

Pemanfaatan Batu Sungai Pappa Kecamatan Polong Bangkeng Utara, Kabupaten Takalar Dalam Campuran AC - WC

Nari Ro'son ^{*1}, Rais Rachman ^{*2}, Alpius ^{*3}

^{*1} *Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia*
nariroson89@gmail.com

^{*2,3} *Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia*
rais.rachman@gmail.com ^{*2} dan alpiusnini@gmail.com ^{*3}

Corresponding Author: nariroson89@gmail.com

Abstrak

Pembangunan infrastruktur jalan sangatlah diperlukan untuk meningkatkan sektor utama dalam menggerakkan roda perekonomian nasional maupun daerah. Mengingat penting pembangunan infrastruktur jalan, sehingga menjadi perlu untuk mencari solusi alternatif dengan memanfaatkan sumber daya alam yang tersedia untuk pengembangan bahan dasar perkerasan jalan. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan Batu Sungai Pappa Kecamatan Polong Bangkeng Utara Kabupaten Takalar dalam Campuran AC – WC. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah terlebih dahulu merancang komposisi campuran AC – WC, melakukan serangkaian pengujian agregat kasar, halus dan *filler*, kemudian menggunakan uji *Marshall* untuk mengetahui sifat-sifat campuran dan uji perendaman *Marshall* untuk menentukan stabilitas *Marshall* campuran yang tersisa dengan jumlah aspal yang tepat didalamnya. Hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium Jalan dan Aspal Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, menunjukkan bahwa karakteristik bahan perkerasan berupa Batu Kali Pappa Kecamatan Polong Bangkeng Utara Kabupaten Takalar memenuhi persyaratan sebagai bahan pembuatan jalan lapisan perkerasan. Melalui uji *Marshall* diperoleh karakteristik campuran AC – WC dengan kadar aspal 5,50 %, 6,00 %, 6,50 %, 7,00 %, 7,50 %. Hasil pengujian *Marshall Immersion* campuran AC – WC dengan kadar aspal optimum 5,50 % diperoleh Stabilitas *Marshall* Sisa sebesar 94,36 % memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 yaitu minimal 90 %.

Kata Kunci : Pemanfaatan, AC – WC- *Marshall*, Batu Sungai

Abstract

Road infrastructure development is very necessary to improve the main sectors in moving the wheels of the national and regional economy. Given the importance of road infrastructure development, it becomes necessary to find alternative solutions by utilizing available natural resources for the development of basic materials for road pavement. This study aims to utilize Batu Sungai Pappa, North Bangkeng Pod District, Takalar Regency in a mixture of air conditioning – toilets. The method used in this study was to first design the composition of the AC – WC mixture, carry out a series of coarse, fine and filler aggregate tests, then use the Marshall test to determine the properties of the mixture and the Marshall immersion test to determine the Marshall stability of the remaining mixture with the amount of asphalt. The results of research conducted at the Road and Asphalt Laboratory of the Christian University of Indonesia Paulus Makassar, indicate that the characteristics of the pavement material in the form of Kali Pappa Stone, Polong Barkeng Utara District, Takalar Regency fulfill the requirements as a material for making pavement layers. Through the Marshall test, the characteristics of the AC – WC mixture were obtained with asphalt content of 5.50%, 6.00%, 6.50%, 7.00%, 7.50%. The test results of Marshall Immersion mixture of AC – WC with an optimum asphalt content of 5.50% obtained Residual Marshall Stability of 94.36% meeting the 2018 Bina Marga Specifications, which is at least 90%.

