

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN ABU BATU APUNG SEBAGAI PENGGANTI FILLER UNTUK CAMPURAN ASPAL

A. Kumalawati.,MT
Tri M. W. Sir.,ST,M.Eng
Yovinianus Mastaram

ABSTRAK

Propinsi Nusa Tenggara Timur merupakan wilayah yang melimpah dengan kandungan batu apung. Batu apung merupakan lava berbuih terpadatkan yang tersusun atas piro klastik kaca yang amat mikroversikuler dengan dinding batuan beku gunung berapi ekstrusif yang bergelembung, amat tipis dan tembus cahaya dan merupakan produk umum letusan gunung berapi dan umumnya berbentuk zona-zona di bagian atas lava silikat. Kegunaan batuapung antara lain: bahan baku pembuat logam, bata ringan, bata tahan api, bahan cat, bahan plester, industry keramik, bahan baku amplas dan masih banyak lagi. Selain itu karena mengandung silica sehingga batu apung dapat dijadikan bahan pengganti filler pada campuran aspal

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan abu batu apung sebagai pengganti filler pada campuran aspal. Hal ini akan ditinjau dari nilai stabilitas dan kekelehannya. Adapun metode yang digunakan adalah metode Marshall. Pada metode Marshall ada beberapa tahap yang perlu dilakukan Antara lain: pengujian berat jenis, perencanaan gradasi agregat, perencanaan komposisi agregat, perhitungan berat jenis bulk agregat, pengujian berat jenis campuran maksimum dan perhitungan nilai-nilai parameter Marshall.

Hasil yang diperoleh dari pengujian ini adalah semakin tinggi kadar filler dalam campuran aspal, semakin tinggi pula nilai stabilitas. Sebaliknya nilai kekelehan semakin menurun dengan bertambahnya nilai kadar filler dalam campuran aspal. Berdasarkan hasil pengujian, nilai variasi filler yang memenuhi spesifikasi metode Marshall adalah 1% dan 2%, karena hanya kedua variasi kadar filler ini yang memenuhi semua nilai-nilai parameter Marshall.

Kata kunci: Abu batuapung, Marshall, Stabilitas, Kelelehan

ABSTRACT

East Nusa Tenggara province is a region abundant with pumice content. Pumice is a frothy lava composed of compacted glass pyroclastic with very mikroversikular wall extrusive igneous volcanoes bubbling, very thin and translucent and that is a common product of volcanic eruption and the general shape of the zones of the upper silicate lava

They uses of pumice, among others: metal , raw material, lightweight brick, paint, plaster material, ceramics, sand paper raw materials and much more, pumice stone contain silica so that it can be used as a substitute filler in asphalt mixture.

This research was conducted to determine the effect of using pumice stone ash as a substitute filler in asphalt mixture. It will be seen from the value of stability and flow by using Marshall. There are several steps in Marshall's method need to be done include: testing gravity, aggregate gradation planning, aggregate composition plane, aggregate bulk density calculation, the maximum mixture specific test and the calculations of the parameter values in Marshall's method.

The results of these research are finding higher levels of filler in asphalt mixture, the higher value of the stability while the value of flow decreases with increasing value of filler content in the asphalt mixture. Based on test results, the value of the variation of filler that meets spesifications Marshall's is 1% and 2%, as only two variations of these filler levels that meet all of parameter value Marshall.

Keywords : pumice stone ash, Marshall, stability, flow

PENDAHULUAN

Potensi sumber daya alam di bidang pertambangan cukup melimpah di propinsi Nusa Tenggara Timur. Salah satunya adalah potensi ketersediaan batu apung. Dilihat dari banyaknya batu apung yang ada di propinsi Nusa Tenggara Timur, sangat disayangkan apabila tidak dimanfaatkan secara baik. Oleh karena itu perlu suatu penelitian mendalam untuk menjadikan batu apung lebih berguna, khususnya pada bidang teknik sipil yaitu konstruksi jalan, dengan menggantikan fungsi semen sebagai *filler* konvensional dengan abu batu apung.

Berhubungan dengan adanya peningkatan volume lalu lintas setiap tahunnya, tidak dapat dipungkiri bahwa perkerasan HRS (*hot rolled set*) yang ada tidak bisa menampung beban lalu lintas yang bertambah. Melalui penelitian ini diharapkan mampu memberikan alternatif perkerasan selain HRS dengan memanfaatkan sumber daya alam yang ada, tetapi mempunyai kemampuan lebih dalam menahan beban lalu lintas dibanding perkerasan HRS. Penelitian ini menggunakan perkerasan LASTON (Lapisan Laston Beton) dengan melihat pengaruh penggunaan abu batu apung sebagai pengganti *filler* yang lolos saringan No. 200, dengan variasi *filler* uji adalah 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7% dan 8%. Pengaruh penggunaan *filler* ini akan ditinjau dari segi stabilitas dan segi ketahanan terhadap kelelahan (*flow*).

