

Tersedia online di [www.journal.unesa.ac.id](http://www.journal.unesa.ac.id)Halaman jurnal di [www.journal.unesa.ac.id/index.php/mitrans](http://www.journal.unesa.ac.id/index.php/mitrans)

# Kinerja Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC – WC) Dengan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Sebagai Agregat Halus dan Filler Abu Batu

Nisrina Nadhifah <sup>a</sup>, Purwo Mahardi <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Program Studi Sarjana Terapan Transportasi, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

<sup>b</sup> Program Studi Sarjana Terapan Transportasi, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

email: <sup>a</sup>[nisrina.20032@mhs.unesa.ac.id](mailto:nisrina.20032@mhs.unesa.ac.id), <sup>b</sup>[purwomahardi@unesa.ac.id](mailto:purwomahardi@unesa.ac.id)

## INFO ARTIKEL

### Sejarah artikel:

Menerima 27 Juni 2025

Revisi 24 Agustus 2025

Diterima 25 Agustus 2025

Online 28 Agustus 2025

### Kata kunci:

Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), Abu Batu, AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course), Karakteristik Marshall, Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

## ABSTRAK

Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) merupakan hasil dari pengupasan perkerasan lama yang mempunyai potensi untuk mensubstitusi agregat dan aspal baru pada perkerasan jalan dan bahu jalan. Dalam penelitian ini, RAP digunakan sebagai agregat halus. Penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan dan Transportasi Universitas Negeri Surabaya menggunakan metode Marshall. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh substitusi RAP dan abu batu terhadap karakteristik *marshall*. Berdasarkan hasil pengujian, campuran AC-WC Optimum (KAO) dengan substitusi 25% RAP – 75% agregat halus menghasilkan nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) paling optimal, yakni 109%. Hasil ini menunjukkan bahwa Pengaruh substitusi RAP dan Filler Abu Batu terhadap karakteristik *Marshall* pada *Marshall Standart* maupun *Marshall Immersion* telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 yang berarti kemampuan perkerasan jalan layak dalam menerima beban lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat.

# Performance of Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Mixtures with Recycled Asphalt (RAP) as Fine Aggregate and Stone Dust Improver

## ARTICLE INFO

### Keywords:

Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), Stone Dust (Filler), Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC), Marshall Characteristics, Retained Strength Index (RSI)

Nadhifah, N., & Mahradi, P. (2025). Kinerja Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC – WC) Dengan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Sebagai Agregat Halus dan Filler Abu Batu. MITRANS: Jurnal Media Publikasi Terapan Transportasi, v3 (n2), 140 - 155.

## ABSTRACT

Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) is the result of stripping old pavement that has the potential to substitute new aggregate and asphalt in road pavement and shoulders. In this study, RAP was used as fine aggregate. The research was conducted at the Road and Transportation Laboratory of Surabaya State University using the Marshall method. This study aimed to determine the effect of RAP and stone ash substitution on Marshall characteristics. Based on the test results, the AC-WC Optimum (KAO) mixture with a 25% RAP substitution – 75% fine aggregate produced the most optimal Residual Strength Index (RSI) value of 109%. These results indicate that the influence of RAP substitution and stone dust filler on Marshall characteristics in both Standard Marshall and Immersion Marshall meets the 2018 General Specifications for Road Construction, meaning the pavement has sufficient strength to withstand high traffic loads dominated by heavy vehicles.

## 1. Pendahuluan

Prasarana transportasi, khususnya jalan raya mengalami perkembangan yang sangat pesat yang ditandai dengan semakin ramainya sarana transportasi yaitu arus transportasi darat. Semakin ramai arus transportasi darat maka semakin bertambah volume kendaraan yang menyebabkan berkurangnya umur layanan perkerasan jalan, khususnya aspal. Hal ini akan mengurangi umur perkerasan jalan yang tersedia pada beban yang bekerja pada jalan daripada beban rencana. Penyebab dari berkurangnya umur layanan perkerasan jalan adalah kerusakan terhadap lapisan perkerasan akan mudah terjadi yang mengakibatkan kenyamanan dalam berkendara akan terganggu (Prayuda, 2019).

*Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) merupakan hasil dari pengupasan perkerasan lama yang dapat dilaksanakan dengan *cold milling machine* (mesin pengusa perkerasan beraspal tanpa pemanasan), atau dengan cara manual yaitu menggunakan seperangkat alat berupa *asphalt cutter*, *jack hammer*, dan alat lainnya yang mendukung (Putri, 2019). RAP mempunyai potensi untuk mensubstitusi agregat dan aspal baru pada perkerasan jalan dan bahu jalan (Winarti dkk., 2024). *Reclaimed Asphalt* dapat diproses dengan cara ekstraksi sehingga menghasilkan dua material yang berupa agregat *Reclaimed Asphalt* dan aspal *Reclaimed Asphalt*. *Reclaimed Asphalt* dapat dicampurkan dengan material yang lain sehingga dapat menghasilkan material yang lebih baik atau sesuai dengan kondisi aslinya. Penambahan material baru dapat memperbaiki umur teknis dan kualitas dari aspal. Pengurangan persentase dengan aspal baru atau emulsi untuk desain campuran baru digunakan kembali untuk memanfaatkan *Reclaimed Asphalt* sebagai material konstruksi jalan raya (Widayanti dkk., 2017).

Perkerasan jalan yang umum digunakan di Indonesia adalah campuran Lapis Aspal Beton (Laston). Laston Lapis Aus atau *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) merupakan bagian yang terletak pada lapisan paling atas dalam perkerasan lentur jalan raya. Lapisan perkerasan ini merupakan kombinasi dari aspal, agregat kasar, agregat halus, dan (*filler*) (Anggraini dkk., 2020). Lapisan AC-WC merupakan lapisan yang terletak dibagian atas berdasarkan susunan perkerasan aspal dimana lapisan permukaan ini harus mampu menerima seluruh jenis beban yang bekerja dan menyebarkan ke lapisan di bawahnya berupa muatan kendaraan, gaya rem dan pukulan roda kendaraan. Keadaan iklim yang tropis serta perkembangan jumlah beban kendaraan kerap menjadi penyebab utama terjadinya deformasi serta retak pada lapisan *asphalt concrete-wearing course* (Kafabihi dkk., 2020). AC-WC adalah jenis lapisan permukaan yang bersentuhan langsung dengan perubahan cuaca, gaya geser dan tekanan roda ban kendaraan. Atas dasar itu pemilihan material sangat penting untuk mencapai kualitas campuran AC-WC yang diinginkan (Hawari dkk., 2021).

Penggunaan *filler* dalam campuran aspal dimaksudkan agar rongga-rongga antara agregat dan aspal dapat terisi dan tercipta kekuatan ikatan yang lebih tinggi. *Filler* merupakan material butir halus yang lolos saringan no. 200. *Filler* yang sering digunakan untuk campuran aspal berupa abu batu, kapur padam, dan semen *portland*. Abu batu yang digunakan sebagai *filler* adalah yang lolos saringan no. 200. Selain itu abu batu juga bersifat higroskopis yaitu kemampuan dalam menyerap molekul aspal dari lingkungannya. Penggunaan abu batu dapat meningkatkan viskositas campuran aspal sekaligus mengurangi kecenderungan terjadinya segregasi dan *bleeding* pada perkerasan dengan cara mengisi rongga-rongga yang ada pada campuran dengan membentuk bahan pengikat yang berkonsistensi tinggi sehingga mengikat butiran agregat secara bersama-sama dan dapat meningkatkan kuat tekan perkerasan yang dihasilkan. (Hardiyatmo, 2007).

Berpijak pada permasalahan di atas, penelitian ini menggunakan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) sebagai agregat halus dan Metode *Marshall*. Elemen – elemen yang digunakan terdiri dari aspal lama yang disaring untuk diambil agregat halusnya, aspal baru, agregat baru, *filler* abu batu. Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Jalan dan Transportasi Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya.

