

PENGARUH VARIASI KADAR DAN PANJANG SERABUT KELAPA TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL PADA ASPAL PORUS

Ridhwan Falih N, M. Zainul Arifin, Hendi Bowoputro

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono 167 Malang, 65145, Jawa Timur – Indonesia

ABSTRAK

Aspal merupakan material untuk digunakan dalam konstruksi perkerasan lentur. Genangan air yang ada di jalan dapat menjadi masalah dalam masalah ketahanan aspal. Maka dari itu muncul alternatif untuk mencegah permasalahan ini yaitu digunakannya aspal porus. Aspal porus memiliki gradasi berongga sehingga air dapat mengalir ke permukaan dasar tanah. Penelitian ini membahas mengenai pengaruh variasi kadar dan panjang serabut kelapa terhadap nilai *Marshall* yang ada pada campuran aspal porus. Penggunaan serabut kelapa juga dapat mengurangi jumlah limbah serabut kelapa yang ada. Variasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah variasi kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa. Variasi kadar serabut kelapa sebesar 0,5%, 0,75% dan 1% sedangkan variasi panjang serabut kelapa 2,5 mm, 5 mm dan 7,5 mm. Jumlah benda uji untuk mencari kadar aspal, kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa optimum dibuat perulangan 3 buah benda uji setiap variasi. Penelitian ini menggunakan metode analisis statistik Multivariate ANOVA. Dari hasil yang diperoleh, nilai optimum pada kadar aspal, kadar serabut kelapa serta panjang serabut kelapa adalah 4%, 0,75% dan 5mm. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa ada pengaruh dari penambahan serabut kelapa terhadap nilai *Marshall* yaitu MQ dan stabilitas pada campuran aspal porus.

Kata kunci: Aspal Porus, Standar Gradasi Australia, Karakteristik Marshall, Permeabilitas, Serabut Kelapa, Standar AAPA

ABSTRACT

Asphalt is a material that used in flexible pavement working. Stagnant water is often the case, especially after the rain can be a problem against the resistance of bitumen. One of the alternatives that can be used to prevent this problem is the use of porous asphalt to be used in road pavement work. Porous asphalt is a mixture that has more coarse aggregate the fine aggregate. This study discusses the effect of length and content of coconut fibers to Marshall values in porous asphalt mixture. The use of coconut fibers can also reduce the amount of waste coconut fibers. Variations that be done in this research is the content variation of coconut fiber and length of coconut fibers. Coconut fibers content variations are 0,5%, 0,75% and 1% and length of coconut fibers variations are 2,5 mm, 5 mm and 7,5 mm. The number of OBC specimen mix objects with content variations of content of asphalt, content and length of coconut fibers are 3 reiteration every variation. This study uses Multivariate ANOVA analysis statistical. Statistical test results showed there was any effect of the addition of coconut fibers against Marshall Marshall Quotient (MQ) and stability on porous asphalt.

Keywords: Asphalt Porous, Standart Gradient of Australia, Marshall Characteristics, Permeability, Coconut Fibers, AAPA Standar

PENDAHULUAN

Ketika curah hujan tinggi dan jalan raya tidak didukung dengan sistem drainase yang baik, maka jalan rayabisa tergenang air bahkan terjadi banjir. Aspal Porus memiliki gradasi seragam dengan agregat halus yang rendah sehingga terdapat rongga-rongga pada campuran aspal. Rongga-rongga inilah yang dapat membuat permukaan jalan lebih kasar sehingga jalan tidak akan menjadi licin terutama ketika terjadi musim hujan. Aspal porus memiliki sifat drainase ganda, yaitu air akan mengalir melalui permukaan aspal dan lapisan pori campuran aspal tersebut. Sehingga, ketika perkerasan jalan menggunakan aspal porus, genangan air akibat hujan akan segera mengalir baik secara horisontal maupun vertikal melalui pori-pori aspal. Pada penelitian ini, penggunaan variasi kadar dan panjang serabut kelapa akan ditambahkan. Penelitian ini akan menentukan komposisi optimum dan pengaruh dari penambahan serabut kelapa terhadap karakteristik *Marshall* pada aspal porus.

TINJAUAN PUSTAKA

Agregat

Agregat adalah material yang bersifat keras dan anorganik terdiri dari pasir, gravel, batu pecah dan material lain dari bahan mineral alami atau buatan. Material agregat yang digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan berfungsi untuk menahan beban lalu lintas. Agar dapat digunakan sebagai campuran aspal, agregat harus lolos dari berbagai uji yang telah ditentukan. Banyaknya agregat dalam campuran aspal pada umumnya berkisar antara 90% hingga 95% terhadap total berat campuran atau 70% hingga 85% terhadap volume campuran aspal (Wahyudi, 2010).

Jenis-jenis agregat dibedakan menjadi tiga berdasarkan sumber dari cara mendapatkan agregat tersebut, diantaranya:

1. Agregat Alam (*Natural Aggregates*)
Sesuai dengan namanya, agregat alam adalah agregat yang didapatkan dari alam. Agregat alam yang biasa digunakan untuk campuran perkerasan jalan adalah pasir dan batu kerikil.
2. Agregat yang telah diproses
Agregat yang telah diproses didapatkan dari eksplorasi agregat alam yang kemudian dipecah dan disaring terlebih dahulu sebelum digunakan.

3. Agregat Buatan

Agregat buatan adalah agregat dari hasil proses kimia dan fisika sehingga membentuk mineral baru yang meyerupai agregat.

