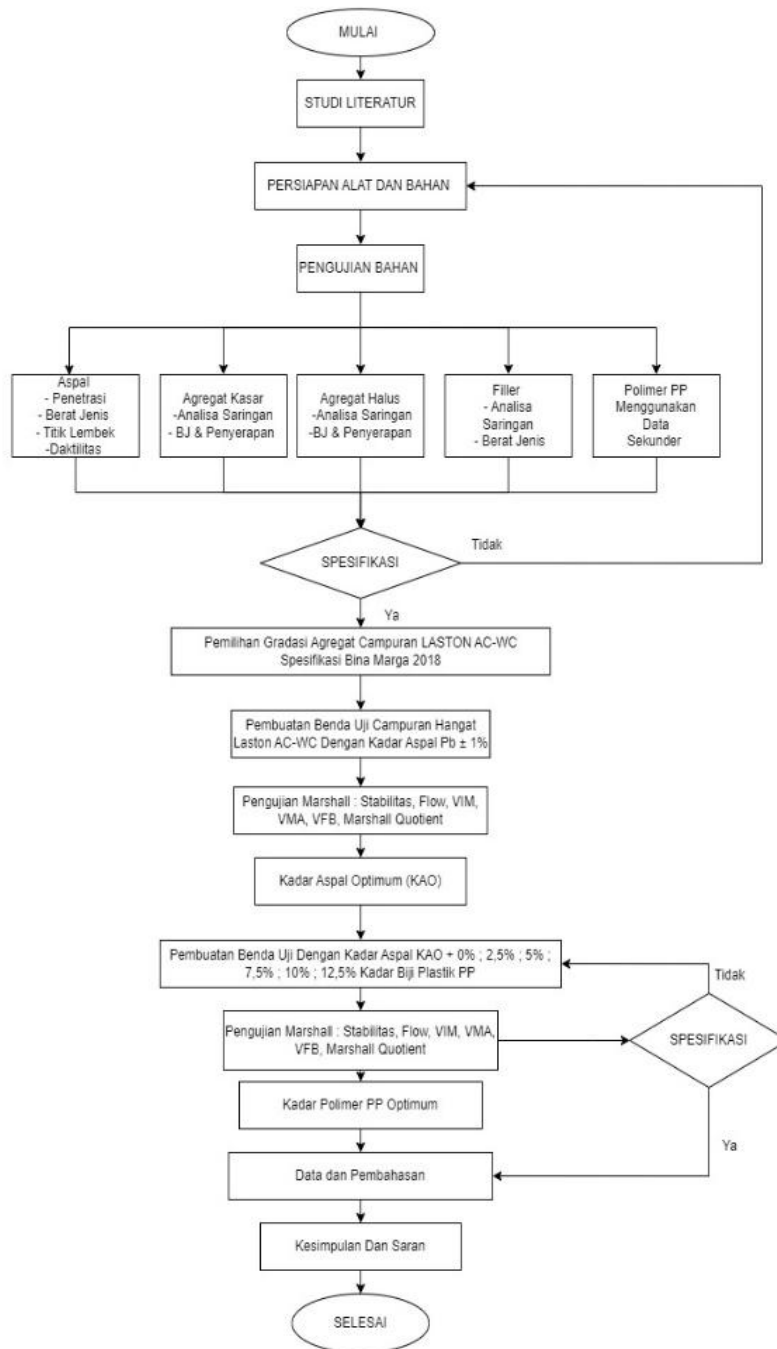
Lokasi pengujian kualitas material dan benda uji dilakukan di Laboratorium Politeknik Negeri Jakarta. Terdapat beberapa pengujian untuk benda uji yang memiliki variasi kadar aspal optimum serta variasi kadar plastik yang ditampilkan dalam Tabel 3.

**Tabel 3.** Variasi Kadar Aspal

| <b>“Penentuan Kadar Aspal Optimum”</b>                   |                         |
|----------------------------------------------------------|-------------------------|
| <b>Kadar Aspal (%)</b>                                   | <b>Jumlah Benda Uji</b> |
| “Pb – 1%”                                                | 3                       |
| Pb – 0,5%                                                | 3                       |
| Pb                                                       | 3                       |
| Pb + 0,5%                                                | 3                       |
| Pb + 1%                                                  | 3                       |
| <b>Pengujian Aspal Dengan Penambahan Biji Plastik PP</b> |                         |
| <b>KAO (%) + Biji Plastik PP</b>                         | <b>Jumlah Benda Uji</b> |
| KAO + 2,5%                                               | 3                       |
| KAO + 5%                                                 | 3                       |
| KAO + 7,5%                                               | 3                       |
| KAO + 10%                                                | 3                       |
| KAO + 12,5%                                              | 3                       |

