

Komparasi pemanfaatan aditif limbah plastik (*LDPE*) dan ban karet terhadap campuran *AC - WC* ditinjau dari aspek volumetrik, *IRI*, dan *skid resistance*

Umi Fadhilah Dhuha^{1*}, Agus Riyanto¹, Zilhardi Idris¹, dan Nurul Hidayati¹

¹Fakultas Teknik, Unibersitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

AC - WC

LDPE

rubber tire waste

volumetric

unevenness

skid resistance

Abstract

Failure or damage to the Asphalt Concrete-Wearing Course pavement before entering its design life is still common. One of the factors that influence failure, namely the material used in the mixture. Preventing damage to the pavement can be done by improving the quality of the pavement. In this study, LDPE and rubber tire additives were used to obtain the additive effect on the AC-CW pavement in terms of volumetric, IRI, and skid resistance values. Primary data was obtained from tests of specific gravity, softening point, and penetration of modified asphalt, while secondary data was obtained from research. Test specimens with additive levels of 0%, 2%, 4%, 6%, and 8% for optimum asphalt content were made after the proportions of aggregate and asphalt were according to specifications. After that, testing was carried out on each specimen by volumetric testing, Mean Texture Depth testing using the Sand Patch Method, Skid Resistance testing with the British Pendulum Tester, and Marshall Properties testing with the Marshall Test. The results showed that the effect of using LDPE plastic waste was better in improving volumetric values compared to using waste rubber tires. The effect of additives on unevenness showed that the unevenness value of rubber tire waste was better than LDPE plastic waste. The effect of LDPE plastic waste on the Skid Resistance value is better than rubber tire waste. The asphalt content of LDPE plastic waste obtained was 5.52% and the asphalt content of rubber tire waste obtained was 3.7%.

Corresponding Author:

Umi Fadhilah Dhuha

umifadhilahdhuha@gmail.com

Copyright © 2023 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

PENDAHULUAN

Jalan merupakan prasarana transportasi yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat Indonesia untuk menunjang kegiatan sehari-hari. Perkerasan jalan merupakan bagian jalan yang diperkeras dengan konstruksi lapis tertentu yang berfungsi menyalurkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Jenis konstruksi perkerasan di Indonesia pada umumnya menggunakan perkerasan lentur. Perkerasan lentur merupakan campuran agregat batu pecah, pasir, dan atau tanpa bahan pengisi (*filler*) dengan bahan pengikat aspal yang dicampurkan, dihamparkan, dan dipadatkan. Lapisan perkerasan lentur mempunyai fleksibilitas

cukup baik dibandingkan dengan perkerasan kaku, sehingga cukup baik digunakan pada kondisi jalan yang memiliki lendutan cukup besar akibat beban lalu lintas.

Kegagalan perkerasan jalan di Indonesia sebelum memasuki umur rencana masih banyak ditemukan terutama pada perkerasan lentur. Hal ini dikarenakan lapisan permukaan merupakan lapisan yang secara langsung kontak dengan roda kendaraan, air, dan faktor lain yang menyebabkan kerusakan jalan. Salah satu cara untuk mencegah terjadinya kegagalan pada perkerasan jalan akibat beban muatan kendaraan adalah dengan meningkatkan kualitas perkerasan tersebut.

Kegagalan jalan dibedakan menjadi 2 (dua), yaitu kegagalan fungsional dan struktural. Kegagalan fungsional terjadi apabila perkerasan menimbulkan ketidaknyamanan bagi pengguna jalan, hal ini disebabkan jalan tidak berfungsi sesuai yang direncanakan. Kegagalan struktural ditandai dengan adanya ketidakmampuan dalam menopang beban pada struktur perkerasan yang disebabkan oleh beberapa faktor, seperti lapisan tanah dasar yang tidak stabil, beban lalu lintas, temperatur, iklim, tanah dan pengaruh kondisi lingkungan sekitar.

Kondisi lapis perkerasan permukaan jalan sangat berhubungan erat dengan tingkat kenyamanan pada pengguna jalan saat melalui perkerasan jalan tersebut. Permukaan perkerasan jalan fleksibel memiliki kekasaran yang berbeda-beda, tergantung komposisi agregat dan aspalnya. Salah satu parameter yang penting untuk kenyamanan dan keamanan kendaraan di jalan raya adalah nilai ketidakrataan jalan dan ketahanan jalan terhadap selip. Semakin rendah nilai ketidakrataan jalan, maka tingkat kenyamanan perkerasan jalan akan semakin bertambah. Kecelakaan transportasi darat di Indonesia sering terjadi pada musim hujan. Salah satu tindakan untuk meminimalisir kecelakaan yang terjadi pada kondisi basah, yaitu dengan mengukur tahanan gesek perkerasan. Permukaan perkerasan memiliki nilai *skid resistance* cukup bila tahanan gesek antara ban dan permukaan jalan tersedia cukup dan permukaan tidak licin sehingga pada kondisi kering atau basah tidak mengakibatkan ban yang halus mudah slip.

