

**PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH SERBUK BATU MARMER SEBAGAI BAHAN
PENGISI (*FILLER*) PADA CAMPURAN LAPIS AUS PERMUKAAN ASPAL BETON
(*AC-WC*) TERHADAP PERSYARATAN PARAMETER *MARSHALL***

Pembimbing 1 : Winoto Hadi, MT

Pembimbing 2 : Riyan Arthur, M.Pd

Penulis : Samuel Ricardo Bento

No.Reg : 5415107563

1.1 Pendahuluan

Transportasi baik darat, laut maupun udara sangat penting bagi arus kehidupan karena merupakan penunjang sarana perekonomian yang ada. Jalan raya merupakan prasarana perhubungan yang paling banyak digunakan dalam peningkatan penyediaan dan kemampuan angkutan darat. Untuk itu pengembangan prasarana perlu ditingkatkan dalam hal ketertiban, keteraturan, keamanan, kenyamanan, efisiensi, dan pelayanannya guna menunjang pembangunan kota pada khususnya dan pembangunan daerah pada umumnya. Kota Jakarta terletak di daerah iklim tropis, sehingga temperatur, kelembaban, curah hujan yang tinggi, dan intensitas sinar matahari yang tinggi sepanjang tahun juga menjadi salah satu faktor penyebab kerusakan jalan selain dari meningkatnya jumlah volume kendaraan. Agar lebih kuat jalan harus diberi perkerasan, perkerasan jalan adalah lapisan struktur jalan yang terletak di atas badan jalan, berfungsi menerima beban lalu-lintas dan meneruskannya ke badan jalan pada segala kondisi cuaca (Departemen Permukiman dan Pengembangan Wilayah, 2013).

Indonesia mengenal dua jenis konstruksi lapisan perkerasan jalan yang sering digunakan yaitu perkerasan kaku yang dibuat dari beton semen dan perkerasan lentur yang dibuat dari campuran aspal dan agregat. Perkerasan lentur ada yang bersifat struktural seperti Lapen, Lasbutag, Laston dan non struktural seperti Burtu, Burda, Latasir, Buras, Latasbum, Lataston (DPU, 1983).

Laston yang direncanakan di Indonesia setara dengan spesifikasi Laston Bina Marga (Spesifikasi Bina Marga 13 / PT/B/1983) dan digunakan untuk jalan-jalan dengan lalu lintas berat, tanjakan, pertemuan jalan dan daerah-daerah lainnya dimana permukaan menanggung beban roda yang berat. Aspal dengan penetrasi rendah dipakai untuk daerah yang memiliki cuaca panas atau volume lalu-lintas tinggi, sedangkan aspal dengan penetrasi tinggi dipakai untuk daerah dingin atau volume lalu-lintas rendah (Departemen Permukiman, 2013). Di Indonesia umumnya digunakan aspal penetrasi 60/70 dan 80/90. Laston itu sendiri memiliki beberapa lapisan yaitu, Laston Lapis Pengikat (AC-BC), Laston Lapis Aus (AC-WC) dan Laston Lapis Pondasi (AC-Base) yang ukuran maksimum masing-masing agregatnya adalah 25,4 mm, 19 mm dan 37,5 mm. *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)* merupakan lapisan perkerasan yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapisan aus. AC-WC dapat menambah daya tahan perkerasan terhadap penurunan mutu sehingga secara keseluruhan menambah masa pelayanan dari konstruksi perkerasan (Bina Marga, 2007).

Kerusakan pada jalan aspal umumnya berkaitan dengan beban roda yang berat, peningkatan tekanan ban, eskalasi atau meningkatnya jumlah lalu lintas dan kerusakan kelembaban, Brown (1990:1). Peningkatan mutu aspal beton dilakukan dengan cara menambahkan sejumlah bahan tambah ke dalam bahan aspal beton, atau mengganti secara

khusus spesifikasi bahan baik bahan aspal maupun agregatnya yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan *filler*.

Filler adalah suatu mineral agregat dari fraksi halus yang merupakan bahan non-plastis dan non-organik. Pada campuran laston, *filler* berfungsi sebagai bahan pengisi rongga dalam campuran sehingga meningkatkan kepadatan dan ketahanan campuran serta meningkatkan stabilitas campuran.

Pada prakteknya fungsi dari *filler* adalah untuk meningkatkan viskositas dari aspal dan mengurangi kepekaan terhadap temperatur. Menurut Hatherlay (1967:1) meningkatkan komposisi *filler* dalam campuran dapat meningkatkan stabilitas campuran tetapi menurunkan kadar air sekaligus rongga udara dalam campuran. *Filler* yang umumnya digunakan ialah semen yang harganya semakin mahal, oleh karena itu perlu dicari alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) pada campuran aspal.

Limbah marmer yang terdapat di Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur cukup banyak jumlahnya dan selama ini belum dimanfaatkan secara maksimal. Sekali produksi volume limbah yang dihasilkan oleh perusahaan yang memproduksi marmer diperkirakan mencapai 20 ton per hari dan dari sekian banyak limbah marmer yang dihasilkan, yang bisa diolah hanya sekitar 80% dan sisanya menjadi limbah yang menimbulkan masalah bagi masyarakat, Feri Efendi dkk (2010:1).

Hasil dari uji pendahuluan *filler* limbah serbuk batu marmer didapatkan berat jenis sebesar 2,7912 yang memenuhi syarat berat jenis minimal 2,5 dan gradasinya memenuhi spesifikasi pengujian analisa saringan *filler* (SNI 03-4142-1996). Berat jenis *filler* limbah serbuk batu marmer ini berpengaruh terhadap kualitas campuran aspal beton, sehingga dapat dinyatakan bahwa berat jenis yang dimiliki limbah serbuk batu marmer ini menghasilkan mutu konstruksi

yang baik. Tekstur dari limbah batu marmer ini cenderung halus sama seperti semen, diketahui dari analisa saringan *filler* dengan ukuran saringan No. 200.

Dengan penelitian lebih lanjut limbah serbuk batu marmer memungkinkan untuk dipakai pada campuran lapis aus permukaan aspal beton.

