

Pengaruh Minyak Biji Nyamplung pada *Bio-Flux Oil* Sebagai *Modifier* Asbuton Butiran Terhadap Kinerja Asbuton Campuran Panas

Ratna Yuniarti

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram
Jl. Majapahit 62 Mataram 83125 Telp. (0370) 636126, 638436
E-mail: ratna_yuniarti@yahoo.com

Abstrak

Sampai saat ini, kebutuhan aspal di Indonesia masih tergantung dari impor karena produksi dalam negeri masih belum mencukupi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penggunaan asbuton perlu terus dikembangkan. Namun demikian, mortal aspal pada asbuton masih terperangkap pada mineralnya sehingga dibutuhkan bahan pelunak yang dapat meningkatkan kualitas asbuton. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh proporsi minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) sebagai bagian dari *bio-flux oil* terhadap kinerja campuran aspal panas menggunakan asbuton. *Bio-flux oil* yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 5 komposisi dengan proporsi minyak biji nyamplung pada rentang 20-28%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja campuran yang terbaik diperoleh pada proporsi minyak biji nyamplung dalam *bio-flux oil* sebesar 28% pada kadar aspal optimum 5,1%. Pada campuran tersebut, nilai stabilitas Marshall adalah 1699,1 kg, flow 3,3 mm, Marshall Quotient 516,1 kg/mm, VMA 15,10%, VIM 4,65%, VFB 69,24%, dan ITS 211,5 kPa. Menurut Departemen PU (2007), persyaratan stabilitas Marshall adalah minimal 1000 kg, flow minimal 3,0 mm, Marshall Quotient minimal 300 kg/mm, VMA minimal 15%, VIM 3,5 - 5,5% dan VFB minimal 65%. Proporsi minyak biji nyamplung dalam *bio-flux oil* tersebut menghasilkan campuran yang memenuhi persyaratan asphalt concrete-wearing course.

Kata-kata Kunci: *Calophyllum inophyllum* L., *bio-flux oil*, *modifier*, asbuton butiran.

Abstract

Nowaday, the need of petroleum asphalt in Indonesia still depend on import due to limited production in the country. To overcome this problem, it is necessary to develop the use of Buton natural asphalt (asbuton). However, the bitumen of asbuton is trapped in its mineral so that the modifier to produce high quality of hot mix asphalt is needed. The aim of this study is to know the influence of *Calophyllum inophyllum* L. oil as part of *bio-flux oil* on performance of hot mix asphalt containing buton granular asphalt. *Bio-flux oil* which is used in this study consists of 5 compositions, with the proportion of the oil derived from oil nut tree in the range of 20-28%. The result of this study showed that the best performance was obtained from 28% of the oil derived from oil nut tree at the optimum bitumen content of 5,1%. On that mixture, Marshall stability was 1699,1 kg, flow was 3,3 mm, Marshall Quotient was 516,1 kg/mm, VMA was 15,1%, VIM was 4,65%, VFB was 69,24% and ITS was 211,5 kPa. According to Ministry of Public Work (2007), a minimum Marshall stability required at 1000 kg, a minimum flow set at 3,0 mm, a minimum Marshall Quotient required at 300 kg/mm, a minimum VMA required at 15%, a range of VIM between 3,5%-5,5% and a minimum VFB required at 65%. The proportion of said *Calophyllum inophyllum* oil in *bio-flux oil* is being used in the mixture has fulfilled the requirements of asphalt concrete-wearing course.

Keywords: *Calophyllum inophyllum* L., *bio-flux oil*, *modifier*, buton granular asphalt.

1. Pendahuluan

Dalam rangka meningkatkan ketahanan ekonomi nasional, ketergantungan terhadap produk-produk impor harus ditekan sampai sekecil mungkin. Namun sampai saat ini, pemenuhan kebutuhan aspal di Indonesia masih tergantung dari impor karena produksi dalam negeri masih belum mencukupi. Untuk memenuhi kebutuhan aspal sebesar 1 - 1,2 juta ton pertahun, sebanyak 400 ribu ton diproduksi Pertamina Cilacap, 200 - 250 ribu ton diimpor Pertamina dan

sisanya melalui impor langsung (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2008). Di samping permasalahan kuantitas, penggunaan aspal minyak juga dihadapkan pada permasalahan kualitas. Semakin tinggi teknologi penyulingan minyak bumi di kilang-kilang minyak, aspal semakin menjadi bahan "sisa" karena fraksi yang dibutuhkan dalam aspal menjadi berkurang.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penggunaan aspal alam yang berasal dari Pulau Buton (asbuton) seyogyanya terus dikembangkan. Dengan cadangan

tambang asbuton yang mencapai 677,247 juta ton (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2006), kebutuhan aspal yang independen dalam negeri akan terpenuhi sehingga dapat meningkatkan daya saing nasional. Namun demikian, kualitas asbuton yang berbentuk butiran lebih rendah dibandingkan dengan aspal minyak. Mortar aspal pada asbuton butiran masih terperangkap pada mineralnya sehingga belum berfungsi dengan baik sebagai bahan pengikat (Agus, 1998).