Indonesia menyandang gelar penyumbang sampah terbesar kedua di dunia setelah Cina. Kategori limbah plastik yang terbesar berasal dari kemasan seperti botol minuman dan kantong plastik jenis plastik *LDPE*. Plastik jenis *LDPE* (*Low Density Polyethylene*) bersifat *thermoplast*, dapat dicetak berulang-ulang (mudah didaur ulang). Seiring dengan kenaikan jumlah

kendaraan bermotor di Indonesia, maka jumlah limbah ban karet juga akan semakin meningkat. Selain mengurangi limbah yang ada, limbah ban karet memiliki kelenturan dan daya ikat yang kuat. Penggunaan plastik *LDPE* dan ban karet dalam campuran beton aspal selain untuk mengisi rongga dalam campuran, juga meningkatkan daya ikat beton aspal yang akan berpengaruh memperbaiki nilai volumetrik, nilai ketidakrataan dan nilai tahanan gesek dari campuran. Penggunaan limbah plastik *LDPE* dan ban karet diharapkan bisa mengurangi kerusakan struktural dan fungsional pada perkerasan jalan.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Menganalisis pengaruh aditif limbah plastik *LDPE* dan ban karet pada campuran *AC-WC* terhadap aspek Volumetrik, Nilai Ketidakrataan (*IRI*), dan *Skid Resistance*.
- 2) Menganalisis perbandingan penggunaan aditif limbah plastik *LDPE* dan ban karet dalam campuran *AC-WC* ditinjau dari aspek Volumetric, *IRI*, dan *Skid Resistance*.
- 3) Mengetahui proporsi Kadar Plastik Optimum (KPO) dan Kadar Ban Optimum (KBO) pada campuran *AC-WC* dengan aditif limbah plastik *LDPE* dan Ban Karet.

Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini sebagai berikut :

- 1) Memberikan ilmu pengetahuan dan inovasi baru di bidang ketekniksipilan khususnya dalam bidang perkerasan jalan.
- 2) Jika diterapkan dapat mengurangi jumlah limbah plastik *LDPE* dan ban karet bekas sekaligus mengurangi permasalahan lingkungan.

- 3) Dapat memberikan kontribusi dan juga sebagai acuan pembangunan jalan yang menggunakan limbah plastik *LDPE* dan ban karet.
- 4) Dapat dijadikan acuan dalam menentukan bahan aditif yang diharapkan meningkatkan kinerja struktural perkerasan jalan.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta. Material berupa gregat baru yang digunakan berasal dari *quarry* Siwal, Boyolali Jawa Tengah. Aspal penetrasi 60/70 didapatkan dari PT. Pertamina, Cilacap. Limbah plastik *LDPE* dan ban karet didapatkan dari lingkungan sekitar. Total benda uji pada penelitian ini sebanyak 27 buah. Penelitian ini menggunakan data sekunder yang didapat dari informasi data penelitian yang telah ada sebelumnya dan data primer diambil saat melakukan penelitian di laboratorium.

Tahapan penelitian dimulai dari persiapan (studi pustaka, perumusan masalah dan tujuan penelitian, serta persiapan alat dan material). Kemudian, melakukan pemeriksaan mutu material campuran, jika sudah memenuhi spesifikasi, selanjutnya menentukan kadar aspal optimum. Penentuan KAO dengan membuat benda uji sebanyak 3 sampel pada masing-masing kadar dengan variasi kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%. Pembuatan benda uji dengan penambahan limbah plastik *LDPE* dan ban karet, dengan variasi aditif 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% terhadap KAO, dilanjutkan pengujian pada masing-masing benda uji dengan pengujian volumetrik, pengujian *Mean Texture Depth* dengan menggunakan *Sand Patch Method*, pengujian *Skid Resistance* dengan *British Pendulum Tester*, dan pengujian *Marshall Properties* dengan *Marshall Test*.

Sifat volume campuran ditentukan melalui pengukuran rongga udara antar agregat terhadap volume campuran (*Voids*

In the Mineral Aggregate = VMA), rongga udara dalam campuran (*Voids In Mix = VIM*) dan rongga udara yang terisi aspal terhadap rongga udara antar agregat (*Voids Filled with Asphalt = VFA*). Karakteristik *volumetric* campuran baik dilapangan maupun di laboratorium tetap sama. *Volumetric* campuran memiliki parameter-parameter sebagai berikut:

a. Void in Mix

VIM adalah persen rongga udara dalam campuran, volume rongga di antara butir-butir agregat yang diselubungi aspal atau volume rongga dalam beton aspal padat. *VIM* dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$VIM = 100 - \frac{Y_d}{Y_{max}} \times 100 \quad (1)$$

dengan:

Y_d = Berat jenis bulk campuran

Y_{max} = Berat jenis maksimal teoritis campuran

b. Void in Mineral Aggregate

VMA adalah persen rongga udara antar agregat terhadap volume campuran, *VMA* dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$VMA = 100 - \left(\frac{100 - P_{mb}}{Y_{max}} \right) \times Y_{agg} \quad (2)$$

dengan:

Y_{agg} = Berat jenis bulk agregat

Y_{max} = Berat jenis maksimal teoritis campuran

P_{mb} = Kadar aspal, persen total campuran (%)

c. Void Filled With Aspal

VFWA adalah persen rongga udara yang terisi aspal terhadap rongga udara antar agregat. *VFWA* dihitung dengan rumus berikut :

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

(Sukirman, 2016) Ketidakrataan terjadi akibat adanya rongga udara dalam campuran beraspal. Semakin besar rongga udara yang ada pada campuran maka semakin besar pula nilai ketidakrataan suatu jalan. *Sand Patch*

Method merupakan metode yang digunakan untuk mengukur kedalaman rata-rata suatu permukaan dengan menggunakan pasir yang memiliki gradasi seragam. Hasil pengukuran dengan *Sand Patch Method* ini dinamakan *MTD (Mean Texture Depth)* dengan satuan mm. Rumus *Mean Texture Depth* sebagai berikut :

$$MTD = \frac{4 \times V \times 1000}{\pi \times D^2} \quad (4)$$

dengan :

MTD = Mean Texture Depth (mm)

V = Volume pasir (cm³)

D = Diameter sand patch

Hasil MTD dikali dengan 1 km dibagi dengan diameter sand patch untuk diekivalenkan ke nilai *IRI*.

