

Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Substitusi Styrofoam pada Aspal Penetrasi 60/70

Sofyan M. Saleh

Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Jl. Syeh Abdurrauf No. 7 Darussalam B. Aceh 23111
E-mail: sofyan_saleh@yahoo.com

Renni Anggraini

Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Jl. Syeh Abdurrauf No. 7 Darussalam B. Aceh 23111
E-mail: renianggraini@gmail.com

Hesty Aquina

Dinas Bina Marga Provinsi Aceh, Jl. Sudirman No. 1 Banda Aceh 23123
E-mail: hestyaquina@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini mencoba memanfaatkan limbah styrofoam untuk meningkatkan kualitas aspal sebagai bahan pengikat beton aspal. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik campuran aspal porus dengan substitusi styrofoam ke dalam aspal penetrasi 60/70. Pembuatan benda uji untuk penentuan kadar aspal optimum (KAO) berdasarkan metode Australia dengan beberapa parameter yaitu; nilai Cantabro Loss (CL), Asphalt Flow Down (AFD) dan voids in mix (VIM). Gradasi agregat yang digunakan adalah gradasi terbuka dengan kadar aspal 4,5%; 5,0%; 5,5%; 6,0% dan 6,5% sebelum disubstitusi styrofoam. Selanjutnya dilakukan pengujian dan perhitungan parameter Marshall, CL dan AFD untuk mendapatkan KAO. Setelah KAO diperoleh, dibuat benda uji pada KAO dan variasi $\pm 0,5$ dari nilai KAO dengan variasi substitusi styrofoam 5%, 7% dan 9%. Uji permeabilitas dan durabilitas pada kadar aspal terbaik. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh KAO sebesar 5,76% dan kadar aspal terbaik pada 6,26% dengan substitusi styrofoam 9%, dimana semua parameter nya telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan kecuali nilai stabilitas yang hanya 495,92 kg atau sedikit dibawah spesifikasi yang disyaratkan Australian Asphalt Pavement Association (1997) untuk lalu lintas sedang yaitu minimum 500 kg.

Kata-kata Kunci: Aspal porus, Styrofoam, Contabro loss.

Abstract

This research is trying to use styrofoam as a waste material to improve the quality of bitumen as binder agent in asphalt concrete. The objective of this research is to determine the characteristics of porous asphalt mixture by substituting styrofoam on asphalt penetration 60/70. The specimens preparation of Optimum Asphalt Content (OAC) based on the Australian Method by some parameters namely; the value of Cantabro Loss (CL), Asphalt Flow Down (AFD) and Voids in Mix (VIM). Open graded aggregate was used and varied in bitumen content of 4.5%; 5.0%; 5.5%; 6.0% and 6.5% excluding styrofoam. After that Marshall test and calculation of CL and AFD were conducted to obtain OAC. Subsequently, the OAC obtained was used to prepare some specimens of the OAC with variations ± 0.5 from the OAC and substitution of styrofoam variations were 5%, 7% and 9%. Permeability and durability test then required specimens at the best asphalt content. Based on this research, the OAC was at 5.76% and the content of the best asphalt performance was 6.26% with styrofoam substitution content of 9%. Besides, almost all parameter values met the specification of Australian Asphalt Pavement Association (1997), only stability value was 495.92 kg, less than the specification of minimum 500 kg required for a medium traffic.

Keywords: Porous asphalt, Styrofoam, Contabro loss.

1. Pendahuluan

Campuran beraspal masih merupakan lapis penutup perkerasan jalan yang dominan di Indonesia, walaupun di beberapa ruas jalan telah dilakukan dengan apis perkerasan kaku dengan beton. Campuran beraspal panas merupakan campuran antara agregat dengan aspal sebagai pengikat pada komposisi dan suhu tertentu. Banyak jenisnya campuran beraspal dan umumnya ditentukan oleh tipe gradasi agregat yang digunakan, jenis aspal dan suhu pencampuran/pemadatan.

Salah satu jenis campuran beraspal adalah aspal porus yang merupakan salah satu jenis perkerasan jalan yang telah dikembangkan di beberapa negara maju dan diperuntukkan hanya pada lapisan aus atau penutup (*wearing course*). Menurut Diana (1995) aspal porus (*porous asphalt*) merupakan campuran beraspal panas bergradasi terbuka dengan persentase agregat kasar yang besar, persentase agregat halus yang kecil, sehingga menyediakan rongga udara yang besar. Rongga udara ini diharapkan dapat meloloskan air jika hujan, sehingga air tidak tergenang dipermukaan jalan

Campura beraspal porus ini umumnya mempunyai stabilitas yang rendah dan sangat tergantung dari mutu aspal sebagai bahan pengikat agregat, sehingga diperlukan aspal mutu tinggi yang merupakan aspal hasil modifikasi. Aspal modifikasi adalah aspal yang dibuat dengan mencampur aspal keras dengan suatu bahan tambah, penambahan ini dimaksudkan untuk memperbaiki sifat-sifat fisis aspal antara lain penetrasi, kekentalan (viskositas), dan titik lembek (Anonim, 2004). Salah satu alternatif penanggulangan langkanya aspal modifikasi ini adalah dengan pemanfaatan bahan-bahan lain yang dapat dijadikan sebagai bahan tambah, diantaranya adalah pemanfaatan bahan sisa/limbah bahan polimer.

