

PEMANFAATAN LIMBAH MARMER SEBAGAI BAHAN PERKERASAN JALAN PADA
CAMPURAN *HOT ROLLED SHEET – BINDER COURSE*

*Ermitha Ambun Rombe Dendo*¹
*Harni Eiren Tarru*²

Staf Pengajar Progdi Teknik Sipil
Universitas Kristen Indonesia Toraja

INTISARI

Marmer merupakan salah satu material bahan bangunan yang dipergunakan sebagai bahan pembuat penutup lantai atau yang lebih dikenal dengan nama tegel. Kabupaten Pangkep merupakan salah satu daerah penghasil marmer terbesar di Indonesia. Pabrik pengolahan marmer terus berproduksi dan meninggalkan banyak limbah marmer yang berupa pecahan dengan ukuran yang bervariasi yaitu berbentuk *cubical* dan beberapa partikel halus. Dengan terus berproduksinya pabrik pengolahan batu marmer maka limbah marmer juga akan terus bertambah.

Bentuk yang *cubical* dan kekuatan yang cukup diharapkan dapat memberikan suatu keunggulan. Oleh sebab itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah limbah pecahan marmer dapat dipergunakan sebagai agregat kasar dalam campuran aspal tipe Lataston. Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental murni dan hanya membahas skala penelitian laboratorium campuran Lapis Tipis Aspal beton dengan 5 (lima) variasi agregat kasar dalam campuran yaitu variasi I menggunakan 100% limbah pecahan marmer dengan KAO 5,8%, variasi II menggunakan 75% limbah pecahan marmer dengan KAO 5,94%, variasi III menggunakan 50% limbah pecahan marmer dengan KAO 6,04%, variasi IV menggunakan 25% limbah pecahan marmer dengan KAO 6,27%, variasi V menggunakan 100% limbah pecahan marmer dengan KAO 6,1%, variasi V menggunakan 100% limbah pecahan marmer dengan KAO 6,27%. Semua campuran didasarkan pada metode Marshall menurut persyaratan dan spesifikasi yang ditetapkan oleh Departemen Pekerjaan Umum (2010). Pengujian campuran dilakukan untuk mengetahui durabilitas dengan lama perendaman $\frac{1}{2}$ jam dan 24 jam.

Penelitian menunjukkan bahwa limbah pecahan marmer dapat digunakan sebagai agregat kasar dan secara fisik memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh Departemen Pekerjaan Umum (2010). Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi I memiliki VMA dan VIM paling rendah yaitu sebesar 16,2% dan 3,7%. Nilai VMA dan VIM tertinggi dimiliki oleh variasi IV yaitu sebesar 17,3% dan 5,0%. Nilai stabilitas tertinggi pada perendaman 24 jam diperoleh pada campuran variasi IV 1322 kg.

Berdasarkan penelitian ini diperoleh variasi III dengan menggunakan 50% limbah pecahan marmer atau kurang dari 50% secara umum dapat digunakan sebagai bahan alternatif untuk agregat kasar pada campuran Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston).

Kata kunci :Limbah Marmer, Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston), *Marshall Immersion, Stability*

1. PENDAHULUAN

Pesatnya pertumbuhan lalu lintas baik jumlah maupun daya angkutnya berdampak pada makin pendeknya umur pelayanan konstruksi jalan. Disisi lain, akibat keterbatasan dana menuntut terjadinya umur rencana pelayanan konstruksi jalan yang lebih panjang sehingga menjadi lebih ekonomis disamping harus tetap memperhatikan faktor keamanan dan kenyamanan bagi pengguna jalan.

Sejalan dengan hal tersebut diperlukan material/bahan konstruksi perkerasan jalan yang berkualitas namun tetap memenuhi persyaratan dan spesifikasi teknis yang ditetapkan oleh Bina Marga. Dengan berlakunya otonomi daerah, pihak pemerintah diharapkan jeli melihat dan memanfaatkan potensi sumber daya alam yang terdapat di daerahnya untuk dapat dikembangkan. Di Sulawesi Selatan banyak terdapat pabrik pengolahan batu kapur/karst menjadi marmer yang digunakan sebagai bahan penutup lantai. Dari pengolahan tersebut menghasilkan limbah berupa potongan yang berbentuk *cubical* dan keras seperti batu.

Berdasarkan hal tersebut penulis mencoba melakukan penelitian dengan memanfaatkan limbah hasil pengolahan dari pabrik marmer tersebut sebagai bahan alternatif pengganti agregat konvensional untuk bahan perkerasan jalan.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 LAPIS TIPIS ASPAL BETON

Menurut Kementrian Pekerjaan Umum (Bina Marga revisi 2010), lapis tipis aspal beton (*lataston*) adalah lapisan penutup yang terdiri dari campuran agregat bergradasi senjang, *filler* dan aspal keras dengan perbandingan tertentu; yang dicampur dan dipadatkan secara panas (dalam suhu tertentu, minimum 124°C), dengan ketebalan padat 2,5 cm atau 3 cm. Konstruksi perkerasan HRS dalam penggunaannya dibagi menjadi dua kelas yaitu kelas A dan kelas B. Perbedaan kedua konstruksi perkerasan tersebut terdapat pada gradasi agregat yang digunakan, beban lalu lintas dan segi pemakaian. Jenis agregat yang digunakan terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan butiran pengisi (*filler*), sedangkan aspal yang digunakan biasanya jenis aspal keras AC 60-70 dan AC 80-100.