Diawali dengan pengujian bahan yang digunakan yaitu agregat (screening dan abu batu) meliputi pengukuran berat jenis dan penyerapan air, analisa ayakan. Pengujian untuk *filler* semen Portland mencakup pengukuran berat jenis, analisa ayakan. Untuk aspal penetrasi 60/70, pengujian yang dilaksanakan meliputi pengukuran penetrasi, berat jenis, titik lembek, daktilitas.

Untuk memperoleh nilai KAO dibuat contoh benda uji variasi kadar aspal 5,0% - 7,0% interval 0,5 %. Kemudian benda uji dengan menambahkan variasi biji plastik, 2,5%, - 12,5% interval 2,5%. Untuk setiap variasi dibuat tiga benda uji. Tahap atau diagram alir penelitian Gambar 1.



Gambar 1. Flow Chart

## ANALISIS PENELITIAN

Hasil uji laboratorium dan dari PT Jaya Konstruksi sebagai berikut.

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Bahan

| Pengujian                      | Hasil | Spesifikasi | Keterangan |
|--------------------------------|-------|-------------|------------|
| <b>Agregat Kasar Screening</b> |       |             |            |
| Berat jenis                    | 2.51  | -           | -          |
| Berat Jenis SSD                | 2.58  | -           | -          |
| Berat Jenis Semu               | 2.70  | -           | -          |
| Penyerapan Air                 | 2.77% | $\leq 3\%$  | Memenuhi   |
| Modulus Halus Butir            | 6,03  | 6 - 7       | Memenuhi   |
| <b>Agregat Halus Abu Batu</b>  |       |             |            |
| Berat jenis                    | 2.62  | -           | -          |
| Berat Jenis SSD                | 2.70  | -           | -          |
| Berat Jenis Semu               | 2.85  | -           | -          |
| Penyerapan Air                 | 3%    | $\leq 3\%$  | Memenuhi   |
| Modulus Halus Butir            | 2,67  | 1,5 - 3,8   | Memenuhi   |
| <b>Filler Semen</b>            |       |             |            |
| Berat Jenis                    | 3.13  | -           | -          |

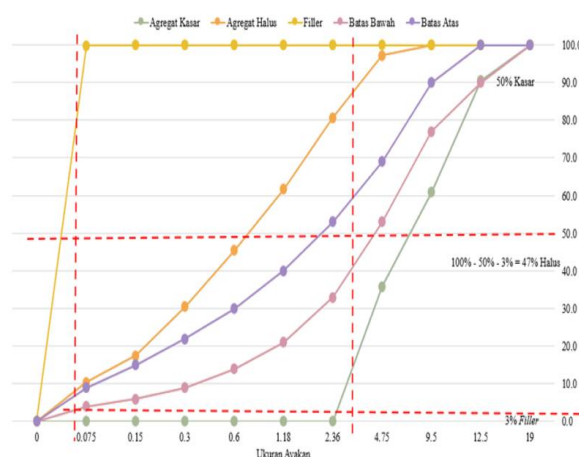
Sumber : SNI 2432:2011

**Tabel 5.** Rekapitulasi Hasil Pengujian Aspal

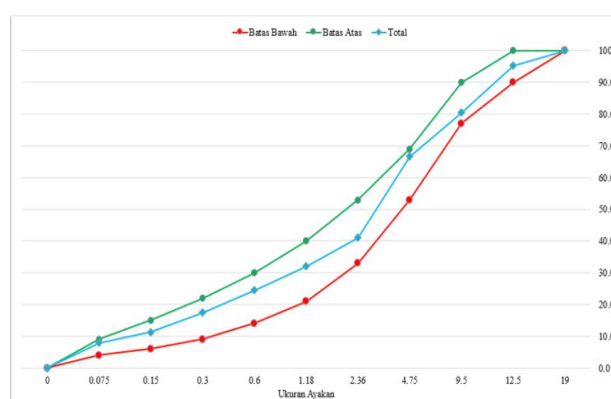
| Pengujian                      | Hasil | Spesifikasi           | Keterangan |
|--------------------------------|-------|-----------------------|------------|
| Penetrasi<br>25°C, (0,1<br>mm) | 64    | 60-70                 | Memenuhi   |
| Berat Jenis                    | 1.03  | $\geq 1,00$           | Memenuhi   |
| Titik Lembek<br>°C             | 50.5  | $>48^{\circ}\text{C}$ | Memenuhi   |

