

INVESTIGATE THE QUALITY OF PRODUCTION IN THE SUSTAINABLE PAVEMENT MATERIALS INDUSTRY

Sri Sunarjono¹, Nanang Sofa Maulana¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417
Email: am389@ums.ac.id

ABSTRACT

The cold mixture using emulsion asphalt has not been widely used due properties which is still low compared to the hot mixture. RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) is a dismantling of old paved layers that are reused. RAP has not been widely used for mixed aggregates, because of the aggregates used wear are aging and fragile inversely proportional to fresh aggregates that have better surface and strength because they have not been used to withstand repetitive structural loads. The purpose of this study was to know the comparison of cold mixture asphalt emulsion properties using RAP and fresh aggregate materials by analyzing the volumetric characteristics, Marshall properties, and Indirect Tensile Strength (ITS) Properties.

This cold asphalt emulsion mixture used RAP material from Weleri, Kendal and fresh aggregate from Woro river, Klaten. Asphalt emulsion type CSS-1 comes from PT.Izza Sarana Karsa, Sidoarjo. Variation of RAP addition to mixture are 0% RAP, 50% RAP, and 100% RAP. The gradation and mixed specifications used are Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Bina Marga 2010. The production of cold asphalt emulsion mixture started from the preparation of tools and materials, tested the aggregate characteristics, sieved the material, estimated the initial Emulsion Asphalt, mixed proportions, and solidification, determination of Optimum Residual Asphalt (ORAC), mixed test with Marshall test and modified ITS test.

Based on results of the Marshall and ITS Properties from cold asphalt emulsion mixture used variation of RAP and fresh aggregate composition, that addition of RAP in mixture can increase density value and decrease air cavity this is proved by lower VIM and VMA value and higher VFWA value. As well, it decreases the value of Marshall Quotient and the value of indirect tensile strength. It is confirmed by the data from this study is 0% RAP yield density value 1,83 gr/cm³, 32,90% VMA, 19,90% VIM, 37,31% VFWA, 535,73 kg stability, 7,40 mm flow, 72,59 kg/mm MQ and the value of ITS 113,347 KPa. While 50% RAP yield density value 1,89 gr / cm³, 23,24% VMA, 10,75% VIM, 51,77% VFWA, 286,56 kg stability, 9,57 mm flow, 30,02 kg/mm MQ, and the value of ITS 87,919 KPa. And for 100% RAP has density value 1,91 gr / cm³, 13,42% VMA, 1,40% VIM, 86,78% VFWA, 300,92 kg stability, 13,50 mm flow, 23,73 kg/mm MQ and the value of ITS 95,293 KPa. Overall, the cold mixture does not fulfilling specifications for the manufacture of wearing course.

Keyword : Cold Asphalt Emulsion Mixture, RAP, Fresh Aggregate, volumetric, Marshall, Indirect Tensile Strength

1. PENDAHULUAN

Cara pencampuran bahan perkerasan lentur dibagi menjadi 3 yaitu *hot mix asphalt*, *warm mix asphalt*, dan *cold mix asphalt*. Pada pelaksanaannya campuran yang paling sering digunakan berupa *hot mix asphalt* karena propertis yang baik serta waktu seting yang tidak begitu lama namun dalam pelaksanaannya membutuhkan suhu yang tinggi mencapai 140 °C yang berdampak pada kebutuhan asupan energi bahan bakar yang besar serta sebanding dengan emisi dan gas pembuangan yang besar pula. Pencampuran secara *cold mix* yang membutuhkan suhu 25°C–32°C bisa menjadi alternatif lain karena dalam pencampurannya hanya menggunakan *concrete mixer* sebagai alat, serta air sebagai pengemulsi dan ditambah bahan aditif. *Cold mix* lebih praktis dan tidak ada gas buang yang dihasilkan. Namun, kekurangannya memerlukan waktu *setting* yang lama dan hanya digunakan untuk skala kecil.

RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) adalah bongkaran lapis perkerasan lama yang dimanfaatkan kembali. Meskipun dari segi kualitas *RAP* belum mampu bersaing dengan agregat baru (*fresh aggregate*) sebagai agregat campuran untuk lapis permukaan jalan untuk menahan beban struktural dikarenakan sifat *RAP* yaitu bekas pakai yang telah digunakan untuk beban berulang sehingga kekuatan agregat menjadi berkurang, berbanding terbalik dengan agregat baru (*fresh aggregate*) yang belum pernah digunakan sehingga kekuatannya untuk menahan beban struktural masih lebih baik, di sisi lain *RAP* berupa agregat lama yang terselimuti aspal tua bersifat tidak kasar pada permukaannya, *ageing*, dan mudah lapuk, sehingga kelayakannya sebelum digunakan harus diteliti terlebih dahulu. Dengan dilakukan penelitian tentang *RAP* kita dapat mengetahui kekurangannya dan dapat diperbaiki sehingga kualitas *RAP* menjadi lebih baik. Terkait dengan hal tersebut maka peneliti ingin meneliti lebih lanjut lagi tentang perbandingan propertis campuran dingin aspal emulsi menggunakan bahan *RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)* dan *fresh aggregate* dengan metode menganalisis karakteristik Volumetrik, *Marshall*, dan Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental di laboratorium dengan campuran aspal emulsi menggunakan variasi bahan 100% *RAP (RAP)*, 50% *RAP (RAP dan fresh aggregate)*, dan 0% *RAP (fresh aggregate)*. Bahan *RAP* dari ruas Jl.Pemuda km.9 Weleri, Kendal dan *fresh aggregate* dari Kali Woro, Klaten. Persyaratan gradasi dan campuran yang digunakan yaitu spesifikasi AC-WC Bina Marga 2010 dan aspal emulsi tipe CSS-1 dari PT.Izza Sarana Karsa sebagai binder. Campuran dingin aspal emulsi dimulai dari persiapan

alat dan bahan, menguji karakteristik agregat, mengayak bahan, mengestimasi Kadar Aspal Emulsi Awal, pembuatan proporsi campuran, tes penyelimutan dan pemadatan, penentuan Kadar Aspal Residu Optimum (KARO), pengujian campuran dengan *Marshall test* dan *ITS test* modifikasi.

2.1 Campuran Dingin Menggunakan Aspal Emulsi

Adapaun langkah-langkah dalam merencanakan campuran aspal emulsi dingin sebagai berikut :

a) Kadar Aspal Emulsi Awal

Kadar aspal emulsi awal merupakan kadar aspal awal untuk menentukan Kadar aspal optimum yang ditentukan berdasarkan persamaan (Thanaya, 2003).

$$P = (0.05A + 0.1B + 0.5C) \times 0.7 \quad (1)$$

dengan:

P : Kadar Residu Aspal (%);

A : Agregat kasar, tertahan saringan no.8

B : Agregat halus, lolos saringan no.8 tertahan no.200

C : Bahan Pengisi/*filler*, lolos saringan no.200

Langkah berikutnya adalah menentukan Kadar Aspal Emulsi (KAE) awal terhadap berat total campuran :

$$\text{KAE Awal} = \left(\frac{P}{X} \right) \% \quad (2)$$

dengan:

P : Kadar residu aspal (%);

X : Kadar residu dari aspal emulsi (%).

b) Kadar Air Penyelimutan

Proses pencampuran campuran dingin aspal emulsi yang baik dipengaruhi oleh penyelimutan aspal ke seluruh permukaan agregat. Kelembaban agregat dengan cara penambahan kadar air pada agregat secara merata dapat membantu penyelimutan aspal emulsi ke permukaan agregat karena air berperan sebagai *viscosity reducing agent* atau menurunkan kekentalan aspal emulsi (Thanaya, 2003).

c) Pemadatan

Untuk Mendapatkan kepadatan yang optimal, campuran dingin aspal emulsi yang telah dicampur pada kadar air penyelimutan terbaik akan dipadatkan pada kadar air pemadatan optimum Kadar air pemadatan optimum diperoleh dengan nilai kepadatan

kering benda uji tertinggi dari grafik hubungan antara kepadatan kering dan kadar air pemadatan (Thanaya, 2003).

