

## PEMANFAATAN ASPAL *POROUS* DENGAN ADITIF KARET DITINJAU DARI ASPEK STABILITAS, KETIDAKRATAAN, DAN *SKID RESISTANCE* (STUDI KASUS : GRADASI JEPANG)

Agus Riyanto<sup>1\*</sup>, Hanif Raihanditya Permana Putera<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Kartasura, Surakarta, Jawa Tengah, Kode Pos 57102

\*Email: ar242@ums.ac.id

### Abstrak

*Aspal Porous menjadi inovasi dalam perkerasan jalan karena sifatnya yang dapat menyerap air dan mengalirkan ke lapisan dibawahnya. Aspal Porous memiliki kemampuan memikul beban kendaraan yang rendah, ketidakrataan jalan yang baik, dan tahanan gelincir yang efektif untuk kendaraan. Penelitian ini bertujuan menganalisis nilai stabilitas, ketidakrataan, dan skid resistance dari campuran aspal porous gradasi Jepang dengan aditif karet. Penelitian ini menggunakan data primer berupa pengujian analisa saringan dan berat jenis aspal aditif, serta data sekunder yang diperoleh dari PT. Selo Progo Sakti. Kemudian dilakukan mix design dan mencari Kadar Aspal Optimum (KAO). Setelah itu, dilakukan pembuatan benda uji berdasarkan KAO untuk mencari nilai Kadar Serbuk Optimum (KSO). Kemudian, dilakukan pembuatan benda uji berdasarkan KSO untuk pengujian stabilitas, ketidakrataan, dan skid resistance. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh nilai stabilitas pada berat Kadar Serbuk Optimum (KSO) sebesar 1615,61 kg berarti perkerasan memenuhi spesifikasi >500 kg, nilai ketidakrataan pada KSO sebesar 3,427 m/km yang berarti perkerasan masuk dalam kategori kondisi jalan baik. Nilai skid resistance pada KSO diperoleh 91,688 BPN. Hasil ini menunjukkan bahwa pemanfaatan aspal porous dengan aditif karet terhadap stabilitas, ketidakrataan, dan skid resistance dapat memperbaiki dan meningkatkan kualitas pada perkerasan jalan.*

**Kata Kunci :** *Aspal Porous, Gradasi Jepang, Ketidakrataan, Skid Resistance, Stabilitas*

### Abstract

*Porous asphalt is an innovation in pavement because of its properties that can absorb water and drain into the layers below. Porous asphalt has the ability to carry low vehicle loads, good road unevenness, and effective slip resistance for vehicles. This study aims to analyze the value of stability, unevenness, and skid resistance of a mixture of Japanese graded porous asphalt with rubber additives. This study uses primary data in the form of testing sieve analysis and density of asphalt additives, as well as secondary data obtained from PT. Selo Progo Sakti. Then do the mix design and find the Optimum asphalt content (KAO). After that, the manufacture of test objects based on KAO to find the optimal powder content value (KSO). Then, the manufacture of test objects based on KSO for testing stability, unevenness, and skid resistance. Based on the results of the study, obtained the stability value at Optimum powder content weight (KSO) of 1615.61 kg means the pavement meets the specifications >500 kg, the unevenness value at KSO of 3.427 m/km which means the pavement is in the category of good road conditions. Skid resistance value at KSO obtained 91.688 BPN. These results show that the use of porous asphalt with rubber additives to the stability, unevenness, and skid resistance can improve and improve the quality of the pavement.*

**Keywords:** *Asphalt Porous, Gradation Japan, Skid Resistance, Stability, Unevenness*

## 1. PENDAHULUAN

Pergerakan roda pada perekonomian nasional tidak juga luput dari beberapa penunjang utama dalam sebuah infrastruktur salah satunya ialah pada Jalan. Akses masyarakat ke jalan raya sangat penting untuk kemampuan mereka bergerak dan melakukan tugas sehari-hari, sehingga volume lalu lintas akan terus mengalami pertumbuhan tanpa mengimbangi peningkatan arus lalu lintas dengan memperluas rute/jalan. Oleh karena itu, perlu dirancang

struktur perkerasan jalan yang kuat, tahan lama, dan elastis. Kerusakan jalan sudah menjadi masalah umum dan sering terjadi di berbagai wilayah. Penyebab Banyak variabel yang dapat berkontribusi terhadap kerusakan perkerasan jalan, pada salah satunya ialah deformasi yaitu pada lapisan perkerasan jalan. Deformasi dapat menyebabkan genangan air hujan, mengurangi daya resap, dan jalan berlubang ketika musim penghujan, sehingga dapat mengganggu kenyamanan bagi pengendara. banyak inovasi

dalam kemajuan jalan agar lebih baik, Aspal *porous* adalah salah satu pengembangan yang membantu mengurangi jumlah air yang menggenang di jalan setelah hujan.. (Sembung et al., 2020)