Pemanfaatan material limbah pada campuran perkerasan jalan dapat menjadi solusi alternatif dalam menanggulangi besarnya jumlah limbah yang ada, terutama limbah yang sulit terurai di dalam tanah. Salah satu material limbah tersebut adalah bahan *styrofoam*. Dengan demikian, *styrofoam* yang merupakan bahan buangan limbah dapat dimanfaatkan dengan lebih maksimal untuk konstruksi perkerasan jalan. Mashuri dan Batti (2011) menyatakan bahwa penggunaan *styrofoam* pada rentang 6,0% sampai 12,0% cenderung meningkatkan nilai stabilitas marshall, sementara nilai durabilitas cenderung meningkat pada kadar *styrofoam* antara 6% sampai 10% dan cenderung menurun kembali pada kadar *styrofoam* diatas 10%, dimana variasi *styrofoam* yang digunakan adalah 6%, 8%, 10% dan 12%. Berdasarkan hipotesa di atas, maka perlu dilakukan penelitian terhadap pengaruh penggunaan *styrofoam*

sebagai bahan substitusi aspal pen 60/70 terhadap karakteristik campuran aspal porus sebesar 5%, 7% dan 9% terhadap berat aspal.

1.1 Campuran aspal porus

Affan (2006) menyebutkan campuran aspal porus merupakan campuran beraspal panas antara agregat bergradasi terbuka dengan aspal modifikasi dengan perbandingan tertentu. Campuran aspal porus dihampar dan dipadatkan pada permukaan perkerasan kedap air. Air yang jatuh pada permukaan aspal porus meresap bebas ke permukaan lapisan di bawahnya, selanjutnya mengalir ke samping.

Spesifikasi Aspal Porus yang dikutip dari *Australian Asphalt pavement Association* (AAPA) disajikan pada **Tabel 1** berikut:

Tabel 1. Spesifikasi aspal Porus

No.	Kriteria Perencanaan	Nilai
1.	Uji <i>cantabro loss</i> (%)	Maks 20
2.	Uji <i>Asphalt flow down</i> (%)	Maks 0.3
3.	Stabilitas Marshall (kg)	Min 500
4.	Kelelehan Plastis (mm)	2 – 6
5.	Kadar Rongga Udara (%)	10 – 25
6.	Kekakuan Marshall (kg/mm)	Maks 400

Sumber: AAPA (1997)

1.2 Material aspal porus

1.2.1 Aspal

Sukirman (2003) menyebutkan bahwa aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4-10% berdasarkan berat campuran atau 10-15% berdasarkan volume.

Aspal polimer adalah suatu material yang dihasilkan dari modifikasi antara polimer alam atau polimer sintetis dengan aspal. Modifikasi polimer aspal yang diperoleh dari interaksi antara komponen aspal dengan bahan aditif polimer dapat meningkatkan sifat-sifat dari aspal tersebut. Dalam hal ini terlihat bahwa keterpaduan aditif polimer yang sesuai dengan campuran aspal. Penggunaan polimer sebagai bahan untuk memodifikasi aspal terus berkembang di dalam dekade terakhir (Pei-Hung, 2000).

1.2.2 Agregat

Menurut Bukhari (2007), agregat berdasarkan pengolahannya dibedakan atas agregat siap pakai dan agregat yang perlu diolah, sedangkan berdasarkan bentuknya, butir agregat dikelompokkan atas agregat berbentuk bulat (*rounded*), agregat berbentuk kubus (*cubical*), agregat berbentuk lonjong (*elongated*),

agregat berbentuk pipih (*flaky*), agregat berbentuk tak beraturan (*irregular*). Bentuk butir yang paling baik sebagai perkerasan jalan adalah kubus/bersudut.

1.3 Gradasi agregat

Bukhari (2007) menyebutkan gradasi adalah distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat yang saling mengisi sehingga terjadinya suatu ikatan yang saling mengunci (*interlocking*). Menurut Sukirman (2003) gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir, kadar aspal dan akan menentukan stabilitas serta kemudahan dalam proses pelaksanaan.

Diana (1995) mengutip dari *Manual Japan Road Association* menyebutkan aspal porus sering juga disebut campuran aspal bergradasi terbuka (*open graded asphalt*). Tipikal nilai tengah gradasi agregat aspal porus untuk diameter maksimum 10 mm, 14 mm dan 20 mm sebagaimana yang dikutip dari AAPA (1997) disajikan pada **Tabel 2** berikut:

Tabel 2. Tipikal nilai tengah gradasi

Diameter Saringan (mm)	Diameter Agregat Maksimum		
	10 mm	14 mm	20 mm
26.50	-	-	100
19.0	-	100	95
13.2	100	95	55
9.5	90	50	30
6.7	40	27	20
4.75	30	11	10
2.36	12	9	8
1.18	8	8	6
0.6	6	6.5	4
0.3	5	5.5	3
0.15	4	4.5	3
0.075	3.5	3.5	2
Kadar aspal	5.5-6.5	5.0-6.0	4.5-5.5

Sumber: AAPA (1997)

1.4 Styrofoam

Polistirena *foam* merupakan bahan plastik yang memiliki sifat khusus dengan struktur yang tersusun dari butiran dengan kerapatan rendah, mempunyai bobot ringan, dan terdapat ruang antar butiran yang berisi udara yang tidak dapat menghantar panas sehingga hal ini membuatnya menjadi insulator panas yang sangat baik (Anonim, 2008).

1.5 Karakteristik campuran aspal porus

Diana (2004) menyebutkan karakteristik yang diisyaratkan untuk campuran aspal porus adalah: kepadatan (*density*), stabilitas dan *flow*, rongga di dalam campuran (*voids in mixture*), *Marshall Quotient (MQ)*, permeabilitas dan keawetan (*durability*).

