



ANALISIS SIFAT FISIK DAN MEKANIK ASPAL RAP DENGAN REJUVENATOR WASTE COOKING OIL (WCO)

Irma Sepriyanna^{*1}, Leksmmono S. Putranto², Bambang Sugeng Subagio³, Najid⁴

^{1,2,4} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara Jakarta

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung

^{*}Corresponding Author, Email : irma.328212009@stu.untar.ac.id

ABSTRAK

Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) adalah alternatif material aspal yang dihasilkan dari hasil pemeliharaan jalan. Namun, aspal RAP telah mengalami penuaan (aging) akibat masa layannya, sehingga kehilangan sebagian sifat reologi dan mekaniknya. Untuk mengembalikan sifat tersebut, diperlukan bahan rejuvenator. Salah satu bahan alternatif adalah Waste Cooking Oil (WCO) atau minyak jelantah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan WCO terhadap sifat fisik dan mekanik campuran aspal RAP. Metodologi yang digunakan meliputi uji penetrasi, uji titik lembek (softening point), serta pengujian Marshall. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan WCO dapat meningkatkan nilai penetrasi dan menurunkan titik lembek, menandakan peningkatan fleksibilitas aspal. Kinerja Marshall juga meningkat pada kadar optimum WCO, dengan peningkatan stabilitas dan flow yang menunjukkan bahwa WCO berperan efektif sebagai rejuvenator.

Kata Kunci : RAP; Waste Cooking Oil; Rejuvenator; Sifat Fisik dan Sifat Mekanik; Marshall

ABSTRACT

Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) is an alternative asphalt material produced from road maintenance. However, RAP asphalt has undergone aging due to its service life, resulting in the loss of some of its rheological and mechanical properties. To restore those properties, a rejuvenator is needed. One of the alternative materials is Waste Cooking Oil (WCO) or used cooking oil. This study aims to analyze the effect of adding Waste Cooking Oil (WCO) on the physical and mechanical properties of RAP asphalt mixtures. The methodology used includes penetration tests, softening point tests, and Marshall tests. The research results show that the addition of WCO can increase the penetration value and decrease the softening point, indicating an improvement in asphalt flexibility. The Marshall performance also improved at the optimum WCO content, with increased stability and flow, indicating that WCO effectively acts as a rejuvenator.

Keywords : RAP; Waste Cooking Oil; Rejuvenator; Physical and Mechanical Properties; Marshall

PENDAHULUAN

Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) saat ini sudah menjadi alternatif strategis dalam pembangunan infrastruktur jalan yang berkelanjutan. Namun demikian, reclaimed asphalt yang merupakan limbah hasil pemeliharaan jalan mengandung agregat dan aspal yang telah mengalami penuaan akibat oksidasi selama masa layan jalan. Proses penuaan ini mengakibatkan perubahan sifat aspal, seperti fleksibilitas yang menyebabkan menurunnya kekuatan dan daya tahan aspal. Untuk mengembalikan sifat aspal RAP, digunakan bahan peremaja (rejuvenator) yang berfungsi mengembalikan sifat fisik dan kimia yang hilang selama proses penuaan. Selain itu, rejuvenator juga dapat meningkatkan fleksibilitas, meningkatkan daya tahan dan memperpanjang umur pakainya.

Salah satu bahan alternatif yang potensial dan ramah lingkungan adalah minyak jelantah atau *Waste Cooking Oil* (WCO). Kandungan senyawa organik dalam WCO mampu mengembalikan fleksibilitas aspal dan mengurangi kekakuan aspal. Minyak jelantah atau *Waste Cooking Oil* (WCO) merupakan limbah dari hasil penggunaan minyak goreng berulang yang banyak dihasilkan dari rumah tangga, industri makanan, dan restoran. Kandungan utama dalam WCO terdiri dari senyawa asam lemak bebas (*free fatty acids*), trigliserida yang terdegradasi, serta senyawa organik lainnya seperti aldehid dan ester. Struktur kimia tersebut menjadikan WCO memiliki potensi sebagai bahan aditif dan rejuvenator pada aspal yang telah mengalami penuaan.