Tabel 1. Penilaian Kondisi Jalan berdasar *IRI*

Kondisi Jalan	<i>IRI</i> (m/km)
Baik	<i>IRI</i> < 4
Sedang	4 < <i>IRI</i> < 8
Rusak Ringan	8 < <i>IRI</i> < 12
Rusak Berat	<i>IRI</i> > 12

Tahanan gesek atau kekesatan (*Skid Resistance*) merupakan salah satu aspek nilai fungsional. Tahanan gesek terjadi akibat gesekan ban kendaraan dengan Modulus Kekakuan *Bitument* permukaan perkerasan jalan. *Skid Resistance* akan memberikan kemampuan bagi pengendara untuk berbelok, melaju, berhenti dengan aman, khususnya pada kondisi jalan yang sedang basah.

Alat yang digunakan untuk mengukur karakteristik gesekan dari permukaan perkerasan jalan adalah *British Pendulum Tester (BPT)*. *BPT* ini menghasilkan gaya kontak geser berkecepatan rendah antara permukaan perkerasan dengan penggeser karet standar, dan menghitung sifat gesekan dengan cara menentukan kehilangan energi kinetik dari penggeser saat melakukan kontak dengan permukaan perkerasan. (Putra *et all*, 2019).

Tabel 2. Koreksi Nilai *BPN* (SNI, 2008)

Temperatur (°C)	Koreksi
< 27	0
27 – 32	+ 1
32 – 37	+ 2
> 37	+ 3

HASIL

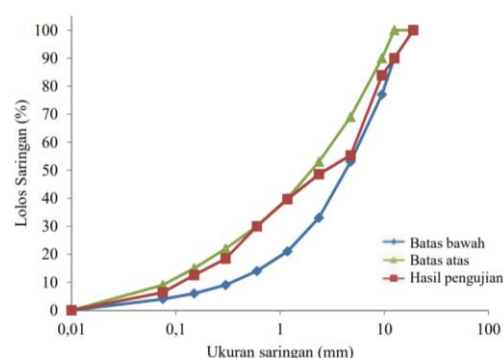
Pemeriksaan Rekayasa *Blending* Agregat

Pemeriksaan material dilakukan agar mendapatkan material yang memenuhi spesifikasi seperti yang tercantum pada spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Proporsi agregat yang digunakan pada Laston AC-WC sebagai berikut :

Agregat Kasar (F1)	: 17,5 %
Agregat Medium (F2)	: 40,5 %
Agregat Halus (F3)	: 42,0 %

Tabel 3. Hasil Rekayasa *Blending* Agregat

Ukuran Saringan	% Lolos Saringan			Gradasi Gabungan (%)	Spek. (%)	Keterangan
	(F1)	(F2)	(F3)			
3/4 "	17.5	40.5	42.0	100.0	100 - 100	Sesuai
1/2 "	7.5	40.5	42.0	90.0	90-100	Sesuai
3/8 "	1.4	40.5	42.0	83.9	77 - 90	Sesuai
No. 4	0.4	13.0	42.0	55.3	53 - 69	Sesuai
No. 8	0.3	6.3	42.0	48.6	33 - 53	Sesuai
No. 16	0.3	4.9	34.5	39.7	21 - 40	Sesuai
No. 30	0.3	4.7	25.0	30.0	14 - 30	Sesuai
No. 50	0.3	4.3	13.9	18.4	9 - 22	Sesuai
No. 100	0.3	3.0	9.2	12.6	6 - 15	Sesuai
No. 200	0.3	1.0	5.0	6.4	4 - 9	Sesuai
Pan	0.0	0.0	0.0	0.0	0 - 0	Sesuai



Gambar 1. Grafik Gradasi Agregat Gabungan

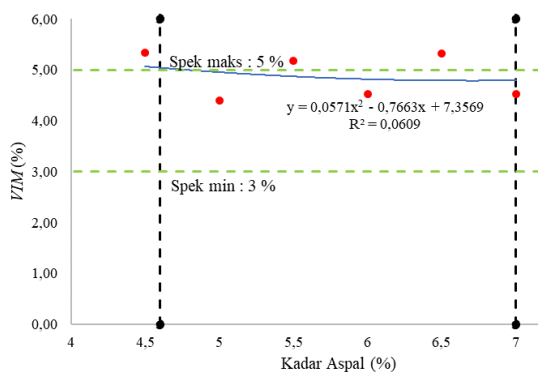
Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal yang digunakan dalam benda uji didapatkan dari penentuan kadar aspal optimum yang didapatkan dari hasil perhitungan *Marshall Properties*, dapat dilihat pada Tabel 4. Sebagai berikut :