1.6 Penentuan KAO

Penentuan KAO campuran aspal porus dalam penelitian ini menggunakan metode Australia. AAPA

menyebutkan penentuan KAO dengan metode ini hanya mensyaratkan tiga parameter yaitu VIM, *cantabro loss* (ketahanan terhadap pelepasan butir) dan *asphalt flow down* (aliran aspal ke bawah).

Nilai spesifikasi penentuan KAO metode Australia disajikan pada **Tabel 3** berikut:

Tabel 3. Spesifikasi penentuan KAO

No	Spesifikasi	Syarat
1	<i>Cantabro loss</i> (%)	< 20
2	<i>Asphalt flow down</i> (%)	< 0,3
3	Kadar rongga (VIM) (%)	10-25

Sumber: AAPA (1997)

2. Metode Penelitian

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat dan aspal. Setelah semua hasil dari pemeriksaan sifat-sifat fisis material dan sesuai dengan spesifikasi, maka dilakukan perencanaan pembuatan benda uji.

Benda uji yang dibuat terdiri dari tiga kelompok yaitu :

1. Benda uji campuran aspal porus dengan variasi kadar aspal penetrasi 60/70 untuk penentuan kadar aspal optimum (KAO).
2. Setelah KAO diperoleh, selanjutnya dibuat benda uji pada KAO dan variasi KAO $\pm 0,5$ dengan *styrofoam* sebagai bahan substitusi sebesar 5%, 7% dan 9% terhadap berat aspal;
3. Benda uji untuk pengujian permeabilitas dan durabilitas pada kadar aspal terbaik.

Agregat yang digunakan adalah dari jenis batu kali dari sungai Krueng Aceh di Seulimum Aceh Besar yang telah diproses melalui mesin pemecah batu (*Stone Crusher*) baik untuk agregat kasar maupun untuk agregat halus, sedangkan *filler* berupa semen produksi PT Semen Andalas Indonesia. Pemeriksaan sifat fisis agregat meliputi : berat jenis dan penyerapan, keausan, kelonjongan dan kepipihan, berat isi, dan kekerasan.

Pengujian material aspal dilakukan baik untuk aspal pen 60/70 sebelum ditambah *Styrofoam* dan setelah ditambah *Styrofoam*. Aspal yang dipakai dalam penelitian ini yaitu aspal keras penetrasi 60/70 produksi PT. Pertamina. Untuk bahan substitusi atau tambahan digunakan *Styrofoam* bekas yang digunakan umumnya untuk pembungkus makanan siap saji atau bahan pengaman barang-barang elektronik dalam kardus yang telah dibuang. Pengujian sifat-sifat fisisnya dan mekanismenya meliputi berat jenis, penetrasi, daktilitas, dan titik lembek, sementara saat penelitian ini uji viskositas tidak dilakukan akibat kendala alat.

2.1 Perencanaan campuran

Berdasarkan AAPA (1997) dimana kadar aspal untuk ukuran agregat maksimum 14 mm kadar aspal yang digunakan yaitu antara 5% - 6% dari total berat campuran, maka nilai tengah kadar aspal tersebut adalah 5,5%. Variasi yang digunakan sebanyak 5 variasi kadar aspal dengan interval 0,5%. Dengan demikian maka untuk variasi kadar aspal untuk pembuatan benda uji pada penelitian ini adalah 4,5%; 5%; 5,5%; 6% dan 6,5% terhadap berat total campuran.

Setiap variasi kadar aspal dibuat 3 (tiga) benda uji, sehingga jumlah benda uji menjadi 15 buah untuk pengujian Marshall. Untuk penentuan kadar aspal optimum (KAO) dengan menggunakan metode Australia dibuat lagi benda uji untuk pengujian CL dan AFD masing-masing variasi kadar aspal (4,5%; 5%; 5,5%; 6% dan 6,5%) sebanyak 3 (tiga) buah benda uji sehingga jumlah benda uji menjadi 15 buah benda uji. Jumlah keseluruhan benda uji untuk mendapatkan KAO sebelum disubstitusi dengan Styrofoam adalah 45 buah.

Setelah KAO untuk masing-masing perlakuan didapat, selanjutnya dibuat benda uji pada setiap KAO dan variasi ± 0,5 dari nilai KAO dengan variasi substitusi styrofoam 5%, 7% dan 9%. Masing-masing 3 (tiga)

buah benda uji dibuat lagi untuk setiap variasi kadar substitusi Styrofoam 5%, 7% dan 9%, sehingga jumlah benda uji untuk setiap variasi substitusi styrofoam adalah 9 buah benda uji. Dengan demikian total benda uji keseluruhan menjadi 27 buah benda uji untuk pengujian Marshall. Proses yang sama juga berlaku untuk pengujian CL dan AFD pada masing-masing variasi penggunaan kadar aspal sebanyak 3 (tiga) buah benda uji sehingga jumlah benda uji menjadi 9 buah pada setiap variasi styrofoam. Jumlah keseluruhan untuk masing-masing pengujian yaitu untuk pengujian CL 27 buah benda uji dan untuk pengujian AFD 27 buah benda uji. Total benda uji keseluruhan menjadi 81 buah benda uji. Rancangan jumlah benda uji yang digunakan untuk pengujian Marshall, CL dan AFD disajikan pada Tabel 4.

Secara keseluruhan total benda uji yang direncanakan dalam penelitian ini adalah sebanyak 132 buah seperti dijelaskan pada Tabel 5.