Ukuran butir agregat menurut AASHTO T27-88 atau SNI 03-1968-2002:

Tabel 1 Ukuran Butir Agregat

Ukuran Saringan (inci)	Bukaan (mm)	Ukuran Saringan (inci)	Bukaan (mm)
4	100	3/8	9,5
3 1/2	90	no. 4	4,75
3	75	no. 8	2,36
2 1/2	63	no. 16	1,18
2	50	no.30	0,6
1 1/2	37,5	no.50	0,3
1	25	no.100	0,15
3/4	19	no.200	0,075
0,5	12,5		

Aspal

Aspal sebagai pengikat (binder) adalah material alami yang berwarna hitam kecoklatan. Jika aspal dipanaskan pada suhu tertentu maka dapat menjadi cair sehingga dapat dicampurkan dengan agregat. Namun jika aspal didinginkan maka akan menjadi padat atau mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (bersifat Termopolis). Banyaknya aspal pada campuran perkerasan berkisar antara 4 hingga 10% dari berat campuran, atau 10 hingga 15% dari volume campuran.

Serabut Kelapa

Serabut kelapa merupakan bagian tengah (*mesocarp*) epicarp dan endocarp. Ketebalan berkisar 5-6 cm. Komposisi kimia serabut kelapa terdiri atas selulosa, lignin, pyroligneous acid, gas, arang, ter, tannin, dan potasium. Dengan sifat mekaniknya: kekuatan tarik dari serat kasar dan halus berbeda. Mudah rapuh dan hancur.

Aspal Porus

Campuran Aspal Porus merupakan campuran generasi baru dalam perkerasan lentur, yang memperbolehkan air meresap ke dalam lapisan atas (*wearing course*). Dengan meresapnya air maka bisa langsung meresap dan

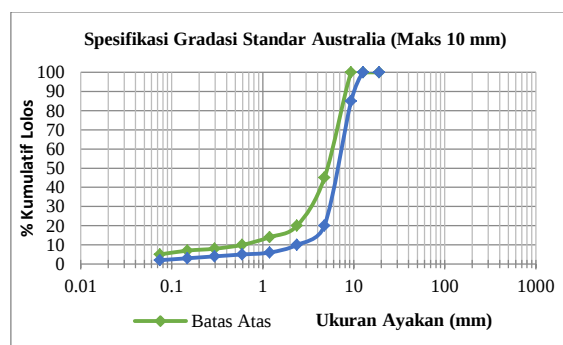
mengalirkannya ke dalam tanah dan menjadi air tanah.

Gradasi agregat aspal porus standar Australia dapat dilihat di bawah ini:

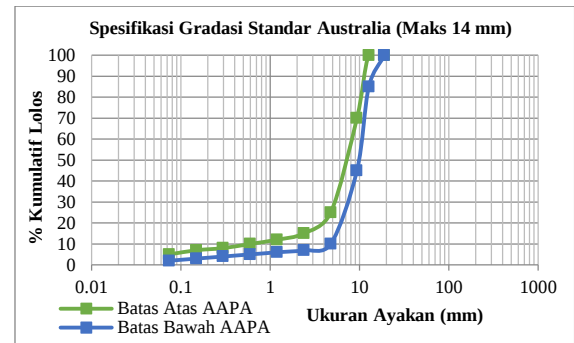
Tabel 2 Gradasi Agregat Standar Australia

Ukuran (mm)	% Berat Yang Lolos	
	Ag. Maks. 10 mm	Ag. Maks. 14 mm
19,000	100	100
12,700	100	85 – 100
9,530	85 – 100	45 – 70
4,760	20 – 45	10 – 25
2,380	10 – 20	7 – 15
1,190	6 – 14	6 – 12
0,585	5 – 10	5 – 10
0,279	4 – 8	4 – 8
0,149	3 – 7	3 – 7
0,074	2 – 5	2 – 5
Total	100	100
Kadar Aspal	5,0 – 6,5	4,5 – 6,0

Sumber: *Australian Asphalt Pavement Association, 2004*



Gambar 1 Spesifikasi Gradasi Aspal Porus Standar Australia Untuk Ukuran Maksimal 10 mm



Gambar 2 Spesifikasi Gradasi Aspal Porus Standar Australia Untuk Ukuran Maksimal 14 mm

Pengujian Marshall

Rongga di antara mineral agregat (*Void in the Mineral Agregat/VMA*)

Rongga antar mineral agregat (VMA) adalah ruang rongga di antara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat).

VMA dihitung berdasarkan berat jenis bulk (G_{sb}) agregat dan dapat dihitung pula terhadap berat campuran total atau terhadap berat agregat total.

1. Terhadap Berat Campuran Total

$$VMA = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + P_b} \times 100 \right)$$

2. Terhadap Berat Agregat Total

$$VMA = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + P_b} \times 100 \right)$$

Rongga di dalam campuran (*Void In The Compacted Mixture/ VIM*)

Rongga udara di dalam campuran (VIM) yang ada pada campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti oleh aspal.

$$VIM = 100 \times \left(\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right)$$

Stabilitas

Nilai stabilitas diperoleh dari nilai yang ditunjukkan oleh jarum dial pada alat uji. Nilai yang ditunjukkan pada jarum dial perlu dikonversikan terhadap alat *Marshall*.

Kelelahan (*Flow*)

Nilai flow diperoleh dari nilai yang ditunjukkan oleh jarum dial. Nilai yang ditunjukkan pada jarum dial tidak perlu

dikonversikan terhadap alat *Marshall* karena satuannya nilainya sudah dalam millimeter (mm).