## 2. State of the Art

Permana (2019) meneliti Analisa Campuran AC-WC Pen 60/70 Dengan Agregat *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) Dan *Filler* Abu Batu Sebagai Campuran Untuk Penambahan *Low Density Polyethylene* (LDPE). Dari hasil uji *Marshall* menunjukkan seluruh kadar aspal telah memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2018 divisi 6. Stabilitas dan *flow* optimum pada kadar aspal 6% dengan stabilitas 1287,18 Kg dan *flow* 3,5 mm, substitusi material RAP maksimal 46%.

Bethary dkk. (2016) meneliti Kinerja Campuran Lapis Aus (AC – WC) Yang Memakai Material RAP dan *Slag* Sebagai Bahan Pengganti Agregat. penambahan *slag* pada campuran lapis aus meningkatkan kekuatan campuran dengan naiknya nilai stabilitas, hal ini dikarenakan *slag* memiliki daya adhesi yang tinggi terhadap aspal karena permukaan *slag* yang kasar. Campuran yang ditambahkan dengan material daur ulang keawetan pada campuran naik karena nilai VFB meningkat.

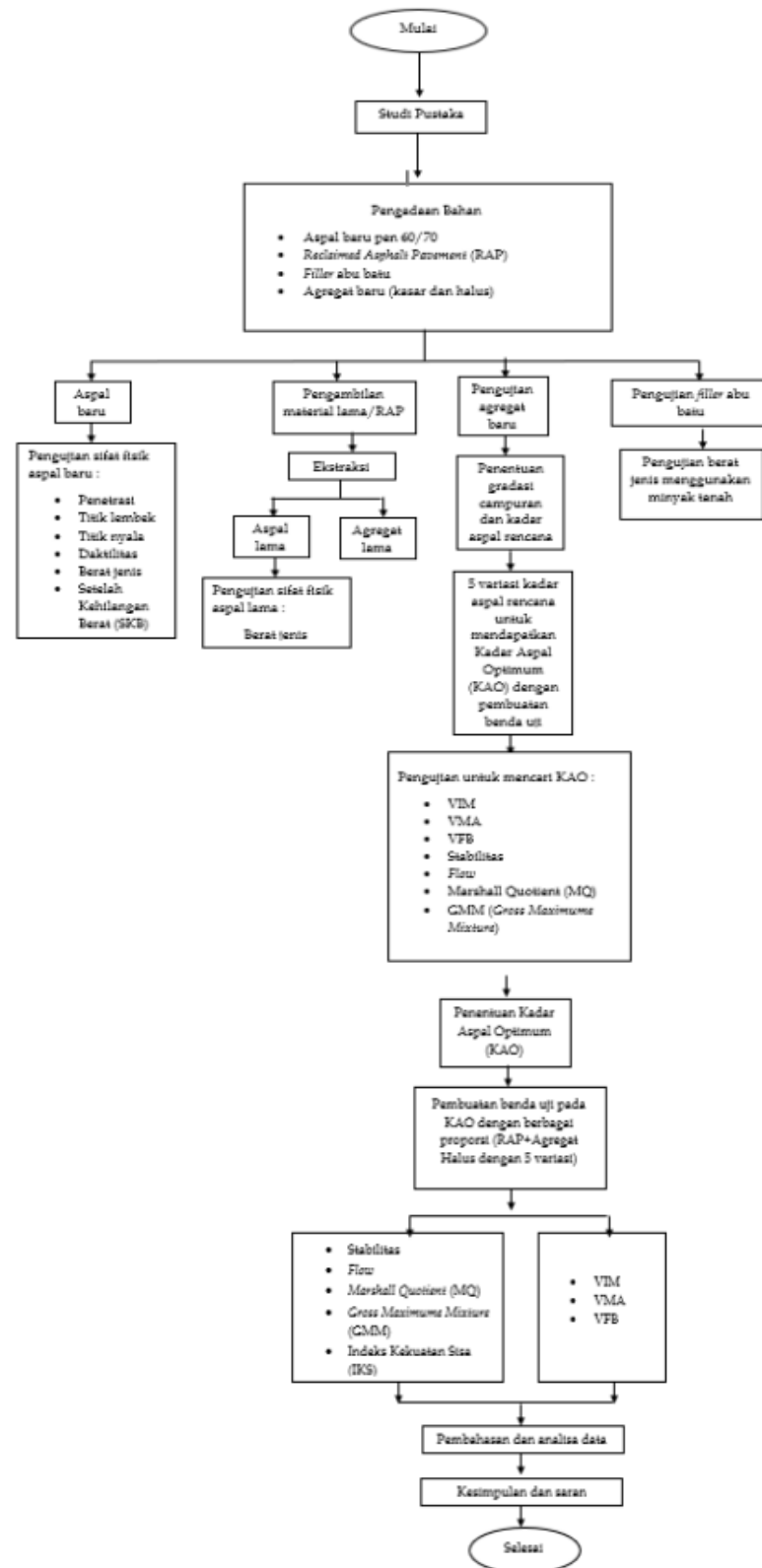
Putra (2019) melakukan Analisa Campuran AC – WC Dengan Agregat *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) Dan *Filler* Abu Batu Sebagai Campuran Untuk Penambahan Plastik *High Density Polyethylene* (HDPE), di mana RAP sebagai pengganti sebagian agregat dalam campuran lapisan laston AC-WC pen 60/70 dengan parameter *Marshall*. Didapatkan hasil kadar aspal optimum sebesar 5,75% pada gradasi campuran variasi 3. Penggunaan RAP yang digunakan sebesar 45% pada *Fine Aggregate* (0-5mm).

Widayanti dkk. (2018) meneliti Kinerja Campuran Aspal Beton dengan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) dari Jalan Nasional di Provinsi Jawa Timur. Tujuan studi ini adalah memperoleh kinerja campuran aspal beton dengan penambahan RAP dan strategi pemanfaatan RAP untuk material perkerasan jalan. Hasil yang diperoleh adalah kinerja teknis campuran dengan RAP memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3. RAP dapat digunakan pada lapisan AC-WC, AC-BC, AC-Base, dengan persentase penggunaan RAP sebesar 20- 40%, RAP optimum sebesar 20-30%, kadar aspal dalam RAP sebesar 3,78-4,63%, VIM sebesar 4-4,825%, VMA sebesar 14,941-15,867%, VFB sebesar 65-87%, Stabilitas *Marshall* sebesar 830,482-2655,22 kg, *flow* sebesar 3,26-5,74 mm, Stabilitas *Marshall* Sisa sebesar 90,1-92,65 kg, VIM in PRD 2,525-5,09%.

Winarno dkk. (2020) meneliti Pengaruh Abu Batu Sebagai *Filler* Terhadap Kinerja Aspal Beton AC – WC Pada *Test Marshall*. Penelitian ini menggunakan abu batu sebagai *filler* yang telah dihancurkan. Metode *marshall* menunjukan hasil bahwa semua hasil memenuhi persyaratan bina marga pada nilai VMA 18,22 %, nilai VIM 4,22. % , nilai VFB 75,04 %, nilai STABILITAS 4806 kg, nilai FLOW 3,24 mm, dan nilai *Marshall Quotient* (MQ) 14958,1 kg/mm.

## 3. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorium yang dilakukan di Laboratorium Jalan dan Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi aspal baru pen60/70, *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), agregat baru (kasar dan halus), dan *filler* abu batu. Adapun tahapan penelitian meliputi ekstraksi aspal lama dengan bensin, pengujian perbandingan sifat fisik aspal lama dan aspal baru, hasil pemeriksaan karakteristik agregat, pengujian *filler*, pengujian analisis saringan agregat kasar, agregat halus, dan RAP, penentuan gradasi campuran dan kadar aspal rencana, kadar aspal rencana, pembuatan benda uji untuk mencari Kadar Aspal Optimum (KAO), Kadar Aspal Optimum (KAO), serta pemeriksaan *marshall standard* dan *marshall immersion* dengan 5 variasi RAP sebagai agregat halus pada kadar aspal.



