

PENGARUH PENAMBAHAN ASPAL TERHADAP STABILITAS MARSHALL PADA MATERIAL RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) DI RUAS JALAN JENDERAL SUDIRMAL–RIJALI KOTA AMBON

Yumin Masri^{1*}, Vera Th. C. Siahaya², Penina T Istia³

Politeknik Negeri Ambon, Indonesia

Email: yumin.masri.2000@gmail.com^{1*}, verasiahaya6@gmail.com²,

penina.istia@gmail.com³

*Correspondence

INFO ARTIKEL	ABSTRAK
Diterima : 04-05-2023	<p>Pemeliharaan jalan dilakukan dengan menggunakan Cold Milling Machine (CMM) untuk menghilangkan lapisan jalan yang rusak dan memperbaiki nilai permukaan jalan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sifat-sifat campuran aspal beton yang menggunakan kembali material Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) yang diekstraksi dan dicampur dengan agregat dan Aspal Pen 60/70 baru, sehingga menghasilkan campuran dengan performa yang baik. Metode eksperimen dilakukan di laboratorium, dengan melakukan pengujian Marshall untuk mendapatkan nilai stabilitas dan kekekatannya. Pengujian dilakukan dengan membaca nilai pada alat Marshall. Pengujian yang akan dilakukan mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018. Hasil dari penelitian diperoleh nilai karakteristik campuran beraspal daur ulang AC-WC dengan penggunaan material Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) 20% dan penambahan aspal Pen 60/70. Berdasarkan hasil analisis terhadap penggunaan material RAP 20% dengan formulasi batu pecah 10/20 = 19,10%, batu pecah 5/10 = 32%, pasir = 20%, abu batu 8,9% dan lima variasi kadar aspal Pen 60/70 diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) = 6%. Karakteristik campuran dengan penggunaan RAP 20% dengan nilai rata – rata yang di peroleh yaitu nilai VIM = 4,28%, nilai VMA = 15,89%, nilai VFB = 72,91%, nilai stabilitas marshall = 1.067,43 kg, nilai flow = 3.56 mm, nilai marshall Quotient = 301,91 kg/mm dan memenuhi batas spesifikasi Bina Marga 2018 untuk campuran laston AC-WC.</p>
Direvisi : 17-06-2023	
Disetujui : 21-05-2023	
Kata kunci: RAP; AC-WC; KAO.	<p>ABSTRACT</p> <p><i>Road maintenance is carried out using a Cold Milling Machine (CMM) to remove damaged road layers and improve road surface grades. This study aims to evaluate the properties of asphalt concrete mixtures that reuse Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) material extracted and mixed with aggregate and new Pen 60/70 Asphalt, so as to produce mixtures with good performance. The experimental method was carried out in the laboratory, by conducting Marshall testing to obtain stability and adhesion values. The test is carried out by reading the value on the Marshall tool. The tests to be carried out refer to the 2018 Bina Marga Specifications. The results of the study obtained the characteristic value of the AC-WC recycled asphalt mixture with the use of 20% Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) material and the addition of Pen 60/70 asphalt. Based on the results of the analysis of the use of 20% RAP material with the formulation of crushed stone 10/20 = 19.10%, crushed stone 5/10 = 32%, sand = 20%, stone ash 8.9% and five variations of Pen 60/70 asphalt content, the Optimum Asphalt Content (KAO) = 6% was obtained. The characteristics of the mixture with the use of 20% RAP with the average values obtained are VIM value = 4.28%, VMA value = 15.89%, VFB value = 72.91%, marshall stability value = 1,067.43 kg, flow value = 3.56 mm, marshall Quotient value = 301.91 kg/mm and meets the Bina Marga 2018 specification limit for</i></p>
Keywords: RAP; AC-WC; KAO.	