Seiring bertambahnya kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dalam perkerasan jalan, pada masa kini tengah dikembangkannya dalam perjalanya perkerasan jalan dan pula juga dikenal sebagai aspal *porous*. Aspal *porous* suatu bentuk pengaspalan pada rasio kekosongan yang tinggi dicapai dalam bitumen berpori, dengan komposisi material fraksi kasar lebih dari 85 persen dari keseluruhan massa, menghasilkan produk strukturakhir yang berpori dan penuh rongga. (Djumari & Sarwono, 2009). Dalam merencanakan perkerasan aspal *porous* tentu membutuhkan proses pemilihan gradasi agregat. Pemilihan gradasi agregat merupakan proses yang tidak mudah dalam menentukan sifat aspal *porous* yang diinginkan, beberapa lembaga penelitian di tiap negara memiliki gradasi agregat yang berbeda. Menurut (Setyawan & Sanusi, 2008) gradasi Jepang merupakan gradasi yang memiliki stabilitas tinggi dibandingkan beberapa negara seperti Inggris, *Switzerland*, dan Belanda.

Kualitas perkerasan jalan dapat ditentukan dari nilai stabilitas, nilai ketidakrataan, dan nilai *skid resistance*. Stabilitas lapisan permukaan jalan diukur dengan ketahanannya terhadap deformasi akibat beban kendaraan, ataupun *bleeding*. stabilitas semakin tinggi kebutuhannya sehingga terjadi peningkatan dengan jumlah lalu lintas dalam jumlah beban akibat kendaraan yang melntasi pada jalan tersebut. Jalan yang dilintasi oleh kendaraan berat dengan volume lalu lintas tinggi akan menyebabkan peningkatan pada stabilitas yapabila dibandingkan pada banyaknya kendaraan di lalulintas . Kestabilan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan lapisan jalan mudah mengalami retak dan kaku, sehingga ikatan aspal mudah mengelupas. (Muldiyanto, 2011). Nilai ketidakrataan / *International Roughness Index (IRI)* adalah parameter ketidakrataan perkerasan jalan yang diperoleh dengan membagi jumlah total naik turun permukaan profil linier dengan panjang jalan. (Tho'atin et al., 2016). Tahanan gelincir / *skid resistance* merupakan perolehan pada gaya antara permukaan jalan dan roda kendaraan hasil trsebut di akibatkan ketika dilakukan pengereman supaya kendaraan tidak mudah tergelincir. (Pandia et al., 2016)

Konstruksi jalan tidak selamanya akan bertahan. merupakan pengupayaan dalam perbaikan terhadap jalan. yaitu dengan memberikan bahan tambah / aditif pada perkerasan lama. karet ban bekas ketika dalam penggunaanya yang di lapiskan dalam campuran aspal mampu memberikan ketahanan deformasi permanen terhadap jalan yang di akibatkan jejak roda pada setiap kendaraan yang melintas. Karena ban bekas terbuat dari bahan tahan lama yang dapat ditempa dan fleksibel, masuknya serbuk ban dapat meningkatkan ketahanan terhadap pengaruh cuaca dan tekanan akibat lalu lintas. Zat yang ditemukan pada ban kuno ini dapat dengan mudah terurai dan berubah menjadi perekat begitu suhu dinaikkan ke tingkat tertentu..(Prabudi & Kosim, 2015)

Dari uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai stabilitas, ketidakrataan, dan *skid resistance* sebagai pengaruh pemanfaatan aspal *porous* dengan penambahan limbah karet sebagai aditif.

## 2. METODOLOGI

### 2.1. Metode Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta dengan metode eksperimen. Penelitian ini membuat masing-masing 3 benda uji untuk mencari KAO, masing-masing 3 benda uji per kadar limbah serbuk karet untuk mencari KSO, dan membuat 3 benda uji berdasarkan nilai KSO untuk pengujian stabilitas dan ketidakrataan. Untuk pengujian *skid resistance* tidak membuat benda uji karena pengujian *skid resistance* menggunakan metode empiris untuk memperoleh hasilnya.

Data primer dan data tidak langsung keduanya diperlukan untuk penelitian ini. Laporan sebagai sumber data utama pemeriksaan agregat dan aspal. Hasil pemeriksaan agregat dan aspal meliputi pengujian analisa saringan dan pengujian berat jenis aspal aditif. Untuk bergerak maju, bahan utama harus memenuhi persyaratan. yaitu *mix design*.

Data sekunder meliputi hasil pemeriksaan agregat dan aspal yang berasal dari PT. Selo Progo Sakti. Hasil pemeriksaan agregat meliputi *sand equivalent*, kelekatan agregat, dan abrasi agregat dengan *Los Angeles*. Hasil pemeriksaan aspal meliputi penetrasi aspal, titik lembek aspal, daktilitas aspal, titik nyala & titik bakar aspal, dan *Loss On Heating (LOH)*.

Setelah melalui proses *mix design* untuk kedua data tersebut, maka dapat diidentifikasi

persentase *CA*, *MA*, dan *FA*. Hal selanjutnya yang harus dilakukan adalah mencari tahu berapa banyak aspal yang ideal. Persentase aspal optimal untuk menghasilkan hasil pengujian benda uji berdasarkan variasi kadar aspal (4%, 5%, 6%, 7%, 8%). Dilanjutkan dengan pengujian *Marshall* dan *Volumetrik*.