Gambar 1. Diagram Alir

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1 Karakteristik Material Penyusun Campuran AC – WC

Material penyusun campuran AC-WC terdiri dari RAP, aspal baru, agregat kasar, agregat halus, dan filler abu batu. Pengujian karakteristik material penyusun campuran AC-WC terdiri dari uji ekstraksi RAP, berat jenis RAP, penetrasi, daktilitas, titik nyala, titik bakar, viskositas, berat jenis agregat kasar dan halus, dan berat jenis filler.

##### 4.1.1 Uji Ekstraksi RAP

Uji ekstraksi ini dilakukan untuk mengetahui kadar aspal RAP. Ekstraksi menggunakan bensin untuk memisahkan aspal dengan agregat. RAP yang masih berbentuk bongkahan, dihancurkan menggunakan palu sampai berbentuk bongkahan kecil-kecil. Sampel yang diambil untuk ekstraksi sebanyak 500 gram. Berikut hasil ekstraksi RAP yang dilakukan di Laboratorium Jalan dan Transportasi Universitas Negeri Surabaya.

**Tabel 1.** Pengujian Ekstraksi RAP (Penulis, 2024)

| Uraian      | Satuan | Berat | Syarat  | Keterangan |
|-------------|--------|-------|---------|------------|
| Kadar aspal | %      | 6,3   | Min.3,8 | Memenuhi   |

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1 menghasilkan kadar aspal RAP sebesar 6,3%. dapat disimpulkan bahwa RAP yang diambil di Jl. Raya Aloha, Kecamatan Gedangan, Kabupaten Sidoarjo yang digunakan untuk penelitian memenuhi standar yang sudah ditentukan oleh Spesifikasi Khusus Interim 2019 dengan metode pengujian SNI 8279:2011 yaitu minimal 3,8%.

##### 4.1.2 Pengujian Berat Jenis RAP

Pengujian berat jenis RAP ini dilakukan untuk mengetahui kualitas RAP. Berikut adalah hasil pengujian berat jenis RAP.

**Tabel 2.** Pengujian Berat Jenis RAP (Penulis, 2024)

| Jenis Pengujian | Hasil  | Metode Pengujian | Spesifikasi |
|-----------------|--------|------------------|-------------|
| Berat Jenis     | 1,69 % | SNI 1969 : 2008  | ≥1%         |

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2 pengujian berat jenis RAP telah memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 dengan metoda pengujian SNI 1969 : 2008 yaitu >1%.

##### 4.1.3 Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian karakteristik aspal dilakukan untuk mengetahui kualitas aspal yang terdiri dari Penetrasi, Titik Nyala, Titik Bakar, Daktilitas, dan Viskositas. Berikut adalah hasil pengujian karakteristik aspal.

**Tabel 3.** Pengujian Karakteristik Aspal (Penulis, 2024)

| No | Jenis Pengujian                    | Aspal Baru | Metode Pengujian | Spesifikasi | Satuan  | Keterangan |
|----|------------------------------------|------------|------------------|-------------|---------|------------|
| 1  | Penetrasi pada 25 celcius (0,1 mm) | 64         | SNI 2456 : 2011  | 60-70       | mm      | Memenuhi   |
| 2  | Titik Nyala                        | 274        | SNI 2433 : 2011  | ≥232        | celcius | Memenuhi   |
| 3  | Titik Bakar                        | 276        | SNI 2433 : 2012  | ≥232        | celcius | Memenuhi   |
| 4  | Daktilitas                         | 100        | SNI 2432 : 2011  | ≥100        | cm      | Memenuhi   |
| 5  | Viskositas                         | 990,8      | ASTM D2170-10    | ≥300        |         | Memenuhi   |

Berdasarkan dari hasil pengujian karakteristik aspal pada Tabel 3, menunjukkan bahwa seluruh jenis pengujian aspal telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

#### 4.1.4 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar dan Agregat Halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan dilakukan untuk mengetahui sifat fisik agregat kasar dan agregat halus. Pengujian dilakukan secara bergantian. Berikut hasil pengujian berat jenis dan penyerapan.

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Berat Jenis & Penyerapan Agregat (Penulis, 2024)

| No | Jenis Agregat  | Hasil | Spesifikasi | Keterangan |
|----|----------------|-------|-------------|------------|
| 1  | Agregat kasar  | 2,37% | Maks.3%     | Memenuhi   |
| 2  | Agregat sedang | 2,37% | Maks.3%     | Memenuhi   |
| 3  | Agregat halus  | 0,5%  | Maks.3%     | Memenuhi   |

Berdasarkan dari hasil pengujian agregat kasar dan agregat halus pada Tabel 4 menunjukkan bahwa seluruh jenis pengujian agregat telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

#### 4.1.5 Pengujian Berat Jenis *Filler* Abu Batu

Pengujian berat jenis ini dilakukan untuk mengetahui fisik *filler*. Air suling yang digunakan untuk uji *filler* adalah minyak tanah. Berikut hasil uji berat jenis *filler*.

**Tabel 5.** Pengujian Berat Jenis *Filler* Abu Batu (Penulis, 2025)

| Abu Batu                                           |                       |                            |       |
|----------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------|-------|
| Berat benda uji                                    | (gr)                  | A                          | 500   |
| Berat piknometer                                   | (gr)                  | W                          | 166,2 |
| Berat piknometer yang berisi minyak tanah          | (gr)                  | B                          | 583,7 |
| Berat piknometer dengan benda uji dan minyak tanah | (gr)                  | C                          | 737,4 |
| Berat jenis minyak tanah                           | (gr/cm <sup>3</sup> ) | D                          | 0,8   |
| Berat jenis benda uji                              | (gr/cm <sup>3</sup> ) | $D \times A / (A - C - B)$ | 2,077 |

Hasil pengujian tersebut pada Tabel 5 sebesar 2,077 yang telah memenuhi standar yang ditentukan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

## 4.2 Kadar Aspal Optimum

Setelah didapatkan proporsi dari masing-masing fraksi agregat, maka dicari kadar aspal rencana dengan rumus :

$$P_b = 0,035 \times (\%CA) + 0,045 \times (\%FA) + 0,18 \times (\%FF) + K$$

Keterangan :

$P_b$  = Kadar aspal

CA = Agregat kasar tertahan saringan no.4

FA = Agregat halus lolos saringan no.4 dan tertahan no.200

FF = Agregat halus lolos saringan no.200

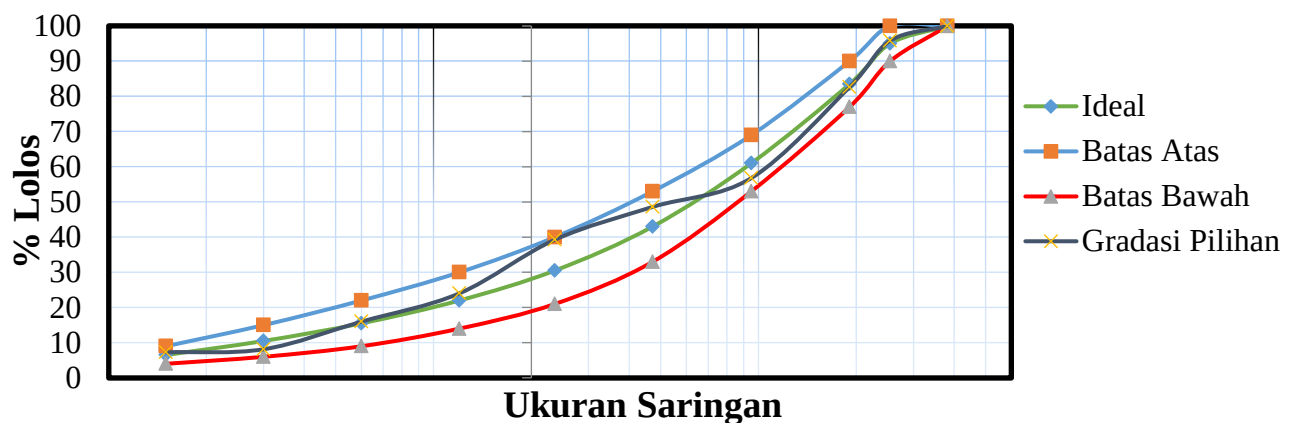
Konstanta = 0,5 – 1



Untuk mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran aspal dibuat dengan menggunakan 5 variasi kadar aspal rencana yaitu 2 kadar aspal dibawah kadar aspal rencana dan 2 kadar aspal diatas kadar aspal rencana dengan rentang masing-masing 0,5%. Masing-masing variasi kadar aspal dibuat 3 buah benda uji dengan tujuan untuk membandingkan nilai kadar aspal yang didapatkan. Berikut adalah Komposisi Agregat, Kadar Aspal Rencana, Pengujian *Marshall* untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) dan grafik.