Sumber : SNI 2432:2011

Campuran agregat untuk beton aspal campuran hangat terdiri dari agregat *screening*, agregat abu batu, dan bahan pengisi. Agregat *screening* adalah batu pecah yang lewat dari saringan 19 mm dan tertinggal di atas ayakan ukuran 2,36 mm. Abu batu merupakan agregat yang lewat dari ayakan ukuran 2,36 mm dan tertinggal di saringan ukuran 0,075 mm. *Bahan pengisi* yang digunakan adalah semen portland yang dapat lolos dari saringan 0,075 mm lebih dari 75%. Perhitungan proporsi campuran agregat dilakukan secara grafis.



Gambar 2. Gradasi Agregat Campuran



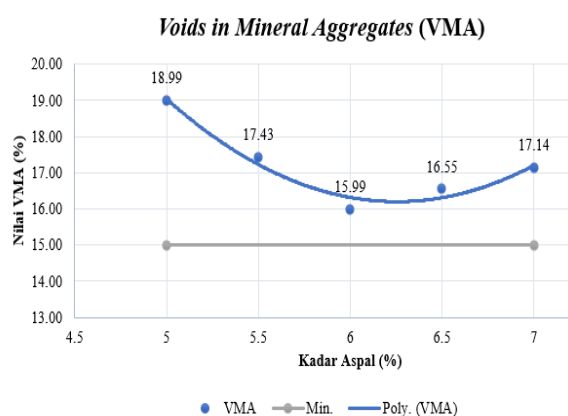
Gambar 3. Gradasi Agregat Gabungan

Variasi kadar aspal (P) yang diperoleh hitungan dari :

$$P_b = 0.035(100-66.6) + 0.045(66.6- 7.9) + 0.18(7.9) + 1 = 6.00\%$$

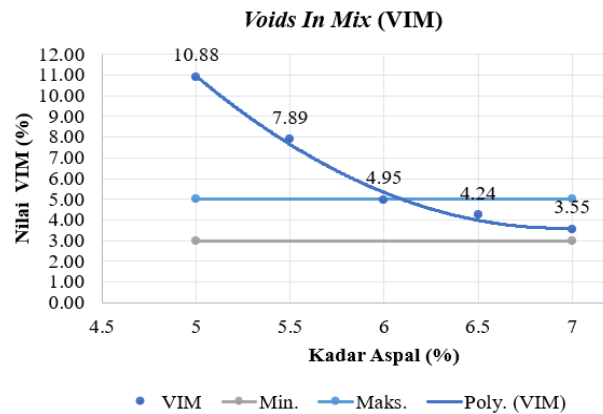
### Hasil Pengujian *Marshall* Campuran Beton Aspal Hangat Normal

a. Rongga di Dalam Agregat / *Void in Mineral Aggregates* (VMA)

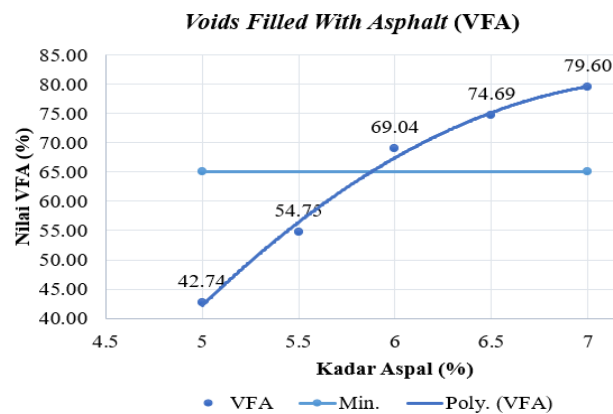


Gambar 4 Grafik VMA dan %Aspal

Pada Gambar 4 nilai VMA mengalami penurunan hingga kadar aspal tertentu lalu mengalami peningkatan, dikarenakan aspal berperan sebagai pelumas yang membantu proses pemadatan, sehingga nilai VMA menurun. Hal ini sesuai dengan penelitian oleh (11) campuran beton hangat variasi kadar aspal 5% - 7% dengan interval 0,5% grafik VMA menunjukkan semakin bertambahnya kadar aspal pada campuran beton hangat, nilai VMA semakin naik.