Keywords : Utilization, AC – WC- Marshall, Batu Sungai

PENDAHULUAN

Salah satu upaya pemerintah untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat Indonesia adalah dengan adanya pembangunan infrastruktur jalan baik di kawasan perkotaan maupun di daerah-daerah terpencil. Pembangunan infrastruktur jalan sangatlah diperlukan untuk meningkatkan sektor utama dalam menggerakkan roda perekonomian nasional maupun daerah. Mengingat pentingnya pembangunan infrastruktur jalan, maka menjadi perlu untuk mencari opsi tambahan dengan memanfaatkan sumber daya alam yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan bahan dasar pembangunan perkerasan jalan [1]. Salah satu daerah yang berpotensi memiliki sumber material berupa agregat batu sungai adalah Kabupaten Takalar, salah satu faktor pendorong perluasan infrastruktur transportasi darat adalah potensi tersebut. Keberadaan material pada Sungai Pappa cukup banyak, sehingga bisa dimanfaatkan sebagai bahan untuk campuran beraspal lapisan perkerasan jalan, sehingga mempermudah dalam pelaksanaan perkerasan jalan maupun untuk bahan bangunan. Untuk keperluan memanfaatkan sumber material local, perlu dilakukan pengujian karakteristik agregat untuk mengetahui penggunaan serta sifat-sifat yang harus dimiliki sebagai bahan campuran AC-WC, selain itu perlu diketahui kemampuan dari campuran dalam ketahanan terhadap cuaca panas maupun hujan dengan pengujian *Marshall Immersion* [2]. Beberapa penelitian serupa telah dilakukan sebelumnya, termasuk penelitian yang menggunakan Abu Bongkol jagung sebagai bahan pengisi pengganti kombinasi AC-WC setelah dilakukan pengujian karakteristik didapatkan hasil untuk *Flow* 0%-100% :2.41mm - 3.47mm Stabilitas 0%-100% : 1110.17kg - 1436.40kg untuk VMA 0%-100% : 14.56% - 15.72% untuk VIM 0%-100% : 3.21% - 4.16% dan untuk VFB 0%-100% : 73.55% - 77.96% [3], Pemanfaatan Batu Kali Melli Pada Campuran AC-WC di Kecamatan Baebunta Kabupaten Luwu Utara. Hasil penelitian menunjukkan dosis yang digunakan pada campuran “AC-WC” yang terbuat dari material Melli River, yaitu 5,80% untuk filler, 36,90% untuk agregat kasar, 50,30% untuk agregat halus dengan minimum 7,00% untuk ketentuan ukuran kadar aspal [4], Pemanfaatan Limbah Nikel Sorowako dalam Campuran Aspal Matriks Batu Kasar Temuan penelitian menunjukkan bahwa bahan tambah, Limbah Nikel, dapat digunakan sebagai komponen tambahan dalam campuran perkerasan jalan karena memenuhi Standar Persyaratan Umum. Bina Marga 2018 [5], Batu Kali Masuppu Masanda digunakan dalam campuran AC-WC. Temuan penelitian menunjukkan bahwa material Kecamatan Masanda yang berasal dari Sungai Masuppu telah memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan pelapis perkerasan jalan sesuai dengan karakteristik bahan perkerasannya [6], Temuan yang diperoleh telah memenuhi kriteria Bina Marga 2018 dalam hal sifat campuran AC-WC dengan Aditif Batu Sungai Sangtanete dan Kantong Plastik. Hasil VIM adalah sebagai berikut: VIM 4,80%, stabilitas 1757 kg, flow 3,51 mm, VFB 70,12%, dan VMA 16,18% [7], Penggunaan Agregat Kali Lamasi Kabupaten Luwu Sebagai Campuran Aspal Beton Lapis AC-WC, Hasil Uji Perendaman Marshall, dan Campuran AC-WC Laston memenuhi Persyaratan Umum Divisi 6 Tahun 2018 dengan kadar aspal ideal 7,50% [8], Dengan menggunakan Agregat Sungai Mawa Kecamatan Cendana, campuran AC-WC pada kadar aspal idealnya 7%, dan hasil uji Marshall *Immersion* semuanya menunjukkan bahwa campuran tersebut tahan terhadap perendaman dalam air [9], Pengujian Karakteristik Campuran AC-WC Pengujian karakteristik agregat yang dilakukan dengan menggunakan Batu Gunung Tambolang di Kabupaten Toraja Utara menghasilkan temuan yang memenuhi persyaratan umum Bina Marga sebagai campuran AC dan WC [10], Agregat Sungai Bittuang Sebagai Campuran AC-WC: Sebuah Studi Hasil pengujian sifat campuran AC-WC pada standar Marshall yang diproduksi menggunakan kadar aspal 5,00% melebihi persyaratan spesifikasi untuk stabilitas, aliran, VIM, dan VFB, tetapi VMA tidak, hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan karet ban bekas pada kombinasi akan mengurangi rongga pada campuran, yang secara tidak langsung dapat membuat campuran tahan air[11].