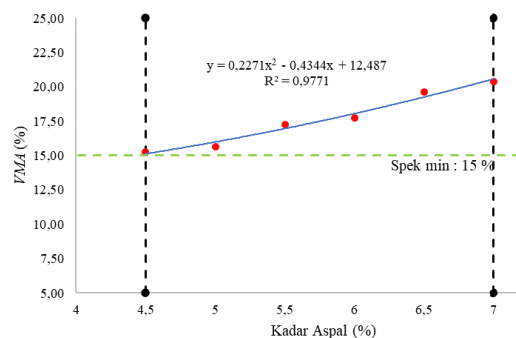
Tabel 4. Hasil Perhitungan *Marshall*

Kadar Aspal (%)	VIM (%)	VMA (%)	VFVA (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
4.5%	6.58	16.50	60.12	977.8778	3.14	311.4260
	2.02	12.15	83.39	637.0210	3.06	208.1768
	7.43	17.22	56.85	913.8919	4.78	191.1908
	5.34	15.29	66.79	842.9302	3.66	236.9312
	6.97	17.80	60.83	817.0960	3.61	226.3424
5.0%	3.00	14.47	79.26	821.1524	4.24	193.6680
	3.19	14.64	78.21	922.8935	3.54	260.7044
	4.39	15.64	72.77	853.7140	3.79	226.9049
	4.97	17.19	71.11	746.5022	4.34	172.0051
5.5%	3.53	15.67	77.49	922.3775	3.58	257.6473
	7.05	18.89	62.70	749.7130	4.02	186.4958
	5.18	17.25	70.43	806.1976	3.98	205.3827
	4.84	18.10	73.26	1093.6516	3.46	316.0843
6.0%	4.81	17.91	73.15	669.1429	2.06	324.8267
	3.94	17.27	77.17	676.4101	5.92	114.2585
	4.53	17.76	74.53	813.0682	3.81	251.7231
	5.27	19.69	73.23	682.7743	2.87	237.9005
6.5%	6.96	21.01	66.88	723.8835	4.00	180.9709
	3.73	18.22	79.55	1018.7147	4.25	239.6976
	5.32	19.64	73.22	808.4575	3.70	219.5230
	3.84	19.67	80.47	571.2863	4.16	137.3284
7.0%	6.53	22.33	70.75	823.9905	3.26	252.7578
	3.23	19.21	83.19	920.1414	5.00	184.0283
	4.53	20.41	78.14	771.8061	4.14	191.3715

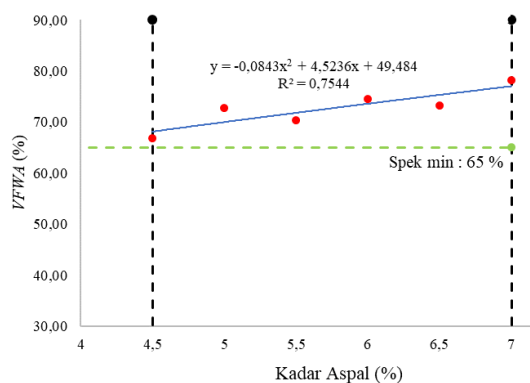
Berdasarkan Tabel 4. Didapatkan grafik hubungan kadar aspal dengan *VIM*, *VMA*, *VFVA*, *Stabilitas*, *Flow*, dan *MQ* sebagai berikut :



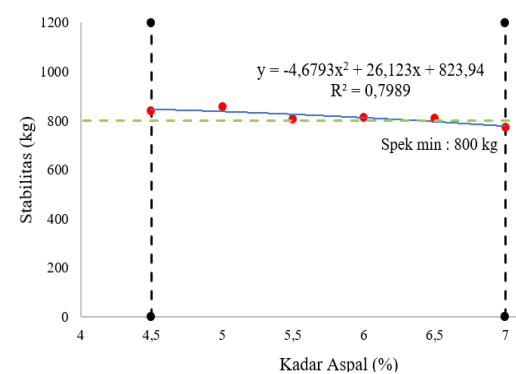
Gambar 2. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *VIM*



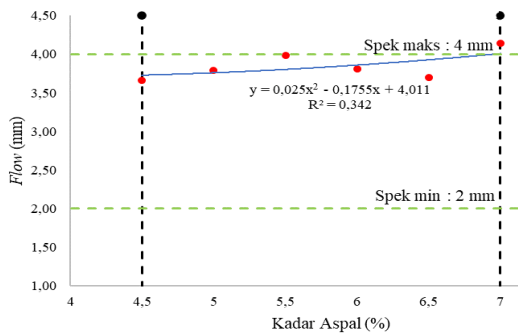
Gambar 3. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *VMA*



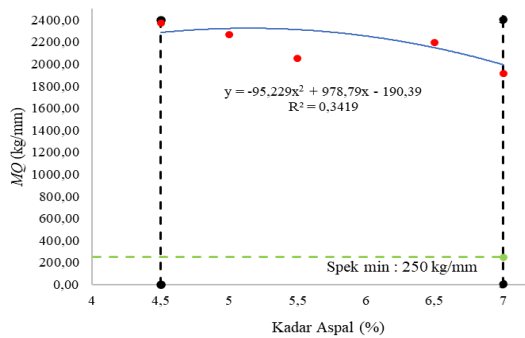
Gambar 4. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *VFVA*



Gambar 5. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *Stabilitas*

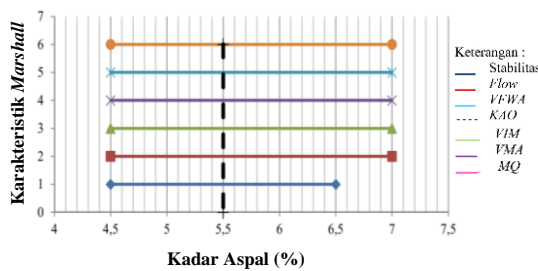


Gambar 6. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Flow



Gambar 7. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan MQ

Dari pembacaan grafik pada Gambar 2. Sampai dengan 7. diambil nilai tengah untuk mendapatkan KAO, sebagai berikut :



Gambar 8. Grafik Kadar Aspal Optimum

$$KAO = \frac{4,5\% + 6,5\%}{2} = 5,50\%$$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh KAO sebesar 5,50%.

Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji pada tahapan ini, aspal diberi aditif limbah plastik LDPE dan ban karet dengan kadar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% terhadap kadar aspal optimum.