Terdapat beberapa jurnal penelitian terdahulu tentang penggunaan limbah serbuk batu marmer yang telah dilakukan salah satunya oleh Wihardi Tjaronge (2012:19) yang berjudul “Kajian Laboratorium Limbah Marmer Sebagai *Filler* dalam Campuran Aspal Beton Lapis Antara (AC-BC)”. Dengan menggunakan persentase *filler* limbah marmer 0%, 50%, 100% dan kadar aspal optimum pada campuran sebesar 5,15%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa hasil kadar aspal optimum terdapat pada persentase 5,15% dan semakin tinggi limbah marmer yang digunakan maka nilai *Flow*, *Void in Mineral Aggregates* (VMA), *Void Filled with Bitumen* (VFB), dan *Void In the Mix* (VIM) makin meningkat, kecuali pada nilai stabilitas dan nilai *marshall quotient* yang mengalami penurunan pada setiap penambahan *filler* limbah serbuk batu marmer tetapi masih dalam batas standar SNI 03-4142-1996.

Berdasarkan jurnal penelitian yang sudah diteliti oleh Wihardi Tjaronge (2012), maka dalam penelitian ini akan dibuat dengan memvariasikan kadar aspal 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, dengan menggunakan 100% limbah serbuk batu marmer sebagai *filler*.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah diantaranya:

1. Apakah limbah serbuk batu marmer dapat digunakan sebagai alternatif bahan pengisi (*filler*) dalam pembuatan campuran lapis aus permukaan aspal beton (AC-WC)?

2. Berapa persen kadar aspal yang optimal untuk bahan pengisi (*filler*) 100% limbah serbuk batu marmer ?
3. Apakah pemanfaatan limbah serbuk batu marmer efektif meningkatkan nilai parameter *Marshall* yang sesuai dengan standar perkerasan jalan ?
4. Termasuk ke dalam kelas manakah campuran lapis aspal beton yang menggunakan limbah serbuk batu marmer sebagai *filler* ?

1.3 Kajian Teori

1.3.1 Lapis Aspal Beton (LASTON)

Menurut Pedoman Teknik No. 025/T/BM/1999, Lapis Beton Aspal (Laston) adalah lapisan penutup konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktural, dalam arti lapis perkerasan tersebut mempunyai tingkat stabilitas dan ketahanan dalam menerima beban kendaraan serta memiliki sifat kedap air. Material-material pembentuk beton aspal dicampur di instalasi pencampur pada suhu tertentu, kemudian untuk pekerjaan dilapangan campuran material tersebut diangkut ke lokasi, dihamparkan dan dipadatkan. Produk campuran beton aspal yang kini banyak digunakan oleh Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah adalah AC-WC, AC-BC dan AC-Base. Ketiga jenis Laston tersebut merupakan konsep spesifikasi campuran beraspal yang telah disempurnakan oleh Bina Marga bersama-sama dengan Pusat Litbang Jalan. Dalam perencanaan spesifikasi baru tersebut menggunakan pendekatan kepadatan mutlak. AC-WC digunakan untuk lapis permukaan dalam perkerasan dan mempunyai tekstur yang paling halus dibandingkan dengan jenis laston lainnya. Pada laston yang bergradasi menerus tersebut mempunyai sedikit rongga dalam struktur agregatnya dibandingkan dengan campuran bergradasi senjang.

Hal tersebut menyebabkan campuran AC-WC lebih peka terhadap variasi dalam proporsi campuran. Gradasi agregat gabungan untuk campuran AC-WC yang mempunyai gradasi menerus tersebut ditunjukkan dalam persen berat agregat, harus memenuhi batas-batas dan harus berada di luar daerah larangan (*restriction zone*) yang diberikan dalam Tabel 2.1 dengan membandingkan jenis AC-BC yang mempunyai ukuran butir agregat maksimum 25 mm atau 1 inci dan AC-Base 37,5 mm atau 1½ inci, sedangkan AC-WC mempunyai ukuran butir agregat maksimum 19 mm atau ¾ inci.

Tabel 2.1 Standar Gradasi Agregat untuk Campuran Aspal

% Berat Yang Lolos				
Ukuran Saringan				
LASTON (AC)				
(inci)	(mm)	AC-WC	AC-BC	AC-BASE
1½ "	37,5	-	-	100
1 "	25	-	100	90-100
¾ "	19	100	90-100	Maks. 90
½ "	12,5	90-100	Maks. 90	-
¾ "	9,5	Maks. 90	-	-
No.4	4,75	-	-	-
No.8	2,36	28-58	23-49	19-45
No.16	1,18	-	-	-
No.30	0,60	-	-	-

No.200	No.200	4-10	4-8	3-7
DAERAH LARANGAN				
No.4	4,75	-	-	39,5
No.8	2,36	39,1	34,6	26,8-30,8
No.16	1,18	25,6-31,6	22,3-28,3	18,1-24,1
No.30	0,60	19,1-23,1	16,7-20,7	13,6-17,6
No.50	0,30	15,5	13,7	11,4

Sumber: Bina Marga 2010

Sedangkan ketentuan sifat-sifat campuran beraspal panas di Indonesia seperti campuran beraspal jenis AC-WC adalah ketentuan yang telah dikeluarkan oleh Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia, yaitu seperti yang tertera dalam Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2 Ketentuan Sifat Campuran Laston

Sifat-sifat Campuran				Laston		
				AC-WC	AC-BC	AC-Base
Jumlah tumbukan per bidang			75	75	112	
Penyerapan Aspal %	Max		1,2	1,2	1,2	
Rongga dalam campuran (VIM), %	Min		3,5	3,5	3,5	
	Max		5,5	5,5	5,5	
Rongga dalam agregat (VMA), %	Min		15	14	13	
Rongga terisi aspal (VFB),	Min		65	63	60	

%				
Stabilitas Marshall, kg	Min	800	800	1500
	Max	-	-	-
Pelelehan, mm	Min	3	3	5
Marshall quotient, kg/mm	Min	250	250	300
Stabilitas Marshall Sisa (%)				
setelah perendaman selama				
24 jam, 60°C pada VIM				
±7%				
Rongga dalam campuran				
pada kepadatan membal				
(refusal)				
Min				
2,5 2,5 2,5				

Sumber: Bina Marga 2010

1.3.2 Metode Marshall

Metode *Marshall* merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengukur ketahanan (stabilitas) terhadap keelehan (*flow*) dari campuran aspal. Metode ini pertama kali dilakukan oleh Bruce Marshall yang selanjutnya dikembangkan oleh *U.S Corps of Engineer* dengan menggunakan alat *marshall*. Alat *Marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji). Selanjutnya *proving ring* dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran. Disamping itu terdapat pula arloji keelehan (*flow meter*) untuk mengukur keelehan plastis *flow*.

Di Indonesia, campuran beraspal panas untuk perkerasan lentur dirancang menggunakan metode *Marshall*. Untuk kondisi lalu lintas berat, perencanaan *Marshall* menetapkan pemadatan benda uji sebanyak 2 x 75 tumbukan.