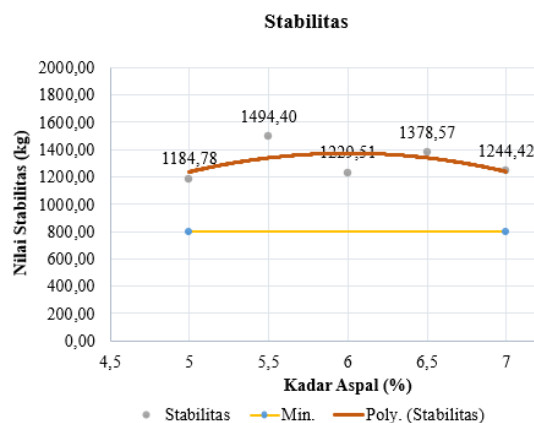
b. Rongga di Dalam Campuran/ *Voids in Mix* (VIM)**Gambar 5.** Grafik VIM dan %Aspal

Pada Gambar 5 menunjukkan dengan meningkatnya jumlah aspal dalam campuran, nilai VIM menjadi semakin rendah. Hal ini sesuai dengan penelitian (12) juga menemukan bahwa pada campuran hangat nilai VIM berkurang seiring dengan peningkatan kadar aspal.

c. Rongga Berisi Aspal / *Void Filled Asphalt* (VFA)**Gambar 6.** Grafik VFA dan % Aspal

Pada Gambar 6 menunjukkan Nilai VFA semakin tinggi seiring bertambahnya kadar aspal pada campuran hangat. Hasil ini sesuai dengan penelitian (11) bahwa peningkatan jumlah aspal dalam campuran hangat, akan menyebabkan nilai VFA meningkat.

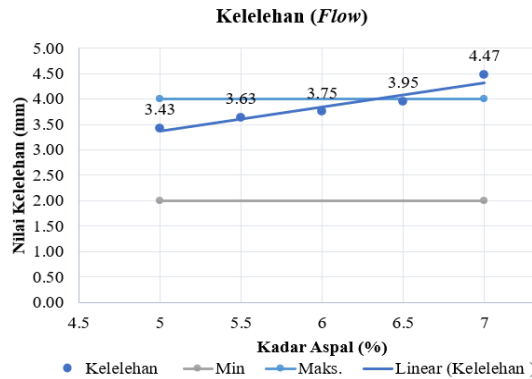
## d. Stabilitas

**Gambar 7.** Grafik Stabilitas dan % Aspal



Pada Gambar 7 seiring penambahan kadar aspal menunjukkan peningkatan nilai stabilitas hingga batas tertentu, kemudian terjadi penurunan dalam nilai stabilitas. Ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh (12) nilai stabilitas pada campuran hangat beton aspal meningkat pada penambahan kadar aspal tertentu lalu kemudian menurun

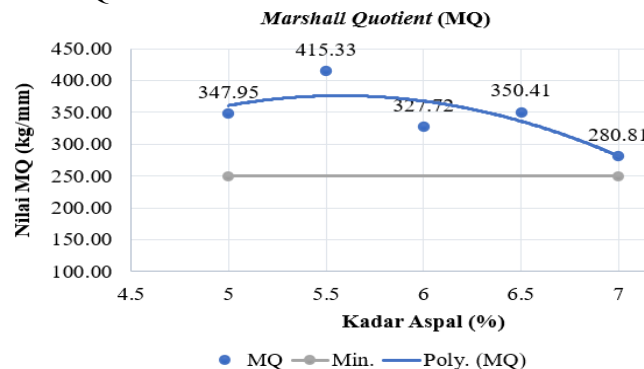
e. Kelelehan / Flow



**Gambar 8.** Grafik Kelelehan dan % Aspal

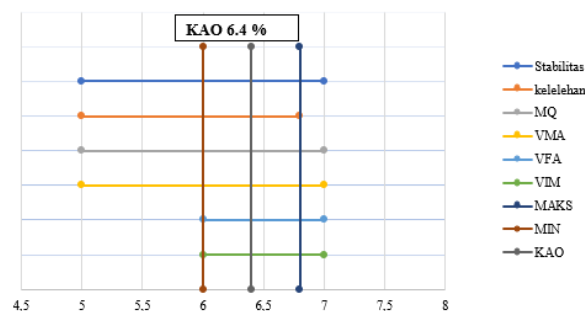
Pada Gambar 8 menunjukkan semakin banyak aspal yang ditambahkan ke dalam campuran, Tingkat kelelehan biasanya akan semakin tinggi sama dengan hasil dari penelitian (12) campuran hangat bertambahnya kadar aspal pada campuran, hasil yang didapat adalah nilai kelelehan cenderung terus meningkat.