LANDASAN TEORI

Struktur Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah lapisan kulit permukaan yang keras yang diletakkan pada formasi tanah setelah selesainya pekerjaan tanah, atau dapat pula didefinisikan, perkerasan adalah struktur yang memisahkan antara ban kendaraan dengan tanah pondasi yang berada dibawahnya. (Hardiyatmo, 2007)

Bahan susun perkerasan aspal adalah aspal, agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*). Jenis agregat menurut diameter butirannya dibagi menjadi fraksi-fraksi sebagai berikut :

- a. Agregat kasar, yaitu batuan yang tertahan saringan No.8 (diameter 2,36 mm)
- b. Agregat halus yaitu batuan yang lolos saringan No.8 (diameter 2,36 mm) dan tertahan saringan no.200 (diameter 0,075mm)
- c. Bahan pengisi (*filler*), yaitu material yang lolos saringan no. 200 (diameter 0,075 mm).

Jenis-jenis laston panas yang sudah digunakan di Indonesia antara lain: lapisan aspal beton (Laston) atau AC (*asphalt concrete*), lapisan tipis aspal beton (Lastaton) atau HRS (*hot rolled sheets*) dan lapis tipis aspal pasir (Latasir) atau (*sand sheet*)

Laston adalah suatu lapis permukaan yang terdiri dari campuran laston keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam kondisi panas atau suhu tertentu. Laston bersifat kedap air, mempunyai nilai struktural, awet. Tipe kerusakan yang biasanya terjadi adalah retak dan terlepasnya butiran.

Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi atau *filler* adalah material berbutir halus yang lolos saringan no. 200 (diameter 0.075 mm), dapat terdiri dari debu batu, kapur padam dan semen Portland, atau bahan non plastis lainnya. Bahan pengisi harus kering dan bebas dari bahan lain yang mengganggu. Bahan pengisi ini mempunyai fungsi :

- a. Sebagai pengisi antara agregat yang lebih kasar, sehingga rongga udara menjadi lebih kecil dan menghasilkan tahanan gesek serta penguncian antar butir yang tinggi, dengan demikian akan meningkatkan stabilitas campuran.
- b. Jika ditambahkan ke dalam laston, bahan pengisi akan menjadi suspensi, sehingga terbentuk mastik yang bersama-sama dengan laston mengikat partikel agregat. Dengan penambahan bahan pengisi, laston menjadi lebih kental, dan campuran agregat laston menjadi bertambah kekuatannya.

Kadar *filler* dalam campuran beton laston akan berpengaruh pada proses campuran , penghampanan, dan pemadatan. Selain itu, *filler* juga mempengaruhi sifat elastisitas campuran dan sensitivitasnya terhadap air.

Batu apung

Batu apung adalah produk umum letusan gunung dan umumnya membentuk zona-zona di bagian atas lava silikat. Batu apung bervariasi dalam hal kepadatannya menurut ketebalan bahan padat antargelombang. Pada Propinsi Nusa Tenggara Timur penyebaran penambangan batu apung sendiri tidak merata. Ini dikarenakan pada propinsi Nusa Tenggara Timur ini tidak semua pulaunya mempunyai gunung berapi, yang mempunyai gunung berapi hanya terdapat pada pulau Flores, Lembata dan Alor.

Perencanaan Gradasi Agregat

Fungsi dari perencanaan gradasi campuran adalah untuk mengetahui apakah hasil komposisi agregat yang di telah ditentukan memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan atau tidak.

Tabel.1 Spesifikasi Gradasi Campuran Laston

Nomor Saringan	¾"	½"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
Spesifikasi Gradasi	100	100-90	72-90	63-43	39,1-28,0	25,6-19,0	19,1-13,0	15,5-9,0	13,0-6,0	10,0-4,0

Sumber : Spesifikasi Laston Departemen Pekerjaan Umum, 2002

Metode Marshall

Prinsip dasar metode Marshall adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (*flow*). Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (*cincin penguji*) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan *flowmeter* yang digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *flowmeter* untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inchi (10,2 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm).