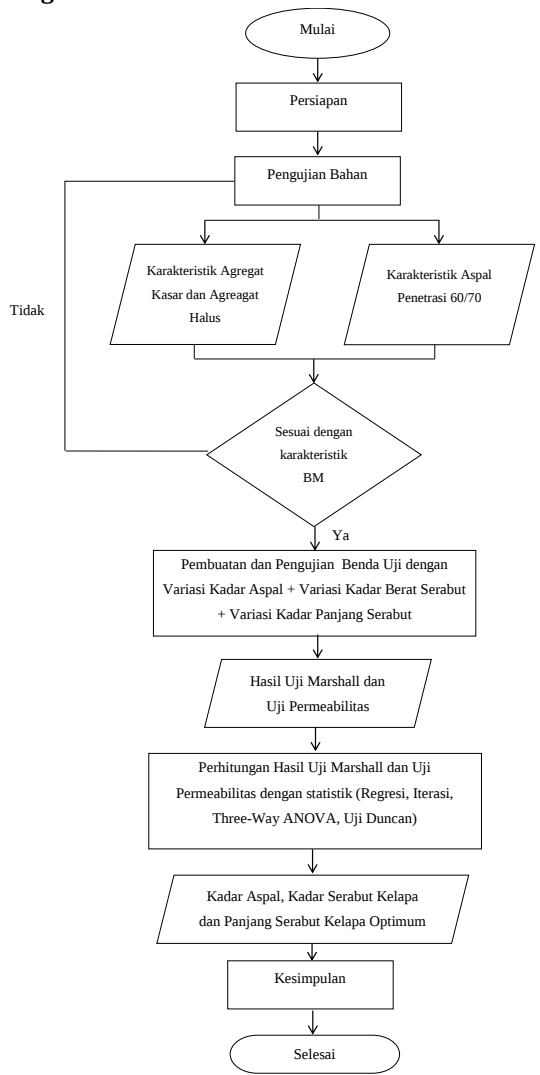
Hasil Bagi Marshall (MQ)

Marshall Quotient (MQ) merupakan hasil pembagian dari stabilitas dengan kelelahan.

$$MQ = \frac{MQ}{Mf}$$

METODE PENELITIAN

Diagram Alir



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

Rancangan Benda Uji

Penelitian menggunakan metode dengan perlakuan tiga variasi kadar aspal, tiga variasi kadar serabut kelapa dan tiga variasi panjang serabut kelapa. Untuk perulangan akan dilakukan sebanyak tiga kali. Dalam penelitian ini akan dibuat benda uji dengan kadar aspal 4%, 5%, 6% dari berat agregat dan benda uji dengan kadar

serabut kelapa 0,5%, 0,75% , 1% dari berat aspal serta panjang serabut kelapa 2,5 mm, 5 mm dan 7,5 mm

Rancangan Gradasi Aspal Porus

Pada penelitian ini dipakai tiga kadar aspal sebesar 4%, 5%, 6% dari berat agregat. Gradasi agregat yang digunakan berdasarkan nilai tengah dari standar Australia, seperti pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3 Rancangan Gradasi Aspal Porus

Ukuran Ayakan (mm)	Batas Atas (%)	Batas Bawah (%)	Rancangan (%)	Berat Agregat (gr)
19	100	100	100	0
12,7	100	85	93	63
9,53	70	45	58	315
6,35	45	25	35	207
4,76	25	10	18	153
2,38	15	7	11	63
1,19	12	6	9	18
0,595	10	5	8	9
0,279	8	4	6	18
0,149	7	3	5	9
0,75	5	2	4	9
PAN			0	36
TOTAL				900

Rancangan Percobaan

Dalam penelitian ini digunakan tiga variasi kadar aspal, tiga variasi kadar serabut kelapa dan tiga variasi panjang serabut kelapa seperti pada tabel 4 berikut:

Tabel 4 Rancangan Percobaan Benda Uji

Berat Serabut Kelapa (%)	Panjang Serabut Kelapa (mm)	Kadar Aspal		
		4%	5%	6%
0,5	2,5	3 buah	3 buah	3 buah
0,5	5	3 buah	3 buah	3 buah
0,5	7,5	3 buah	3 buah	3 buah
0,75	2,5	3 buah	3 buah	3 buah
0,75	5	3 buah	3 buah	3 buah
0,75	7,5	3 buah	3 buah	3 buah
1,0	2,5	3 buah	3 buah	3 buah
1,0	5	3 buah	3 buah	3 buah
1,0	7,5	3 buah	3 buah	3 buah

PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO

Pengujian ini dilakukan setelah pengujian permeabilitas dilakukan. Dalam pengujian dengan alat Marshall akan didapat data flow dan stabilitas

yang kemudian dihitung sehingga didapatkan nilai-nilai dari karakteristik Marshall.