Pembuatan barang prototipe dengan jumlah serbuk serbuk karet yang bervariasi merupakan langkah selanjutnya dalam menentukan komposisi serbuk yang optimal. (0%, 2%, 4%, 6%), pengujian *Marshall* dan *Volumetrik*. Tahapan tersebut diakhiri dengan Analisis Kadar Serbuk Optimum (KSO).

Kemudian pada benda uji pembuatannya ialah dengan langkah berdasarkan nilai KSO untuk pengujian stabilitas dan ketidakrataan. Pengujian *Skid Resistance* dilakukan dengan menggunakan metode empiris yaitu dengan metode korelasi antara nilai ketidakrataan dan *properties marshall*. Benda uji juga harus memenuhi spesifikasi campuran Aspal *Porous* standar Jepang (Tabel 1).

**Tabel 1**  
**Spesifikasi Campuran Aspal Porous Standar Jepang** (Syarwan et al., 2018)

Sifat-Sifat Campuran	Persyaratan
Stabilitas	> 500 kg
Flow	Min. 3 mm
Marshall Quotient	Min. 250 kg/mm
Rongga dalam campuran (VIM)	15%-25%
Rongga dalam agregat (VMA)	15%
Rongga terisi aspal (VFWA)	65%

### 2.2. Konsepsi Stabilitas

Pada penelitian ini untuk mendapatkan nilai stabilitas, penulis menggunakan alat uji *Marshall Test*. Nilai stabilitas didapatkan dari pembacaan dial stabilitas pada *Marshall Test*. Rumus yang digunakan untuk memperoleh nilai stabilitas dapat dilihat pada Rumus 1 sebagai berikut.

$$q = p \times s \times 0,4536 \quad (1)$$

dengan :

- $q$  = stabilitas (kg)
- $p$  = pembacaan dial stabilitas x kalibrasi alat
- $s$  = koreksi tebal benda uji
- 0,4536 = konversi satuan dari *lb* ke kg

### 2.3. Konsepsi Ketidakrataan

*Sand Patch Method* digunakan sebagai pengukuran kedalaman tekstur permukaan dengan menggunakan pasir dengan hasil rata-rata pengukuran tekstur yang disebut *Mean Texture Depth (MTD)* dan mempunyai satuan milimeter (mm). Rumus yang digunakan untuk mencari nilai *MTD* dapat dilihat pada Rumus 2 sebagai berikut.

$$MTD = 4 \times V \times 1000 / \pi \times D^2 \quad (2)$$

dengan :

$MTD$  = *Mean Texture Depth* (mm)

$V$  = Volume pasir (cm<sup>3</sup>)

$D$  = Diameter *sand patch*

Perhitungan terhadap *MTD* dengan 1 km dan membaginya dengan keliling gundukan pasir akan menghasilkan jawabannya. Pada Tabel 2 dapat dilihat hasil penilaian kondisi jalan aspal berbasis *IRI*.

**Tabel 2**  
**Indikator Kondisi Jalan Beraspal**

No	Nilai <i>IRI</i> (m/km)	Kondisi Perkerasan
1	<4	Baik
2	4 - 8	Sedang
3	8 - 12	Rusak Ringan
4	>12	Rusak Berat

### 2.4. Konsepsi *Skid Resistance*

Metode untuk mendapatkan nilai *skid resistance* dengan menggunakan metode empiris, yaitu metode korelasi antara dua variabel yakni kedalaman tekstur dan *skid resistance* penggunaan analisis linier ialah analisa regresi linier. Korelasi antara kedalaman tekstur dan *skid resistance* dianalisa dengan menggunakan *simple linear regression* yang mana terdapat dua variabel yaitu tidak terikat dan variabel terikat berhubungan linier. (Pandia, dkk, 2016). Untuk mengetahui nilai korelasi linier antara kedalaman tekstur dan *skid resistance*, dicari koefisien determinasi ( $R^2$ ) dengan rumus persamaan yang dapat dilihat pada Rumus 3 sebagai berikut.

$$R^2 = \frac{\left[ \sum x_i y_i - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n} \right]^2}{\left[ \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n} \right] \left[ \sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n} \right]} \quad (3)$$

dengan :

- $\bar{X}$  = rata - rata  $X$
- $\sum X_i$  = jumlah nilai  $X_i$
- $\sum Y_i$  = jumlah nilai  $Y_i$
- $n$  = jumlah data

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

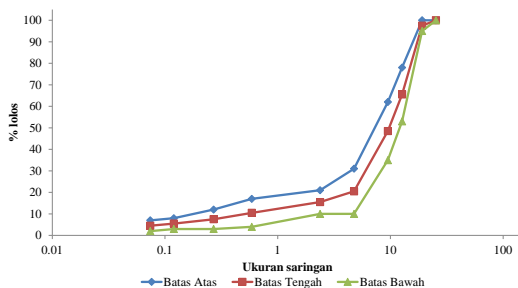
#### 3.1. Mix Design

*Mix Design* ialah digunakan pada pengujian terhadap material yang akan dipakai. Campuran Aspal *Porous* gradasi Jepang yang digunakan memiliki gradasi terbuka (*open graded*). Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer dari pengujian yang dilakukan di laboratorium memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018. Untuk data sekunder sudah memenuhi spesifikasi yang ditentukan, maka penggunaannya dapat dilakukan. Ketika materialnya tidak memenuhi dengan spesifikasi yang haruskan, akan dilakukan rekayasa *mix design* dengan penggabungan 3 fraksi yaitu *CA*, *MA*, dan *FA*.