Persyaratan parameter Marshall telah ditetapkan oleh Bina Marga, terdapat pada tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Nilai Parameter Marshall

Parameter Marshall	Satuan	Nilai spesifikasi
Stabilitas	Kg	Min 800
Kelelahan	Mm	Min 3
VIM	%	3,5 - 5,5
VMA	%	Min 15
VFB	%	Min 65
Quotient	Kg/mm	Min 250

Sumber : Spesifikasi Laston Departemen Pekerjaan Umum, 2002

Stabilitas adalah kekuatan dari campuran laston untuk menahan desakan akibat beban yang diteruskan atau akibat beban berulang dari lalu lintas. Apabila nilai stabilitas terlalu tinggi maka campuran terlalu kaku dan kurang awet. Ketahanan terhadap kelelahan adalah (*flow*) merupakan kemampuan laston menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadi kelelahan berupa alur dan retak

Perhitungan dengan Alat Marshall

Pengujian Marshall dilakukan untuk mendapatkan nilai stabilitas dan nilai kelelahan (*Flow*). Disamping itu dipakainya komposisi campuran laston yang telah dibuat, bukan hanya ditentukan oleh nilai stabilitas dan nilai kelelahan, tetapi ditentukan juga oleh nilai-nilai parameter Marshall. Nilai-nilai parameter Marshall adalah sebagai berikut :

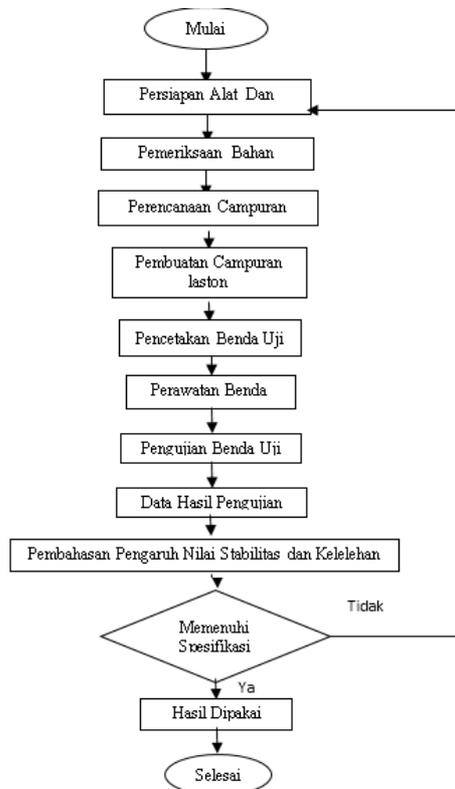
1. Nilai VIM (*void in the mix*) adalah persentase rongga dalam campuran yang terisi oleh udara.

$$VIM = 100x \frac{G_{mm\text{teoritis}} - G_{mb}}{G_{mm\text{teoritis}}} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

- G_{mm} teoritis = Berat jenis laston yang belum dipadatkan teoritis.
 G_{mb} = Nilai kepadatan campuran laston.
2. Nilai VMA (*void in mineral agregat*) adalah Persentase dalam campuran laston yang terisi oleh laston dan udara. Nilai VMA ditentukan oleh rumus sebagai berikut : $VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times \% \text{ Agregat}}{B_j \text{ bulk agregat}}$ (2)
 3. Nilai VFB (*void filled bitumen*) adalah volume pori laston padat yang terisi oleh laston.
 $VFB = \frac{100 \times (VMA - VIM)}{VMA}$ (3)
 4. Nilai kepadatan (G_{mb}) adalah untuk mengetahui seberapa padat campuran laston setelah di tumbuk atau dipadatkan.
 $G_{mb} = \frac{\text{berat kering}}{\text{berat isi atau berat dalam air}}$ (4)
 5. Quotient Marshall adalah hasil pembagian nilai stabilitas dengan nilai kelelahan.

DIAGRAM ALIR PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

PEMBAHASAN

Uji Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar

Pada penelitian ini, pengujian analisis saringan adalah batu pecah ¾”, batu pecah ½”, pasir, abu batu dan *filler* yang merupakan komposisi untuk laston. Pengujian analisa saringan mengacuh pada SNI 03-1968-1990.