Pembuatan lapis tipis aspal beton (*lataston*) bertujuan untuk mendapatkan suatu lapisan permukaan atau lapisan antar pada perkerasan jalan raya yang mampu memberikan sumbangan daya dukung serta berfungsi sebagai lapisan kedap air yang dapat melindungi konstruksi bawahnya. *Hot Rolled Sheet* bersifat lentur dan mempunyai durabilitas yang tinggi, hal ini disebabkan campuran HRS dengan gradasi timpang mempunyai rongga dalam campuran yang cukup besar, sehingga mampu menyerap jumlah aspal dalam jumlah banyak (7-8%) tanpa terjadi *bleeding*. Selain itu, HRS mudah dipadatkan sehingga lapisan yang dihasilkan mempunyai kedekatan terhadap air dan udara tinggi. Kegagalan dini yang sering terjadi di lapangan adalah pada proses penghamparan dan pemadatan karena HRS tidak sepenuhnya murni *gapgraded* (Bina Marga, 2010).

Menurut Bina Marga (2010), dua hal yang mempengaruhi campuran laston yaitu:

- a. Gradasi yang benar-benar senjang. Gradasi senjang dapat diperoleh dengan mencampurkan pasir halus dengan agregat pecah mesin. Batas bahan bergradasi senjang pada laston terletak diantara bahan yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm) tetapi tertahan saringan No. 30 (0,600 mm), yang menggunakan suatu campuran agregat kasar dan agregat halus.
- b. Rongga udara pada kepadatan membal (*refusal density*) harus memenuhi ketentuan yang ditunjukkan oleh pedoman.

Campuran pada penelitian ini adalah *Hot Rolled Sheet* (HRS) yang memiliki gradasi senjang. Ketentuan sifat-sifat campuran Laston mengacu ada Bina Marga (2010) yang terlihat pada tabel berikut :

No.	Spesifikasi	Nilai
1.	Jumlah tumbukan	2 x 75
2.	Densitas	-
3.	VITM	3 – 6%
4.	VFMA	≥ 68%
5.	Stabilitas	≥800 kg
6.	Flow	≥ 3 mm
7.	Marshal quotient	≥ 250 kg/mm

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Jenderal Bina Marga, Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3)

2.2 Bahan Penyusun Perkerasan

Bahan penyusun perkerasan jalan adalah aspal, agregat, bahan pengisi (*filler*) serta karet sebagai *additive*. Hasil yang baik dan berkualitas dalam menghasilkan perkerasan jalan dapat diperoleh jika menggunakan bahan-bahan dengan kualitas baik. Berikut adalah penjelasan bahan penyusun perkerasan :

2.2.1. Aspal

Aspal berasal dari minyak mentah (*crude oil*) dan ada juga yang berasal dari sisa organisme makhluk hidup dan tumbuhan dari masa lampau yang sudah lama tertimbun oleh batu tanah, sehingga menjadi sendimen dan terakumulasi dalam lapisan-lapisan tanah. Sedimen tersebut lama kelamaan akan terproses menjadi minyak mentah yang menjadi senyawa dasar *hydrocarbon*. Aspal yang biasa ditemukan berasal dari minyak, tetapi ada juga aspal yang berasal dari bahan alam seperti asbuton atau dikenal dengan istilah mineral.

2.2.2. Agregat

Agregat biasanya berasal dari batu pecah, krikil, pasir ataupun komposisi lainnya, baik hasil alam (*natural aggregate*), hasil pengolahan (*manufactured aggregate*) maupun agregat buatan (*syntetic aggregate*) yang digunakan sebagai bahan utama penyusun perkerasan jalan.

Agregat yang biasa dipakai dalam campuran lapis tipis aspal beton harus bisa memenuhi persyaratan yang telah ditentukan sebagai berikut :

Tabel 2.1 Persyaratan Pemeriksaan Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12 %
	magnesium sulfat		Maks. 18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles ¹⁾	Campuran AC Modifikasi	100 putaran	Maks. 6%
		500 putaran	Maks. 30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks. 8%
		500 putaran	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95 %
Butir Pecah pada Agregat Kasar		SNI 7619:2012	95/90 ²⁾
Partikel Pipih dan Lonjong		ASTM D4791 Perbandingan 1 : 5	Maks. 10 %
Material lolos Ayakan No.200		SNI 03-4142-1996	Maks. 2 %

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Jenderal Bina Marga Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3)

Tabel 2.2 Persyaratan Pemeriksaan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min 60%
Angularitas dengan Uji Kadar Rongga	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117: 2012	Maks. 10%

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Jenderal Bina Marga Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3)

Kemudian gradasi agregat diperoleh dengan pemeriksaan analisis satu set saringan dan dinyatakan dalam persentase yang tertahan dan lolos dalam saringan.

Tabel 2.3 Spesifikasi Gradasi Agregat HRS

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran								
	Latasir (SS)		Lataston (HRS)				Laston (AC)		
	Kelas A	Kelas B	Gradasi Sejajar ¹		Gradasi Semi Sejajar ¹		WC	BC	Base
			WC	Base	WC	Base			
37,5									100
25							100		90-100
19	100	100	100	100	100	100	100	90-100	76-99
12,5			90-100	90-100	87-100	90-100	90-100	75-90	60-78
9,5	90-100		75-85	65-90	55-88	55-70	77-90	66-82	52-71
4,75							53-69	46-64	35-54
2,36		75-100	50-72 ¹	35-55 ¹	50-62	32-44	33-53	30-49	23-41
1,18							21-40	18-38	13-30
0,600			35-60	15-35	20-45	15-35	14-30	12-28	10-22
0,300					15-35	5-35	9-22	7-20	6-15
0,150							6-15	5-13	4-10
0,075	10-15	8-13	6-10	2-9	6-10	4-8	4-9	4-8	3-7

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Jenderal Bina Marga Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3)

2.2.3 Filler

Dilihat dari pengertiannya, bahan pengisi atau *filler* merupakan bagian dari agregat, maksudnya *filler* pada susunan gradasi ini adalah material yang lolos ayakan No.200 (0.075 mm), bahan tersebut tidak kurang dari 75% dari yang lolos saringan No.30 (0,600 mm) serta bersifat non plastis. *Filler* berfungsi untuk mengisi bagian-bagian yang kosong (rongga-rongga atau celah yang terdapat pada sela-sela agregat). Bahan filler dapat berupa abu batu, abu batu kapur atau semen.