Penggunaan minyak nabati untuk meningkatkan kinerja aspal telah disebutkan dalam sejumlah pustaka. Dalam klaim paten nomor WO 200808414 20080717 pada *World Intellectual Property Organization* (WIPO) oleh Nigen-Chaidron and Porot (2008) disebutkan bahwa bahan peremaja dari minyak sawit cocok digunakan pada proses pengaspalan dengan teknik daur ulang di tempat (*in place recycling*) dan *central plant recycling* jenis *hot mix*. Yuniarti (2012) menyimpulkan bahwa pemberian minyak biji nyamplung sebesar 3% terhadap kadar aspal dapat meremajakan kondisi aspal bekas yang telah memikul beban lalu lintas selama bertahun-tahun sehingga dapat dipakai kembali pada konstruksi perkerasan jalan raya. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, dalam penelitian ini akan dikaji pengaruh proporsi minyak biji nyamplung sebagai bagian dari *bio-flux oil* untuk meningkatkan kinerja asbuton.

Nyamplung adalah tanaman tropis tahunan dari keluarga manggis-manggisan (*Guttiferae*), dengan nama botani *Calophyllum inophyllum* L. Di Papua New Guinea, tanaman ini disebut sebagai *beach calophyllum* dan dalam bahasa Inggris dikenal sebagai *oil nut tree*. Pohon nyamplung memiliki tinggi 8-20 meter dan diameter dapat mencapai 100 cm. Tanaman ini sangat toleran terhadap cekaman kekeringan dan kadar garam yang tinggi (Friday and Okano, 2006). Tanaman nyamplung telah dibudidayakan dengan baik di O'ahu, Moloka'i, Kaua'i, Waiakea (Hawai'i) serta sejumlah kepulauan di Samudera Pasifik dengan kerapatan tanam antara 400 hingga 1000 batang pohon per hektar. Tanaman nyamplung berbuah dua kali setahun sekitar bulan Mei dan Nopember dan menghasilkan 100 kg buah kering/pohon/tahun (setara dengan 58 kg biji kering/pohon/tahun) atau sekitar 30 ton biji kering/hektar/tahun. Tanaman ini mulai berbuah pada umur tujuh tahun dan dapat bertahan hingga umur 70 tahun. Yuniarti (2008) menyebutkan bahwa kadar minyak biji nyamplung adalah sebesar 26,5% berat biji kering.

Di Pulau Lombok, pohon nyamplung banyak dijumpai di tepi-tepi pantai dan bantaran sungai. **Gambar 1** berikut menunjukkan pohon nyamplung yang berada di Jalan Udayana Mataram, sedangkan **Gambar 2** menunjukkan biji nyamplung tersebut.



Gambar 1. Pohon nyamplung



Gambar 2. Biji nyamplung

Dengan penggunaan *bio-flux oil* dari minyak biji nyamplung dan bahan-bahan alami lainnya sebagai *modifier*, kualitas asbuton diharapkan dapat terus ditingkatkan sehingga mampu bersaing dengan aspal minyak. Hal tersebut merupakan salah-satu solusi permasalahan ketergantungan terhadap impor aspal minyak mengingat Indonesia merupakan negara yang memiliki tambang aspal alam terbesar di dunia dan tanah yang subur dengan keaneka-ragaman hayati.

2. Metode Penelitian

Jenis campuran yang akan dibuat adalah Laston *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC), yaitu campuran beraspal bergradasi menerus sebagai lapisan aus pada perkerasan jalan dengan lalu lintas berat. Gradasi yang digunakan dalam campuran Laston AC-WC menggunakan persyaratan seperti pada **Tabel 1** (Departemen PU, 2007).

Asbuton yang digunakan adalah asbuton butiran type T5/20. Campuran dibuat sesuai dengan spesifikasi pada **Tabel 1** yaitu terdiri dari 62% agregat kasar, 33% agregat halus dan 5% *filler* dengan penyesuaian jumlah agregat akibat kandungan mineral asbuton. Pencampuran dilakukan secara panas (*hot mix*) pada suhu 155°C dengan kadar aspal rencana 4,5%; 5%; 5,5%; 6% dan 6,5% sedangkan pemadatan dilakukan sebanyak 75 kali pada kedua sisinya dengan alat pemadat Marshall. Sesuai dengan ketentuan Bina Marga (1998) bahwa

Tabel 1. Spesifikasi gradasi agregat untuk Laston AC-WC

Ukuran ayakan		% berat yang lolos
ASTM	(mm)	Laston AC-WC
1½"	37,5	-
1"	25	-
¾"	19	100
½"	12,5	90 – 100
3/8"	9,5	Maks 90
No. 8	2,36	28 – 58
No. 16	1,18	-
No. 30	0,600	-
No. 200	0,075	4 – 10
DAERAH LARANGAN		
No. 4	4,75	-
No. 8	2,36	39,1
No. 16	1,18	25,6 – 31,6
No. 30	0,600	19,1 – 23,1
No. 50	0,300	15,5

jumlah *modifier* yang digunakan pada asbuton butiran adalah 62% dari kadar aspal rencana, maka *bio-flux oil* yang digunakan pada masing-masing kadar aspal tersebut berturut-turut adalah 2,79%; 3,1%; 3,41%, 3,72% dan 4,03%.

