

PEREMAJAAN MATERIAL DAUR ULANG PADA CAMPURAN *HRS-WC* DITINJAU DARI ASPEK *MARSHALL PROPERTIES*, IRI DAN WORKABILITAS

Adinda Rachmah Afrizal, Agus Riyanto

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Material daur ulang merupakan komponen agregat dan aspal hasil dari bongkaran perkerasan jalan yang sudah rusak. Untuk pemanfaatan lebih lanjut material ini perlu diekstraksi, hasil ekstraksi didapatkan aspal yang mengalami *aging*, yang mana dalam pemanfaatannya aspal tersebut dilakukan peremajaan untuk mengembalikan sifat aspal dan dipilih minyak nabati agar memenuhi persyaratan teknis guna membentuk campuran baru. Minyak nabati dicoba tanaman sawit sebagai *rejuvenating agent*, sedang untuk agregatnya ditambahkan material *fresh aggregate*, adapun penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kontribusi penambahan minyak nabati sebagai bahan peremaja pada campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Coarse (HRS-WC)* ditinjau dari *Marshall Properties*, IRI dan Workabilitas. Penelitian ini berbasis eksperimen laboratorium dengan variasi peremaja berupa minyak nabati sebanyak 5%, 5,5%, 6%, dan 7% terhadap total berat aspal 100 gr, kemudian campuran tersebut masih ditambah *fresh asphalt* dengan variasi sebanyak 10%, 20%, 30% dan 40% terhadap total berat aspal yang sudah ditambah 6% minyak nabati sebesar 106 gr. Selanjutnya mencari kadar aspal optimum (KAO) pada kadar aspal 5%, 6%, dan 7% dari berat total campuran 1200 gr sampai didapatkan hasil sebesar 6,5%. Setelah KAO didapatkan, dibuat benda uji untuk dilakukan uji *Marshall Properties*, IRI (Ketidakrataan) dan Workabilitas. Berdasarkan hasil penelitian dengan penambahan minyak nabati sebanyak 6% dan *fresh asphalt* 40% didapatkan hasil pengujian yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Divisi 6. Hasil pengujian penetrasi = 66 (0,1 mm), titik lembek = 57,5 °C, berat jenis = 1,09, dan daktilitas = 1102 mm. Adapun hasil dari pengujian *Marshall Properties*, nilai stabilitas rata-rata tertinggi pada kadar 6% = 1674,490 kg, nilai *flow* rata-rata tertinggi pada kadar 5% = 4,133 mm, nilai VFWA rata-rata tertinggi pada kadar 7% = 82,578%, nilai VMA rata-rata tertinggi pada kadar 7% = 18,520%, nilai VIM rata-rata tertinggi pada kadar 5% = 5,278%, nilai MQ rata-rata tertinggi pada kadar 6% = 579.534 kg/mm, secara keseluruhan sudah memenuhi spesifikasi. Untuk pengujian IRI (*International Roughness Index*) didapatkan hasil 2,626 m/km yang mana sudah memenuhi spesifikasi karena di bawah 4 m/km. Sementara rerata hasil pengujian workabilitas sebesar 115.206 % dari 3 benda uji.

Kata kunci: Material Daur Ulang, Peremaja Minyak Nabati, *HRS-WC*, *Marshall Properties*, IRI, Workabilitas

Abstract

Recycled materials are aggregate and asphalt components resulting from dismantling damaged road pavement. For further use, this material needs to be extracted, the results of the extraction are asphalt that has experienced aging, where in its use the asphalt is rejuvenated to restore the properties of the asphalt and vegetable oil is selected to meet the technical requirements to form a new mixture. Vegetable oil was tried by palm plants as a rejuvenating agent, while fresh aggregate material was added to the aggregate. This research aims to determine the contribution of adding vegetable oil as a rejuvenating agent to the *Hot Rolled Sheet Wearing Coarse (HRS-WC)* mixture in terms of *Marshall Properties*, IRI and Workability. This research is based on laboratory experiments with variations of rejuvenator in the form of vegetable oil as much as 5%, 5.5%, 6%, and 7% to the total weight of 100 grams of asphalt, then fresh asphalt is added to the mixture with variations of 10%, 20%, 30 % and 40% of the total weight of asphalt which has been added with 6% vegetable oil, amounting to 106 gr. Next, look for the optimum asphalt