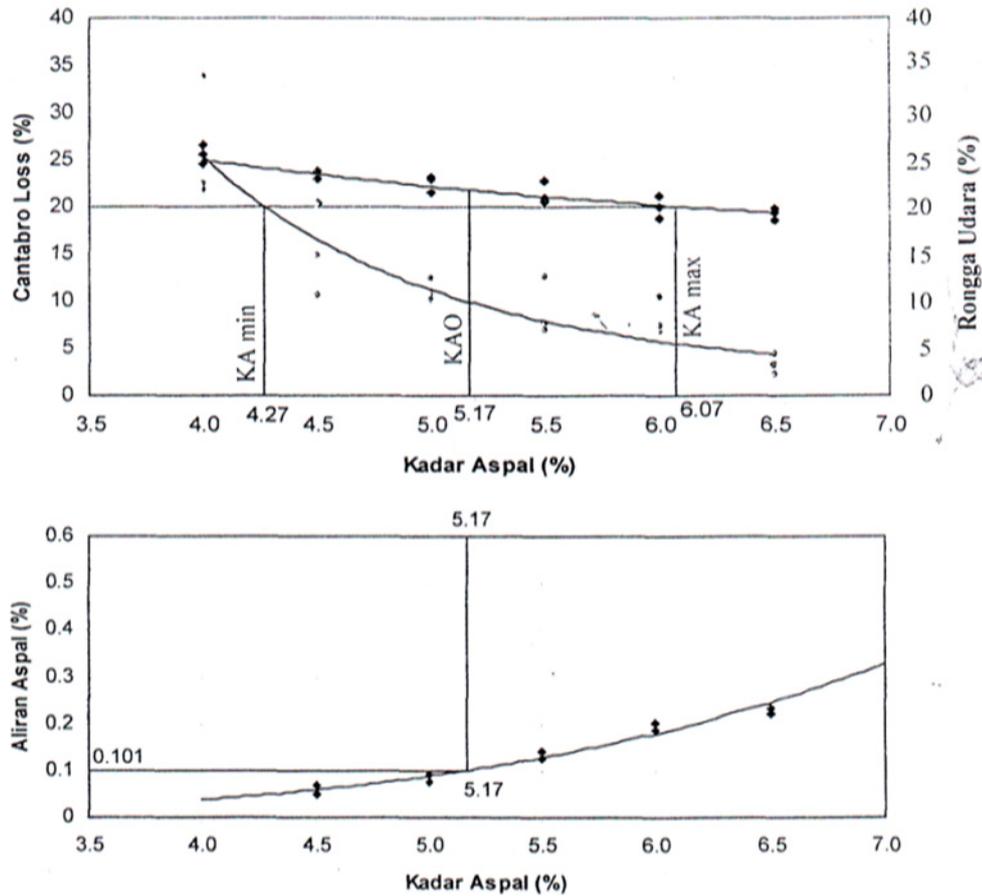
Penentuan kadar aspal optimum untuk metoda Australian Asphalt Pavement Association (1997) berbeda dengan metoda Marshall yang menggunakan range overlapping terhadap semua parameter Marshall. Gambar berikut ini adalah contoh penentuan kadar aspal optimum dengan metode AAPA.

Tabel 4. Jumlah benda uji untuk pengujian marshall, CL dan AFD

Kadar Styrofoam (%)	Kadar Aspal (%)	Jumlah Benda Uji								
		Uji Marshall			Uji CL			Uji AFD		
5%	KAO - 0,5	M _{A11}	M _{A12}	M _{A13}	L _{D11}	L _{D12}	L _{D13}	F _{G11}	F _{G12}	F _{G13}
	KAO	M _{A21}	M _{A22}	M _{A23}	L _{D21}	L _{D22}	L _{D23}	F _{G21}	F _{G22}	F _{G23}
	KAO + 0,5	M _{A31}	M _{A32}	M _{A33}	L _{D31}	L _{D32}	L _{D33}	F _{G31}	F _{G32}	F _{G33}
7%	KAO - 0,5	M _{B11}	M _{B12}	M _{B13}	L _{E11}	L _{E12}	L _{E13}	F _{H11}	F _{H12}	F _{E13}
	KAO	M _{B21}	M _{B22}	M _{B23}	L _{E21}	L _{E22}	L _{E23}	F _{H21}	F _{H22}	F _{H23}
	KAO + 0,5	M _{B31}	M _{B32}	M _{B33}	L _{E31}	L _{E32}	L _{E33}	F _{H31}	F _{H32}	F _{H33}
9%	KAO - 0,5	M _{C11}	M _{C12}	M _{C13}	L _{F11}	L _{F12}	L _{F13}	F _{I11}	F _{I12}	F _{I13}
	KAO	M _{C21}	M _{C22}	M _{B23}	L _{F21}	L _{F22}	L _{F23}	F _{I21}	F _{I22}	F _{I23}
	KAO + 0,5	M _{C31}	M _{B32}	M _{C33}	L _{F31}	L _{F32}	L _{F33}	F _{I31}	F _{I32}	F _{I33}
Total		27 Buah			27 Buah			27 Buah		
Total Keseluruhan		Buah								

Tabel 5. Rekapitulasi jumlah benda uji keseluruhan

Kelompok Benda Uji	Jumlah Benda Uji Keseluruhan untuk Kelompok A dan Kelompok B			
	Pengujian Marshall	Pengujian Cantrabro Loss	Pengujian Asphalt Flow Down	Pengujian Permeabilitas dan Durabilitas
A	15	15	15	-
B	27	27	27	3
Total	42	42	42	3
Total keseluruhan		132 buah benda uji		



Gambar 1. Contoh cara penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Sumber: Australian Asphalt Pavement Association (1997) dan diolah.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian terhadap sifat-sifat fisis agregat batu pecah pada penelitian ini yang berasal dari mesin *stone crusher* semua memenuhi persyaratan. Pengujian meliputi berat jenis dan penyerapan, berat isi, kekerasan, keausan, dan indeks kelonjongan dan kepipihan. Hal ini karena material dari lokasi ini adalah sumber *quarry* terbaik di Banda Aceh dan sekitarnya, telah mendapat disajikan pada **Tabel 6**.