f. Marshall Quotient / MQ



**Gambar 9.** Grafik MQ dan % Aspal

Pada Gambar 9 memperlihatkan semua nilai MQ campuran pada variasi kadar aspal memenuhi kriteria yang telah ditentukan yakni diatas 250 Kg/mm. sesuai dengan penelitian yang dilakukan (12). Penurunan nilai MQ terjadi seiring dengan bertambahnya nilai kelelehan dalam campuran.



**Gambar 10** Grafik Menentukan Nilai KAO + 0% Biji Plastik

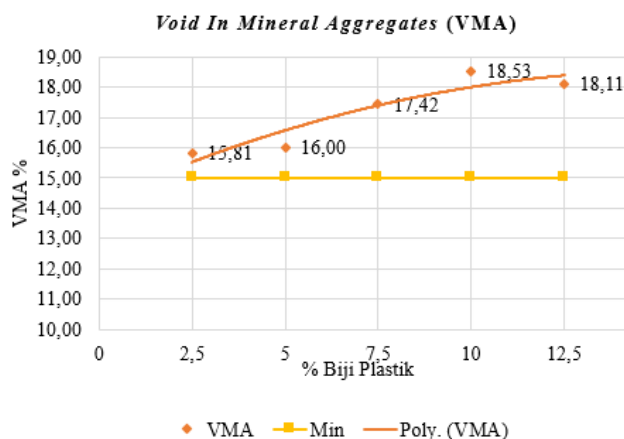
$$KAO = \frac{\text{Batas Minimum} + \text{Batas Maksimum}}{2}$$

$$KAO = \frac{6\% + 6,8\%}{2}$$

$$KAO = 6,4\%$$

### Hasil Pengujian *Marshall* Campuran Beton Aspal Hangat + Biji Plastik

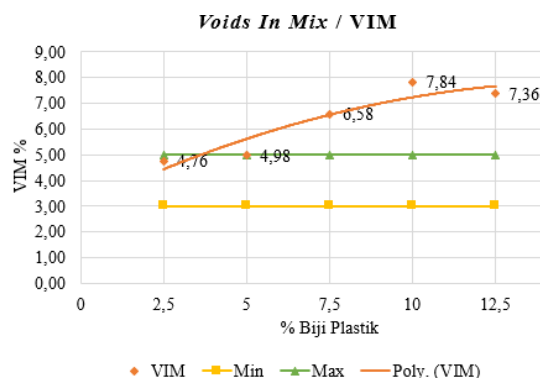
#### a. Rongga di Dalam Agregat / *Void in Mineral Aggregates* (VMA)



**Gambar 11** Grafik VMA dan % Biji Plastik

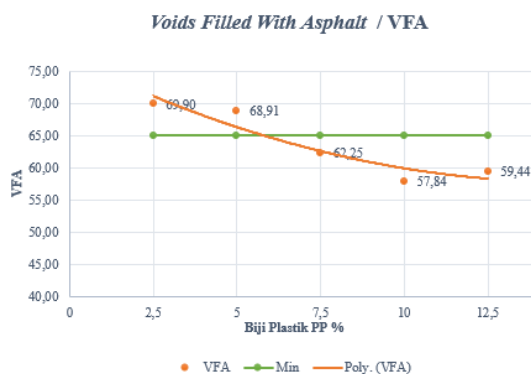
Pada Gambar 11 penambahan kadar biji plastik memperlihatkan grafik nilai VMA yang cenderung meningkat. Hasil pengujian diperoleh nilai VMA dengan variasi penambahan kadar biji plastik 2,5 % - 12,5 % dengan interval 2,5% memenuhi spesifikasi diatas 15%. Ini sejalan dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh (13) campuran hangat beton aspal dengan kadar penambahan plastik menaikan nilai VMA. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh (2) pada campuran panas beton aspal yang ditambah dengan biji plastik hasil pengujian menunjukan nilai VMA yang menurun seiring dengan penambahan kadar biji plastik.