Tabel 5 Hasil Pengujian VIM (%)

Kadar Aspal	Panjang Serabut Kelapa/ Kadar Serabut Kelapa (mm/%)								
	2,5/0,5	2,5/0,75	2,5/1	5/0,5	5/0,75	5/1	7,5/0,5	7,5/0,75	7,5/1
4%	19.69	15.17	17.89	25.25	17.68	19.18	18.31	21.89	15.97
	19.18	15.10	16.34	21.87	19.32	17.73	10.73	27.46	18.43
	19.14	16.41	16.16	19.39	17.60	20.34	13.45	23.55	22.20
5%	17.83	17.39	13.62	17.86	15.37	17.68	14.90	20.40	18.81
	16.47	16.98	23.45	17.40	17.10	20.02	20.80	20.15	22.16
	18.28	16.64	20.38	15.77	17.47	16.76	24.91	20.19	19.91
6%	15.95	14.59	14.48	19.59	14.86	15.43	21.78	27.17	19.96
	15.57	17.51	13.77	22.04	21.32	15.16	20.09	19.40	16.86
	16.27	14.65	11.67	17.39	15.48	14.58	19.91	10.66	16.22

Tabel 6 Hasil Pengujian Flow (mm)

Kadar Aspal	Panjang Serabut Kelapa/ Kadar Serabut Kelapa (mm/%)								
	2,5/0,5	2,5/0,75	2,5/1	5/0,5	5/0,75	5/1	7,5/0,5	7,5/0,75	7,5/1
4%	4.1	2.2	2.8	3.2	3.4	1.9	2.4	2.0	2.0
	3.7	2.1	2.5	1.9	2.1	2.6	2.1	2.8	2.8
	1.6	2.6	2.5	2.3	2.3	3.0	2.4	2.1	2.5
5%	2.2	2.2	2.0	2.1	3.0	3.0	3.1	1.9	1.9
	3.0	2.2	2.7	2.7	2.5	4.1	3.1	1.1	1.1
	3.0	2.4	2.8	2.8	2.3	2.1	2.3	2.1	2.1
6%	3.3	2.1	2.1	2.7	3.8	2.1	2.5	2.8	2.8
	2.1	2.9	1.9	3.0	5.3	2.5	3.6	2.3	2.3
	2.0	2.5	2.5	3.3	4.0	2.4	2.6	2.4	2.4

Tabel 7 Hasil Pengujian Stabilitas (kg)

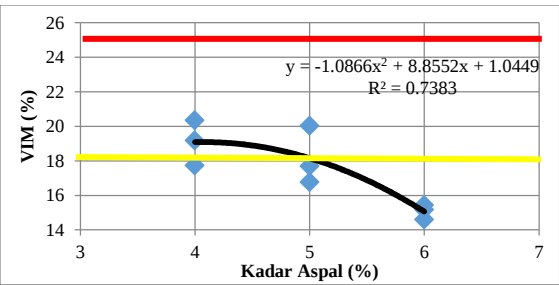
Kadar Aspal	Panjang Serabut Kelapa/ Kadar Serabut Kelapa (mm/%)								
	2,5/0,5	2,5/0,75	2,5/1	5/0,5	5/0,75	5/1	7,5/0,5	7,5/0,75	7,5/1
4%	532.59	637.89	462.98	414.15	414.15	695.88	397.17	450.66	434.96
	682.81	662.76	488.81	412.62	412.62	569.45	486.70	631.52	697.36
	449.84	635.39	473.86	481.10	481.10	559.10	635.22	666.32	730.98
5%	510.82	727.82	339.94	565.35	604.28	592.05	277.18	499.20	542.03
	605.73	637.25	507.83	489.20	701.46	447.67	410.63	473.27	524.96
	536.41	520.33	358.11	646.64	567.98	641.84	259.20	520.10	551.89
6%	579.90	325.40	442.01	336.07	482.78	484.82	374.26	533.83	542.03
	494.41	338.96	519.87	364.95	424.71	571.30	315.45	537.17	524.96
	546.25	391.14	485.43	421.72	715.69	528.05	313.25	590.44	551.89

Tabel 8 Hasil Pengujian VMA (kg/mm)

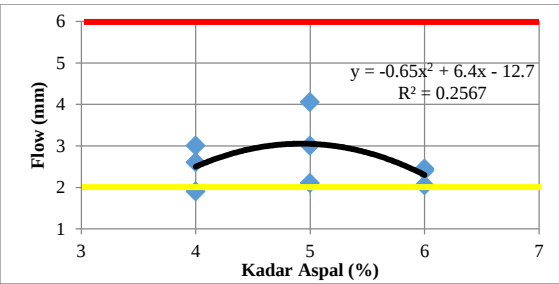
Kadar Aspal	Panjang Serabut Kelapa/ Kadar Serabut Kelapa (mm/%)								
	2,5/0,5	2,5/0,75	2,5/1	5/0,5	5/0,75	5/1	7,5/0,5	7,5/0,75	7,5/1
4%	129.90	289.95	168.36	131.48	204.94	366.25	169.01	222.00	214.27
	184.54	323.30	199.51	219.48	236.04	219.02	237.41	229.64	253.59
	281.15	244.38	189.54	213.82	298.47	186.37	264.68	317.29	292.39
5%	232.19	330.83	169.97	275.78	204.84	197.35	90.88	262.74	285.28
	205.33	296.39	188.09	184.60	280.58	110.54	132.46	430.24	477.24
	181.83	216.80	127.90	230.94	246.95	305.64	112.69	250.05	265.33
6%	175.73	156.44	210.48	124.47	128.74	236.50	152.76	190.65	189.60
	235.44	116.88	273.62	123.71	80.13	233.19	88.86	238.74	237.05
	269.09	156.46	194.17	127.79	181.19	220.02	122.84	251.25	253.49

Penentuan Kadar Aspal Optimum
Metode Grafik Pita

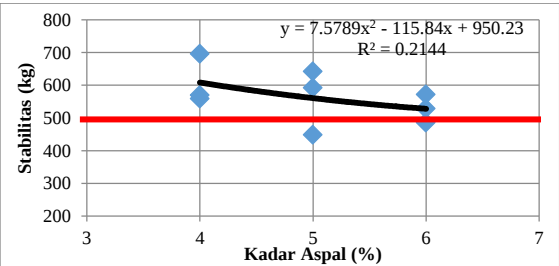
Setelah didapatkan nilai VMA, VIM, Stabilitas, Flow dan MQ kemudian nilai-nilai tersebut diplotkan pada grafik untuk digunakan metode grafik pita.



