



Pengaruh Material Daur Ulang Pasca Bencana dan Asbuton Butir Terhadap Sifat Volumetrik Campuran Beton Aspal Lapis Aus¹

The Effect of Post-Disaster Recycled Materials and Granular Asphalt on the Volumetric Properties of Wearing-Course Asphalt Concrete Mixture

Novita Pradani^a, Irwan Ridwan Rahim^{b,2}, Muhammad Wihardi Tjaronge^b, Rita Irmawaty^b

^a Mahasiswa Program Doktor, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Jl. Poros Malino KM 6, Gowa, Sulawesi Selatan.

^b Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Jl. Poros Malino KM 6, Gowa, Sulawesi Selatan.

ABSTRAK

Pemanfaatan material perkerasan jalan pasca bencana di Kota Palu dan penggunaan material lokal yaitu Asbuton Butir Lawele diharapkan dapat bersinergi dengan baik pada campuran Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji pengaruh penggunaan material daur ulang (RAP) dan asbuton butir terhadap sifat volumetrik campuran AC-WC. Bahan RAP yang digunakan dalam campuran adalah 20% dari berat campuran dan variasi asbuton yang digunakan adalah 0%, 3%, 6% dan 9% dari berat campuran. Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa penambahan material RAP dan asbuton butir pada campuran AC-WC dapat mempengaruhi sifat volumetrik campuran. Nilai rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam agregat mineral (VMA) akan meningkat seiring dengan peningkatan persentase asbuton. Sebaliknya, rongga yang terisi aspal (VFB) akan berkurang dengan bertambahnya jumlah asbuton. Sehingga dapat dikatakan bahwa campuran AC-WC yang mengandung RAP dengan penambahan asbuton butir, akan mengalami perubahan volumetrik jika dibandingkan dengan campuran tanpa RAP dan asbuton butir.

Kata kunci: Daur Ulang, Perkerasan, Asbuton Butir, Volumetrik, Beton Aspal.

ABSTRACT

Utilization of post-disaster pavement materials in Palu City and Indonesian local materials, namely Asbuton Butir Lawele, are expected to synergize well in Asphaltic Concrete Wearing Course (AC-WC) mixture. This study aims to examine the effect of recycled materials (RAP) and granular asbuton on the volumetric properties of the AC-WC mixture. The RAP material used in the mix is 20% of the mixture weight and variations of asbuton used are 0%, 3%, 6% and 9% of the mixture weight. According to laboratory results, it was found that the addition of RAP material and granular asbuton to the AC-WC mixture could affect the volumetric properties of the mix. The value of voids in the mixture (VIM) and voids in mineral aggregates (VMA) will increase as the proportion of asbuton increases. On the other hand, the void filled with asphalt (VFB) will decrease with the increasing number of asbuton. So it can be said that the AC-WC mixture containing RAP with the addition of granular asbuton, will experience volumetric changes compared to the mix without RAP and granular asbuton.

Keywords: Recycling, Pavement, Granular Asbuton, Volumetric, Asphaltic Concrete

¹ Info Artikel: Received: 24 Desember 2022, Accepted: 25 Desember 2022

² Corresponding Author: Irwan Ridwan Rahim, irwanrr@eng.unhas.ac.id

PENDAHULUAN

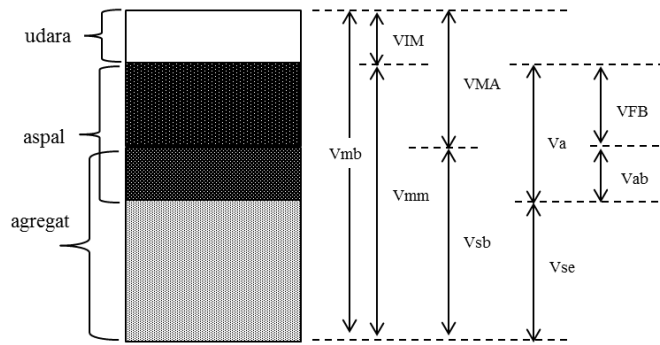
Komponen utama penyusun campuran beraspal panas adalah agregat yaitu sebesar 90-95% agregat terhadap berat total campuran, sehingga komposisi agregat dalam campuran akan sangat mempengaruhi kinerja dari campuran. Komposisi ini berkaitan erat dengan sifat volumetrik campuran beraspal. Bentuk agregat dan distribusi ukuran agregat juga sangat berpengaruh terhadap besar rongga pada campuran beraspal panas yang telah dipadatkan. (Mamangkey dkk, 2013) (Kasan, 2009) (Annisa, 2020). Karakteristik mekanik suatu campuran perkerasan jalan sangat dipengaruhi oleh sifat volumetrik campurannya. Kondisi volumetrik campuran akan memberikan dampak terhadap sifat mekanik campuran seperti retak leleh dan rutting (Wang dkk, 2019).