Dalam pengujian *Marshall* terdapat parameter *Marshall* yang menjadi persyaratan pengujian lapisan perkerasan. Parameter *Marshall* tersebut meliputi nilai stabilitas, kelelahan (*flow*), *marshall quotient*, *Void in Mineral Aggregates*, *Void Filled with Bitumen*, dan *Void In the Mix* sebagai berikut :

1.3.2.1 Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang (*wash boarding*) dan alur (*rutting*). Nilai stabilitas dipengaruhi oleh bentuk, kualitas, tekstur permukaan dan gradasi agregat yaitu gesekan antar butiran agregat (*internal friction*) dan penguncian antar agregat (*interlocking*), daya lekat (*cohesion*) dan kadar aspal dalam campuran. Penggunaan aspal dalam campuran akan menentukan nilai stabilitas campuran tersebut. Seiring dengan penambahan aspal, nilai stabilitas akan meningkat hingga batas maksimum. Penambahan aspal di atas batas maksimum justru akan menurunkan stabilitas campuran itu sendiri sehingga lapis perkerasan menjadi kaku dan bersifat getas. Nilai stabilitas berpengaruh pada fleksibilitas lapis perkerasan yang dihasilkan. Nilai stabilitas yang disyaratkan adalah lebih dari 800 kg. Lapis perkerasan dengan stabilitas kurang dari 800 kg akan mudah mengalami *rutting*, karena perkerasan bersifat lembek sehingga kurang mampu mendukung beban. Sebaliknya jika stabilitas perkerasan terlalu tinggi maka perkerasan akan mudah retak karena sifat perkerasan menjadi kaku.

1.3.2.2 Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan (*Flow*) adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya. Deformasi yang terjadi erat kaitannya dengan sifat-sifat *Marshall* yang lain seperti stabilitas, VIM dan VFB. Nilai VIM yang besar menyebabkan berkurangnya *interlocking resistance* campuran dan dapat berakibat timbulnya deformasi. Nilai VFB yang berlebihan juga menyebabkan aspal dalam campuran berubah konsistensinya menjadi pelicin antar batuan. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar dan viskositas aspal, gradasi agregat jumlah dan temperatur pemadatan Campuran yang memiliki angka kelelehan rendah dengan stabilitas tinggi cenderung menjadi kaku dan getas. Sedangkan campuran yang memiliki angka kelelehan tinggi dan stabilitas rendah cenderung plastis dan mudah berubah bentuk apabila mendapat beban lalu lintas. Kerapatan campuran yang baik, kadar aspal yang cukup dan stabilitas yang baik akan memberikan pengaruh penurunan nilai *flow*. Nilai *flow* yang rendah akan mengakibatkan campuran menjadi kaku sehingga lapis perkerasan menjadi mudah retak, sedangkan campuran dengan nilai *flow* tinggi akan menghasilkan lapis perkerasan yang plastis sehingga perkerasan akan mudah mengalami perubahan bentuk seperti gelombang (*washboarding*) dan alur (*rutting*).

1.3.2.3 Rongga Terisi Aspal (VFB)

Void Filled With Bitumen (VFB) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VFB berpengaruh pada sifat kekedapan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastisitas campuran. Dengan kata lain VFB menentukan stabilitas, fleksibilitas

dan durabilitas. Semakin tinggi nilai VFB berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara juga semakin tinggi, tetapi nilai VFB yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bleeding*. Nilai VFB yang terlalu kecil akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapisan *film* aspal akan menjadi tipis dan akan mudah retak bila menerima penambahan beban sehingga campuran aspal mudah teroksidasi yang akhirnya menyebabkan lapis perkerasan tidak tahan lama.

VFB dapat dihitung dengan rumus:

$$VFB = 100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA}$$

Keterangan:

VFB = Rongga terisi aspal, persen terhadap VMA.

VMA = Rongga di antara mineral agregat.

VIM = Rongga dalam campuran.

1.3.2.4 Marshall Quotient (MQ)

Menurut Bustaman (2000:1), *Marshall Quotient* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai *Marshall Quotient* akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai *Marshall Quotient* berarti campuran semakin kaku, sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur. Nilai *Marshall Quotient* dipengaruhi oleh stabilitas dan *flow*. Nilai *Marshall Quotient* yang disyaratkan minimal 250 kg/mm. Nilai *Marshall Quotient* di bawah 250 kg/mm mengakibatkan perkerasan mudah mengalami *washboarding*, *rutting* dan *bleeding*.

$$MQ = \frac{o}{p}$$

Keterangan :

MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)

o = Nilai Stabilitas (kg)

p = Nilai kelelahan plastis / *flow* (mm)

1.3.2.5 Rongga Dalam Campuran (VIM)

Menurut Silvia Sukirman (1999:180), *Void in The Mix* (VIM) merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porous. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi sehingga menyebabkan lekatan antar butiran agregat berkurang sehingga terjadi pelepasan butiran (*revelling*) dan pengelupasan permukaan (*stripping*) pada lapis perkerasan. Nilai VIM yang terlalu rendah akan menyebabkan *bleeding* karena suhu yang tinggi, maka viskositas aspal menurun sesuai sifat termoplastisnya. Pada saat itu apabila lapis perkerasan menerima beban lalu lintas maka aspal akan terdesak keluar permukaan karena tidak cukupnya rongga bagi aspal untuk melakukan penetrasi dalam lapis perkerasan. Nilai VIM yang lebih dari ketentuan akan mengakibatkan berkurangnya keawetan lapis perkerasan, karena rongga yang terlalu besar akan mudah terjadi oksidasi. Nilai VIM yang disyaratkan minimal 3,5% dan maksimal 5,5%.

$$VIM = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}$$

Keterangan :

VIM = Kadar rongga dalam campuran (%)

G_{mb} = Berat jenis curah campuran padat

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran

1.3.2.6 Rongga Antar Mineral Agregat (VMA)

Menurut Roberts, F.L et al (1991:1), *Void in Mineral Aggregate* (VMA) adalah rongga udara antar butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Kuantitas rongga udara berpengaruh terhadap kinerja suatu campuran, karena jika VMA terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas dan jika VMA terlalu besar maka campuran bisa memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi. Nilai VMA dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VMA ini berpengaruh pada sifat kedap air terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran. Dapat juga dikatakan bahwa nilai VMA menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Nilai VMA minimum yang disyaratkan adalah 15 %.

$$VMA = 100 \times \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}}$$

Keterangan :

VMA = Kadar rongga antara mineral agregat (%)

G_{mb} = Berat Jenis curah campuran padat (gr/cc)

G_{sb} = Berat jenis curah agregat (gr/cc)

Ps = Persen agregat terhadap berat total campuran (%)

1.4 Tempat dan Waktu

Uji *Marshall* akan dilaksanakan di Laboratorium Jalan Balai Irigasi yang terletak di Jl. Cut Mutiah Bekasi, sedangkan limbah serbuk marmer diambil dari UD Anak Agung di Desa Besole Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur. Waktu penelitian dilakukan di bulan September 2015 s/d Januari 2016.

