

Pemanfaatan Limbah Plastik PVC Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran AC-WC

Mita Rante ^{*1}, Alpius ^{*2}, Charles Kamba ^{*3}

^{*1} Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia mitarante01@gmail.com

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

Corresponding Author: kamba.charles@gmail.com

ABSTRAK

Untuk menunjang pembangunan jalan dan meningkatkan kualitas campuran aspal, pembangunan jalan memerlukan pengaspalan beton yang baik dan perawatan yang rutin, salah satunya dengan memasukkan zat aditif ke dalam aspal. Limbah pipa yang terbuat dari plastik PVC menjadi bahan yang digunakan. Limbah plastik PVC ini dimanfaatkan dengan cara menambahkan plastik PVC ke dalam campuran aspal menggunakan cara kering. Tujuan penelitian pengujian karakteristik campuran AC-WC yang menggunakan limbah plastic PVC sebagai bahan tambah. Metode pengujian dengan Marshall konvensional serta Marshall Immersion. Hasil pengujian Marshall Konvensional menunjukkan dengan menggunakan kadar limbah plastik 0%, 1%, 2%, 3% dan 4%, karakteristik campuran AC-WC seperti Stabilitas, Flow, VIM, VFB, dan VMA memenuhi spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 dan hasil pengujian Marshal Immersion menunjukkan Stabilitas Marshall Sisa menunjukkan nilai memenuhi persyaratan.

Kata Kunci: Karakteristik, AC-WC, PVC, Marshall

Abstract

To support road construction and improve the quality of the asphalt mix, road construction requires good concrete asphalt and routine maintenance, one of which is by adding additives to the asphalt. Pipe waste made of PVC plastic is the material used. This PVC plastic waste is utilized by adding PVC plastic to the asphalt mixture using a dry method. The purpose of this study was to test the characteristics of the AC-WC mixture using PVC plastic waste as an added ingredient. Test method with conventional Marshall and Marshall Immersion. The results of the Conventional Marshall test show that by using plastic waste levels of 0%, 1%, 2%, 3% and 4%, the characteristics of the AC-WC mixture such as Stability, Flow, VIM, VFB, and VMA meet the 2018 Directorate General of Highways specifications and results Marshal Immersion testing shows Marshall Residual Stability shows the value meets the requirements.

Keywords: Characteristics, AC-WC, PVC, Marshall

PENDAHULUAN

Salah satu prasarana transportasi darat yang meliputi seluruh aspek jalan termasuk struktur pendukung dan perlengkapan penunjang lalu lintas adalah jalan. Dalam konstruksi pekerjaan jalan, agregat merupakan salah satu komponen utama selain *filler* dan aspal sebagai bahan pengikat [1]-[2]. Se jauh ini aspal beton telah mulai dicampurkan bahan tambah dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan. Bahan tambah yang