Tabel 6. Komposisi Agregat (Penulis, 2024)

| %Berat Lolos Terhadap Agregat |      |       |      |                 |       |       |            |      |        |     |     |      |
|-------------------------------|------|-------|------|-----------------|-------|-------|------------|------|--------|-----|-----|------|
| Size                          | CA   | MA    | FA   | Filler Abu Batu | Lolos | SPEC  | Keterangan |      |        |     |     |      |
|                               | 17   | 35    | 41   | 7               | 100   |       |            |      |        |     |     |      |
| 1                             |      |       |      |                 |       | 100   | 100        | TRUE |        |     |     |      |
| 3/4                           | 100% | 17,00 | 100% | 35,00           | 100%  | 41,00 | 100%       | 7,00 | 100,00 | 100 | 100 | TRUE |
| 1/2                           | 75%  | 12,81 | 100% | 35,00           | 100%  | 41,00 | 100%       | 7,00 | 95,81  | 90  | 100 | TRUE |
| 3/8                           | 2%   | 0,32  | 98%  | 34,34           | 100%  | 41,00 | 100%       | 7,00 | 82,66  | 77  | 90  | TRUE |
| 4                             | 0%   | 0,04  | 25%  | 8,76            | 100%  | 41,00 | 100%       | 7,00 | 56,79  | 53  | 69  | TRUE |
| 8                             | 0%   | 0,03  | 2%   | 0,73            | 100%  | 40,82 | 100%       | 7,00 | 48,58  | 33  | 53  | TRUE |
| 16                            | 0%   | 0,03  | 0%   | 0,09            | 78%   | 32,14 | 100%       | 7,00 | 39,26  | 21  | 40  | TRUE |
| 30                            | 0%   | 0,02  | 0%   | 0,06            | 41%   | 16,94 | 100%       | 7,00 | 24,02  | 14  | 30  | TRUE |
| 50                            | 0%   | 0,02  | 0%   | 0,03            | 22%   | 8,94  | 100%       | 7,00 | 16,00  | 9   | 22  | TRUE |
| 100                           | 0%   | 0,02  | 0%   | 0,01            | 3%    | 1,12  | 100%       | 7,00 | 8,15   | 6   | 15  | TRUE |
| 200                           | 0%   | 0,01  | 0%   | 0,00            | 1%    | 0,26  | 100%       | 7,00 | 7,27   | 4   | 9   | TRUE |
| PAN                           | 0%   | 0,00  | 0%   | 0,00            | 0%    | 0,00  | 100%       | 7,00 | 7,00   |     |     |      |



Gambar 2.. Grafik Komposisi Agregat

Sumber : Olahan Data Penulis, 2024

$$CA = 100 - \text{Tertahan No.4}$$

$$= 100 - 56,79$$

$$= 43,21$$

$$FA = \text{Tertahan No.4} - \text{Tertahan No.100}$$

$$= 56,79 - 8,15$$

$$= 48,64$$

$$FF = \text{Lolos Saringan No.200}$$

$$= 7,00$$

$$\begin{aligned}
 P_b &= (0,035 \times CA) + (0,045 \times FA) + (0,18 \times FF) + K \\
 &= (0,035 \times 43,21) + (0,18 \times 48,64) + (0,18 \times 7,00) + 0,5 \\
 P_b &= 5,5
 \end{aligned}$$

Tabel 7. Kadar Aspal Rencana (Penulis, 2024)

| Pb – 1% | Pb – 0,5% | Pb  | Pb + 0,5% | Pb + 1% |
|---------|-----------|-----|-----------|---------|
| 4,5     | 5         | 5,5 | 6         | 6,5     |

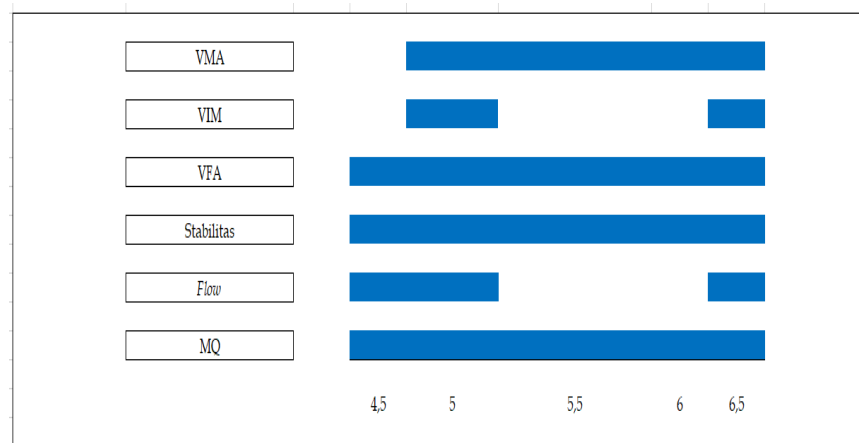
Dari hasil perhitungan diatas, kadar aspal rencana ditemukan sebesar 5,5%. Langkah selanjutnya membuat benda uji dengan variasi kadar aspal rencana 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%.

#### 4.2.1 Pengujian Marshall Untuk Mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Untuk memperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) dilakukan perhitungan parameter *Marshall* yaitu stabilitas, VIM, VMA, VFB, *flow*, MQ. Hasil dari parameter diatas digambarkan dalam grafik hubungan antara kadar aspal dan parameter *Marshall*. Dari grafik didapatkan rentang kadar aspal yang memenuhi semua persyaratan, sehingga nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat ditentukan dari nilai tengah rentang kadar aspal tersebut. Berikut hasil pengujian Marshall untuk mendapatkan KAO beserta grafik.

Tabel 8. Hasil Pengujian *Marshall* (Penulis, 2025)

| Parameter  | Syarat     | Kadar Aspal |        |        |        |        |
|------------|------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
|            |            | 4,5%        | 5%     | 5,5%   | 6%     | 6,5%   |
| VMA        | Min.15     | 15,14       | 15,28  | 16,77  | 16,36  | 15,04  |
| VIM        | 3%-5%      | 2,65        | 3,23   | 5,48   | 5,70   | 4,24   |
| VFA        | Min.65     | 82,52       | 78,88  | 67,34  | 65,17  | 71,82  |
| Stabilitas | ≥800 kg    | 983,9       | 1024,8 | 1024,0 | 1019,8 | 1120,8 |
| Flow       | 2-4 mm     | 2,3         | 2,2    | 1,8    | 1,5    | 4,0    |
| MQ         | ≥250 kg/mm | 426,5       | 473,7  | 568,9  | 665,1  | 278,8  |



Gambar 3. Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO) (Penulis, 2025)

KAO = 5%

Berdasarkan dari hasil pengujian marshall pada Tabel 8 dan Grafik 2, menunjukkan bahwa kadar 5% dan 6,5% telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Akan tetapi, kadar aspal optimum yang dipakai adalah 5% dikarenakan agar menghemat penggunaan aspal baru. Sesuai dengan parameter *Marshall* yang telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 pada kadar 5% dengan nilai stabilitas sebesar 1024,8 kg, nilai VIM sebesar 3,23%, nilai VMA sebesar 15,28%, nilai VFA sebesar 78,88%, nilai *flow* sebesar 2,2 mm, dan nilai marshall quotient (MQ) sebesar 473,7 kg/mm.