Tabel3.UjiAnalisaSaringan

No saringan		Rata-Rata Persentase Lolos Bahan yang Di Uji (%)				
ASTM	mm	Batu pecah ¾"	Batu pecah ½"	Abu batu	Pasir	Filler
¾	19,0	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
½	12,5	96,75	100,00	100,00	100,00	100,00
3/8	9,50	58,89	90,02	100,00	100,00	100,00
No.4	4,75	4,67	50,74	100,00	100,00	100,00
No.8	2,36	0,12	15,87	47,99	100,00	100,00
No.16	1,18	-	-	29,88	69,99	100,00
No.30	0,600	-	-	20,04	44,00	100,00
No.50	0,300	-	-	14,74	29,54	96,00
No.100	0,150	-	-	11,63	21,44	90,31
No.200	0,075	-	-	9,60	16,81	78,11

Perencanaan Gradasi Campuran

Pada perencanaan gradasi campuran, nilai kombinasi agregat dari masing-masing *filler* ditentukan secara acak, untuk bahan-bahan selain *filler*. Nilai kombinasi agregat ini, bisa dipakai apabila hasil perkaliannya dengan nilai rata-rata persentase lolos pada tabel 3 memenuhi spesifikasi gradasi campuran.

Tabel 4. Nilai Kombinasi Agregat

Nama bahan	Variasi kadar <i>Filler</i> (%)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Batu pecah ¾ "	27 %	27 %	27 %	22 %	22 %	22 %	22 %	28 %
Batu pecah ½ "	30 %	30 %	30 %	35 %	38 %	37 %	36 %	39 %
Abu batu	27 %	26 %	25 %	24 %	20 %	20 %	20 %	10 %
Pasir	15%	15 %	15 %	15 %	15 %	15 %	15 %	15 %
<i>Filler</i>	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %	8 %

Pada tabel 5, nilai gradasi campuran pada setiap variasi kadar *filler* didapat hasil perkalian nilai kombinasi agregat pada tabel 4 dengan nilai rata-rata persentase lolos dari setiap bahan pada tabel 3. Nilai gradasi campuran ini adalah untuk mengetahui apakah hasil uji analisis bahan dengan saringan yang telah dilakukan pada tabel 3 memasuki spesifikasi gradasi campuran yang telah ditentukan untuk pengujian Marshall atau tidak, dan apabila tidak memenuhi spesifikasi Marshall maka dilakukan pengujian analisis saringan ulang.

Tabel 5.Gradasi Campuran

Variasi kadar <i>filler</i> (%)								Spesifikasi
1	2	3	4	5	6	7	8	
100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,0
99,12	99,12	99,12	99,29	99,29	99,29	99,29	99,09	90,0-100,0
85,91	85,91	85,91	87,46	87,16	87,26	97,36	84,60	72,0-90,0
59,48	59,48	59,48	61,79	60,31	60,80	61,29	54,10	43,0-63,0
33,75	34,27	34,79	36,10	35,66	36,50	37,34	34,02	28,0-39,1
19,57	20,27	20,97	21,67	21,47	22,47	23,47	21,49	19,0-25,6
13,01	13,81	14,61	15,41	15,61	16,61	17,61	16,60	13,0-19,1
9,37	10,18	11,00	11,81	12,18	13,14	14,10	13,59	9,0-13,0
7,26	8,05	8,83	9,62	10,06	10,96	11,86	11,60	6,0-13,0
5,89	6,58	7,26	7,95	8,35	9,13	9,91	9,73	4,0-10,0

Perencanaan Komposisi Campuran

Untuk perkiraan nilai kadar laston (Pb), digunakan rumus 2.1. Dalam penelitian ini nilai perkiraan kadar laston yang diperoleh dibulatkan mendekati angka 0,5 yang terdekat. Maka nilai persentase kadar laston dari untuk semua kadar *filler* adalah 5,5 %.

Pada perencanaan komposisi campuran, berat rencana total campuran harus 1200 gr (Silvia Sukirman, Perencanaan Lapisan Laston Beton, hal 106), artinya setiap penjumlahan berat kumulatif campuran ditambah berat laston totalnya harus 1200 gr.

Tabel 6. Perkiraan Nilai Kadar Laston

Kadar Filler (%)	1	2	3	4	5	6	7	8
Nilai Pb (%)	5.46	5.56	5.65	5.45	5.50	5.92	6.04	5.98

Pada Tabel 7 menunjukkan nilai kadar laston rencana, selanjutnya merupakan hasil perkalian komposisi agregat dengan nilai kadar laston rencana (100- % kadar laston, contoh : 100-4,5 = 95,5), sedangkan point 3 adalah tabel untuk menentukan berat kumulatif campuran, yang dimana nilai berat kumulatif campuran didapat dari total rencana campuran (1200) dikalikan dengan nilai-nilai pada point 2 yang sudah dibagi 100.

