

# STUDI PENGARUH PENAMBAHAN SERABUT KELAPA TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL PADA CAMPURAN ASPAL PORUS

Muhammad Faurus Syaviq<sup>1</sup>, M. Zainul Arifin<sup>2</sup>, Hendi Bowoputro<sup>2</sup>, Ludfi Djakfar<sup>2</sup>,  
Lasmini Ambarwati<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa / Program Studi Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik / Universitas Brawijaya

<sup>2</sup> Dosen / Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik / Universitas Brawijaya

## ABSTRACT

*Porous asphalt is a solution to avoid puddles on the road because it has a pore large enough to drain the surface water. However, porous asphalt has low stability, so it is necessary to improve the Marshall stability on a porous asphalt mixture. The purpose of this research is to know the optimum composition of the asphalt content, the coconut fiber content and the coconut fiber length and to determine whether or not there is an effect of adding coconut fiber to the Marshall properties on a porous asphalt mixture. In this study, the treatment used is by making porous asphalt mixture with a variation of the asphalt content of 4%, 5% and 6% and a variation of the coconut fiber content of 0.5%, 0.75% and 1% and a variation of the coconut fiber length of 2.5 mm 5 mm and 7.5 mm to determine the optimum composition of the porous asphalt mixture. The gradation standard used in this study is the Australian Asphalt Gradient Standard and for its specifications using the Marshall characteristics of the Australian Standard (AAPA). Using the response surface method, the optimum value for the asphalt content is 4% and the optimum value of the coconut fiber is 0.75%. The addition of coconut fiber was able to increase the MQ value by 119% from 112.56 kg / mm to 246.64 kg / mm and the stability value 61.56% from 388.32 kg to 627.38 kg. However, the addition of coconut fibers decrease the VIM rate by 18.6% from 20.27% to 18.6% and the flow value by 20% from 3.24 mm to 2.7 mm. These values meet the requirements of porous asphalt's Marshall characteristics for Australian gradation standard. It is necessary to do a further research using other gradation standard.*

**Keywords:** Porous Asphalt, Australian Gradation Standard, Marshall Characteristics, Coconut Fiber

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia yang memiliki iklim tropis dan curah hujan yang tinggi sering terjadi banyak genangan air pada jalan yang dapat menyebabkan kerusakan pada lapisan aspal dari jalan tersebut yaitu menyebabkan melemahnya daya rekat aspal. Melemahnya daya rekat aspal membuat komponen pembentuk lapisan aspal beton terpisah sehingga menyebabkan kerusakan pada lapisan aspal beton tersebut. 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. Air akan lebih leluasa masuk ke dalam pori-pori lapisan permukaan jalan raya sehingga tidak menimbulkan genangan pada jalan raya. Akan tetapi terdapat kelemahan

pada aspal porus yaitu memiliki stabilitas *Marshall* yang lebih rendah dibandingkan perkerasan aspal pada umumnya. Dalam upaya peningkatan stabilitas kinerja perkerasan jalan, maka diperlukan adanya material tambahan dalam pencampuran aspal porus. Pada penelitian ini, akan ditambahkan serabut kelapa dalam upaya tersebut. Penelitian ini akan membandingkan antara aspal porus tanpa serabut kelapa dan aspal porus dengan serabut kelapa.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 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 dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Ukuran Butir Agregat

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

## 2.2 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.

## 2.3 Serabut Kelapa

Kelapa terdiri dari beberapa bagian, di antaranya ada exocarp, yaitu lapisan tipis yang menutupi mesocarp. Unsur-unsur ini membentuk kulit kelapa (setebal 5 mm, tergantung spesiesnya). Serat mesocarp ini yang nantinya akan digunakan. Pada umumnya serat tersebut digunakan untuk membuat kasur, sapu, dan lain-lain. Penggunaan serabut kelapa sebagai material filler pada campuran aspal retona blend 55 diteliti oleh Safriani dn Febrianti [1] dimana abu serabut kelapa memberikan peningkatan karakteristik aspal pada variasi kadar serabut kelapa 4,5%.