METODOLOGI PENELITIAN

1. Lokasi Pengambilan Material

Pengambilan material diambil dari Sungai Pappa Kecamatan Polong Bangkeng Utara Kabupaten Takalar, dengan luas sungai sekitar 15 Meter



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Material



Gambar 2. Pengambilan Sampel Agregat

2. Perancangan Komposisi Campuran AC – WC

Bahan campuran AC - WC adalah sebagai berikut:

- a. Agregat yang berasal dari sungai Pappa Kecamatan Polong Bangkeng Utara Kabupaten Takalar, baik yang kasar maupun yang halus.
- b. *Filler*
- c. Bahan Pengikat (Aspal Penetrasi 60/70).

3. Perhitungan Kadar Aspal Untuk AC – WC

Nilai 5,43% dihitung dari hasil perhitungan kadar aspal minimum, dan nilai 10,8% dihitung dari hasil perhitungan kadar aspal maksimum. asilnya, kadar aspal campuran AC-WC adalah 5,5% dengan kenaikan kadar aspal 0,5%, maka Kadar aspal yang digunakan untuk campuran AC-WC adalah 5,50 %, 6,00%, 6,50%, 7,00 %, dan 7,50 %.

$$\text{Berat Aspal (gr)} = \frac{KA}{(100\%)} \times 1200gr \dots\dots\dots (1)$$

4. Persiapan Sampel Benda Uji Untuk Campuran AC – WC

Bahan yang digunakan dalam campuran AC-WC memenuhi kriteria, dan total benda uji yang digunakan dalam uji Marshall adalah 18 buah. Aspal Divisi 6 Spesifikasi Umum 2018 menjadi dasar komposisi campuran yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1: Jumlah Benda uji Campuran

Kadar Aspal (%)	AC-WC	
	Jumlah Benda Uji (buah)	
	Pengujian <i>Marshall Konvensional</i>	Pengujian <i>Marshall Immersion</i>
5,50	3	
6,00	3	3

6,50	3	
7,00	3	
7,50	3	
Total	15	3

5. Pengujian *Marshall* Konvensional Campuran AC – WC

Secara umum, batas rongga campuran adalah antara 3% dan 5%, dan benda uji dipadatkan hingga tumbukan 2x75 untuk lalu lintas padat saat merancang campuran aspal di laboratorium menggunakan metode tradisional Marshall. Dalam studi ini, ketiga teknik pemadatan tumbukan Marshall 275, tumbukan Marshall 2400, dan pemadat *Marshall* dibandingkan dalam karakteristik kepadatan campuran aspal.



Gambar 3. Pengujian Benda Uji Menggunakan *Marshall Test*

ANALISA DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Agregat Sungai Pappa Kecamatan Polong Bangkeng Utara

Hasil pengujian keausan agregat pada agregat yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan Fraksi A (15,96), Fraksi B (19,22), Fraksi C (21) dan Fraksi D (24,1) yang sesuai dengan Spesifikasi Umum Jalan Raya Tahun 2018 Persyaratan Divisi 6 maksimal 40%. Hasil tersebut memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6 Tahun 2018 untuk Specific Gravity and Aggregate Absorption didapatkan Bulk (2,54), SSD (2,606), Apparent (2,715), dan Absorpsi (1,51) yaitu minimal 2,5% untuk Bulk, SSD, dan Apparent sedangkan untuk daya serap maksimal 3%. Untuk analisis pengayakan, ayakan agregat dengan ukuran $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$, 4, 8, 16, 30, 50, 100 dan 200 diperiksa. Semua hasil memenuhi persyaratan Divisi 6 Spesifikasi Umum Jalan Raya 2018. Untuk hasil pengujian material, Standar Umum Jalan Tahun 2018 maksimal 10%, dan hasil ayakan nomor 200 3,89%. Kandungan lumpur agregat diukur dengan Setara Pasir (96,785) memenuhi persyaratan SNI 03-4428-1997 minimal 60%, sedangkan kandungan lumpur diukur sebagai Kandungan Lumpur (3,215) memenuhi SNI 03-4428-1997 persyaratan maksimal 5%. Berdasarkan hasil pengujian Indeks Kerataan dan Pemanjangan, Indeks Kerataan pada saringan $\frac{3}{4}$ (84,52), $\frac{1}{2}$ (98,59), $\frac{3}{8}$ (86,67) dan Indeks Pemanjangan pada saringan $\frac{3}{4}$ (76,09), $\frac{1}{2}$ (89,28), dan saringan $\frac{3}{8}$ (73,92) keduanya memenuhi persyaratan ASTM D-4791-10, yaitu maksimal 10%. Hasil pengujian daya lekat agregat terhadap aspal diperoleh hasil > 98% dan memenuhi persyaratan SNI 2439-2011 yaitu minimal 95%. Hasil Uji Berat Jenis *Filler* adalah 3,08 dan memenuhi persyaratan SNI 03-1969-1990.