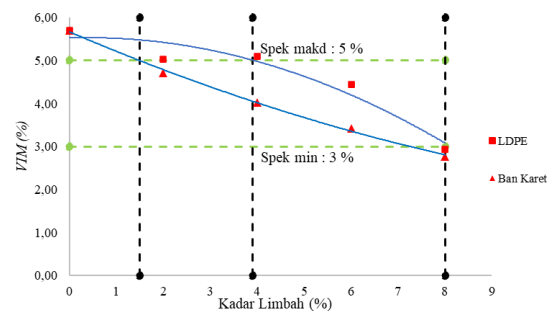
KAO pada campuran sebesar 5,5% dari berat total campuran atau sebesar 66 gram. Masing-masing kadar dibuat 3 sampel. Berat aditif didapatkan sebesar 0 gram, 1,32 gram, 2,64 gram, 3,96 gram, dan 5,28 gram.

Pengaruh Aditif terhadap Nilai Volumetrik

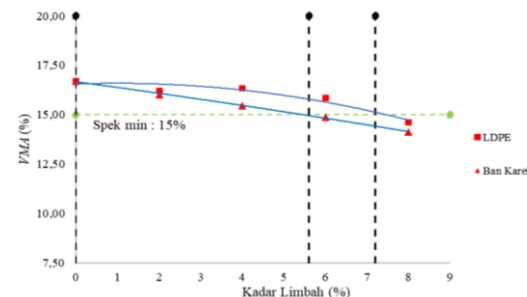
Pengujian volumetrik pada setiap sampel yang digunakan untuk mengetahui nilai VIM, VMA, dan VFWA pada setiap benda uji.

Tabel 5. Rekapitulasi Volumetric Aspal Modifikasi

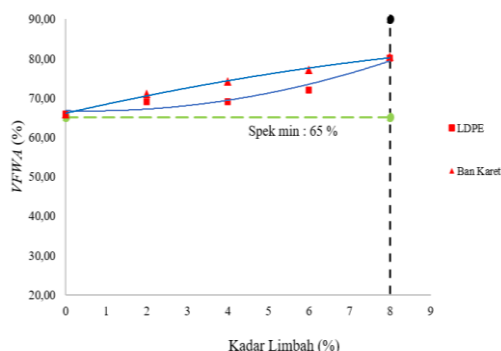
Kadar Aspal Modifikasi (%)	Rekapitulasi Volumetrik			
	Spesifikasi	VFWA (%)	VMA (%)	VIM (%)
		≥ 65	≥ 15	3 - 5
Limbah Plastik LDPE	0	65,878	16,701	5,703
	2	69,096	16,222	5,024
	4	69,062	16,331	5,096
	6	72,083	15,853	4,440
	8	80,190	14,606	2,941
Limbah Ban Karet	0	65,878	16,701	5,703
	2	71,115	16,016	4,715
	4	74,271	15,467	4,018
	6	77,191	14,889	3,429
	8	80,453	14,111	2,772



Gambar 9. Grafik Komparasi Hubungan Kadar Aditif dengan VIM



Gambar 10. Grafik Komparasi Hubungan Kadar Aditif dengan VMA



Gambar 11. Grafik Komparasi Hubungan Kadar Aditif dengan VFWA

Berdasarkan Tabel 5. dan Gambar 9. Sampai dengan Gambar 11. dapat diketahui bahwa nilai *VIM* campuran dengan penggunaan aspal plastik *LDPE* dan ban karet sama-sama mengalami penurunan. Penurunan nilai *VIM* disebabkan karena aditif bercampur dengan aspal saat dilelehkan, sehingga pori diantara butir-butir agregat yang diselimuti oleh aspal menurun seiring bertambahnya kadar aditif. Nilai *VIM* campuran dengan penggunaan aspal plastik *LDPE* lebih tinggi dibandingkan nilai *VIM* campuran dengan penggunaan aspal limbah ban karet.

Nilai *VMA* campuran dengan penggunaan aspal plastik *LDPE* dan ban karet sama-sama mengalami penurunan. Nilai *VMA* campuran dengan penggunaan aspal plastik *LDPE* lebih tinggi dibandingkan nilai *VMA* campuran dengan penggunaan aspal ban karet. Semakin tingginya kadar limbah yang digunakan, rongga dalam agregat yang merupakan volume pori di dalam campuran jika selimut ditiadakan semakin kecil.

Nilai *VFWA* campuran dengan penggunaan aspal plastik *LDPE* sedikit lebih rendah dibandingkan nilai *VFWA* campuran dengan penggunaan aspal limbah ban karet. Hasil yang selisihnya sedikit tersebut diakibatkan karena dalam penggunaan limbah, berat yang digunakan dalam campuran perkerasan sama. Sehingga semakin tinggi kadar limbah yang digunakan, rongga-rongga yang terisi aspal modifikasi juga semakin tinggi. Peningkatan nilai *VFWA* seiring bertambahnya aditif

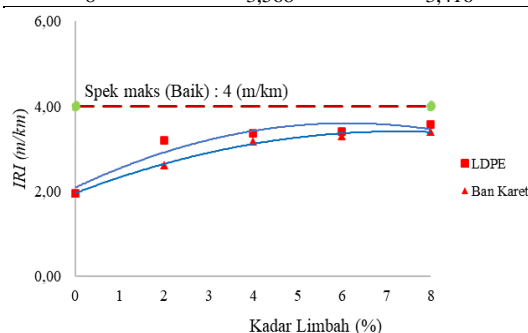
disebabkan oleh terisinyia rongga pada campuran oleh aditif yang sudah dilelehkan bersama aspal.