content (KAO) at asphalt levels of 5%, 6% and 7% of the total mixture weight of 1200 gr until a result of 6.5% is obtained. After KAO is obtained, test objects are made to carry out Marshall Properties, IRI (Unevenness) and Workability tests. Based on research results with the addition of 6% vegetable oil and 40% fresh asphalt, test results were obtained that met the 2010 Bina Marga Division 6 specifications. Penetration test results = 66 (0.1 mm), softening point = 57.5 °C, specific gravity = 1.09, and ductility = 1102 mm. As for the results of the Marshall Properties test, the highest average stability value was at the 6% level = 1674.490 kg, the highest average flow value was at the 5% level = 4.133 mm, the highest average VFWA value was at the 7% level = 82.578% , the highest average VMA value at the 7% level = 18.520%, the highest average VIM value at the 5% level = 5.278%, the highest average MQ value at the 6% level = 579,534 kg/mm, overall it meets the specifications . For the IRI (International Roughness Index) test, the results were 2,626 m/km, which meets the specifications because it is below 4 m/km. Meanwhile, the average workability test results were 115.206% from 3 test objects.

Keyword: Recycled Asphalt, Rejuvenating Agent, HRS-WC, Marshall Properties, IRI, Workability

1. PENDAHULUAN

Visi Indonesia maju membutuhkan adanya lompatan besar dalam merancang strategi pembangunan nasional. Utamanya untuk memastikan terjadinya akselerasi pencapaian Indonesia maju dengan GDP (*Gross Domestic Product*) ke-5 terbesar pada 2045 (Kementerian Kesekretariatan Negara, 2020). Pondasi yang kokoh untuk mencapai cita-cita Indonesia maju tersebut adalah pembangunan infrastruktur secara masif di Indonesia yang sudah mulai dirasakan manfaatnya dalam sektor ekonomi.

Salah satu pembangunan infrastruktur yang sangat penting untuk menunjang perkembangan sektor ekonomi adalah jalan raya. Kecenderungan pembangunan jalan ini akan terus berlanjut seiring dengan bertambahnya jumlah kendaraan dari tahun ke tahun. Namun, sering kali pembangunan jalan tidak diikuti dengan pemeliharaan yang baik, sehingga terjadi penurunan kondisi struktural maupun fungsional pada jalan. Kerusakan jalan umumnya terjadi secara bertahap karena terus-menerus menerima beban dari kendaraan yang melintasinya.

Kerusakan pada jalan dapat diatasi, salah satunya, dengan memberikan lapisan tambahan pada perkerasan jalan (*Overlay*), hal ini menyebabkan kondisi permukaan jalan tidak lagi memiliki kekuatan yang seragam sehingga akan berdampak pada umur lapisan *overlay* baru di atasnya. Dengan metode ini maka tebal lapis perkerasan semakin banyak yang mana memerlukan material dan biaya besar karena harga aspal dan agregat semakin mahal. Penambahan lapisan tersebut akan menyisakan bongkaran berupa komponen aspal dan agregat hasil dari pengupasan perkerasan jalan yang lama. Material ini dapat diremajakan, karakteristiknya diperbaiki sehingga dapat digunakan kembali (*recycling*) dan merupakan salah satu solusi yang efisien untuk menjaga ketersediaan material di alam dan menghemat anggaran biaya pelaksanaan pekerjaan.

Pada umumnya, infrastruktur jalan di Indonesia menggunakan perkerasan lentur atau *flexible pavement*. Metode pengolahan perkerasan lentur yang sering digunakan adalah campuran aspal panas atau sering disebut dengan *Hot Mix Asphalt*. *Hot Mix Asphalt* adalah kombinasi antara agregat, aspal dan *filler* yang digunakan sebagai bahan pengisi campuran aspal. Pada penelitian ini digunakan campuran jenis *Hot Rolled Sheet-Wearing Coarse* (HRS-WC) yang memiliki gradasi senjang yang artinya terdapat salah satu fraksi agregat yang hilang pada campurannya. HRS-WC berfungsi sebagai lapis permukaan kedap air, tahan terhadap terbentuknya alur dan mempunyai permukaan yang halus. Lapis ini bersinggungan langsung dengan roda kendaraan dan cuaca sehingga mudah mengalami keausan. Oleh karena itu perencanaan lapis ini harus memiliki stabilitas, kelenturan, dan ketahanan terhadap kelelahan plastis yang baik.