Penggunaan agregat yang berasal dari Sungai Pappa Kecamatan Polong Bengeng Utara sangat baik untuk digunakan dalam perencanaan komposisi campuran Aspal karena dapat dilihat dari keseluruhan hasil pengujian karakteristik agregat yang telah dilakukan bahwa hasil pengujian secara keseluruhan telah memenuhi spesifikasi yang digunakan.

2. Hasil Pengujian Karakteristik Aspal (Data Sekunder)

Karakteristik aspal yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Karakteristik Aspal Penetrasi 60/70 (Data Sekunder)

Jenis Pengujian	Metode	Hasil	Spesifikasi Bina Marga 2018		Satuan	Ket
			Min	Maks		
Penetrasi pada suhu 25 °c	SNI 2456-2011	65,7	60	70	0,1 mm	Memenuhi Standar
Daktilitas Pada Suhu 25°C	SNI 2432-2011	150	≥100		Cm	
Titik Lembek Aspal	SNI 2434-2011	55,5	≥48		°C	
Titik Nyala (°c)	SNI 2433-2011	290	≥232		°C	
Berat Jenis Aspal	SNI 2441-2011	1,016	≥1		-	
Berat Yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	0,183	≤0,8		%	
Penetrasi pada suhu 25 °c TFOT	SNI 03-6835-2002	84,70	54		semula	

3. Hasil Pengujian Karakteristik Filler

Hasil Pengujian Karakteristik *filler* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. Hasil Pengujian Berat Jenis Filler

No.	Pengujian	Metode	Spesifikasi		Hasil Uji	Satuan
			Min	Max		
1.	Pemeriksaan berat jenis <i>filler</i>	SNI 03-1969-1990	2,5 %	-	3,08	-

4. Karakteristik Campuran AC - WC

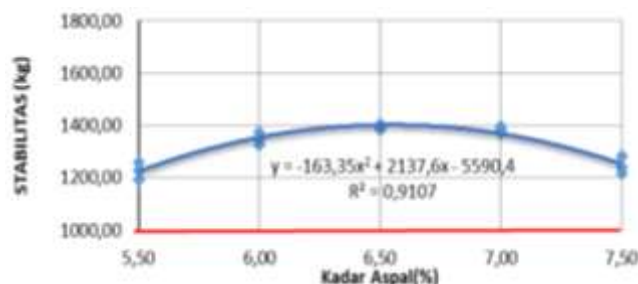
a. Analisis Terhadap Stabilitas

Nilai stabilitas sedang untuk campuran AC-WC dengan kadar aspal 5,50%-7,50% adalah 1228,28 kg untuk kadar aspal 5,50%, 1350,00 kg untuk kadar aspal 6,00%, 1394,26 kg untuk kadar aspal 6,50%, 1383,20 kg untuk kadar aspal 7,00%, dan 1246,72 kg untuk kadar aspal 7,50%. Semua nilai stabilitas antara 5,00% dan 7,50% dalam kadar aspal sesuai dengan Standar Bina Marga 2018.

Tabel 4. Nilai Stabilitas Dari Pengujian Karakteristik Campuran AC-WC

Kadar Aspal (%)	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50
	1261,48	1327,87	1383,20	1383,20	1283,61
Stabilitas	1195,08	1350,00	1394,26	1394,26	1239,34
	1228,28	1372,13	1405,33	1372,13	1217,21
Rata-Rata	1228,28	1350,00	1394,26	1383,20	1246,72
Persyaratan	Min 800 kg				

Menurut Gambar 2, menggunakan sedikit aspal dalam campuran AC-WC akan menghasilkan selimut aspal tipis di permukaan agregat, yang menghasilkan ikatan antar agregat yang lemah dan sedikit stabilitas campuran. Namun, menambahkan lebih banyak aspal akan menghasilkan ikatan antar agregat yang kuat dan stabilitas campuran dalam jumlah besar. Akibatnya, kekuatan campuran berkurang sehingga meningkatkan nilai stabilitas.