Pengaruh Aditif terhadap Ketidakrataan

Dalam pengujian *Sand Patch Method* ini menggunakan pasir yang memiliki gradasi seragam yaitu dengan menggunakan pasir ottawa. Pengujian ini dilakukan pada dua sisi benda uji yaitu atas dan bawah agar mendapatkan hasil yang lebih akurat.

Tabel 6. Hasil Pengujian *IRI* Aspal Modifikasi

Kadar Filler	<i>IRI</i> LDPE	<i>IRI</i> Ban Karet
%	m/km	m/km
0	1,965	1,965
2	3,194	2,619
4	3,362	3,188
6	3,410	3,302
8	3,568	3,416



Gambar 12. Grafik Hubungan Kadar Aditif dengan *IRI*

Berdasarkan Tabel 6. dan Gambar 12. dapat diketahui bahwa semakin bertambahnya kadar limbah yang digunakan sebagai aditif, nilai kedalaman tekstur rata-rata dan kekasaran (*IRI*) permukaan perkerasan semakin meningkat. Penggunaan limbah karet sebagai aditif sedikit lebih optimal dalam memperbaiki nilai kedalaman tekstur rata-rata jika dibandingkan dengan penggunaan limbah plastik sebagai aditif. Berdasarkan hasil tersebut juga dapat diketahui hasil pengujian nilai kekasaran yang didapatkan < 4 m/km, yang berarti kondisi permukaan perkerasan semua variasi kadar limbah plastik maupun limbah karet telah memenuhi spesifikasi yang

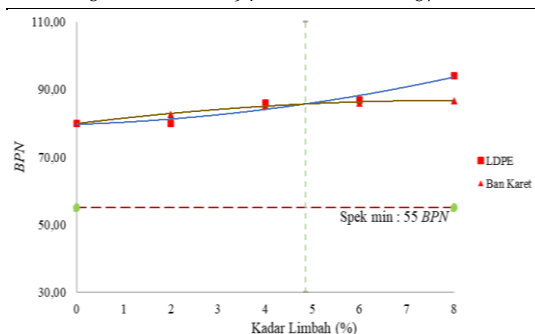
ditetapkan oleh Bina Marga dengan tingkat kekasaran (*IRI*) baik.

Pengaruh aditif terhadap *Skid Resistance*

Pengujian *skid resistance* dilakukan dalam kondisi permukaan benda uji diberi air agar permukaan basah. Tujuan benda uji diberi air agar seolah-olah kondisi permukaan benda uji sedang tergenang air atau sedang terjadi hujan sehingga permukaan jalan basah.

Tabel 7. Hasil Pengujian *Skid Resistance* Aspal Modifikasi

Kadar Aditif %	<i>Skid Resistance (BPN)</i>	
	LDPE	Ban Karet
0	80	80
2	80	83
4	86	85
6	87	86
8	94	87



Gambar 13. Grafik Hubungan Kadar Aditif dengan *BPN*

Berdasarkan Tabel 7. dan Gambar 13. dapat diketahui bahwa semakin bertambahnya kadar limbah yang digunakan sebagai aditif, nilai *skid resistance* permukaan perkerasan semakin meningkat. Penggunaan aditif ban karet lebih optimal sebelum perpotongan grafik, setelah perpotongan pada kadar limbah 4,85% penggunaan limbah plastik *LDPE* sebagai aditif sedikit lebih optimal dalam memperbaiki nilai *skid resistance*. Berdasarkan hasil tersebut juga dapat diketahui hasil pengujian nilai *skid resistance* yang didapatkan > 55 *BPN*, yang berarti kondisi kekasatan permukaan perkerasan semua variasi kadar limbah plastik maupun limbah karet telah

memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga.

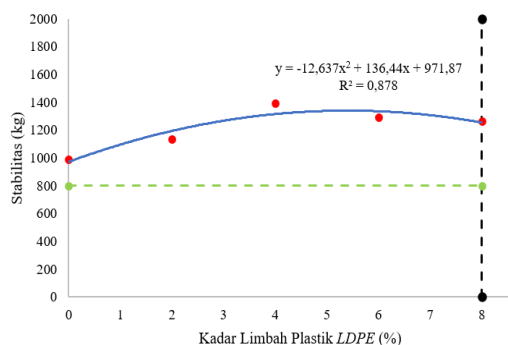
Pengujian *Marshall* untuk Menentukan KPO dan KBO

Pengujian *Marshall* mengikuti prosedur PC-0201-76 atau AASHTO T 245- 74, atau ASTM D 1559-624T.

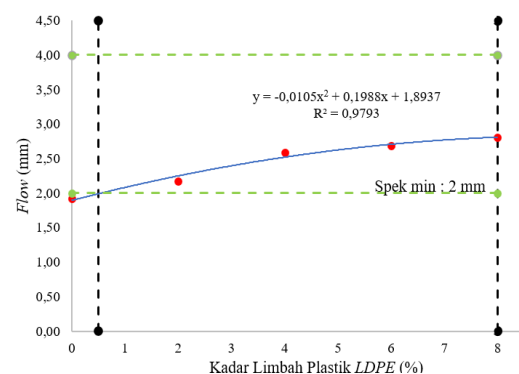
Pengujian *Marshall* Limbah Plastik *LDPE*