Nilai stabilitas merupakan salah satu parameter pada pengujian *Marshall Properties*. Selain Stabilitas, terdapat nilai *Flow* (Kelelahan), *VIM* (*Voids In Mix*), *VMA* (*Void In Mineral Aggregate*), *VFWA* (*Voids Filled With Asphalt*), dan *MQ* (*Marshall Quotient*) yang diperoleh dengan melakukan *Marshall Test* untuk menentukan nilai KAO (Kadar Aspal Optimum). Sedangkan parameter nilai ketidakrataan atau *International Roughness Index* (IRI) akan dilakukan dengan metode *Sand Patch*. Untuk workabilitas atau kemudahan pengerjaan pada proses pembuatan *sample* akan dilakukan dengan membandingkan volume tumbukan pada saat proses *compacting* benda uji dengan menggunakan *Marshall Hammer*.

Teknologi pemanfaatan daur ulang merupakan teknologi alternatif dalam pembangunan dan rehabilitasi perkerasan jalan, dengan tingginya harga material baru di lapangan dan juga ketersediaannya yang terbatas di alam menjadikan penelitian ini penting untuk dilakukan karena akan mengurangi ketergantungan terhadap pemakaian materail baru. Selain itu, penerapan teknologi daur ulang juga sesuai Visi Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) 2030 bidang Bina Marga yang tertuang dalam Permen Kementerian PUPR No. 26/ PRT/M/2017 yaitu: Jalan 99% mantap yang terintegrasi antar moda yang memanfaatkan sebanyak-banyaknya material lokal dan menggunakan teknologi daur ulang.

2. METODE

Dasar dari penelitian ini adalah eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta. Material yang digunakan terdiri dari material baru dan material perkerasan jalan lama atau material daur ulang dengan total benda uji sebanyak 12 buah. Untuk material baru, *fresh aggregate* yang digunakan bersumber dari *quarry* Siwal Boyolali. Tahapan penelitian sebagai berikut: persiapan alat dan bahan, persiapan data sekunder yang didapat dari penelitian sebelumnya dan data primer didapat dari penelitian di

Laboratorium. Penentuan kadar aspal optimum dengan variasi kadar aspal 5%, 6% dan 7%. Pembuatan benda uji menggunakan aspal yang diremajakan dengan minyak nabati dengan variasi kadar 5%, 5,5%, 6%, dan 7%, kemudian ditambah dengan *fresh asphalt* dengan variasi kadar sebesar 10%, 20%, 30% dan 40%. Setelah kadar bahan peremaja ditentukan, benda uji ditinjau dengan pengujian *Marshall Properties*, ketidakrataan dan workabilitas yang dilanjutkan analisis data, pembahasan, dan terakhir memberikan kesimpulan dan saran.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pemeriksaan Material

Tujuan pemeriksaan material adalah untuk mengetahui gradasi agregat pada material hasil pembongkaran jalan, maka dilakukan pengujian gradasi dengan menggunakan satu set saringan. Pengujian tersebut untuk mengetahui apakah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6 tahun 2018 yang telah ditentukan atau tidak pada setiap saringan. Apabila pendistribusian agregat belum memenuhi spesifikasi, maka harus dilakukan rekayasa blending. Berikut adalah tabel hasil pengujian gradasi agregat:

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat

Ukuran Saringan	Berat Tertinggal	Kumulatif Berat Tertinggal	Persen Jumlah Tertinggal	Persen Lolos	Keterangan
¾"	0	0	0	100	Memenuhi
½"	19,2	19,2	5,33	94,67	Memenuhi
3/8"	16,4	35,6	9,89	90,11	Tidak Memenuhi
No. 4	64	99,6	27,67	72,33	Tidak Memenuhi
No. 8	38,4	138	38,33	61,67	Tidak Memenuhi
No. 16	22,4	160,4	44,56	55,44	Tidak Memenuhi
No. 30	22,4	182,8	50,78	49,22	Tidak Memenuhi
No. 50	28,4	211,2	58,67	41,33	Tidak Memenuhi
No. 100	24	235,2	63,33	34,67	Tidak Memenuhi
No. 200	4,4	239,6	66,56	33,44	Tidak Memenuhi
Pan	0,4	240	66,67	33,33	Tidak Memenuhi
Σ	240				