Adapun *bio-flux oil* yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 5 komposisi dengan proporsi minyak biji nyamplung sesuai **Tabel 2** berikut:

Tabel 2. Proporsi minyak biji nyamplung dalam *bio-flux oil*

<i>Bio-flux oil</i>	Proporsi minyak biji nyamplung dalam <i>bio-flux oil</i> (%)
<i>Bio-flux oil A</i>	20
<i>Bio-flux oil B</i>	22
<i>Bio-flux oil C</i>	24
<i>Bio-flux oil D</i>	26
<i>Bio-flux oil E</i>	28

Masing-masing proporsi minyak biji nyamplung pada *bio-flux oil* tersebut akan diuji pengaruhnya terhadap kinerja campuran asbuton. Parameter pengujian yang digunakan adalah stabilitas Marshall, *flow*, Marshall Quotient, *voids in mix* (VIM), *voids in the mineral aggregate* (VMA), *voids filled with bitumen* (VFB) dan *indirect tensile strength* (ITS). Pengujian ITS dilakukan dengan memberi beban axial pada benda uji berbentuk briket dengan tebal = t dan diameter = d. Nilai ITS dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$ITS = \frac{2 P_{maks}}{\pi t d} \quad (1)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian terhadap karakteristik minyak biji nyamplung disajikan pada **Tabel 3** sedangkan karakteristik agregat dan asbuton disajikan pada **Tabel 4** dan **Tabel 5**.

Tabel 3. Hasil pengujian minyak biji nyamplung

Jenis pengujian	Hasil pengujian
Berat jenis	0,953
<i>Viscositas pada 37°C (centistokes)</i>	57,36
Titik nyala (°C)	213
Penurunan berat (%)	1,935
Kelarutan dalam CCl ₄ (%)	95,21
Kandungan kimia :	
Karbon (%)	52,18
Nitrogen (%)	0,01
Belerang (%)	0,12

Tabel 4. Hasil pengujian agregat kasar dan halus

Jenis pengujian	Hasil pengujian			Persyaratan *)
	Agregat kasar	Agregat halus	Filler	
Keausan impact (%)	9,27	-	-	Maks. 40
Berat jenis bulk	2,684	2,735	2,631	Min. 2,5
Berat jenis semu	2,784	2,738	2,641	Min. 2,5
Kelekatatan agregat terhadap aspal (%)	100	-	-	Min. 95

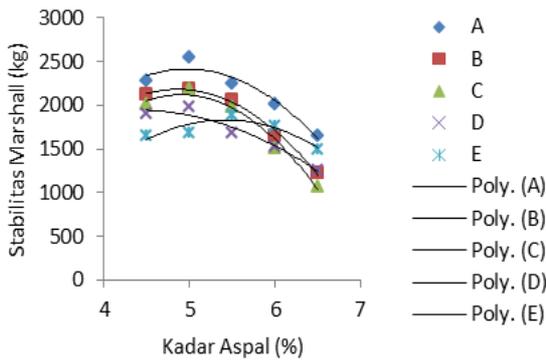
Sumber :*) Departemen PU, 2007

Tabel 5. Hasil pengujian asbuton

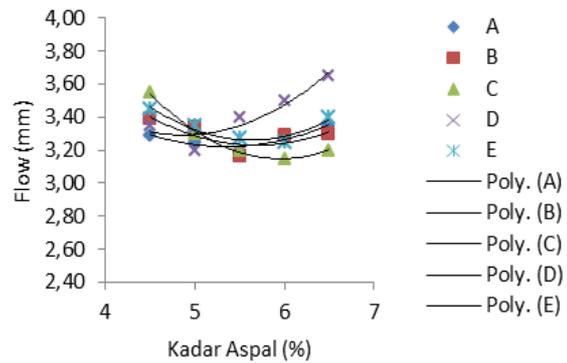
Jenis pengujian	Hasil pengujian	Spesifikasi asbuton T5/20*)
Kadar bitumen (%)	20,31	18 - 22
Kadar air (%)	0,325	< 2
Penetrasi pada 25°C, 5 detik, 0,1 mm	9,4	≤ 10
Ukuran butiran (%) lolos) :	100%	100%
Saringan No. 8	96,55%	Min. 95%
Saringan No. 16	85,07%	-
Saringan No. 30	50,16%	-
Saringan No. 50	33,35%	-
Saringan No. 100	12,84%	-
Saringan No. 200	-	-
Berat jenis bulk	1,993	-
Berat jenis <i>apparent</i>	2,106	-

Sumber : *) Direktorat Jenderal Bina Marga, 2006.