Menurut Zargar et al. (2012), WCO memiliki kemampuan untuk menurunkan viskositas aspal keras karena kandungan senyawa ringan seperti maltene yang hilang selama proses penuaan. Penambahan WCO ke dalam aspal RAP terbukti dapat meningkatkan nilai penetrasi, menurunkan titik lembek, dan meningkatkan daktilitas aspal menandakan bahwa aspal menjadi lebih fleksibel dan tidak rapuh. Dalam penelitian oleh Kheradmand et al. (2014), diketahui bahwa campuran aspal yang ditambahkan WCO sebesar 10% menunjukkan hasil yang mendekati kinerja aspal murni baru. WCO berperan memulihkan keseimbangan antara fraksi maltene dan asphaltene dalam struktur kolodial aspal. Studi tersebut juga menyatakan bahwa kualitas dan efektivitas WCO sangat dipengaruhi oleh metode pengolahannya, seperti penyaringan dan pemanasan awal untuk mengurangi kadar air dan pengotor. Xue et al. (2019) melakukan komparasi antara WCO dan rejuvenator komersial lainnya, dan menemukan bahwa WCO menunjukkan performa yang kompetitif, bahkan lebih ramah lingkungan dan ekonomis. Penggunaan WCO sebagai bahan campuran RAP dinilai memberikan kontribusi signifikan terhadap pengurangan limbah dan emisi karbon dalam industri konstruksi jalan. Peningkatan penetrasi dan penurunan titik lembek pada aspal RAP akibat penambahan WCO. Hal ini menunjukkan kemampuan WCO dalam mengembalikan kelenturan aspal yang telah mengalami penuaan, sehingga campuran aspal menjadi lebih lentur dan tidak mudah retak, terutama jika pada suhu rendah. (Zargar et al., 2012; Xue et al., 2019; Cao et al., 2020). Lebih lanjut, penelitian oleh Al-Mansoori et al. (2021) menyatakan bahwa WCO yang telah mengalami *pretreatment* seperti adsorpsi menggunakan bentonit atau aktivasi kimia menunjukkan penurunan kadar asam lemak bebas (FFA) dan peningkatan kestabilan termal, menjadikannya lebih efektif sebagai rejuvenator.

Secara umum, pemanfaatan WCO tidak hanya menawarkan solusi teknis dalam peningkatan mutu campuran RAP, tetapi juga mendukung aspek lingkungan melalui pemanfaatan limbah yang bernilai tambah. Tetapi, penambahan kadar WCO dalam campuran, tidak boleh lebih dari 10%, dikarenakan kelebihan kadar WCO dapat menjadikan campuran aspal menjadi lunak (Zhou et al., 2014 ; Mogawer et al., 2011)

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat fisik dan mekanik dari campuran aspal RAP yang direjuvenasi menggunakan WCO, melalui berbagai pengujian laboratorium, termasuk pengujian penetrasi, titik lembek, serta stabilitas dan flow berdasarkan metode Marshall (Shen et al., 2007)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental di laboratorium untuk menganalisis pengaruh penambahan WCO terhadap sifat fisik dan mekanik campuran aspal RAP. Langkah-langkah metodologi mencakup persiapan bahan, pencampuran, pengujian sifat fisik aspal, serta pengujian Marshall terhadap campuran aspal.