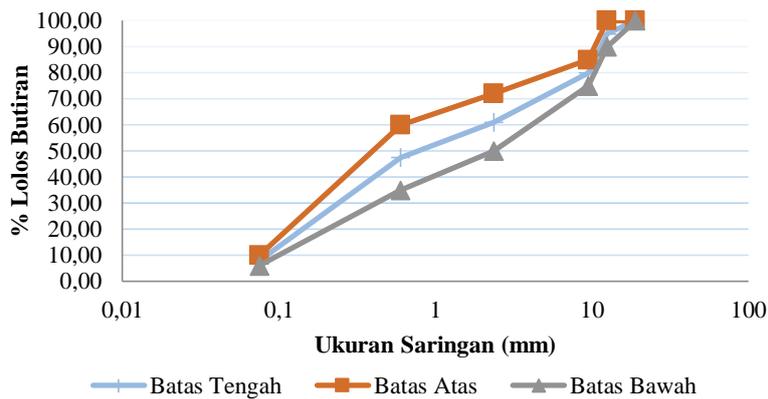
Pada tabel 1 dapat dilihat bahwa pendistribusian agregat tidak memenuhi spesifikasi dan harus dilakukan rekayasa blending dengan cara menambah fresh agregat pada ayakan yang tidak memenuhi spesifikasi.

3.2 Hasil Rekayasa *Blending* Agregat

Penambahan agregat dilakukan dengan jumlah 1200 gr dengan presentase 80% agregat baru dan 20% agregat lama untuk kemudian dilakukan rekayasa blending agregat sehingga dapat memenuhi spesifikasi HRS-WC batas tengah.

Tabel 2. Reayasa *Blending* Agregat

mm	ASTM	BA	BT	BB	Lolos	Daur Ulang	Baru	Keterangan
		%	%	%	%	gr	gr	
19	¾"	100	100	100	0	0	0	Memenuhi
12,5	½"	100	95	90	5	12	48	Memenuhi
9,5	3/8"	85	80	75	20	36	144	Memenuhi
2,36	No. 8	72	61	50	39	45,6	182,4	Memenuhi
0,6	No. 30	60	4,75	35	52,5	3,4	129,6	Memenuhi
0,075	No. 200	10	8	6	92	94,8	379,2	Memenuhi
pan		0	0	0	100	19,2	76,8	Memenuhi
						240	960	
						1200		



Gambar 1. Grafik Reayasa *Blending* Agregat

Berdasarkan tabel 2 agregat telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi Tahun 2018.

3.3 Hasil Pengujian Sifat Fisik Aspal Daur Ulang

Setelah proses ekstraksi, aspal lama yang didapatkan dari material daur ulang Jl. Sambungmacan Km 3 Sragen diuji untuk mengetahui sifat fisik aspal lama tersebut. Data pengujian dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Hasil Pengujian Aspal Daur Ulang

Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
Penetrasi	28 (0,1 mm)	60-70 (0,1 mm)	Tidak Memenuhi
Titik Lembek	41 °C	>48 °C	Tidak Memenuhi
Berat Jenis	1,07	> 1	Tidak Memenuhi
Daktilitas	375 mm	>1000 mm	Tidak Memenuhi

Pada tabel 3 terlihat bahwa kualitas aspal daur ulang tidak memungkinkan untuk dijadikan campuran material jalan, aspal daur ulang tersebut sudah kaku, rapuh dan keras

karena mengalami *aging*. Bahan peremaja berupa minyak nabati ditambahkan untuk mengembalikan sifat fisik aspal yang sudah *aging*.

3.4 Peremajaan Aspal Daur Ulang Dengan Penambahan Minyak Nabati

Hal ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana aspal daur ulang yang ditambah dengan minyak nabati. Dilakukan pengujian penetrasi aspal, titik lembek, berat jenis dan daktilitas. Berikut hasil pengujian aspal daur ulang yang sudah ditambahi minyak nabati:

Tabel 4. Pengujian Aspal Daur Ulang Dengan Penambahan Minyak Nabati

Pengujian	Kadar Penambahan Minyak Nabati (%)					Spesifikasi
	0	5	5.5	6	7	
Penetrasi (0,1 mm)	28	42.4	49	62.5	105	60-70 mm
Titik Lembek (°C)	41	40.75	50.35	58.5	43	>48 °C
Berat Jenis	1.07	1.12	1.23	1.09	1.11	> 1
Daktilitas (mm)	375	870	980	1059	1124	>1000 mm