d) Enersi Pemadatan

Campuran dingin aspal emulsi yang diproses dengan kadar air penyelimutan terbaik dan kadar air pemadatan optimum akan dipadatkan dengan variasi enersi pemadatan sehingga akan didapat kepadatan tertinggi yang memenuhi syarat rongga pada campuran dingin aspal emulsi. Untuk mencapai porositas atau kadar rongga pada campuran dingin aspal emulsi yang memenuhi persyaratan Bina Marga, diperlukan pemadatan yang mencapai 2x enersi pemadatan berat. Hal ini antara lain tergantung dengan ukuran maksimum agregat, gradasi agregat, dan kekentalan aspal emulsi (Thanaya, 2003).

e) Curing Spesimen

Metode *curing* yang dilakukan dengan menggunakan oven yaitu spesimen tetap berada di dalam *mould* dengan akses udara yang sama terhadap ke dua sisi selama 2x24 jam pada suhu 60°C lalu spesimen dikeluarkan dari *mold* dan didiamkan pada suhu ruang ±28°C.

f) Kadar Aspal Residu Optimum (KARO)

KARO ditentukan dengan kadar aspal yang mengoptimalkan stabilitas rendaman dan kepadatan bulk kering, dan untuk parameter lainnya seperti Stabilitas sisa, nilai pori, penyerapan air dan tebal film aspal dievaluasi berdasarkan spesifikasi yang ada.

2.2 Ketentuan Campuran

Karakteristik campuran menunjukkan kualitas dari campuran itu sendiri, dan hal tersebut dapat diukur dengan syarat yang ditetapkan. Pada penelitian ini syarat campuran aspal emulsi dingin AC-WC memakai pendekatan persyaratan campuran LASTON (AC) Bina Marga 2010 Devisi 6 revisi 3 dapat dilihat pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Persyaratan campuran LASTON

Sifat-sifat campuran	Laston (AC)	
		WC
Penyerapan aspal, (%)	mak.	1,2
Jumlah tumbukan per bidang		75
Rongga dalam campuran (VIM), (%)	min.	3,0
	mak.	5,0
Rongga dalam agregat (VMA), (%)	min.	15
Rongga terisi aspal (VFWA), (%)	min.	65
Stabilitas <i>Marshall</i> , (kg)	min.	800
Kelelahan, (mm)	min.	2
	mak.	4
<i>Marshall Quotient</i> , (kg/mm)	min.	250
Stabilitas <i>Marshall</i> Sisa (%) setelah	min.	90

perendaman selama 24 jam, 60°C		
Rongga dalam campuran pada kepadatan membal (<i>refusal</i>), (%)	min.	2

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil pemeriksaan agregat dan aspal emulsi

Pemeriksaan mutu agregat bertujuan untuk mengetahui karakteristik agregat, hal tersebut akan berpengaruh pada campuran dingin menggunakan aspal emulsi dalam menahan beban struktural sesuai persyaratan yang ditetapkan. Berikut hasil pemeriksaan agregat dapat dilihat pada tabel 2 berikut :