Pendahuluan

Kegiatan proyek preservasi jalan pulau Ambon tahun anggaran 2021 mengalokasikan pekerjaan bongkaran lapis permukaan untuk perbaikan nilai daerah permukaan jalan (Hakim, 2019). Penggunaan alat Cold Milling Machine (CMM) digunakan untuk melakukan pekerjaan pembongkaran pada Jalan Jenderal Sudirman–Rijali di Kota Ambon (Fitri, Saleh, & Isya, 2018). Jalan tersebut mengalami kerusakan pada beberapa daerah permukaan sepanjang jalan, kerusakan tersebut antara lain retak-retak, bleeding dan deformasi (Firdaus, 2020). Untuk memperbaiki kerusakan pada lapisan jalan, dilakukan penggunaan alat Cold Milling Machine (CMM) untuk melakukan pembongkaran permukaan jalan yang rusak. Hasil pembongkaran ini menghasilkan limbah yang disebut sebagai Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), yang belum dimanfaatkan secara optimal (Arlia, Saleh, & Anggraini, 2018).

Dalam pembangunan perkerasan, agregat yang telah digunakan sebelumnya dalam jalan yang rusak dapat dipulihkan melalui proses daur ulang. Agregat tersebut dapat dicampur dengan aspal dan agregat berkualitas tinggi untuk menghasilkan campuran yang memiliki kinerja yang optimal (Meilani & Kurnia, 2019). Dari sumber limbah agregat dan deposit material alam yang setiap tahunnya semakin menipis, maka diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai pemanfaatan limbah bongkaran aspal (Reclaimed Asphalt Pavement) untuk di daur ulang menjadi campuran aspal yang memenuhi spesifikasi Bina Marga untuk pemanfaatan yang optimal dan sebagai bagian dari upaya menjaga keseimbangan lingkungan yang berkelanjutan (Al Ambia & Sulaiman, 2022).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menciptakan suatu formula campuran aspal beton yang memanfaatkan bahan daur ulang dari Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dengan menggunakan Cold Milling Machine (CMM). Hal ini bertujuan untuk mengurangi penggunaan material baru dalam konstruksi (Khairani, Saleh, & Sugiarto, 2018).

1. *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*

RAP adalah material bekas yang tersisa dari lapisan perkerasan jalan yang telah digunakan. Proses mendapatkan RAP dilakukan dengan menggunakan alat pengeruk aspal yang disebut Cold Milling Machine (CMM) untuk mengangkat lapisan perkerasan lama (Rif'an, 2016).

2. *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)*

AC-WC adalah tipe campuran laston yang memiliki gradasi agregat yang terus-menerus, yang artinya campuran tersebut mengandung butiran agregat dari ukuran kasar hingga halus (Winarno, 2020). Campuran AC-WC memiliki struktur agregat yang lebih padat daripada campuran bergradasi linier, sehingga campuran tersebut lebih sensitif

terhadap perubahan proporsi dalam komposisi campuran (Martina, Hasan, & Setiawan, 2019).

3. Bahan – Bahan Penyusun Perkerasan Jalan

Bahan penyusun lapis aspal beton tersusun dari agregat kasar, agregat halus, filler, dan aspal keras (Gunarto & Candra, 2019).

4. Karakteristik Campuran Beraspal

Aspal beton campuran panas harus memenuhi sejumlah karakteristik penting, seperti kecenderungan untuk fleksibel, tahan terhadap infiltrasi air, memiliki kekuatan dan daya tahan terhadap gesekan, mudah diaplikasikan, dan mampu bertahan dalam kondisi lingkungan yang beragam (Anggraini, 2017).

5. Teknik Daur Ulang

Penerapan teknik daur ulang bertujuan untuk mengurangi penggunaan sumber daya alam seperti agregat dan aspal. Dalam sistem daur ulang, terdapat dua pendekatan umum yang sering dilakukan *in Situ Recycling* dan *In Plant Recycling*.

6. Pengujian Ekstraksi Aspal

Tujuan dari proses ekstraksi adalah untuk menentukan kadar aspal dalam campuran aspal yang dibuat melalui mix design. Proses ini menggunakan alat ekstraktor sentrifugal yang menggunakan bensin sebagai pelarut. Rumus yang digunakan untuk menghitung ekstraksi aspal adalah sebagai berikut:

$$H = \frac{(A - (E + D))}{A} \times 100\%$$

Keterangan:

- H : Kadar aspal sampel (%)
A : Berat sampel sebelum ekstraksi (gr)
D : Berat masa dari kertas filter (gr)
E : Berat sampel setelah ekstraksi (gr)