(Sumber: Hasil Penelitian)

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa dilakukan *trial* lima variasi kadar minyak nabati yaitu 0%, 5%, 5,5%, 6% dan 7% kadar minyak nabati. Pada kolom pengujian penetrasi hanya kadar 6% yang sudah sesuai spesifikasi yaitu sebesar 62.5 mm. Pada pengujian titik lembek yang sudah sesuai dengan spesifikasi ada pada kadar 5,5% yaitu sebesar 50,35°C dan 6% sebesar 58,5°C. Pada pengujian berat jenis semua kadar minyak nabati sudah sesuai dengan spesifikasi. Pada pengujian daktilitas didapatkan hasil 1059 mm pada kadar 6% dan 7% sebesar 1124 mm yang sudah sesuai spesifikasi. Dikarenakan belum semua pengujian memenuhi spesifikasi maka dilakukan penambahan aspal baru kedalam campuran guna menstabilkan karakteristik aspal daur ulang dan dapat memenuhi spesifikasi.

3.5 Pengujian Aspal Daur Ulang Dengan Penambahan Aspal Baru

Pengujian ini dilakukan untuk menstabilkan campuran aspal yang sudah diremajakan dengan minyak nabati supaya aspal daur ulang dapat memenuhi spesifikasi. Hasil pengujian aspal daur ulang dengan penambahan aspal baru dapat dilihat pada Tabel 5:

Tabel 5. Pengujian Aspal Daur Ulang Dengan Penambahan Aspal Baru

Pengujian	Kadar Aspal Baru (%)				Spesifikasi
	10	20	30	40	
Penetrasi (0,1 mm)	32.4	41.9	53.4	66	60-70 mm
Titik Lembek (°C)	50.35	56.5	58	57.5	>48-58 °C
Berat Jenis (gr)	1.17	1.14	1.11	1.09	1-1.05 gr
Daktilitas (mm)	468	684	872	1102	>1000 mm

(Sumber: Hasil Penelitian)

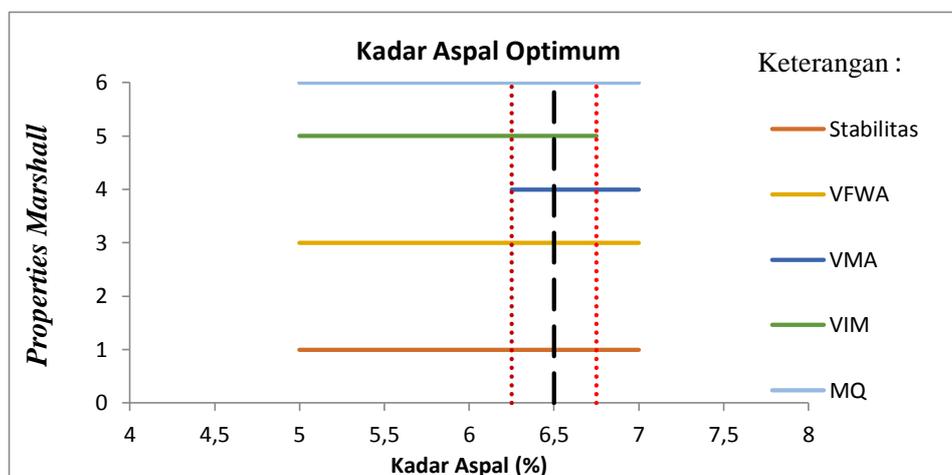
Berdasarkan Tabel 5 dilakukan *trial* empat variasi kadar aspal baru, yaitu 10%, 20%, 30% dan 40% kadar aspal baru. Pada kolom pengujian penetrasi hanya kadar 40% sebesar 66 mm yang sudah sesuai spesifikasi, hasil pengujian titik lembek dan berat jenis semua kadar aspal baru sudah sesuai dengan spesifikasi dan pada pengujian daktilitas didapatkan hasil sebesar 1102 mm pada kadar 40% yang sudah sesuai spesifikasi.

