

PEMANFAATAN MATERIAL DAUR ULANG PADA CAMPURAN PORUS GRADASI BELANDA DITINJAU DARI STABILITAS, PERMEABILITAS, KETIDAKRATAAN, DAN SKID RESISTANCE

Agus Hendro Priyono, Agus Riyanto

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Kerusakan jalan merupakan masalah umum sehingga dengan adanya perbaikan jalan menggunakan aspal daur ulang ditambah dengan aspal baru diharapkan mampu mengurangi penggunaan sumber daya alam dan menurunkan tingkat kerusakan jalan. Dengan menggunakan material daur ulang menjadi campuran aspal porus gradasi Belanda. Campuran aspal porus gradasi Belanda diyakini cocok digunakan pada jalan dengan kondisi curah hujan tinggi dan area yang butuh ketenangan seperti area rumah sakit, sekolah, kampus. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai perkerasan porus gradasi Belanda, yang ditinjau dari nilai Stabilitas, Permeabilitas, Ketidakrataan atau *IRI* (*International Roughness Index*) dan *Skid Resistance* dalam kondisi KAO dengan menggunakan material daur ulang. Data yang digunakan berasal dari data primer dan data sekunder. Variasi kadar aspal yang digunakan 5%, 6%, dan 7% dengan 3 benda uji tiap variasi kadar aspal. Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) diperoleh 5,75%. Setelah mendapat nilai KAO, kemudian benda uji dibuat untuk mendapatkan nilai stabilitas, permeabilitas, ketidakrataan atau *IRI* (*International Roughness Index*), dan *Skid Resistance*. Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan material daur ulang menghasilkan stabilitas yang tinggi pada benda uji 1, 2, dan 3 sebesar 912,739 kg, 928,290 kg, dan 758,293 kg, hasil dari nilai stabilitas menunjukkan perkerasan masuk dalam spesifikasi sehingga bisa digunakan di lapangan. Kecepatan aliran pada uji permeabilitas benda uji 1, 2, dan 3 sebesar 0,051 cm/s, 0,052 cm/s, dan 0,038 cm/s, sehingga masuk dalam kategori *fair drainage*. Nilai *IRI* pada benda uji 1, 2, dan 3 sebesar 12,33 m/km, 14,20 m/km, dan 13,83 m/km, dari nilai tersebut disimpulkan bahwa perkerasan sangat tidak rata/rusak berat, sedangkan nilai *skid resistance* yang didapat dari metode matematis sebesar 115,362 BPN dan 130,331 BPN. Berdasarkan hasil di atas dapat dinyatakan bahwa perkerasan dengan material daur ulang yang ditinjau dari Stabilitas, Permeabilitas, *IRI* (*International Roughness Index*), dan *skid resistance* ada yang memenuhi spesifikasi dan ada yang tidak memenuhi spesifikasi.

Kata Kunci: Porus, Stabilitas, Permeabilitas, Ketidakrataan, Skid Resistance.

Abstract

Road damage is a common problem so that with road repairs using recycled asphalt plus new asphalt it is expected to reduce the use of natural resources and reduce the level of road damage. By using recycled materials in a Dutch-graded porous asphalt mixture. Dutch-graded porous asphalt mixture is believed to be suitable for use on roads with high rainfall conditions and areas that need calm such as areas of hospitals, schools, and campuses. This study aims to determine the value of porous Dutch gradation pavements, in terms of Stability, Permeability, Unevenness or *IRI* (*International Roughness Index*), and *Skid Resistance* values in KAO conditions using recycled materials. The data used comes from primary data and secondary data. Variations in asphalt content used were 5%, 6%, and 7% with 3 specimens for each variation in asphalt content. Optimum Asphalt Content (KAO) value obtained was 5.75%. After obtaining the KAO value, then the test object is made to obtain stability, permeability, unevenness or *IRI* (*International Roughness Index*), and *Skid Resistance* values. Based on the research results, the use of recycled materials resulted in high stability on test objects 1, 2, and 3 of 912.739 kg, 928.290 kg, and 758.293 kg. The results of the stability values indicated that the pavement was included in the specifications so that it

could be used in the field. The flow velocity in the permeability test of specimens 1, 2, and 3 was 0.051 cm/s, 0.052 cm/s, and 0.038 cm/s so it was included in the fair drainage category. The IRI values on specimens 1, 2, and 3 were 12.33 m/km, 14.20 m/km, and 13.83 m/km, from these values it was concluded that the pavement was very uneven/heavily damaged, while the skid values the resistance obtained from the mathematical method is 115.362 BPN and 130.331 BPN. Based on the above results it can be stated that pavements with recycled materials in terms of Stability, Permeability, IRI (International Roughness Index), and skid resistance meet the specifications and some do not meet the specifications.