#### b. Rongga di Dalam Campuran/ *Voids in Mix* (VIM)



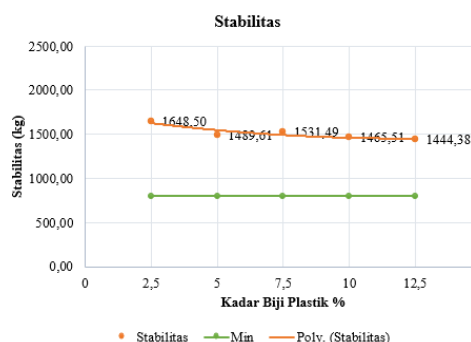
**Gambar 12** Grafik VIM dan % Biji Plastik

Pada Gambar 12 menunjukan nilai VIM yang semakin meningkat sejalan dengan penambahan kadar biji plastik PP. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian (10) dan lebih baik dari (13) grafik hasil VIM menunjukan peningkatan pada kadar PP 2% sampai 4% namun setelahnya angka VIM menurun.

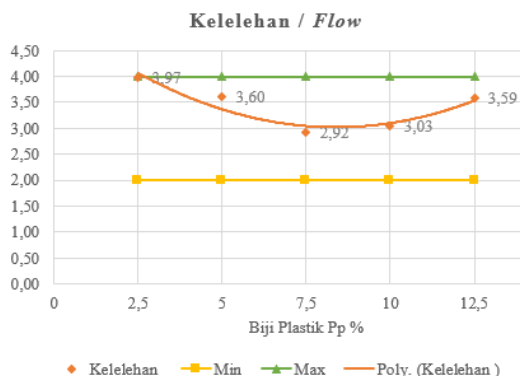
c. Rongga Berisi Aspal / *Void Filled Asphalt* (VFA)**Gambar 13** Grafik VFA dan % Biji Plastik

Pada Gambar 13 nilai VFA semakin menurun karena persen kadar plastik yang ditambahkan dalam campuran hangat menambah kepadatan dalam campuran, kondisi limbah plastik belum meleleh secara sempurna pada saat pencampuran sehingga bersifat seperti agregat. Sejalan dengan (2) penambahan limbah plastik dalam campuran panas cenderung meningkatkan nilai VFA.

## d. Stabilitas

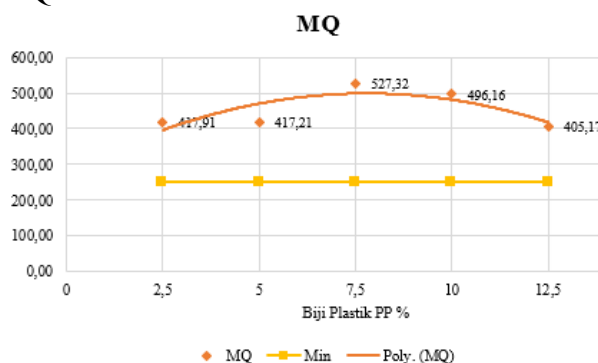
**Gambar 14** Grafik Stabilitas dan % Biji Plastik

Pada Gambar 14 penambahan kadar biji plastik memperlihatkan grafik nilai stabilitas cenderung menurun. Hasil pengujian diperoleh nilai stabilitas dengan variasi penambahan kadar biji plastik dari 2,5 % - 12,5% dengan interval 2,5% memenuhi spesifikasi diatas 800 kg. Sesuai dengan penelitian (2) pada campuran panas beton aspal yang ditambah dengan biji plastik hasil pengujian menunjukkan nilai stabilitas yang cenderung meningkat.

e. Kelelehan / *Flow***Gambar 15** Grafik Kelelehan dan % Biji Plastik

Pada Gambar 15 penambahan kadar biji plastik 2,5 % - 12,5 % dengan interval 2,5% menunjukkan grafik nilai kelelahan menurun sampai batas tertentu lalu naik. Hasil pengujian diperoleh nilai kelelahan dengan variasi penambahan kadar biji plastik 2,5 % - 12,5 % memenuhi spesifikasi 2 – 4 mm. Hal ini sesuai dengan penelitian (13) campuran hangat beton aspal dengan limbah plastik menurunkan nilai *flow* pada batas tertentu lalu nilai kelelahan meningkat Kembali