1.5 Metode Penelitian

Dilihat dari perspektif cara pengumpulan data, penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen yang kemudian ditunjang dengan berbagai literatur yang erat hubungannya dengan pokok masalah.

1.6 Populasi dan Sampel

1.6.1 Populasi

Populasi dalam penelitian ini adalah kumpulan dari semua benda uji aspal yang menggunakan 100% limbah serbuk batu marmer sebagai bahan pengisi (*filler*) yang berjumlah 36 buah berbentuk silinder, dengan diameter 10,16 cm dan tinggi 7,62 cm

1.6.2 Sampel

Sampel penelitian ini seluruhnya berasal dari populasi, yang merupakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10,16 cm dan tinggi 7,62 cm dengan ketentuan sebagai berikut :

- a. 6 benda uji dengan *filler* limbah serbuk batu marmer pada kadar aspal 4%
- b. 6 benda uji dengan *filler* limbah serbuk batu marmer pada kadar aspal 5%
- c. 6 benda uji dengan *filler* limbah serbuk batu marmer pada kadar aspal 6%
- d. 6 benda uji dengan *filler* limbah serbuk batu marmer pada kadar aspal 7%
- e. 6 benda uji dengan *filler* limbah serbuk batu marmer pada kadar aspal 8%
- f. 6 benda uji dengan *filler* semen (aspal konvensional) pada kadar aspal 6%

Tabel 3.1 Jumlah sampel benda uji

Variasi Kadar Aspal	Jumlah benda uji yang menggunakan limbah serbuk batu marmer
4%	6
5%	6
6%	6
7%	6
8%	6
6% (konvensional)	6 (konvensional)
Jumlah	36

1.7 Teknik Pengambilan Data

Nilai parameter *Marshall* didapatkan dari hasil pengujian terhadap benda uji dengan menggunakan alat Marshall dan juga melalui perhitungan.

1.8 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis data inferensial. Analisis inferensial yang digunakan adalah Uji Whitney yang didasarkan atas prosedur pengumpulan data dalam penelitian ini.

Adapun perhitungan dalam penelitian ini, seluruh proses analisis data dilakukan secara komputerisasi dengan menggunakan *software IBM SPSS Data Statistics 20 for Windows*.

1.8.1 Hipotesis Statistik

$H_0: \mu A = \mu B$

$H_1: \mu A > \mu B$

Keterangan :

μA = Hasil pengujian terhadap benda uji aspal dengan filler limbah serbuk batu marmer

μB = Hasil pengujian terhadap benda uji aspal dengan filler semen (aspal konvensional)

Kriteria pengujian hipotesis adalah : menerima H_0 yang menyatakan tidak ada perbedaan antara hasil pengujian terhadap benda uji aspal dengan filler limbah serbuk batu marmer dengan hasil pengujian terhadap benda uji aspal dengan filler semen (aspal konvensional) ($\mu A = \mu B$).

1.9 Hasil dan Pembahasan

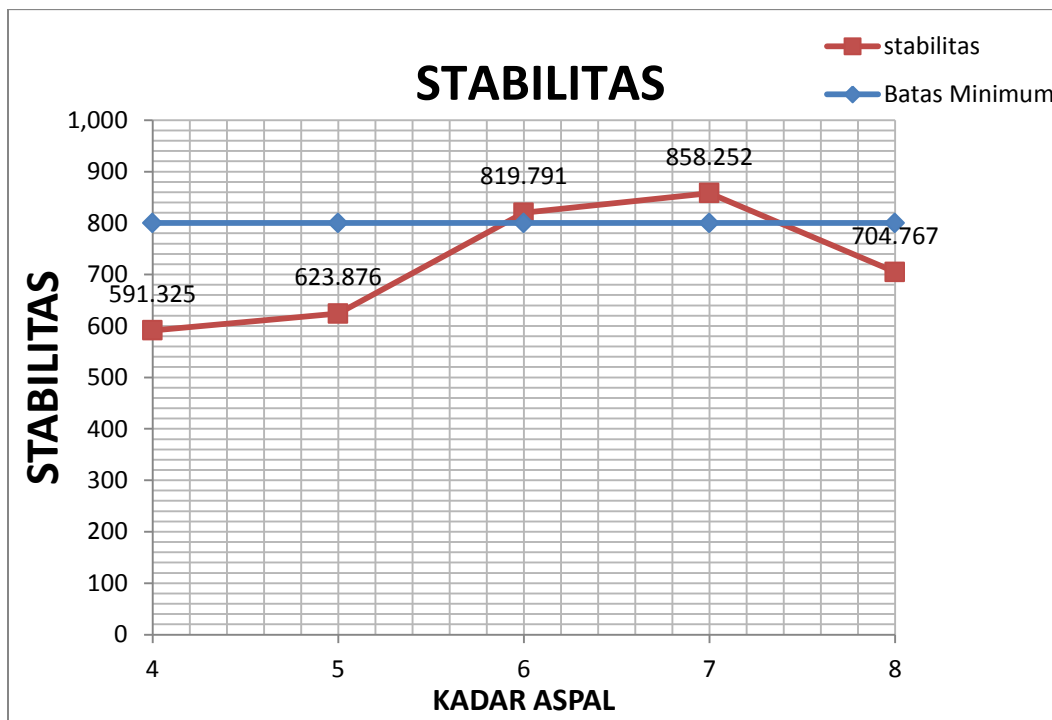
1.9.1 Hasil Pengujian *Marshall*

Pengujian *Marshall* dilakukan untuk mencari parameter *Marshall* pada benda uji dengan kondisi standar lalu-lintas berat yaitu 2 x 75 tumbukan. Parameter *Marshall* tersebut adalah nilai

stabilitas, kelelahan (*flow*), *marshall quotient* (MQ), *Void in Mineral Aggregates* (VMA), *Void Filled with Bitumen* (VFB), dan *Void In the Mix* (VIM) sebagai berikut :