Pemanfaatan material perkerasan jalan lama merupakan salah satu teknologi dalam konstruksi perkerasan jalan berkelanjutan. Daur ulang perkerasan jalan dikenal juga dengan istilah *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*. Penelitian yang berkaitan dengan konservasi, penggunaan kembali, dan daur ulang bahan konstruksi dilakukan untuk memaksimalkan sifat mekanik bahan daur ulang, terutama pada bahan perkerasan jalan (Bethary dkk, 2019) (Tjaronge dan Irmawaty, 2013) (Montanez dkk, 2020) (Pradani, 2011). Asbuton butir digunakan sebagai substitusi agregat dalam campuran. Deposit Asbuton diperkirakan sekitar 60.991.554,38 ton atau dengan ukuran barel minyak setara dengan 24.352.833,07 (Suaryana, 2016). Selain karena ketersediaan asbuton yang cukup banyak di Indonesia, keunggulan lain dari asbuton butir diantaranya memiliki kandungan aspal yang tinggi, serta kandungan air dibawah 2% yang cenderung konstan (Ningrum dan Risdianto, 2018). Menurut (Zhu dkk 2020), penambahan RAP 20% hingga 40% pada campuran bermodulus tinggi, cenderung berpotensi menurunkan persen rongga dalam campuran dan rongga antar agregat. Sehingga menghasilkan campuran yang memiliki kepadatan tinggi.

Berdasarkan paparan latar belakang tersebut, maka penelitian campuran beraspal menggunakan bahan perkerasan daur ulang pasca bencana ini dapat menggambarkan tentang sifat volumetrik campuran perkerasan jalan daur ulang dengan menambahkan asbuton butir dalam campuran aspal beton lapis aus.

Volumetrik Campuran Beraspal

Kinerja campuran beraspal sangat dipengaruhi oleh kondisi volumetrik campuran setelah dipadatkan. Sifat volumetrik campuran digambarkan oleh parameter rongga dalam campuran dalam kondisi *dense/padat*. Rongga ini terdiri dari Rongga dalam campuran (*Void in Mixture/VIM*), Rongga antar butiran agregat (*Voin in Mineral Aggregate/VMA*) dan Rongga terisi aspal (*Void Filled with Bitumen/VFB*). Ilustrasi volumetrik campuran aspal panas yang telah dipadatkan, digambarkan secara skematis pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Skematis Volumetrik Campuran Beton Aspal

(Sumber: Sukirman, 2007)

Rongga dalam Campuran (VIM)

Rongga dalam campuran (VIM) beraspal merupakan rongga udara yang terbentuk diantara butiran agregat yang terselimuti aspal.

$$VIM = 100 - \left(\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \quad (1)$$

Keterangan:

VIM = Rongga udara campuran kondisi padat dari total volume campuran, (%)

G_{mb} = Berat jenis campuran kondisi padat (gr/cc)

G_{mm} = Berat jenis campuran maksimum kondisi padat (gr/cc)

Rongga antar Mineral Agregat (VMA)

Rongga antar butiran agregat (VMA) merupakan ruang yang terbentuk diantara butiran agregat dalam campuran, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (volume aspal yang terserap oleh agregat tidak termasuk).

$$VMA = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{(100 + P_b)} \times 100 \right) \quad (2)$$

Keterangan:

VMA = Rongga udara pada butiran agregat dari total volume campuran, (%)

G_{mb} = Berat jenis campuran kondisi padat (gr/cc)

G_{sb} = Berat jenis kering agregat, (gr/cc)

P_b = Kadar aspal dari total volume campuran, (%)

Rongga Terisi Aspal (VFB)

Rongga terisi aspal (VFB) adalah persen rongga yang terbentuk diantara butiran agregat yang terisi oleh aspal (VMA), namun aspal yang diserap oleh agregat tidak termasuk.

$$VFB = \frac{100(VMA - VIM)}{VMA} \quad (3)$$

Keterangan:

VFB =Rongga terisi aspal, (%)

VMA =Rongga antar butiran agregat, (%)

VIM =Rongga dalam campuran dalam kondisi padat, (%).