Tabel 8. Rekapitulasi *Marshall Properties*

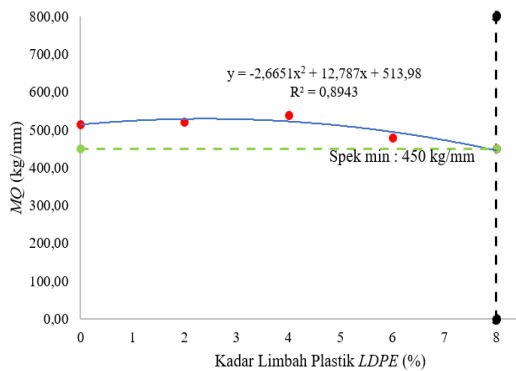
Kadar Aspal Modifikasi (%)	Rekapitulasi <i>Marshall Properties</i>						
	Stabilitas (kg)	<i>Flow</i> (mm)	<i>VFWA</i> (%)	<i>VMA</i> (%)	<i>VIM</i> (%)	<i>MQ</i> (kg/mm)	
Spesifikasi	≥ 800	2 - 4	≥ 65	≥ 15	3 - 5	≥ 450	
Limbah Plastik <i>LDPE</i>	0	988,424	1,92	65,877	16,700	5,702	514,537
	2	1135,127	2,17	69,096	16,222	5,023	522,496
	4	1393,286	2,59	69,061	16,331	5,095	538,341
	6	1290,81	2,69	72,082	15,853	4,440	480,015
	8	1263,984	2,81	80,190	14,605	2,940	450,438



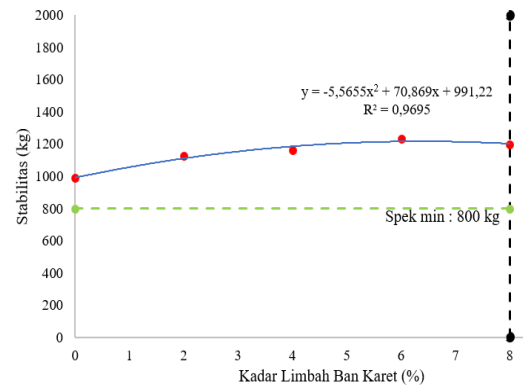
Gambar 5.14 Grafik Hubungan Kadar Aspal Plastik *LDPE* dengan Stabilitas



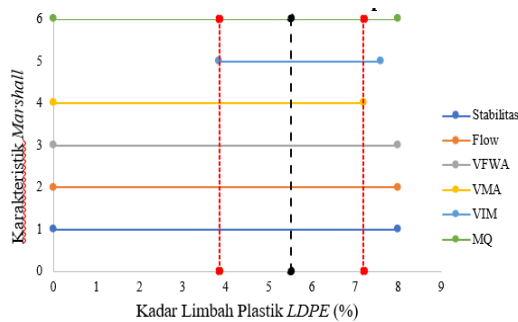
Gambar 5.15 Grafik Hubungan Kadar Aspal Plastik *LDPE* dengan *Flow*



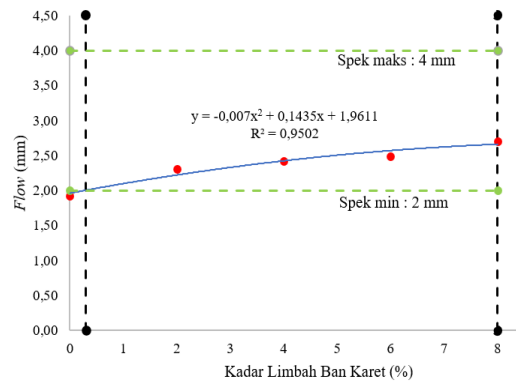
Gambar 5.16 Grafik Hubungan Kadar Aspal Plastik LDPE dengan MQ



Gambar 18. Grafik Hubungan Kadar Aspal Ban Karet dengan Stabilitas



Gambar 17. Grafik Kadar Limbah Plastik LDPE Optimum



Gambar 19. Grafik Hubungan Kadar Aspal Ban Karet dengan Flow

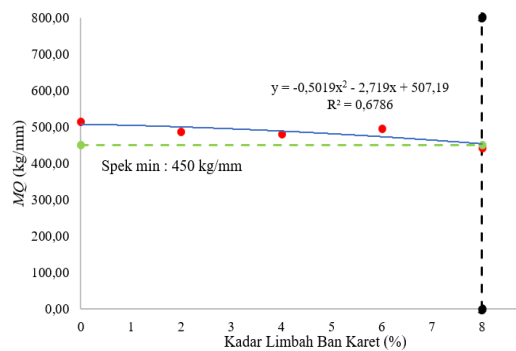
$$KPO = \frac{3,85\% + 7,2\%}{2} = 5,52\%$$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh Kadar Aspal Plastik LDPE Optimum (KPO) sebesar 5,52 %.

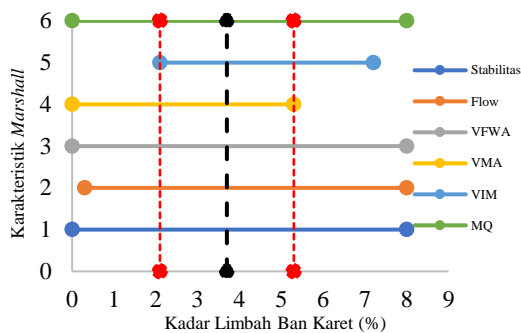
Pengujian Marshall Limbah Ban Karet

Tabel 9. Rekapitulasi Marshall Properties

Kadar Aspal	Rekapitulasi Marshall Properties						
	Modifikasi (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VFWA (%)	VMA (%)	VIM (%)	MQ (kg/mm)
Spesifikasi	≥ 800	2 - 4	≥ 65	≥ 15	3 - 5	≥ 450	
0	988,424	1,92	65,877	16,700	5,702	514,537	
2	1124,143	2,30	71,114	16,015	4,714	487,765	
4	1162,115	2,42	74,270	15,466	4,018	480,148	
6	1234,022	2,49	77,191	14,889	3,429	495,637	
8	1196,939	2,70	80,453	14,111	2,772	443,258	



Gambar 20. Grafik Hubungan Kadar Aspal Ban Karet dengan MQ



Gambar 21. Grafik Kadar Limbah Ban Karet Optimum

$$\begin{aligned} \text{KBO} &= \frac{2,1\% + 5,3\%}{2} \\ &= 3,7\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh Kadar Aspal Ban Karet Optimum (KBO) sebesar 3,7 %.