Tabel 7. Perencanaan Komposisi Campuran

URAIAN		NILAI	SATUAN					
Proporsi Fraksi Kasar (CA)		66,25	%					
Proporsi Fraksi Halus (FA)		27,88	%					
Proporsi Fraksi Bahan Pengisi (FF)		5,89	%					
Nilai Konstanta (K) ditetapkan		0,83	%					
Perkiraan Kadar Aspal (Pb)		5,46	%					
Rumus : $Pb = 0.035(CA) + 0.045(MA) + 0.18(FF) + K$								
KOMPONEN	KOMPOSISI AGREGAT	KADAR ASPAL RENCANA (%)						
		4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	
(a) BATU PECAH 3/4"	27%	25,79	25,65	25,52	25,38	25,25	25,11	
(b) BATU PECAH 1/2"	30%	28,65	28,50	28,35	28,20	28,05	27,90	
(c) ABU BATU	27%	25,79	25,65	25,52	25,38	25,25	25,11	
(d) PASIR KALI	15%	14,33	14,25	14,18	14,10	14,03	13,95	
(e) FILLER (abu batu apung)	1%	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93	
Total Agg Campuran (%)	100%	95,5	95,0	94,5	94,0	93,5	93,0	
Total Campuran (%)		100	100	100	100	100	100	
KOMPOSISI CAMPURAN		BERAT KOMULATIF CAMPURAN (Gr)						
KADAR ASPAL RENCANA		%	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
(a) BATU PECAH 3/4"	Gram		309,4	307,8	306,2	304,6	302,9	301,3
(b) BATU PECAH 1/2"	Gram		343,8	342,0	340,2	338,4	336,6	334,8
(c) ABU BATU	Gram		309,4	307,8	306,2	304,6	302,9	301,3
(d) PASIR KALI	Gram		171,9	171,0	170,1	169,2	168,3	167,4
(e) FILLER (abu batu apung)			11,5	11,4	11,3	11,3	11,2	11,2
BERAT AGREGAT CAMPURAN (Gr)			1146,0	1140,0	1134,0	1128,0	1122,0	1116,0
BERAT ASPAL (Gr)			54,0	60,0	66,0	72,0	78,0	84,0
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (Gr)			1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0

Perhitungan ini berlaku untuk semua perencanaan komposisi campuran untuk setiap kadar filler pada penelitian ini.

Nilai Stabilitas dan Kelelahan pada Variasi Kadar Filler 1%

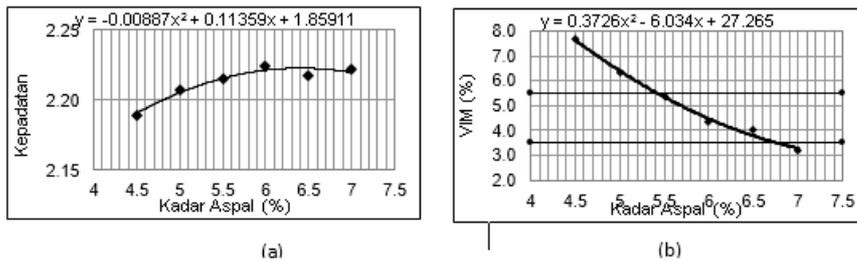
Pada variasi kadar filler 1%, nilai stabilitas meningkat sampai nilai maksimum kemudian mengalami penurunan dikarenakan nilai stabilitas mempunyai batas penerimaan laston. Nilai stabilitas pada variasi kadar filler 1% ini mempunyai kemampuan menerima kadar laston maksimum sampai 6,5% saja. Artinya pada variasi kadar filler 1% nilai stabilitas akan meningkat apabila campuran kadar lastonnya dari 4,5% sampai 6,5% , sedangkan nilai kadar laston 7% nilai stabilitasnya akan menurun karena penggunaan laston yang banyak akan membuat benda uji menjadi lemah.

Nilai-nilai parameter Marshall ini didapat dengan cara perhitungan menggunakan Persamaan (1) sampai (4).

Tabel 8. Data Grafik Parameter Marshall Variasi Filler 1 %

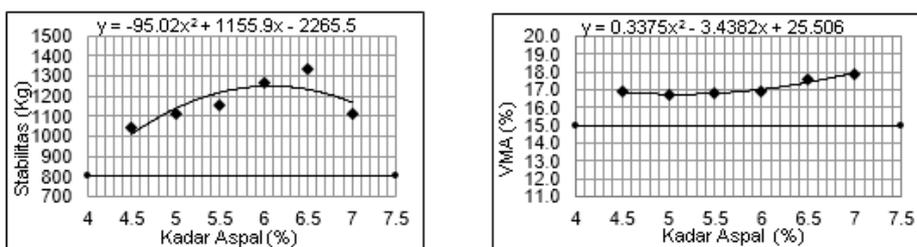
Data Grafik						
Kadar Laston (%)	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Kepadatan	2,189	2,207	2,215	2,224	2,217	2,222
Vim	7,71	6,33	5,37	4,35	4,02	3,18
Stabilitas	1046,85	1110,85	1151,99	1266,28	1334,85	1110,85
Flow	3,34	3,37	3,40	3,47	3,51	3,54
VMA	16,92	16,68	16,82	16,92	17,6	17,88
VFB	54,43	62,04	68,08	74,33	77,2	82,29
Quetient	313,898	330,119	339,32	365,448	380,841	313,7995