7. Pengujian Ekstraksi Aspal

Pengujian Marshall dilakukan untuk mengukur kekuatan (stabilitas) campuran agregat dan aspal dalam menghadapi deformasi plastis (flow). Secara keseluruhan, proses pengujian Marshall mencakup langkah-langkah sebagai berikut:

1. Persiapan sampel uji
2. Penentuan berat jenis bulk sampel uji
3. Evaluasi nilai stabilitas dan flow
4. Perhitungan karakteristik volumetrik sampel uji

Dengan demikian, penelitian ini memberikan manfaat dalam pengurangan penggunaan sumber daya alam, pengelolaan limbah yang lebih baik, penghematan biaya, peningkatan kinerja perkerasan jalan, dan peningkatan keberlanjutan infrastruktur jalan (Mustofa & Sunarjono, 2016).

Metode Penelitian

1. Jenis Data

- a. Data Primer

Data yang diperoleh atau dikumpulkan secara langsung melalui serangkaian eksperimen atau pengujian yang dilakukan di laboratorium mencakup pengujian gradasi agregat dan pengujian Marshall.

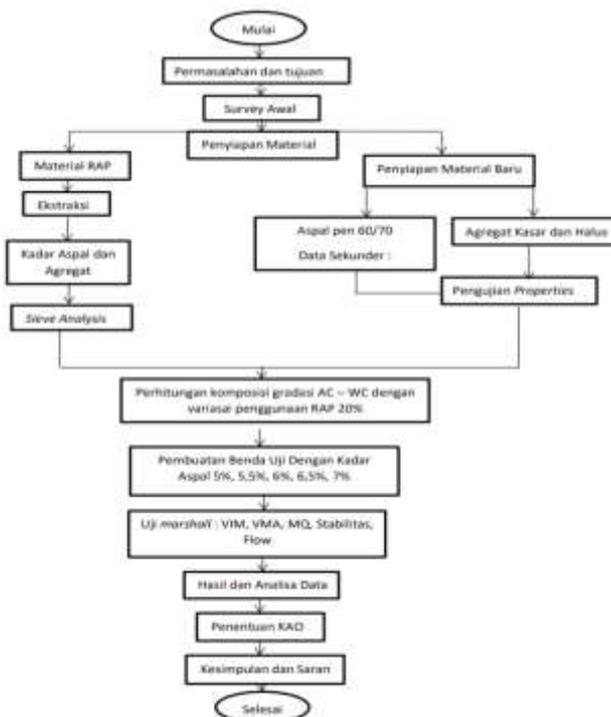
b. Data Sekunder

Data ini diperoleh dari PT. Bilian Raya yaitu data Job Mix Formula (JMF) untuk digunakan dalam perhitungan data Marshall.

2. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dengan menggunakan metode eksperimen pengamatan secara langsung terhadap beberapa benda uji dari berbagai kondisi perlakuan yang diuji di laboratorium.

Diagram Alur Penelitian



Gambar 1
Bagan Alir Penelitian

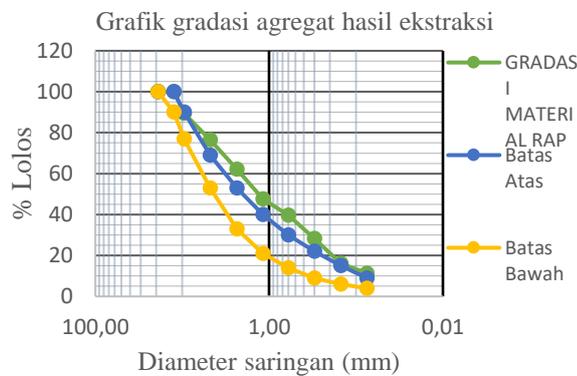
Gambar 1, menunjukkan alur penelitian yang terdiri dari penyiapan material RAP dan material baru, pengujian bahan; pengujian material RAP, pengujian properties material baru (agregat dan aspal), perencanaan campuran untuk pembuatan benda uji menggunakan material RAP 20%, variasi aspal pen 60/70 5% sampai 70% dan pengujian Marshall. Pengolahan data menghitung nilai stabilitas dan karakteristik campuran pada variasi kadar aspal untuk menentukan nilai kadar aspal optimum (KAO).