Material yang digunakan antara lain:

1. Aspal RAP yang diperoleh dari *waste scrapping* jalan di daerah Jabodetabek. Pada penelitian ini, digunakan RAP 40% dan RAP 60%
2. Aspal PEN 60/70
3. Agregat kasar, agregat halus dan filler, dengan spesifikasi sesuai dengan spesifikasi umum Bina Marga 2018
4. WCO sebagai bahan peremaja yang diperoleh dari limbah restoran siap saji. Sebelum digunakan dalam campuran aspal, WCO terlebih dahulu dilakukan *treatment* berupa penyaringan dan proses pengurangan kadar *free fatty acid* (FFA)

Pengujian karakteristik material, meliputi pengujian sifat fisik : Pengujian penetrasi (SNI 2456:2011) , titik lembek (SNI 2434:2011) , sedangkan pengujian sifat mekanik, meliputi pengujian Stabilitas dan Flow Marshall.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Sifat Fisik Material Aspal

Pengujian sifat fisik untuk Aspal PEN 60/70 sebagai kontrol, Aspal RAP tanpa peremaja dan Aspal RAP 40% dan RAP 60% yang sudah ditambah dengan bahan peremaja WCO dapat dilihat pada table berikut ini :

Tabel 1. Perbandingan Sifat Fisik Material Aspal

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Satuan	Spesifikasi	Hasil Uji			
					Aspal PEN 60/70	RAP	RAP 40% + WCO	RAP 60% + WCO
1	Penetrasi pada 25°C	SNI 2456:2011	0,1 mm	60 – 70	60,7	25,7	64,13	66,33
2	Titik Lembek	SNI 2434:2011	°C	≥ 48	50,8	78,5	47,38	55,75

Dari hasil pengujian karakteristik aspal RAP di peroleh nilai penetrasi sebesar 25,67, dimana nilai ini tidak memenuhi spesifikasi nilai penetrasi aspal pen 60/70 yaitu 60 – 70 dmm. Hal ini disebabkan aspal RAP merupakan aspal bekas yang sudah mengalami penuaan dan degradasi selama penggunaannya. Nilai penetrasi yang rendah merupakan indikasi kekakuan yang lebih tinggi yang berpotensi menyebabkan keretakan pada permukaan jalan. Dari hasil pengujian pada tabel di atas, dapat dilihat bahwa penambahan rejuvenator WCO pada aspal RAP 40% dan RAP 60% mampu memperbaiki nilai penetrasi yang sesuai spesifikasi aspal PEN 60/70.

Pengujian Sifat Mekanik Material Aspal

Pengujian sifat mekanik pada penelitian ini, salah satunya adalah pengujian Marshall. Sesuai dengan Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Bina Marga, 2018 sebesar 5,8%, pengujian dilakukan dengan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7%. Hasil pengujian Marshall dari campuran akan diolah ke dalam bentuk grafik hubungan masing – masing parameter terhadap kadar aspal meliputi Kadar aspal efektif, VIM, VMA, VFA, Stabilitas, *Flow* dan *Marshall Quotient*. Hasil pengujian campuran beraspal dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut ini :

Tabel 2. Hasil Pengujian Campuran Aspal AC – WC (Kontrol)

No	% Aspal	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
1	5,0	5,771	17,089	66,228	1176,42	3,45	341,39
2	5,5	5,062	17,261	70,672	1277,30	3,70	345,22
3	6,0	4,223	17,443	75,792	1407,66	3,95	356,01
4	6,5	4,027	18,141	77,804	1308,34	4,12	317,30
5	7,0	3,910	18,824	79,230	1187,28	4,38	271,23