Keywords: Porus, Stability, Permeability, Unevenness, Skid Resistance.

1. PENDAHULUAN

Jalan merupakan prasarana berupa ruang yang dibuat untuk mempermudah transportasi melalui jalur darat.. Jalan juga salah satu utama untuk perkembangan konstruksi yang selalu dikembangkan dan memiliki peranan penting untuk membangun prasarana darat baik pertumbuhan ekonomi, pendidikan, dan sosial budaya, Agar jalan dapat berperan optimal, maka perlu adanya perbaikan dan pemeliharaan jalan apabila terjadi kerusakan pada jalan. Kerusakan jalan dapat disebabkan curah hujan yang tinggi, arus lalu lintas yang tinggi dan beban lalu lintas yang berat, sehingga kualitas jalan cenderung mengalami penurunan.

Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, perbaikan jalan sangat dibutuhkan akan tetapi ada berbagai macam faktor yang menghalangi perbaikan jalan antara lain ketersediaan material alam terbatas dan biaya material semakin mahal, untuk membantu mengurangi kebutuhan material dan biaya yang dibutuhkan pada jalan diperlukan sebuah inovasi, yaitu menggunakan kembali material perkerasan jalan sebelumnya atau material daur ulang. Material daur ulang biasanya telah mengalami penurunan pada kualitasnya, maka diperlukan beberapa pengujian terlebih dahulu untuk mengembalikan mutu material seperti melakukan peremajaan pada aspal dan uji tes agregat agar dapat digunakan kembali. Pada umumnya perkerasan di Indonesia yang sering digunakan, yaitu perkerasan lentur dengan campuran aspal panas yang disebut dengan *Hot Mix Asphalt* seperti *Hot Rolled Asphalt* dan *Asphalt Concrete*, tetapi saat musim hujan campuran aspal tersebut masih menimbulkan masalah dalam hal keamanan dan kenyamanan dalam berkendara. Permasalahannya adalah sering terjadinya lapisan aliran air (*aquaplaning*) yang mengakibatkan roda tidak dapat berputar sempurna menyentuh permukaan perkerasan sehingga berbahaya bagi pengguna jalan dengan kecepatan tinggi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut telah dilakukan berbagai cara seperti membuat permukaan jalan dengan kemiringan tertentu dirasa masih kurang dan masih terjadi *aquaplaning*. Salahsatu cara yang saat ini dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan aspal porus (Wardoyo, 2010).

Campuran aspal porus sudah banyak digunakan di negara-negara maju, seperti Belanda, Spanyol, Inggris, Jepang, dan Singapura. Untuk menghasilkan campuran aspal porus yang baik dapat ditentukan beberapa tinjauan yaitu stabilitas, permeabilitas, *IRI* (*International Roughness Index*), dan *skid resistance*. Aspal porus merupakan campuran aspal dengan gradasi yang memiliki rongga/pori besar dan bersifat permeabel yang berarti mampu meloloskan air pada permukaan jalan. Melihat hal tersebut, aspal porus ini mampu mengurangi terjadinya *aquaplaning*, karena aspal porus memiliki daya serap yang tinggi menjadikan air tidak menggenang di perkerasan.

Terkait dengan hal-hal tersebut, peneliti ingin meneliti tentang pemanfaatan material daur ulang pada campuran aspal porus yang ditinjau dari stabilitas, permeabilitas, *IRI*, dan *skid resistance* dikarenakan Indonesia membutuhkan jalan yang mampu meloloskan air karena sering terjadinya banjir akibat *aquaplaning* seperti Jakarta dan mampu digunakan untuk jangka waktu lama.

2. METODE

Basis dari penelitian ini adalah eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta dengan total benda uji sebanyak 18 buah. Material yang digunakan terdiri dari material baru dan material perkerasan jalan lama atau material daur ulang. Untuk material baru, fresh aggregate yang digunakan bersumber dari quarry Siwal Boyolali dan fresh asphalt berasal dari PT. Pertamina Cilacap. Sedangkan material daur ulang diambil dari ruas jalan nasional Palur - Sambungmacan Mantingan Sragen.