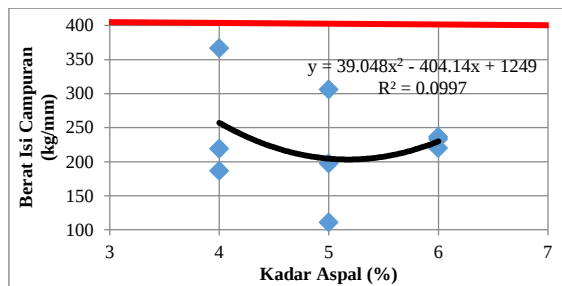
Gambar 4 Grafik Hubungan Prosentase Aspal terhadap VIM



Gambar 5 Grafik Hubungan Prosentase Aspal terhadap Flow

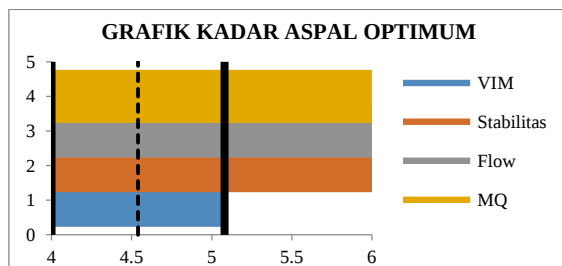


Gambar 6 Grafik Hubungan Prosentase Aspal terhadap Stabilitas



Gambar 7 Grafik Hubungan Prosentase Aspal terhadap MQ

Dari hasil perpotongan antara garis regresi dengan batas ketentuan, kemudian diplotkan pada grafik pita sehingga bisa ditentukan KAO.



Gambar 8 Grafik Pita Campuran Aspal Porus

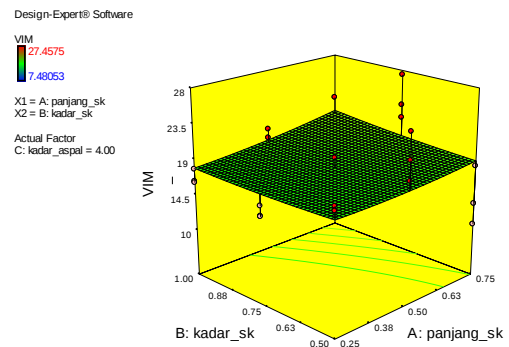
Sehingga dapat ditemukan KAO pada grafik tersebut. Dengan cara yang sama, grafik prosentase aspal dengan nilai *Marshall* pada kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa menghasilkan KAO yang dapat dilihat pada tabel 9 berikut:

Tabel 9 Hasil Nilai Karakteristik *Marshall* dengan KAO

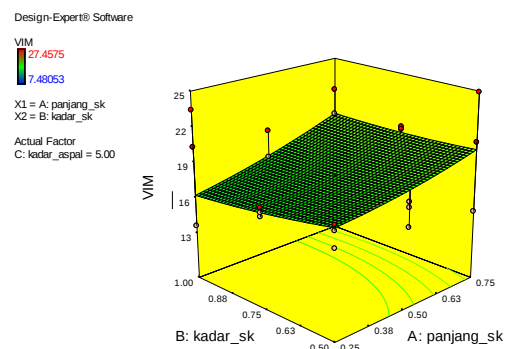
Panjang Serabut Kelapa	Kadar Serabut Kelapa	Kadar Aspal Optimum	Karakteristik			
			VIM	Flow	Stabilitas	MQ
2.5	0.5	4.35	18.72	2.93	562.44	205.41
2.5	0.75	4.79	16.93	2.23	669.23	293.28
2.5	1	4.67	19.64	2.48	406.10	163.15
5	0.5	4.76	17.46	2.63	580.95	240.66
5	0.75	4.10	18.31	2.49	623.54	251.27
5	1	4.54	18.85	2.96	580.53	219.05
7.5	0.5	5.25	21.52	2.83	298.75	104.04
7.5	0.75	4.95	20.72	1.69	498.38	314.90
7.5	1	4.96	20.31	1.69	541.06	343.22

Metode Grafik 3D

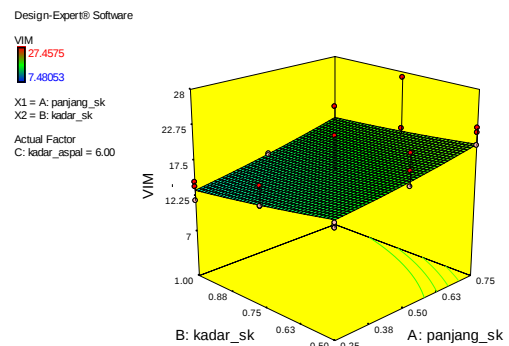
Metode ini menggunakan salah satu program pengolahan data statistik yang didapat dari hasil penelitian. Sehingga akan muncul kadar optimum dari aspal, kadar serabut kelapa optimum dan panjang serabut kelapa optimum.