1.9.1.1 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur atau *bleeding*. Spesifikasi umum 2010 menurut Bina Marga menetapkan bahwa stabilitas minimum yang disyaratkan adalah 800 kg. Hubungan antara kadar aspal dengan nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 4.4 di bawah ini :

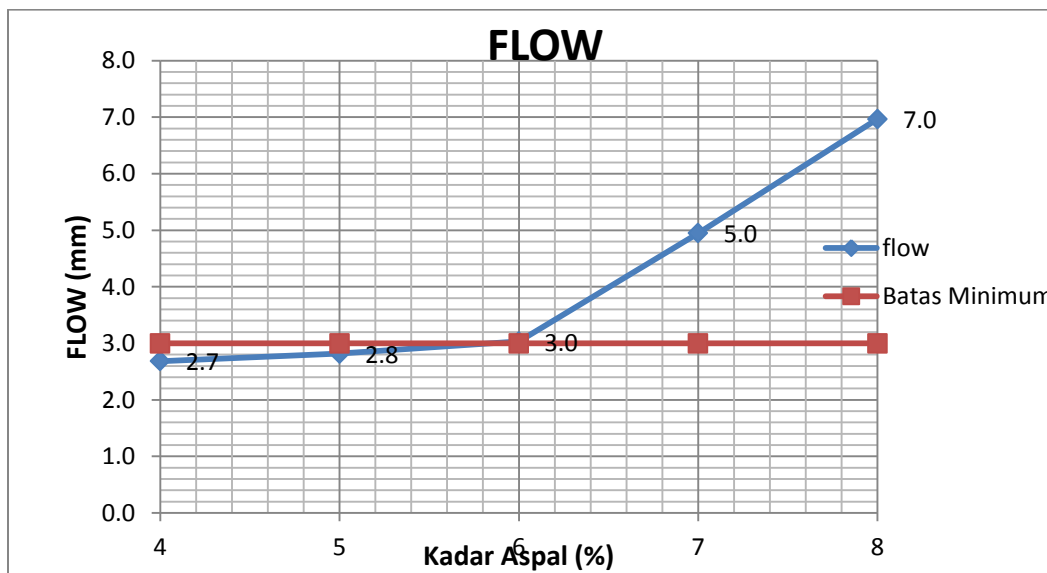


Gambar 4.4 Grafik Stabilitas dengan Kadar Aspal

Dari Gambar 4.4 di atas terlihat bahwa nilai stabilitas yang memenuhi persyaratan lalu-lintas berat berada pada kadar 6% dan 7%. Pada kadar 4% nilai stabilitas naik sampai kadar 7%. Selanjutnya stabilitas turun pada kadar 8% yang menunjukkan bahwa lapisan aspal yang menyelimuti agregat terlalu tebal, sehingga stabilitas menjadi turun.

1.9.1.2 Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi mulai saat awal pembebanan sampai kondisi kestabilan muai menurun. Nilai *flow* menyatakan besarnya deformasi pada benda uji, campuran yang mempunyai nilai *flow* tinggi cenderung menghasilkan campuran yang plastis sehingga akan mudah berubah bentuk (deformasi plastis) apabila terkena beban lalu-lintas tinggi dan berat. Sebaliknya, apabila campuran memiliki *flow* terlalu rendah maka campuran akan bersifat kaku dan getas, hingga mudah retak akibat beban lalu-lintas yang tinggi dan berat. Hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai *flow* dapat dilihat pada Gambar 4.5 di bawah ini :

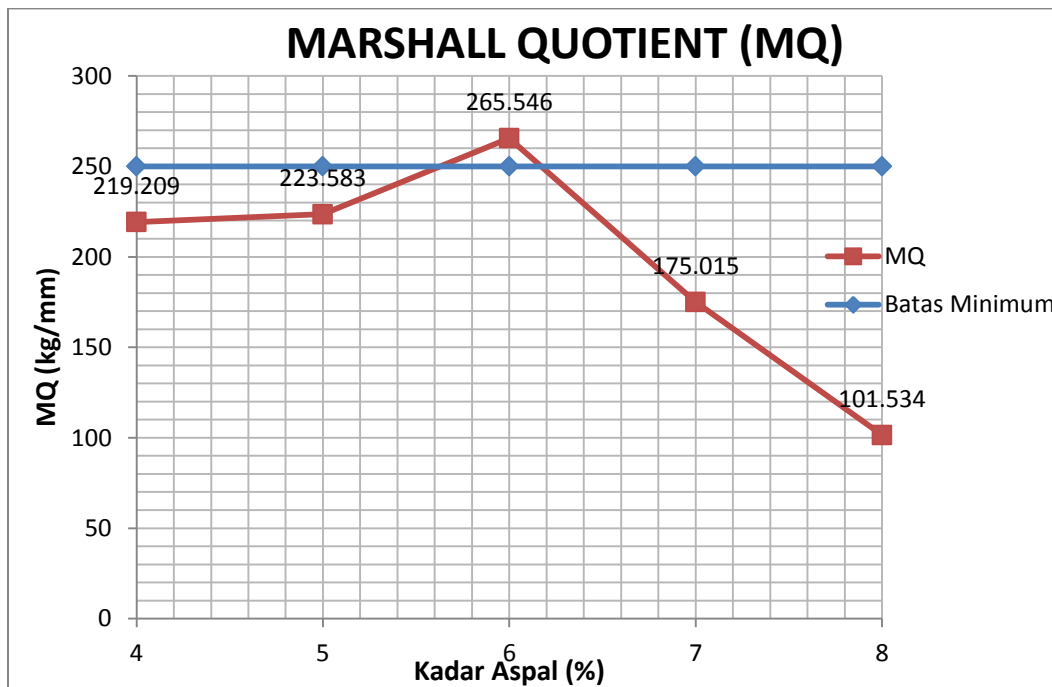


Gambar 4.5 Grafik Flow dengan Kadar Aspal

Dari gambar di atas terlihat bahwa nilai *flow* yang sesuai dengan spesifikasi lalu lintas berat terdapat pada kadar aspal yang nilainya di atas 6%. Semakin kadar aspal bertambah maka nilai *flow* juga semakin naik, hal ini disebabkan dengan bertambahnya aspal maka campuran akan semakin plastis.