#### 4.3 Pengaruh Substitusi RAP dan Abu Batu Terhadap Karakteristik Marshall

RAP yang sudah dihancurkan menggunakan palu disaring sebanyak-banyaknya menggunakan alat saringan dan diambil agregat halusanya saja atau hanya saringan no.8, no.16, no.30, no.50, no.100, no.200 saja. Sedangkan agregat kasar dan halus yang baru sudah disaring sebanyak-banyaknya saat persiapan pengujian untuk mencari kadar aspal optimum (KAO).

Variasi untuk pencampuran RAP sebagai agregat halus menggunakan 5 variasi diantaranya; 0% RAP – 100% Agregat Halus, 25% RAP – 75% Agregat Halus, 50% RAP – 50% Agregat Halus, 75% RAP – 25% Agregat Halus, 100% RAP – 0% Agregat Halus. Masing-masing variasi menggunakan 3 benda uji, baik pengujian *Marshall Standart* (30 menit) maupun *Marshall Immersion* (24 jam).

**Tabel 9.** Penentuan Benda Uji Dengan Variasi-Variasi Untuk Pemeriksaan *Marshall Standard* Menggunakan KAO (Penulis, 2025)

| Variasi                    | Benda Uji<br>30 Menit |
|----------------------------|-----------------------|
| RAP 0% +Agregat Halus 100% | 3 buah                |
| RAP 25%+Agregat Halus 75%  | 3 buah                |
| RAP 50%+Agregat Halus 50%  | 3 buah                |
| RAP 75%+Agregat Halus 25%  | 3 buah                |
| RAP 100%+Agregat Halus 0%  | 3 buah                |
| <b>Total</b>               | <b>15 buah</b>        |

**Tabel 10.** Penentuan Benda Uji Dengan Variasi-Variasi Untuk Pemeriksaan *Marshall Immersion* Menggunakan KAO (Penulis, 2025)

| Variasi                   | Benda Uji<br>24 Jam |
|---------------------------|---------------------|
| RAP 0%+Agregat Halus 100% | 3 buah              |
| RAP 25%+Agregat Halus 75% | 3 buah              |
| RAP 50%+Agregat Halus 50% | 3 buah              |
| RAP 75%+Agregat Halus 25% | 3 buah              |
| RAP 100%+Agregat Halus 0% | 3 buah              |
| <b>Total</b>              | <b>15 buah</b>      |

Merujuk pada Tabel 15 dan Tabel 16 benda uji yang dipersiapkan sebanyak 30 benda uji.

##### 4.3.1 *Marshall Standart dan Marshall Immersion*

###### a. *Marshall Standart*

Melakukan pengujian mutu dari campuran yang dibuat dengan alat *Marshall*. Terdapat beberapa benda uji yang telah dibuat dengan variasi kadar aspal yang berbeda dari setiap campuran yang dibuat, oleh karena itu ditentukan kadar aspal optimum yang dapat memenuhi spesifikasi mutu campuran. Spesifikasi untuk campuran aspal berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 dan AASTHO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Berikut hasil pengujian *Marshall Standart* dan grafik.

**Tabel 11.** *Marshall Standart* Dengan Rendaman 30 Menit (Penulis, 2025)

| No | Karakteristik Campuran | KAO 5%                            |                                      |                                      |                                      |                                      | Spesifikasi |
|----|------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------|
|    |                        | 0% RAP<br>– 100%<br>Agregat Halus | 25%<br>RAP –<br>75%<br>Agregat Halus | 50%<br>RAP –<br>50%<br>Agregat Halus | 75%<br>RAP –<br>25%<br>Agregat Halus | 100%<br>RAP –<br>0%<br>Agregat Halus |             |
| 1  | Stabilitas             | 963,8                             | 869,0                                | 982,6                                | 1073,3                               | 942,0                                | Min. 800    |
| 2  | Kelelehan              | 2,1                               | 2,1                                  | 2,6                                  | 1,6                                  | 2,8                                  | 2 – 4       |
| 3  | VIM                    | 4,98                              | 4,73                                 | 3,74                                 | 11,12                                | 14,78                                | 3 – 5       |
| 4  | VMA                    | 16,84                             | 18,38                                | 15,23                                | 20,58                                | 18,35                                | Min. 15     |
| 5  | VFA                    | 70,44                             | 74,26                                | 75,41                                | 45,98                                | 19,48                                | Min. 65     |
| 6  | <i>Marshall</i>        | 451,8                             | 409,3                                | 381,4                                | 685,1                                | 339,2                                | Min. 250    |

| No | Karakteristik Campuran | KAO 5%           |                  |                  |                  |                  | Spesifikasi |
|----|------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|
|    |                        | 0% RAP           | 25%              | 50%              | 75%              | 100%             |             |
|    |                        | RAP –<br>– 100%  | RAP –<br>75%     | RAP –<br>50%     | RAP –<br>25%     | RAP –<br>0%      |             |
|    |                        | Agregat<br>Halus | Agregat<br>Halus | Agregat<br>Halus | Agregat<br>Halus | Agregat<br>Halus |             |
|    |                        | Quotient         |                  |                  |                  |                  |             |

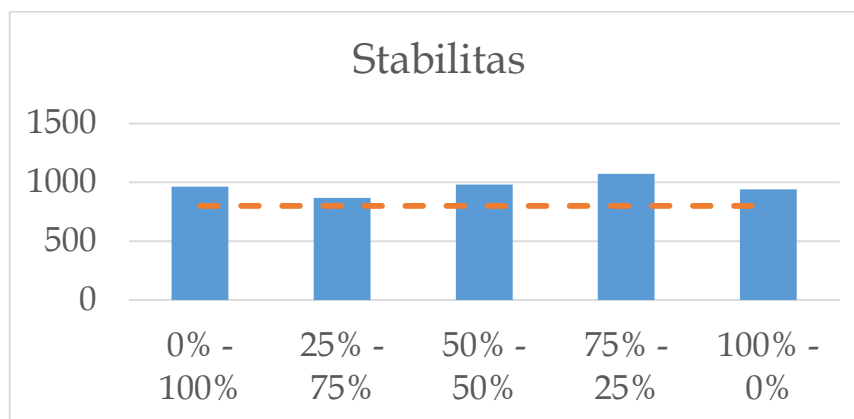
Merujuk pada Tabel 17, menunjukkan bahwa variasi substitusi 0% RAP - 100% Agregat Halus, 25% RAP – 75% Agregat Halus, dan 50% RAP – 50% Agregat Halus dengan kadar aspal 5% memiliki hasil yang baik sesuai dengan parameter *Marshall* yang telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

#### 1. Pengaruh Substitusi RAP dan *Filler* Abu Batu Terhadap Nilai Stabilitas 30 Menit

Stabilitas merupakan kemampuan lapis keras untuk menahan perubahan akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan bentuk (Mustofa, 2016).