2.3 Parameter Marshall Test

2.3.1. Density

Nilai *density* adalah parameter yang berfungsi untuk menunjukkan tingkat kepadatan suatu campuran perkerasan agregat dan aspal. Tingkat kepadatan menunjukkan kerapatan campuran yang telah dipadatkan. Semakin besar nilai *density*, maka kerapatan dan kepadatan campuran semakin baik. Kerapatan dan kepadatan yang baik akan meningkatkan beban besar.

2.3.2. Void in the mix (VITM)

VITM adalah persentase antara rongga udara dengan volume total campuran setelah dipadatkan. Semakin kecil nilai VITM maka semakin besar kadar aspal. Nilai VITM yang semakin besar menyebabkan tingkat kelelahan yang cepat (berupa alur dan retak).

2.3.3. Void filled with asphalt (VFWA)

VFWA adalah persentase volume rongga yang terdiri dari butir-butir agregat suatu campuran aspal padat, di dalamnya juga terdapat aspal efektif. Rongga aspal yang terisi penuh

juga meningkatkan persen kadar aspal, maka persen kadar aspal yang mengisi rongga adalah persen kadar aspal maksimum.

2.3.4. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan maksimal suatu benda uji campuran beton aspal menahan beban sampai terjadi kelelahan plastis. Nilai stabilitas akan bertambah dengan naiknya kadar aspal sampai ke batas optimum dan akan mengalami penurunan setelah batas optimum. Hal ini terjadi karena aspal dapat berfungsi sebagai pelicin setelah melebihi batas optimum.

2.3.5. Flow

Flow adalah besarnya perubahan (deformasi benda uji) campuran dengan angka kelelahan tinggi serta stabilitas rendah di atas batas maksimum akan cenderung plastis. Campuran dengan angka kelelahan rendah dan stabilitas tinggi dibawah optimum akan menyebabkan benda mudah retak bila diberi beban. *Flow* dinyatakan dalam satuan panjang.

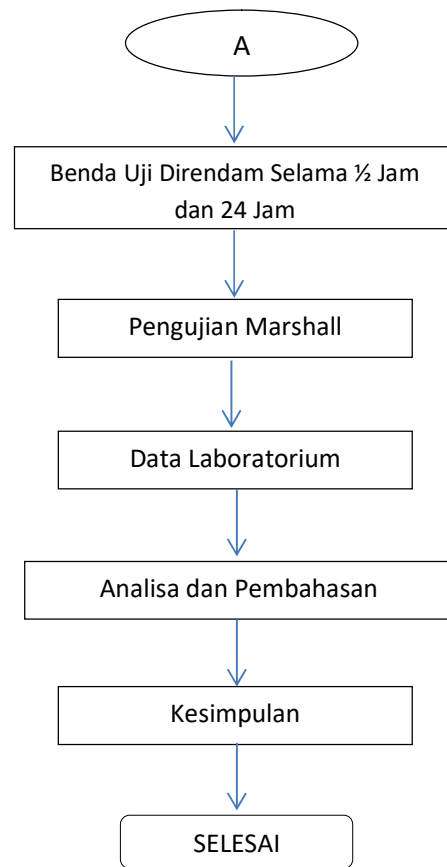
2.3.6. Marshall quotient (QM)

Marshall Quotient adalah perbandingan antara nilai stabilitas dengan *flow*. *Marshall Quotient* merupakan indikator dalam menentukan nilai fleksibilitas kelenturan terhadap keretakan. Kenaikan fleksibilitas disebabkan oleh penambahan kadar aspal dan akan penurunan hingga batas optimum disebabkan oleh berubahnya fungsi aspal sebagai pengikat menjadi pelican.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Transportasi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Adapun tahapan peneliti dapat dilihat pada gambar 3.1.





Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

Material yang digunakan antara lain sebagai berikut :

- kerikil (batu pecah), pasir dan abu batu diperoleh dari pabrik pemecah batu eks Clereng;
- limbah batu marmer diperoleh dari Desa Bungoro Kabupaten Pangkep;
- aspal digunakan adalah jenis aspal padat dengan penetrasi 60/70.

Perencanaan campuran laston standar ditujukan untuk mendapatkan komposisi campuran, dengan langkah-langkah meliputi : pemilihan dan penentuan sifat agregat, penentuan campurannominal, penentuan proporsi campuran, membuat benda uji. Pengujian campuran laston standar dengan alat Marshall (*Marshall Test*), ditujukan untuk mendapatkan nilai karakteristik Marshall. Hubungan antara kadar aspal dan nilai karakteristik marshall divisualisasikan dalam bentuk grafik, selanjutnya dihasilkan kadar aspal optimum.