1.9.1.3 Marshall Quotient (MQ)

MQ mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran aspal beton. Campuran yang memiliki nilai MQ rendah akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami deformasi pada saat menerima beban lalu lintas yang tinggi dan berat. Sedangkan campuran yang memiliki nilai MQ tinggi akan bersifat kaku dan getas. Hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai *marshall quotient* dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut ini:

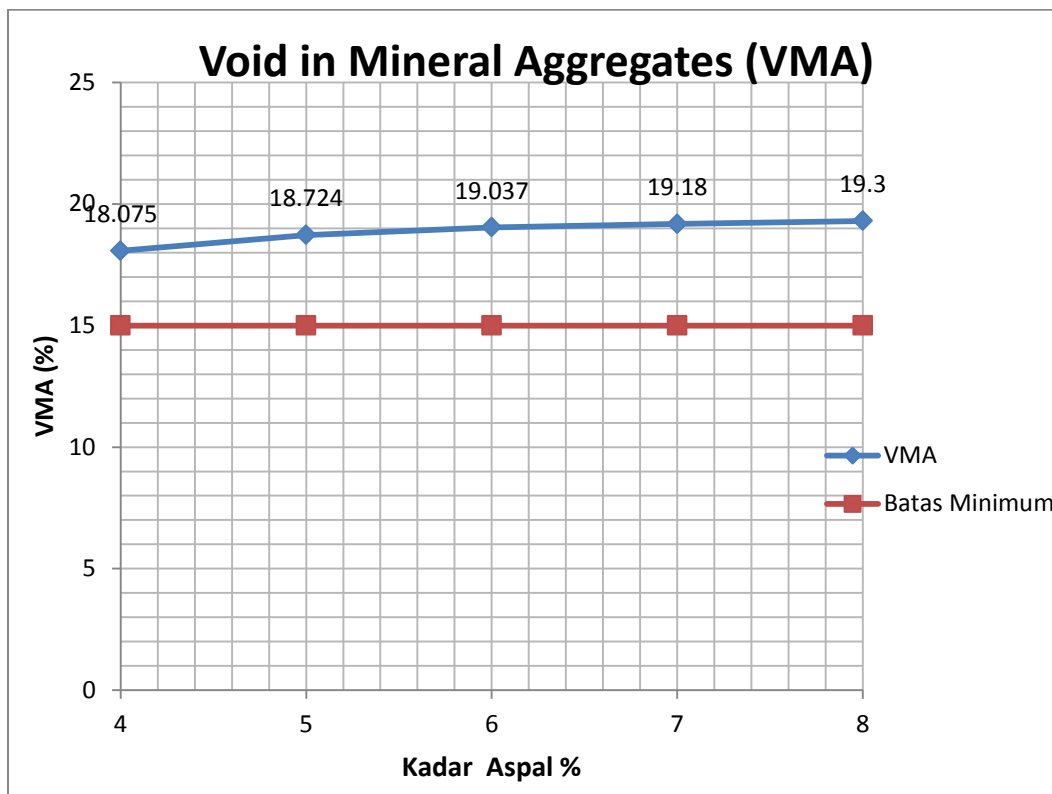


Gambar 4.6 Grafik MQ dengan Kadar Aspal

Dari Gambar 4.6 di atas terlihat bahwa nilai MQ yang memenuhi persyaratan minimal 250 kg/mm untuk lalu lintas berat terletak pada kadar aspal 6%

1.9.1.4 Void in Mineral Aggregates (VMA)

Besarnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, energi pemadatan, dan kadar filler. Hubungan antara kadar aspal dengan VMA dapat dilihat pada Gambar 4.7 di bawah ini.



Gambar 4.7 Grafik VMA dengan Kadar Aspal

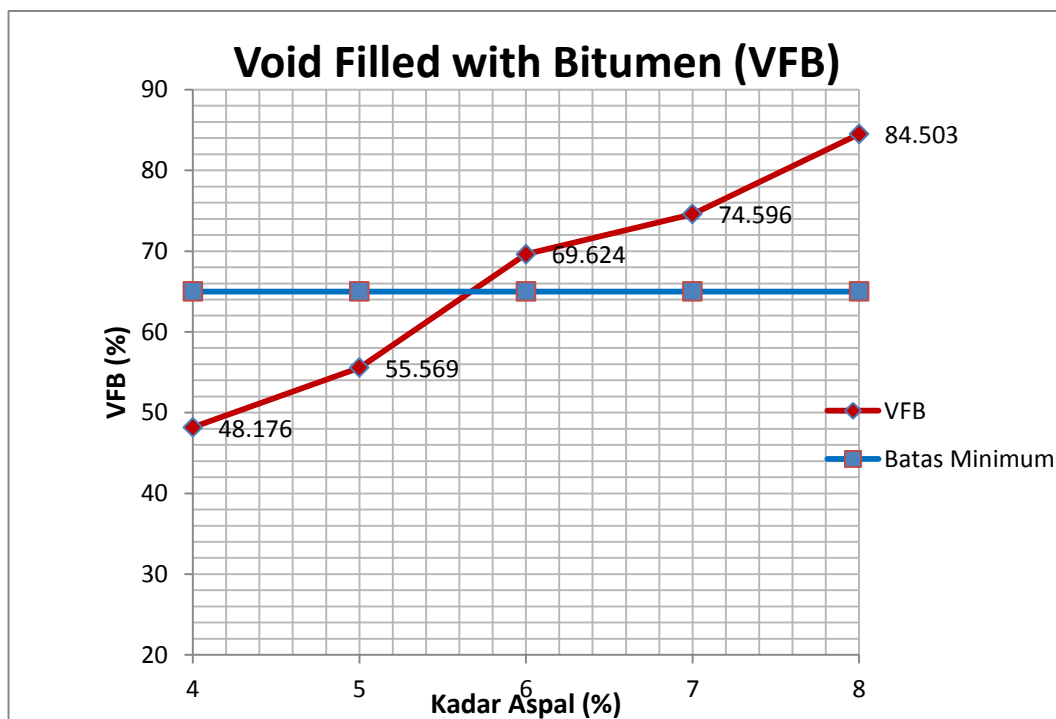
Dari Gambar 4.7 di atas terlihat bahwa nilai VMA optimum berada pada kadar aspal 8%. Namun Nilai VMA untuk semua kadar aspal memenuhi persyaratan minimum 15% untuk Laston AC-WC.

Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kadar aspal dapat meningkatkan ruang untuk menampung aspal dan volume rongga yang mengakibatkan butiran dalam campuran tidak mudah lepas, campuran tidak kaku, sehingga umur tahun rencana campuran lebih lama.

1.9.1.5 Void Filled with Bitumen (VFB)

VFB atau disebut juga sebagai rongga terisi aspal, menunjukkan keawetan suatu campuran beraspal panas, semakin besar nilai VFB maka akan semakin kecil nilai VIM yang berarti rongga yang terisi aspal semakin banyak, oleh karena itu campuran AC-WC akan semakin awet.