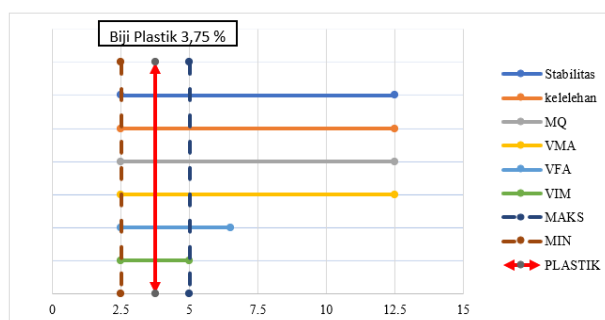
f. *Marshall Quetient* / MQ



**Gambar 16** Grafik MQ dan % Biji Plastik

Pada Gambar 16 menunjukkan nilai MQ yang cenderung meningkat selama dilakukan penambahan persen biji plastik PP hingga batas tertentu lalu mengalami penurunan. Hasil pengujian diperoleh nilai MQ dengan variasi penambahan kadar biji plastik 2,5 % - 12,5 % memenuhi spesifikasi diatas 250 kg/mm. Hasil ini sesuai dengan penelitian (13) penambahan kadar limbah plastik pada campuran hangat meningkatkan angka kekakuan sampai kadar limbah plastik tertentu lalu mengalami penurunan. Sejalan pula dengan penelitian campuran panas beton aspal dengan biji plastik oleh (2) dan (14) serat *polypropylene* yang merupakan bahan tambah campuran panas aspal beton didapat hasil meningkatkan nilai stabilitas dan MQ secara signifikan nilai MQ terus mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar biji plastik.

Menentukan kadar biji plastik optimum dengan grafik di bawah ini :



**Gambar 17** Grafik Kadar Biji Plastik Optimum

$$KAO = \frac{\text{Batas Minimum} + \text{Batas Maksimum}}{2}$$

$$KAO = \frac{2,5\% + 5\%}{2}$$

$$KAO = 3,75\%$$

Untuk penelitian ini diperoleh nilai Kadar Biji Plastik Optimum yaitu 3,75%. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (10) tentang pencampuran beton aspal hangat pada suhu 125° C dengan plastik, kadar plastik variasi 2%, 4%, 6% berdasarkan berat aspal memenuhi spesifikasi.

**Tabel 6.** VMA Perbandingan KAO + 0% dan KAO + 3,75%

| No | Parameter  | Satuan | KAO + 0% Biji Plastik | KAO + 3,75% Biji Plastik | Spesifikasi | Keterangan           |
|----|------------|--------|-----------------------|--------------------------|-------------|----------------------|
| 1  | VMA        | %      | 16.44                 | 15.91                    | $\geq 15$   | Menurunkan, Memenuhi |
| 2  | VIM        | %      | 4.43                  | 4.87                     | 3 – 5       | Menaikan, Memenuhi   |
| 3  | VFA        | %      | 73.26                 | 69.41                    | $\geq 65$   | Menurunkan, Memenuhi |
| 4  | Stabilitas | Kg     | 1348.75               | 1569.06                  | $\geq 800$  | Menaikan, Memenuhi   |
| 5  | Flow       | Mm     | 3.91                  | 3.78                     | 2 - 4       | Menurunkan, Memenuhi |
| 6  | MQ         | Kg/mm  | 345.88                | 417.56                   | $\geq 250$  | Menaikan, Memenuhi   |

Hasil uji Marshall yang menggunakan kadar aspal 6,4% serta biji plastik optimum 3,75% menunjukkan penurunan nilai VMA. Penurunan ini terjadi karena biji plastik menambah jumlah agregat dalam campuran, sehingga mengurangi ruang kosong di antara agregat yang tersedia untuk diisi dengan aspal. Akibatnya, VFA juga cenderung menurun karena aspal memiliki lebih sedikit ruang untuk menyebar dan mengisi rongga yang ada.

Hasil perbandingan juga menunjukkan bahwa nilai flow dalam campuran menurun. Hal ini disebabkan biji plastik dalam campuran hangat tidak tercampur dengan baik dalam aspal, sehingga mempengaruhi sifat kelelahan dan mengurangi kekakuan campuran. Peningkatan nilai VIM berarti campuran memiliki lebih banyak rongga atau ruang kosong karena suhu pencampuran yang lebih rendah dalam campuran hangat tidak cukup untuk mencairkan dan mendistribusikan biji plastik dengan sempurna.