METODOLOGI

Material

Material daur ulang yang digunakan adalah material hasil kupasan perkerasan jalan pasca bencana dari Balaroa, Kota Palu, Sulawesi Tengah. Asbuton butir yang digunakan adalah *Lawele Granular Asphalt (LGA) 50/30* (**Gambar 2**). Sedangkan agregat baru yang digunakan berasal dari Sungai Jeneberang, Bili-Bili, Sulawesi Selatan. Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70.



(a)

(b)

Gambar 2 Material Penelitian (a) Material Pasca Bencana Palu, (b) Asbuton Butir Lawele

Tahapan Pengujian

Penelitian ini diawali dengan membuat rancangan campuran AC-WC. Komposisi dari campuran adalah menggunakan 20% RAP serta variasi asbuton sebesar 0%, 3%, 6% dan 9% terhadap berat total campuran. Selanjutnya tiap komponen ditimbang sesuai gradasi hasil rancangan campuran. Kemudian proses pemadatan campuran dengan menggunakan variasi kadar aspal 5% hingga 7% terhadap berat campuran. Dimensi benda uji sesuai dengan standar benda uji untuk Pengujian Marshall. Selanjutnya dilakukan penimbangan sampel yang dikondisikan dengan persamaan volumetrik campuran yang meliputi nilai VIM, VMA dan VFB (Persamaan 1-3). Hasil dari perhitungan ini, selanjutnya dianalisis secara statistik menggunakan analisis eksperimen faktorial Anova Dua Faktor, untuk mengetahui hubungan antar tiap variabel terhadap nilai VIM, VMA dan VFB.

HASIL DAN PEMBAHASAN

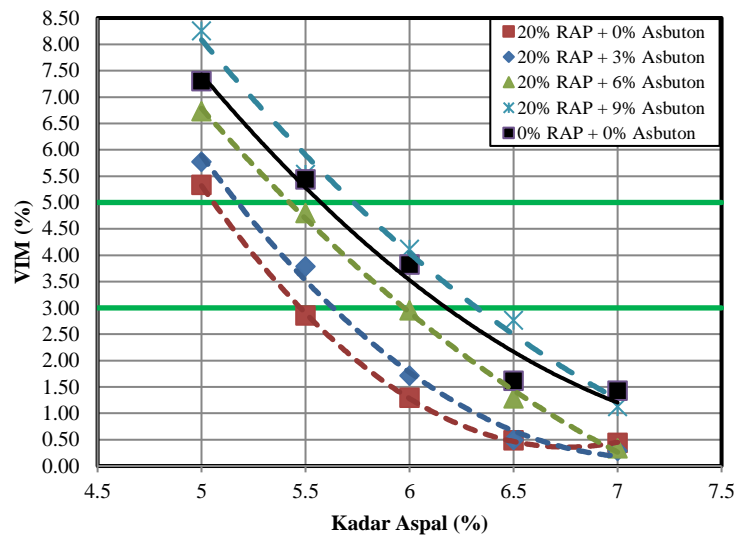
Rongga dalam Campuran (VIM)

Nilai rongga dalam campuran (VIM) pada campuran perkerasan jalan daur ulang pada tiap variasi asbuton dan kadar aspal, diperlihatkan pada **Tabel 1** dan **Gambar 3**. Berdasarkan **Gambar 3** serta **Tabel 1** diperlihatkan bahwa VIM cenderung meningkat dengan penambahan kadar asbuton, serta cenderung menurun dengan peningkatan kadar aspal. Nilai VIM tertinggi yang ditunjukkan pada **Tabel 1**, diperoleh pada campuran RAP+9% Asbuton dengan kadar aspal 5% yaitu sebesar 8,26% dan VIM terendah pada campuran RAP+3% Asbuton dengan kadar aspal 7% yaitu sebesar 0,29%.