Untuk pengujian sifat-sifat fisis aspal tanpa dan dengan substitusi *styrofoam* ada perbedaan persyaratan, terutama pada pengujian daktilitas. Jika aspal pen 60/70 tanpa substitusi bahan polimer adalah > 100 cm. Namun jika ditambah atau disubstitusi dengan bahan polimer, maka syarat > 50 cm, seperti ditampilkan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil pemeriksaan sifat fisis aspal dengan dan tanpa substitusi *styrofoam*

No	Sifat-sifat Fisis yang diperiksa	Kadar <i>Styrofoam</i>				Syarat
		0%	5%	7%	9%	
1.	Berat jenis;	1,030	1,029	1,027	1,03	>1,0
2.	Penetrasi;	65	61	59	57	50-70
3.	Daktilitas;	130,0	101,67	90,3	76,7	50 cm
4.	Titik lembek	49,5	51,5	53,5	54,5	>48°C

Dari **Tabel 6** di atas dapat dilihat bahwa dengan substitusi *Styrofoam* menyebabkan berat jenis, penetrasi dan daktilitas menurun secara signifikan, sedangkan titik lembek meningkat secara signifikan. Substitusi *styrofoam* ke dalam aspal penetrasi 60/70 mempengaruhi nilai berat jenis aspal, dengan kata lain bahwa nilai berat jenis aspal cenderung menurun atau semakin kecil. Hal ini merupakan perkiraan awal bahwa aspal tidak banyak mengandung minyak atau air yang dapat mengurangi sifat *adhesive* (kelekatan) aspal. Sifat *adhesive* aspal mendukung stabilitas, durabilitas, dan fleksibilitas beton aspal.

Substitusi *styrofoam* ke dalam aspal cenderung menurunkan nilai penetrasinya yang mengindikasikan aspal akan semakin keras dengan meningkatnya kadar *styrofoam* dalam aspal. Namun demikian nilai penetrasi yang dihasilkan masih memenuhi spesifikasi penetrasi aspal polimer yaitu berada pada rentang 50-70. Penambahan *styrofoam* ke dalam aspal cenderung menurunkan nilai daktilitasnya, dengan demikian penambahan *styrofoam* ke dalam aspal cenderung akan membuat aspal kehilangan sifat plastisnya. Namun demikian nilai daktilitas yang dihasilkan masih memenuhi spesifikasi daktilitas minimum sebesar 50,00 cm.

Dari pengujian titik lembek dengan substitusi styrofoam 0%, 5%, 7% dan 9% pada aspal penetrasi 60/70 terjadi peningkatan titik lembek sebesar 49,5°C; 51,5°C; 53,5°C dan 54,5°C. Hal ini menunjukkan bahwa aspal menjadi lebih keras sehingga dibutuhkan suhu lebih tinggi agar aspal menjadi lembek. Hasil ini masih memenuhi persyaratan yaitu harus berada pada rentang 48°C - 58°C. Dimana aspal masih memiliki nilai batas kekakuan dan suhu aspal mulai menjadi lunak dan dapat menyelimuti agregat pada proses pencampuran.

3.1 Hasil pengujian Marshall, CL dan AFD tanpa styrofoam untuk KAO

Hasil pengujian Marshall menghasilkan parameter-parameter Marshall yaitu: stabilitas, flow, density, VMA, VFB, VIM dan Marshall quotient. Hasil pengujian CL dan AFD menghasilkan nilai CL dan AFD. Dari analisis hasil pengujian Marshall, CL, dan AFD dengan variasi kadar aspal sebesar 4,5%; 5,0%; 5,5%; 6,0% dan 6,5% diperoleh nilai KAO sebesar 5,76%. Untuk mendapatkan KAO tersebut dilakukan dengan metode AAPA seperti contoh pada Gambar 1 dengan memasukkan data hasil penelitian di laboratorium dan telah direkapitulasi seperti pada Tabel 7. atas dan Rekapitulasi hasil pengujian Marshall, CL dan AFD dengan variasi kadar aspal disajikan pada Tabel 7 berikut.

3.2 Hasil pengujian Marshall, CL, AFD dengan substitusi styrofoam pada KAO dan ± 0,5

Setelah diperoleh KAO berdasarkan metoda AAPA diperoleh sebesar 5,76% maka dibuat benda uji dengan variasi substitusi styrofoam 5%, 7% dan 9% pada KAO dan ± 0,5 KAO. Rekapitulasi hasil pengujian dan perhitungan parameter Marshall, CL dan AFD campuran aspal porus dengan variasi kadar aspal pada substitusi styrofoam 5%, 7% dan 9% disajikan pada Tabel 8 sampai 10.