**Tabel 3**  
Hasil *Mix Design*

Ø Ayakan	Spec Lolos (%)			Spec Tertahan (%)	Spec Tertahan Kumulatif (gram)	Spec Tertahan (gram)
	BB	BT	BA			
1"	100	100	100	0	0	0
¾"	95	97,5	100	2,5	30	30
½"	53	65,5	78	34,5	414	384
3/8"	35	48,5	62	51,5	618	204
4"	10	20,5	31	79,5	954	336
8"	10	15,5	21	84,5	1014	60
30"	4	10,5	17	89,5	1074	60
50"	3	7,5	12	92,5	1110	36
100"	3	5,5	8	94,5	1134	24
200"	2	4,5	7	95,5	1146	12
pan	0	0	0	100	1200	54

Untuk memperoleh KAO, digunakan agregat kasar (*CA*) sebesar 51,5%, agregat medium (*MA*) sebesar 28%, dan agregat halus (*FA*) sebesar 20,5%. Grafik penggabungan fraksi antar agregat dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1. Grafik *Mix Design***

Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 1, diketahui bahwa hasil *mix design* untuk campuran Aspal *Porous* Gradasi Jepang menggunakan batas tengah sudah memenuhi syarat sesuai pada

Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 maka atas hal tersebut penggunaan material mampu dilakukan.

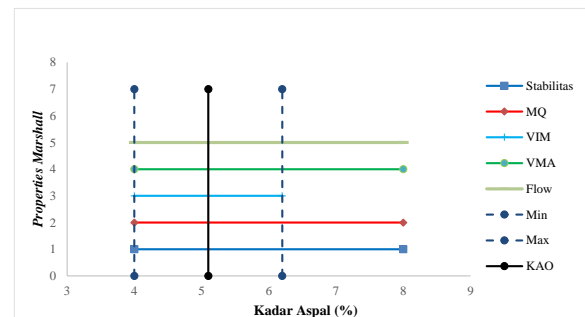
#### 3.2. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal Optimum digunakan untuk menentukan jumlah kadar aspal yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji. Nilai KAO yang diperoleh akan digunakan untuk membuat benda uji dengan tambahan aditif bubuk karet ban bekas. Variasi kadar aspal yang digunakan yaitu 4%, 5%, 6%, 7%, dan 8% dari berat total agregat yaitu 1200 gram.

**Tabel 4**  
Rekapitulasi *Properties Marshall* untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal	Benda Uji	<i>Properties Marshall</i>					
		VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
%	-	%	%	%	kg	mm	kg/mm
4	1	15.30	23.45	34.76	1364.42	3.05	447.35
	2	18.03	25.91	30.41	1281.22	2.80	457.58
	3	19.69	27.40	28.15	1278.28	3.15	405.80
	Rata-rata	17.67	25.59	31.10	1307.98	3.00	436.91
5	1	11.95	22.39	46.64	1542.39	3.25	474.58
	2	14.59	24.68	40.90	1547.28	3.20	483.53
	3	23.84	32.79	27.29	1231.56	2.95	417.48
	Rata-rata	16.79	26.62	38.28	1440.41	3.13	458.53
6	1	7.09	20.36	65.16	1205.90	3.01	400.63
	2	5.77	19.36	70.21	1609.32	3.29	489.16
	3	31.87	41.26	22.76	1555.68	3.09	503.46
	Rata-rata	14.91	26.99	52.71	1456.97	3.13	464.41
7	1	3.47	20.53	83.11	1327.45	3.33	398.63
	2	13.10	27.08	51.60	1927.99	3.38	570.41
	3	25.31	37.14	31.83	1172.64	3.16	371.09
	Rata-rata	13.96	28.25	55.52	1476.03	3.29	446.71
8	1	7.17	24.62	70.86	1051.95	3.20	328.74
	2	8.17	25.26	67.66	1603.55	3.77	425.34
	3	24.01	37.54	36.03	1609.32	3.39	474.73
	Rata-rata	13.12	29.14	58.18	1421.61	3.45	409.60

Setelah dilakukan analisis dan didapatkan nilai *Properties Marshall*, Kadar Aspal Optimum memiliki perolehan nilai dalam campuran dengan mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6 Tahun 2018 yang dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2. Grafik Kadar Aspal Optimum**

Pada Gambar 2, diperoleh nilai kadar aspal minimum yang masuk spesifikasi sebesar 4% dan sebesar 6,2% yang tergolong spesifikasi

yang masuk dalam kadar aspal maksimum, sehingga diperoleh nilai KAO sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{KAO} &= (\text{Kadar Aspal Minimum} + \text{Kadar Aspal Maksimum}) / 2 \\ &= (4 + 6,2) / 2 \\ &= 5,1 \% \end{aligned}$$

Perolehan nilai dalam stiapn hitungan yang sudah dijelaskan ialah pada KAO sebesar 5,1%. Pada penelitian ini, nilai KAO digunakan untuk menentukan besarnya berat tiap kadar serbuk karet sehingga bisa didapatkan nilai KSO.