## 2.4 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. Menurut Khalid dan Jimenes, aspal porus adalah campuran antara material aspal dengan agregat tertentu yang setelah dipadatkan memiliki pori-pori udara berkisar 20% [2], dimana aspal porus didesain sehingga tidak terjadi *floating* dan *bleeding* [3].

## 2.5 Pengujian Marshall

Nilai rongga campuran aspal dapat meningkat apabila meningkatkan proporsi agregat kasar dan mengurangi proporsi agregat halus [4]. Stabilitas Marshall campuran aspal porus lebih rendah dari beton aspal yang menggunakan gradasi rapat, namun meningkat bila menggunakan gradasi terbuka dan fraksi halusnya diperbanyak [5].

### 2.5.1 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

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

### 2.5.2 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.

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

### 2.6 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.

### 2.7 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).

### 2.8 Hasil Bagi Marshall (MQ)

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

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

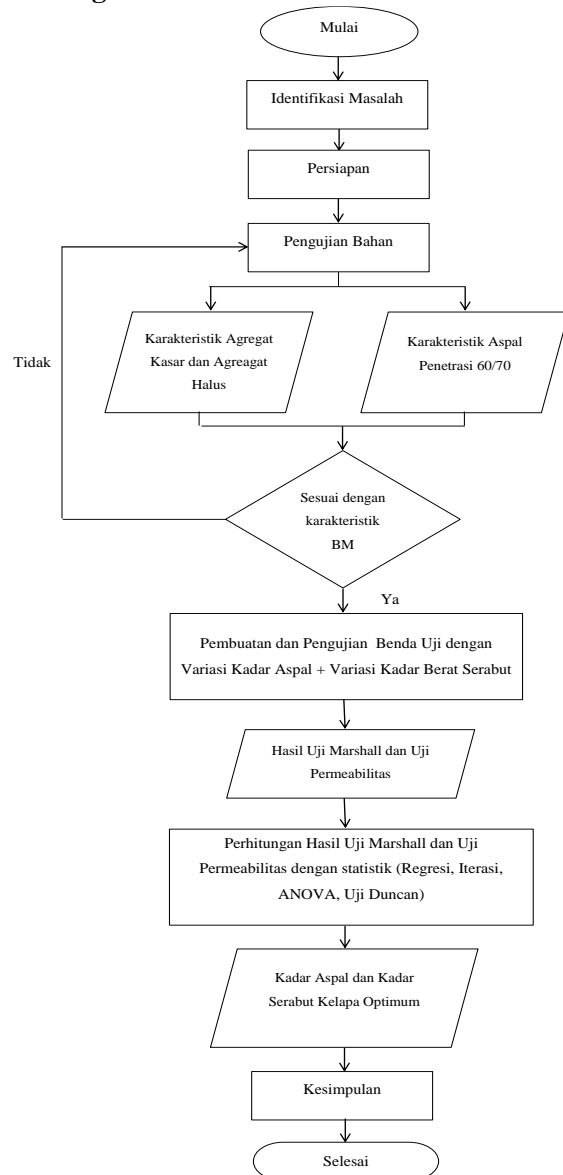
## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Rancangan Benda Uji

Iagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Penelitian menggunakan metode dengan perlakuan tiga variasi kadar aspal dan tiga variasi kadar 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 4%, 5%, 6% dari berat aspal dengan panjang serabut kelapa 2,5 mm. Gradasi

agregat yang digunakan berdasarkan nilai tengah dari standar British, seperti pada Tabel 2. Dalam penelitian ini digunakan tiga variasi kadar aspal, tiga variasi kadar serbuk kayu jati dan tiga variasi suhu perendaman.