Begitu sebaliknya, apabila VFB terlalu kecil, maka rongga yang terisi aspal akan semakin sedikit sehingga agregat yang terselimuti aspal akan semakin tipis yang menyebabkan campuran beton aspal tidak awet. Hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai VFB dapat dilihat pada Gambar 4.8 di bawah ini :

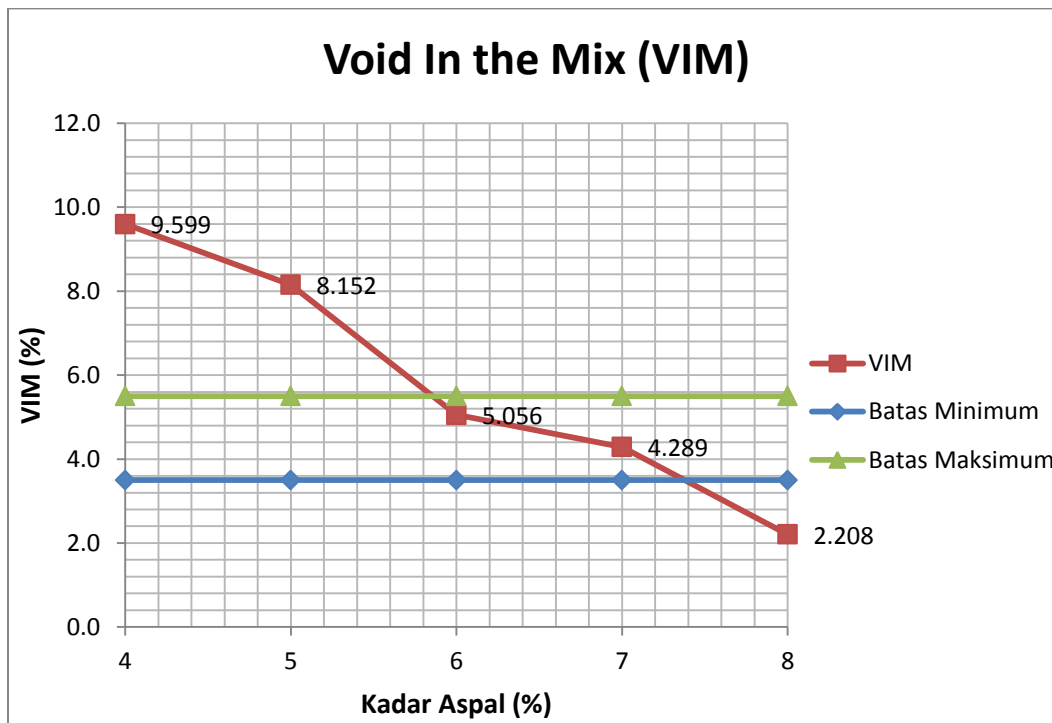


Gambar 4.8 Grafik VFB dengan Kadar Aspal

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa nilai VFB naik seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Nilai VFB yang memenuhi syarat parameter *Marshall* terdapat pada kadar aspal 6% sampai 8% yang nilainya di atas standar Laston AC-WC yaitu sebesar 65%.

1.9.1.6 Void In the Mix (VIM)

VIM disebut juga sebagai rongga dalam campuran. Semakin besar nilai VIM, maka semakin berkurang kedekatan airnya, sehingga dapat mempercepat penuaan aspal. Sedangkan semakin kecil nilai VIM akan menyebabkan perkerasan mengalami *bleeding*. Hubungan antara kadar limbah serbuk batu marmer dengan nilai VIM dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut ini :



Gambar 4.9 Grafik VIM dengan Kadar Aspal

Dilihat dari nilai VIM pada gambar di atas, semakin besar kadar aspal maka nilai VIM akan semakin menurun. Setelah mengetahui nilai VIM masing-masing sampel dari hasil pengujian

marshall, dapat disimpulkan bahwa nilai VIM yang memenuhi persyaratan minimal Laston AC-WC dengan rentan 3,5%-5,5% adalah pada kadar aspal 6% dan 7%.

1.10 Pengujian Hipotesis

Untuk mengetahui diterima atau ditolaknya H_0 , dilakukan uji *Mann-Whitney (Whitney U Test)* dengan *software* statistik yaitu *IBM SPSS Data Statistics 20*. Uji *Mann-Whitney* (non parametrik) ini dilakukan karena data-data dari hasil pengujian tidak memenuhi syarat menggunakan statistik parametrik (tidak terdistribusi normal dan tidak homogen). Dalam uji *Mann-Whitney*, dibandingkan hasil terbaik dari pengujian dengan hasil dari aspal konvensional. Pengujian ini menggunakan taraf signifikansi (α) 0,05, dengan dasar keputusan sebagai berikut :

1. Jika Sig lebih dari 0,05 maka H_0 diterima (tidak signifikan atau tidak ada perbedaan)
2. Jika Sig kurang dari 0,05 maka H_0 ditolak (signifikan atau terdapat perbedaan)

Setelah data diolah dengan *software*, didapatkan hasil uji *Mann-Whitney* seperti di bawah ini :

Test Statistics ^a	
	Parameter
Mann-Whitney U	15.000
Wilcoxon W	36.000
Z	-.480
Asymp. Sig. (2-tailed)	.631
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.699 ^b

a. Grouping Variable: Kadar

b. Not corrected for ties.

Dari hasil uji *Mann-Whitney* di atas, nilai signifikansi yang didapat adalah 0,631 yang artinya $> 0,05$. Maka dari itu, hasil uji tidak signifikan secara statistik. Dengan demikian H_0 diterima.

1.11 Pembahasan

Pada tabel 4.7 dapat dilihat bahwa kadar aspal optimum yang menggunakan *filler* limbah serbuk batu marmer terdapat pada kadar 6% dikarenakan nilai stabilitas, kelelehan, MQ, VMA, VFB dan VIM nya memenuhi persyaratan parameter *Marshall*.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian *Marshall*

No	Karakteristik	Syarat	Presentase Kadar Aspal (%)					
			4%	5%	6%	7%	8%	6% (Konv)
1	Stabilitas (kg)	Min 800	591.325	623.876	819.791	858.252	704.767	1037.434
2	Kelelehan (mm)	Min 3	2.7	2.8	3	5	7	4.1
3	MQ (kg/mm)	Min 250	219.209	223.583	265.546	175.015	101.534	291.304
4	VMA (%)	Min 15	18.075	18.724	19.037	19.18	19.3	20.282
5	VFB (%)	Min 65	48.176	55.569	69.624	74.596	84.503	70.073
6	VIM (%)	3,5-5,5	9.599	8.152	5.056	4.289	2.208	5.33

1.12 Kesimpulan

Dari hasil pengujian *Marshall* yang telah dilakukan pada campuran aspal beton lapis aus permukaan AC-WC dengan menggunakan limbah serbuk batu marmer sebagai pengganti *filler* dapat disimpulkan hasil sebagai berikut:

1. Nilai stabilitas, kelelehan, *Marshall Quotient* (MQ), *Void Filled with Bitumen* (VFB), dan *Void In the Mix* (VIM) pada kadar aspal 4% dan 5% tidak memenuhi persyaratan parameter *Marshall* untuk lalu-lintas berat.
2. Kadar aspal yang memenuhi standar lalu-lintas berat adalah 6%.