Berdasarkan gambar 2 (a). dapat dilihat nilai kepadatan meningkat sampai kadar laston 6% setelah itu, nilai kepadatan menurun sampai kadar laston 7%. Hal ini disebabkan karena kadar laston dari 4,5% sampai 6,0% adalah kadar laston yang membuat benda uji mengalami kepadatan yang semakin meningkat, sedangkan kadar laston 6,5% dan 7,0% benda uji mengalami nilai kepadatan yang semakin menurun, karena kemampuan kepadatan benda uji yang tidak bisa menerima lagi kadar laston diatas 6,0%, yang membuat benda uji menjadi lemah. Kepadatan diukur dengan satuan volume, dan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kadar laston dan kekentalan laston (*viskositas*). Dengan demikian kepadatan juga berhubungan dengan porositas campuran yang mempunyai hubungan dengan *durabilitas* atau keawetan campuran.



Gambar 2.(a).Grafik Hub.Kepadatan dan Kadar Laston pada Variasi Kadar Filler 1%
 (b). Grafik Hub.VIM dengan Kadar Laston pada Variasi Kadar Filler 1%

VIM (*void in the mix*) adalah volume pori dalam beton laston yang terisi hanya oleh udara. Berdasarkan gambar.2 dapat terlihat nilai VIM menurun dengan bertambahnya nilai kadar laston. Hal ini disebabkan semakin banyak kadar laston, volume pori beton laston padat yang tercipta pada benda uji semakin sedikit, karena tertutup oleh laston yang banyak. Nilai VIM yang memenuhi spesifikasi Marshall berada pada kadar laston 5,4%-6,6%. Apabila VIM diatas 5,5% maka campuran kemungkinan mengalami rapuh, keretakan dini, *ravelling*, *stripping*. dan apabila VIM berada dibawah nilai 3,5% dapat dikatakan sangat kritis terhadap deformasi permanen.

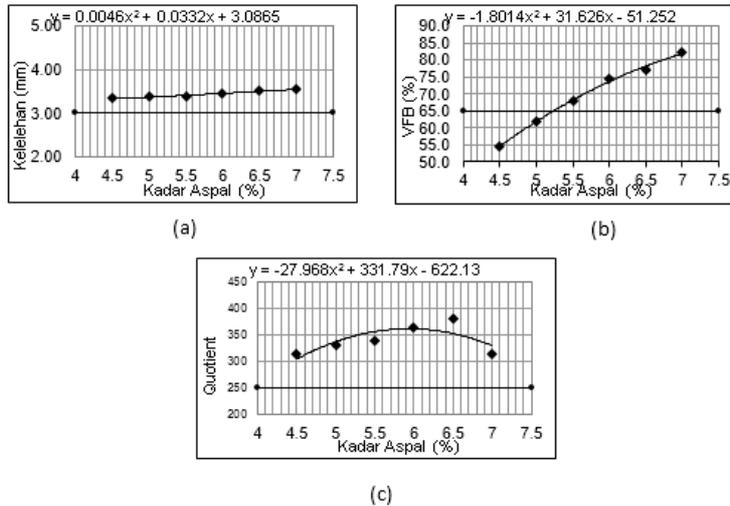


Gambar 3.(a).Grafik Hub.Stabilitas dengan Kadar Laston pada Variasi Kadar Filler 1%
 (b).Grafik Hub. VMA dengan Kadar Laston pada Variasi Kadar Filler 1%

Gambar 3.(a) menjelaskan nilai stabilitas meningkat sampai kadar laston 6,5% setelah itu nilai stabilitas menurun. Hal ini disebabkan kemampuan nilai stabilitas dalam menerima beban sampai keadaan maksimum pada kadar laston 6,5%, sedangkan kadar laston 7,0% membuat nilai stabilitas menurun karena tidak mampu lagi menerima beban.