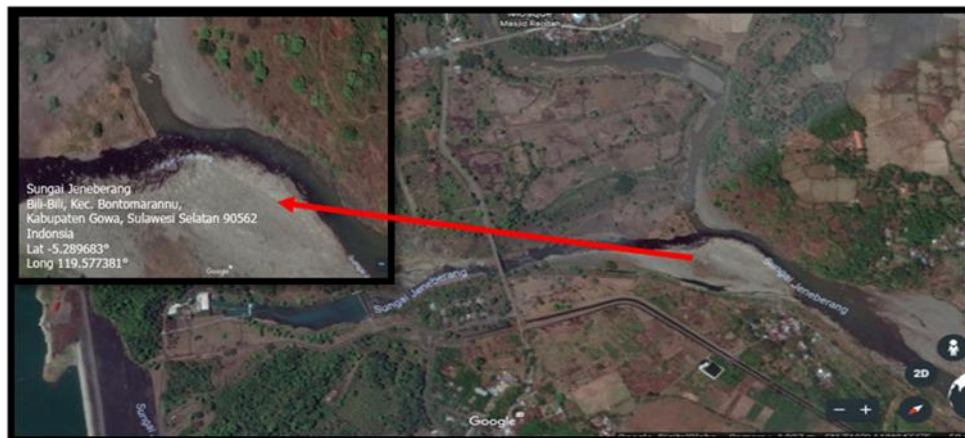
digunakan pada penelitian ini adalah plastik PVC karena sifat yang dimiliki plastik PVC sama seperti aspal yaitu meleleh jika panaskan dan kembali menjadi padat jika didinginkan. Untuk mengurangi limbah plastik PVC yang berlebihan, maka perlu dilakukan pemanfaatan atau pengelolaan dengan baik [3]. Penelitian ini menggunakan data karakteristik agregat Sungai Jeneberang dari penelitian sebelumnya sebagai acuan [1]. Adapun hasil penelitian sebelumnya yang sejenis diantaranya yaitu Pengaruh Penggunaan Limbah Kantong Plastik sebagai Bahan Tambah Campuran AC – Base yang diperoleh nilai SMS 98,31% dan telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 [2]-[4], Karakteristik Campuran AC-WC Menggunakan Batu Sungai Sangatanete dan Bahan Tambah Kantong Plastik didapatkan nilai Stabilitas, *VIM*, *Flow*, dan *VMA*, serta *VFB* yakni 1757 kg, 4,80%, 3,51 mm, dan 16,18%, serta 70,12%. Nilai pengujian tersebut memenuhi standar Bina Marga 2018 [3]. Pengujian *Marshall* menghasilkan nilai Stabilitas (1539,7 kg), *Flow* (8,38 mm), *Marshall Quotient* (183,51 kg/mm), *VIM* (8,8%), *VMA* (16,6%), dan *VFB* (47,2%) untuk campuran Aspal Beton Lapis AUS (AC-WC) menggunakan Plastik Bekas sebagai Bahan Pengganti [4]. Evaluasi Kinerja Campuran Beraspal Lapis Aus (AC-WC) dengan Bahan Tambah Limbah Plastik Kresek didapatkan hasil uji kadar plastik yang efektif adalah 6% dari berat aspal [5]. Pengujian campuran lapisan AC-WC menggunakan variasi kadar *Filler* Abu Terbang Batu Bara diperoleh hasil pengujian Durabilitas pada kadar 4% - 8% mengalami peningkatan dengan rata-rata sebesar 2,02% [6]. Variasi kadar aspal berkisar antara 5,5%-7,5% berat agregat yang digunakan untuk menentukan kinerja campuran AC-WC ketika ditambahkan limbah botol plastik, dengan kadar Limbah Botol Plastik berkisar antara 0-2,5% dari berat agregat. 90 sampel uji diambil dari variabel-variabel ini. Temuan menunjukkan bahwa campuran aspal AC-WC berkinerja lebih baik ketika ditambahkan limbah botol plastik [7]. Pengujian Penambahan Plastik *Polyvinil Chloride* pada *Asphalt Treated Base ATB* untuk pengujian *Marshall Test* didapatkan nilai optimum PVC sebesar 4,98%. Hasil pengujian ini lolos pada Spesifikasi Umum Dinas PU Bina Marga Jawa Timur 2018 [8]. Kadar aspal optimum campuran 5,7% adalah kadar yang karakteristik *Marshall*nya terpenuhi, menurut Kajian Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Menggunakan Penetrasi Aspal 60/70 dengan penambahan lateks 4% dari total perekat yang dipilih karena masih memenuhi semua persyaratan sifat perekat aspal dan lebih mampu menahan deformasi saat diuji dengan *dynamic creep* pada suhu 40°C [9]. Hasil laboratorium Pengaruh Plastik *LDPE* (*Low Density Poly Ethilen*) terhadap kinerja campuran aspal menunjukkan bahwa metode kering menghasilkan karakteristik *Marshall*, Stabilitas Dinamis dan *Resilient Modulus* ketahanan yang lebih tinggi dari penetrasi aspal 60, tetapi lebih rendah dari metode basah. Metode kering lebih murah dari sudut pandang ekonomi karena pencampuran lebih cepat, tidak memerlukan pengaduk, dan lebih mudah ditangani daripada metode basah [10]. Kualitas AC-WC memanfaatkan *Filler Spent Bleaching Earth* sebagai Substitusi Pengganti Abu Batu memperoleh hasil pengujian tahap awal dengan Kadar Aspal Optimum yaitu 5% kemudian diganti dengan *SBE* 0% - 100% kemudian didapatkan hasil yakni 25%, menurut pengujian ini limbah tersebut dapat dipakai sebagai *substitusi* bahan pengisi kadar 25% [11]. Penggunaan PVC dari pipa air sebagai bahan tambah pada beton aspal didapatkan hasil pengujian berupa nilai kerapatan yang naik turun. Pemakaian PVC berupa pipa air sebagai bahan tambah pada campuran beton menaikkan *VIM* dan *flow* serta menurunkan nilai *VMA*, nilai stabilitas dan nilai *Marshall Quotient*. Kadar aspal optimum diperoleh pada campuran dengan variasi 5,5% [12].