Dari tabel 2 diatas dengan pengujian Marshall, dapat dilihat bahwa kadar aspal 6,0% memberikan performa terbaik dengan stabilitas mencapai 1407,66 kg dan *Marshall Quotient* (MQ) sebesar 356,01 kg/mm. Nilai ini menunjukkan kombinasi optimal antara kekuatan dan fleksibilitas pada campuran beraspal. Kadar aspal 6,0% juga menghasilkan *Voids in Mineral Aggregate* (VMA) sebesar 17,443% dan *Voids Filled with Asphalt* (VFA) sebesar 75,792%, yang mengindikasikan distribusi aspal yang cukup baik dalam mengisi rongga antar agregat tanpa menyebabkan kelebihan aspal. Sementara itu, kadar aspal 7,0% menghasilkan VFA tertinggi (79,230%) dan *flow* tertinggi (4,38 mm), tetapi stabilitas turun menjadi 1187,28 kg dan MQ hanya 271,23 kg/mm. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun kadar aspal tinggi meningkatkan fleksibilitas, kekuatan campuran justru menurun karena kelebihan aspal yang mengurangi interlocking antar agregat. Sebaliknya, pada kadar aspal 5,0%, nilai VIM tertinggi (5,771%) menunjukkan rongga udara yang lebih besar, yang berpotensi mengurangi durabilitas campuran. Dengan demikian, kadar aspal 6,0% dapat dianggap sebagai komposisi optimal karena memenuhi kriteria stabilitas tinggi, fleksibilitas yang memadai, dan kepadatan yang baik.

Tabel 3. Hasil Pengujian Campuran Aspal RAP 40% + WCO

No	% Aspal	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
1	5,0	5,267	16,114	67,317	1482,16	3,36	440,94
2	5,5	4,548	16,284	72,071	1595,07	3,53	451,78
3	6,0	3,863	16,448	76,514	1716,77	3,70	463,99
4	6,5	3,791	17,146	77,888	1605,16	3,87	414,84
5	7,0	3,613	17,826	79,730	1484,62	4,04	367,60

Dari tabel 3 diatas dengan pengujian Marshall, menunjukkan bahwa kadar aspal 6,0% menunjukkan performa terbaik. Pada kadar ini, campuran mencapai stabilitas tertinggi sebesar 1716,77 kg dengan *Marshall Quotient* (MQ) 463,99 kg/mm, yang menunjukkan kombinasi optimal antara kekuatan dan fleksibilitas. Nilai *Voids Filled with Asphalt* (VFA) sebesar 76,514% pada kadar 6,0% juga mengindikasikan distribusi aspal yang baik dalam

mengisi rongga antar agregat tanpa berlebihan. Kadar aspal 7,0% memang menghasilkan VFA tertinggi (79,730%) dan *flow* tertinggi (4,04 mm), tetapi diikuti oleh penurunan stabilitas menjadi 1484,62 kg dan MQ yang lebih rendah (367,60 kg/mm). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun kadar aspal yang lebih tinggi meningkatkan fleksibilitas, kekuatan campuran justru berkurang karena berkurangnya interlocking antar agregat. Sementara itu, kadar aspal 5,0% menghasilkan stabilitas yang cukup tinggi (1482,16 kg), tetapi nilai VIM yang lebih besar (5,267%) menunjukkan rongga udara yang berpotensi mengurangi durabilitas campuran. Dengan demikian, kadar aspal 6,0% merupakan pilihan terbaik karena memenuhi kriteria stabilitas tinggi, fleksibilitas yang memadai, dan kepadatan optimal.

Tabel 4. Hasil Pengujian Campuran Aspal RAP 60% + WCO

No	% Aspal	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
1	5,0	5,554	16,061	65,419	1433,983	3,192	449,243
2	5,5	4,824	16,260	70,332	1514,817	3,361	450,659
3	6,0	4,127	16,492	74,974	1603,087	3,615	443,413
4	6,5	3,939	17,167	77,056	1527,944	3,869	394,886
5	7,0	3,746	17,795	78,951	1398,805	4,039	346,353