Hasil dan Pembahasan

1. Pengujian Material RAP

Hasil pengujian ekstraksi material RAP pada penelitian ini dilakukan sebanyak 2 kali dan diperoleh kadar aspal rata-rata yang terkandung dalam campuran material RAP sebesar 4,10% .

Selama pengujian analisis saringan pada agregat yang diekstraksi dari material RAP, ditemukan bahwa gradasi agregat RAP tidak memenuhi persyaratan batas atas dan batas bawah sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2018 untuk campuran aspal jenis LASTON. Oleh karena itu, dibutuhkan penambahan agregat baru. Gambar 2 menunjukkan hasil dari analisis saringan untuk gradasi agregat yang diekstraksi tersebut.



Gambar 2. Grafik Gradasi Hasil Ekstraksi

a. Pengujian Agregat

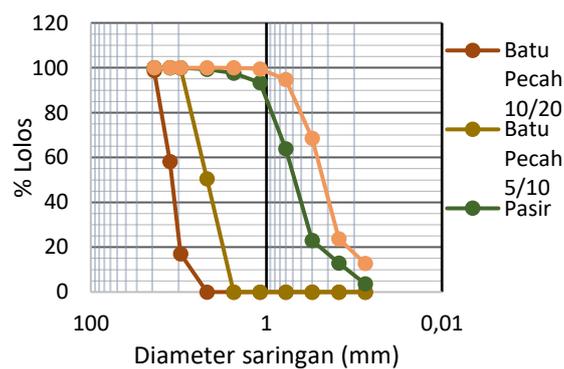
Agregat diperiksa sifat-sifat fisiknya untuk mengetahui kelayakan penggunaannya sebagai bahan campuran beton aspal (AC-WC).

Tabel 1
Hasil Pengujian Properties Agregat

No.	Pengujian	Standar	Spesifikasi	Hasil Pengujian
I	Berat Jenis Agregat Kasar	SNI 1969 – 2016		
	1 Ukuran 10/20 mm			
	a. Berat Jenis Bulk		Min. 2,5	2,54
	b. Berat Jenis SSD		Min. 2,5	2,57
	c. Berat Jenis Semu		Min. 2,5	2,62
	d. Penyerapan		Max.3	1,18
	2 Ukuran 5/10 mm			
	a. Berat Jenis Bulk		Min. 2,5	2,57
	b. Berat Jenis SSD		Min. 2,5	2,61
	c. Berat Jenis Semu		Min. 2,5	2,67
d. Penyerapan (%)	Max.3	1,52		
II	Agregat RAP Halus	SNI 1969 – 2016		
	1 Pasir			
	a. Berat Jenis Bulk		Min. 2,5	2,55
	b. Berat Jenis SSD		Min. 2,5	2,59
	c. Berat Jenis Semu		Min. 2,5	2,66
	d. Penyerapan		Max.3	1,66
	2 Abu Batu			
	a. Berat Jenis Bulk		Min. 2,5	2,52
	b. Berat Jenis SSD		Min. 2,5	2,56
	c. Berat Jenis Semu		Min. 2,5	2,63
d. Penyerapan	Max.3	1,63		
III	<i>Los angeles abrasion test</i>	SNI 03 - 2417 - 2008	Maks 40	18,46

Tabel 1, Hasil pengujian properties agregat yang telah dilakukan menunjukkan bahwa agregat yang digunakan telah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Bina Marga 2018.

Adapun hasil pengujian analisa saringan keempat jenis agregat dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Gradasi agregat

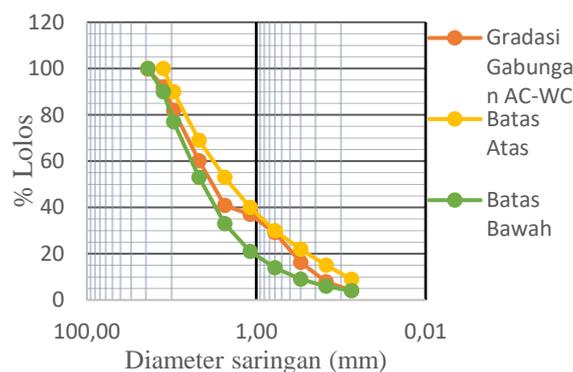
Tabel 2
Hasil pengujian Properties Aspal Pen 60/70