**Tabel 12.** *Stability* (Stabilitas) 30 Menit (Penulis, 2025)

| Stabilitas          |  |        |      |
|---------------------|--|--------|------|
| RAP - Agregat Halus |  | Hasil  | Min. |
| 0% - 100%           |  | 963    | 800  |
| 25% - 75%           |  | 869    | 800  |
| 50% - 50%           |  | 982,6  | 800  |
| 75% - 25%           |  | 1073,3 | 800  |
| 100% - 0%           |  | 942    | 800  |



**Gambar 4.** Grafik *Stability* (Stabilitas) 30 Menit (Penulis, 2025)

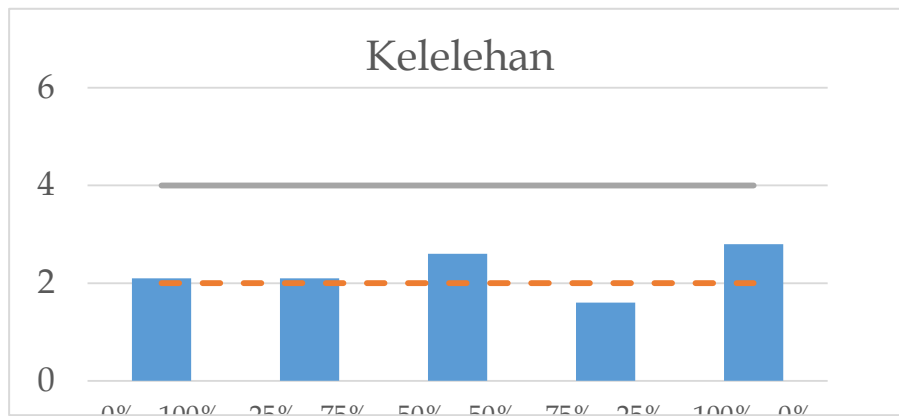
Berdasarkan pada Grafik 9 menunjukkan bahwa nilai stabilitas fluktuatif (naik-turun) dengan nilai stabilitas tertinggi sebesar 1073,3 kg pada variasi substitusi 75% RAP – 25% Agregat Halus.

#### 2. Pengaruh Substitusi RAP dan *Filler* Abu Batu Terhadap Nilai *Flow* (kelelahan) 30 Menit

*Flow* (Kelelahan) yaitu menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada suatu lapisan perkerasan akibat menahan beban yang diterima (Mustofa, 2016).

**Tabel 13.** *Flow* (Kelelahan) 30 Menit (Penulis, 2025)

| Kelelahan           |       |      |       |
|---------------------|-------|------|-------|
| RAP - Agregat Halus | Hasil | Min. | Maks. |
| 0% - 100%           | 2,1   | 2    | 4     |
| 25% - 75%           | 2,1   | 2    | 4     |
| 50% - 50%           | 2,6   | 2    | 4     |
| 75% - 25%           | 1,6   | 2    | 4     |
| 100% - 0%           | 2,8   | 2    | 4     |



**Gambar 5.** Grafik *Flow* (Kelelehan) 30 Menit (Penulis, 2025)

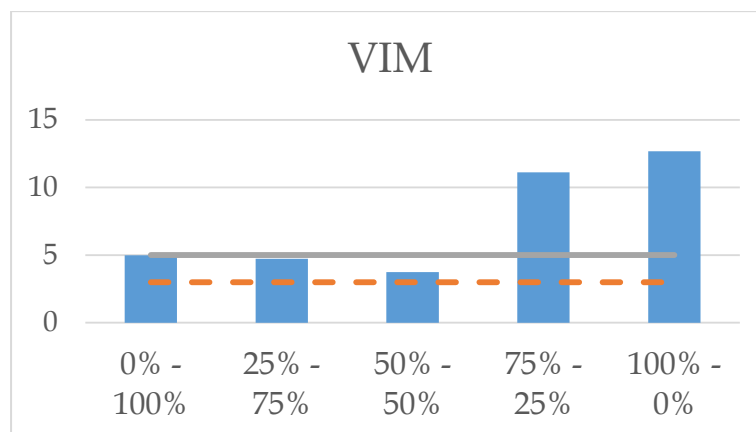
Berdasarkan pada Grafik 10 menunjukkan bahwa nilai *flow* (kelelehan) fluktuatif (naik-turun) dengan nilai *flow* tertinggi dan memenuhi sebesar 2,8 mm pada variasi substitusi 100% RAP – 0% Agregat Halus.

3. Pengaruh Substitusi RAP dan *Filler* Abu Batu Terhadap Nilai VIM 30 Menit

Nilai VIM menunjukkan banyaknya rongga yang ada dalam campuran (Mustofa, 2016).

**Tabel 14.** *Void In Mix* (VIM) 30 Menit (Penulis, 2025)

| VIM                 |       |      |       |
|---------------------|-------|------|-------|
| RAP - Agregat Halus | Hasil | Min. | Maks. |
| 0% - 100%           | 4,98  | 3    | 5     |
| 25% - 75%           | 4,73  | 3    | 5     |
| 50% - 50%           | 3,74  | 3    | 5     |
| 75% - 25%           | 11,12 | 3    | 5     |
| 100% - 0%           | 14,78 | 3    | 5     |



**Gambar 6.** Grafik *Void In Mix* (VIM) 30 Menit (Penulis, 2025)

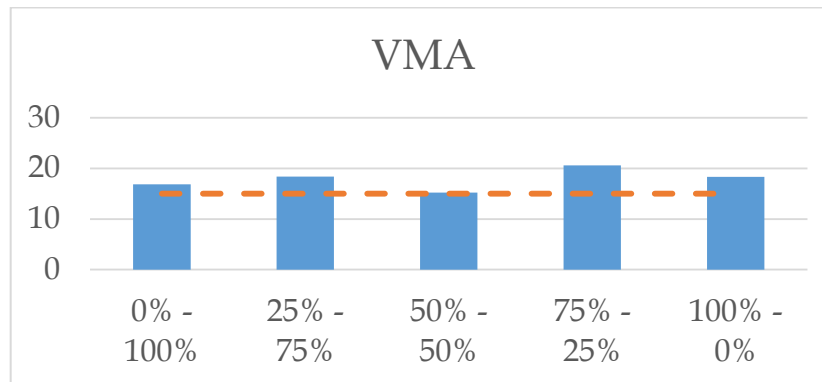
Berdasarkan pada Grafik 11 menunjukkan bahwa nilai VIM fluktuatif (naik-turun) dengan nilai VIM tertinggi dan memenuhi sebesar 4,98% pada variasi substitusi 0% RAP – 100% Agregat Halus.

4. Pengaruh Substitusi RAP dan *Filler* Abu Batu Terhadap Nilai VMA 30 Menit

Nilai VMA menunjukkan besarnya rongga dalam agregat yang dinyatakan dalam presentase. Besarnya nilai VMA berpengaruh terhadap besarnya aspal yang mengisi (Mustofa, 2016).

**Tabel 15.** *Void In Mineral Aggregate (VMA) 30 Menit (Penulis, 2025)*

| VMA                 |       |      |
|---------------------|-------|------|
| RAP - Agregat Halus | Hasil | Min. |
| 0% - 100%           | 16,84 | 15   |
| 25% - 75%           | 18,38 | 15   |
| 50% - 50%           | 15,23 | 15   |
| 75% - 25%           | 20,58 | 15   |
| 100% - 0%           | 18,35 | 15   |

**Gambar 7.** Grafik *Void In Mineral Agregate (VMA) 30 Menit (Penulis, 2025)*

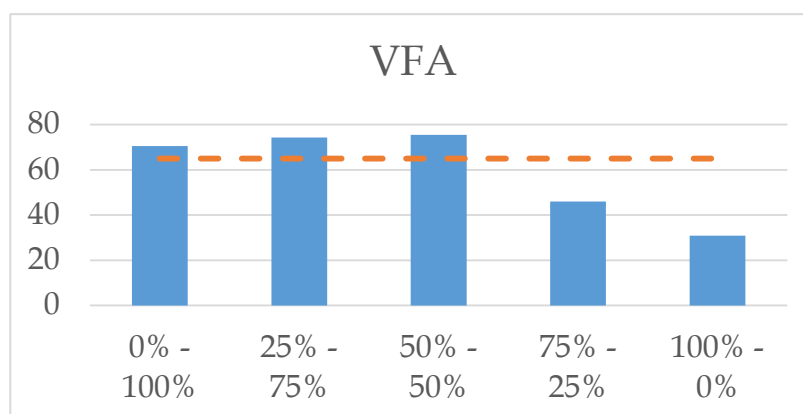
Berdasarkan pada Grafik 15 menunjukkan bahwa nilai VMA fluktuatif (naik-turun) dengan nilai VMA tertinggi sebesar 20,58% pada variasi substitusi 75% RAP – 25% Agregat Halus.