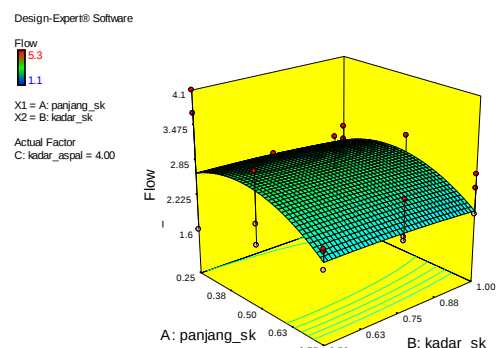
Gambar 9 Grafik 3D VIM Kadar Aspal 4%



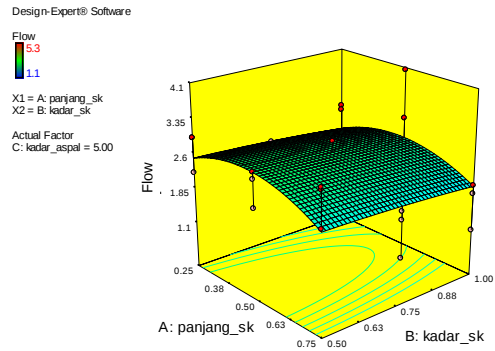
Gambar 10 Grafik 3D VIM Kadar Aspal 5%



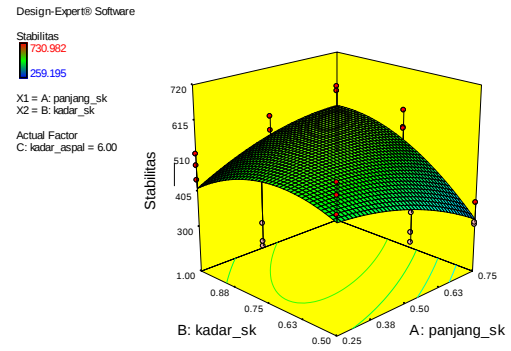
Gambar 11 Grafik 3D VIM Kadar Aspal 6%



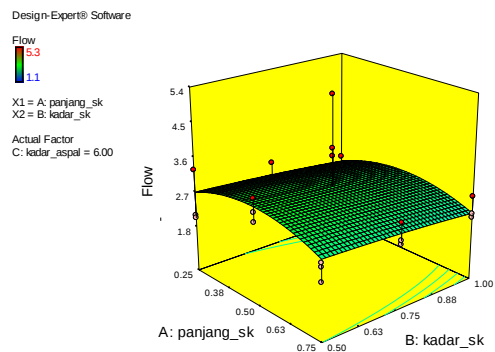
Gambar 12 Grafik 3D Flow Kadar Aspal 4%



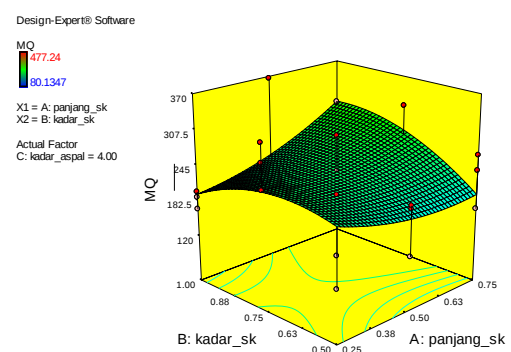
Gambar 13 Grafik 3D *Flow* Kadar Aspal 5%



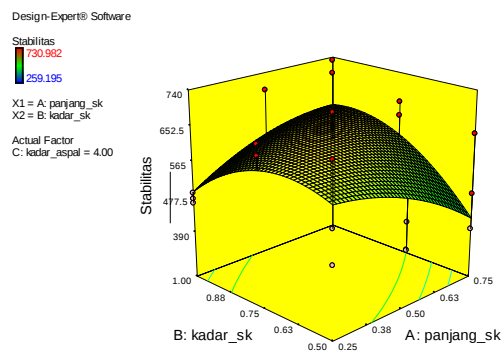
Gambar 17 Grafik 3D Stabilitas Kadar Aspal 6%



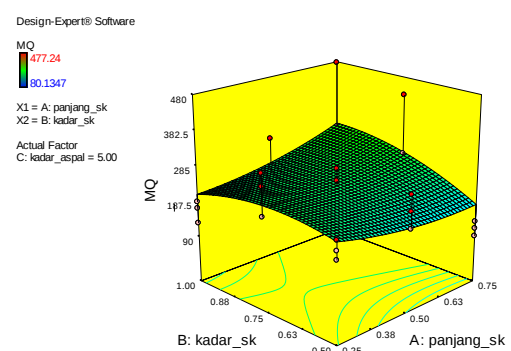
Gambar 14 Grafik 3D *Flow* Kadar Aspal 6%



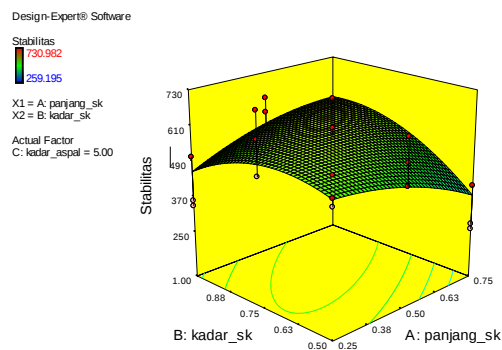
Gambar 18 Grafik 3D MQ Kadar Aspal 4%



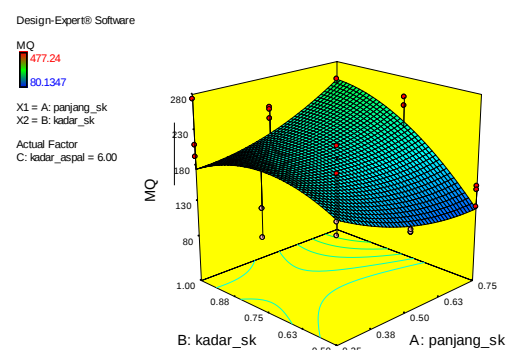
Gambar 15 Grafik 3D Stabilitas Kadar Aspal 4%