### 3.3. Penentuan Kadar Serbuk Optimum

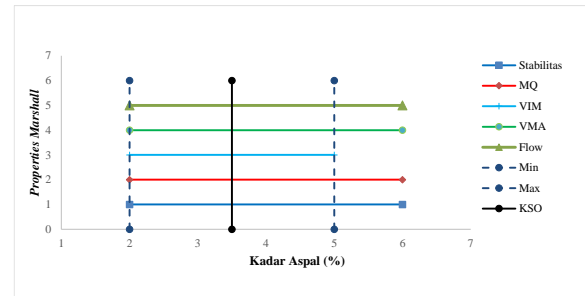
Berdasarkan penelitian untuk kadar aspal optimum diperoleh sebesar 5,1 % dari berat total agregat, kemudian ditambahkan bahan aditif berupa serbuk karet ban sesuai variasi kadar yang direncanakan. Variasi kadar aditif serbuk ban yang digunakan adalah 0%, 2%, 4%, dan 6%.

**Tabel 5**  
**Rekapitulasi *Properties Marshall* Limbah Serbuk Karet**

Kadar Aspal	Benda Uji	<i>Properties Marshall</i>					
		VIM	VMA	VFWA	Stabilitas	Flow	MQ
%	-	%	%	%	kg	mm	kg/mm
0	1	11,74	19,30	39,16	1512,73	3,22	469,79
	2	15,36	23,11	33,56	1547,28	3,2	483,53
	3	23,28	30,89	24,65	1233,81	3,98	310,00
	<b>Rata-rata</b>	<b>16,79</b>	<b>24,44</b>	<b>32,46</b>	<b>1431,27</b>	<b>3,47</b>	<b>421,11</b>
2	1	10,28	18,83	45,40	1572,05	3,50	449,16
	2	19,18	27,71	30,78	1690,38	3,46	488,55
	3	19,37	27,89	30,55	1305,10	3,66	356,58
	<b>Rata-rata</b>	<b>16,28</b>	<b>24,81</b>	<b>35,57</b>	<b>1522,51</b>	<b>3,54</b>	<b>431,43</b>
4	1	13,75	23,63	41,83	1662,97	4,45	373,70
	2	21,62	30,82	29,85	1597,86	3,16	505,65
	3	9,98	20,05	50,24	1687,94	3,86	437,29
	<b>Rata-rata</b>	<b>15,11</b>	<b>24,83</b>	<b>40,64</b>	<b>1649,59</b>	<b>3,82</b>	<b>438,88</b>
6	1	9,49	21,82	56,50	2007,33	3,47	578,48
	2	16,40	27,36	40,06	1126,53	4,08	276,11
	3	17,27	28,09	38,51	1720,36	3,54	485,98
	<b>Rata-rata</b>	<b>14,39</b>	<b>25,76</b>	<b>45,02</b>	<b>1618,07</b>	<b>3,70</b>	<b>446,86</b>

Berdasarkan Table 5 perolehan hasil perhitungannya, nilai VFWA masih belum dapat memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Hal ini dikarenakan komposisi agregat dalam campuran aspal porous menggunakan agregat kasar lebih banyak dibandingkan agregat medium dan halus yaitu sebesar 65%, sehingga rongga udara dalam campuran lebih besar. Penambahan serbuk karet ban juga meningkatkan nilai stabilitas dan flow benda uji. Nilai VIM, VMA, dan MQ tidak terjadi penambahan yang signifikan. Dapat dikatakan bahwa penambahan aditif berupa serbuk karet ban dapat menjadi peningkatan kepada nilai stabilitas benda uji dan flow juga mampu diperbaiki.

Setelah dilakukan analisis dan diperoleh nilai *Properties Marshall*, maka diperoleh nilai Kadar Serbuk Optimum yang dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3. Grafik Kadar Serbuk Optimum**

Dari hasil yang diperoleh pada serbuk berkadar ban minimum masuk spesifikasi yaitu 2 % dan kadar serbuk ban maksimum masuk spesifikasi didapati dengan perolehan 5 %, maka KSO didapati sebagai berikut yang sudah dijelaskan.

$$\begin{aligned} \text{KSO} &= (\text{Kadar Aspal Minimum} + \text{Kadar Aspal Maksimum}) / 2 \\ &= (2 + 5) / 2 \\ &= 3,5 \% \end{aligned}$$

Dari perolahn tersebut didapati pada nilai KSO sebesar 3,5%. Nilai tersebut dipakai dalam pengujian stabilitas, ketidakraatan ketika menganalisisnya, dan *skid resistance*.