Fenomena ini disebabkan karena seiring penambahan asbuton, maka proporsi mineral asbuton yang cenderung halus juga akan meningkat. Mineral asbuton yang semakin banyak akan berdampak pada penyerapan oleh agregat asbuton juga meningkat. Hal ini menyebabkan rongga yang terbentuk antar mineral agregat halus juga semakin meningkat, sehingga nilai VIM juga akan semakin besar. Mineral asbuton ini akan membentuk rongga baru dalam campuran sehingga persentase VIM cenderung mengalami peningkatan. Semakin tingginya kadar aspal, akan berdampak pada jumlah aspal yang menyelimuti agregat menjadi lebih tebal sehingga mengurangi rongga dalam campuran dan campuran cenderung menjadi lebih *dense*/padat. Spesifikasi nilai VIM yang disyaratkan oleh (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018 revisi 2) untuk campuran beraspal panas adalah sebesar 3-5%.

Tabel 1 Nilai VIM pada Berbagai Variasi Asbuton

Volumetrik	RAP (%)	Asbuton (%)	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
			5%	5,5%	6%	6,5%	7%	
VIM (%)	0%	0%	7,30	5,44	3,82	1,62	1,43	3 – 5
			5,33	2,86	1,29	0,49	0,44	
	20%	3%	5,77	3,78	1,71	0,49	0,29	
		6%	6,73	4,80	2,95	1,28	0,33	
		9%	8,26	5,53	4,11	2,76	1,12	



Gambar 3 Hubungan Nilai VIM terhadap Kadar Aspal pada tiap Variasi Asbuton

Berdasarkan hasil analisis eksperimen dua faktor, diperoleh hubungan seperti pada **Tabel 2**. Terlihat bahwa pada interaksi perlakuan kadar aspal (5% hingga 7%) dengan perlakuan kadar Asbuton (0%, 3%, 6%, dan 9%) diperoleh signifikansi 0,045 yang lebih kecil dari 0,05 sehingga hipotesis dapat diterima dan diperoleh kesimpulan bahwa interaksi perlakuan kadar aspal (5% hingga 7%) dengan perlakuan kadar Asbuton (0%, 3%, 6%, dan 9%) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai VIM.

Tabel 2 Hasil Analisis Faktorial Dua Faktor untuk Variabel VIM

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	332.616 ^a	19	17.506	57.297	.000
Intercept	546.017	1	546.017	1787.092	.000
Kadar_Aspal	278.877	4	69.719	228.189	.000
Kadar_Asbuton	46.218	3	15.406	50.423	.000
Kadar_Aspal * Kadar_Asbuton	7.521	12	.627	2.051	.045
Error	12.221	40	.306		
Total	890.854	60			
Corrected Total	344.837	59			

Rongga antar Mineral Agregat (VMA)

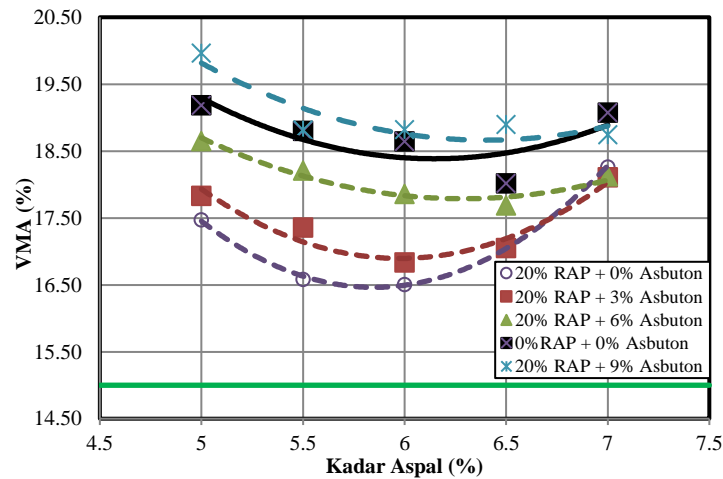
Nilai rongga antar mineral agregat (VMA) pada campuran perkerasan jalan daur ulang pada tiap variasi asbuton dan kadar aspal, diperlihatkan pada **Tabel 3** dan **Gambar 4**. Berdasarkan pada **Gambar 4** dan **Tabel 3** terlihat bahwa secara umum VMA pada campuran konvensional lebih tinggi dari campuran dengan kandungan RAP dan mineral asbuton, kecuali pada kadar asbuton 9%. Campuran dengan RAP + 0% asbuton memberikan nilai VMA yang minimum secara keseluruhan dibandingkan campuran dengan variasi yang lain. Hal ini karena rongga yang kecil pada campuran yang