METODOLOGI PENELITIAN

1. Pengambilan dan Persiapan Material

a. Agregat

Lokasi tempat pengambilan agregat bersumber dari Sungai Jeneberang Kecamatan Bili-bili Kabupaten Gowa. Pengambilan material di Sungai Jeneberang diambil dengan cara manual (menggunakan tangan) yang dikumpulkan dan dimasukkan ke dalam karung.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Agregat

b. Aspal Penetrasi 60/70

Aspal penetrasi 60/70 yang dimanfaatkan dalam penelitian ini bersumber dari Departemen Pekerjaan Umum (DPU) Baddoka Makassar.

c. Filler

Penelitian ini menggunakan *filler* berupa semen Portland. Semen yang digunakan adalah semen dengan merk Tonasa.

d. Bahan Tambah Limbah Plastik PVC

Penelitian ini menggunakan limbah plastik pipa PVC sebagai bahan tambah untuk pembuatan benda uji. Ketersediaan material di lokasi hanya beberapa karung yang bersumber dari potongan – potongan sisa dari pemasangan instalasi air perumahan berskala kecil yaitu perumahan Citra Pesona Indah Sudiang.



Gambar 2. Lokasi Pengambilan Plastik PVC

2. Karakteristik Agregat (Data Sekunder)

Hasil pemeriksaan pada pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar diperoleh untuk *Bulk* 2,64%, *SSD* 2,69%, *Apparent* 2,77% dan Penyerapan 1,86% sedangkan untuk agregat halus diperoleh masing-masing 2,58%; 2,61%; 2,66%; dan 1,11%. Untuk pengujian Analisa Saringan dengan ukuran saringan 1, $\frac{3}{4}$,

½, 3/8, 4, 8, 16, 30, 50, 100, dan 200 telah memenuhi spesifikasi sesuai SNI ASTM C136:2012 serta material lolos saringan No. 200 sebesar 8%. Pada pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus didapatkan *Sand Equivalent* yaitu 96,26% dan Kadar Lumpur 3,74%. Untuk pengujian Partikel Pipih diperoleh hasil untuk indeks kepipihan pada saringan ¾ (7,97%), ½ (8,99%) dan 3/8 (4,81%) sedangkan untuk nilai indeks partikel lonjong diperoleh masing-masing 8,68%, 9,77%, dan 7,89%. Sementara untuk pengujian Kelekatan Agregat Terhadap Aspal diperoleh nilai 95% dan nilai ini telah memenuhi standar SNI ASTM C136:2012.

3. Karakteristik Aspal (Data Sekunder)

Penelitian ini menggunakan hasil pemeriksaan karakteristik aspal diperoleh hasil 66,7 pada pengujian Penetrasi pada suhu 25°C, 150 cm pada pengujian Daktilitas, 50,2 pada pengujian Titik Lembek Aspal, 240°C pada pengujian Titik Nyala, 1,015 pada Berat Jenis dan 0,434% pada jenis pengujian Berat yang Hilang, serta 84,7% pada pengujian Penetrasi pada suhu 25°C *TFOT*.

4. Karakteristik Filler (Data Sekunder)

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada Pemeriksaan Berat Jenis *Filler* diperoleh nilai yang telah memenuhi spesifikasi dengan hasil pengujian pada Pemeriksaan Berat Jenis *Filler* Semen dengan nilai 3,09% sesuai dengan SNI ASTM 136:2012.

5. Komposisi Campuran

Penggunaan komposisi campuran dengan kadar aspal 5,50 % dengan pertimbangan aspal yang terlalu sedikit akan membuat berkurangnya lapisan pengikat antar butir sehingga akan menyebabkan lapisan pengikat aspal lebih cepat lepas dan menurunkan durabilitas. Di sisi lain, terlalu banyak aspal menghasilkan fleksibilitas yang baik tetapi *bleeding* dapat terjadi.