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kadar aspal terbaik pada 6,26% dengan substitusi styrofoam 9% dimana semua parameternya telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan, kecuali nilai stabilitas belum memenuhi spesifikasi yang disyaratkan AAPA (1997) untuk lalu lintas sedang yaitu minimum 500 kg. Namun demikian nilai stabilitas campuran semakin tinggi seiring dengan bertambahnya kadar styrofoam dalam campuran. Hal ini disebabkan karena styrofoam bercampur dengan aspal penetrasi 60/70 di dalam campuran, dimana pencampuran ini menyebabkan daya lekat aspal menjadi lebih baik sehingga mengakibatkan nilai stabilitas campuran semakin meningkat. Nilai stabilitas tertinggi diperoleh sebesar 495,92 kg.

Tabel 7. Rekapitulasi hasil pengujian Marshall, CL dan AFD

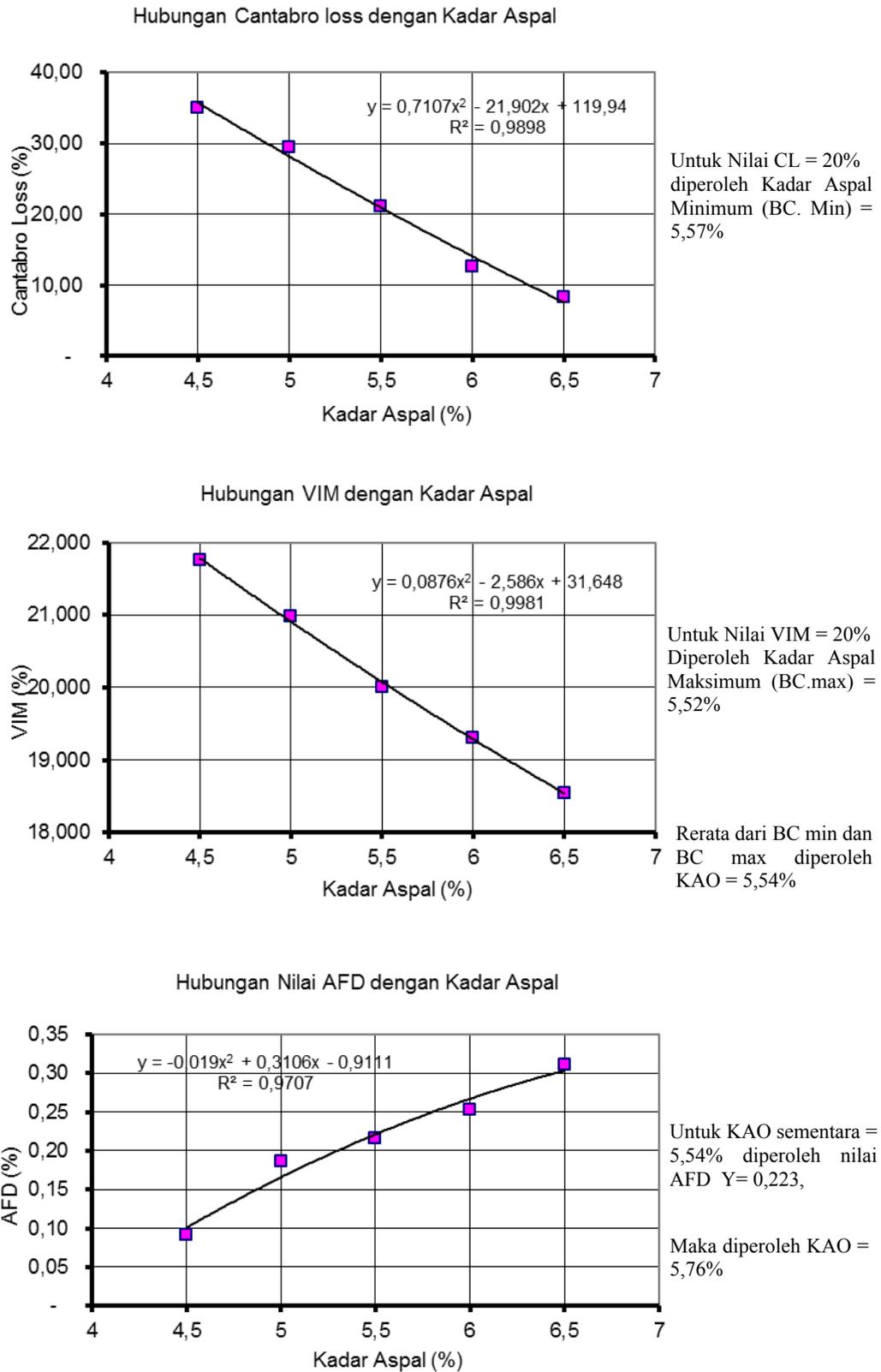
No	Karakteristik Campuran	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi AAPA
		4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	
1.	Stabilitas (kg)	328,89	359,96	275,88	260,09	242,94	Min. 500
2.	Density (gr/cm ³)	2,011	2,015	2,024	2,027	2,030	-
3.	Flow (mm)	3,60	3,40	4,03	4,70	4,73	2 – 6
4.	VIM (%)	21,76	20,99	20,00	19,30	18,55	10 – 25
5.	MQ (kg/mm)	91,60	106,03	68,48	55,76	51,22	Maks. 400
6.	Cantabro Loss (%)	35,05	29,54	21,09	12,60	8,33	Maks. 20
7.	Asphalt Flow Down (%)	0,09	0,19	0,22	0,25	0,31	Maks. 0,3