mengandung RAP menyebabkan penebalan selimut aspal sehingga mengurangi rongga antar butiran agregat. Dengan meningkatnya kadar aspal, VMA cenderung menurun hingga VMA mencapai minimum dan kemudian meningkat lagi seiring bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan dengan bertambahnya persentase aspal maka rongga-rongga akan terisi aspal sehingga menurunkan VMA. Nilai VMA akan mencapai nilai minimum dimana rongga yang ada tidak dapat diisi dengan aspal. Kemudian penambahan aspal meningkatkan kembali nilai VMA, karena aspal menambah volume aspal yang ada, sehingga selimut aspal menjadi lebih tebal.

Tabel 3 Nilai VMA pada Berbagai Variasi Asbuton

Volumetrik	RAP (%)	Asbuton (%)	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
			5%	5,5%	6%	6,5%	7%	
VMA (%)	0%	0%	19,19	18,80	18,64	18,02	19,08	min 15
			17,47	16,58	16,51	17,07	18,26	
	20%	3%	17,83	17,36	16,84	17,05	18,11	
		6%	18,65	18,21	17,86	17,69	18,12	
		9%	19,96	18,82	18,82	18,90	18,75	

Nilai VMA tertinggi yang ditunjukkan pada **Tabel 3**, diperoleh pada campuran RAP+9% Asbuton dengan kadar aspal 5% yaitu sebesar 19,96% dan VMA terendah pada campuran RAP+0% Asbuton dengan kadar aspal 6% yaitu sebesar 16,51%.



Gambar 4 Hubungan Nilai VMA terhadap Kadar Aspal pada tiap Variasi Asbuton

Berdasarkan hasil analisis eksperimen dua faktor pada **Tabel 4**, terlihat bahwa Pada interaksi perlakuan kadar aspal (5% hingga 7%) dengan perlakuan kadar Asbuton (0%, 3%, 6%, dan 9%) diperoleh signifikansi 0,035 yang lebih kecil dari 0,05 sehingga hipotesis dapat diterima dan diperoleh kesimpulan bahwa interaksi perlakuan kadar aspal (5% hingga 7%) dengan perlakuan kadar Asbuton (0%, 3%, 6%, dan 9%) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai VMA.

Tabel 4 Hasil Analisis Faktorial Dua Faktor untuk Variabel VMA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	45.742 ^a	19	2.407	10.862	.000
Intercept	19320.556	1	19320.556	87169.703	.000
Kadar_Aspal	8.681	4	2.170	9.792	.000
Kadar_Asbuton	31.345	3	10.448	47.140	.000
Kadar_Aspal * Kadar_Asbuton	5.717	12	.476	2.149	.035
Error	8.866	40	.222		
Total	19375.164	60			
Corrected Total	54.608	59			

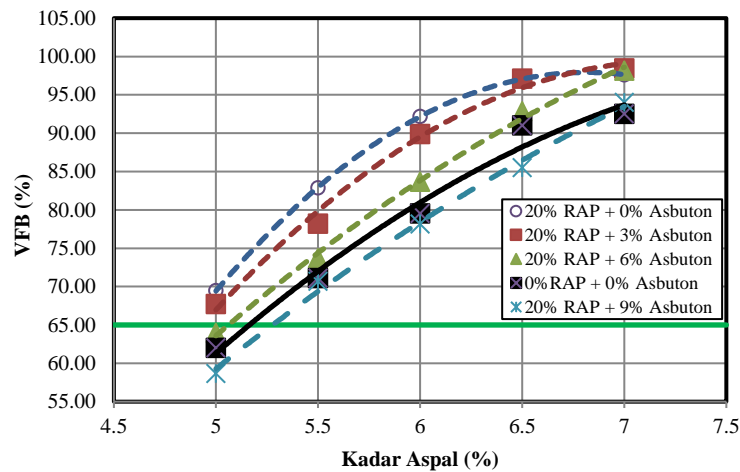
Rongga terisi Aspal (VFB)