Dua teknik pencampuran bahan tambah dalam menaikkan kinerja campuran yaitu dengan cara basah dan cara kering. Pada penelitian ini menggunakan cara kering dimana bahan tambah dicampurkan dengan agregat yang dipanaskan pada suhu campuran, setelah itu ditambahkan aspal panas. Komposisi campuran dengan penambahan limbah plastik *PVC* dapat dilihat dalam Tabel 3. berikut:

Tabel 3. Komposisi Campuran Setelah Penambahan Plastik *PVC*

Komposisi Campuran	Berat Campuran (gr)				
	0%	1%	2%	3%	4%
Agregat Kasar	448,20	448,20	448,20	448,20	448,20
Agregat Halus	614,40	614,40	614,40	614,40	614,40
Filler	71,40	71,40	71,40	71,40	71,40
Aspal	66,00	66,00	66,00	66,00	66,00
Limbah Plastik <i>PVC</i>	0	0,66	1,32	1,98	2,64
Total	1200	1200,66	1201,32	1201,98	1202,64

PEMBAHASAN HASIL ANALISIS

1. Marshall Konvensional

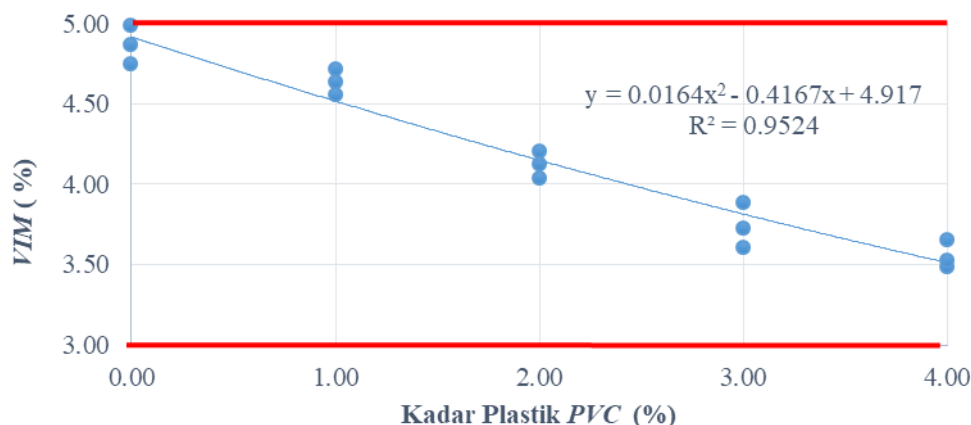
a. *VIM*

Berdasarkan persamaan $y = 0,0164x^2 - 0,4167x + 4,917$ didapatkan nilai *VIM* mengalami penurunan dari kadar plastik *PVC* 0% sampai pada kadar plastik *PVC* 6,01% dengan nilai batas terkecil *VIM* pada kadar plastik *PVC* 6,01% yaitu 3%.

Tabel 4. Nilai *VIM* Berdasarkan Persamaan Garis Regresi

Kadar Plastik PVC (%)	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	6,01
<i>VIM</i>	4,86	4,63	4,12	3,74	3,56	3,00
Persyaratan	3-5 (%)					

Dengan menggunakan kadar plastik *PVC* 0% - 4% diperoleh nilai *VIM* antara 3,56 % – 4,86 % dan nilai ini telah memenuhi persyaratan. Berdasarkan Gambar 3, bahwa semakin tinggi persentase plastik *PVC* maka nilai *VIM* akan semakin berkurang karena rongga dalam campuran telah terisi.