3.6 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Setelah dilakukan rekayasa *blending* agregat, dilakukan pembuatan benda uji untuk menentukan kadar aspal optimum dengan variasi kadar aspal sebesar 5%, 6%, dan 7%. Setiap variasi kadar aspal dibuat 3 buah benda uji. Hasil Perhitungan *Marshall Properties* untuk menentukan kadar aspal optimum dapat dilihat pada tabel 6 berikut:

Tabel 6 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal %	Benda Uji -	<i>Properties Marshall</i>					
		VIM %	VMA %	VFWA %	Stabilitas kg	Flow mm	MQ kg/mm
5	1	6.61	17.53	62.297	1475.807	5.100	289.374
	2	5.46	16.51	66.943	1482.685	3.200	463.339
	3	3.76	15.01	74.951	1490.047	4.100	363.426
	Rerata	5.28	16.35	68.064	1482.846	4.133	372.046
6	1	1.513	15.015	89.923	1552.512	3.650	425.346
	2	5.726	18.651	69.298	1725.567	2.200	784.349
	3	8.235	20.816	60.440	1745.391	3.300	528.906
	Rerata	5.158	18.161	73.220	1674.490	3.050	579.534
7	1	0.627	16.166	96.122	1324.199	3.200	413.812
	2	5.968	20.673	71.129	1433.088	2.900	494.168
	3	3.648	18.715	80.506	1432.945	3.000	477.648
	Rerata	3.415	18.518	82.586	1396.744	3.033	461.876



Gambar 2. Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan Tabel 6 dan Gambar 2 didapatkan nilai kadar aspal optimum sebesar 6,5%.

3.7 Mencari Nilai Ketidakrataan Dengan IRI (*International Roughness Index*)

Pada penelitian ini nilai *International Roughness Index (IRI)* akan didapatkan dengan menggunakan *sand patch method* yang digunakan untuk mengukur kedalaman rata-rata suatu permukaan dengan menggunakan pasir otawa. Hasil pengujian IRI dengan *Sand Patch Method* ini dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian IRI

KAO	Sampel	Sisi	Berat Pasir		Vol	Depth	IRI	Rerata Tiap Sampel	Rerata Tiap Sisi
			Awal	Akhir					
%	buah		gr	gr	gr	cm	m/km	m/km	m/km
6,5	1	Atas	50	49	0.610	0.008	0.082	2.516	2.626
		Bawah	50	44	3.659	0.049	4.949		
	2	Atas	50	48	1.220	0.016	1.650	3.299	
		Bawah	50	44	3.659	0.049	4.949		
	3	Atas	50	49	0.610	0.008	0.825	2.062	
		Bawah	50	46	2.439	0.032	3.299		

(Sumber: Hasil Penelitian)

Berdasarkan Tabel 7 di atas hasil rata-rata pengujian IRI sudah sesuai spesifikasi yaitu 2,626 m/km. Hal ini menandakan benda uji dipadatkan dengan baik dan menghasilkan permukaan yang rata sehingga masuk ke dalam spesifikasi jalan dengan kondisi baik. Adapun spesifikasi IRI Bina Marga yaitu ≤ 4 m/km.

3.8 Mencari Nilai Workabilitas

Workabilitas merupakan kemudahan suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan untuk mencapai kepadatan yang disyaratkan. Workabilitas dicapai dengan meminimalkan rongga udara yang terdapat dalam campuran, sehingga aspal dan agregat dapat melekat dengan sempurna. Hasil Pengujian Workabilitas dapat dilihat pada Tabel 8:

Tabel 8. Hasil Pengujian Workabilitas

Diameter (cm)	Berat 5x tumbukan			Berat 2x tumbukan			Volume Tumbukan (cm ³)		Workabilitas (%) (A ₁ /A ₂) x 100%
	Berat SSD	Berat Air	Volume	Berat SSD	Berat Air	Volume	5 x tumbukan (A ₁)	2x tumbukan rencana (A ₂)	
9.8	1290	751	539	1275	770	505	40656.576	38091.968	106.733
9.8	1280	755	525	1270	767	503	39600.561	37941.109	104.374
9.8	1282	760	522	1277	761	516	39374.272	38921.694	101.163

(Sumber Penelitian)

Berdasarkan hasil penelitian pada Tabel 8 dapat dilihat bahwa benda uji dengan 5 kali tumbukan menghasilkan nilai workabilitas lebih besar. Hal ini disebabkan semakin banyak jumlah tumbukan maka volume benda uji semakin kecil sehingga faktor kepadatan semakin besar.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