### 3.2 Diagram Alir



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tabel 2. Rancangan Percobaan Benda Uji

Kadar Serabut Kelapa (%)	Kadar Aspal		
	4%	5%	6%
0,5	3 buah	3 buah	3 buah
0,75	3 buah	3 buah	3 buah
1	3 buah	3 buah	3 buah

**Tabel 3.** Rancangan Gradasi Aspal Porus

Ukuran Ayakan (mm)	Rancangan (%)	Berat Agregat (%)
19	100	0
12,7	93	63
9,53	58	315
6,35	35	207
4,76	18	153
2,38	11	63
1,19	9	18
0,595	8	9
0,279	6	18
0,149	5	9
0,75	4	9
PAN	0	36
<b>TOTAL</b>		<b>900</b>

**PEMBAHASAN**

**4.1 Hasil Pengujian Marshall**

**Tabel 4.** 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 5.** 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 6.** Hasil Pengujian Stabilitas (kg)

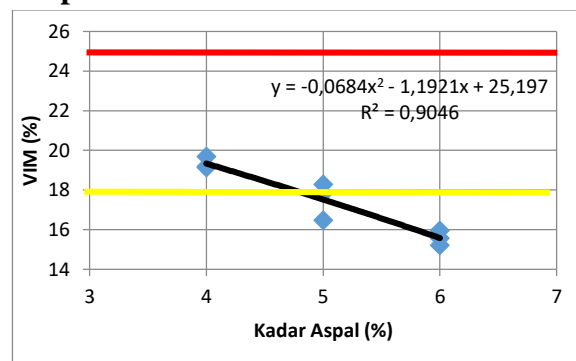
Kadar Aspal	Panjang Serabut Kelapa/ Kadar Serabut Kelapa (mm/%)								
	2,5/0,5	2,5/0,75	2,5/1	5/0,5	5/0,75	5/1	7,5/0,5	7,5/0,75	7,5/1
4%	532.59	637.89	462.98	414.15	414.15	695.88	397.17	450.66	434.96
	682.81	662.76	488.81	412.62	412.62	569.45	486.70	631.52	697.36
	449.84	635.39	473.86	481.10	481.10	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 7.** Hasil Pengujian Marshall Quotient (kg/mm)

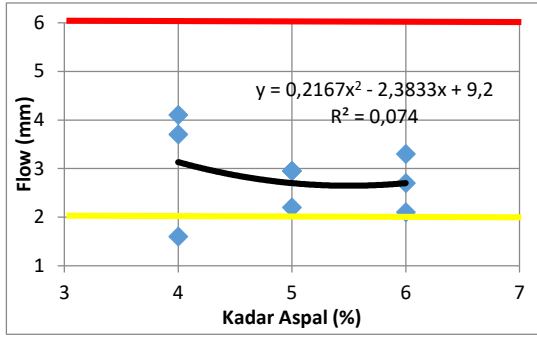
Kadar Aspal	Panjang Serabut Kelapa/ Kadar Serabut Kelapa (mm/%)								
	2,5/0,5	2,5/0,75	2,5/1	5/0,5	5/0,75	5/1	7,5/0,5	7,5/0,75	7,5/1
4%	129.90	289.95	168.36	131.48	204.94	366.25	169.01	222.00	214.27
	184.54	323.30	199.51	219.48	236.04	219.02	237.41	229.64	253.59
	281.15	244.38	189.54	213.82	298.47	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

Dalam pengujian dengan alat Marshall akan didapat data flow dan stabilitas yang kemudian dihitung sehingga didapatkan nilai-nilai dari karakteristik Marshall (Tabel 4, 5, 6 dan 7).

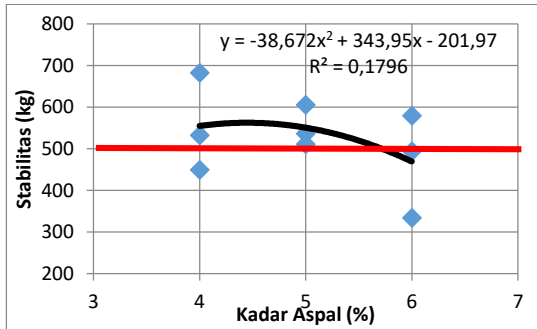
**4.2 Analisis menggunakan metode grafik pita**