Dari tabel 4 diatas dengan, dapat diidentifikasi beberapa pencapaian nilai tertinggi dari masing-masing parameter. Stabilitas campuran mencapai puncaknya sebesar 1603,087 kg pada kadar aspal 6,0%, menunjukkan kemampuan optimal dalam menahan beban. Sementara itu, *Marshall Quotient* (MQ) sebagai indikator keseimbangan antara kekuatan dan fleksibilitas mencatat nilai tertinggi 450,659 kg/mm pada kadar aspal 5,5%. Parameter *Voids Filled with Asphalt* (VFA) secara konsisten meningkat seiring penambahan kadar aspal dan mencapai nilai maksimum 78,951% pada kadar 7,0%, meskipun diikuti dengan penurunan performa mekanik. *Voids in Mineral Aggregate* (VMA) menunjukkan nilai tertinggi 17,795% pada kadar aspal 7,0%, sementara *Voids in Mineral Mix* (VIM) justru mencapai puncaknya 5,554% pada kadar terendah 5,0%. Parameter *flow* mengalami peningkatan linier dari 3,192 mm hingga 4,039 mm seiring kenaikan kadar aspal. Analisis ini mengungkapkan adanya *trade-off* antara berbagai parameter, dimana peningkatan kadar aspal di atas 6,0% meskipun meningkatkan VFA dan *flow*, justru menyebabkan penurunan signifikan pada stabilitas (12,8%) dan MQ (23,1%). Dengan demikian, rentang kadar aspal 5,5-6,0% dapat dianggap sebagai zona optimal yang mampu memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan, durabilitas, dan kinerja struktural campuran beraspal.

Dari pengujian sifat fisik dan sifat mekanik di atas, diketahui bahwa penambahan WCO sebagai bahan peremaja (*rejuvenator*) meningkatkan penetrasi hingga mendekati aspal virgin, sejalan dengan temuan Chen et al. (2014) yang menunjukkan bahwa WCO mampu meningkatkan fleksibilitas dan mengurangi kekakuan.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa WCO terbukti mampu mengembalikan kinerja aspal daur ulang (RAP) yang telah mengalami penuaan. Dengan ditamabbkannya WCO, sifat fleksibilitas aspal meningkat yang ditunjukkan oleh kenaikan nilai penetrasi dan

serta penurunan titik leleh. Kinerja mekanik campuran berdasarkan uji Marshall juga menunjukkan hasil paling optimal pada campuran RAP 40%+ WCO. Temuan ini mendukung pemanfaatan limbah WCO sebagai solusi alternatif yang ramah lingkungan untuk peningkatan mutu jalan sekaligus pengurangan limbah domestik.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Mansoori, A., et al. (2021). *Performance of treated waste cooking oil as asphalt rejuvenator: A laboratory study*. Journal of Cleaner Production, 278, 123918.
- Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan*.
- Cao, K., et al. (2020). *Effects of waste cooking oil and reclaimed asphalt binder on the performance of asphalt mixtures*. Journal of Cleaner Production, 258, 120698.
- Gibson, N., et al. (2012). *Performance testing for hot mix asphalt recycling*. National Center for Asphalt Technology, Report No. 12-04.
- Kheradmand, M., et al. (2014). *Evaluation of waste cooking oil as a bio-asphalt rejuvenator*. Journal of Materials in Civil Engineering, 26(2), 4013–4020.
- Mogawer, W., et al. (2011). *High RAP mixtures with rejuvenators and increased binder replacement*. Transportation Research Record, 2208(1), 61–71.
- Shen, J., et al. (2007). *Evaluation of aging resistance of warm mix asphalt binders*. Construction and Building Materials, 21(5), 1839–1845.
- SNI 2456, SNI 2434 (2011). Standar Nasional Indonesia.
- Xue, Y., et al. (2019). *Rejuvenation of aged asphalt by waste cooking oil: A comparative study*. Journal of Cleaner Production, 209, 1511–1519.
- Zargar, M., et al. (2012). *A laboratory investigation of the properties of asphalt binder modified with waste cooking oil*. Construction and Building Materials, 31, 58–68.
- Zeng, M., et al. (2018). *Recycling of aged asphalt using bio-based rejuvenators: A review*. Construction and Building Materials, 192, 548–565.
- Zhou, F., et al. (2014). *Evaluation of recycled asphalt mixtures using different rejuvenators*. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 83, 551–588.



Jurnal Deformasi is licensed under
a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License