No.	Pengujian	Standar	Spesifikasi	Hasil Pengujian
1	Berat Jenis Titik Lembek (°C)	SNI 2441 : 2011	$\geq 1,01$	1,035
2	Penetrasi 25 °C (0,1)	SNI 2434 : 2011	≥ 48	48,9 °C
3	Diktilitas 25 °C (cm)	SNI 2456 : 2011	60 – 70	64 °C
4	Berat yang Hilang (%)	SNI 2432 : 2011 SNI 06 – 2400 – 1991	≥ 100	>140 cm
5			$\leq 0,8$	0,012 %

Tabel 2, Hasil pengujian aspal dari data Desain Mix Formula (DMF) PT. Bilian Raya telah memenuhi nilai spesifikasi Bina Marga 2018.

2. Desain Campuran Beraspal AC-WC (Mix Design)

Hasil dari campuran proporsi agregat gradasi gabungan ini menggunakan metode hail trial and error didapat komposisi agregat gabungan dengan penggunaan agregat RAP 20%. Hasil gradasi campuran dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4
Grafik Gradasi Gabungan Campuran AC-WC

Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa distribusi agregat gabungan (persentase lolos tiap saringan) berada di antara batas atas dan batas bawah. Temuan ini juga menunjukkan bahwa distribusi agregat gabungan memenuhi persyaratan standar Spesifikasi Bina Marga 2018 untuk lapisan aspal beton (Laston AC-WC).

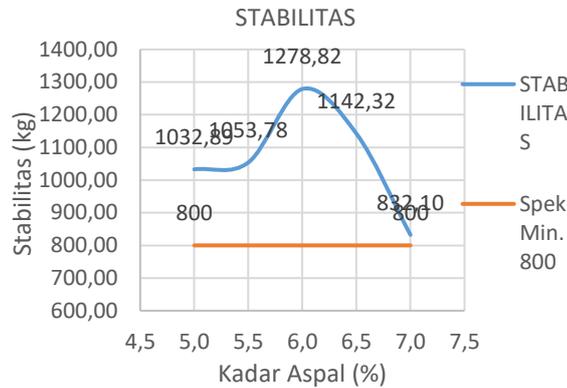
3. Komposisi Campuran Material untuk Benda Uji

Jumlah persen akumulasi agregat pada setiap fraksi yang digunakan dalam penelitian ini adalah CA sebesar 51,1%, FA sebesar 40% dan FF sebesar 8,9%. Dalam penelitian ini penggunaan kadar aspal rencana (Pb) sebesar 6%. Kombinasi penggunaan agregat RAP 20% pada penelitian ini jumlah kadar aspal terdiri dari 5 kadar aspal yaitu 5% - 7% dengan interval 0,5%. Benda uji setiap variasi persentase kadar aspal terdiri dari 15 benda uji dengan masing-masing kadar aspal memiliki 3 buah benda uji.

4. Analisa Parameter Hasil Pengujian Marshall

Analisis terhadap data Marshall didasarkan pada standar Bina Marga, dimana untuk campuran aspal beton AC – WC parameter Marshall yang dianjurkan untuk memenuhi dalam penentuan kadar aspal optimum adalah kepadatan, stabilitas, kelelahan (Flow), Marshall Quotient (MQ), VMA, VIM dan VFB.

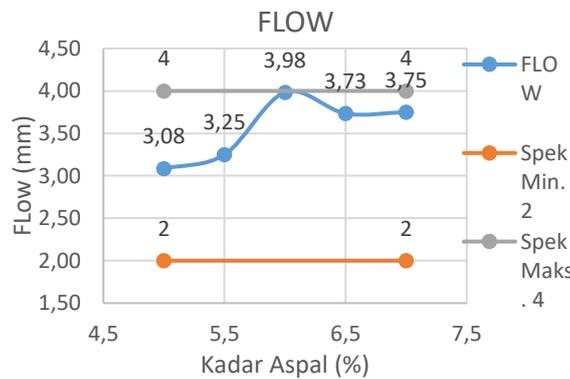
a. Pengaruh kadar aspal terhadap stabilitas campuran AC-WC



Gambar 5
Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Stabilitas

Gambar 5, Menunjukkan bahwa hasil pengujian stabilitas pada campuran AC-WC memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 dengan nilai minimal 800 kg. Nilai stabilitas Marshall tertinggi terdapat pada kadar aspal 6% dengan nilai rata-rata yaitu 1.278,82 kg.