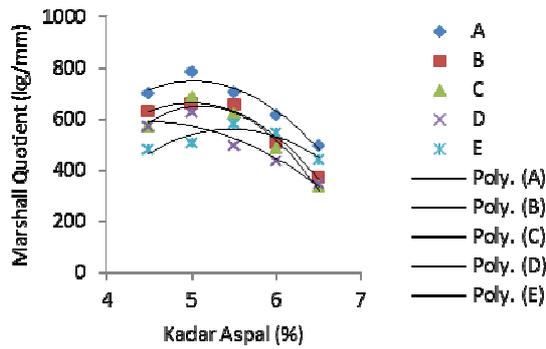
Berdasarkan **Tabel 4** dan **Tabel 5** di atas, agregat dan asbuton yang digunakan telah memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan. Hasil pengujian stabilitas Marshall, *flow*, Marshall Quotient, VIM, VMA dan VFB untuk masing-masing proporsi minyak biji nyamplung pada *bio-flux oil* disajikan pada **Gambar 3** sampai dengan **Gambar 8**.



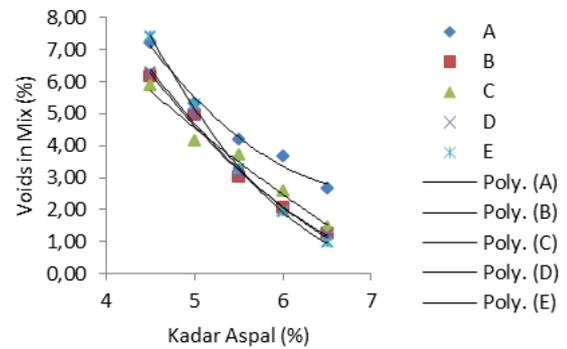
Gambar 3. Kadar aspal vs stabilitas Marshall



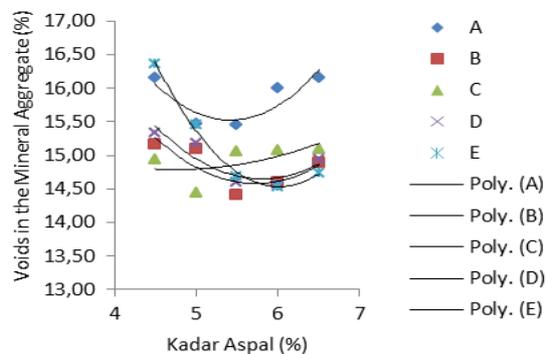
Gambar 4. Kadar aspal vs flow



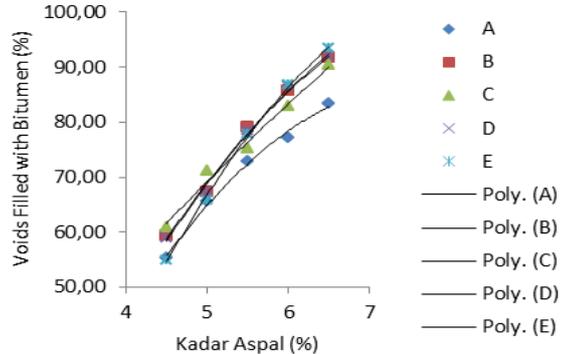
Gambar 5. Kadar aspal vs Marshall Quotient



Gambar 6. Kadar aspal vs VIM



Gambar 7. Kadar aspal vs VMA



Gambar 8. Kadar aspal vs VFB

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai stabilitas Marshall ditunjukkan pada **Gambar 3**. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa nilai stabilitas Marshall mempunyai kecenderungan yang sama pada seluruh kadar minyak biji nyamplung. Pada campuran dengan kadar aspal 5%, nilai stabilitas Marshall mencapai maksimum. Selanjutnya, penambahan asbuton dan *bio-flux oil* yang telah melampaui kadar 5% menurunkan nilai stabilitas Marshall. Semakin besar kadar aspal pada campuran, jumlah asbuton dan *bio-flux oil* semakin bertambah pula. Penambahan asbuton dan *bio-flux oil* tersebut akan berdampak pada berkurangnya gesekan internal antar agregat akibat selimut aspal yang semakin tebal sehingga menurunkan nilai stabilitas Marshall tersebut.