Tahapan dalam penelitian ini yakni persiapan (alat dan bahan, formular, dan praktikan), pengumpulan data dan referensi, pengolahan data (data primer dan data sekunder), pembuatan benda uji dengan variasi kadar aspal 5%, 6%, dan 7%, mencari kadar aspal optimum, pembuatan benda uji dengan menggunakan APRS, melakukan pengujian stabilitas, permeabilitas, ketidakrataan dan *skid resistance*, analisa dan pembahasan, kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan di laboratorium.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pemeriksaan Material

Tujuan pemeriksaan material adalah untuk mengetahui kualitas dari material yang akan digunakan untuk penelitian. Pengujian aspal, agregat kasar, agregat medium, dan agregat halus menggunakan data sekunder dari AMP PT. Selo Progo Sakti sedangkan pengujian material

perkerasan jalan lama menggunakan data sekunder dari penelitian Afrizal, A. R. (2023). Peremajaan Material Daur Ulang Pada Campuran *HRS- WC* Ditinjau dari Aspek *Properties Marshall, IRI*, dan *Workabilitas*. Setiap pengujian memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6 Tahun 2018, sehingga material dapat digunakan sebagai penyusun campuran panas.

Tabel 1. Hasil Pengujian Ekstraksi

No.	Jenis Bahan Percobaan	Berat	
		1	2
1	Berat sample	500	gr
2	Berat kerucut kosong	310 gr	285 gr
3	Berat kertas saring	2,07 gr	2,05 gr
4	Berat kerucut 1 + kertas saring 1 + sample (sebelum diuji)	812,07	gr
5	Berat kerucut 2 + kertas saring 2 (sebelum diuji)	287,05	gr
6	Berat kerucut 1 + kertas saring 1 + sample (setelah diuji)	787	gr
7	Berat kerucut 2 + kertas saring 2 + endapan (setelah diuji)	287,97	gr
8	Berat sample (setelah diuji)	474,93	gr
9	Berat endapan	0,92	gr
10	Kadar bitumen $1 - ((8+9)/1) \cdot 100\%$	4,83	%

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa aspal yang terkandung dalam perkerasan jalan lama adalah sebesar 4,83%.

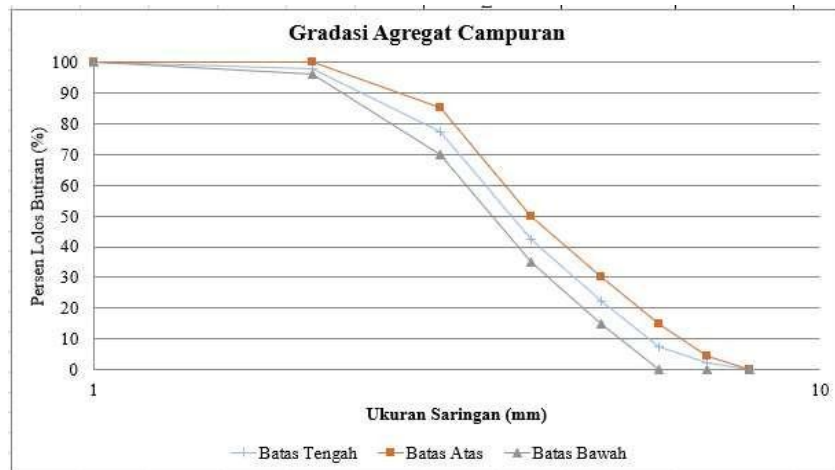
3.2 Hasil Rekayasa Blending

Tabel 2. Rekayasa Blending Agregat Campuran

No saringan		Persen Lolos				Persen Tertahan			
		BA	BT	BB	Lolos Kumulatif	Lolos	Berat	Berat Agregat daur ulang (gr)	Berat Agregat Baru (gr)
mm	ASTM								
19	3/4"	100	100	100	0	0	0	0	0
16	5/8"	100	98	96	2	2	24	4,8	19,2
11,2	7/16"	85	77,5	70	22,5	20,5	246	49,2	196,8
8	5/16"	50	42,5	35	57,5	35	420	84	336
5,6	No. 4	30	22,5	15	77,5	20	240	48	192
2	No 8	15	7,5	0	92,5	15	180	36	144
0,063	No 230	4,5	2,25	0	97,75	5,25	63	12,6	50,4
PAN	0	0	0	0	100	2,25	27	5,4	21,6
						$\Sigma =$		240	960

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 1, dengan menggunakan perbandingan 80% agregat baru dan 20% material perkerasan jalan lama, agregat telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6 Tahun 2018.