Gambar 3. Grafik Hubungan *VIM* dengan Kadar Plastik *PVC*

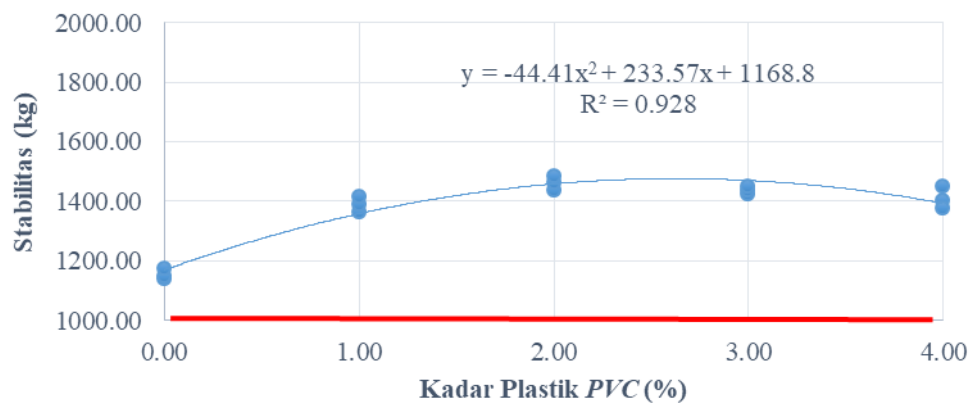
b. Stabilitas

Berdasarkan persamaan garis $y = -44,41x^2 + 233,57x + 1168,8$ didapatkan hasil pengujian nilai stabilitas tertinggi pada kadar 3,30% dengan nilai 1926,76 kg. Kadar bahan tambah plastik *PVC* yang melebihi 3,30 % akan menyebabkan nilai stabilitas kembali menurun. Pada kadar bahan tambah plastik *PVC* sebesar 7,63 % nilai stabilitas turun menjadi 1000 kg.

Tabel 5. Nilai Stabilitas Berdasarkan Persamaan Garis Regresi

Kadar Plastik PVC (%)	0,00	1,00	2,00	3,00	3,30	4,00	7,63
Stabilitas	1251,58	1696,63	1814,65	1849,08	1926,76	1923,14	1000
Persyaratan	Min 1000 (kg)						

Dengan penggunaan kadar plastik *PVC* 0% - 4% didapatkan hasil pengujian stabilitas yaitu 1251,58 kg – 1923,14 kg. Dengan demikian nilai ini telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan yaitu minimum 1000 kg. Menurut Gambar 4. nilai stabilitas berbanding lurus dengan kadar bahan tambah yang digunakan karena Plastik *PVC* tersebut mampu mengisi dan mengikat agregat sehingga ikatan dengan agregat semakin tinggi.



Gambar 4. Grafik Hubungan Stabilitas dengan Kadar Plastik PVC

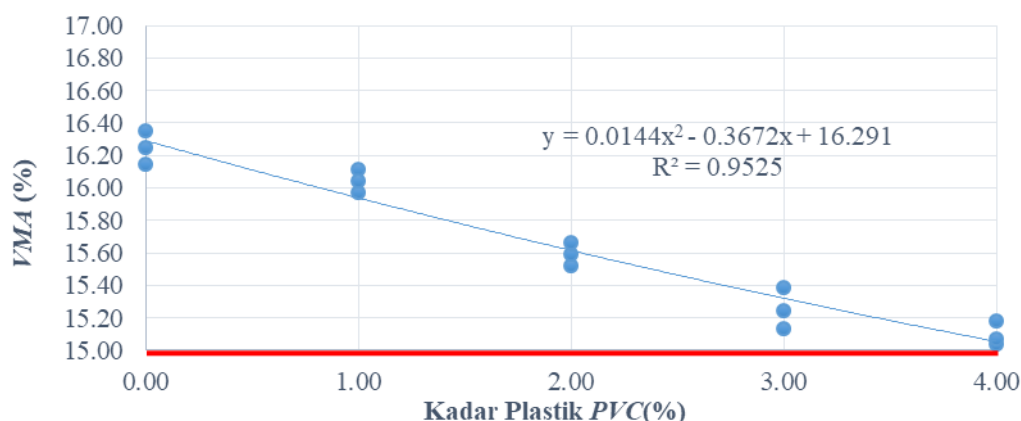
c. *VMA*

Berdasarkan persamaan garis $y = 0,0144x^2 - 0,3672x + 16,291$ diperoleh hasil pengujian laboratorium dengan nilai *VMA* batas terkecil sebesar 15,00% berada pada kadar plastik *PVC* 4,20%.

Tabel 6. Nilai *VMA* Berdasarkan Persamaan Garis Regresi

Kadar Plastik PVC (%)	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	4,20
<i>VMA</i>	16,24	16,04	15,59	15,25	15,09	15,00
Persyaratan	Min 15 (%)					

Dengan menggunakan kadar plastik *PVC* 0% - 4% diperoleh nilai *VMA* antara 16,24 % – 15,09 % yang memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan dalam Spesifikasi Umum 2018 Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. Pada Gambar 5. semakin tinggi kadar plastik *PVC* yang digunakan maka nilai *VMA* semakin kecil dikarenakan volume rongga dalam butir agregat semakin berkurang.