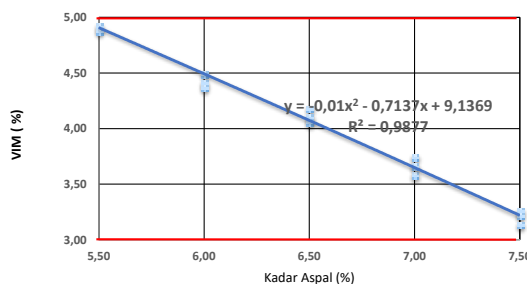
Gambar 2. Hubungan Kadar Aspal dan Stabilitas Untuk Campuran AC-WC

b. Analisa terhadap VIM (Void in Mixture)

Dengan menggunakan kadar aspal 5,50% - 7,50% AC-WC diperoleh nilai VIM antara pada 4,94% sampai 3,21%. Saat kadar aspal turun dari 5,50% menjadi 6,00%, turun menjadi 4,43%; ketika turun dari 6,00% menjadi 6,50%, turun menjadi 4,11%; ketika turun dari 6,50% menjadi 7,00%, turun menjadi 3,66%; dan ketika turun dari 7,00% menjadi 7,50% maka nilai VIM turun sebesar 3,21%.

Tabel 5. Nilai VIM Dari Pengujian Karakteristik Campuran AC-WC

Kadar Aspal (%)	5.5	6	6.5	7	7.5
VIM	5	4.49	4.18	3.66	3.14
	4.92	4.41	4.1	3.58	3.26
	4.88	4.37	4.06	3.74	3.22
Rata-Rata	4.94	4.43	4.11	3.66	3.21
Persyaratan	3 – 5 %				



Gambar 3. Hubungan Kadar Aspal dan VIM Untuk Campuran AC-WC

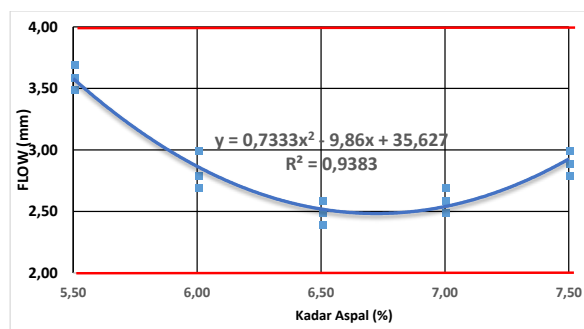
Berdasarkan Gambar 3 serta persamaan garis $y = -0,01x^2 - 0,7137x + 9,1369 = 0,9877$ menunjukkan bahwa VIM menurun sampai pada kadar aspal 7,76 %.

c. Analisa Terhadap Flow

Dengan menggunakan kadar aspal 5,50% - 7,50% diperoleh nilai *flow* antara 3,60mm – 2,90 mm. Berdasarkan Gambar 4, dapat disimpulkan bahwa jika aspal dalam campuran sedikit, maka daya ikat antar agregat berkurang sehingga menyebabkan fleksibilitas yang signifikan. Namun, seiring bertambahnya jumlah aspal yang digunakan, ikatan antar agregat campuran menjadi lebih kuat, yang mengurangi kelenturan campuran. Namun, jika penggunaan aspal meningkat lagi, selimut aspal menebal, yang mengurangi kekuatan campuran tetapi meningkatkan kelenturannya, yang berarti stabilitas atau kekuatan campuran akan berkorelasi negatif dengan seberapa fleksibel campuran atau alirannya.