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara kadar aspal dengan kelelahan (*flow*). Pemeriksaan kelelahan diperlukan untuk mengukur besarnya deformasi yang terjadi akibat beban. Dari gambar tersebut terlihat bahwa penambahan kadar aspal menyebabkan nilai *flow* menurun sampai mencapai minimum karena penambahan kadar aspal akan membuat kepadatan campuran menjadi tinggi dan apabila diberikan beban maka perubahan plastis yang terjadi menjadi lebih kecil. Namun pada penambahan kadar aspal selanjutnya, nilai *flow* cenderung menjadi lebih besar karena dengan penambahan tersebut maka selimut aspal semakin tebal dan campuran akan menjadi semakin lentur sehingga defleksinya menjadi besar. Pada seluruh proporsi minyak biji nyamplung dalam *bio-flux oil*, defleksi minimum yang terjadi pada saat campuran menerima beban sesuai dengan persyaratan yaitu minimal 3 mm.

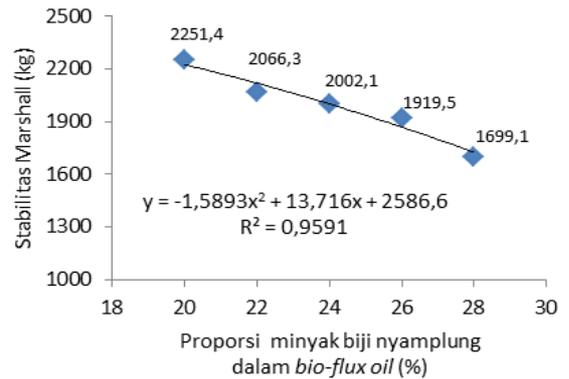
Gambar 5 menunjukkan hubungan antara kadar aspal dan Marshall Quotient (MQ). Nilai MQ yang digunakan sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan campuran ini sangat dipengaruhi oleh besarnya nilai stabilitas Marshall dan *flow*. Jika dibandingkan dengan spesifikasi campuran Laston AC-WC, seluruh kombinasi campuran memenuhi persyaratan MQ yang telah ditetapkan.

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara kadar aspal dengan nilai *voids in mix* (VIM). Berdasarkan gambar tersebut, nilai VIM semakin kecil seiring dengan penambahan kadar aspal pada campuran. Semakin besar kadar aspal rencana, semakin banyak volume pori pada campuran yang terisi oleh bitumen dan *bio-flux oil* sehingga memperkecil nilai VIM tersebut.

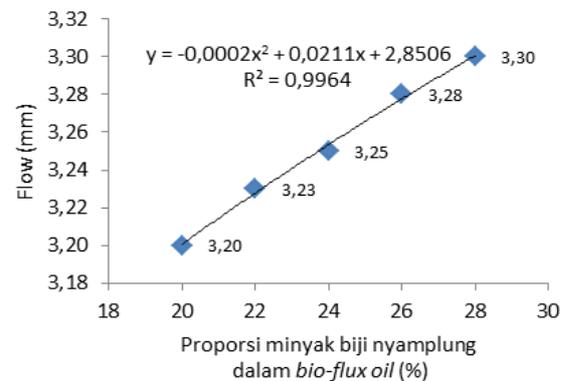
Gambar 7 menunjukkan hubungan antara kadar aspal dengan *Voids in The Mineral Aggregate* (VMA). Berdasarkan **Gambar 7**, terlihat bahwa penambahan kadar aspal sampai batas optimum mengakibatkan nilai VMA menurun. Hal itu disebabkan karena pada kadar aspal optimum tingkat pemadatan aspal mencapai maksimum sehingga rongga antar agregat yang terbentuk semakin kecil. Namun penambahan kadar aspal selanjutnya membuat campuran cenderung menjadi “basah” dan ikatan antara aspal dan agregat menjadi berkurang sehingga rongga yang terbentuk antar agregat menjadi besar.

Gambar 8 menunjukkan hubungan antara kadar aspal dengan *voids filled with bitumen* (VFB). Pada seluruh proporsi campuran, terlihat bahwa semakin besar kadar aspal, nilai VFB semakin besar pula. Hal ini disebabkan karena semakin besar kadar aspal, selimut aspal juga semakin tebal. Pada kadar aspal rencana 4,5% nilai VFB tidak memenuhi persyaratan spesifikasi Laston AC-WC, namun pada penambahan kadar aspal selanjutnya, nilai VFB telah memenuhi persyaratan yang ditentukan.