Gambar 5. Grafik Hubungan *VMA* dengan Plastik *PVC*

d. *Flow*

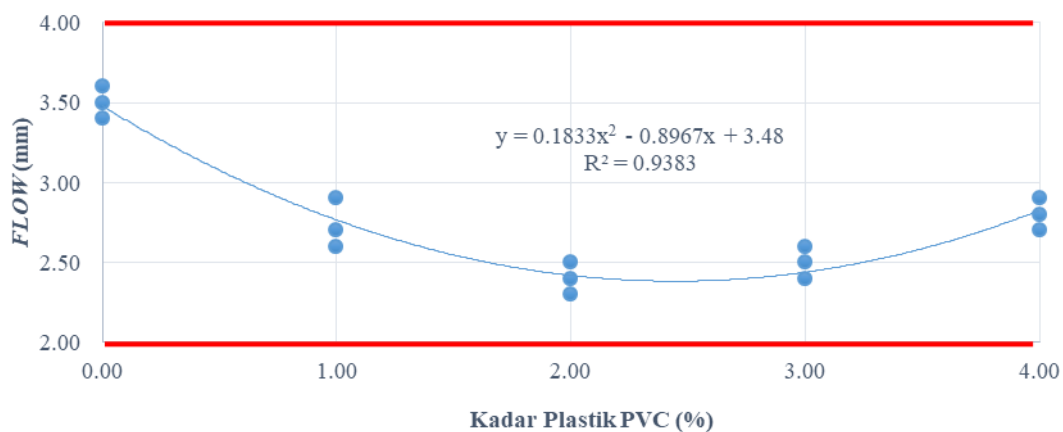
Berdasarkan persamaan $y = 0,1833x^2 - 0,8967x + 3,48$ menunjukkan bahwa *flow* terus menurun pada kadar plastik *PVC* 0% - 2,20% tetapi pada kadar plastik *PVC* 3% terjadi peningkatan *flow* sampai pada kadar

plastik PVC 4%.

Tabel 7. Nilai *Flow* Berdasarkan Persamaan Garis Regresi

Kadar Plastik PVC (%)	0,00	1,00	2,00	2,20	3,00	4,00
<i>FLOW</i>	3,60	2,83	2,50	2,49	2,60	2,90
Persyaratan	2 - 4 mm					

Penggunaan kadar plastik PVC 0% - 4% didapatkan hasil pengujian dengan nilai *flow* untuk kadar plastik PVC 0% 3,60 mm, kadar plastik PVC 1% 2,83 mm, kadar plastik PVC 2% 2,50 mm, kadar plastik PVC 3% 2,60 mm, dan kadar plastik PVC 4% 2,90 mm. Nilai *flow* dengan penggunaan kadar plastik PVC 0% - 4% telah memenuhi persyaratan. Dapat dilihat pada Gambar 6. Nilai *flow* bervariasi sesuai tingkat kadar limbah plastik PVC yang digunakan.



Gambar 6. Grafik Hubungan *Flow* dengan Kadar Plastik PVC

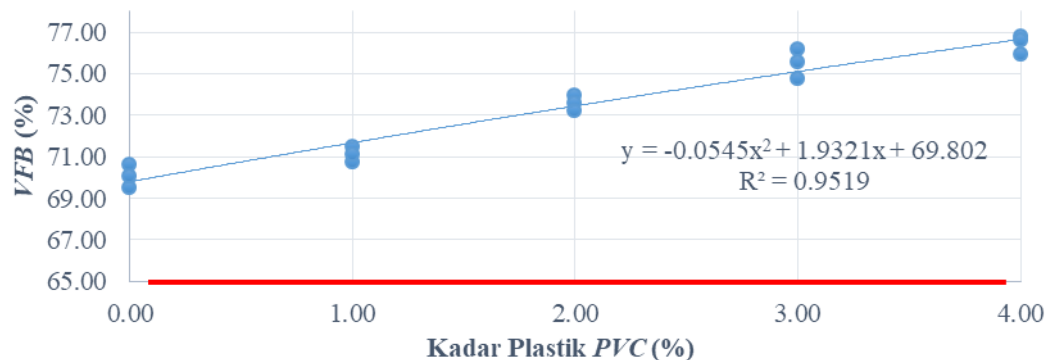
e. *VFB*

Berdasarkan persamaan garis $y = -0,0545x^2 + 1,9321x + 69,802$ menunjukkan bahwa nilai *VFB* terkecil pada kadar 0 % sebesar 69,80% dan terus mengalami kenaikan sampai pada kadar plastik PVC 4%.