VMA (*voids in the mineral aggregates*) adalah persentase rongga dalam butir agregat yang reisi oleh udara dan laston. Berdasarkan gambar 3.(b) nilai VMA cenderung meningkat sampai mencapai nilai maksimum. Hal ini disebabkan karena semakin banyak kadar laston, volume pori diantara butir agregat semakin meningkat karena semakin banyak kadar laston dan udara yang mengisi rongga/pori diantara agregat. Nilai VMA yang sedikit dapat menyebabkan lapisan laston

yang menyelimuti agregat menjadi sedikit sehingga mudah teroksidasi, dan nilai VMA yang banyak juga dapat menyebabkan *bleeding*. Nilai VMA dari semua kadarlaston memenuhi spesifikasi Marshall untuk Laston minimal 15 %.



Gambar 4(a). Grafik Hubungan *flow* dengan Kadar Laston pada Variasi Kadar *Filler* 1%
 (b). Grafik Hub. VFB dengan Kadar Laston pada Variasi Kadar *Filler* 1%
 (c). Grafik Hub. Quotient dengan Kadar Laston pada Variasi Kadar *Filler* 1%

Pada Gambar 4.(a) terlihat nilai kelelahan meningkat dengan meningkatnya kadar laston. Hal ini disebabkan karena semakin banyak beban yang diterima benda uji semakin besar pula nilai deformasi vertikal yang ditandai dengan nilai kelelahan semakin besar. Berdasarkan grafik nilai kelelahan, terlihat bahwa semua kadar laston memenuhi spesifikasi Marshall untuk Laston minimal 3,00 mm

VFB (*void filled bitumen*) adalah persentase rongga dalam laston yang hanya terisi oleh laston. Gambar 4(b). menunjukkan nilai VFB yang terus meningkat dengan bertambahnya nilai kadarlaston. Hal ini disebabkan semakin banyak kadar laston semakin banyak volume rongga antara agregat dalam campuran yang terisi oleh laston. Dari gambar tersebut terlihat nilai VFB yang memenuhi spesifikasi Marshall untuk Laston terjadi pada kadar laston 5,2%-7,0%. Nilai VFB yang terlalu tinggi menyebabkan naiknya laston ke permukaan pada saat suhu perkerasan tinggi, sedangkan nilai VFB yang rendah menyebabkan campuran porous dan mudah teroksidasi.

Nilai Quotient adalah ratio antara nilai stabilitas dan kelelahan. Gambar 4(c) terlihat jelas grafik membentuk garis lengkung hal ini dikarenakan pada pengujian kadar *filler* 1 % ini nilai stabilitas mengalami kenaikan sampai pada kadar laston 6,5 %, kemudian mengalami penurunan, sedangkan nilai kelelahan meningkat sesuai bertambahnya nilai kadar *filler*. Nilai Quotient digunakan sebagai pendekatan tingkat kekakuan dan fleksibilitas campuran.

Berdasarkan spesifikasi perkerasan campuran laston maka parameter Marshall yang memenuhi spesifikasi adalah sebagai berikut :

Tabel 9. Nilai Kadar Laston yang Memenuhi Spesifikasi Penentuan KAO pada Variasi Kadar *Filler* 1%

Parameter Marshall	Kadar laston yang memenuhi spesifikasi (%)
Kepadatan	4,5-7,0
VIM	5,4-6,6
Stabilitas	4,5-7,0
Kelelahan	4,5-7,0
VMA	4,5-7,0
VFB	5,2-7,0
Quotient Marshall	4,5-7,0

Grafik penentuan nilai kadar laston optimum dapat ditentukan dengan melihat nilai kadar laston dari parameter Marshall yang memenuhi spesifikasi. Pada pengujian Marshall untuk kadar *filler* 1 % nilai kadar laston optimum dapat ditentukan, karena semua parameter Marshall pada kadar *filler* ini memenuhi spesifikasi penentuan kadar laston optimum. Grafik nilai kadar laston optimum untuk kadar *filler* 1 % adalah 6,0%.

Selanjutnya hasil perhitungan nilai stabilitas dan kelelahan pada variasi kadar *filler* lainnyadirangkum dalam tabel 10 dan 11.

Perbandingan Nilai Stabilitas

Berdasarkan table 10 dapat diketahui bahwa semakin besar kadar *filler* maka nilai stabilitas yang dihasilkan semakin besar. Ini dikarenakan semakin banyaknya nilai kadar *filler* dalam suatu benda uji, pori atau rongga yang ada dalam benda uji menjadi semakin kecil sampai tidak ada sama sekali, sehingga menyebabkan peningkatan kekuatan stabilitas. Terlalu banyaknya kadar *filler* dalam campuran laston beton bisa mengubah lapisan laston dari struktur perkerasan lentur menjadi semakin kaku atau mendekati lapisan pekerasan kaku atau rigid.