### 3.4. Analisis Nilai Stabilitas

Nilai stabilitas dapat diperoleh dengan menggunakan alat uji *Marshall Test* dengan mengacu pada pembacaan dial stabilitas dan flow yang terpasang pada alat uji *Marshall Test*. Benda uji yang mampu dipakai dalam stabilitas pengujianya menggunakan benda uji dengan kadar serbuk optimum. Hasil pengujian nilai stabilitas dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6.**  
**Hasil Pengujian Stabilitas**

KSO (%)	Sampel Benda Uji	Pembacaan Dial Stabilitas	Angka Koreksi	Kalibrasi Alat	Nilai Stabilitas
3.5	I	63	1.963	31.6	1772.341
	II	62	1.871	31.6	1662.967
	III	65	1.515	31.6	1411.517

Berdasarkan Tabel 6 dapat diketahui bahwa hasil pengujian stabilitas menggunakan serbuk karet optimum dalam campuran Aspal Porous gradasi Jepang dapat meningkatkan nilai stabilitas dan memperbaiki kondisi jalan serta sudah memenuhi spesifikasi yang ditentukan yakni > 500 kg.



### 3.5. Analisis Nilai Ketidakrataan

*Sand Patch Method* ialah salah satu penggunaan untuk perolehan terhadap nilai *IRI* dalam metodenya. Benda uji yang digunakan yaitu benda uji yang telah ditambahkan dengan aditif serbuk karet. Besarnya volume pasir yang mengisi ketidakrataan benda uji diperoleh dari berat pasir *otawa* yang mengisi rongga benda uji dibagi dengan berat volume pasir *otawa*. Tabel 7 memperlihatkan perolehan nilai ketidakrataan.

**Tabel 7**  
**Hasil Pengujian Nilai Ketidakrataan**

KSO	Sampel	Sisi	Volume dari Berat Pasir			Kedalaman	IRI	IRI rata-rata sisi	IRI rata-rata sample
			Awal	Akhir	Volume				
%	buah		gr	gr	cm <sup>3</sup>	cm	m/km	m/km	m/km
3.5	1	atas	50	43	3.867	0.047	4.642	3.979	3.427
		bawah	50	45	2.762	0.034	3.316		
	2	atas	50	48	1.105	0.014	1.326	1.326	
		bawah	50	48	1.105	0.014	1.326		
	3	atas	50	40	5.525	0.068	6.632	4.974	
		bawah	50	45	2.762	0.034	3.316		

Tabel 7 menunjukkan bahwa butir yang diujikan dalam keadaan memuaskan karena memenuhi semua persyaratan yang tercantum disana yaitu < 4 m/km dengan nilai *IRI* yang diperoleh sebesar 3,427 m/km.

### 3.6. Analisis Nilai Skid Resistance

Nilai *skid resistance* diperoleh dengan menggunakan tambahan aditif serbuk karet sebesar 3,5% dari berat KSO. Pengujian ini menggunakan Metode Empiris, yaitu metode yang diperoleh dengan menggunakan hasil persamaan antara nilai *Properties Marshall* dengan nilai *Skid Resistance* dari data sekunder dan hasil persamaan antara nilai *Properties Marshall* dengan nilai *IRI* dari data primer, sehingga diperoleh hasil persamaan antara nilai *IRI* dengan nilai *Skid Resistance*. Hasil Persamaan yang digunakan yaitu persamaan eksponensial dan linier. Hasil persamaan antara nilai *Properties Marshall* dengan nilai *Skid Resistance* dan nilai *Properties Marshall* dengan *IRI* dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9.

**Tabel 8**  
**Hasil Persamaan Eksponensial dan Linier Nilai Properties Marshall dan Skid Resistance**

Hubungan Skid Resistance dengan VIM			
Persamaan	Hasil Persamaan	Hasil r	Hasil r <sup>2</sup>
Eksponensial	$y = 176.19e^{-0.128x}$	1	1
Linier	$y = -12.298x + 154.42$	1	1
Hubungan Skid Resistance dengan VMA			
Persamaan	Hasil Persamaan	Hasil r	Hasil r <sup>2</sup>
Eksponensial	$y = 15134e^{-0.241x}$	0.7896	0.6379
Linier	$y = -23.075x + 580.8$	0.7971	0.6354
Hubungan Skid Resistance dengan VFWA			
Persamaan	Hasil Persamaan	Hasil r	Hasil r <sup>2</sup>
Eksponensial	$y = 10.739e^{0.0283x}$	1	0.9962
Linier	$y = 2.7137x - 114.08$	1	0.9965
Hubungan Skid Resistance dengan Stabilitas			
Persamaan	Hasil Persamaan	Hasil r	Hasil r <sup>2</sup>
Eksponensial	$y = 164.78e^{-3E-04x}$	0.6955	0.4837
Linier	$y = -0.0333x + 148.13$	0.6974	0.4863
Hubungan Skid Resistance dengan Flow			
Persamaan	Hasil Persamaan	Hasil r	Hasil r <sup>2</sup>
Eksponensial	$y = 203.09e^{-0.212x}$	1	0.9998
Linier	$y = -20.384x + 168.06$	1	0.9998
Hubungan Skid Resistance dengan MQ			
Persamaan	Hasil Persamaan	Hasil r	Hasil r <sup>2</sup>
Eksponensial	$y = 131.86e^{-6E-04x}$	0.491	0.241
Linier	$y = -0.0615x + 126.74$	0.4932	0.2432