Tabel 8. Nilai *VFB* Berdasarkan Persamaan Garis Regresi

Kadar Plastik PVC (%)	0,00	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00
<i>VFB</i>	69,80	70,06	71,12	73,57	75,50	76,44
Persyaratan	Min 65 (%)					

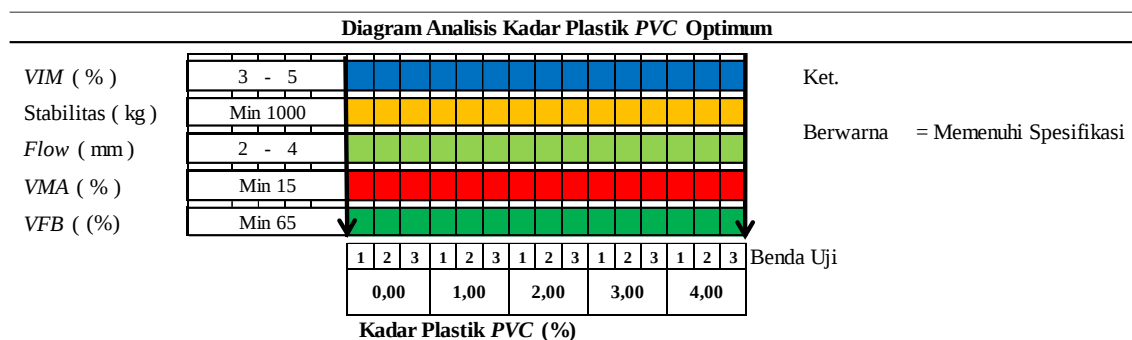
Penggunaan kadar plastik PVC 0% - 4% didapatkan hasil pengujian nilai *VFB* 70,06 % – 76,44 % dan nilai ini telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Kadar plastik PVC yang digunakan berbanding lurus dengan nilai *VFB* karena semua rongga dalam campuran dan agregat telah terisi oleh aspal.



Gambar 7. Grafik Hubungan VFB dengan Kadar Plastik PVC AC-WC

2. Kadar Plastik Optimum

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall* Konvensional, didapatkan hasil kadar plastik PVC dengan rentang kadar 0%, 1%, 2%, 3% dan 4% untuk AC-WC telah memenuhi karakteristik *Marshall*. Berdasarkan hal tersebut dipilih kadar plastik PVC optimum dengan nilai VIM dan VMA terendah serta nilai VFB tertinggi yaitu pada kadar plastik PVC 4%.



Gambar 8. Diagram Analisis Kadar Plastik PVC Optimum

3. Stabilitas *Marshall* Sisa (SMS)

Dari hasil perhitungan setelah dilakukan pengujian di laboratorium diperoleh nilai SMS sebesar 93,75% dengan penggunaan kadar plastik PVC optimum 4%. Berdasarkan nilai dari Stabilitas *Marshall* Sisa tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa pekerjaan jalan yang menggunakan agregat Sungai Jeneberang dengan penggunaan bahan tambah berupa plastik PVC pada campuran lapisan perkerasan AC-WC mampu mengisi rongga dari campuran tersebut. Dibawah ini adalah hasil pengujian SMS yang dapat dilihat pada tabel 9:

Tabel 9. Hasil Pengujian SMS

Persyaratan	Stabilitas		Stabilitas <i>Marshall</i> Sisa (%)
Kadar Plastik PVC (%)	Konvensional	<i>Immersion</i>	
4	1400.49	1316.70	94.02
4	1376.55	1292.76	93.91
4	1449.42	1352.61	93.32
Rata-rata	1408.82	1320.69	93.75