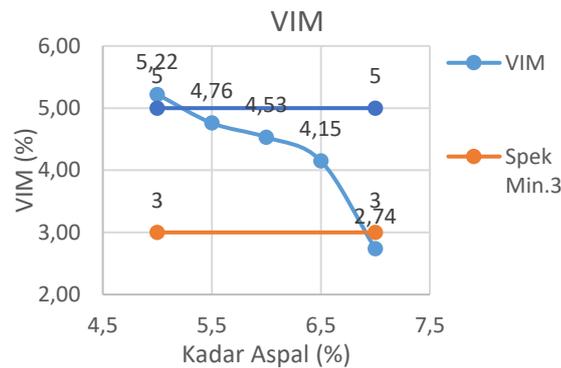
b. Pengaruh kadar aspal terhadap kelelahan (flow) campuran AC-WC



Gambar 6
Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Flow

Gambar 6, Menunjukkan bahwa hasil pengujian flow dalam campuran material RAP memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 (minimum 2 mm dan maksimum 4 mm). Terjadi peningkatan nilai flow dari kadar 5%, 5,5% dan 6% namun terjadi penurunan pada 6,5% tetapi kemudian terjadi peningkatan lagi pada 7%. Hasil pengujian flow diperoleh nilai tertinggi pada kadar aspal 6% dengan nilai rata – rata yaitu 3,98 mm.

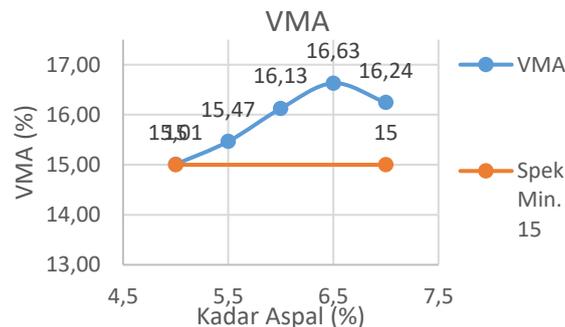
c. Pengaruh kadar aspal terhadap VIM (Void In Mix) campuran AC-WC



Gambar 7
Grafik Hubungan Kadar Aspal dan VIM

Gambar 7, Menunjukkan bahwa hasil pengujian rongga udarah dalam campuran material RAP, pada kadar aspal 5,5% sampai 6,5% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 (minimum 3% dan maksimum 5%) sedangkan kadar aspal 5% dan 7% tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 (minimum 3% dan maksimum 5%).

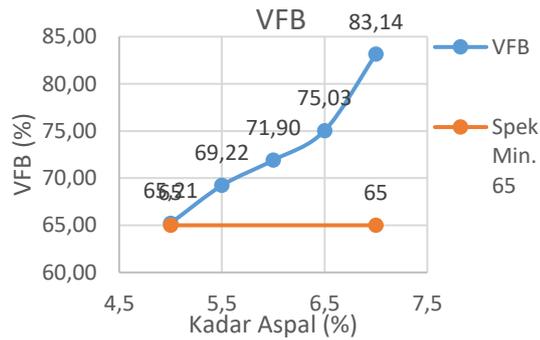
d. Pengaruh kadar aspal terhadap VMA (Void Mineral Agregate)



Gambar 8
Grafik Hubungan Kadar Aspal dan VMA

Berdasarkan Gambar 8, terlihat bahwa ketika kadar aspal ditambahkan dari 5% hingga 6,5%, terjadi peningkatan nilai VMA, namun pada kadar aspal 7% nilai VMA mengalami penurunan. Kadar aspal 6,5% memiliki nilai VIM tertinggi dengan rata-rata 16,63%. Dari Gambar 8, dapat diamati bahwa semua kadar aspal antara 5% hingga 7% memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018. Spesifikasi tersebut menetapkan batas minimum untuk nilai VMA sebesar 15%.