Tabel 2. Rekapitulasi hasil pemeriksaan agregat

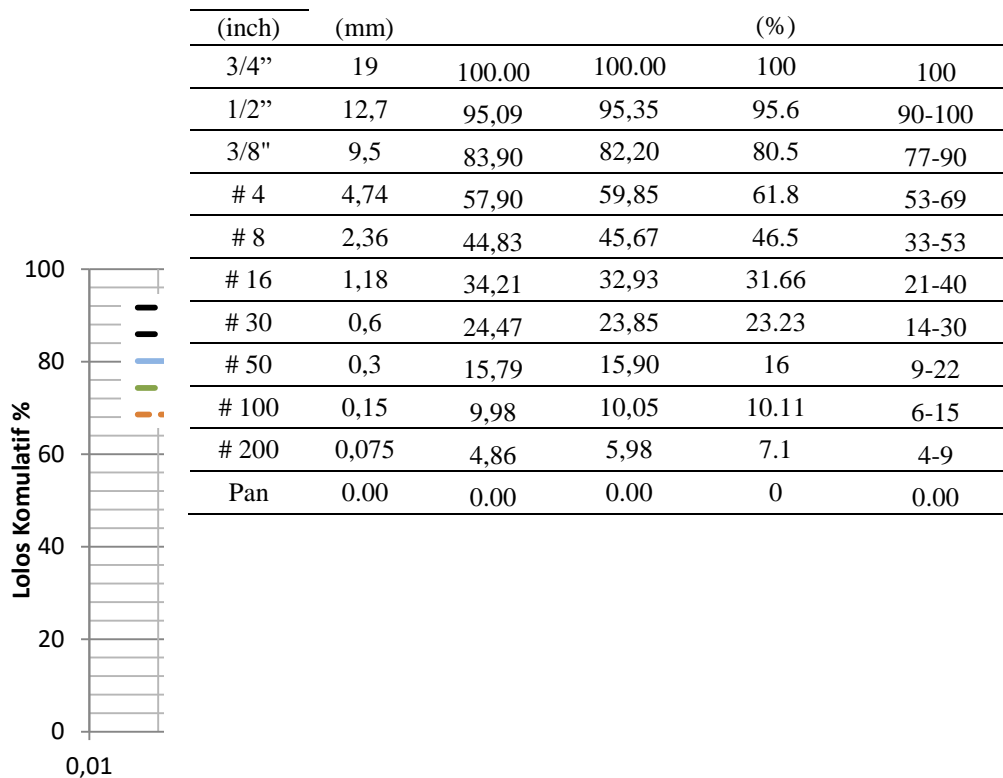
No	Jenis pengujian	RAP	Fresh aggregate	Spesifikasi ^{*)}
1.	Ekstraksi (%)	3,5	-	-
2.	Kadar air (%)	1,30	1,40	-
3.	S.E (%)	95,42	91,90	>50%
4.	Kadar lumpur (%)	4,58	8,10	-
5.	Keausan (%)	37,3	33,6	mak. 40%
Agregat Kasar				
6.	Berat jenis <i>bulk</i>	2,39	2,46	-
7.	Berat jenis <i>SSD</i>	2,44	2,51	-
8.	Berat jenis semu	2,51	2,59	-
9.	Berat jenis eff	2,45	2,53	-
10.	Penyerapan (%)	1,95	2,13	≤ 3,0 %
Agregat Halus				
11.	Berat jenis <i>bulk</i>	1,79	2,40	-
12.	Berat jenis <i>SSD</i>	1,82	2,51	-
13.	Berat jenis semu	1,84	2,71	-
14.	Berat jenis eff	1,82	2,57	-
15.	Penyerapan (%)	1,63	4,82	≤ 5,0 %
Filler				
16.	Berat jenis	1,256	2,669	-

^{*)}Bina Marga 2010 Devisi 6 Revisi 3

Analisis saringan agregat yang digunakan yaitu dengan melakukan rekayasa gradasi dapat dilihat pada Tabel 3 dan grafik pada Gambar 1 berikut :

Tabel 3. Hasil analisis saringan agregat

Ukuran Saringan	Gradasi RAP Rekayasa (%)	Gradasi 50% RAP (%)	Gradasi fresh aggregate Rekayasa (%)	Spesifikasi Saringan AC-WC (%)
-----------------	--------------------------	---------------------	--------------------------------------	--------------------------------



Gambar 1. Grafik hasil analisis saringan agregat

Berdasarkan hasil pemeriksaan sifat fisik agregat dan analisis saringan, bahan *RAP* dan *fresh aggregate* telah memenuhi persyaratan untuk agregat campuran dingin.