Campuran laston dengan limbah batu marmer menggantikan sebagian agregat kasar dibuat dengan kadar limbah batu marmer secara variatif yaitu 25%, 50%, 75% dan 100% (dibuat berdasarkan kadar aspal optimum campuran laston standar). Pengujian campuran laston dengan limbah batu marmer sebagai pengganti sebagian agregat kasar menggunakan alat Marshall, diperoleh nilai karakteristik Marshall. Hubungan antara kadar limbah dan nilai karakteristik Marshall divisualisasikan dalam bentuk grafik, selanjutnya didapatkan kadar

limbah batu marmer optimum dari campuran lataston dengan limbah batu marmer sebagai pengganti agregat kasar.

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini bahan yang digunakan agregat kasar, agregat halus dan *filter*. Pemeriksaan dan pengujian dilakukan terhadap ketiga bahan dan campuran ketiganya.

a. Hasil pemeriksaan sifat fisik bahan.

1. Hasil pemeriksaan agregat.

Dari hasil penelitian di laboratorium diperoleh data-data pemeriksaan terhadap agregat kasar, agregat halus dan *filter* seperti yang tertera pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar.

No.	Jenis Pemeriksaan	Standar	Hasil	Satuan
1	Abrasi batu pecah eks elereng	Maks. 40	29,5	%
	Abrasi limbah pecahan marmer		25,0	%
2	Kelekatan batu pecah terhadap aspal	Min. 95	98,0	%
	Kelekatan limbah pecahan marmer terhadap aspal		96,0	%
3	BJ semua batu pecah	> 2,5	2,658	gr/cm ³
	BJ semua limbah pecahan marmer		2,712	gr/cm ³
	BJ semua agregat halus		2,770	gr/cm ³
	BJ <i>bulk</i> batu pecah		2,547	gr/cm ³
	BJ <i>bulk</i> limbah pecahan marmer		2,691	gr/cm ³
	BJ <i>bulk</i> agregat halus		2,650	gr/cm ³
	BJ <i>filter</i> debu batu		2,722	gr/cm ³
4	Absorpsi batu pecah	< 3	1,640	%
	Absorpsi limbah pecahan marmer		0,294	%
	Absorpsi agregat halus		1,635	%
5	<i>Sand Equivalent</i>	Min. 50	80,40	%

Dari hasil pemeriksaan laboratorium terhadap sifat fisik bahan dapat disimpulkan bahwa bahan – bahan akan yang digunakan sebagai agregat dalam penelitian ini memenuhi spesifikasi dan layak untuk digunakan sebagai bahan perkerasan jalan.

2. Hasil pemeriksaan aspal

Aspal yang digunakan adalah aspal keras AC 60/70 yang diproduksi oleh Pertamina. Dari hasil di laboratorium, diperoleh data-data terhadap yang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pemeriksaan karakteristik aspal

No	Jenis pemeriksaan	Spesifikasi	Hasil	Satuan
1	Penetrasi 25°C, 100 gr, 5 detik	60 - 79	63,80	0,1 mm
2	Titik lembek	48 - 58	48,25	°C
3	Titik nyala	Min 200	340	°C
4	Daktalitas	Min 100	> 100	Cm
5	Berat jenis	Min 1,0	1,030	Gr/cc
6	Kelarutan dalam Trichlor Ethylen	Min 99	99,455	%
7	Kehilangan berat	Max 0,88	0,0834	%
8	Penetrasi setelah kehilangan berat	Min 54	92,50	%
9	Daktalitas setelah kehilangan berat	Min 50	> 100	%

Dari hasil pemeriksaan laboratorium terhadap sifat aspal dapat disimpulkan bahwa aspal tipe AC 60/70 akan yang digunakan sebagai bahan pengikat agregat dalam penelitian ini memenuhi spesifikasi dan layak untuk digunakan sebagai bahan perkerasan jalan.

b. Karakteristik Marshall campuran HRS-BC pada kondisi KAO

Hasil uji tekan Marshall (Marshall compression) berupa karakteristik volumetric campuran agregat-aspal panas dan durabilitas campuran (Marshall immersion) yang menggunakan variasi campuran limbah pecahan marmer dan batu pecah pada agregat kasar pada kondisi kadar aspal optimum seperti *density, voids filled with asphalt, voids in mix dan voids in mineral agregat, stability, flow dan Marshall quotlent* dengan berbagai variasi campuran disajikan dalam bentuk tabel.

1. Data karakteristik volumetric campuran

Data hasil pengujian Marshall compression dengan menggunakan kadar aspal optimum disajikan pada Tabel 4.3. Nilai-nilai tersebut merupakan rata-rata dari hasil pengujian terhadap 3 benda uji (triplo) pada masing-masing variasi campuran.

Tabel 4.3 Hasil volumetric campuran pada kondisi KAO.

Variasi	KAO	Density (gr/cm ³)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)
I	5,8	2,831	16,2	3,7	77,5
II	5,96	2,344	17,0	4,5	73,4
III	6,04	2,326	17,1	4,7	72,3
IV	6,1	2,313	17,3	5,0	71,1
V	6,27	2,320	17,1	4,5	75,1

a. Kepadatan (Density)