3.3 Penentuan Kadar Aspal Optimum

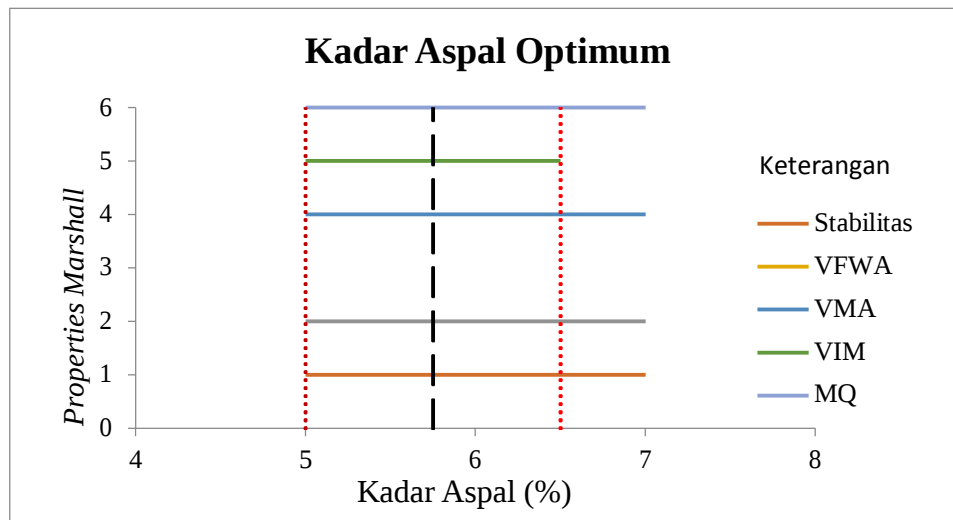


Gambar 1. Grafik Rekayasa Blending Agregat Campuran

Pada penelitian penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) digunakan variasi kadaraspal sebesar 4%, 6%, dan 8% dari berat total campuran porus gradasi Belanda, yaitu 1200 gram. Setiap kadar dibuat 3 benda uji untuk menentukan nilai KAO. Perbandingan agregat yang digunakan untuk KAO pada campuran aspal sebesar 40% agregat sisa pembongkaran jalan dan 60% *fresh aggregate*. Hasil pengujian *Marshall Test* dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 3 Hasil *Marshall Test*

Kadar Aspal	Benda Uji	Properties Marshall					
		VIM	VMA	VFWA	Stabilitas	Flow	MQ
%	-	%	%	%	kg	mm	kg/mm
5	1	23,423	32,375	27,651	1058,817	2,400	441,174
	2	16,894	26,610	36,510	683,603	4,900	139,511
	3	24,121	32,991	26,887	866,483	3,200	270,776
	Rata-rata	21,479	30,659	30,350	869,634	3,500	283,820
6	1	19,967	30,938	35,460	740,318	4,300	172,167
	2	18,056	29,289	38,351	1038,166	2,500	415,266
	3	20,385	31,298	34,869	607,693	3,100	196,030
	Rata-rata	19,469	30,508	36,227	795,393	3,300	261,154
7	1	14,463	27,837	48,045	555,239	3,900	142,369
	2	16,075	29,197	44,942	488,288	3,000	162,763
	3	18,022	30,840	41,562	599,996	4,000	149,999
	Rata-rata	16,187	29,291	44,849	547,841	3,633	151,710
Spesifikasi		4,0-6,0	Min. 18	Min. 68	Min. 500	2-6	Min. 250