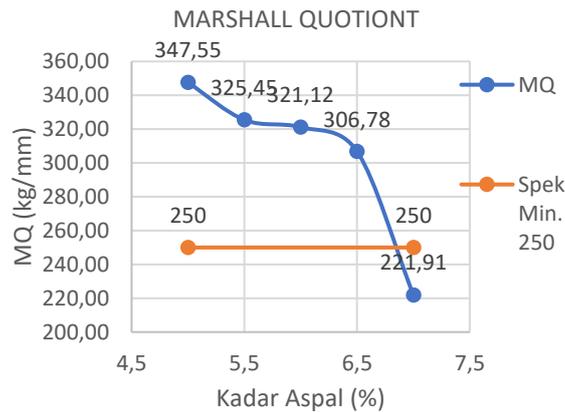
e. Pengaruh kadar aspal terhadap VFB (Void Filled Bitumen) campuran AC-WC



Gambar 9
Grafik Hubungan Kadar Aspal dan VFB

Berdasarkan data pada Gambar 9, terlihat bahwa terdapat korelasi positif antara kadar aspal dan nilai VFB. Dengan kata lain, semakin tinggi kadar aspal, nilai VFB juga meningkat. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai VFB pada kadar aspal 5% hingga 7% memenuhi persyaratan minimum 65% yang ditetapkan dalam spesifikasi Bina Marga 2018.

f. Pengaruh kadar aspal terhadap Marshall Quotient campuran AC-WC



Gambar 10
Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Marshall Quotient

Gambar 10, Menunjukkan hasil bagi Marshall Quotient pada pengujian ini menunjukkan angka rata – rata terbesar ada pada kadar aspal 5% yaitu 347,55 kg/mm, sedangkan nilai rata – rata terkecil ada pada kadar aspal 7% dengan nilai 221,91 kg/mm.

g. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Biasanya, persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018 untuk campuran laston mengharuskan penggunaan kadar aspal antara 4% hingga 7% dari berat campuran. Penentuan kadar aspal optimum mengikuti standar Bina Marga yang memperhatikan 6 parameter, yaitu VIM, VMA, VFB, Stabilitas, Kelelahan (Flow), dan Marshall Quotient (MQ). Pada penelitian ini, ditemukan bahwa kadar aspal optimum dapat dicapai dengan menggunakan kadar aspal antara 5% hingga 7% yang memenuhi semua persyaratan VIM, VMA, VFB, Stabilitas, dan Kelelahan pada kisaran kadar aspal 5,2% hingga

6,8%. Oleh karena itu, Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat ditentukan dengan menggunakan nilai tengah dari kisaran kadar aspal 5,2% hingga 6,8%, yaitu sebesar 6%.

Kesimpulan

Campuran aspal beton yang berasal dari daur ulang menggunakan 20% Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dari Cold Milling Machine memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018. Karakteristik Marshall seperti stabilitas, flow, Air Void (VIM, VMA, dan VFA), serta Marshall Quotient umumnya memenuhi persyaratan tersebut. Namun, terdapat variasi kadar aspal (terutama pada kadar aspal 5% dan 7%) yang tidak memenuhi beberapa persyaratan spesifik, seperti VIM rata-rata sebesar 5,22% dan 2,74%, serta Marshall Quotient pada kadar aspal 7% rata-rata 221,91 kg/mm, di bawah batas spesifikasi minimal 250 kg/mm. Komposisi atau formulasi optimal untuk kadar aspal campuran aspal beton dengan menggunakan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) adalah sebagai berikut: batu pecah 10/20 sebesar 19,10%, batu pecah 5/10 sebesar 32%, pasir sebesar 20%, material RAP sebesar 20%, dan abu batu sebesar 8,90%. Variasi kadar aspal minyak pen 60/70 adalah 5%-7%, dengan kadar aspal 5,2% - 6,8% memenuhi semua persyaratan VIM, VMA, VFA, stabilitas, dan flow. Oleh karena itu, Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat diperoleh dengan menggunakan nilai tengah dari kadar aspal 5,2% - 6,8%, yaitu sebesar 6% untuk campuran aspal beton AC-WC.