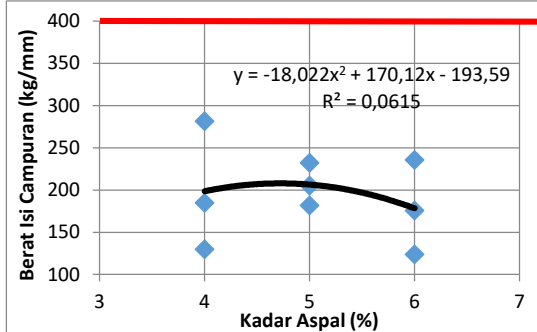
**Gambar 2.** Grafik Hubungan VIM pada Kadar Serabut Kelapa 0.5%



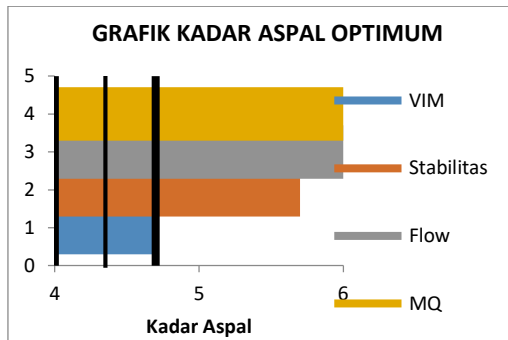
**Gambar 3.** Grafik Hubungan Flow pada Kadar Serabut Kelapa 0.5%



**Gambar 4.** Grafik Hubungan Stabilitas pada Kadar Serabut Kelapa 0.5%



**Gambar 5.** Grafik Hubungan MQ pada Kadar Serabut Kelapa 0.5%



**Gambar 6.** Grafik Pita pada kadar serabut kelapa 0,5%

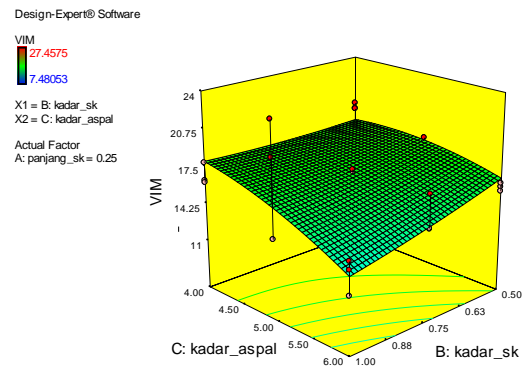
Dari batas-batas yang didapat (**Gambar 2 s.d Gambar 5**), kemudian diplot ke dalam grafik pita pada **Gambar 6**.

Untuk menentukan nilai kadar aspal optimum pada campuran maka dicarilah nilai tengah pada rentang kadar aspal yang memenuhi syarat. Didapatkan kadar aspal optimum dari campuran ini sebesar 4.35%. Dari persamaan polynomial grafik, dimasukkan batas-batas nilai yang ditentukan.

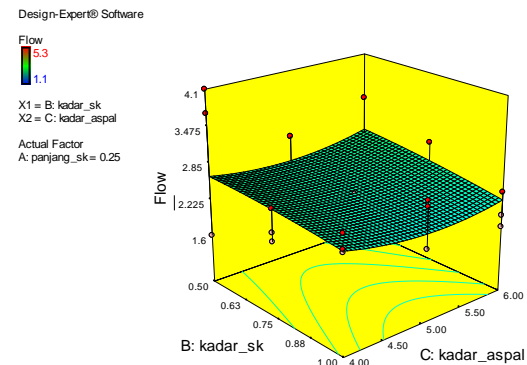
**Tabel 8.** Hasil Nilai Karakteristik *Marshall* Australia dengan KAO 4.35% dan Kadar Serabut Optimum 0,5%

Karakteristik	Persyaratan Australia	KAO = 4.35 %	Keterangan
VIM	18% - 25%	18.85	Memenuhi
Flow	2 – 6 mm	2.96	Memenuhi
Stabilitas	>500 kg	580.53	Memenuhi
MQ	< 400 kg/mm	219.05	Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan



**Gambar 7.** Grafik 3D VIM



**Gambar 8.** Grafik 3D Flow

**Tabel 9.** Hasil Nilai VIM menggunakan metode grafik 3D

Kadar Aspal (%)	Kadar SK (%)	VIM (%)	AAPA
4	0,5	18,1267	Memenuhi
4	0,75	17,88432	Tidak Memenuhi
4	1	18,02439	Memenuhi
5	0,5	18,07345	Memenuhi
5	0,75	16,99562	Tidak Memenuhi
5	1	16,30024	Tidak Memenuhi
6	0,5	16,7152	Tidak Memenuhi
6	0,75	14,80192	Tidak Memenuhi
6	1	13,27109	Tidak Memenuhi

**Tabel 11.** Hasil Nilai stabilitas menggunakan metode grafik 3D

Kadar Aspal (%)	Kadar SK (%)	Stabilitas (kg)	AAPA
4	0,5	585,5953	Memenuhi
4	0,75	602,1313	Memenuhi
4	1	491,8304	Tidak Memenuhi
5	0,5	533,6068	Memenuhi
5	0,75	559,3884	Memenuhi
5	1	458,3331	Tidak Memenuhi
6	0,5	474,1273	Tidak Memenuhi
6	0,75	509,1545	Memenuhi
6	1	417,3449	Tidak Memenuhi

**Tabel 10.** Hasil Nilai Flow menggunakan metode grafik 3D

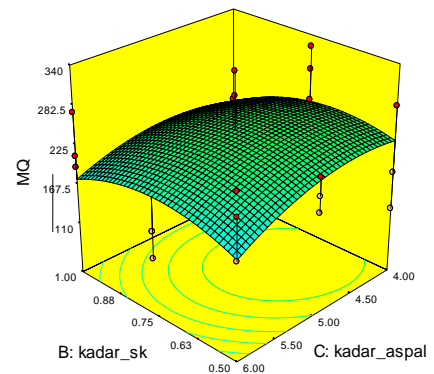
Kadar Aspal (%)	Kadar SK (%)	Flow (mm)	AAPA
4	0,5	2,643175	Memenuhi
4	0,75	2,593219	Memenuhi
4	1	2,477338	Memenuhi
5	0,5	2,518475	Memenuhi
5	0,75	2,422419	Memenuhi
5	1	2,260438	Memenuhi
6	0,5	2,720175	Memenuhi
6	0,75	2,578019	Memenuhi
6	1	2,369938	Memenuhi

Design-Expert® Software

MQ  
477.24  
80.1347

X1 = B: kadar\_sk  
X2 = C: kadar\_aspal

Actual Factor  
A: panjang\_sk = 0.25



**Gambar 10.** Grafik 3D MQ

**Tabel 12.** Hasil Nilai MQ menggunakan metode grafik 3D

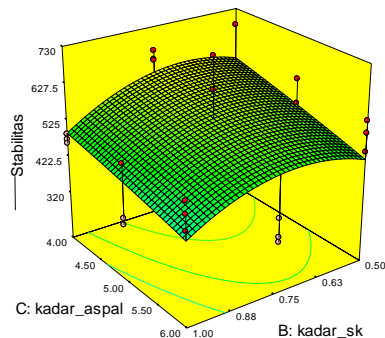
Kadar Aspal (%)	Kadar SK (%)	MQ	AAPA
4	0,5	231,4885	Memenuhi
4	0,75	242,099	Memenuhi
4	1	195,3128	Memenuhi
5	0,5	228,4884	Memenuhi
5	0,75	247,7392	Memenuhi
5	1	209,5934	Memenuhi
6	0,5	178,3663	Memenuhi
6	0,75	206,2574	Memenuhi
6	1	176,7519	Memenuhi