**Tabel 9**  
**Hasil Persamaan Eksponensial dan Linier Nilai Properties Marshall dan IRI**

Hubungan IRI dengan VIM			
Persamaan	Hasil Persamaan	Hasil r	Hasil r <sup>2</sup>
Eksponensial	$y = 58.941e^{-0.194x}$	0.3938	0.1551
Linier	$y = -0.6444x + 13.355$	0.4911	0.2412
Hubungan IRI dengan VMA			
Persamaan	Hasil Persamaan	Hasil r	Hasil r <sup>2</sup>
Eksponensial	$y = 2.495e^{0.0074x}$	0.0264	0.0007
Linier	$y = 0.0991x + 1.0941$	0.1353	0.0183
Hubungan IRI dengan VFWA			
Persamaan	Hasil Persamaan	Hasil r	Hasil r <sup>2</sup>
Eksponensial	$y = 2.1875e^{0.0088x}$	0.1615	0.0261
Linier	$y = 0.0389x + 2.0738$	0.2676	0.0716
Hubungan IRI dengan Stabilitas			
Persamaan	Hasil Persamaan	Hasil r	Hasil r <sup>2</sup>
Eksponensial	$y = 49488e^{-0.006x}$	0.5694	0.3242
Linier	$y = -0.0136x + 25.124$	0.4768	0.2274
Hubungan IRI dengan Flow			
Persamaan	Hasil Persamaan	Hasil r	Hasil r <sup>2</sup>
Eksponensial	$y = 2E+17e^{-10.39x}$	1	0.9999
Linier	$y = -27.493x + 106.4$	1	0.9858
Hubungan IRI dengan MQ			
Persamaan	Hasil Persamaan	Hasil r	Hasil r <sup>2</sup>
Eksponensial	$y = 34.289e^{-0.006x}$	0.1486	0.0221
Linier	$y = -0.0041x + 5.2099$	0.0412	0.0017

Berdasarkan hasil persamaan pada Tabel 8 dan Tabel 9 diperoleh nilai Koefisien Determinasi (r<sup>2</sup>) dan Koefisien Korelasi (r) yang berbeda-beda. Hal ini menunjukkan bahwa ada beberapa aspek dalam *properties marshall* yang berhubungan kuat dan berhubungan lemah. Hasil rekapitulasi nilai r<sup>2</sup> dan r dapat dilihat dibawah berikut.

**Tabel 10**  
**Rekapitulasi Nilai Koefisien Determinasi ( $r^2$ ) dan Koefisien Korelasi ( $r$ )**

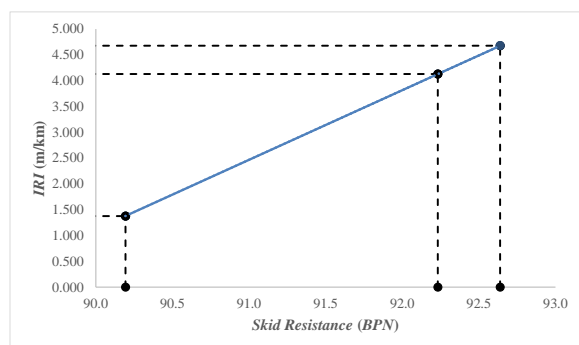
Properties Marshall	IRI				Keterangan	Skid Resistance				Keterangan
	Eksponensial		Linier			Eksponensial		Linier		
	r	r <sup>2</sup>	r	r <sup>2</sup>		r	r <sup>2</sup>	r	r <sup>2</sup>	
VIM	0.3938	0.1551	0.4911	0.2412	Berhubungan Lemah	1	1	1	1	Berhubungan Lemah
VMA	0.0264	0.0007	0.1353	0.0183	Berhubungan Lemah	0.7896	0.6379	0.797	0.6354	Berhubungan Lemah
VFA	0.1615	0.0261	0.2676	0.0716	Berhubungan Lemah	1	0.9962	1	0.9965	Berhubungan Lemah
Stabilitas	0.5694	0.3242	0.4768	0.2274	Berhubungan Lemah	0.6955	0.4837	0.697	0.4863	Berhubungan Lemah
Flow	1	0.9999	1	0.9858	Berhubungan Kuat	1	0.9998	1	0.9998	Berhubungan Kuat
MQ	0.1486	0.0221	0.0412	0.0017	Berhubungan Lemah	0.491	0.241	0.493	0.2432	Berhubungan Lemah

Berdasarkan Tabel 10 dinyatakan bahwa diperoleh nilai koefisien yang mendekati 1 ialah nilai *Flow*, menyatakan bahwa nilai *Flow* dapat memenuhi persamaan hasil antara nilai *IRI* dan nilai *Skid Resistance*. Nilai *flow* yang memenuhi persamaan dihitung dengan menggunakan persamaan linier yang dapat dilihat pada Tabel 11.