Nilai kepadatan menunjukkan besarnya derajat kepadatan suatu campuran setelah dipadatkan atau perbandingan antara berat terhadap volume campuran. Tingkat kepadatan suatu campuran dipengaruhi oleh gradasi agregat, kadar aspal, diperoleh nilai kepadatan masing-masing sebesar 2,381 gr/cm³ , 2,344 gr/cm³ , 2,326 gr/cm³ , 2,313 gr/cm³ dan 2,320 gr/cm³. Hal ini disebabkan oleh adanya perubahan komposisi pada masing-masing campuran pada agregat kasar. Pada campuran I, agregat kasar yang digunakan adalah 100% limbah pecahan marmer dan selanjutnya dilakukan pengurangan komposisi limbah pecahan marmer sebesar 25% pada tiap campuran hingga mencapai 0% seperti yang terdapat pada campuran variasi V. Dari penjelasan sebelumnya diketahui bahwa limbah pecahan marmer mempunyai pori dan daya serap (*absorption*) yang kecil sehingga aspal yang diserap juga sedikit dan hanya melekat pada permukaan agregat saja. Dengan adanya penurunan persen limbah pecahan marmer dan peningkatan persen batu pecah akan memberikan peningkatan jumlah pori dalam masing-masing variasi campuran. Kondisi tersebut menyebabkan kepadatan campuran menurun, namun sebaliknya yang terjadi pada campuran variasi V. Pada variasi V, terjadi kenaikan nilai kepadatan sebab dimungkinkan adanya degradasi agregat pada campuran. Seperti diketahui bahwa batu pecah memiliki abrasi yang lebih tinggi dari pecahan marmer. Sehingga akibat beban yang diberikan terjadi perubahan gradasi agregat sehingga butiran yang lebih kecil masuk

dan mengisi rongga yang ada. Selain itu mortar yang ada dalam campuran bekerja lebih baik dengan mengisi ruang/rongga sehingga campuran menjadi lebih padat.

b. Voids In Mineral Aggregate(VMA)

Voids in mineral agregat adalah rongga yang ada diantara agregat dalam campuran yang telah dipadatkan termasuk yang terisi aspal. VMA dinyatakan dalam persen yang digunakan untuk menampung aspal. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai VMA antara lain adalah gradasi agregat, kadar aspal, kadar kondisi ini membuat aspal yang ada mengisi rongga antar agregat sehingga rongga tersebut menjadi lebih kecil. Pada campuran dengan variasi I hingga variasi IV memberikan tren peningkatan nilai VMA., sebab persen limbah pecahan marmer yang digunakan makin berkurang sebagai agregat kasar makin berkurang sehingga rongga dalam campuran menjadi lebih besar. Sebaliknya pada campuran variasi V terjadi penurunan nilai VMA. Hal ini dimungkinkan adanya batuan yang pecah/hancur menjadi butiran yang lebih kecil (degradasi agregat) akibat beban yang diberikan, sehingga butiran tersebut mengisi rongga dalam campuran.

c. Voids In Mix(VIM)

Voids in mix menyatakan besarnya persen rongga dalam campuran yang telah dipadatkan dimana nilai VIM dapat mempengaruhi kedekatan suatu campuran terhadap air dan udara. Besarnya nilai VIM dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi agregat energi dan temperatur pemadatan. Semakin tinggi nilai VIM maka campuran tersebut mempunyai presentase rongga yang semakin besar dan campuran akan bersifat *porous* sehingga campuran menjadi kurang rapat dan tiak kedap. Rongga yang banyak akan berpengaruh terhadap kebutuhan akan aspal dan kinerja campuran, karena udara dan air akan mudah masuk ke dalam rongga tersebut dan menyebabkan aspal mudah teroksidasi dan sehingga lapis perkerasan akan mudah retak.

Oleh Departemen Pekerjaan Umum (2010) menetapkan spesifikasi teknis bahwa nilai VIM pada pekerjaan dengan campuran HRS-BC adalah 3% sampai 6%. Hubungan kondisi pada setiap variasi campuran terhadap voids in mineral aggregate kondisi KAO telah disajikan dalam Tabel 4.3

d. Voids Filled with Asphalt(VFA)

Voids filled with asphalt mengindikasikan besarnya persen rongga dalam campuran yang dapat terisi oleh aspal setelah dipadatkan. Dimana nilai VFA tersebut dapat menentukan keawetan suatu campuran. Nilai VFA dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi agregat, temperatur dan energi pemadatan. Nilai VFA yang tinggi mengindikasikan rongga yang dapat terisi oleh aspal lebih banyak dan rongga menjadi lebih kecil sehingga aspal yang dapat menyelimuti agregat akan lebih tebal dan campuran sulit untuk dimasuki oleh air dan udara. Sebaliknya, bila VFA lebih kecil, rongga yang terisi oleh aspal lebih sedikit dan rongga dalam campuran lebih besar dan campuran mudah dimasuki oleh udara dan air sehingga menyebabkan campuran tidak padat. Namun jika VFA terlalu tinggi, akan memberikan kadar aspal yang berlebihan sehingga campuran akan mudah mengalami *bledding*. Oleh sebab itu, VFA dibatasi oleh VIM.

Faktor yang mempengaruhi nilai VFA adalah kadar aspal, gradasi campuran dan energy pada saat pemadatan.

Departemen Pekerjaan Umum (2010) menetapkan spesifikasi teknis bahwa nilai VFA pada pekerjaan dengan campuran HRS-BC minimal 68% . Hubungan kondisi setiap variasi campuran terhadap nilai voids filled with pada KAO telah disajikan dalam Tabel 4.3

2. Pengujian Marshall *immersion*

Dari pengujian tekan Marshall (Marshall Compression) terhadap masing-masing variasi campuran dengan peredaman selama ½ Jam dan 24 jam pada suhu 60° C, diperoleh hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 4.4. Nilai-nilai tersebut merupakan rata-rata dari hasil pengujian terhadap 3 benda uji (triplo) pada masing-masing variasi campuran.

Tabel 4.4 Hasil uji marshall *immersion* selama ½ jam pada KAO.