KESIMPULAN

- 1) Pengaruh aditif limbah plastik *LDPE* dan ban karet pada campuran *AC-WC* terhadap aspek :
 - a. Volumetrik : Nilai *VIM* dan *VMA* semakin menurun seiring bertambahnya kadar aditif limbah plastik *LDPE* dan serbuk ban, sedangkan nilai *VFWA* semakin meningkat seiring bertambahnya kadar plastik *LDPE* dan serbuk ban.
 - b. *IRI* : Semakin bertambahnya kadar limbah yang digunakan sebagai aditif, nilai kedalaman tekstur rata-rata dan kekasaran (*IRI*) permukaan perkerasan semakin meningkat.
 - c. *Skid Resistance* : Semakin bertambahnya kadar limbah yang digunakan sebagai aditif, nilai *skid resistance* permukaan perkerasan semakin meningkat.
- 2) Perbandingan penggunaan aditif limbah plastik *LDPE* dan ban karet dalam campuran *AC-WC* :
 - a. Volumetrik : Nilai *VIM* campuran dengan penggunaan aspal plastik *LDPE* lebih tinggi dibandingkan nilai *VIM* campuran dengan

penggunaan aspal limbah ban karet. Nilai *VMA* campuran dengan penggunaan aspal plastik *LDPE* lebih tinggi dibandingkan nilai *VMA* campuran dengan penggunaan aspal ban karet. Nilai *VFWA* campuran dengan penggunaan aspal plastik *LDPE* sedikit lebih rendah dibandingkan nilai *VFWA* campuran dengan penggunaan aspal limbah ban karet.

- b. *IRI* : Penggunaan limbah karet sebagai aditif sedikit lebih optimal dalam memperbaiki nilai kedalaman tekstur rata-rata jika dibandingkan dengan penggunaan limbah plastik *LDPE* sebagai aditif.
 - c. *Skid Resistance* : Penggunaan aditif ban karet lebih optimal sebelum perpotongan grafik, setelah perpotongan pada kadar limbah 4,85% penggunaan limbah plastik *LDPE* sebagai aditif sedikit lebih optimal dalam memperbaiki nilai *skid resistance*.
- 3) Kadar aspal plastik *LDPE* didapatkan sebesar 5,52%, sedangkan kadar aspal limbah ban karet didapatkan sebesar 3,7%.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, Saptoyo. 2011. Evaluasi Nilai Kekesatan Permukaan (Skid Resistance) Aspal Beton Dengan Perbedaan Indeks Penetrasi Akibat Perubahan Temperatur Permukaan. Jurusan Teknik Sipil Universitas Indonesia, Depok.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2008. Cara Uji Kekesatan Permukaan Perkerasan Menggunakan Alat British Pendulum Tester (BPT). Standar Nasional Indonesia (SNI) 4427:2008. Jakarta.
- Bina Marga (2005). Teknik Pengelolaan Jalan. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689-1699
- Bina Marga. (2010). Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan

- Divisi VI Untuk Perkerasan Aspal.
Departemen Pekerjaan Umum
Bina Marga. 2018. *Spesifikasi Umum 2018*.
Balai Besar Pelaksanaan Jalan
Nasional. Yogyakarta: Direktorat
Jendral Bina Marga.
- Iqbal. 2020. Pengaruh Penggunaan Serbuk
Ban Karet sebagai Pengganti Agregat
Halus Terhadap Karakteristik
Campuran AC-WC : Fakultas Teknik,
Universitas Islam Indonesia
- Irianto. 2021. Campuran Aspal Plastik
“Kekuatan dan Ketahanan Campuran
AC-WC”: CV. Tohar Media, Nakassar
- Kasan, Muhammad. 2009. Studi
Karakteristik Volumetrik Campuran
Beton Aspal Daur Ulang. Palu :
SMARTek
- Mashuri, Batti. 2011. Pemanfaatan Material
Limbah Pada Campuran Beton Aspal
Campuran Panas. MEKTEK Tahun
XIII No. 3
- Putra, et all. 2019. *Skid resistance
performance against temperature
change of hot-mix recycled asphalt
pavement with added crumb rubber*. In
AIP Conference Proceedings (Vol.
2114, No. 1, p. 040012). AIP
Publishing LLC
- Riyanto A. & Sri S. 2022. Konstruksi Desain
Perkerasan dan Pemeliharaan Jalan
Raya. Muhammadiyah University
Press. Surakarta.
- Ratna, Desi. 2018. Tinjauan Terhadap Sifat
Volumetrik Campuran Beton Aspal
Berdasarkan Distribusi Ukuran
Agregat: Fakultas Teknik, Universitas
Mataram
- Sukirman, Silvia. (1999). Perkerasan Lentur
Jalan Raya. Bandung : Nova.
- Sukirman, Silvia. 2016. Beton Aspal
Campuran Panas. Institut Teknologi
Nasional : Bandung.
- Suardo, Utomo. 2020. Pengukuran dan
Perekaman Data Ketidakrataan
Perkerasan Jalan dengan Sensor
Ultrasonik pada Rolling Straight Edge.
Jurnal Aplikasi Teknik Sipil. 295-306