Tabel 10. Perbandingan Nilai Stabilitas

Kadar Filler (%)	Kadar laston (%)					
	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
1	1046,85	1110,85	1151,99	1266,28	1334,85	1110,85
2	1106,28	1156,56	1188,56	1330,28	1394,28	1188,56
3	1211,42	1266,28	1279,99	1417,13	1462,85	1279,99
4	1343,99	1325,71	1389,71	1508,56	1595,42	1398,85
5	1398,85	1444,56	1522,28	1567,99	1709,70	1499,42
6	1467,42	1481,13	1535,99	1677,70	1759,99	1567,99
7	1485,71	1490,28	1613,70	1755,42	1846,85	1673,13
8	1577,13	1627,42	1718,85	1814,85	1897,13	1759,99

Perbandingan nilai kelelahan

Tabel 11 menjelaskan perbandingan nilai kelelahan meningkat dengan bertambahnya kadar laston, dan nilai kelelahan menurun dengan bertambahnya nilai kadar *filler*, hal ini disebabkan karena semakin banyak kadar *filler* semakin besar pula nilai stabilitasnya, dan dengan nilai stabilitas yang terus bertambah nilai lendutan pada campuran laston semakin kecil, hal ini yang menyebabkan nilai kelelahan menurun dengan bertambahnya variasi kadar *filler*.

Tabel 11. Perbandingan Nilai Kelelahan

Kadar Filler (%)	Kadar laston (%)					
	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
1	3,34	3,37	3,40	3,47	3,51	3,54
2	3,31	3,35	3,37	3,45	3,47	3,49
3	3,28	3,33	3,38	3,43	3,45	3,48
4	3,26	3,32	3,36	3,40	3,43	3,46
5	3,23	3,29	3,33	3,35	3,37	3,41
6	3,21	3,26	3,29	3,32	3,35	3,39
7	3,17	3,24	3,26	3,29	3,32	3,33
8	3,15	3,18	3,21	3,25	3,30	3,33

KESIMPULAN

1. Nilai stabilitas meningkat dengan bertambahnya nilai kadar *filler*. Nilai stabilitas tertinggi terdapat pada variasi kadar *filler* 8% dari berat campuran laston dan terendah terdapat pada variasi kadar *filler* dari berat campuran laston 1 %.
2. Nilai kelelahan menurun dengan bertambahnya nilai kadar *filler*. Nilai kelelahan tertinggi terdapat pada variasi kadar *filler* 1 % berat campuran laston dan yang terendah terdapat pada variasi kadar *filler* 8% berat campuran laston.

3. Berdasarkan spesifikasi Departemen PU, tentang pengujian Marshall, maka didapat nilai kadar *filler* yang memenuhi semua syarat nilai parameter Marshall adalah variasi kadar *filler* 1% dan 2 %.
4. Pengaruh penggunaan abu batu apung sebagai pengganti *filler* pada campuran laston adalah semakin tinggi nilai kadar filler, semakin tinggi pula nilai stabilitas dan semakin rendah nilai kelelahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim.,1991, **Metode Pengujian Campuran Laston dengan Alat Marshall**, Yayasan Badan penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Departemen P.U., 1989, **SK SNI 03-1973-1989 (Tata Cara Pelaksanaan Lapis Laston Beton (LASTON) Untuk Jalan Raya)**,LPMB: Bandung
- Departemen P.U., 1985, **IBRD Highway Six, Phase II Specification for class B. HRS**, LPMB :Bandung
- Departemen P.U., 2008, **SK SNI 03-2417-2008 (Tata Cara Pelaksanaan Uji Keausan Dengan Mesin Abrasi Los Angeles)**,LPMB : Bandung
- Departemen P.U., **SK SNI 03-1970-2008 (Tata Cara Pelaksanaan Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Dan Agregat)**, LPMB : Bandung
- Departemen P.U., **SK SNI 06-2441-1991 (Tata Cara Pelaksanaan Uji Berat Jenis Laston)**, LPMB : Bandung
- Departemen P.U., **SK SNI 03-6893-2002 (Tata Cara Pengujian Berat Jenis Campuran Maksimum)**, LPMB : Bandung
- Kumalawati.A., 2002, **Penentuan Komposisi Campuran Lapisan Laston Tipis Beton Dengan Metode Marshall**, Univesitas Nusa Cendana, Kupang
- Rianto R.H.,2007, **Pengaruh Abu Sekam Sebagai Pengganti Filler Terhadap Karakteristik Campuran Laston Emulsi Begradasi Rapat (CEBR)**, Universitas Diponegoro, Semarang.