No.	Karakteristik Marsall	Satuan	Variasi Campuran				
			I	II	III	IV	V
1.	<i>Stability</i>	kg	1242	1285	1321	1351	1334
2.	<i>Flow</i>	mm	3,4	3,6	3,77	3,93	4,0
3.	<i>MQ</i>	kg/mm	365,15	360,32	351,95	346,34	333,51

Tabel 4.5 Hasil uji marshall *immersion* seelama 24 jam pada KAO.

No.	Karak-teristik Marsall	Sat.	Variasi Campuran				
			I	II	III	IV	V
1.	<i>Stability</i>	kg	1187	1239	1286	1322	1305
2.	<i>Flow</i>	mm	3,5	3,67	3,87	4,03	4,10
3.	<i>MQ</i>	kg/mm	339,23	337,42	334,00	327,84	319,14

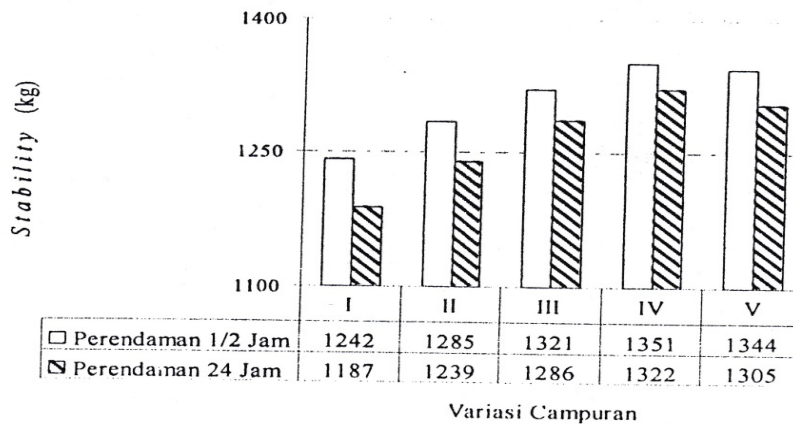
Dari pengujian tekan Marshall (Marshall Compression) dengan lama peredaman ½ jam dan 24 jam diperoleh nilai stabilitas yang dihasilkan oleh masing-masing variasi campuran. Dengan nilai-nilai tersebut dapat diperoleh nilai durabilitas campuran yaitu indeks kekuatan sisa

campuran untuk menggambarkan keseluruhan hasil durabilitas masing-masing variasi campuran. Hasil pengujian tersebut disajikan pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5.

Campuran agregat-aspal panas yang akan digunakan sebagai bahan perkerasan perlu diuji durabilitasnya. Hal ini guna mengetahui sejauh mana tingkat ketahanan bahan tersebut terhadap kondisi yang akan terjadi dikemudian hari terhadap perkerasan seperti pengaruh iklim dan lingkungan maupun pembebanan oleh lalu lintas. Hal perlu diperhatikan adalah bagaimana kondisi ataupun karakteristik dari bahan yang digunakan dalam campuran sehingga mampu membentuk suatu campuran dengan durabilitas yang cukup mampu memberikan kinerja yang baik pada perkerasan selama masa pelayanan. Campuran yang ada diharapkan mampu bertahan terhadap air dan perubahan sifat aspal karena penguapan, oksidasi dan kontaminasi dari bahan bakar kendaraan.

Stabilitas mengindikasikan kemampuan campuran dalam menerima beban maksimum tanpa mengalami perubahan bentuk yang permanen yang dinyatakan dalam satuan beban (kg). Nilai stabilitas dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu gradasi agregat, bentuk agregat, kualitas agregat, tekstur permukaan agregat, kadar aspal dalam campuran, energi dan temperatur pemadatan.

Departemen Pekerjaan Umum (2010) menetapkan spesifikasi teknis bahwa nilai stabilitas pada pekerjaan dengan campuran HRS-BC minimal 800 kg. Hubungan kondisi pada setiap variasi campuran terhadap nilai stabilitas pada kondisi KAO telah disajikan dalam Tabel 4.4 dan Tabel 4.5.5 serta dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Hubungan variasi campuran dengan nilai stabilitas pada kondisi KAO

Gambar 4.1 secara umum menunjukkan adanya peningkatan nilai stabilitas dengan bertambahnya kadar aspal hingga pada persentase kadar tertentu kemudian mengalami penurunan. Campuran dengan variasi I yang menggunakan 100 % limbah pecahan marmer mempunyai stabilitas yang paling rendah jika dibandingkan campuran lainnya. Seperti diketahui bahwa pecahan marmer memiliki tekstur permukaan yang halus dan berdaya serap kecil. Dengan kondisi demikian, aspal tidak terserap dengan baik, sehingga dengan adanya perendaman pada suhu yang tinggi menyebabkan aspal yang tipis dan hanya melekat pada permukaan mengalami pelelehan dan akibat sifat hidropolyc batuan, ikatan aspal dan batuan mudah terlepas. Pada