#### 5. Pengaruh Substitusi RAP dan *Filler* Abu Batu Terhadap Nilai VFA 30 Menit

Nilai VFA menunjukkan besarnya rongga dalam campuran yang terisi oleh aspal dinyatakan dalam prosentase. Besarnya nilai VFA berpengaruh terhadap keawetan perkerasan, bertambahnya VFA mengakibatkan perkerasan semakin kedap terhadap udara dan air (Mustofa, 2016).

**Tabel 16.** *Void Filled With Asphalt (VFA) 30 Menit (Penulis, 2025)*

| VFA                 |       |      |
|---------------------|-------|------|
| RAP - Agregat Halus | Hasil | Min. |
| 0% - 100%           | 70,44 | 65   |
| 25% - 75%           | 74,26 | 65   |
| 50% - 50%           | 75,41 | 65   |
| 75% - 25%           | 45,98 | 65   |
| 100% - 0%           | 30,91 | 65   |

**Gambar 8.** Grafik *Void Filled With Asphalt (VFA) 30 Menit (Penulis, 2025)*

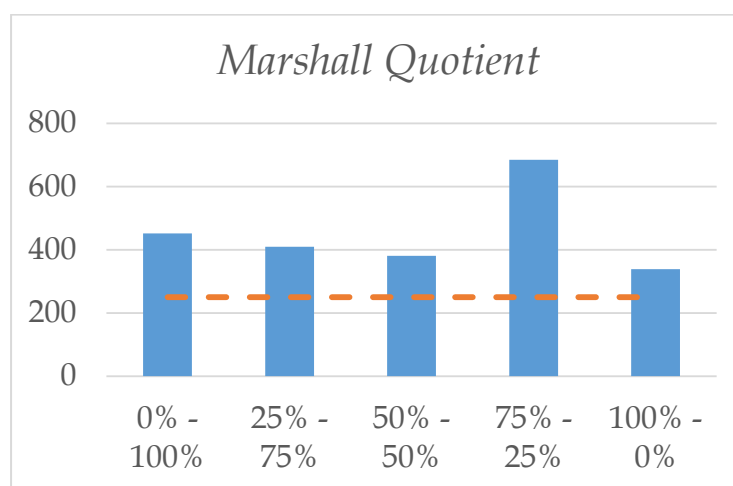
Berdasarkan pada Grafik 13 menunjukkan bahwa nilai VFA fluktuatif (naik-turun) dengan nilai VFA tertinggi dan memenuhi sebesar 75,41% pada variasi substitusi 50% RAP – 50% Agregat Halus.

6. Pengaruh Substitusi RAP dan *Filler* Abu Batu Terhadap Nilai Marshall Quotient (MQ) 30 Menit

Faktor yang mempengaruhi nilai MQ adalah stabilitas dan *flow*. Campuran yang mempunyai nilai MQ rendah berarti nilai stabilitasnya rendah disertai nilai *flow* yang tinggi, sehingga campuran tersebut akan mengalami deformasi yang cukup tinggi pada saat menerima beban lalu lintas. Sebaliknya pada campuran yang memiliki nilai MQ tinggi maka nilai stabilitasnya tinggi disertai nilai *flow* yang rendah, sehingga campuran akan menjadi getas/kaku dan bila menerima beban lalu lintas akan mudah mengalami retak (Mustofa 2016).

**Tabel 17.** *Marshall Quotient (MQ) 30 Menit (Penulis, 2025)*

| <i>Marshall Quotient</i> |       |      |
|--------------------------|-------|------|
| RAP - Agregat Halus      | Hasil | Min. |
| 0% - 100%                | 451,8 | 250  |
| 25% - 75%                | 409,3 | 250  |
| 50% - 50%                | 381,4 | 250  |
| 75% - 25%                | 685,1 | 250  |
| 100% - 0%                | 339,2 | 250  |



**Gambar 9.** Grafik *Marshall Quotient (MQ) 30 Menit (Penulis, 2025)*

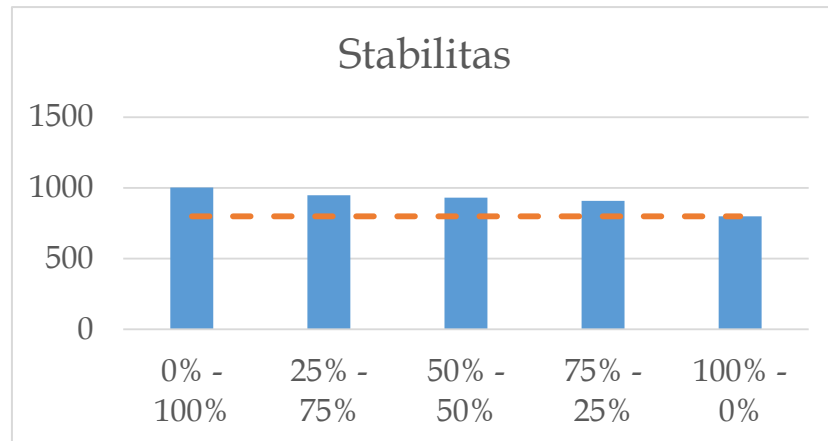
Berdasarkan pada Grafik diatas menunjukkan bahwa nilai MQ fluktuatif (naik-turun) dengan nilai MQ tertinggi sebesar 685,1 kg/mm pada variasi substitusi 75% RAP – 25% Agregat Halus dan nilai MQ terendah sebesar 339,2 kg/mm pada variasi substitusi 100% RAP – 0% Agregat Halus.

b. *Marshall Immersion*

Pengujian perendaman *Marshall Immersion* merupakan pengujian untuk mengetahui durabilitas/indeks kekuatan sisa (IKS) campuran beraspal. Dalam pengujian ini, campuran diukur kinerja ketahanannya pada air panas dengan temperatur 60 *celcius* selama 24 jam. Hal ini mengidentifikasikan bahwa campuran tersebut cukup rentan terhadap pengaruh air dan temperatur. Nilai ini dinyatakan dengan nilai stabilitas sisa yang menunjukkan perilaku kelekatan antara butir-butir agregat dengan aspal di dalam campuran. Berikut hasil pengujian *Marshall Immersion*.

**Tabel 17.** Hasil Pengujian Marshall Immersion Pada Rendaman 24 Jam (Penulis, 2025)

| Variasi                     | Nilai Stabilitas (kg) | Syarat |
|-----------------------------|-----------------------|--------|
| 0% RAP – 100% Agregat Halus | 1002,5                | 800 kg |
| 25% RAP – 75% Agregat Halus | 947,5                 |        |
| 50% RAP – 50% Agregat Halus | 931                   |        |
| 75% RAP – 25% Agregat Halus | 909,2                 |        |
| 100% RAP – 0% Agregat Halus | 800,1                 |        |

**Gambar 10.** Grafik Marshall Immersion (Penulis, 2025)

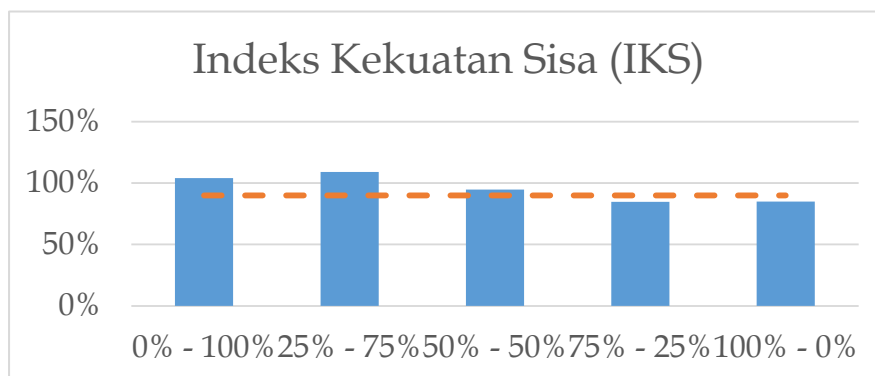
Berdasarkan pada Gambar 10 menunjukkan bahwa nilai Stabilitas 24 jam mengalami penurunan dari presentase substitusi 0% RAP – 100% Agregat Halus sampai 100% RAP – 0% Agregat Halus dengan nilai Stabilitas tertinggi sebesar 1002,5 kg pada variasi substitusi 0% RAP – 100% Agregat Halus.