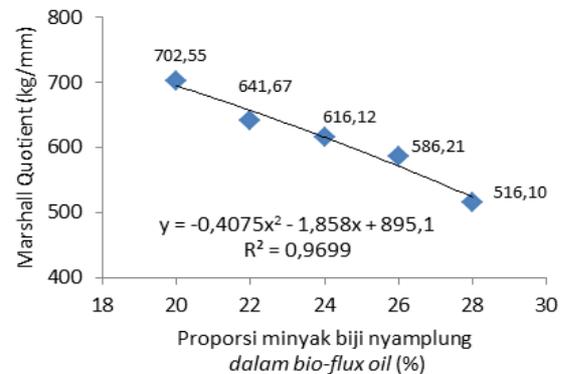
Menurut Departemen Pekerjaan Umum (2007), persyaratan Laston AC-WC untuk stabilitas Marshall adalah minimal 1000 kg, *flow* minimal 3,0 mm, Marshall Quotient minimal 300 kg/mm, VIM antara 3,5 -5,5%, VMA minimal 15% dan VFB minimal 65%. Berdasarkan **Gambar 3** sampai dengan **Gambar 8** di atas, dapat ditentukan kadar aspal optimum, yaitu nilai tengah kadar aspal yang memenuhi semua persyaratan tersebut. Kadar aspal optimum pada campuran asbuton menggunakan *bio-flux oil* A adalah 5,5%. Pada campuran asbuton menggunakan *bio-flux oil* B, C dan D, kadar aspal optimum masing-masing adalah 5,2%, sedangkan kadar aspal optimum pada campuran menggunakan *bio-flux oil* E adalah 5,1%. Selanjutnya nilai stabilitas Marshall, *flow*, Marshall Quotient, VIM, VMA dan VFB pada masing-masing kadar aspal optimum disajikan pada **Gambar 9** sampai **Gambar 14** berikut :



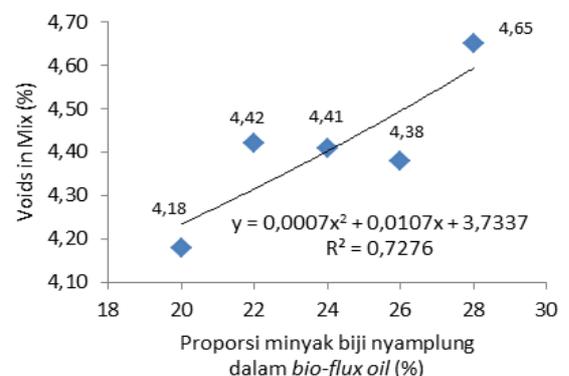
Gambar 9. Nilai stabilitas Marshall pada kadar aspal optimum



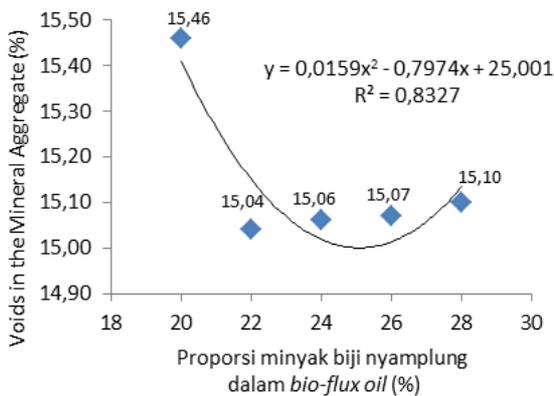
Gambar 10. Nilai *flow* pada kadar aspal optimum



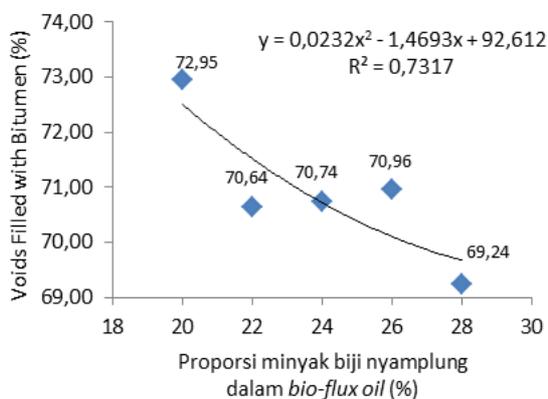
Gambar 11. Nilai Marshall Quotient pada kadar aspal optimum



Gambar 12. Nilai VIM pada kadar aspal optimum



Gambar 13. Nilai VMA pada kadar aspal optimum



Gambar 14. Nilai VFB pada kadar aspal optimum

Gambar 9 menunjukkan hubungan antara proporsi minyak biji nyamplung dalam *bio-flux oil* dengan stabilitas Marshall pada kadar aspal optimum. Pada gambar tersebut terlihat bahwa semakin banyak proporsi minyak biji nyamplung, stabilitas Marshall semakin kecil. Nilai R^2 sebesar 0,9591 menunjukkan keterkaitan yang sangat kuat antara penambahan minyak biji nyamplung dalam *bio-flux oil* dengan nilai stabilitas Marshall. Semakin banyak minyak biji nyamplung dalam *bio-flux oil*, semakin rendah pula viskositas *bio-flux oil* tersebut sehingga menurunkan daya ikat dalam campuran asbuton dan memperkecil nilai stabilitas Marshall.

Gambar 10 menunjukkan hubungan antara proporsi minyak biji nyamplung dalam *bio-flux oil* dengan nilai *flow* pada kadar aspal optimum. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa nilai *flow* semakin besar seiring dengan penambahan proporsi minyak biji nyamplung. Keterkaitan yang sangat erat antara penambahan minyak biji nyamplung pada *bio-flux oil* dengan nilai *flow* ditunjukkan dengan koefisien determinasi R^2 sebesar 0,9964. Penambahan minyak biji nyamplung dalam *bio-flux oil* membuat campuran asbuton menjadi semakin lentur. Hal itu berarti defleksi yang terjadi pada saat campuran menerima beban maksimum semakin besar dengan penambahan kadar minyak biji nyamplung pada *bio-flux oil* tersebut.