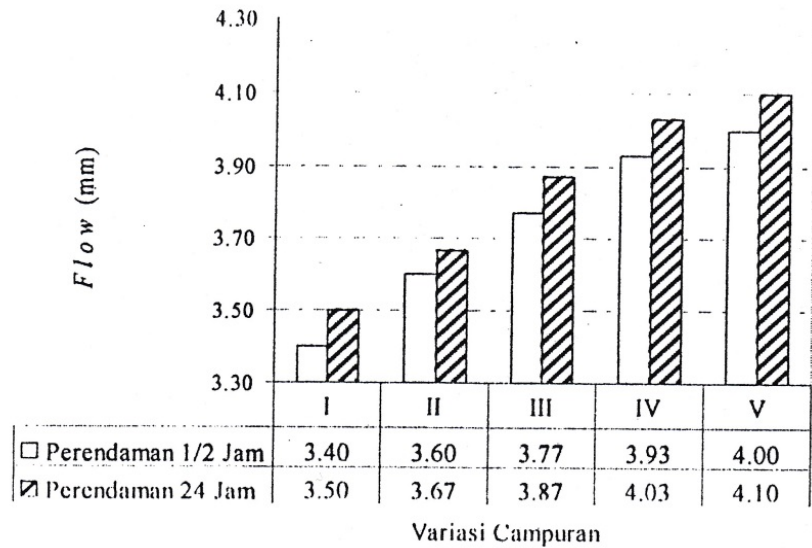
kondisi tersebut jika diberikan beban, maka ikatan dalam campuran mudah pecah, selain itu didukung pula oleh kepadatan campuran yang tinggi dan membuat campuran menjadi kaku dan getas. Oleh sebab itu stabilitas yang dimiliki juga sangat rendah. Pada campuran variasi II hingga variasi IV, yang menggunakan variasi campuran limbah pecahan marmer dan batu pecah sebagai agregat kasar, terlihat peningkatan nilai stabilitas. Hal ini didukung oleh kekohesian yang dimiliki oleh limbah pecahan marmer yang ditandai dengan besaran nilai abrasi yaitu 25% lebih rendah dari batu pecah. Selain itu, pada dengan masuknya batu pecah dalam campuran, ikatan antara agregat dan aspal menjadi lebih baik dibandingkan dengan variasi I sehingga fungsi aspal sebagai pengikat agregat terutama agregat kasar menjadi lebih baik dan kekompakan campuran tetap terjaga. Pada variasi V, mengalami penurunan nilai stabilitas. Hal ini karena variasi V menggunakan batu pecah 100% sebagai agregat kasar, dimana batu pecah memiliki nilai abrasi dan absorpsi yang lebih besar yaitu 29,5% untuk abrasi dan 1,640% untuk absorpsi. Dengan pembebanan yang lebih besar menyebabkan batuan akan lebih mudah pecah sehingga stabilitas campuran menurun. Kontribusi kekuatan campuran yang diberikan oleh pecahan marmer hanya terdapat pada campuran variasi IV dan tidak ada lagi dalam campuran variasi V. Selain itu akibat abrasi yang tinggi, degradasi agregat mudah terjadi dan menyebabkan campuran menjadi lebih padat, kaku dan getas, sehingga bila mengalami pembebanan akan lebih mudah hancur. Oleh sebab itu stabilitas yang dihasilkan lebih rendah dari variasi sebelumnya.

Gambar 4.1 juga menunjukkan penurunan nilai stabilitas pada campuran setelah mengalami perendaman selama 24 jam. Jika dilakukan perendaman lebih lama lagi, nilai stabilitas akan lebih menurun. Hal ini diakibatkan oleh masuknya air ke dalam pori campuran dan mengganggu sifat kohesif dari aspal dalam mengikat batuan. Kondisi ini dapat memperlemah ikatan aspal karena air lebih mudah membasahi permukaan batuan daripada aspal sebab batuan mempunyai muatan kutub demikian pula dengan air dan aspal; tetapi muatan kutub air lebih kuat bila dibandingkan dengan aspal dalam mengikat batuan, sehingga akan mengganggu ikatan antar butiran dan aspal. Pada campuran variasi I memberikan nilai stabilitas yang paling rendah dan penurunan stabilitas paling besar sebab lemahnya ikatan aspal dan batuan.

2. Pengaruh perendaman terhadap flow campuran aspal panas pada berbagai variasi agregat.

Flow man kelelahan mengindikasikan besarnya deformasi pada suatu campuran yang diakibatkan oleh adanya beban yang terjadi pada awal proses pembebanan hingga mencapai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan mm. Nilai flow lapis perkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu gradasi agregat, bentuk agregat, kualitas agregat, tekstur permukaan agregat, kadar aspal serta energi dan temperatur pemadatan. Nilai flow yang rendah mengindikasikan campuran yang kaku dan getas sehingga mudah retak apabila dibebani, sebaliknya campuran yang mempunyai nilai flow yang tinggi akan bersifat lebih plastis (lembek) sehingga mudah berubah bentuk saat mengalami pembebanan.

Departemen Pekerjaan Umum (2010), menetapkan spesifikasi teknis bahwa nilai flow pada pekerjaan den gan campuran HRS-BC minimal 2,5 kg. Hubungan variasi campuran dengan nilai flow pada kondisi kadar aspal optimum telah disajikan dalam Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 serta dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hubungan variasi campuran terhadap nilai flow pada kondisi KAO.

Dari gambar 4.2 terlihat adanya kenaikan nilai flow. bahwa dengan bertambahnya kadar aspal terjadi kenaikan nilai flow pada setiap variasi campuran. Campuran variasi I memiliki nilai flow yang Lebih rendah dibandingkan campuran variasi II hingga variasi V dan terjadi nilai flow pada tiap variasi berikutnya. Hal ini disebabkan adanya penambahan persentase batu pecah dalam campuran yang berarti adanya penambahan rongga pada tiap variasi campuran. Seperti diketahui sebelumnya bahwa campuran variasi I menggunakan 100% limbah pecahan marmer sebagai agregat kasar, dimana jenis batuan tersebut memiliki pori/rongga yang kecil sehingga lekatan aspal terhadap batuan lebih tipis. Jika dibandingkan dengan campuran variasi I, rongga yang ada pada variasi II hingga V lebih besar sebab adanya penambahan persentase batu pecah yang mempunyai pori yang lebih besar dan dapat menyerap aspal dengan baik, sehingga aspal yang dibutuhkan lebih banyak dan lekatan aspal lebih baik dan lebih tebal. Campuran variasi I mempunyai nilai flow yang rendah sehingga campuran cenderung menjadi lebih kaku dan mudah retak bila dibebani, sedangkan campuran variasi II hingga variasi V yang memiliki nilai flow yang lebih tinggi, maka campuran akan bersifat lebih plastis (lembek) sehingga mudah berubah bentuk atau deformasi akibat pembebanan.