Tabel 6. Nilai *Flow* Dari Pengujian Karakteristik Campuran AC-WC

Kadar Aspal (%)	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50
Flow	3,50	3,00	2,60	2,70	2,80
	3,60	2,80	2,40	2,50	2,90
	3,70	2,70	2,50	2,60	3,00
Rata-Rata	3,60	2,83	2,50	2,60	2,90
Persyaratan	Min 2 - 4 mm				



Gambar 4. Hubungan Kadar Aspal dan Flow Untuk Campuran AC-WC

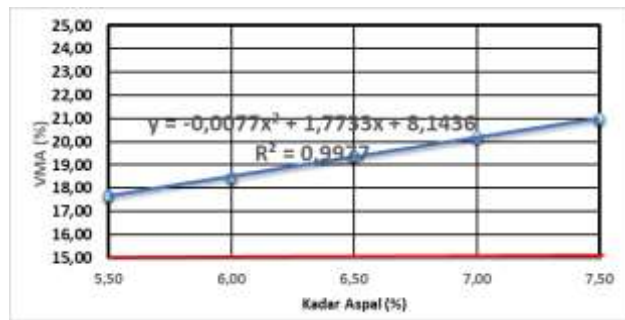
d. Analisa Terhadap VMA (*Void in Mineral Aggregate*)

Dengan AC-WC, nilai VMA dihasilkan antara 17,69% dan 21,00% dengan kadar aspal antara 5,50% dan 7,50%. Hal ini dipengaruhi oleh banyaknya aspal yang digunakan karena selain menutupi agregat, aspal efektif juga mengisi ruang di dalam dan di antara partikel agregat.

Tabel 7. Nilai VMA Dari Pengujian Karakteristik Campuran AC-WC

Kadar Aspal (%)	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50
VMA	17,74	18,51	19,44	20,19	20,94
	17,68	18,44	19,37	20,12	21,04
	17,64	18,40	19,33	20,26	21,01
Rata-Rata	17,69	18,45	19,38	20,19	21,00
Persyaratan	Min 15 %				

Berdasarkan Gambar 5, semakin banyak aspal yang digunakan maka semakin besar ruang-ruang pada agregat yang terisi aspal sehingga nilai VMA semakin meningkat. Penggunaan aspal yang banyak berdampak pada hal tersebut karena pada saat pencampuran dan pemadatan, aspal mengisi rongga-rongga pada agregat maupun rongga antar agregat.



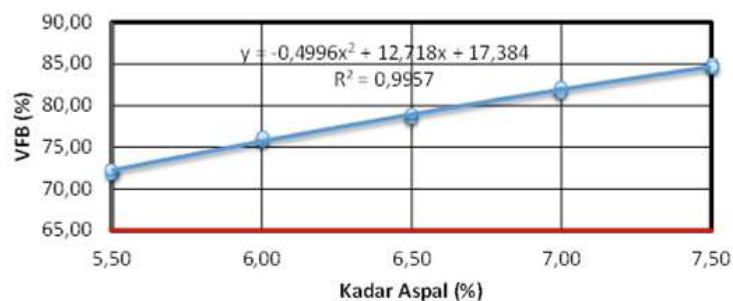
Gambar 5. Hubungan Kadar Aspal dan VMA Untuk Campuran AC-WC

e. Analisa Terhadap VFB (Void Filled with Bitumen)

Nilai VFB berkisar antara 72,10% sampai 84,73% ketika bahan asli untuk AC-WC digunakan, yaitu antara 5,50% dan 7,50%.

Tabel 8. Nilai VFB Dari Pengujian Karakteristik Campuran AC-WC

Kadar Aspal (%)	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50
VFB	71,81	75,72	78,48	81,86	85,02
	72,15	76,06	78,82	82,20	84,50
	72,33	76,25	79,00	81,52	84,68
Rata-Rata	72,10	76,01	78,77	81,86	84,73
Persyaratan	Min 65%				



Gambar 6. Hubungan Kadar Aspal dan VFB Untuk Campuran AC-WC

Penggunaan kadar aspal, yang sedikit mengurangi VFB, penggunaan kadar aspal, yang sangat meningkatkan VFB, dan sebaliknya, semuanya dapat disimpulkan dari Gambar 6. Meskipun aspal akan sepenuhnya mengisi semua rongga agregat dan campuran.

Hasil pengujian *Marshall Immersion* menghasilkan Immersion atau *Residual Strength Index* untuk AC-WC sebesar **94,36 %** dan hasil tersebut memenuhi kriteria Highways yaitu **> 90%**. Temuan ini menunjukkan bahwa campuran tersebut tahan terhadap perubahan suhu dan lama perendaman.

KESIMPULAN

1. Karakteristik batu Sungai Pappa Kecamatan Polong Bangkeng Utara Kabupaten Takalar, karakteristik aspal dan berat jenis *filler* semen, untuk campuran AC-WC memenuhi standar Bina Marga 2018,

diperoleh karakteristik campuran beraspal memenuhi spesifikasi yaitu stabilitas, *flow*, VIM, VMA, dan VFB.