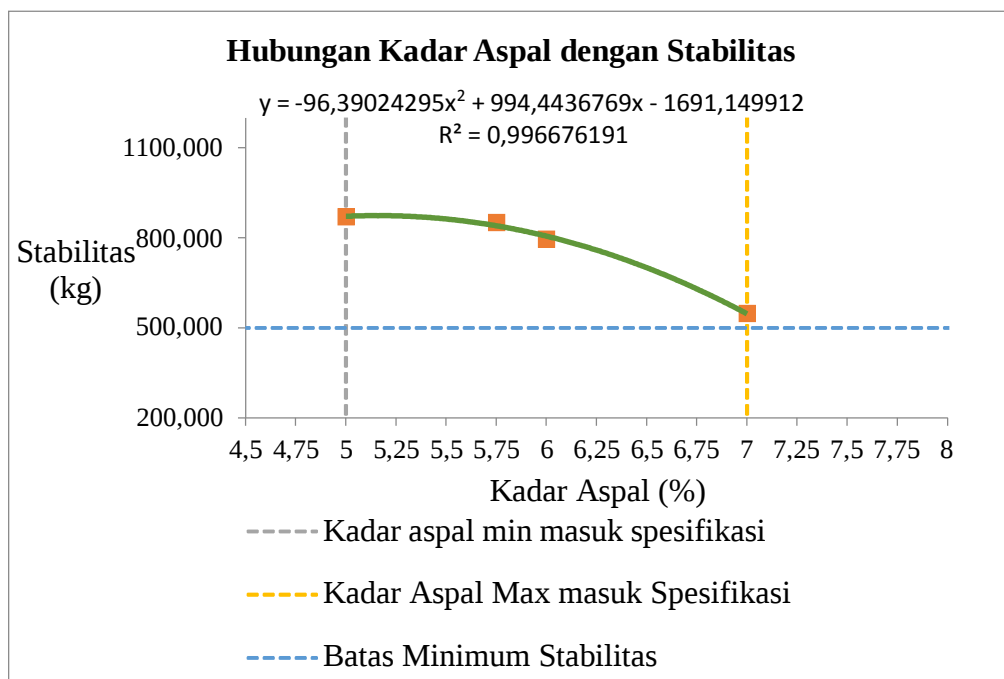
Gambar 2. Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO)

3.4 Analisis Nilai Stabilitas

Pada perhitungan nilai stabilitas dilakukan pada campuran porus gradasi Belanda dengan KAO sebesar 5,75%. Hasil pengujian nilai stabilitas dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Nilai Stabilitas

Tabel Rekapitulasi Properties Marshall		
Sampel	Kadar Aspal	Stabilitas
buah	%	kg
1	5,75	912,739
2	5,75	812,253
3	5,75	827,229
spesifikasi	-	min. 500



Gambar 3. Grafik Perbandingan Aspal Optimum dengan Stabilitas

Berdasarkan Tabel 6, didapatkan nilai stabilitas yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6 tahun 2018.

3.5 Analisa Nilai Permeabilitas

Tabel 5. Hasil pengujian kecepatan pengaliran

Pengukuran	Satuan	Benda Uji			Rata-rata
		I	II	III	
t	det	23,7	21	25,63	
d	cm	9,8	9,8	9,8	
Kec. Pengaliran	cm/det	0,051	0,052	0,038	0,047
Klafikasi		Fair Drainage	Fair Drainage	Fair Drainage	Fair Drainage

3.6 Analisa Nilai Ketidakrataan

Tabel 6. Hasil Pengujian Nilai Ketidakrataan (IRI)

KAO	Sampel	Sisi	Volume dari Berat Pasir			Kedalaman	IRI	IRI rata-rata sisi	IRI rata-rata sampel
			Awal	Akhir	Volume				
%	buah		gr	gr	cm ³	cm	m/km	m/km	m/km
5,75	1	atas	50	34	8,84	0,117	11,96	12,33	13,45
		bawah	50	33	9,39	0,125	12,71		
	2	atas	50	33	9,39	0,125	12,71	14,20	
		bawah	50	29	11,60	0,154	15,70		
	3	atas	50	31	10,50	0,139	14,20	13,83	
		bawah	50	32	9,94	0,132	13,45		

Berdasarkan Tabel 6, dapat dilihat bahwa nilai *IRI* pada benda uji 1 tidak memenuhi spesifikasi yang ditentukan sebesar $12 \text{ m/km} \leq 13,45 \text{ m/km}$, sehingga dapat dinyatakan bahwa benda uji 1 pada campuran porus gradasi Belanda dengan kadar aspal optimum sebesar 5,75% tidak dapat digunakan dan masuk dalam spesifikasi jalan kondisi rusak berat.

3.7 Analisis Pengaruh Ketidakrataan Terhadap *Skid Resistance* dengan Menggunakan Model Matematis

Pada penelitian ini karena tidak memiliki alat yang memadai maka menghitung *skid resistance* dengan menggunakan model matematis dengan menggunakan persamaan eksponen dan linier ketidakrataan dengan *Properties Marshall*. Untuk data ketidakrataan dan *Properties Marshall* diambil dari data primer, dapat dilihat pada tabel 7 dan tabel 8, sedangkan data *skid resistance* dan *Properties Marshall* diambil dari data sekunder yang dapat dilihat pada tabel 9 dan tabel 10.