- 1) Berdasarkan penelitian didapatkan hasil kadar minyak nabati optimum sebesar 6% dari trial sebanyak 4 variasi kadar minyak nabati.
- 2) Penulis menambahkan sebanyak 40% *fresh asphalt* pada campuran aspal dikarenakan pada pengujian titik lembek, benda uji dengan kadar 6% minyak nabati tidak memenuhi spesifikasi.
- 3) Berdasarkan Pengujian *Properties Marshall*, diperoleh hasil yang telah memenuhi spesifikasi HRS-WC, yaitu: nilai stabilitas tertinggi pada kadar 6% = 1674,490 kg, nilai *flow* tertinggi pada kadar 5% = 4,133 mm, nilai VFWA tertinggi pada kadar 7% = 82,578%, nilai VMA tertinggi pada kadar 7% = 18,520%, nilai VIM tertinggi pada kadar 5% = 5,278%, nilai MQ tertinggi pada kadar 6% = 579.534 kg/mm.
- 4) Hasil penentuan kadar aspal optimum adalah sebesar 6,5%
- 5) Pada pengujian ketidakrataan didapatkan hasil sebesar 2,626 m/km, hasil ini sudah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu > 4 m/km.
- 6) Pada pengujian workabilitas didapatkan hasil rata-rata dari 3 *sample* sebesar 104,90% dengan jumlah tumbukan 75 kali pada tiap sisi *sample*.

4.2 Saran

- 1) Perlu dilakukan kalibrasi alat Marshall Test secara berkala untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.
- 2) Pada saat pengadukan material dengan alat *mixer* harus teliti dan dicek kembali apakah material sudah tercampur secara merata.
- 3) Pada saat pemanasan aspal dengan kompor harus hati-hati supaya api tidak terpercik sehingga dapat memicu terjadinya kebakaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Aliefintia, Prisha. (2021). “*Pengaruh Limbah Karet Ban Pada Teknik Daur Ulang Jalan Terhadap Campuran HRS-WC Ditinjau Dari Aspek Marshall Properties, Durabilitas Dan Skid Resistance*”
- Al-Riza, Ardan's. (2020). “*Komparasi Pemadatan Roller Slab Dengan Marshal Hammer Pada Campuran AC-WC Ditinjau Dari Aspek Workabilitas Dan Properties Marshall*”
- Bina Marga. 2018. Spesifikasi Umum Divisi 6. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga. Jakarta.
- Kasan, M., 2009. “Karakteristik Stabilitas dan Stabilitas Sisa Campuran Beton Aspal Daur Ulang” *Majalah Ilmiah Mektek*, Tahun XI, NO. 2 Mei 2009, Palu.

- Meilani, M., & Kurnia, R. (2019). Kajian Parameter *Marshall* Campuran Hangat Laston (HRS-WC) Menggunakan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP). *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, No. 4, Vol. 5. Desember 2019.
- Mudji, dkk (2015). “Penerapan Teknologi Daur Ulang dengan Bahan Peremaja Lokal untuk Peningkatan Umur Layanan Perkerasan Jalan”
- Nazila, S. (2018). “Pengaruh Penggunaan Material Daur Ulang Jalan Terhadap Karakteristik Laston Lapis Aus Menggunakan Bahan Peremaja Minyak Jelantah dan Minyak Goreng”.
- Novita, dkk. (2018). “Gradasi Potensial daur Ulang Pasca Bencana Kota Palu sebagai Bahan Penyusun Perkerasan Lentur”. *REKAYASA: JURNAL SIPIL*, 5(1), 7-12.
- Neubert, T.C., 1991 Asphalt Containing Gilsonite Reactive Oil and Elastomer, Patent Number 5023282, United States Patent & Trademark Office.
- Riyanto, A. 2008. Materi Bahan Perkerasan, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.
- Salsabila, Mutiara. 2021. Pemanfaatan Limbah Plastik Dan Material Daur Ulang Jalan Pada Campuran *AC-WC* Ditinjau Terhadap *Properties Marshall*, Ketidakrataan, Dan Durabilitas. Skripsi thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Sukirman, 1999. Karakteristik campuran beraspal sebagai lapis perkerasan jalan. Badan Penerbit Nova Bandung.