KESIMPULAN

1. Dari hasil pengujian di laboratorium Jalan dan Aspal UKI Paulus Makassar diperoleh nilai karakteristik campuran AC-WC yang menggunakan agregat Sungai Jeneberang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.
2. Nilai karakteristik campuran AC-WC dengan bahan tambah limbah plastik PVC memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 untuk uji Stabilitas, VIM, VMA, VFB, dan Flow. Rata-rata nilai Stabilitas Marshall Sisa sebesar 93,75% juga telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.
3. Dampak penambahan limbah plastik PVC pada campuran AC-WC dapat mengisi rongga sehingga agregat saling mengunci dan membuat campuran lebih tahan terhadap air dimana nilai VIM berkisar 3-5 %, VMA minimal 15%, dan VFB minimal 65%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Yuniarti, R. Rachman and Alpius, "Studi Karakteristik Campuran AC-BC Berdasarkan Limbah Kantong Plastik Sebagai Bahan Tambah," Paulus Civil Engineering Journal, vol. 2, no. 2, pp. 70-76, 2020. DOI: <https://doi.org/10.52722/pcej.v2i2.135>
- [2] R. Rachman, "Pemanfaatan Batu Gunung Bottomale Toraja Utara sebagai Campuran Laston," Jurnal Teknik Sipil dan Teknologi Konstruksi, Vol. 6. No.1, Pp. 20 – 30 , 2020, <https://DOI.10.35308/jts-utu.v6i1.2307>
- [3] L. D. R. K. Salle, "Pemanfaatan Limbah," dalam Pemanfaatan Material Alternatif (Sebagai Bahan Penyusun Konstruksi), Makassar: CV. Tohar Media, 2021, hlm. 59–68.
- [4] R. Rachman, "The Effect of Immersion and Humidification toward Performance of Hot Rolled Asphalt Mixture," Journal of Applied Engineering Research, Vol. 15, No. 5 pp. 503-509, 2020.
- [5] D. Pagewang, R. Rachman and Alpius, "Pengaruh Penggunaan Limbah Kantong Plastik Sebagai Bahan Tambah dalam Campuran AC-Base," Paulus Civil Engineering Journal, vol. 2, no. 2, pp. 97-102, 2020. DOI: <https://doi.org/10.52722/pcej.v2i2.131>
- [6] F. Tandiyu, R. Mangontan and Alpius, "Karakteristik Campuran AC-WC Menggunakan Batu Sungai Sangtanete dan Bahan Tambah Kantong Plastik," Paulus Civil Engineering Journal, vol. 4, no. 1, pp. 126-132, 2022. DOI: <https://doi.org/10.52722/pcej.v4i1.385>
- [7] M. A. D. Gunadi, I. N. A. Thanaya and I. N. W. Negara, "Analisis Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis AUS (AC-WC) dengan Menggunakan Plastik Bekas sebagai Bahan Pengganti sebagai Agregat," Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, vol. 17, no. 2, pp. 191-201, 2013. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/jits/article/view/23900>
- [8] I. Susanto and N. Suaryana, "Evaluasi Kinerja Campuran Beraspal Lapis Aus (AC-WC) dengan Bahan Tambah Limbah Plastik Kresek," Jurnal Aplikasi Teknik Sipil, vol. 17, no. 2, pp. 27-36, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.12962/j2579-891X.v17i2.4980>
- [9] A. Tahir, "Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) Dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu Batu Bara," SMARTek, vol. 7, no. 4, pp. 256-278, 2009.
- [10] A. C. S. Iskandar, "Kinerja Campuran Beton Aspal AC-WC dengan Penambahan Limbah Botol Plastik," Jurnal Teknik Sipil MACCA, vol. 6, no. 1, pp. 84-92, 2021
- [11] A. R. A. Pratama, M. Erfan, E. Priskasari and A. Prajitno, "Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Polyvinil Chlorine Pada Campura Asphalt Treated Base ATB Terhadap Nilai Parameter Marshall Test," Jurnal Sondir, vol. 2, pp. 1-8, 2017.
- [12] I. N. A. Thanaya, I. G. R. Puronto and I. N. S. Nugraha, "Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70 dengan Penambahan Lateks," Jurnal Ilmu dan Terapan Bidang Teknik Sipil, vol. 22, no. 2, pp. 77-86, 2016. DOI: <https://doi.org/10.14710/mkts.v22i2.12875>
- [13] T. W. Suroso, "Pengaruh Penambahan Plastik LDPE (Low Density Poly Ethilen) Cara Basah dan Cara Kering Terhadap Kinerja Campuran Beraspal," Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil, vol. 16, no. 3, pp. 208-222, 2008.

- [14] Lizar, J. A. Pribadi and W. Kurniawan, "Karakteristik Campuran Aspal AC-WC Menggunakan Filler Spent Bleaching Earth Sebagai Filler Pengganti Abu Batu," Jurnal Teknik Sipil Terapan, vol. 3, no. 2, pp. 80-89, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.47600/jtst.v3i2.285>
- [15] J. S. Linggo and J. Y. Kurniawan, "Penggunaan PVC Sebagai Bahan Tambah pada Beton Aspal," Jurnal Teknik Sipil, vol. 13, no. 3, pp. 190-195, 2015. DOI: <https://doi.org/10.24002/jts.v13i3.875>