Nilai rongga terisi aspal (VFB) pada campuran perkerasan jalan daur ulang pada tiap variasi asbuton dan kadar aspal, disajikan pada **Tabel 5** serta **Gambar 5**. Sesuai hasil yang diperoleh pada **Gambar 5** dan **Tabel 5** terlihat bahwa campuran dengan kandungan RAP + 9% asbuton memberikan nilai VFB yang lebih kecil dari keempat campuran lainnya. Kondisi ini dapat dijelaskan dengan melihat nilai VIM campuran yang memberikan nilai tertinggi dari campuran lainnya, sehingga bila diberikan aspal maka aspal akan mengisi rongga namun kadar aspal yang diberikan tidak sebanding dengan rongga yang ada. Akibatnya rongga terisi aspal yang terbentuk juga akan semakin berkurang.

Nilai VFB tertinggi yang ditunjukkan pada **Tabel 5**, diperoleh pada campuran RAP+3% Asbuton dengan kadar aspal 7% yaitu sebesar 98,43% dan VFB terendah pada campuran RAP+9% Asbuton dengan kadar aspal 5% yaitu sebesar 58,67%. Spesifikasi nilai VFB yang disyaratkan oleh (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018 revisi 2) untuk campuran beraspal panas adalah minimal 65%.

Tabel 5 Nilai VFB pada Berbagai Variasi Asbuton

Volumetri k	RAP (%)	Asbuton (%)	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
			5%	5,5%	6%	6,5%	7%	
VFB (%)	0%	0%	62,01	71,09	79,54	91,02	92,52	min 65
			69,49	82,85	92,18	97,16	97,59	
	20%	3%	67,74	78,20	89,86	97,12	98,43	
		6%	63,99	73,68	83,67	92,84	98,16	
		9%	58,67	70,67	78,16	85,50	94,02	



Gambar 5 Hubungan Nilai VFB terhadap Kadar Aspal pada tiap Variasi Asbuton

Berdasarkan hasil analisis eksperimen dua faktor pada **Tabel 6**, pada interaksi perlakuan kadar aspal (5% hingga 7%) dengan perlakuan kadar Asbuton (0%, 3%, 6%, dan 9%) diperoleh signifikansi 0,044 yang lebih kecil dari 0,05 sehingga hipotesis dapat diterima dan diperoleh kesimpulan bahwa interaksi perlakuan kadar aspal (5% hingga 7%) dengan perlakuan kadar Asbuton (0%, 3%, 6%, dan 9%) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai VFB.

Tabel 6. Hasil Analisis Faktorial Dua Faktor untuk Variabel VFB

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9259.017 ^a	19	487.317	76.366	.000
Intercept	418337.839	1	418337.839	65556.198	.000
Kadar_Aspal	8128.786	4	2032.197	318.458	.000
Kadar_Asbuton	972.579	3	324.193	50.803	.000
Kadar_Aspal * Kadar_Asbuton	157.652	12	13.138	2.059	.044
Error	255.254	40	6.381		
Total	427852.111	60			
Corrected Total	9514.272	59			

KESIMPULAN

Rangkuman hasil analisis terhadap sifat volumetrik campuran AC-WC dengan penggunaan material daur ulang pasca bencana dan asbuton butir, sebagai berikut:

1. Penggunaan material daur ulang dan asbuton butir pada campuran AC-WC dapat berpengaruh terhadap sifat volumetrik campuran aspal panas.
2. Nilai rongga dalam campuran (VIM) dan nilai rongga antar mineral agregat (VMA) cenderung mengalami peningkatan seiring penambahan kadar asbuton. Dibandingkan campuran konvensional, nilai VIM dan VMA pada campuran RAP + asbuton cenderung lebih kecil hingga kadar asbuton 6%.
3. Nilai rongga terisi aspal (VFB) cenderung mengalami penurunan dengan penambahan persentase asbuton dalam campuran daur ulang. Secara umum nilai VFB pada campuran konvensional lebih kecil dibandingkan campuran RAP + asbuton kecuali pada kadar asbuton 9%.
4. Nilai VIM tertinggi diperoleh pada campuran RAP+9% asbuton dengan kadar aspal 5% yaitu sebesar 8,26% dan VIM terendah pada campuran RAP+3% Asbuton dengan kadar aspal 7% yaitu sebesar 0,29%. Sedangkan nilai VMA tertinggi terjadi pada campuran RAP+9% Asbuton dengan kadar aspal 5% sebesar 19,96% dan VMA terendah pada campuran RAP+0% Asbuton dengan kadar aspal 6% yaitu 16,51%.
5. Nilai VFB tertinggi diperoleh pada campuran RAP+3% Asbuton dengan kadar aspal 7% yaitu 98,43% dan VFB terendah pada campuran RAP+9% Asbuton dengan kadar aspal 5% sebesar 58,67%.
6. Penambahan Asbuton dalam campuran daur ulang meskipun masih memenuhi spesifikasi volumetrik campuran, namun menunjukkan kecenderungan akan lebih sulit untuk memenuhi spesifikasi seiring dengan penambahan persentase asbuton.

DAFTAR PUSTAKA

- Annisa. M.A. (2020). “Tinjauan Sifat Volumetrik Campuran Aspal Beton Terhadap Karakteristik Marshall”. *Tesis*, Universitas Mataram, Mataram.
- Bethary. R.T., Subagio. B.S., Rahman. H. and Suaryana. N. (2019). “Effect of Recycled Materials on Marshall Performance of Hot Asphalt Mixture (HMA – RAP)”. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 508 012048.
- Kasan. M. (2009). “Studi Karakteristik Volumetrik Campuran Beton Aspal Daur Ulang”. *Jurnal Smartek* Vol.7 No.3, (152-165).
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). “*Spesifikasi Campuran Aspal Panas Revisi 2, Seksi 6.3*”. Jakarta.
- Mamangkey. R., Kaseke. O.H., Jansen. F. dan Manoppo. M.R.E (2013). “Kajian Laboratorium Sifat Fisik Agregat Yang Mempengaruhi Nilai VMA Pada Campuran Beraspal Panas HRS-WC”. *Jurnal Sipil Statik* Vol.1 No.3, Februari 2013 (196-201).
- Montañez. J., Caro. S., Carrizosa. D., Calvo. A. and Sánchez. X. (2020). “Variability of the mechanical properties of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) obtained from different sources”. *J. Construction and Building Materials* Volume 230. 116968.
- Ningrum. A.A. dan Risdianto. Y. (2018). “Perbandingan Penggunaan Buton Granular Asphalt (BGA) Dan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Sebagai Bahan Substitusi Agregat Pada Campuran Aspal Wearing Course (AC-WC) Dengan Fly Ash Sebagai Filler”. *Rekayasa Teknik Sipil 2 (2/REKAT/18)*.

- Pradani, N. (2011). “Kinerja Modulus Resilien dan *Fatigue* dari Campuran Lapis Aus (AC-WC) yang Menggunakan Material Hasil Daur Ulang dan Polimer Styrene-Butadiene-Styrene (SBS)”. *Tesis*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Suaryana N. (2016). “Performance Evaluation of Stone Matrix Asphalt Using Indonesian Natural Rock Asphalt as Stabilizer”. *International Journal of Pavement Research and Technology* 9 (2016) 387 – 392.
- Sukirman, Silvia. (2007). “*Beton Aspal Campuran Panas*”. Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.
- Tjaronge. M.W. and Irmawaty. R. (2013). “Influence of Water Immersion on Physical Properties of Porous Asphalt Containing Liquid Asbuton as Bituminous Asphalt Binder”. *Proceedings of 3rd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*. Kyoto, Jepang.
- Wang. Y.D., Ghanbari. A., Underwood. B.S. and Kim. Y.R. (2019). “Development of a Performance Volumetric Relationship for Asphalt Mixtures”. *Transportation Research Record; Journal of Transportation Research Board* (page 1-15).
- Zhu. J., Ma. T., Fan. J., Fang Z., Chen T. and Zhou. Y. (2020). “Experimental study of high modulus asphalt mixture containing reclaimed asphalt pavement”. *Journal of Cleaner Production* 263 (2020) 121447