Stabilitas yang lebih tinggi menunjukkan bahwa campuran memiliki kemampuan yang lebih baik untuk menahan tekanan dan berbagai kondisi pembebanan. Sesuai dengan penelitian (15), biji plastik dapat meningkatkan kekakuan campuran aspal. Peningkatan nilai MQ lebih tinggi menandakan bahwa campuran dengan sifat karakteristik keseimbangan yang baik antara kekuatan dan deformabilitas, yang penting untuk mengurangi retak dan deformasi permanen pada jalan. Sejalan dengan penelitian (16), yang menemukan bahwa penambahan 4% plastik meningkatkan stabilitas Marshall sebesar 19% dibandingkan dengan AC-WC tanpa penambahan plastik.

## KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dapat ditarik kesimpulan campuran hangat lapisan AC–WC dengan penambahan biji plastik pada kadar aspal optimum dan kadar biji plastik optimum mempunyai karakteristik yang sesuai dengan persyaratan spesifikasi Binamarga 2018 dengan nilai stabilitas 1569,06 Kg, Flow 3,78 mm, VMA 15,91%, VIM 4,87%, VFA 69,41%, dan MQ sebesar 417,56 kg/mm. Jumlah kadar biji plastik optimum dalam campuran hangat AC-WC adalah sebesar 3,75%.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Nora A. Jalan Aspal dengan Campuran Plastik, Apakah Aman? [Internet]. Republika. 2024 [dikutip 19 April 2024]. Tersedia pada: <https://esgnow.republika.co.id/berita/s9z550463/jalan-aspal-dengan-campuran-plastik->

- apakah-aman
2. Susilowati A, Wiyono E, Pratikto. Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Tambah Pada Beton Aspal Campuran Panas. *Bangun Rekaprima*. 2021;7(2):15.
  3. Kridan FAM, Arshad AK, Rahman MYA. Development of warm mix asphalt and compliance with the requirements set by specifications. *Eur J Sci Res*. 2010;48(1):118–28.
  4. Srikanth G, Kumar R, Vasudeva R. A Review on Warm Mix Asphalt. *Natl Conf Adv Struct Mater Methodol Civ Eng*. 2018;(November):525–33.
  5. Chowdhury PS, Kumar S, Sarkar D. Utilization of waste plastic in warm mix asphalt-a sustainable and eco-friendly solution. 2020;(June 2023). Tersedia pada: <https://www.researchgate.net/publication/361708883>
  6. Sukirman S. Beton Aspal Campuran Panas. 2016.
  7. Spesifikasi Umum. Divisi 6 Perkerasan Aspal. 2018.
  8. Mahli M. Pengaruh Penggunaan Limestone Sebagai Filler Pada Asphalt Concrete – Wearing Course ( Ac-Wc ). 2017;1–11.
  9. Telehala A. Plastik Sebagai Bahan Campuran Aspal. *J Sos Teknol*. 2023;3(2):139–52.
  10. Mohammed SF, Ismael MQ. Effect of polypropylene fibers on moisture susceptibility of warm mix asphalt. *Civ Eng J*. 2021;7(6):988–97.
  11. Susilowati A, Pratikto, Wiyono E. Beton Aspal Campuran Hangat Bergradasi Menerus Untuk Lapis Permukaan Terhadap Properties Marshall. 2022;8(1):311–8.
  12. Meilani M, Kurnia R. Kajian Parameter Marshall Campuran Hangat Lataston (HRS-WC) Menggunakan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP).(Hal. 120-131). *RekaRacana J Tek Sipil* [Internet]. 2019;5(4):6–33. Tersedia pada: <https://ejurnal.itenas.ac.id/index.php/rekaracana/article/view/3397>
  13. Mosa AM, Jawad IT, Salem LA. Modification of the Properties of Warm Mix Asphalt Using Recycled Plastic Bottles. *Int J Eng*. 2018;31(9):1514–20.
  14. Hadijah I, Amrulloh R. Pengaruh Tambahan Serat Polypropylene terhadap Campuran Aspal Beton AC-WC. *Tapak*. 2016;6(1):1–7.
  15. Krisna Yulianingsih AFI. ( PP ) terhadap Karakteristik Marshall Pada The Influence Of Additional Polymer Polypropylene ( Pp ) Materials To Marshall Characteristics In Ac-Wc Mixture Krisna Yulianingsih , Abul Fida Ismaili. *J Rekayasa Sipil*. 2019;2(2):1–4.
  16. Widojoko L, Purnamasari PE. Study the Use of Cement and Plastic bottle Waste as Ingredient Added to the Asphaltic Concrete Wearing Course. *Procedia - Soc Behav Sci*. 2012;43(April):832–41.