2. Kombinasi AC-WC memiliki komposisi sebagai berikut: jumlah optimal aspal 7,50%, agregat halus 50,00%, agregat kasar 37,75%, dan *filler* 5,75%.
3. Hasil pengujian *Marshall Immersion* (Indeks Kekuatan Sisa) campuran AC-WC di Kabupaten Takalar memenuhi kriteria dan spesifikasi Bina Marga tahun 2018 dengan nilai 97,39% .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Rachman, "Inovasi Teknologi Bahan Konstruksi," dalam Teknologi Bangunan dan Material, Makassar: Tohar Media, 2021, hlm. 11–21
- [2] C. Kamba, "Agregat dari Material Lokal," dalam Pemanfaatan Material Alternatif (Sebagai Bahan Penyusun Konstruksi), Makassar: CV. Tohar Media, 2021, hlm. 35–46.
- [3] A. S. Sau'langi, Alpius, dan H. W. Tanje, "Pemanfaatan Abu Limbah Bonggol Jagung Sebagai Bahan Substitusi Filler Untuk Campuran AC-WC," Paulus Civ. Eng. J., vol. 3, no. 4, hlm. 587–594, 2021, doi: <https://doi.org/10.52722/pcej.v3i4.338>.
- [4] Deamayes, Alpius, dan C. Kamba, "Pemanfaatan Batu Sungai Melli Kecamatan Baebunta Kabupaten Luwu Utara Dalam Campuran AC-WC," Paulus Civ. Eng. J., vol. 3, no. 1, hlm. 85–91, 2021, doi: <https://doi.org/10.52722/pcej.v3i1.210>.
- [5] F. P. Supit, R. Mangontan, dan Alpius, "Pemanfaatan Limbah Nikel Sorowako Dalam Campuran Stone Matrix Asphalt Kasar," Paulus Civ. Eng. J., vol. 3, no. 1, hlm. 63–69, 2021
- [6] B. Wisnu, R. Rachman, dan Alpius, "Karakteristik Campuran AC – WC Dengan Bahan Tambah Abu Tongkol Jagung," Paulus Civ. Eng. J., vol. 4, no. 4, hlm. 610–619, 2022, doi: <https://doi.org/10.52722/pcej.v4i4.546>.
- [7] R. M. Pasapan, N. Ali, dan R. Rachman, "Pengaruh Styrofoam sebagai Bahan Tambah dalam Campuran Laston Lapis Antara," Paulus Civ. Eng. J., vol. 3, no. 4, Art. no. 4, 2021, doi: <https://doi.org/10.52722/pcej.v3i4.345>.
- [8] I. S. K. Sosang, "Pemanfaatan Agregat Sungai Mawa Kecamatan Cendana Dalam Campuran AC-WC," Paulus Civil Engineering Journal, vol. 2, no. 1, pp. 53-57, 2020. https://www.researchgate.net/publication/351929180_Pemanfaatan_Agregat_Sungai_Mawa_Kecamatan_Cendana_Dalam_Campuran_AC-WC
- [9] M. I. Asrinto, "Uji Karakteristik Campuran AC-WC Menggunakan Batu Gunung Tambolang Kabupaten Toraja Utara," Paulus Civil Engineering Journal, vol. 3, no. 2, pp. 183-190, 2021. <http://ojs.ukipaulus.ac.id/index.php/pcej/article/view/322>
- [10] N. Wendani, "Studi Penggunaan Agregat Sungai Bittuang Sebagai Bahan Campuran AC-WC," Paulus Civil Engineering Journal, vol. 2, no. 2, pp. 138-144, 2020. <https://www.semanticscholar.org/paper/Studi-Penggunaan-Agregat-Sungai-Bittuang-Sebagai-Wendani-Selintung/d0f0ec846ffdb4b6ffe76176b9796548229aa7e7>
- [11] Alpius, "Karakteristik Campuran AC-WC Menggunakan Bahan Tambah Limbah Ban Bekas," Paulus Civil Engineering Journal, vol. 3, no. 3, pp. 379-387, 2021. <http://ojs.ukipaulus.ac.id/index.php/pcej/article/view/289>