Design-Expert® Software

Stabilitas  
730.982  
259.195

X1 = B: kadar\_sk  
X2 = C: kadar\_aspal

Actual Factor  
A: panjang\_sk = 0.25



**Gambar 9.** Grafik 3D Stabilitas

**Tabel 13.** Rekapitulasi Hasil Iterasi Grafik 3D Karakteristik *Marshall*

Kadar Aspal (%)	Kadar SK (%)	Stabilitas (kg)	VIM (%)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	AAPA
4	0,5	585,60	18,13	2,64	231,49	Memenuf
4	0,75	602,13	17,88	2,59	242,10	Tidak Memer
4	1	491,83	18,02	2,48	195,31	Tidak Memer
5	0,5	533,61	18,07	2,52	228,49	Memenuf
5	0,75	559,39	17,00	2,42	247,74	Tidak Memer
5	1	458,33	16,30	2,26	209,59	Tidak Memer
6	0,5	474,13	16,72	2,72	178,37	Tidak Memer
6	0,75	509,15	14,80	2,58	206,26	Tidak Memer
6	1	417,34	13,27	2,37	176,75	Tidak Memer

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari ketiga cara tersebut, maka rekapitulasi Kadar Aspal Optimum dapat dilihat pada **Tabel 14**.

**Tabel 14.** Rekapitulasi Kadar Aspal Optimum dan Kadar Serabut Kelapa Optimum

Metode	Kadar					
	Kadar Aspal Optimum	Kadar Serabut Kelapa Optimum	VIM (%)	Flow (mm)	Stabilitas (kg)	MQ (kg/mm)
Grafik Pita	4.35%	0.5%	18.85	2.96	580.53	219.05
Grafik 3D	4%	0,5%	18,13	2,64	585,60	231,49

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

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

- Variasi penambahan kadar serbuk kayu pada aspal porus dengan standar British tidak mempengaruhi nilai Marshall VIM, stabilitas, flow, dan MQ.
- Tidak didapatkan kadar serbuk kayu optimum pada suhu 45°C karena pada suhu ini tidak semua nilai karakteristik Marshall memenuhi, sedangkan kadar serbuk kayu jati optimum suhu 60°C adalah 4,488%, dan suhu 75°C adalah 5,55%.
- Variasi penambahan suhu waterbath pada kadar serbuk kayu jati pada aspal porus dengan standar British tidak mempengaruhi nilai Marshall VIM, stabilitas, flow, dan MQ.

### 5.2 Saran

- Perlu dilakukan pengujian di lapangan untuk mendapatkan hasil yang realistis.
- Pada penelitian selanjutnya perlu dicari nilai kadar aspal optimum (KAO) ketika aspal sudah dicampur dengan serbuk kayu jati. Karena pada penelitian ini KAO didapat sebelum aspal dicampur dengan serbuk kayu jati.
- Perlu penelitian lebih lanjut mengenai reaksi kimia yang terjadi antara campuran aspal dengan penambahan serbuk kayu jati.
- Pada penelitian ini tidak mencari ikatan kimia, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mencari bagaimana pengaruh ikatan kimia serbuk kayu jati dengan aspal.
- Perlu penelitian lebih lanjut dengan penggunaan material atau penambahan additive lain yang dapat meningkatkan stabilitas.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Safriani, Meylis; Dian Febriani, Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Sabut Kelapa Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Retona Blend 55, Jurnal Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar, Vol.2, No.2, 2016.
- [2] Khalid, H. & Perez Jimenez, F.K.,1994. "Performances Assessment of Spanish and British Porous Asphalts. In Cabrera, J.G. & Dixon, J.R. (eds)". Performance and Durability of Bituminous Materials, Proceeding of Symposium, University of Leeds, March 1994.
- [3] Setyawan, A & Hassan, K.E., 2002. "Cold mix, cold laid semi-flexible grouted macadams, mix design and properties, In Zoorob, S.E. , Collop, A.C. & Brown, S.E. (eds)". Performance of Bituminous and Hydraulic Materials in Pavement. Nottingham.
- [4] Djumari; Djoko Sarwono, Perencanaan Gradasi Aspal Porus Menggunakan Material Lokal Dengan Metode Pemampatan Kering. Media Teknik Sipil, Volume XI, 2009.
- [5] Cabrera, J.G. & Hamzah, M.O., 1994. "Aggregate Grading Design for Porous Asphalt". In Cabrera, J.G. & Dixon, J.R. (eds), Performance and Durability of Bituminous Materials, Proceeding of Symposium, University of Leeds, March 1994.