Hasil pemeriksaan aspal emulsi CSS-1 dapat dilihat pada Tabel 4 berikut :

Tabel 4. Hasil pemeriksaan mutu aspal emulsi CSS-1

No.	Jenis pengujian	Metode	Hasil Uji Lab	Syarat
1	Kadar Residu	SNI 03-6829-2002	58.927	Min. 57 %
2	Penetrasi 25°C 100 gr 5 detik	SNI 06-2456-1991	118.33	100-250
3	Daktilitas	SNI 06-2432-1991	>110	Min. 40 cm
4	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	1.00	1.00-1.05
5	Kelarutan dalam trichlor etylen	SNI 06-2468-1991	98.972	Min. 97.5 %
6	Viscositas	SNI 03-6721-2002	28.400	20-100
7	Tertahan saringan no.20	SNI 03-3643-1994	0.000	Max. 0.10 %
8	pengendapan 1 hari	SNI 03-6428-2002	0.83	Max. 1 %
9	pengendapan 5 hari		-	Max. 5 %

(sumber: hasil penelitian PT.IZZA Sarana Karsa)

Data hasil pemeriksaan aspal emulsi tipe CSS-1 merupakan data sekunder dari PT.Izza sarana Karsa, Sidoarjo. Berdasarkan data tersebut aspal emulsi tipe CSS-1 memenuhi persyaratan untuk campuran dingin.

3.2 Perencanaan Campuran

Hasil perencanaan campuran aspal emulsi menggunakan bahan 100% *RAP* (*RAP*), 50% *RAP* (*RAP* dan *fresh aggregate*), dan 0% *RAP* (*fresh aggregate*) dapat dilihat pada Tabel 5 berikut :

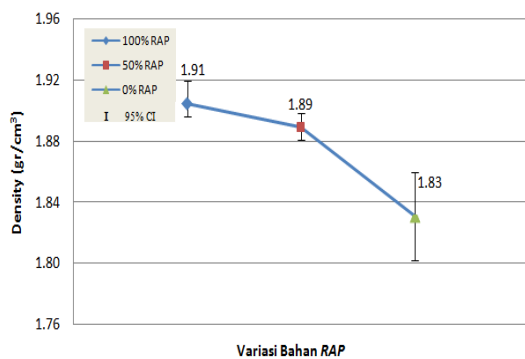
Tabel 5. Hasil perencanaan campuran

No.	Pemeriksaan	100% <i>RAP</i>	50% <i>RAP</i>	0% <i>RAP</i>
1.	Kadar air penyelimutan dan pematatan (%)	1,60	3,58	5,55
2.	Enersi Pematatan (<i>blows</i>)	2x75	2x75	2x75
3.	KARO (%)	6,5	6,8	7,1
4.	KAE (%)	11,03	11,54	12,05

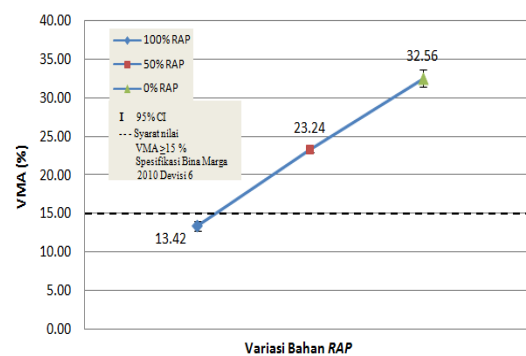
3.3 HASIL PENGUJIAN CAMPURAN DINGIN MENGGUNAKAN ASPAL EMULSI

Pembahasan Hasil Volumetrik

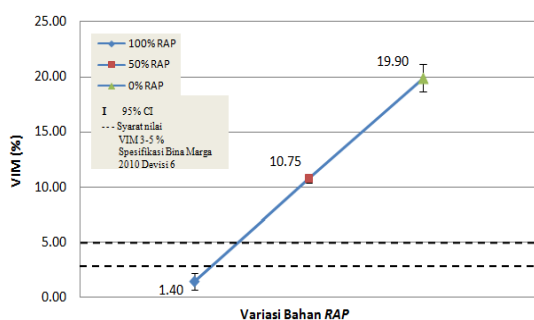
Grafik nilai volumetrik dari hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 sampai Gambar 5 berikut:



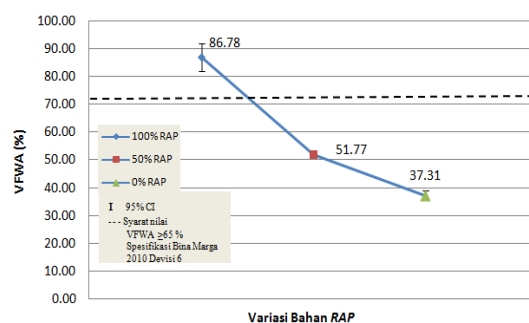
Gambar 2. Grafik nilai *density*



Gambar 3. Grafik nilai VMA



Gambar 4. Grafik nilai VIM



Gambar 5. Grafik nilai VFWA

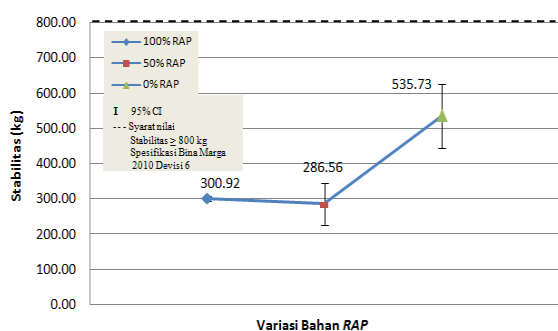
Berdasarkan hasil penelitian bahwa penambahan *RAP* pada campuran dapat meningkatkan nilai *density* dan menurunkan nilai pori hal ini dibuktikan dengan nilai VIM dan VMA yang rendah serta nilai VFWA yang tinggi terhadap campuran berbahan *fresh aggregate*.

Bahan *RAP* yang digunakan langsung dari hasil *cold milling* di lokasi pekerjaan bongkaran jalan raya, berdasarkan pengamatan aspal lama yang menyelimuti agregat masih berwarna hitam pekat, hal tersebut terindikasi bahwa umur perkerasan masih muda. Kepadatan yang tinggi pada campuran aspal emulsi menggunakan bahan *RAP* dipengaruhi oleh penyerapan air bahan *RAP* yang rendah dan jenis aspal emulsi yang digunakan bersifat *slow setting* menjadikan fungsi penambahan air penyelimutan dan pematatan pada agregat bahan *RAP* dapat bekerja secara optimal untuk mendistribusikan aspal residu untuk menyelimuti agregat, serta dapat berfungsi sebagai pelumas bahan *RAP* untuk bergerak aktif mengisi rongga yang kosong ketika dipadatkan.

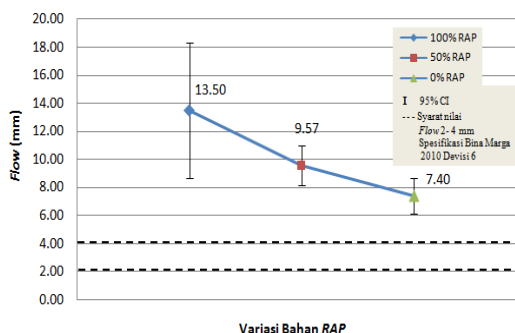
Kepadatan rendah pada campuran aspal emulsi menggunakan bahan *fresh aggregate* dipengaruhi oleh penyerapan yang tinggi pada bahan agregat baru (*fresh aggregate*) serta bentuk/struktur agregat baru yang kasar menjadikan *internal friction* antar agregat sehingga tidak leluasa mengisi rongga yang kosong ketika dipadatkan.

Pembahasan Propertis Marshall

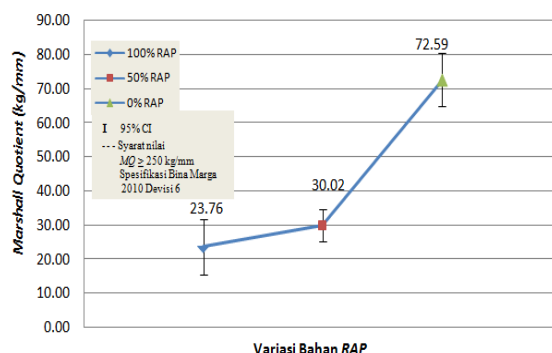
Grafik nilai propertis *Marshall* dari hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 6 sampai Gambar 8 berikut:



Gambar 6. Grafik nilai stabilitas



Gambar 7. Grafik nilai flow

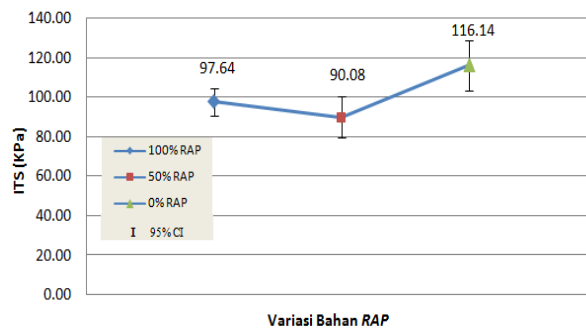


Gambar 8. Grafik nilai Marshall Quotient

Berdasarkan hasil penelitian bahwa penambahan *RAP* pada campuran dapat menurunkan nilai stabilitas dan menyebabkan nilai *flow* yang tinggi hal ini berdampak pada nilai *Marshall Quotient* lebih rendah dibandingkan menggunakan bahan *fresh aggregate*.

Pembahasan Hasil Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung

Grafik nilai ITS dari hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 9 berikut:



Gambar 9. Grafik nilai ITS

Berdasarkan hasil penelitian bahwa 0% *RAP* pada campuran dapat menurunkan nilai kuat tarik tidak langsung dibandingkan dengan 100% *RAP*. Namun, untuk bahan 50% *RAP* masih lebih rendah dari keduanya.

Hal ini disebabkan karena aspal emulsi tidak bisa menguap sempurna dalam benda uji pada campuran menggunakan bahan *RAP* sehingga berpengaruh mengurangi gaya lekat aspal dengan agregat serta kurangnya *interlocking* antar agregat. Semakin lemah kohesi dan adhesi aspal terhadap agregat maka akan semakin mudah agregat melepaskan diri dari agregat yang lain sehingga campuran aspal menjadi leleh dan retak.

Rekapitulasi Hasil Penelitian Campuran Dingin Aspal Emulsi AC-WC

Hasil pengujian benda uji dari KARO untuk campuran dingin aspal emulsi menggunakan variasi bahan 100% *RAP* (*RAP*), 50% *RAP* (*RAP* dan *fresh aggregate*) dan 0% *RAP* (*fresh aggregate*) pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6. Rekapitulasi hasil penelitian campuran dingin aspal emulsi AC-WC

No	Pengujian	100% <i>RAP</i>	50% <i>RAP</i>	0% <i>RAP</i>	Spesifikasi ^{*)}
1.	<i>Density</i> (gr/cm ³)	1,91	1,89	1,83	-
2.	VMA (%)	13,42	23,24	32,56	≥ 15
3.	VIM (%)	1,40	10,75	19,90	3 - 5
4.	VFWA (%)	86,78	51,77	37,31	≥ 65
5.	Stabilitas (kg)	300,92	286,56	535,73	≥ 800
6.	<i>Flow</i> (mm)	13,50	9,57	7,40	2 - 4
7.	<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	23,76	30,02	72,59	≥ 250
8.	ITS (KPa)	95,293	87,919	113,347	-

^{*)}Persyaratan Campuran Laston, Bina Marga 2010 Devisi 6 Revisi 3

Berdasarkan tabel hasil penelitian campuran aspal emulsi dingin AC-WC dengan menggunakan pendekatan persyaratan campuran LASTON untuk beberapa variasi campuran menggunakan bahan *RAP* dan *fresh aggregate* (100% *RAP*, 50% *RAP* dan 0% *RAP*) secara keseluruhan tidak memenuhi persyaratan lapis aus permukaan jalan.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Setelah didapatkan data dan dianalisis maka didapat kesimpulan dari penelitian yang berjudul “Perbandingan Propertis *Marshal* dan ITS Campuran Aspal Emulsi Menggunakan Bahan *RAP* dan *Fresh Aggregate*” sebagai berikut:

1. Karakteristik volumetrik 100% *RAP* memiliki nilai densitas 1,91 gr/cm³, VMA 13,42%, VIM 1,40%, dan VFWA 86,78%. Sedangkan 50% *RAP* menghasilkan nilai densitas 1,89 gr/cm³, VMA 23,24%, VIM 10,75%, dan VFWA 51,77%. Untuk 0% *RAP* menghasilkan nilai densitas 1,83 gr/cm³, VMA 32,90%, VIM 19,90%, dan VFWA 37,31%. Secara keseluruhan penambahan *RAP* pada campuran dingin dapat mengurangi rongga udara dan meningkatkan nilai densitas.
2. Karakteristik *Marshall* 100% *RAP* memiliki nilai stabilitas sebesar 300,92 kg, *flow* 13,50 mm, dan *MQ* 23,73 kg/mm. Sedangkan 50% *RAP* memiliki nilai stabilitas sebesar 286,56 kg, *flow* 9,57 mm, dan *MQ* 30,02 kg/mm. Untuk 0% *RAP* memiliki nilai stabilitas sebesar 535,73 kg, *flow* 7,40 mm, dan *MQ* 72,59 kg/mm. Penambahan *RAP* pada campuran dapat menurunkan nilai *MQ*. Sehingga secara keseluruhan campuran dingin aspal emulsi tersebut tidak memenuhi syarat untuk lapis aus permukaan jalan untuk volume lalu lintas berat.
3. Karakteristik *Indirect Tensile Strength* (ITS), menghasilkan nilai kuat tarik tidak langsung 100% *RAP* sebesar 95,293 KPa lebih tinggi dibandingkan 50% *RAP* sebesar 87,919 KPa namun lebih rendah dari 0% *RAP* sebesar 113,347 KPa. Penambahan *RAP* pada campuran dapat menurunkan nilai kuat tarik tidak langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Emrizal, 2009. Pemanfaatan Material Daur Ulang Aspal Beton Untuk Material Aspal Beton Campuran Mingin Memakai Aspal Emulsi. Tesis. UNS. Surakarta.
- Kasan, M., 2009. Studi Karakteristik Volumetrik Campuran Beton Aspal Daur Ulang. Jurnal SMARTek, Vol. 7, No. 3, Agustus 2009: 152-165. Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako. Palu.
- Kennedy, T.W., 1983. *Tensile Characterization Of Highway Pavement Material. Center For Transportation Research the University Of Texas, Austin.*
- Kementerian Pekerjaan Umum, 2010. Spesifikasi Umum 2010. Direktorat Jenderal Bina Marga Revisi 3. Jakarta.
- Lunberg, R., Jacobson, T., Redelius, P., Ostlund, J., 2016. *Production and Durability of Cold Mix Asphalt. 6th Eurasphalt and Eurobitumen Congress, Prague, Czech Republic.*
- Raharjo, N., 2010. Tinjauan *Marshall Properties*, Kuat Tarik Tidak Langsung, Kuat tekan Bebas, dan Permeabilitas campuran Dingin Aspal beton dengan *Rapid Curing Cutback Asphalt* sebagai *Binder*. Skripsi. UNS. Surakarta
- Setiawan, H., Pradani, N., 2011. Analisis Sifat Fisik Material Perkerasan Jalan Hasil Daur Ulang. Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako. Palu.
- Sunarjono, S., Sutanto, M.S., Astuti, W.W, 2015. Karakteristik Bahan *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* Ruas Jalan Pantura Jawa. Jurnal. UMS. Surakarta.
- Sunarjono, S., 2006. Evaluasi *Engineering* Bahan Perkerasan Jalan Menggunakan *RAP* dan *Foamed Bitumen*. Jurnal eco Rekayasa, Vol. 2, No. 2. UMS. Surakarta.
- Texas Departement of Transportation*, 2014. *Test Procedure For Indirect Tensile Strength Test. TxDOT Designation: Tex-226-F*
- Thanaya, A., 2003. *Improving the Performance of Cold Bituminous Emulsion Mixtures (CBEMs) Incorporating Waste Material. Submitted in accordance with the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. Thesis. The University of Leeds School of Civil Engineering. UK.*
- Yamin, R.A., Widajat, D, 2008. Penggunaan *Foam Bitumen* Untuk Daur Ulang Perkerasan Jalan. Pusat Litbang Jalan dan Jembatan. Bandung.