Bibliografi

- afdal, Afdal, Wibisono, Gunawan, & Muhandi, Muhandi. (N.D.). Pengaruh Pemakaian Peremaja Anti Rayap Dan Aspal Pen 60/70 Terhadap Kinerja Rap (Reclaimed Asphalt Pavement) Ac-Wc Gradasi Halus Berdasarkan Uji Marshall. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 17(1), 1–8. <https://doi.org/10.31258/jst.v17.n1.p1-8>
- Al Ambia, Irsandi, & Sulaiman, A. R. (2022). Pengaruh Penambahan Styrofoam Terhadap Material Reclaimed Asphalt Pavement (Rap) Sebagai Campuran Asphalt Concrete-Binder Course (Ac–Bc). *Jurnal Sipil Sains Terapan*, 5(02).
- Anggraini, Muthia. (2017). Perbandingan Gradasi Agregat Gabungan Campuran AC-WC Sebelum dan Setelah Penghamparan Dengan Job Mix Formula. *INA-Rxiv, Preprint, Doi, 10*.
- Arlia, Leni, Saleh, Sofyan M., & Anggraini, Renni. (2018). Karakteristik Campuran Aspal Porus Dengan Substitusi Gondorukem Pada Aspal Penetrasi 60/70. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(3), 657–666. <https://doi.org/10.24815/jts.v1i3.10011> 1CITATION1 citation on Dimensions.
- Firdaus, Fityan Priatna. (2020). *Pengaruh Penggunaan Styrofoam (Fs) Pada Campuran Rap (Reclaimed Asphalt Pavement) Ac-Wc Terhadap Parameter Marshall*. Universitas Komputer Indonesia.
- Fitri, Suraya, Saleh, Sofyan M., & Isya, Muhammad. (2018). Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Kresek Sebagai Substitusi Aspal Pen 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Laston Ac–Bc. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(3), 737–748. <https://doi.org/10.24815/jts.v1i3.10034> 3CITATIONS3 total citations on Dimensions.
- Gunarto, April, & Candra, Agata Iwan. (2019). Penelitian Campuran Aspal Beton Dengan Menggunakan Filler Bunga Pinus. *UKaRsT*, 3(1), 37–47.
- Hakim, Wahyu Aunur Rahman. (2019). *ANALISA KOMPOSISI CAMPURAN RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) SEBAGAI LAPISAN ASPHALT CONCRETE–WIRING COURSE (AC-WC) TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL*. Universitas Narotama.
- Khairani, Cut, Saleh, Sofyan M., & Sugiarto, Sugiarto. (2018). Uji Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (Ac-Bc) Dengan Tambahan Parutan Ban Bekas. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(3), 559–570. <https://doi.org/10.24815/jts.v1i3.9995>
- Martina, Nunung, Hasan, Muhammad Fathur Rouf, & Setiawan, Yanuar. (2019). Pengaruh serbuk ban bekas sebagai campuran agregat halus pada campuran aspal porous. *Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*, 24(2), 144–152. <https://doi.org/10.32497/wahanats.v24i2.1731>
- Meilani, Mega, & Kurnia, Ranna. (2019). Kajian Parameter Marshall Campuran Hangat

Lataston (HRS-WC) Menggunakan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP).
RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil, 5(4), 120.
<https://doi.org/10.26760/rekaracana.v5i4.120>

Mustofa, Hafis, & Sunarjono, Ir Sri. (2016). *Pengembangan Campuran Bergradasi Split Mastic Asphalt (SMA) Menggunakan Bahan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Dan Limbah Arang Batubara*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Rifan, Ahmad. (2016). *Pengembangan Campuran SMA (Split Mastic Asphalt) Menggunakan Bahan RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) Dan Ijuk*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Winarno, Dwi Budi. (2020). *Pengaruh Penggunaan Batu Kapur Sebagai Substitusi Agregat Pada Lapisan Asphalt Concrete–Wearing Course (Ac-Wc)*. Universitas Atma Jaya Yogyakarta.