Tabel 8. Rekapitulasi hasil pengujian pada substitusi styrofoam 5%

No	Karakteristik Campuran	Kadar Aspal (%)			Spesifikasi AAPA (1997)
		5,26	5,76	6,26	
1.	Cantabro Loss (%)	22,85	18,08	11,94	Maks. 20
2.	Asphalt Flow Down (%)	0,22	0,23	0,30	Maks. 0,3
3.	Stabilitas (kg)	282,15	317,43	339,41	Min. 500
4.	Density (gr/cm ³)	2,21	2,22	2,25	-
5.	Flow (mm)	3,97	3,60	3,33	2 – 6
6.	VIM (%)	12,99	12,05	10,06	10 – 28
7.	MQ (kg/mm)	71,96	89,19	102,31	Maks. 400

Tabel 9. Rekapitulasi hasil pengujian pada substitusi styrofoam 7%

No	Karakteristik Campuran	Kadar Aspal (%)			Spesifikasi AAPA (1997)
		5,26	5,76	6,26	
1.	Cantabro Loss (%)	25,43	20,85	13,75	Maks. 20
2.	Asphalt Flow Down (%)	0,19	0,21	0,26	Maks. 0,3
3.	Stabilitas (kg)	355,31	370,60	403,66	Min. 500
4.	Density (gr/cm ³)	2,20	2,21	2,24	-
5.	Flow (mm)	3,97	3,77	3,53	2 – 6
6.	VIM (%)	13,29	12,22	10,23	10 – 25
7.	MQ (Kg)	93,07	98,47	115,01	Maks. 400



Hasil analisis

Gambar 2. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan metoda AAPA (1997)

Tabel 10. Rekapitulasi hasil pengujian pada substitusi styrofoam 9%

No	Karakteristik Campuran	Kadar Aspal (%)			Spesifikasi AAPA (1997)
		5,26	5,76	6,26	
1.	<i>Cantabro Loss</i> (%)	29,57	27,73	15,27	Maks. 20
2.	<i>Asphalt Flow Down</i> (%)	0,17	0,20	0,23	Maks. 0,3
3.	Stabilitas (kg)	378,41	431,54	495,92	Min. 500
4.	<i>Density</i> (gr/cm ³)	2,19	2,22	2,23	-
5.	<i>Flow</i> (mm)	3,87	3,73	3,07	2 – 6
6.	VIM (%)	13,79	11,88	10,60	10 – 25
7.	<i>MQ</i> (kg)	99,39	116,16	169,05	Maks. 400

Dari **Table 8**, **Table 9**, dan **Table 10** di atas dengan 3 variasi substitusi *styrofoam*, peningkatan kadar aspal mengakibatkan nilai CL menurun, karena pengikatan terjadi lebih baik sehingga kehilangan berat menjadi lebih kecil. Pada kadar aspal 6,26% nilai CL masih di bawah 20%. Tetapi pada kadar aspal 5,76% nilai CL sudah melampaui batas, kecuali pada substitusi *Styrofoam* 5%. Hal ini menunjukkan bahwa kadar aspal terbaik dalam penelitian ini adalah 6,26%.

Peningkatan kadar aspal menyebabkan nilai AFD juga ikut meningkat. Hal ini disebabkan karena bertambahnya kadar *styrofoam* dalam aspal yang menyebabkan tingkat pemisahan aspal dalam campuran semakin besar. Sementara semakin bertambahnya kadar aspal maka nilai CL campuran semakin kecil atau dengan kata lain ketahanan campuran terhadap kehancuran (pelepasan butir) semakin besar. Meningkatnya ketahanan campuran terhadap pelepasan butir ini disebabkan karena semakin banyak jumlah *styrofoam* yang tercampur ke dalam aspal, sehingga pada bagian inti benda uji atau campuran dapat terikat oleh aspal secara sempurna.

Peningkatan kadar aspal dan bertambahnya substitusi *Styrofoam* menunjukkan bahwa kekuatan campuran aspal porus ini semakin baik, walaupun masih dibawah standar minimal yang disyaratkan untuk lalu lintas rendah oleh AAPA. Ini dapat dilihat bahwa pada kadar aspal 6,26% untuk setiap substitusi *Styrofoam* adalah nilai stabilitas tertinggi.

Peningkatan kadar aspal mempengaruhi naiknya nilai *density*, namun peningkatan substitusi *Styrofoam* membuat nilai *density* menurun walaupun penurunan tersebut tidak mempengaruhi nilai *density* secara signifikan atau dengan kata lain *density* campuran relatif konstan pada masing-masing persentase *styrofoam*. Hasil ini menunjukkan bahwa persentase pori dalam campuran menjadi kecil sehingga kepadatan benda uji menjadi lebih baik.

Nilai *flow* semakin turun apabila kadar aspal semakin meningkat. Hal tersebut terjadi karena pengaruh

penggunaan *styrofoam* ke dalam aspal penetrasi 60/70 yang menyebabkan aspal menjadi lebih keras, karena pencampuran antara aspal penetrasi 60/70 dengan *styrofoam* diketahui bahwa sifat aspal menjadi lebih keras dengan nilai penetrasi menjadi lebih kecil dan titik lembek meningkat. Nilai *flow* pada semua variasi *styrofoam* dan kadar aspal masih memenuhi spesifikasi campuran aspal porus yang disyaratkan AAPA (1997) yaitu berkisar antara 2 mm – 6 mm.