**Tabel 11**  
**Hasil Perhitungan Nilai IRI dan Skid Resistance dengan Metode Persamaan Linier**

Flow	Persamaan Linier Hubungan IRI dengan Flow		Hasil Perhitungan untuk Nilai IRI		Persamaan Linier Hubungan Skid Resistance dengan Flow		Hasil Perhitungan untuk Nilai Skid Resistance	
	mm	Hasil Persamaan	m/km	Hasil Persamaan	BPN	BPN		
3.70		$y = -27.493x + 106.4$	4.676	$y = -20.384x + 168.06$	92.639			
3.72		106.4	4.126	168.06	92.232			
3.82			1.377		90.193			

Berdasarkan perolehan pada table maka jika menggunakan persamaan linier, diperoleh nilai *IRI* dengan *Flow* dan nilai *Skid Resistance* dengan *Flow*. Nilai *IRI* yang diperoleh yaitu 4,676, 4,126, dan 1,377 dengan satuan m/km. Nilai *Skid Resistance* yang diperoleh yaitu 92,639, 92,232, dan 90,193 dengan satuan *BPN*. Dari analisa nilai *IRI* dan nilai *Skid Resistance* yang diperoleh, dapat dinyatakan dalam grafik hubungan antara *IRI* dan *Skid Resistance* dari segi *Flow* pada Gambar 4.



**Gambar 4. Grafik Hubungan IRI dan Skid Resistance dari Segi Flow**

Pada Gambar 4 dikatakan bahwa hubungan nilai *IRI* dan nilai *Skid Resistance* mengalami kenaikan serta diperoleh nilai koefisien korelasi

( $r$ ) dari *IRI* yaitu 1 yang menunjukkan bahwa nilai *IRI* memiliki hubungan yang kuat dengan nilai *skid resistance*.

#### 4. KESIMPULAN

1. Penambahan serbuk karet ban bekas pada berat KSO 3,5% pada campuran Aspal *Porous* gradasi Jepang dapat meningkatkan nilai stabilitas dengan nilai sebesar 1615,608 kg sehingga nilai stabilitas dapat memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yaitu > 500 kg.
2. Setelah dilakukan pengujian pada penambahan serbuk karet bekas pada benda uji dan pada berat KSO 3,5% untuk mencari nilai ketidakrataan, diperoleh nilai ketidakrataan sebesar 3,427 m/km dengan spesifikasi nilai ketidakrataan maksimum sebesar 4 m/km dan masuk dalam spesifikasi jalan dengan kondisi baik.
3. Hasil pengujian *Skid Resistance* pada campuran aspal *porous* pada berat KSO 3,5% dengan menggunakan metode empiris diperoleh nilai tertinggi sebesar 92,639 *BPN*. Berdasarkan nilai minimum *Skid Resistance* pada jalan kondisi basah, hasil ini sangat memadai.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Djumari, & Sarwono, D. (2009). Perencanaan Gradasi Aspal Porus Menggunakan Material Lokal Dengan Metode Pemampatan Kering. *Media Teknik Sipil* Vol. IX.
- Muldiyanto, A. (2011). Uji Stabilitas Terhadap Flow Campuran Aspal Dengan Marshall Test (Kadar Aspal 5 % , Penetrasi 60/70). *J. Pengemb. Rek & Tek*, 13, 11–18.
- Pandia, I. J., Lubis, A. S., & Rambe, A. P. (2016). Korelasi Skid Resistance Dengan Kedalaman Tekstur Pada Permukaan Perkerasan Lentur. *Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil*, 22(2), 109–118.
- Prabudi, D., & Kosim. (2015). Pengaruh Kinerja Penambahan Karet Ban Bekas Sebagai Substitusi Pengganti Campuran Beraspal Daur Ulang Pada Lapis Permukaan Atas. *Pilar Jurnal Teknik Sipil*, 12(2). [www.pu.go.id](http://www.pu.go.id)
- Sembung, N. T., Sendow, T. K., & Palenewen, S. (2020). Analisa Campuran Aspal Porus Menggunakan Material Dari Kakaskasen

- Kecamatan Tomohon Utara Kota Tomohon. *Jurnal Sipil Statik*, 8(3), 345–352.
- Setyawan, A., & Sanusi. (2008). Observasi Properties Aspal Porus Berbagai Gradasi Dengan Material Lokal. *Media Teknik Sipil*.
- Syarwan, Mulizar, & Budidarmawan. (2018). Analisa Parameter Marshall Dan Durabilitas Aspal Poros Dengan Variasi Gradasi Menggunakan Spesifikasi Jepang. *Portal Jurnal Teknik Sipil Vol. 20 No. 2*.
- Tho'atin, U., Setyawan, A., & Suprpto, M. (2016). Penggunaan Metode International Roughness Index (Iri), Surface Distress Index (Sdi) Dan Pavement Condition Index (Pci) Untuk Penilaian Kondisi Jalan Di Kabupaten Wonogiri. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Fakultas Teknik Universtias Muhammadiyah Jakarta*.