#### 4.4 Indeks Kekuatan Sisa (IKS) Yang Paling Optimal

Indeks kekuatan sisa adalah perbandingan antara stabilitas perendaman 30 menit dan stabilitas perendaman 24 jam yang dinyatakan dalam persen (%). IKS digunakan untuk menentukan kekuatan beton aspal yang dinyatakan dengan nilai stabilitas akibat penurunan kekuatan benda uji akibat kerusakan oleh air. Berikut hasil Indeks Kekuatan Sisa (IKS) dan grafik.

**Tabel 18.** Indeks Kekuatan Sisa (IKS) Yang Paling Optimal (Penulis, 2025)

| % RAP - %Agregat Halus      | Stabilitas       |        | IKS (%) |
|-----------------------------|------------------|--------|---------|
|                             | Waktu Perendaman |        |         |
|                             | 30 menit         | 24 jam |         |
| 0% RAP - 100% Agregat Halus | 963,8            | 1002,5 | 104     |
| 25% RAP - 75% Agregat Halus | 869              | 947,5  | 109     |
| 50% RAP - 50% Agregat Halus | 982,6            | 931    | 94,7    |
| 75% RAP - 25% Agregat Halus | 1073,3           | 909,2  | 84,7    |
| 100% RAP - 0% Agregat Halus | 942              | 800,1  | 84,9    |



**Gambar 11.** Grafik Indeks Kekuatan Sisa (IKS) (Penulis, 2025)

Berdasarkan Grafik 4.16 terlihat bahwa nilai IKS tertinggi sebesar 109% pada variasi 25% RAP – 75% Agregat Halus. Sehingga kadar aspal dan material substitusi dengan IKS yang paling optimal terdapat pada variasi 25% RAP – 75% Agregat Halus.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium Jalan dan Transportasi Universitas Negeri Surabaya, dapat disimpulkan bahwa karakteristik material penyusun campuran AC-WC yang terdiri dari RAP, aspal baru, agregat kasar, agregat halus, dan filler abu batu telah memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Pengaruh substitusi RAP dan *Filler* Abu Batu terhadap karakteristik *Marshall* pada *Marshall Standart* maupun *Marshall Immersion* yang telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 dan paling optimum terdapat pada variasi 50% RAP – 50% Agregat Halus dengan nilai stabilitas sebesar 982,6 kg, *flow* (kelelehan) sebesar 2,6 mm, VIM sebesar 3,74%, VMA sebesar 15,23%, VFA sebesar 75,41%, dan MQ sebesar 381,4 kg/mm. Lebih lanjut, indeks Kekuatan Sisa (IKS) yang paling optimal terdapat pada variasi 25% RAP – 75% agregat halus dengan nilai 109%, karena semakin besar persentase RAP, maka semakin menurunkan nilai IKS.

Berikutnya, terdapat beberapa saran yang bisa dipertimbangkan berdasarkan hasil penelitian ini, yakni penggunaan kadar RAP yang disarankan menurut penelitian yang telah dilakukan adalah sebesar 25% hingga 50% jika dilakukan penambahan bahan peremaja sesuai dengan karakteristik yang sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Pada penelitian selanjutnya bisa melakukan pengujian sifat fisik RAP dengan cara penetrasi, daktilitas, titik nyala, titik bakar, dan setelah kehilangan berat (SKB). Penelitian pada RAP juga harus diperhatikan karena masih mengabaikan dari proses pengambilan RAP karena tidak tahu asal dari RAP tersebut yang memungkinkan kandungan RAP tersebut untuk permukaan yang dapat memengaruhi campuran dengan agregat baru untuk memperoleh suatu perkerasan yang baik dan mampu diterapkan di lapangan.

## 6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Purwo Mahardi, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing dan Bapak Ali Mustain, S.T. selaku teknisi Laboratorium Jalan dan Transportasi Universitas Negeri Surabaya atas bimbingan serta bantuan teknis selama proses penelitian. Penulis juga berterima kasih kepada rekan-rekan yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini.

## 7. Referensi

- Anggraini, R., Hidayat, D., & Syafrudin, A. (2020). Karakteristik campuran AC-WC menggunakan material Reclaimed Asphalt Pavement dengan tambahan aspal Pen 60/70 yang disubstitusi styrofoam. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*.
- Bethary, R. T., & Dewi, E. (2016). *Kinerja campuran lapis aus (AC-WC) yang memakai material RAP dan slag sebagai bahan pengganti agregat* (Skripsi). Universitas Islam Indonesia.



- Fadlan Hawari, L. L. (2021). Analisis pengaruh penggantian filler abu sawit fly ash dan bottom ash terhadap karakteristik perkerasan lentur (AC-WC). *Jurnal TekLa*.
- Hardiyatmo, C. H. (2007). *Pemeliharaan jalan raya*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Kafabihi, B. W., & Afwan, A. (2020). Penggunaan aspal Buton pada campuran AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course). *E-Journal Gelagar*.
- Krebs, R. D., & Walker, R. D. (1971). *Highway materials*. New York: McGraw-Hill.
- Pasayu, N., Satria, D., & Ervani, A. (2023). Analisis kinerja campuran RAP terhadap karakteristik Marshall pada campuran AC-WC. *Jurnal Teknik Sipil Terapan*.
- Permana, A. B. (2019). *Analisa campuran AC-WC Pen 60/70 dengan agregat Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan filler abu batu sebagai campuran untuk penambahan Low Density Polyethylene (LDPE)*. Universitas Negeri Surabaya.
- Prayuda, T. A. (2019). *Pengaruh oli bekas sebagai bahan peremaja Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) terhadap karakteristik campuran Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11 dengan selulosa serabut kelapa (Skripsi)*. Universitas Islam Indonesia.
- Putra, D. P. (2019). *Analisa campuran AC-WC dengan agregat Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan filler abu batu sebagai campuran untuk penambahan plastik High Density Polyethylene (HDPE)*. Universitas Negeri Surabaya.
- Putri, A. D. (2019). *Pemakaian limbah aspal sebagai substitusi agregat pada campuran aspal porus (Skripsi)*. Universitas Negeri Surabaya.
- Setiawan, T. (2023). *Pemanfaatan limbah perkerasan aspal (Reclaimed Asphalt Pavement) sebagai bahan pengganti agregat 5–10 pada campuran HRS–Base (Hot Rolled Sheet–Base) terhadap karakteristik Marshall*. Institut Teknologi Nasional.
- Sukirman, S. (2003). *Beton aspal campuran panas*. Bandung: Nova.
- Widayanti, A., Rachmawati, A., & Anggraeni, R. (2017). Karakteristik material pembentuk Reclaimed Asphalt dari Jalan Nasional di Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Manajemen Aset & Infrastruktur Fasilitas*.
- Widayanti, A. R. (2018). Kinerja campuran aspal beton dengan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dari Jalan Nasional di Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*.
- Widayanti, A. R. (2020). Analisis pemanfaatan zat aditif pada Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) untuk lapisan beton aspal. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*.
- Winarno, B., & Cahyono, K. (2020). *Pengaruh abu batu sebagai filler terhadap kinerja aspal beton AC-WC pada test Marshall (Skripsi)*. Universitas Kediri.
- Winarti, S. A., & Sugiyanto, J. (2024). Karakteristik Marshall pada perkerasan aspal AC-WC menggunakan substitusi pada Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). *Jurnal Inersia*.