3. Nilai stabilitas, kelelehan, *Void in Mineral Aggregates* (VMA), *Void Filled with Bitumen* (VFB), dan *Void In the Mix* (VIM) pada kadar aspal 7% memenuhi persyaratan parameter *marshall* untuk lalu-lintas berat. Hanya nilai *Marshall Quotient* (MQ) yang tidak memenuhi persyaratan parameter *marshall* untuk lalu-lintas berat.
4. Pada kadar aspal 8% nilai stabilitas, *Marshall Quotient* (MQ), dan *Void In the Mix* (VIM) mengalami penurunan dari kadar aspal sebelumnya atau tidak memenuhi parameter *marshall* untuk lalu-lintas berat. Sedangkan untuk nilai kelelehan, *Void in Mineral Aggregates* (VMA), dan *Void Filled with Bitumen* (VFB) memenuhi persyaratan parameter *marshall* untuk lalu-lintas berat.
5. Berdasarkan hasil uji *Mann-Whitney* ternyata dari hipotesis yang diajukan terbukti tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara aspal beton yang menggunakan limbah serbuk batu marmer sebagai bahan pengisi dengan aspal beton konvensional yang menggunakan semen sebagai bahan pengisi terhadap nilai parameter *Marshall*.

1.13 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, peneliti dapat menyarankan hal-hal berikut :

1. Disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut menggunakan limbah serbuk batu marmer sebagai *filler* pada jenis lapis perkerasan lain.
2. Disarankan untuk menggunakan limbah serbuk batu marmer sebagai *filler* dalam campuran lapis aus permukaan aspal beton dengan persentase 6% dikarenakan seluruh nilai parameter *Marshall* yang dihasilkan memenuhi persyaratan standar perkerasan jalan (SNI 03-1737-1989) dan mendapat hasil yang optimal.

3. Perlu diteliti lebih lanjut mengenai sifat-sifat aspal beton yang lainnya yaitu nilai struktural, durabilitas, workabilitas, dll.
4. Hendaknya diperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil penelitian, antara lain : penimbangan benda uji, pemeriksaan bahan baik aspal maupun agregat, suhu pencampuran, proses pemadatan, dan lain-lain.

1.14 Daftar Pustaka

AASHTO T245-90. (t.thn.). *Worksheet For A Marshall Mix Design*.

ASTM D6927. (t.thn.). *Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures*

Brown, S. (1990). *The Shell Bitumen Handbook*. United Kingdom: Chertsey

Departemen Pekerjaan Umum. (1983). *Pedoman Perkerasan Lentur Jalan Raya*

Departemen Permukiman. (2013). *Pekerjaan Perkerasan Jalan*. Jakarta: Virama Karya.

Direktorat Jenderal Bina Marga. (1954). *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (FLEXIBLE) (AC-WC)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

DPU. (2010). **DIVISI 6 PERKERASAN ASPAL: SEKSI 6.3 CAMPURAN BERASPAL PANAS**. Dalam *Spesifikasi teknis Bina Marga 2010-2011* (hal. 6.1-6.112). Jakarta: DPU-BINA MARGA.

Efendi, F. (2010). *Pemanfaatan Sampah Plastik dan Limbah Marmer Sebagai Bahan Baku Ornamen Bangunan untuk Solusi Penanganan Pencemaran Lingkungan*. Universitas Negeri Malang

Ferriyal. (2005). *Pemanfaatan Bubuk Marmer Hasil Olahan Industri Batu Marmer Untuk Bahan Campuran Pembuatan Paving Block Sebagai Upaya Minimalis Limbah*. Universitas Diponegoro. *Tesis*

Hatherlay. (1967). *Asphaltic Road Materials*. London: Edward Arnold LTD.

Madya, S. (2009). *Penelitian Tindakan*. Bandung: Alfabeta

- Manthofani, A. (2013). Pengaruh Penambahan Limbah Marmer Sebagai Bahan Pengisi (*filler*) Pada Campuran Aspal Beton Ditinjau Dari Parameter Marshall. Universitas Negeri Malang. *Skripsi*.
- Permen PU No.28/PRT/M/2007. *Pedoman Pelaksanaan Lapis Campuran Beraspal Panas*. DPU.
- Roberts, FL, et al, 1991, *Hot Mix Asphalt materials, Mixtures Design and Construction*. Napa Education Foundation, Lanham, Maryland.
- Rombe, A, E. (2007). Kajian Laboratorium Pemanfaatan Limbah Pecahan Marmer Sebagai Agregat Kasar Untuk Bahan Perkerasan Jalan Pada Campuran *Hot Rolled Sheet-Binder Course*. Universitas Gadjah Mada. *Skripsi*.
- RSNI M-01 2003. *Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas Dengan Alat Marshall*. Jakarta.
- RSNI M-06-2004. *Cara Uji Campuran Beraspal Panas*. Jakarta: DPU.
- SNI 03-1737-1989. *Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) untuk Jalan Raya*. Jakarta: BSN.
- SNI 06-2489-1991. *Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall*. Jakarta: BSN.
- SNI 03-4142-1996. *Metode Pengujian Jumlah Bahan Dlama Agregat Yang Lolos Saringan No.200 (0,075 mm)*
- SNI 06-6723-2002. *Spesifikasi Bahan Pengisi Untuk Campuran Beraspal*. Jakarta: DPU.
- Sukandarrumidi. (1999). *Bahan Galian Industri*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Suprpto. (2004). *Bahan Dan Struktur Jalan Raya Edisi Ketiga*. Yogyakarta. Biro Penerbit
- Tjaronge, W. (2012). Kajian Laboratorium Limbah Marmer Sebagai *Filler* Dalam Campuran Aspal Beton Lapis Antara (AC-BC). Universitas Hasanuddin. *Tesis*