VIM menunjukkan banyaknya persentase rongga dalam campuran. Nilai VIM secara umum mengalami penurunan sejalan dengan penambahan kadar aspal. Semakin besar penggunaan *Styrofoam* juga mempengaruhi semakin kecilnya nilai pori-pori udara dalam campuran. Kondisi ini disebabkan karena pori-pori udara yang telah diisi oleh aspal dan mineral halus lainnya. VIM ini merupakan salah satu properties penting dalam desain campuran aspal porus, jenis konstruksi ini direncanakan khusus supaya sesudah penghamparan dan pemadatan di lapangan masih mempunyai rongga yang besar, sehingga jenis konstruksi ini memiliki sifat lolos air (*permeability*) yang baik.

Dari analisis terhadap semua karakteristik campuran aspal porus di atas dapat dinyatakan bahwa kadar aspal terbaik untuk campuran dalam penelitian ini adalah pada substitusi *styrofoam* 9% dan kadar aspal 6,26%. Hal ini ditentukan pada nilai stabilitas tertinggi dan karakteristik campuran lainnya memenuhi syarat. Langkah terakhir adalah melakukan uji permeabilitas dan durabilitas pada kadar aspal terbaik ini.

3.3 Hasil pengujian permeabilitas dan durabilitas pada kadar aspal terbaik

Berdasarkan kadar aspal terbaik dengan gradasi yang sama dibuat 3 (tiga) buah benda uji dengan komposisi campuran pada aspal terbaik untuk pengujian permeabilitas dan durabilitas. Rekapitulasi hasil pengujian permeabilitas dan durabilitas campuran aspal porus pada kadar aspal terbaik disajikan pada **Tabel 11** dan **12** berikut :

Tabel 11. Hasil pengujian permeabilitas

No.	Kadar Aspal (%)	Kadar <i>Styrofoam</i> (%)	Tebal Benda Uji (cm)	Waktu Pengaliran (det)	Permeabilitas (K)
1.	6,26	9	7,65	17,52	0,1447

Tabel 12. Hasil pengujian durabilitas

No	Kadar Aspal (%)	Kadar Styrofoam (%)	Stab. Rendaman 30 Menit	Stab. Rendaman 24 Jam	Nilai Durabilitas (%)
	A	B	C	D	E = D/C
1.	6,26	9	495,92	399,78	80,613

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan dan saran antara lain:

1. Semakin besar persentase *styrofoam* nilai stabilitas campuran juga semakin meningkat. Namun demikian nilai stabilitas yang diperoleh masih belum memenuhi spesifikasi yang disyaratkan AAPA (1997) untuk lalu lintas sedang yaitu minimal sebesar 500 kg. Walaupun nilai stabilitas tertinggi diperoleh sebesar 495,92 kg pada kadar aspal 6,26 dan substitusi *Styrofoam* 9%.
2. Semakin besar kadar aspal menyebabkan nilai AFD campuran juga ikut meningkat sehingga tingkat pemisahan aspal dengan agregat dalam campuran semakin besar.
3. Peningkatan kadar aspal menyebabkan nilai CL semakin menurun dengan kata lain ketahanan campuran terhadap pelepasan butir semakin besar. Nilai CL pada kadar aspal terbaik sebesar 15,27%.
4. Campuran aspal porus dalam penelitian ini masih cukup baik karena nilai permeabilitas diperoleh sebesar 0,1447 cm/det, masih memenuhi spesifikasi yaitu 0,0575 cm/det – 0,2493 cm/det.
5. Campuran aspal porus dalam penelitian ini hanya mempunyai nilai durabilitas 80,613%, seharusnya \geq 90% untuk aspal impermeable. Namun karena sifatnya yang lolos air, maka rasio antara stabilitas direndam selama 24 jam pada suhu 60°C dengan benda uji yang direndam selama 30 menit pada suhu yang sama masih dapat digunakan.
6. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan kajian dengan penambahan persentase substitusi *Styrofoam* sampai batas karakteristik campuran masih memenuhi syarat dan juga untuk memanfaatkan bahan limbah polimer lainnya yang sulit terurai di alam dengan uji viskositas aspal modifikasi ini.

Daftar Pustaka

- Affan, M, 2006, *Studi Peranan Rongga Terhadap Stabilitas dan Durabilitas Campuran Aspal Porus Akibat Penambahan Mortar*, Tesis, Magister Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala.
- Anonim, 2004, *Pedoman Pekerjaan Campuran Beraspal Panas*, Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen PU.
- Anonim, 2008, *Kemasan Polistirena Foam (Styrofoam) (on line)*, Ditwas Produk & Bahan Bahaya, InfoPOM: Badan POM RI.
- AAPA, Australian Asphalt Pavement Association, 1997, *Open Graded Asphalt Design Guide*, Australian.
- Bukhari, dkk, 2007, *Rekayasa Bahan dan Tebal Perkerasan*, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala.
- Diana, I.W., 1995, *Aspal Porus*, Bandar Lampung: Fakultas Teknik, UNILA.
- Diana, I.W., 2004, *The Influence of Using Modified Asphalt on Durability of Porous Asphalt*, Laporan Penelitian, Bandar Lampung: Fakultas Teknik, UNILA.
- Mashuri dan Batti, 2011, *Pemanfaatan Material Limbah pada Campuran Panas*, Makalah Ilmiah Teknik Sipil Mektek, Palu: Fakultas Teknik, Universitas Tadulako.
- Pei-Hung, Y, 2000, *A Study of Potential Use of Asphalt Containing Synthetic Polymers for Asphalt Paving Mixes*, Hal. 2-10. USA: UMI.
- Sukirman, S, 2003, *Beton Aspal Campuran Panas*, Bandung: Penerbit Granit.