Gambar 19 Grafik 3D MQ Kadar Aspal 5%



Gambar 16 Grafik 3D Stabilitas Kadar Aspal 5%



Gambar 20 Grafik 3D MQ Kadar Aspal 6%

Tabel 10 Rekapitulasi Hasil Iterasi Grafik 3D Karakteristik *Marshall*

Kadar Aspal (%)	Kadar Serabut Kelapa (%)	Panjang Serabut Kelapa (mm)	VIM (%)	Flow (mm)	Stabilitas (kg)	MQ
4	0.5	2.5	18.13	2.64	585.60	231.49
4	0.5	5	18.25	2.83	537.77	196.58
4	0.5	7.5	18.97	2.18	425.05	195.06
4	0.75	2.5	17.88	2.59	602.13	242.10
4	0.75	5	18.40	2.79	624.91	240.85
4	0.75	7.5	19.50	2.17	582.80	272.99
4	1	2.5	18.02	2.48	491.83	195.31
4	1	5	18.92	2.70	585.22	227.72
4	1	7.5	20.41	2.09	613.71	293.51
5	0.5	2.5	18.07	2.52	533.61	228.49
5	0.5	5	18.84	2.80	488.23	188.19
5	0.5	7.5	20.19	2.25	377.96	181.27
5	0.75	2.5	17.00	2.42	559.39	247.74
5	0.75	5	18.15	2.72	584.62	241.09
5	0.75	7.5	19.89	2.19	544.95	267.84
5	1	2.5	16.30	2.26	458.33	209.59
5	1	5	17.84	2.58	554.18	236.61
5	1	7.5	19.96	2.07	585.11	297.01
6	0.5	2.5	16.72	2.72	533.61	178.37
6	0.5	5	18.12	3.09	488.23	132.67
6	0.5	7.5	20.12	2.64	377.96	120.37
6	0.75	2.5	14.80	2.58	559.39	206.26
6	0.75	5	16.59	2.97	584.62	194.22
6	0.75	7.5	18.97	2.54	544.95	215.57
6	1	2.5	13.27	2.37	458.33	176.75
6	1	5	15.45	2.78	554.18	198.37
6	1	7.5	18.21	2.37	585.11	253.38

Maka dari metode tersebut direkapitulasi sebagai berikut:

Tabel 11 Rekapitulasi Kadar Aspal, Kadar Serabut Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa Optimum

Metode	Kadar Aspal	Kadar Serabut Kelapa	Panjang Serabut Kelapa
Grafik Pita	4.1%	0.75%	5 mm
Grafik 3D VIM	4%	1%	7.5 mm
Grafik 3D Stabilitas	4%	0.75%	5 mm

Analisis Statistik Pengaruh Penambahan Serabut Kelapa berdasarkan Variasi Kadar dan Panjang terhadap Karakteristik *Marshall* dengan ANOVA Tiga Arah

Hipotesis

H₀ : Tidak terdapat pengaruh dari perlakuan
H₁ : Terdapat pengaruh dari perlakuan

Kriteria Pengujian

H₀ diterima jika nilai $p < \alpha$ (0,05)
H₀ ditolak jika nilai $p > \alpha$ (0,05)

Tabel 12 Tabel ANOVA pada VIM

Analysis Of Variance					
Variate: VIM					
Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Kadar_Aspal	2	51.491	25.745	2.92	0.062
Kadar_SK	2	14.226	7.113	0.81	0.452
Panjang_SK	2	114.445	57.222	6.49	0.003
Kadar_Aspal.Kadar_SK	4	62.630	15.658	1.78	0.147
Kadar_Aspal.Panjang_SK	4	54.039	13.510	1.53	0.206
Kadar_SK.Panjang_SK	4	80.808	20.202	2.29	0.071
Kadar_Aspal.Kadar_SK.Panjang_SK	8	137.143	17.143	1.94	0.072
Residual	54	476.006	8.815		
Total	80	990.786			

Tabel 13 Tabel ANOVA pada *Flow*

Analysis of Variance					
Variate: Flow					
Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Kadar_Aspal	2	0.8969	0.4485	1.58	0.215
Kadar_SK	2	0.6818	0.3409	1.20	0.309
Panjang_SK	2	3.7954	1.8977	6.69	0.003
Kadar_Aspal.Kadar_SK	4	3.5045	0.8761	3.09	0.023
Kadar_Aspal.Panjang_SK	4	2.4743	0.6186	2.18	0.084
Kadar_SK.Panjang_SK	4	2.5607	0.6402	2.26	0.075
Kadar_Aspal.Kadar_SK.Panjang_SK	8	4.4562	0.5570	1.96	0.069
Residual	54	15.3275	0.2838		
Total	80	33.6972			

Tabel 14 Tabel ANOVA pada Stabilitas

Analysis of Variance					
Variate: Stabilitas					
Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Kadar_Aspal	2	104982	52491	8.06	<.001
Kadar_SK	2	131096	65548	10.07	<.001
Panjang_SK	2	21765	10882	1.67	0.197
Kadar_Aspal.Kadar_SK	4	38092	9523	1.46	0.226
Kadar_Aspal.Panjang_SK	4	62682	15671	2.41	0.061
Kadar_SK.Panjang_SK	4	195876	48969	7.52	<.001
Kadar_Aspal.Kadar_SK.Panjang_SK	8	140383	17548	2.70	0.014
Residual	54	351488	6509		
Total	80	1046364			