Tabel 7. *Properties Marshall* Ketidakrataan

VIM	VMA	VFWA	VIM	Stabilitas (Lbs)	Flow	MQ
%	%	%	%	kg	mm	kg/mm
m	n	o	p	s	t	u
5,97	18,39	67,54	5,97	912,739	3,200	285,231
6,27	18,65	66,40	6,27	657,538	2,800	234,835
7,77	19,96	61,06	7,77	723,826	3,000	241,275

(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel 8. Hasil Perhitungan Ketidakrataan

KAO	Sampel	Sisi	Volume dari Berat Pasir			Kedalaman	IRI	IRI rata-rata sisi	IRI rata-rata sampel
			Awal	Akhir	Volume				
%	buah		gr	gr	cm ³	cm	m/km	m/km	m/km
5,75	1	atas	50	34	8,84	0,117	11,96	12,33	13,45
		bawah	50	33	9,39	0,125	12,71		
	2	atas	50	33	9,39	0,125	12,71	14,20	
		bawah	50	29	11,60	0,154	15,70		
	3	atas	50	31	10,50	0,139	14,20	13,83	
		bawah	50	32	9,94	0,132	13,45		

(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel 9. *Properties Marshall Skid Resistance*

VIM	VMA	VFWA	Stabilitas	Flow	MQ
4,349	20,759	78,868	1410,822	3	470,274
4,285	20,526	79,122	1443,939	4,6	313,9
4,476	20,335	78,995	1534,846	4,1	374,3527

(Sumber : Penelitian Prisha, 2021)

Tabel 10. Hasil Perhitungan *Skid Resistance*

Kode	Rata-rata	Tekstur	Koreksi	BPN
AB1	99,2	Halus	1	100,2
AB2	103,4	Halus	1	104,4
AB3	89,6	Halus	1	90,6

(Sumber : Penelitian Prisha, 2021)

Tabel 11 Rekapitulasi nilai Koefisien Determinasi (r^2) dan Koefisien Korelasi (r)

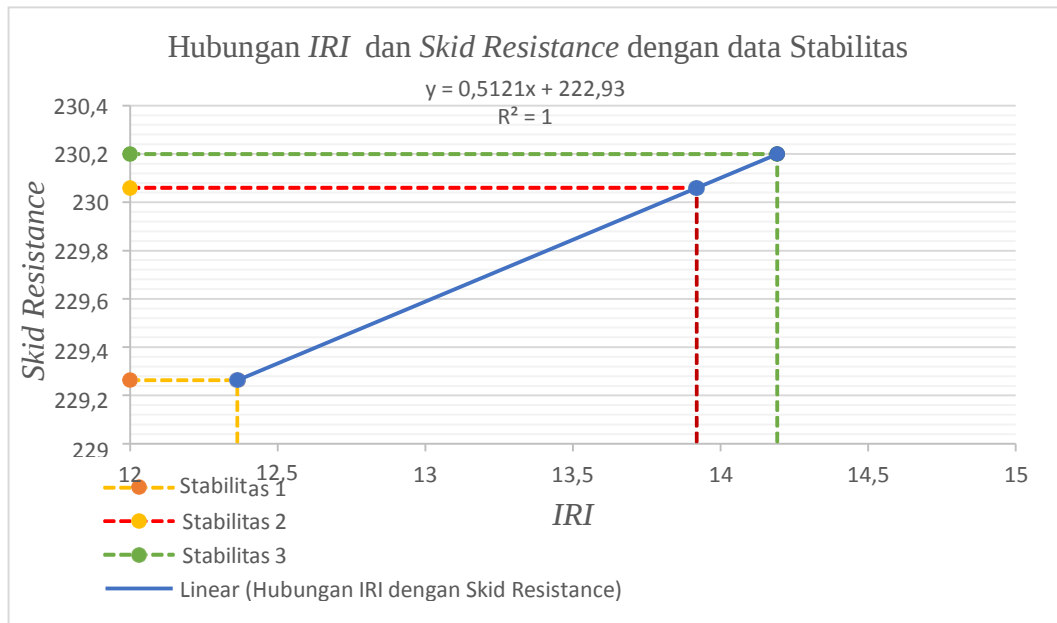
<i>Properties Marshall</i>	<i>IRI</i>		Keterangan	<i>Skid Resistance</i>		Keterangan
	Linier			Linier		
	r	r ²		r	r ²	
<i>VIM</i>	0,504	0,254	Tidak Berhubungan	1,00	1,00	Tidak Berhubungan
<i>VFWA</i>	0,687	0,471	Tidak Berhubungan	0,64	0,40	Tidak Berhubungan
<i>VMA</i>	0,217	0,047	Tidak Berhubungan	0,30	0,09	Tidak Berhubungan
Flow	0,524	0,998	Berhubungan	0,09	0,01	Tidak Berhubungan
Stabilitas	0,998	0,997	Berhubungan	0,85	0,72	Berhubungan
<i>MQ</i>	0,982	0,965	Berhubungan	0,17	0,03	Tidak Berhubungan