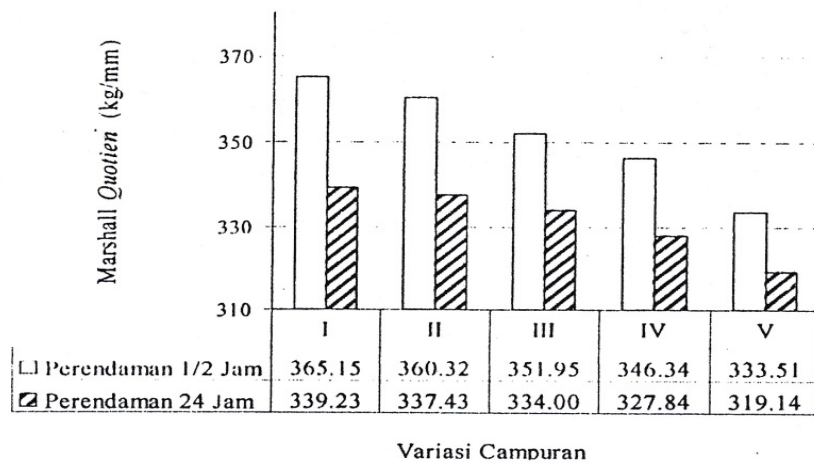
Gambar 4.2 juga menunjukkan adanya peningkatan nilai flow pada campuran setelah mengalami perendaman selama 24 jam. Perendaman yang lebih lama akan semakin meningkatkan nilai flow pada campuran. Hal ini disebabkan kemampuan ikatan (sifat kohesif) dari agregat menurun setelah perendaman yang lebih lama pada suhu yang lebih tinggi. Kondisi

demikian menyebabkan campuran menjadi lebih lembek dan sangat mudah mengalami perubahan bentuk (deformasi).

3. Pengaruh perendaman terhadap nilai Marshall quotlent campuran aspal panas pada berbagai variasi agregat.

Marshall quation merupakan perbandingan antara stabilitas dan flow yang dinyatakan dalam satuan kg/mm dan dapat mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan kelenturan suatu campuran. Campuran dengan nilai Marshall Quatlent yang rendah, akan lebih fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga akan mudah mengalami perubahan bentukatau deformasi saat menerima beban lalu lintas, sedangkan campuran yang memiliki nilai Marshall Quotlent yang lebih tinggi akan cenderung lebih kaku dan kurang lentur sehingga mudah retak.

Departemen Pekerjaan Umum (2010) menetapkan spesifikasi teknis bahwa nilai Marshall quotlent panda pekerjaan clengan campuran HRS—BC minimal 250 kg. Huhungan kondisi pada setiap variasi campuran terhadap dengan nilai Marshall Quotlent pada kondisi kadar aspal optimum telah disajikan dalam Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 serta dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hubungan variasi canpuran terhadap nilai MQ pada kondisi KAO

Dari gambar 4.3 dapat dilihat adanya penurunan tiap campuran nilai Marshallquotien, karenaakan memberikan lapisan film yang lebih tebal sehingga fungsiaspal pada kadar aspal optimum bekerja dengan baik sehingga campuran akanlebih plastis. Campuran variasi I memiliki nilai Marshall quotienyang lebih besar dibandingkan dengan campuran variasi II hingga variasi V. Dengan demikiancampuran I lebih kaku dan kurang lentur dibandingkan campuran variasi II hingga variasi V yang bersifat lebih plastis. Kondisi ini didukung dengan

sifat maupun karakteristik dari batuan yang digunakan sebagai agregat kasar dan nilai density pada variasi I yang lebih tinggi dibandingkan variasi lainnya.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pengujian terhadap bahan perkerasan dalam hal ini agregat kasar (limbah pecahan marmer dan batu pecah), agregat halus dan *filler* yang digunakan sebagai bahan campuran aspal panas memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Departemen Pekerjaan Umum.
2. Penggunaan kombinasi limbah pecahan marmer dengan batu pecah sebagai agregat kasar pada campuran aspal panas jenis HRS-BC memberikan nilai kadar aspal optimum yang bervariasi pada setiap campuran. Kenaikan persen batu pecah dan penurunan limbah pecahan marmer dalam campuran diiringi dengan kenaikan kadar aspal optimum pada setiap variasi campuran berturut-turut sebagai berikut variasi I sebesar 5,8 %; variasi II sebesar 5,94 %; variasi III sebesar 6,04 %; variasi IV sebesar 6,1 % dan variasi V sebesar 6,27 %.
3. Terjadinya penurunan stabilitas campuran seiring dengan penambahan waktu lama perendaman.
4. Jika diaplikasikan pada pekerjaan konstruksi di jalan sebaiknya digunakan campuran dengan variasi 50 % batu pecah dan 50 % limbah marmer atau variasi lainnya dengan prosentase limbah marmer lebih kecil dari 50 %.