Tabel 15 Tabel ANOVA pada MQ

Analysis of Variance					
Variate: MQ					
Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Kadar_Aspal	2	39344	19672	6.62	0.003
Kadar_SK	2	46475	23238	7.83	0.001
Panjang_SK	2	10472	5236	1.76	0.181
Kadar_Aspal.Kadar_SK	4	34974	8743	2.94	0.028
Kadar_Aspal.Panjang_SK	4	7389	1847	0.62	0.649
Kadar_SK.Panjang_SK	4	48260	12065	4.06	0.006
Kadar_Aspal.Kadar_SK.Panjang_SK	8	66977	8372	2.82	0.011
Residual	54	160359	2970		
Total	80	414249			

Tabel 16 Rekapitulasi Analisis Statistik ANOVA
Tiga Arah

Pembanding	Variabel Tetap			
	VIM	Flow	Stabilitas	MQ
Kadar Aspal	-	-	√	√
Proporsi Kadar Serabut Kelapa	-	-	√	√
Proporsi Panjang Serabut Kelapa	√	√	-	√
Interaksi Kadar Aspal dan Kadar Serabut Kelapa	-	√	-	-
Interaksi Kadar Aspal dan Panjang Serabut Kelapa	-	√	-	√
Interaksi Kadar Serabut Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa	-	-	√	√
Interaksi Kadar Aspal, Kadar Serabut Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa	-	-	√	√

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan:

1. Nilai proporsi campuran kadar aspal, kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa optimum adalah 4% kadar aspal, 0,75% kadar serabut kelapa dan 5 mm panjang serabut kelapa.
2. Penggunaan serabut kelapa pada aspal porus standar Australia mempengaruhi karakteristik *Marshall* nilai *Marshall Quotient* (MQ) dan Stabilitas seperti penjelasan di bawah ini :
 - a. Nilai MQ meningkat 114% dari nilai MQ benda uji tanpa menggunakan serabut kelapa sebesar 112,56 kg/mm menjadi 240,846 kg/mm setelah menggunakan serabut kelapa.
 - b. Penggunaan serabut kelapa dapat meningkatkan nilai stabilitas sebesar 60,927%. Dari nilai stabilitas benda uji sebesar 388,32 kg menjadi 624,913 kg setelah menggunakan serabut kelapa.
3. Berdasarkan hasil Multivariate ANOVA, terdapat pengaruh interaksi dari kadar aspal, panjang serabut kelapa dan kadar serabut kelapa terhadap nilai stabilitas dan *Marshall Quotient*, tetapi tidak berpengaruh terhadap nilai VIM dan *flow*.

Saran

1. Perlu dilakukan pengujian di lapangan untuk mendapatkan hasil yang realistis.

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi material dengan standar gradasi lain, karena gradasi Australia ini masih banyak menggunakan agregat halus dan *filler* dalam komposisi campuran.
3. Perlu penelitian lebih lanjut dengan penggunaan material atau penambahan *additive* lain yang dapat meningkatkan stabilitas.
4. Perlu pemeriksaann alat yang digunakan agar benda uji yang dihasilkan dapat lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1976. "Manual Pemeriksaan Bahan". Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum Bina Marga.
- Australian Asphalt Pavement Association. 2004. *National Asphalt Specification*.
- Basuki, Rachmad dan Machsus. 2007. Penambahan Gilsonite Resin pada Aspal Prima 55 untuk meningkatkan Kualitas Perkerasan Hotmix. *Jurnal Aplikasi*. 3, (1), 16 – 27.
- Bina Marga. 2006. Spesifikasi Umum Campuran Berbutir Panas.
- Bruce. K.F. 2005. Porous Pavement. CRC PRESS. United States of America
- Krebs, R.D dan Walker, R.D. 1971. *Highway Materials*. McGraw-Hill Book Company. New York, USA.
- Ramadhan,N dan Burhan, R.R. 2014. *Pengaruh Penambahan Additive Gilsonite HMA Modifield Grade Terhadap Kinerja Aspal Porus*. Malang : Universitas Brawijaya. Skripsi.
- Sarwono, D dan Astuti K. W . 2007. "Pengukuran Sifat Permeabilitas Campuran *Porous Asphalt*". Media Teknik Sipil.
- Setyawan. A dan Sanusi. 2008. "Observasi Properties Aspal Porus Berbagai Gradasi Dengan Material Lokal". Media Teknik Sipil.
- Sujono. E. R. 2012. "Pengaruh Daya Dukung dan Permeabilitas Akibat Variasi Gradasi Agregat Lapisan Pondasi Porous Pavement". Malang.
- Susanto.A dan Sukma, P.R. 2016. *Pengaruh Limbah Beton dan Marmer Pada Campuran Aspal Porus Dengan Bahan Tambahan Gilsonite*. Malang : Universitas Brawijaya. Skripsi.

- Suprpto, T.M. 2004. *Bahan Dan Struktur Jalan Raya*. Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- The Asphalt Institute. 1984. *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and other Hot Mix Types*, Manual Series No 2 (MS-2). 1 st Edition, Lexington, Kentucky, USA.
- Yamin. M. 2001. “Modifikasi Marshall Dalam Perencanaan Campuran Porus Aspal Untuk Cement Treated Asphalt Mixture (CTAM)”. Bali