Berdasarkan Tabel 11. persamaan juga didapatkan nilai koefisien korelasi yang mendekati 1 ialah nilai Stabilitas yang menyatakan bahwa nilai Stabilitas dapat menjadi pengaruh yang cukup kuat terhadap nilai *IRI* dan *Skid Resistance* pada campuran.

Tabel 12. Hasil Perhitungan Nilai *IRI* dengan *Skid Resistance* berdasarkan data Stabilitas dengan Menggunakan Metode Persamaan Linear

Stabilitas	Persamaan Linear Hubungan <i>IRI</i> dengan Stabilitas	Hasil Perhitungan Nilai <i>IRI</i>	Persamaan Linear Hubungan <i>Skid</i>	Hasil Perhitungan Nilai <i>Skid</i>
kg	Hasil Persamaan	m/km	Hasil Persamaan	BPN

912,739	$y = -0,0182x + 28,975$	12,363	$y = -0,0932x + 233,77$	229,2633
827,229		13,919		230,0602
812,253		14,192		230,1998



Gambar 5 Grafik Hubungan *IRI* dengan *Skid Resistance* Berdasarkan Data Stabilitas

Disimpulkan bahwa semakin naik nilai Stabilitas maka semakin naik nilai *IRI* dan *Skid Resistance*, grafik hubungan *IRI* dengan *Skid Resistance* berdasarkan data stabilitas dapat dilihat pada Gambar 5.

4 PENUTUP

4.1 Kesimpulan

- 1) Hasil pengujian stabilitas pada campuran porus gradasi Belanda, didapatkan nilai stabilitas 850,741 kg. Nilai stabilitas minimum untuk memenuhi spesifikasi yang ada yakni sebesar 500 kg, sehingga dapat dikatakan campuran memenuhi spesifikasi.
- 2) Hasil pengujian permeabilitas pada campuran porus gradasi Belanda, didapatkan nilai kecepatan pengaliran permeabilitas 0,047 cm/s. Nilai permeabilitas minimum untuk memenuhi spesifikasi yang ada yakni sebesar 0,1%, sehingga dapat dikatakan campuran tidak memenuhi spesifikasi dan masuk dalam kategori *fair drainage*.
- 3) Hasil pengujian *IRI* pada campuran porus gradasi Belanda, didapatkan bahwa campuran tidak memenuhi spesifikasi yang ada. Nilai ketidakrataan yang didapatkan sebesar 13,45 m/km dengan spesifikasi nilai ketidakrataan maksimum sebesar 12 m/km dan masuk dalam spesifikasi jalan dengan kondisi Rusak.
- 4) Hasil perhitungan matematis *Skid Resistance* dengan metode linear pada campuran porus

gradasi Belanda pada perbandingan *IRI* dan *SkidResistance* ditinjau dari Stabilitas.