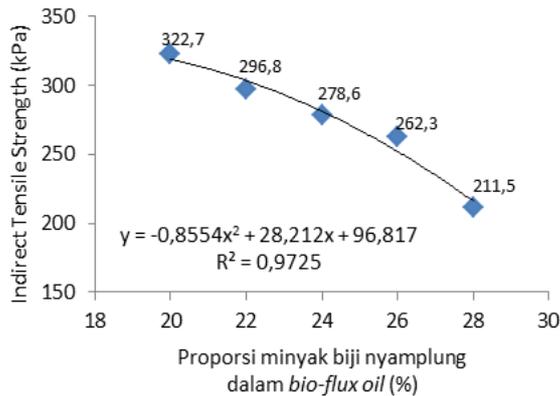
Hubungan antara proporsi minyak biji nyamplung dalam *bio-flux oil* dengan nilai Marshall Quotient (MQ) pada masing-masing kadar aspal optimum disajikan pada Gambar 11. Karena Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas Marshall dan *flow*, maka nilai MQ inipun menjadi semakin kecil seiring dengan penambahan proporsi minyak biji nyamplung dalam *bio-flux oil*.

Gambar 12 menunjukkan hubungan antara proporsi minyak biji nyamplung dalam *bio-flux oil* dengan nilai VIM pada kadar aspal optimumnya. Pada *bio-flux oil* B, C dan D yang memiliki kadar aspal optimum yang sama, penambahan proporsi minyak biji nyamplung dalam *bio-flux oil* menyebabkan nilai VIM semakin kecil. Hal ini disebabkan karena berat jenis minyak biji nyamplung sebesar 0,953 lebih rendah dibandingkan dengan bahan pembentuk *bio-flux oil* lainnya, sehingga penambahan proporsi minyak biji nyamplung akan memperbesar volume *bio-flux oil* dan memperkecil rongga dalam campuran tersebut. Nilai VIM yang terlalu besar menyebabkan campuran asbuton akan berkurang tingkat kekedapan airnya dan menurunkan durabilitas dari campuran tersebut. Sebaliknya nilai VIM yang terlalu kecil mengakibatkan campuran mudah mengalami *bleeding* terutama jika temperatur meningkat.

Hubungan antara proporsi minyak biji nyamplung dalam *bio-flux oil* dengan nilai VMA pada masing-masing kadar aspal optimum disajikan pada Gambar 13. Pada *bio-flux oil* B, C dan D yang memiliki kadar aspal yang sama, nilai VMA cenderung meningkat seiring dengan penambahan proporsi minyak biji nyamplung. Hal ini disebabkan karena penambahan proporsi minyak biji nyamplung dengan berat jenis yang lebih kecil tadi akan memperbesar volume pori yang dapat diisi oleh *bio-flux oil*.

Gambar 14 menunjukkan hubungan antara proporsi minyak biji nyamplung dalam *bio-flux oil* dengan nilai VFB pada kadar aspal optimum. Proporsi minyak biji nyamplung sebesar 28% pada *bio-flux oil* menurunkan nilai VFB sebesar 5,09% dibandingkan dengan proporsi 20% minyak biji nyamplung dalam *bio-flux oil* tersebut. Nilai R^2 sebesar 0,7317 menunjukkan bahwa besarnya rongga yang terselimuti aspal tidak hanya dipengaruhi oleh proporsi minyak biji nyamplung tetapi juga faktor-faktor lain. Berat jenis minyak biji nyamplung yang lebih kecil dari bahan-bahan pembentuk *bio-flux oil* lainnya akan memperbesar volume pori yang terisi oleh *bio-flux oil* sehingga selimut aspal yang terbentuk akan semakin tebal.

Indirect tensile strength (ITS) atau tegangan tarik tidak langsung dimaksudkan untuk mencari reaksi kemampuan maksimum campuran aspal terhadap tarikan. Pada Gambar 15 disajikan nilai ITS pada kadar aspal optimum untuk masing-masing *bio-flux oil*.