4.2 Saran

- 1) Pada pencampuran aspal daur ulang dengan tambahan minyak dan aspal baru, perlu diperhatikan agar benar- benar tercampur secara merata.
- 2) Perlu diperhatikan saat pengujian menggunakan alat *Marshall*, saat kedua cincin pengujian sudah hampir menempel, maka alat harus diberhentikan supaya proofing ring tidak rusak.
- 3) Perlu adanya pengaturan jadwal yang baik dikarenakan adanya banyak peserta praktikum sehingga jadwal penelitian tidak terlalu mundur akibat waktu yang terbagi dengan kelompok lain.
- 4) Perlu adanya pengecekan alat-alat yang digunakan sebelum praktikum, khususnya alat yang tidak ada di dalam lab sehingga tidak kesulitan saat dibutuhkan.
- 5) Perlu adanya penjadwalan apa yang akan dilakukan sehingga praktikum yang dilakukan mempunyai target pasti kapan selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. 1982. *Standard Spesification for Transportation Material and Methods of Sampling and Testing. Part 1, Spesification, 13th Edition, page 10-180, Washington DC.*
- Afrizal, A. R. (2023). *Peremajaan Material Daur Ulang Pada Campuran HRS-WC Ditinjau dari Aspek Properties Marshall, IRI, dan Workabilitas*, Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Aldian Nurcahya, Harmein Rahman, Bambang Sugeng Subagio, Widyarini Weningtyas. *Analisis Kinerja Campuran Aspal Porus Menggunakan Aspal Pen 60/70 Dan Aspal Modifikasi Polimer Elvaloy*
- Batubara, A.M. 2018. *Studi Korelasi antara Internastional Roughness Index (IRI) dan Surface Distress Index (SDI) pada Permukaan Perkerasan (Studi Kasus: Beberapa Jalan di Kota Medan, Sumatera Utara)*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Bina Marga. 2005. *Spesifikasi Umum*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga. Jakarta
- Bina Marga. 2018. *Spesifikasi Umum*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga. Jakarta.
- Bondan Yhudianto, Ary Setyawan, dan Suryoto. 2017. *Pengaruh Pengisian Rongga Pada Perkerasan Aspal Porus Terhadap Kecepatan Resapan, Permeabilitas, dan Skid Resistance*.
- Claessen. 1977. *Asphalt Pavement Design. The Shell Method, Netherland*.
- Djoko Sarwono & Astuti Koos Wardhani. (2007). “Pengukuran Sifat Permeabilitas Campuran *Porous Asphalt*”.
- Djumari & Joko Sarwono (2009). “Perencanaan Gradasi Aspal Porus Menggunakan Material Lokal Dengan Metode Pemampatan Kering”.

- Fazri Hidayat , Sri Sunarjono , Agus Riyanto , Senja Rum Harnaeni. 2019. Analisis Variasi Tingkat Porositas Terhadap Nilai Durabilitas Pada Campuran Aspal Porus
- I. Wayan Diana (2004). “Studi Rongga Menerus dan Kinerja Permeabilitas Perkerasan Aspal Porus Lapis Ganda.”.
- International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering. 2015. Automated Raveling Inspection And Maintenance Planning On Porous Asphalt In The Netherlands
- Meor Othman. 2007. *Double Layer Porous Asphalt In The Netherlands And Field Monitoring In Belgium*
- M Irham, Nurwidyanto, Ita Noviyanti, Sugeng Widodo. 2005. Estimasi Hubungan Porositas Dan Permeabilitas Pada Batupasir (*Study Kasus Formasi Kerek, Ledok, Selorejo*).
- Pradani, Novita dan Hendra Setiawan. 2013. Analisis Sifat Fisik Material Perkerasan Jalan Hasil Daur Ulang Jurnal Infrastruktur Vol.3, No.2.
- Prawesti, P. A. (2021) Pengaruh Limbah Karet Ban Pada Teknik Daur Ulang Jalan Terhadap Campuran HRS-WC Ditinjau dari Aspek *Marshall Properties*, Durabilitas dan *Skid Resistance*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Qurratul Ayun & Catur Arif Prastyanto (2021). Analisis Pengaruh Variasi Gradasi Aspal Porus Terhadap Parameter Marshall dan Permeabilitas
- Sukirman, Silvia. (2003). Beton Aspal Campuran Panas. Grafika Yuana Marga : Bandung
- Sandra Erkens, Rijkswaterstaat. 2011. *Road Engineering in the Netherlands*.
- Tetra Oktaviani (2021). Koefisien Permeabilitas Campuran Aspal Porus Akibat Penambahan Gilsonite
- Van Der Zwan, Goeman, Gruis, Swart, Oldenburger. *Porous Asphalt Wearing Courses InThe Netherlands: State of the Art Review*
- Vejdirektoratet. 2012. *Winter service of porous asphalt*.
- Wardoyo (2010). Tinjauan Kuat Tarik Tidak Langsung, Kuat Tekan Bebas Dan Permeabilitas Campuran Dingin Aspal Porus Dengan Rapid Curing Cutback Asphalt Sebagai Binder.