Gambar 15. Nilai ITS pada kadar aspal optimum

Berdasarkan **Gambar 15** di atas, terlihat bahwa penambahan proporsi minyak biji nyamplung dalam *bio-flux oil* semakin menurunkan nilai tegangan tarik tidak langsung. Pada *bio-flux oil* dengan 20% minyak biji nyamplung, nilai ITS adalah 322,7 kPa sementara *bio-flux oil* dengan 28% minyak biji nyamplung nilai ITS sebesar 211,5 kPa. Berdasarkan **Gambar 9** dan **Gambar 15**, nilai ITS mempunyai kecenderungan yang sama dengan nilai stabilitas Marshall. Dengan R^2 masing-masing sebesar 0,9725 dan 0,9591; diprediksi bahwa penambahan proporsi minyak biji nyamplung pada *bio-flux oil* yang lebih dari 28% akan semakin menurunkan nilai ITS dan stabilitas Marshall. Sebaliknya, proporsi minyak biji nyamplung yang kurang dari 28% akan meningkatkan nilai ITS dan stabilitas Marshall tersebut. Nilai stabilitas yang terlalu tinggi menyebabkan campuran menjadi kaku dan mudah retak sehingga durabilitasnya menjadi rendah.

Ditinjau dari kadar aspal optimum, seluruh proporsi *bio-flux oil* telah memenuhi ketentuan yang berlaku. Selanjutnya untuk menentukan *bio-flux oil* yang direkomendasikan, antara lain dapat ditentukan dari **Gambar 7**. Pada **Gambar 7** tersebut, nilai VMA terkecil dari *bio-flux oil* A berada di atas batas minimum 15%. Pada kondisi ini, campuran yang berada di sisi kiri titik minimum terlalu kering atau kemungkinan rongga udara terlalu tinggi, sedangkan campuran yang di sebelah kanan kemungkinan dapat menimbulkan *rutting* di lapangan. Sementara pada *bio-flux oil* B dan D, kurva VMA yang dihasilkan cenderung datar yang berarti campuran tersebut kurang sensitif terhadap penambahan kadar aspal. Adapun *bio-flux oil* C menghasilkan kurva VMA yang hanya memenuhi nilai persyaratan pada daerah “basah” sehingga besar kemungkinan akan menimbulkan *bleeding* jika diterapkan di lapangan. Dengan demikian, *bio-flux oil* yang direkomendasikan adalah *bio-flux oil* E dengan proporsi 28% minyak biji nyamplung. Ditinjau dari stabilitas Marshall dan Marshall Quotient, *bio-flux oil* tersebut menghasilkan campuran yang tidak terlalu kaku dibandingkan campuran dengan *bio-flux oil* lainnya sehingga kemungkinan terjadinya getas akan lebih mudah dihindari.

4. Kesimpulan

Berdasarkan uraian di atas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan proporsi minyak biji nyamplung dalam *bio-flux oil* memperkecil nilai stabilitas Marshall, Marshall Quotient dan tegangan tarik tidak langsung (ITS), namun memperbesar nilai *flow*.
2. Pada kadar aspal optimum yang sama, penambahan proporsi minyak biji nyamplung dalam *bio-flux oil* menyebabkan nilai VIM semakin kecil sedangkan nilai VMA dan VFB semakin besar.
3. *Bio-flux oil* yang direkomendasikan adalah *bio-flux oil* dengan kadar 28% minyak biji nyamplung. Pada campuran tersebut, nilai stabilitas Marshall adalah 1699,1 kg, *flow* 3,3 mm, Marshall Quotient 516,1 kg/mm, VMA 15,10%, VIM 4,65%, VFB 69,24%, dan ITS 211,5 kPa.
4. Proporsi minyak biji nyamplung yang lebih besar dari 28% pada *bio-flux oil* diprediksi akan menghasilkan stabilitas Marshall, Marshall Quotient dan ITS yang semakin menurun.

Daftar Pustaka

- Agus, R., 1998. *Perkembangan Teknologi Asbuton untuk Perkerasan Jalan*, Majalah Teknik Jalan dan Transportasi, Nomor 092 Juli 1998, Jakarta: Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia (HPJI).
- Departemen Pekerjaan Umum, 2007. *Buku III Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan*, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 1998, *Petunjuk Pelaksanaan Lasbutag dan Latasbusir*, Nomor 006/T/Bt/1998, Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2006. *Pedoman Umum Pemanfaatan Asbuton*, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2008, *Harga Aspal Naik, Potensi Asbuton Makin Menjanjikan Bagi Investor*, Berita Bina Marga 22 Juli, Departemen Pekerjaan Umum, <http://www.pu.go.id>
- Friday, J.B. and Okano, D., 2006, *Calophyllum inophyllum* (Kamani), *Species Profiles for Pacific Island Agroforestry*, www.traditionaltree.org
- Nigen-Chaidron, S. and Porot, L., 2008, *Rejuvenating Agent and Process for Recycling of Asphalt*, *World Intellectual Property Organization*.

Yuniarti, 2008, *Potensi Penggunaan Minyak Biji Nyamplung Sebagai Bahan Peremaja Aspal*, Mataram: Fakultas Teknik Universitas Mataram.

Yuniarti, R., 2012, Perubahan Fisik Aspal Bekas Akibat Penambahan Bahan Peremaja Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum L.*), *Jurnal Penelitian Universitas Mataram*, Vol. 2 No. 17, hal. 24-33, Mataram.